

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین

گروه زمین شناسی زیست محیطی و آب شناسی

پهنه‌بندی زمین لغزش‌های ناشی از زمین لرزه در دامنه‌های شمالی تهران

دانشجو: محمد حسین زاده

اساتید راهنما:

دکتر ناصر حافظی مقدس

دکتر محمدرضا مهدویفر

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ماه ۱۳۹۳



دانشگاه صنعتی شاهرود

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

باسمه تعالی

شماره: ۱۲۰۶۲

تاریخ: ۹۳/۱۷/۲۸

ویرایش:

فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محمد حسین زاده رشته زمین شناسی گرایش زیست محیطی تحت عنوان: پهنه بندی زمین لغزش های ناشی از زمین لرزه در دامنه های شمالی تهران که در تاریخ ۱۳۹۳/۶/۲۹ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

<input type="checkbox"/> قبول (با درجه : <u>بسیار</u> امتیاز <u>۱۷</u>)	<input type="checkbox"/> دفاع مجدد	<input type="checkbox"/> مردود
--	------------------------------------	--------------------------------

۱- عالی (۲۰ - ۱۹)

۲- بسیار خوب (۱۸ - ۱۸/۹۹)

۳- خوب (۱۶ - ۱۷/۹۹)

۴- قابل قبول (۱۴ - ۱۵/۹۹)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر ناصر حافظی مقدس		
۲- استاد مشاور	—		
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر عزیز الله طاهری	استاد	
۴- استاد ممتحن	دکتر محمد عطایی		
۵- استاد ممتحن	دکتر رضا خالوکا کابی	دکتر	

رئیس دانشکده:



امضاء:

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین
گروه آبشناسی و زمین‌شناسی زیست‌محیطی

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محمد حسین زاده
تحت عنوان: پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های ناشی از زمین‌لرزه در دامنه‌های شمالی تهران

در تاریخ ۱۳۹۳/۶/۲۹ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست‌محیطی مورد ارزیابی و با درجه خوب مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی : دکتر ناصر حافظی مقدس
	نام و نام خانوادگی : دکتر محمدرضا مهدویفر

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : دکتر عزیزالله طاهری		نام و نام خانوادگی : دکتر محمد عطائی
			نام و نام خانوادگی : دکتر رضا خالو کاکایی

تعهد نامه

اینجانب محمد حسین زاده دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی زیست محیطی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه پهنه بندی زمین لغزش های ناشی از زمین لرزه در دامنه های شمالی تهران تحت راهنمایی دکتر ناصر حافظی مقدس و دکتر محمدرضا مهدویفر متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد .

چکیده

مقایسه سوانح و بلایای روی داده در سه دهه اخیر حاکی از آن است که هر چند تعداد این مخاطرات افزایش یافته، اما پیامدهای این سوانح نسبت به گذشته کاهش اساسی پیدا کرده است. علت اصلی این اختلافها مربوط به انقلابی است که در دهه‌های اخیر روی داده است. وقوع انقلاب اطلاعات و ارتباطات در این سالها باعث شده است که در دوره معاصر بتوان با کارایی بهتری به مقابله با بلایای طبیعی شتافت. در ایران نیز که در معرض بلایای طبیعی همراه با زلزله است از سالهای نه چندان دور با استفاده از روش‌های هوشمند به بررسی پیامدهای ناشی از زلزله پرداخته شده است. یکی از این پیامدهای زلزله که سالیانه خسارات جانی و مالی فراوانی را بر جامعه تحمیل می‌نماید، زمین‌لغزش است. در این تحقیق با بهره‌گیری از روشی نوین با نام CAMEL¹ یا همان مدل جامع زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله به بررسی پراکنش زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله در گستره شمالی شهر تهران و بر پایه سه سناریو گسلی مشا، شمال تهران و ری پرداخته شده است. روش CAMEL روشی کیفی است که بر پایه منطق فازی و محاسبه با واژه‌ها عمل می‌نماید. با استفاده از این روش استعداد مناطق مختلف پهنه به زمین‌لغزش بررسی و این نتیجه حاصل گردید که گسل مشا دارای بیشترین اثر در ایجاد زمین‌لغزش و بیشترین قابلیت را در ایجاد تراکم زمین‌لغزش‌های چرخشی خاکی، ریزش خاکی و ریزش سنگی است. گسل شمال تهران بیشترین قابلیت را در ایجاد زمین‌لغزش‌های بهمن سنگی، چرخشی سنگی و جریان خاکی دارا می‌باشد. ارزشیابی بر اساس روش ارزش اطلاعاتی و مقایسه آن با خروجی روش CAMEL در حالت استاتیک حاکی از این است که روش ارزش اطلاعاتی با داشتن شاخص مطلوبیت ۰/۵۴ از روش CAMEL با شاخص مطلوبیت ۰/۴۶ در پهنه‌بندی زمین‌لغزش ارجحیت بیشتری دارد.

کلمات کلیدی: زمین‌لغزش ناشی از زمین‌لرزه، CAMEL، منطق فازی، محاسبه با واژه‌ها، سناریوی گسلی، ارزش اطلاعاتی.

¹ Comprehensive Areal Model of Earthquake Induced Landslides

فهرست عناوین

فصل اول: کلیات

صفحه	عنوان
۲	۱-۱- مقدمه
۳	۲-۱- موقعیت و مشخصات کلی منطقه
۴	۳-۱- اقلیم و آب و هوا
۷	۴-۱- ریخت شناسی
۸	۱-۴-۱- البرز بلند
۸	۲-۴-۱- چین‌های کناری البرز
۸	۳-۴-۱- گستره کوهپایه‌ای
۱۰	۴-۴-۱- گستره فرونشست شمال ایران مرکزی (دشت تهران)
۱۱	۵-۱- زمین‌شناسی منطقه
۱۲	۱-۵-۱- سازند کرج
۱۵	۲-۵-۱- سازند هزار دره (آبرفت‌های سری A)
۱۶	۳-۵-۱- سازند کهریزک (آبرفت‌های سری B)
۱۷	۴-۵-۱- آبرفت‌های تهران (آبرفت‌های سری C)
۱۷	۴-۵-۱- آبرفت‌های عهد حاضر (رسوبات سری D)
۲۵	۷-۱- لرزه‌خیزی منطقه
۲۵	۱-۷-۱- گسل‌های اصلی موجود در منطقه
۲۷	۱-۱-۷-۱- گسل مشا
۲۸	۲-۱-۷-۱- گسل شمال تهران
۲۸	۳-۱-۷-۱- گسل شمال ری
۲۹	۴-۱-۷-۱- گسل جنوب ری
۲۹	۲-۷-۱- گسل‌های متوسط (با طولی میان ۲ تا ۱۰ کیلومتر)
۲۹	۳-۷-۱- برآورد پارامترهای لرزه‌ای منطقه

- ۸-۱- موضوع تحقیق ۳۲
- ۹-۱- ضرورت و اهداف تحقیق ۳۳
- ۱۰-۱- مراحل انجام پایان نامه ۳۳
- ۱۱-۱- ساختار پایان نامه ۳۵

فصل دوم: مطالعه زمین لغزش در ایران و جهان

<u>عنوان</u>	<u>صفحه</u>
۱-۲- مقدمه	۳۸
۲-۲- عوامل مؤثر بر زمین لغزش	۳۸
۳-۲- عوامل مستعد کننده	۳۹
۴-۲- عوامل محرک	۳۹
۵-۲- تأثیر زلزله بر ناپایداری زمین	۳۹
۶-۲- طبقه‌بندی حرکات توده‌ای	۴۰
۶-۲-۱- طبقه‌بندی وارنز	۴۰
۶-۲-۲- طبقه‌بندی کارسون و کیربی	۴۴
۶-۲-۳- طبقه‌بندی ارکین بر اساس درجه فعالیت	۴۵
۷-۲- تقسیم‌بندی زمین لغزش‌های ناشی از زلزله	۴۵
۷-۲-۱- ریزش‌ها و لغزش‌های گسسته	۴۶
۷-۲-۲- لغزش‌های پیوسته	۴۶
۷-۲-۳- گسترش‌های جانبی و جریان‌ها	۴۶
۸-۲- تعداد زمین لغزش‌ها در زلزله‌های تاریخی	۴۹
۹-۲- کوچکترین زلزله مسبب لغزش	۵۱
۱۰-۲- بزرگای زلزله و سطح تحت تأثیر زمین لغزش	۵۲
۱۱-۲- رابطه بزرگای زلزله و حداکثر فاصله زمین لغزش از کانون سطحی و گسیختگی گسلی	۵۳
۱۲-۲- رابطه بین تعداد زمین لغزش‌ها و بزرگای زلزله	۵۵
۱۳-۲- رابطه بین زمین لغزش‌ها و شدت زلزله	۵۶

۵۸	۱۴-۲- رابطه بین پارامترهای لرزه‌ای و پراکنش زمین لغزش‌ها
۵۹	۱۵-۲- خصوصیات زمین لغزش‌ها و محیط‌های زمین‌شناسی
۵۹	۱-۱۵-۲- لغزش‌های گسسته و ریزش‌ها در سنگ
۶۰	۲-۱۵-۲- لغزش‌های پیوسته در سنگها
۶۱	۳-۱۵-۲- لغزش‌های گسسته و ریزش‌ها در خاکها
۶۲	۴-۱۵-۲- لغزش‌های پیوسته در خاکها
۶۳	۵-۱۵-۲- گسترش‌های جانبی و جریان‌ها در خاکها
۶۴	۱۶-۲- روش‌های مختلف پهنه‌بندی خطر زمین لغزش
۶۴	۷-۱۶-۲- روش کیفی
۶۵	۸-۱۶-۲- روش کمی
۶۶	۱۷-۲- مطالعه زمین لغزش در ایران و جهان

فصل سوم: آشنایی با منطق فازی و مبانی روش‌های مورد استفاده

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۷۶	۱-۳- مقدمه
۷۶	۲-۳- مجموعه‌های فازی
۷۷	۱-۲-۳- متغیرهای فازی
۷۸	۲-۲-۳- سیستم‌های استنتاج فازی
۸۰	۱-۲-۲-۳- ایجاد پایگاه دانش
۸۰	۲-۲-۲-۳- موتور استنتاج فازی
۸۱	۱-۲-۲-۲-۳- اعمال روش دلالت (استنتاج مبتنی بر ترکیب قواعد)
۸۲	۲-۲-۲-۲-۳- تجمیع خروجی‌ها (استنتاج مبتنی بر قواعد جداگانه)
۸۳	۳-۲-۲-۳- غیر فازی ساز
۸۵	۳-۲-۳- ترکیب مقادیر ورودی برای یک قانون اگر-آنگاه
۸۶	۴-۲-۳- ترکیب چندین قانون با مقادیر خروجی یکسان
۸۸	۵-۲-۳- ترکیب قوانین با مقادیر خروجی مختلف

- ۸۹.....۳-۲-۶- مثالی از محاسبات یک سیستم ساده فازی
- ۹۰.....۳-۲-۷- مقدمه‌های بر نرم‌افزار CAMEL
- ۹۰.....۳-۲-۸- استخراج اطلاعات برای CAMEL
- ۹۲.....۳-۲-۹- طراحی و ویژگی‌های CAMEL
- ۹۳.....۳-۲-۹-۱- بخش امکان رخداد
- ۹۶.....۳-۲-۹-۱-۱- P- ناهمواری دامنه
- ۹۷.....۳-۲-۹-۱-۲- P- شدت زلزله
- ۱۰۰.....۳-۲-۹-۱-۳- P- عمق خاک
- ۱۰۱.....۳-۲-۹-۱-۴- P- ارتفاع دامنه
- ۱۰۳.....۳-۲-۹-۱-۵- P- نوع مصالح
- ۱۰۴.....۳-۲-۹-۱-۶- P- رطوبت
- ۱۰۵.....۳-۲-۹-۱-۷- P- زاویه شیب
- ۱۰۷.....۳-۲-۹-۲- بخش خطر
- ۱۱۱.....۳-۲-۹-۲-۱- h- فاصله از رودخانه و جاده
- ۱۱۳.....۳-۲-۹-۲-۳- h- رطوبت
- ۱۱۴.....۳-۲-۹-۲-۴- h- شدت زلزله
- ۱۱۵.....۳-۲-۹-۲-۵- h- زاویه شیب
- ۱۱۶.....۳-۲-۹-۲-۶- h- پوشش گیاهی
- ۱۱۷.....۳-۲-۱۰- متغیرهای خروجی-تراکم زمینلغزش
- ۱۲۱.....۳-۲-۱۱- بلوک قوانین بخش خطر
- ۱۲۳.....۳-۲-۱۲- بلوک قانون حساسیت استاتیکی
- ۱۲۵.....۳-۲-۱۳- بلوک قانون ویرایشگرها
- ۱۲۷.....۳-۲-۱۴- بلوک قانون خطر لرزه ای
- ۱۳۰.....۳-۳- روش ارزش اطلاعاتی

فصل چهارم: پهنه‌بندی زمین‌لغزش در پهنه مورد مطالعه

<u>عنوان</u>	<u>صفحه</u>
۱-۴- مقدمه.....	۱۳۲
۲-۴- لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز برای مدل CAMEL.....	۱۳۲
۱-۲-۴- ناهمواری سطحی.....	۱۳۳
۲-۲-۴- شدت زلزله:.....	۱۳۳
۳-۲-۴- عمق خاک.....	۱۳۷
۴-۲-۴- ارتفاع دامنه.....	۱۳۷
۵-۲-۴- رطوبت.....	۱۳۸
۶-۲-۴- زاویه شیب.....	۱۳۹
۷-۲-۴- رده مقاومتی زمین.....	۱۴۰
۸-۲-۴- فاصله از رودخانه و جاده.....	۱۴۲
۹-۲-۴- پوشش گیاهی.....	۱۴۳
۳-۴- نقشه‌ها و اطلاعات خروجی مدل CAMEL.....	۱۴۳
۴-۴- تحلیل اطلاعات مدل CAMEL.....	۱۵۳
۱-۴-۴- تحلیل بهمن سنگی.....	۱۵۳
۲-۴-۴- تحلیل ریزش‌های سنگی.....	۱۵۳
۳-۴-۴- تحلیل ریزش‌های خاکی.....	۱۵۳
۴-۴-۴- تحلیل لغزش‌های جریان خاکی.....	۱۵۴
۵-۴-۴- تحلیل لغزش‌های چرخشی خاکی.....	۱۵۴
۶-۴-۴- تحلیل لغزش‌های چرخشی سنگی.....	۱۵۴
۷-۴- مدل ارزش اطلاعاتی.....	۱۵۷
۱-۷-۴- رده شیب.....	۱۵۷
۲-۷-۴- رده مقاومت زمین.....	۱۵۸
۳-۷-۴- طبقات ارتفاعی.....	۱۵۹

۱۶۰	۴-۷-۴- فاصله از رودخانه
۱۶۱	۴-۷-۵- فاصله از گسل
۱۶۲	۴-۷-۶- جهت
۱۶۴	۴-۸- روش تجزیه و تحلیل
۱۶۶	۴-۹- مقایسه روش‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش
۱۶۷	۴-۱۰- ارزیابی نقشه حاصل از پهنه‌بندی به روش ارزش اطلاعاتی
۱۶۸	۴-۱۱- ارزیابی نقشه حاصل از پهنه‌بندی به روش CAMEL

فصل پنجم: بحث و نتایج

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱۷۲	۵-۱- خلاصه نتایج کسب شده
۱۷۶	۵-۲- افق‌های ادامه تحقیق

فهرست شکل‌ها

<u>صفحه</u>	<u>شکل</u>
۴	شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه
۵	شکل ۲-۱: متوسط آمار بارش ۱۵ ساله محدوده مورد مطالعه
۶	شکل ۳-۱: نمودار بارش در برابر ارتفاع
۷	شکل ۴-۱: نقشه همبارش محدوده مورد مطالعه
۱۸	شکل ۵-۱: نقشه واحدهای زمین‌شناسی موجود در محدوده مورد مطالعه
۱۹	شکل ۶-۱: زمین‌لغزش موجود در محدوده دربند
۲۰	شکل ۷-۱: زمین‌لغزش محدوده دربند
۲۰	شکل ۸-۱: لغزش جریانی خاکی دربند
۲۱	شکل ۹-۱: لغزش جریانی خاکی دربند
۲۱	شکل ۱۰-۱: لغزش واژگونی در محدوده فرحزاد
۲۲	شکل ۱۱-۱: ریزش خاکی در محدوده دره فرحزاد

- شکل ۱-۱۲: الف- تصویر ماهواره‌ای زمین لغزش ولنجک. ب- زمین لغزش ولنجک..... ۲۳
- شکل ۱-۱۳: پهنه‌های لغزشی دره فرحزاد و شهرک مجلس..... ۲۳
- شکل ۱-۱۴: منازل تخریب شده در اثر لغزش در شهرک مجلس..... ۲۴
- شکل ۱-۱۵: نقشه فهرست زمین لغزش‌های موجود در منطقه..... ۲۴
- شکل ۱-۱۶: گسل‌های اصلی واقع در شعاع ۱۵۰ کیلومتری محدوده مطالعاتی..... ۲۶
- شکل ۱-۱۷: نقشه سائیزموتکتونیک شعاع ۱۵۰ کیلومتری محدوده مطالعاتی..... ۳۰
- شکل ۱-۱۸: منحنی دوره بازگشتها به سال..... ۳۲
- شکل ۱-۲: ریزش سنگی..... ۴۱
- شکل ۲-۲: واژگونی..... ۴۱
- شکل ۲-۳: آثار خزش در دامنه کوه..... ۴۲
- شکل ۲-۴: تصویر A لغزش چرخشی و تصویر B لغزش انتقالی..... ۴۳
- شکل ۲-۵: لغزش جریانی..... ۴۳
- شکل ۲-۶: طبقه بندی لغزش کارلسن و کیریبی..... ۴۴
- شکل ۲-۷: مساحت تحت تأثیر زمین لغزش‌ها در زلزله‌هایی با بزرگای مختلف..... ۵۳
- شکل ۲-۸: حداکثر فاصله از رو مرکز تا زمین لغزش‌ها برای زلزله‌هایی با بزرگای مختلف..... ۵۴
- شکل ۲-۹: رابطه بین تعداد زمین لغزش‌ها و بزرگای زلزله..... ۵۶
- شکل ۲-۱۰: حداقل شدت مرکالی اصلاح شده زلزله‌های مورد مطالعه..... ۵۷
- شکل ۲-۱۱: طبقه بندی روش‌های پهنه بندی خطر زمین لغزش..... ۶۵
- شکل ۲-۱۲: بلوک لغزشی در تحلیل نیومارک..... ۶۷
- شکل ۳-۱: مثالی از مجموعه‌های فازی و صریح برای توصیف "نزدیک" بودن..... ۷۷
- شکل ۳-۲: نمونه‌ای از متغیر زاویه شیب با داشتن مقادیر "کم"، "متوسط"، و "تند"..... ۷۸
- شکل ۳-۳: نحوه عملکرد سیستم استنتاج فازی..... ۷۹
- شکل ۳-۴: نحوه اعمال روش دلالت با استفاده از تابع min برای ایجاد مجموعه تغییر در خروجی فازی یکسان..... ۸۲
- شکل ۳-۵: نحوه عملکرد تجمیع خروجی‌ها در سیستم استنتاج ممدانی با استفاده از عملگر max..... ۸۳
- شکل ۳-۶: نحوه محاسبه مقدار غیر فازی با استفاده از روش مرکز جرم، مرکز مجموعه، میانگین ماکزیمم، کوچکترین ماکزیمم و مرکز بزرگترین ماکزیمم..... ۸۵

- شکل ۳-۷: نمونه‌ای از انتقال مقدار درستی متغیر ورودی به مقدار درستی خروجی..... ۸۶
- شکل ۳-۸: مثالی کامل از یک سیستم فازی ۴ متغیره و ۴ قانونه..... ۸۹
- شکل ۳-۹: چارچوب دو بخشی CAMEL، از جمله بخش‌های امکان رخداد و تراکم خطر..... ۹۳
- شکل ۳-۱۰: نمودار جریانی داده‌ها برای بخش امکان CAMEL شامل اطلاعات شاخص..... ۹۴
- شکل ۳-۱۱: تابع عضویت برای P ناهمواری دامنه..... ۹۶
- شکل ۳-۱۲: تابع عضویت برای P شدت زلزله..... ۹۹
- شکل ۳-۱۳: حداقل شدت مورد نیاز برای وقوع دسته‌های مختلف زمین‌لغزش..... ۹۹
- شکل ۳-۱۴: تابع عضویت برای P عمق خاک..... ۱۰۱
- شکل ۳-۱۵: تابع عضویت برای P ارتفاع دامنه..... ۱۰۲
- شکل ۳-۱۶: توابع عضویت برای P رطوبت..... ۱۰۴
- شکل ۳-۱۷: توابع عضویت برای P زاویه شیب..... ۱۰۶
- شکل ۳-۱۸: نمودار جریانی داده‌ها برای بخش خطر..... ۱۰۸
- شکل ۳-۱۹: توابع عضویت برای h فاصله از..... ۱۱۲
- شکل ۳-۲۰: اطلاعات توصیفی معرف افزایش امکان رخداد زمین‌لغزش با توجه به کیفیت سیمان یا دوام سنگ..... ۱۱۳
- شکل ۳-۲۱: توابع عضویت برای h رده زمین..... ۱۱۳
- شکل ۳-۲۲: توابع عضویت برای h رطوبت..... ۱۱۴
- شکل ۳-۲۳: توابع عضویت برای h شدت زلزله..... ۱۱۴
- شکل ۳-۲۴: توابع عضویت برای h زاویه شیب..... ۱۱۶
- شکل ۳-۲۵: اطلاعات تشدید کننده معرف افزایش تراکم زمین‌لغزش‌های ایجاد شده با افزایش زاویه شیب..... ۱۱۶
- شکل ۳-۲۶: توابع عضویت برای h پوشش گیاهی..... ۱۱۷
- شکل ۳-۲۷: بلوک قانون متغیرهای لرزه‌ای برای ریزش‌ها و لغزش‌های گسسته سنگی..... ۱۲۸
- شکل ۴-۱: نقشه ناهمواری سطحی محدوده مطالعاتی..... ۱۳۳
- شکل ۴-۲: نمودار رابطه بین PGA (gal) و MMI..... ۱۳۵
- شکل ۴-۳: نقشه پهنه‌بندی لرزه‌ای گسل مشا با دوره بازگشت ۴۷۵ سال..... ۱۳۵
- شکل ۴-۴: نقشه پهنه‌بندی لرزه‌ای گسل شمال تهران با دوره بازگشت ۴۷۵ سال..... ۱۳۶
- شکل ۴-۵: نقشه پهنه‌بندی لرزه‌ای گسل ری با دوره بازگشت ۴۷۵ سال..... ۱۳۶

- شکل ۴-۶: نقشه ارتفاع دامنه محدوده مطالعاتی ۱۳۸
- شکل ۴-۷: نقشه درصد رطوبت در محدوده مطالعاتی ۱۳۹
- شکل ۴-۸: نقشه درجه شیب محدوده مطالعاتی ۱۴۰
- شکل ۴-۹: نقشه رده مقاومت زمین در محدوده مطالعاتی ۱۴۲
- شکل ۴-۱۰: نقشه فاصله از عوارض خطی در محدوده مطالعاتی ۱۴۲
- شکل ۴-۱۱: نقشه پوشش گیاهی در محدوده مطالعاتی ۱۴۳
- شکل ۴-۱۲: نقشه لغزش ریزش سنگی با سناریو گسل شمال تهران ۱۴۴
- شکل ۴-۱۳: نقشه لغزش بهمن سنگی با سناریو گسل شمال تهران ۱۴۴
- شکل ۴-۱۴: نقشه لغزش چرخشی سنگی با سناریو گسل شمال تهران ۱۴۵
- شکل ۴-۱۵: نقشه لغزش ریزش خاکی با سناریو گسل شمال تهران ۱۴۵
- شکل ۴-۱۶: نقشه لغزش جریان خاکی با سناریو گسل شمال تهران ۱۴۶
- شکل ۴-۱۷: نقشه لغزش چرخشی خاکی با سناریو گسل شمال تهران ۱۴۶
- شکل ۴-۱۸: نقشه لغزش بهمن سنگی با سناریو گسل مشا ۱۴۷
- شکل ۴-۱۹: نقشه لغزش ریزش سنگی با سناریو گسل مشا ۱۴۷
- شکل ۴-۲۰: نقشه لغزش چرخشی سنگی با سناریو گسل مشا ۱۴۸
- شکل ۴-۲۱: نقشه لغزش ریزش خاکی با سناریو گسل مشا ۱۴۸
- شکل ۴-۲۲: نقشه لغزش جریان خاکی با سناریو گسل مشا ۱۴۹
- شکل ۴-۲۳: نقشه لغزش چرخشی خاکی با سناریو گسل مشا ۱۴۹
- شکل ۴-۲۴: نقشه لغزش بهمن سنگی با سناریو گسل ری ۱۵۰
- شکل ۴-۲۵: نقشه لغزش بهمن سنگی با سناریو گسل ری ۱۵۰
- شکل ۴-۲۶: نقشه لغزش چرخشی سنگی با سناریو گسل ری ۱۵۱
- شکل ۴-۲۷: نقشه لغزش ریزش خاکی با سناریو گسل ری ۱۵۱
- شکل ۴-۲۸: نقشه لغزش جریان خاکی با سناریو گسل ری ۱۵۲
- شکل ۴-۲۹: نقشه لغزش چرخشی خاکی با سناریو گسل ری ۱۵۲
- شکل ۴-۳۰: نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش در محدوده مطالعاتی با سناریو گسل ری ۱۵۵
- شکل ۴-۳۱: نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش با سناریو گسل مشا ۱۵۶

- شکل ۴-۳۲: نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش با سناریو گسل شمال تهران..... ۱۵۶
- شکل ۴-۳۳: اطلاعات تشدید کننده معرف افزایش تراکم زمین‌لغزش‌های ایجاد شده..... ۱۵۷
- شکل ۴-۳۴: نقشه جهت شیب در محدوده مورد مطالعه..... ۱۵۸
- شکل ۴-۳۵: نقشه طبقات ارتفاعی در محدوده مورد مطالعه..... ۱۶۰
- شکل ۴-۳۶: نقشه فاصله از رودخانه..... ۱۶۱
- شکل ۴-۳۷: فاصله از گسل‌های منطقه..... ۱۶۲
- شکل ۴-۳۸: نقشه جهت شیب در منطقه..... ۱۶۴
- شکل ۴-۳۹: مقایسه درصد زمین‌لغزش‌ها در هر پهنه با درصد پیکسلس هر طبقه..... ۱۶۷
- شکل ۴-۴۰: مقایسه درصد پیکسل زمین‌لغزش‌ها در هر پهنه با درصد پیکسل هر طبقه..... ۱۶۹
- شکل ۴-۴۱: پهنه‌بندی زمین‌لغزش به روش ارزش اطلاعاتی در منطقه مورد مطالعه..... ۱۷۰
- شکل ۵-۱: مقایسه Q_S شاخص مطلوبیت بین دو نقشه پهنه‌بندی نهایی..... ۱۷۴
- شکل ۵-۲: مقایسه درصد پیکسلی هر پهنه خطر بین ۲ مدل..... ۱۷۵

فهرست جدول‌ها

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱۸.....	جدول ۱-۱: مقایسه آبرفت‌های تهران با یکدیگر از دیدگاه رین.....
۲۷.....	جدول ۱-۲: زلزله‌های نسبت داده شده به گسل مشا.....
۲۸.....	جدول ۱-۳: زمین‌لرزه‌های نسبت داده شده به گسل شمال تهران.....
۳۱.....	جدول ۱-۴: نسبت زمان، مکان و بزرگی در حذف پیش‌لرزه و پس‌لرزه.....
۳۱.....	جدول ۱-۵: داده‌های لازم برای آنالیز لرزه‌خیزی.....
۳۲.....	جدول ۱-۶: مقادیر دوره بازگشت برای بزرگ‌های مختلف.....
۴۰.....	جدول ۲-۱: طبقه‌بندی حرکات توده‌های.....
۴۷.....	جدول ۲-۲: خصوصیات زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله.....
۵۰.....	جدول ۲-۳: فراوانی نسبی زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله.....
۸۵.....	جدول (۳-۱). انواع روش‌های غیرفازی ساز.....
۹۲.....	جدول ۳-۲: طبقه‌بندی انواع تجمیع شده زمین‌لغزش ناشی از زلزله،.....

- جدول ۳-۳: متغیرهای ورودی بخش امکان CAMEL..... ۹۵
- جدول ۳-۴: بلوک قوانین بخش امکان در مورد دانش موجود درباره P ناهمواری دامنه..... ۹۷
- جدول ۳-۵: بلوک قوانین بخش امکان در مورد دانش مربوط به P شدت زلزله..... ۱۰۰
- جدول ۳-۶: بلوک قوانین بخش امکان در مورد دانش مربوط به P عمق خاک..... ۱۰۱
- جدول ۳-۷: بلوک قوانین بخش امکان در مورد دانش مربوط به P ارتفاع دامنه..... ۱۰۲
- جدول ۳-۸: بلوک قوانین بخش امکان در مورد دانش مربوط به P نوع مصالح..... ۱۰۳
- جدول ۳-۹: بلوک قوانین بخش امکان در مورد دانش مربوط به P رطوبت..... ۱۰۵
- جدول ۳-۱۰: اطلاعات در مورد حداقل زاویه شیب مورد نیاز برای رخداد نوع خاصی از زمین لغزش..... ۱۰۷
- جدول ۳-۱۱: بلوک قوانین بخش امکان در مورد اطلاعات مربوط به P زاویه شیب..... ۱۰۷
- جدول ۳-۱۲: متغیرهای ورودی CAMEL- متغیرها و ویرایشگرها..... ۱۱۰
- جدول ۳-۱۳: مشخصات متغیرهای خروجی بخش خطر..... ۱۱۸
- جدول ۳-۱۴: فراوانی نسبی زمین لغزش‌های ناشی از ۴۰ زلزله تاریخی در سراسر جهان..... ۱۲۱
- جدول ۳-۱۵: متغیرهای ورودی در نظر گرفته شده برای هر نوع زمین لغزش در بخش خطر..... ۱۲۲
- جدول ۳-۱۶: بلوک قوانین حساسیت استاتیکی برای ریزش‌ها و لغزش‌های گسسته سنگی..... ۱۲۳
- جدول ۳-۱۷: بلوک قانون ویرایشگر برای ریزش‌ها و لغزش‌های سنگی گسسته..... ۱۲۶
- جدول ۴-۱: بزرگترین بزرگای محتمل به وسیله روابط تجربی بزرگا و طول (زارع، ۱۳۸۳)..... ۱۳۴
- جدول ۴-۲: پارامترهای فیزیکی واحدهای زمین‌شناسی موجود در محدوده (نصیری، ۱۳۸۴)..... ۱۴۱
- جدول ۴-۳: تراکم زمین لغزش در طبقات شیب منطقه مورد مطالعه..... ۱۵۸
- جدول ۴-۴: تراکم زمین لغزش در طبقات رده زمین منطقه مورد مطالعه..... ۱۵۹
- جدول ۴-۵: تراکم زمین لغزش در طبقات ارتفاعی منطقه مورد مطالعه..... ۱۵۹
- جدول ۴-۶: تراکم زمین لغزش در فاصله از رودخانه منطقه مورد مطالعه..... ۱۶۱
- جدول ۴-۷: تراکم زمین لغزش در طبقات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه..... ۱۶۲
- جدول ۴-۸: تراکم زمین لغزش در طبقات جهت منطقه مورد مطالعه..... ۱۶۳
- جدول ۴-۹: طبقه‌بندی پهنه‌های برای نقشه حاصل از روش ارزش اطلاعاتی..... ۱۶۵
- جدول ۴-۱۰: طبقه‌بندی پهنه‌های برای نقشه حاصل از روش CAMEL در حالت استاتیکی..... ۱۶۵
- جدول ۴-۱۱: محاسبه مقادیر DR و QS برای نقشه پهنه‌بندی حاصل از روش ارزش اطلاعاتی..... ۱۶۷

جدول ۴-۱۲: محاسبه مقادیر DR و QS برای نقشه پهنه‌بندی حاصل از روش CAMEL در حالت استاتیک.....۱۶۸

فصل اول

کلیات

رشد سریع و افسار گسیخته شهرها و افزایش بی سابقه جمعیت در دهه‌های گذشته موجب استفاده بیشتر بشر از منابع طبیعی شده است. کمبود منابع و ارته‌های طبیعی مناسب برای شهرسازی و اسکان جمعیت در مناطق شهری، موجب افزایش آسیب‌پذیری شهرها در برابر سوانح طبیعی به‌ویژه زمین‌لغزش و زمین‌لرزه است. براساس گزارش‌های دفتر کنترل بلایای سازمان ملل متحد و بانک جهانی توسعه، زلزله اصلی‌ترین عامل ایجاد خسارات جانی و مالی در دنیا به شمار می‌آید، که این امر در کشورمان، ایران نیز صادق است. زمین‌لغزش از مهمترین مخاطرات طبیعی همراه با زلزله می‌باشد و بخش قابل توجهی از خسارات ناشی از زمین‌لرزه را به خود اختصاص می‌دهد. ایران به دلیل دارا بودن شرایط خاص زمین‌شناسی، توپوگرافی و آب و هوایی از کشورهای مهم لغزش‌خیز در دنیا محسوب می‌شود و سالیانه خسارات قابل توجهی بر اثر بروز زمین‌لغزش گزارش می‌شود. قرارگیری شهر تهران بر روی گسل‌های با احتمال بالای لرزه‌زایی و ساخت‌وساز بر روی حریم گسل‌های لرزه‌زا، دارا بودن اقلیم‌های متفاوت، توپوگرافی نیمه و کوهستانی، احتمال رویداد این پدیده را در این منطقه دوچندان ساخته و بر طبق گزارش‌های ثبت شده رخداد زمین‌لغزش‌های ناشی از زمین‌لرزه دور از ذهن نمی‌باشد.

انجام پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله پیش از اقدام به برنامه‌ریزی برای ساخت و ساز در مناطق پرخطر، امری حیاتی به نظر می‌رسد. بنابراین با توجه به تبعات بسیار مخرب و هزینه‌زای این پدیده و تأثیر بسزای آن بر کیفیت محیط زیست شهروندان، تحقیق حاضر به بررسی زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله در گستره شمالی شهر تهران با رویکردی نوین و با سناریوی گسل‌های مشا، شمال تهران و ری می‌پردازد. در این پژوهش از روش ^۱ CAMEI استفاده شده، این مدل بر مبنای محاسبه با واژه‌ها^۲ و منطق فازی^۳ بنا نهاده شده است. محاسبه با واژه‌ها، در ۱۹۶۵ هم‌زمان با ایجاد منطق فازی

^۱ Comprehensive Arial Model of Earthquake Induced Landslides

^۲ Computing with words (CW)

^۳ Fuzzy Logic

توسط لطفی‌زاده معرفی شد. محاسبه با واژه‌ها برای فعال‌سازی محاسبات جبری با زبان انسانی به‌جای استفاده از اعداد و با استفاده از مجموعه‌های فازی^۱ می‌باشد. به بیان دیگر این روش، نه روشی برای جایگزینی زبان منطقی ریاضی با زبان واژه‌ها بلکه پلی برای تبدیل زبان لفظی به زبان اعداد و باز تبدیل زبان اعداد به زبان انسانی است. داده‌های لازم برای اجرای این مدل شامل فاصله از بهم ریختگی‌ها (رودخانه و جاده)، رده مقاومتی زمین، رطوبت، شدت زلزله، زاویه شیب، ارتفاع دامنه، عمق خاک، ناهمواری دامنه و پوشش گیاهی می‌باشند. از میان داده‌های لازم، لایه رده مقاومتی زمین از روش شاخص مقاومت زمین‌شناسی^۲ و لایه‌های رطوبت و پوشش گیاهی از راه استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۷ و سنجنده (ETM⁺) به دست آمده‌اند.

تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر در تعیین مناطق دارای پتانسیل خطر و پراهمیتی همچون شهر تهران و برنامه‌ریزی برای پیشگیری از این مخاطره و تبعات آن اهمیت ویژه‌ای دارد. امید است اطلاعات حاصل از این‌گونه پژوهش‌ها بتوانند نقشی مفید و کاربردی در تعیین کاربری اراضی و برنامه‌ریزی آمایش سرزمین و در نتیجه کاهش صدمات و بلایای ناشی از زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله ایفا کند.

۱-۲- موقعیت و مشخصات کلی منطقه

تهران در حد فاصل منطقه کوهستانی و دشت قرار داشته و از سمت جنوب به کوه‌های ری، بی‌شهربانو و دشت‌های هموار شهریار، ورامین و از سمت شمال به واسطه کوهستان محصور شده است. منطقه مورد مطالعه نیز دارای توپوگرافی متنوع و اغلب نیمه کوهستانی تا کوهستانی بوده و بر گسل‌های فراوان و گاه‌گاهی با توانایی لرزه‌زایی بالا قرار دارد.

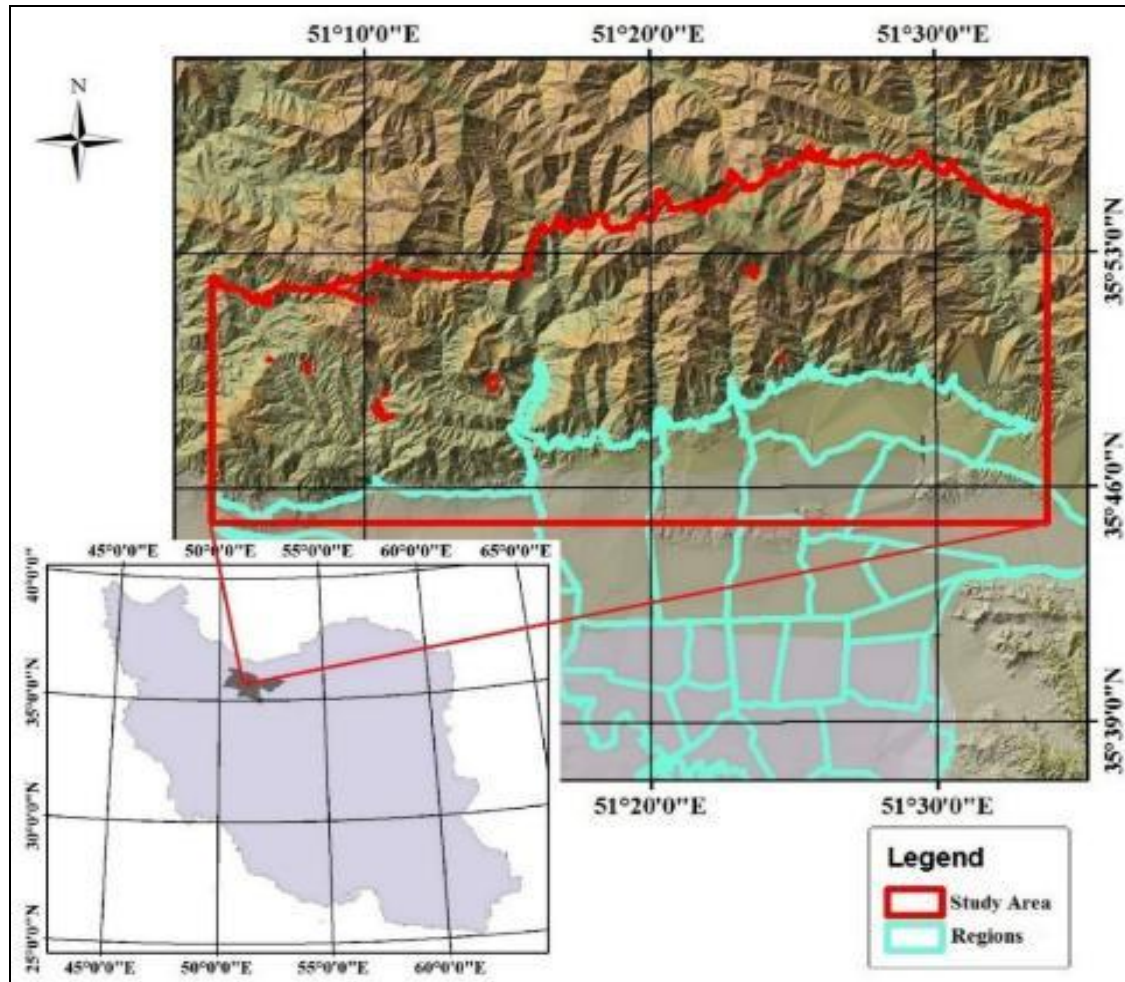
این منطقه، محدوده‌ای از شمال شهر تهران و نواری به پهنای ۱۰ کیلومتر در مجاورت مناطق شهرداری تهران، در حد فاصل طول جغرافیایی $51^{\circ}04'38''$ و $51^{\circ}33'48''$ شمالی و عرض

^۱ Fuzzy Sets

^۲ geological strength index

^۳ Enhanced Thematic Mapper

جغرافیایی $35^{\circ}44'56''$ و $35^{\circ}55'30''$ شرقی واقع شده و گستره‌ای به وسعت 730 کیلومتر مربع را پوشش می‌دهد (شکل ۱-۱).



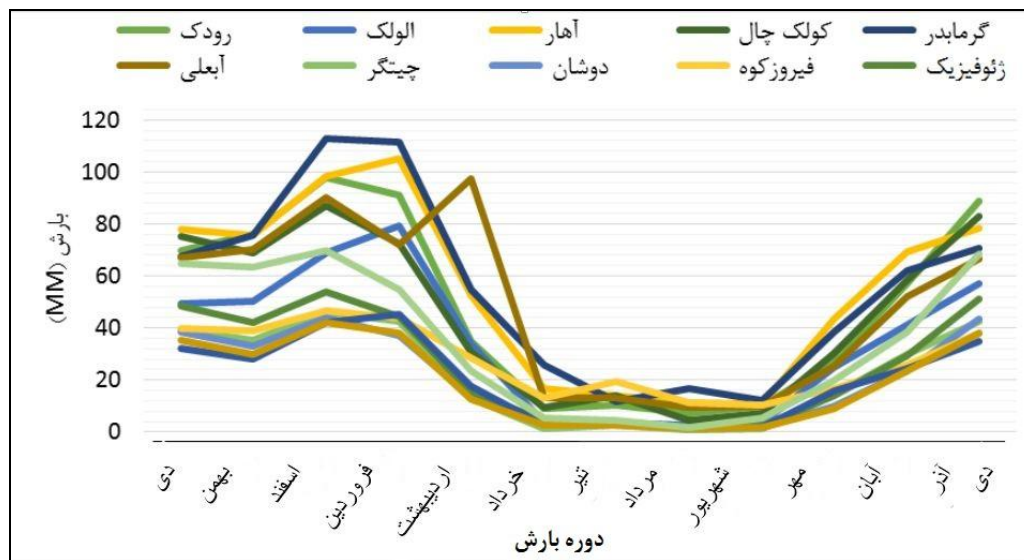
شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

۱-۳- اقلیم و آب و هوا

از آنجا که عناصر اقلیمی در ایجاد عوامل تأثیرگذار در زمین‌لغزش همچون تراکم پوشش گیاهی، فرسایش زمین و ... نقش اساسی ایفا می‌کنند، به بررسی این عوامل که شامل میزان بارش نزولات جوی، باد، روزهای یخبندان و ... پرداخته شده است.

عاملی که بیشترین تأثیر را در آب و هوای منطقه تهران دارد، ارتفاع می‌باشد. با کاهش ارتفاع از شمال به جنوب دما افزایش یافته و میزان بارندگی کمتر می‌شود. وجود این ارتفاعات باعث اعتدال آب و هوا در مناطق مرتفع و کوهستانی شمالی و نیمه خشک بودن آب و هوا در نقاط کم ارتفاع جنوبی شده

است. فصل بارندگی در این منطقه از مهر شروع و تا اسفندماه ادامه دارد. بارندگی در دی ماه به حداکثر میزان خود رسیده و در اوایل بهار رو به کاهش می‌گذارد و در ماه‌های مرداد و شهریور معمولاً باران نمی‌بارد. میزان متوسط بارندگی سالانه طی یک دوره ۳۰ ساله در ۱۰ ایستگاه موجود در این منطقه، ۲۲۰ میلی‌متر و میزان بارندگی سالانه بین ۲۰۰ الی ۴۰۰ میلی‌متر گزارش شده است. متوسط بارش در کوه‌های بخش شمالی محدوده، بیش از ۷۰۰ میلی‌متر است ولی به سمت نواحی جنوبی کاهش می‌یابد به‌صورتی‌که متوسط میزان بارندگی در سطح شهر تهران کم و به مقدار ۳۱۶ میلی‌متر در سال می‌رسد (شکل ۱-۲). داده‌های مرتبط با بارش از پایگاه‌های داده سازمان هواشناسی کشور و شرکت مادر تخصصی منابع آب ایران جمع‌آوری شده است.



شکل ۱-۲: متوسط آمار بارش ۱۵ ساله محدوده مورد مطالعه

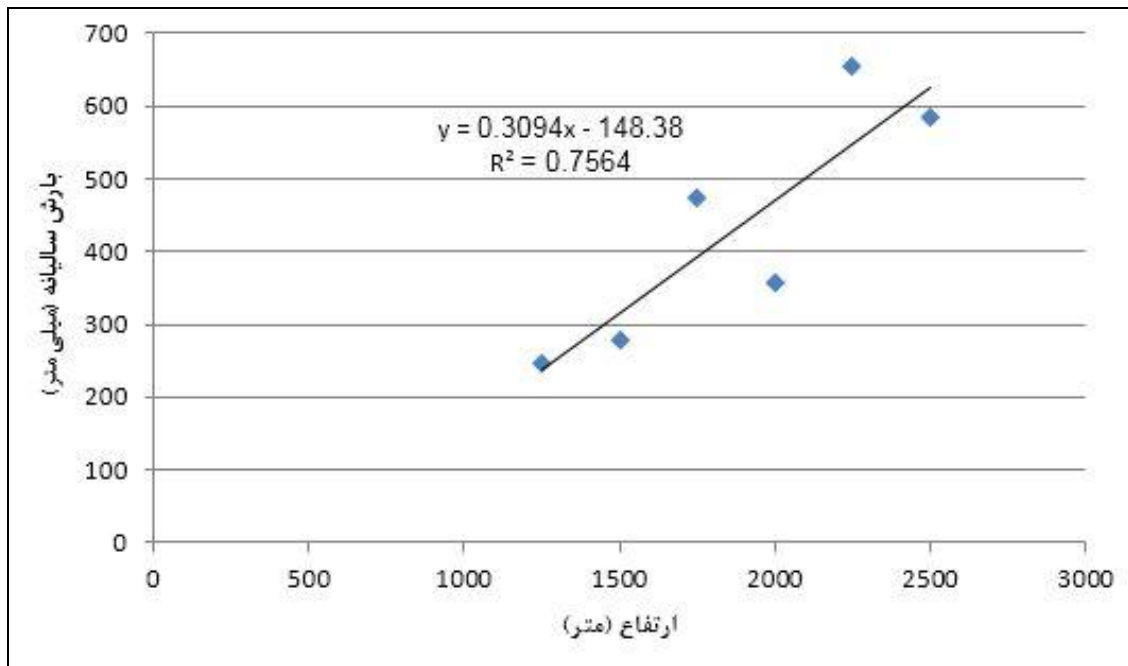
برای شناسایی مناطق دارای حداکثر میزان بارش، نقشه همبارش منطقه رسم شد. در تهیه نقشه همبارش، ایستگاه‌های باران‌سنجی محدوده مورد مطالعه به لحاظ سابقه آماری، کیفیت داده‌ها و پراکنش ایستگاه‌ها مورد بررسی قرار گرفت تا از توزیع مورد نیاز داده‌ها اطمینان حاصل شود (شکل ۱-۴).

با تقسیم‌بندی ارتفاعی منطقه به گونه‌ای که هر ایستگاه در یک طبقه ارتفاعی قرار گیرد و نماینده آن طبقه ارتفاعی باشد، نقشه همبارش ترسیم شد. در این تقسیم‌بندی از تابع شیب خط میزان بارندگی

هر ایستگاه در برابر ارتفاع ایستگاه مرتبط (شکل ۱-۳) برای ارزیابی رژیم بارش در منطقه البرز جنوبی استفاده شده است.

$$y = 0.3129x - 128.9 \quad 1-1:$$

در این رابطه X برابر با ارتفاع به متر و Y برابر با میزان بارندگی به میلی متر می باشد.



شکل ۱-۳: نمودار بارش در برابر ارتفاع

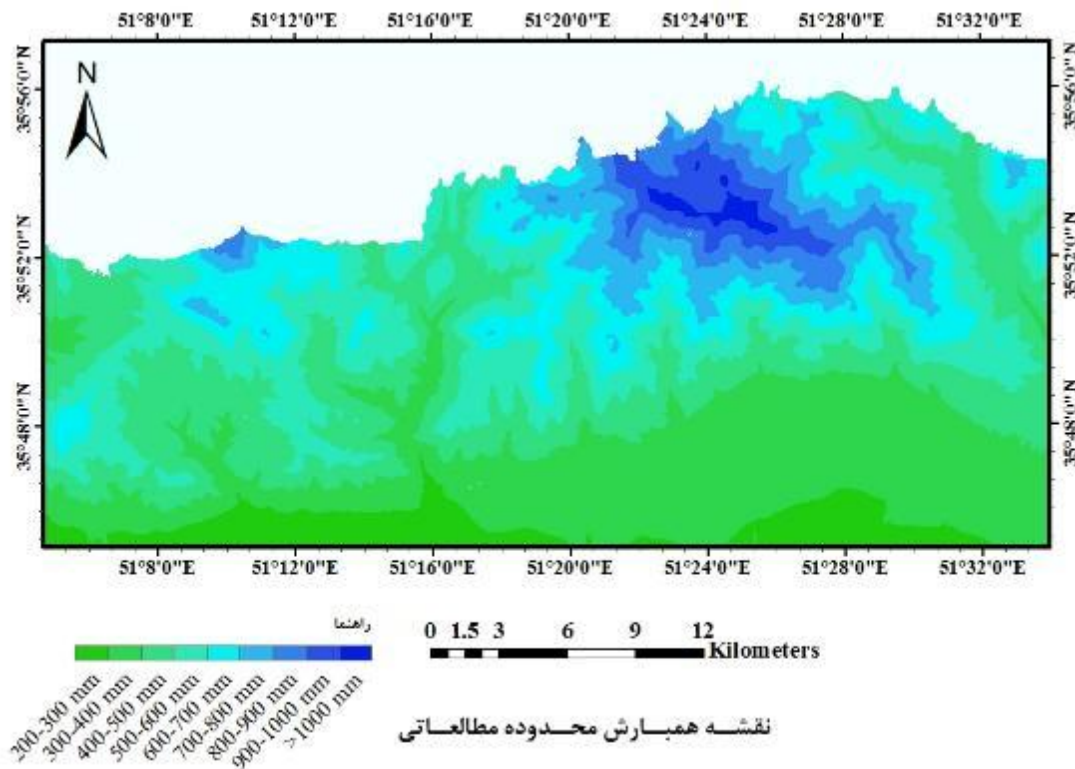
از نقطه نظر دما نیز می توان گفت گرم ترین ماه های سال، خرداد، تیر و مرداد و سردترین آن، آذر، دی و بهمن بوده و تعداد روزهای یخبندان نیز ۳۰ روز گزارش شده است.

از طبقه بندی های صورت گرفته توسط کسمایی (۱۳۷۰) و میرصانعی و مهدویفر (۱۳۸۵)، می توان دریافت که منطقه تهران با توجه به قرارگیری محدوده مورد مطالعه در سه اقلیم متفاوت با پراکندگی ارتفاعی، میزان بارش و دما، این منطقه به سه بخش اقلیمی زیر قابل تقسیم بندی می باشد:

- ۱- اقلیم کوهستانی شمالی: بر دامنه جنوبی، بلندی های البرز مرکزی در ارتفاع بالای ۳۰۰۰ متر قرار گرفته و آب و هوایی مرطوب و نیمه مرطوب و سردسیر با زمستان های بسیار سرد و طولانی دارد. بارزترین نقاط این اقلیم، دماوند و توچال است.

۲- اقلیم کوهپایه‌ای: این اقلیم در ارتفاع دو تا یک هزار متری از سطح دریا قرار گرفته و دارای آب و هوایی نیمه مرطوب و سردسیر و زمستان‌هایی به نسبت طولانی است. آب علی، فیروزه کوه، دماوند و سد امیر کبیر در این اقلیم قرار دارند.

۳- اقلیم نیمه خشک و خشک: با زمستان‌های کوتاه و تابستان‌های گرم، در ارتفاعات کم‌تر از ۱۰۰۰ متر واقع شده است. هر چه ارتفاع کاهش می‌یابد، خشکی محیط بیشتر می‌شود. قسمت جنوبی تهران، ورامین، شهریار و جنوب شهرستان کرج در این اقلیم قرار گرفته اند. اقلیم شهر تهران در مناطق کوهستانی، آب و هوای معتدل و در دشت، نیمه بیابانی است.



شکل ۴-۱: نقشه همبارش محدوده مورد مطالعه

۴-۱- ریخت شناسی

محدوده تهران در کوهپایه جنوبی رشته کوه البرز مرکزی قرار گرفته و شمالی‌ترین فرونشست ایران مرکزی محسوب می‌شود. کوه‌های البرز در شمال تهران متشکل از یک سری چین‌ها و راندگی‌های

خاوری- باختری که از بلندی‌های مرکزی البرز به روی هم و به سمت شمال و جنوب رانده شده است. تهران منطقه‌ای است با شیب از شمال به جنوب که به وسیله بلندی‌ها و فرونشست‌های خاوری- باختری به بخش‌های گوناگونی تقسیم می‌شود (بربریان و همکاران، ۱۳۶۴). از دیدگاه ریخت‌شناسی، پهنه تهران را می‌توان از شمال به جنوب به چند بخش زیر تقسیم کرد:

- البرز بلند
- چین‌های کناری البرز
- گستره کوهپایه تهران
- فرونشست شمالی ایران مرکزی (دشت تهران)

۱-۴-۱- البرز بلند:

گستره بلند البرز به وسیله گسل زمین‌لرزه‌ای مشا به سمت جنوب و بر روی چین‌های کناری البرز رانده شده است. سنگ‌های این منطقه به سبب چین‌خوردگی‌های شدید بر روی هم رانده شده است (بربریان و همکاران، ۱۳۶۴).

۱-۴-۲- چین‌های کناری البرز:

گستره چین‌های کناری البرز به وسیله گسل مشا در شمال از البرز بلند جدا شده و خود در راستای گسل شمال تهران بر روی گستره کوهپایه دشت تهران رانده شده است. چین‌های کناری البرز متشکل از پیرامون ۱۰ کیلومتر سنگ‌های سازند کرج بوده که به آرامی چین خورده‌اند. سنگ‌های سازند کرج در مجاورت راندگی شمال تهران با چین‌های برگشته بر روی آبرفت‌های گستره کوهپایه تهران رانده شده‌اند. در بخش خاوری، راندگی شمال تهران پس از گذشتن از دره شمشک و شمال ده‌سبو به گسل مشا نزدیک می‌شود (بربریان و همکاران، ۱۳۶۴).

۱-۴-۳- گستره کوهپایه‌ای:

تهران در فرونشست کوهپایه البرز بر روی نهشته‌های آبرفتی که از فرسایش شدید البرز در راستای گسل‌های گوناگون تشکیل شده، قرار دارد. این فرونشست از دو بخش کوهپایه در شمال (که به

وسيله راندى شمال تهران از چين‌هاى كنارى البرز جدا مى‌شود) و فرونشست شمالى ايران مركزى در جنوب تشكيل شده است. از ديده‌گاه فيزيوگرافى، در گستره كوهپايه تهران چهار بخش اساسى زير را مى‌توان تشخيص داد (بربريان و همكاران، ۱۳۶۴):

- بلندى‌هاى سعادت‌آباد - شميران - دزاشيب

اولين و شمالى‌ترين بخش فيزيوگرافى دشت تهران است كه به وسيله گسل شمال تهران از بخش چين‌هاى كنارى البرز، جدا شده است. نوع رسوبات سازنده اين بلندى‌ها آبرفت‌هاى A و B مى‌باشد. اين بلندى‌ها در بخش جنوبى به وسيله راندى نياوران بر روى فرونشست اوين - تجریش - نياوران رانده شده است (بربريان و همكاران، ۱۳۶۴).

- فرونشست اوين - تجریش - نياوران

اين فرونشست از شمال به وسيله گسل نياوران و از جنوب به وسيله گسل محموديه محدود مى‌شود و به سبب حركت در راستاى همين گسل فشارى است كه فرونشست اوين - تجریش - نياوران با راستاى تقريبى خاورى - باخترى به پايين افتاده است. نوع رسوبات اين منطقه بيشتر از آبرفت‌هاى C است (بربريان و همكاران، ۱۳۶۴).

- بلندى‌هاى ارمنيه (تپه‌هاى محموديه، الهيه، قيطريه و فرمانيه) و شيان - كوثر.

اين بلندى‌ها از قسمت شمالى به وسيله گسل محموديه بر روى فرونشست اوين - تجریش - نياوران رانده شده و حركت در راستاى گسل محموديه سبب ايجاد شده است. نوع رسوبات اين منطقه از نوع آبرفت‌هاى A و B مى‌باشد (بربريان و همكاران، ۱۳۶۴).

- فرونشست داوديه

اين فرونشست از شمال به بلندى‌هاى ارمنيه و شيان - كوثر و از سمت جنوب با گسل داوديه و به بلندى‌هاى طرشت - عباس‌آباد وصل مى‌شود. نوع رسوبات سازنده اين فرونشست بيشتر از آبرفت‌هاى B و C است (بربريان و همكاران، ۱۳۶۴).

- بلندى‌هاى طرشت - عباس‌آباد

جنوبی ترین بخش فیزیوگرافیکی گستره کوهپایه تهران را این بلندی‌ها تشکیل می‌دهند که از قسمت شمالی با گسل داودیه بر روی فرونشست داودیه رانده شده است. نوع رسوبات تشکیل دهنده بلندی‌های طرشت-عباس‌آباد بیشتر از آبرفت‌های A و B است (بربریان و همکاران، ۱۳۶۴).

۱-۴-۴- گستره فرونشست شمال ایران مرکزی (دشت تهران):

این بخش که قسمت‌های مرکزی و جنوبی شهر تهران، شهر ری و جنوب آن را فرا می‌گیرد از نهشته‌های آبرفتی جوان و کمی قدیمی‌تر پوشیده شده است و مخروط افکنه‌های رودخانه‌های کن، کرج و جاجرود، قسمت‌های جنوبی آن را می‌پوشانند. این گستره به چهار بخش فیزیوگرافیکی تقسیم می‌شوند (بربریان و همکاران، ۱۳۶۴):

• دشت تهران

از قسمت شمالی به بلندی‌های طرشت-عباس‌آباد و از سمت جنوب به وسیله گسل تهران محدود می‌شود. نوع رسوبات تشکیل دهنده دشت تهران را بیشتر آبرفت‌های C و D تشکیل می‌دهند (بربریان و همکاران، ۱۳۶۴).

• فرونشست ری

این فرونشست از سمت شمال به وسیله گسل شمال ری به دشت تهران وصل می‌شود و در راستای این گسل است که کناره جنوبی دشت تهران بر روی فرونشست ری رانده شده است. از قسمت جنوبی به وسیله گسل جنوب ری به فرونشست جنوب ری وصل می‌شود. نوع رسوبات تشکیل دهنده فرونشست ری، آبرفت‌های D می‌باشد (بربریان و همکاران، ۱۳۶۴).

• فرونشست جنوب ری

فرونشست جنوب ری (قسمت جنوبی دشت ری) از سمت شمال به وسیله گسل جنوب ری به فرونشست ری و از سمت جنوب به وسیله گسل کهریزک به فرونشست کهریزک وصل می‌شود. نوع رسوبات تشکیل دهنده فرونشست جنوب ری، آبرفت‌های D می‌باشد (بربریان و همکاران، ۱۳۶۴).

• فرونشست کهریزک

از شمال به گسل کهریزک و فرونشست جنوب ری وصل می‌شود. قسمت‌های جنوبی فرونشست جنوب ری در امتداد گسل کهریزک رانده شده است. نوع رسوبات سازنده فرونشست کهریزک را آبرفت‌های D تشکیل می‌دهد (بربریان و همکاران، ۱۳۶۴).

۱-۵- زمین‌شناسی منطقه

گستره مورد مطالعه به لحاظ وضعیت زمین‌شناسی در حاشیه جنوبی البرز مرکزی واقع است. این منطقه در تقسیم بندی النباخ در محدوده چین‌های کناری البرز قرار می‌گیرد. پهنه چین‌خورده کناری البرز بوسیله راندگی مشاء در شمال از البرز مرتفع^۱ جدا شده و خود در راستای راندگی شمال تهران بر روی گستره کوهپایه دشت تهران رانده شده است. البرز جنوبی کوه‌های شمالی ایران در بخش تحدب جنوبی خزر و نواحی پیرامون آن از سمنان تا قزوین را شامل می‌شود که دارای روند خاوری-باختری می‌باشد (درویش‌زاده، ۱۳۷۰).

اشتوکلین (۱۹۷۴) به نقل از آقانیاتی (۱۳۸۳)، کمر بند البرز را به طور کلی از شمال به جنوب به شش زون ساختمانی تقسیم کرده است:

۱- زون برآمده و بالازده گرگان^۲ زونی متشکل از سنگهای متبلور پی سنگ بوده که اغلب توسط رسوبات کم ضخامت دوران مزوزوئیک پوشیده شده است.

۲- زون نئوژن شمالی^۳ شامل کمر بند چین خورده ای از سنگهای دوران مزوزوئیک و مخصوصاً نئوژن بوده که توسط رخساره های مولاس دنبال می‌شود. این زون با یک روراندگی در قسمت جنوبی خود از زون شمالی- مرکزی جدا می‌شود.

۳- زون شمالی- مرکزی^۱ این زون با رسوبات کم عمق که تقریباً از کامبرین آغازی تا کرتاسه بالائی ادامه دارد مشخص می‌شود. ضمناً دوره های کوتاه فعالیت ولکانیکی و تغییر شکل های ساختمانی در دوران سنوزوئیک از مشخصات دیگر آنست.

¹ High Alborz

² Gorgan-Spur

³ Northern Neogene zone

۴- زون جنوبی - مرکزی² دارای رسوبات کم عمق متعلق به قبل از دوران سنوزوئیک به صورتی که در زون ۳ وجود دارد توسط ولکانیک‌های بسیار ضخیم دوران سنوزوئیک خصوصاً ائوسن پوشیده شده است. رورانگی مهم بعد از ائوسن در این زون مشاهده می‌شود.

۵- زون جنوبی ترشیری³ که دارای ولکانیک‌های بسیار ضخیم ائوسن و رسوبات خشکی نئوژن است. این زون همچنین با رورانگی ملایم به سمت جنوب مشخص می‌شود.

۶- زون بالآمده پیشانی جنوبی⁴ دارای رسوبات کم‌عمق و سنگ‌های ولکانیکی بوده، مراحل چین خوردگی از کرتاسه آغازی به بعد و گسل خوردگی های عادی و معکوس در آن مشهود است.

با توجه به تقسیم‌بندی اشتوکلین، محدوده مورد مطالعه در زون جنوبی- مرکزی قرار داشته و رخنمون‌های آن را گدازه‌های آتشفشانی ائوسن (توف سبز) و سنگ‌های آتشفشانی هستند که ارتفاعات بلند شهر تهران را تشکیل می‌دهند. این رخنمون‌ها با رسیدن به دشتی آبرغتی که از رسوبات قدیمی و جوان تشکیل شده است، مدفون می‌گردند (به نقل از آقانباتی، ۱۳۸۳).

سازندهای موجود در محدوده مطالعاتی شامل بخش‌های زیر بوده و نقشه واحدهای زمین‌شناسی در شکل ۱-۵ نمایش داده شده‌اند:

۱-۵-۱- سازند کرج

مقطع نمونه آن در دره کرج و در جاده چالوس قرار دارد. به نظر واتان و یاسینی (۱۹۶۹) (به نقل از مغفوری مقدم و همکاران، ۱۳۸۱)، این سازند تقریباً در تمام حجم خود از مواد آذرآواری زیردریایی تشکیل شده، که همراه آن از طرفی مواد آتشفشانی و نفوذی نظیر گدازه، دایک، سیل، آگلومرا و غیره و از طرف دیگر مواد رسوبی مانند شیل و آهک دیده می‌شود و چیزی که بیش از همه در این سازند اهمیت دارد توف‌های سبزرنگی است که در نتیجه رسوب مواد آتشفشانی حاصل از انفجار آتشفشانی در نزدیکی سطح دریا می‌باشد.

¹ North-Central Zone

² Southern-Central Zone

³ Southern Tertiary Zone

⁴ Southern Frontal uplift

این سازند توسط ددوال به ۵ بخش مجزا تقسیم شده است که از پایین به بالا عبارتند از:

۵- شیل‌های کندوان

۴- بخش توفی فوقانی

۳- شیل‌های آسارا

۲- بخش توفی میانی

۱- بخش شیل تحتانی

مشخصات لیتولوژی واحدهای مذکور عبارتند از (مغفوری مقدم و همکاران، ۱۳۸۱):

۱- بخش شیل تحتانی از شیل‌های آهکی و سیلیسی خاکستری تیره تشکیل شده است و در آن قطعات توفی، همراه با لایه‌های توف خاکستر و توف شیشه‌ای به رنگ سبز خاکستری مشاهده می‌شود.

۲- بخش توف‌های میانی دارای توف‌های ضخیم لایه شیشه‌ای و توف‌های خاکستر به رنگ سبز مایل به آبی تا سبز روشن به همراه میان لایه‌هایی از آهک قابل تشخیص است.

۳- بخش شیل‌های آسارا که متشکل از شیل‌های آهکی با لایه‌های فرعی از توف و شیل توفی است که دارای فسیل‌های گیاهی نیز می‌باشد.

۴- بخش توف فوقانی که از جنس توف سبز بوده و داخل آن لایه‌هایی از شیل توفی، ماسه سنگ توف‌دار و شیل آهکی دیده می‌شود.

۵- بخش شیل‌های کندوان که در شمال گردنه کندوان قرار داشته و شامل شیل‌های آهکی و آهک-های قیری و گه‌گاه به شدت متخلخل و همراه با ژئپس است.

در این سازند واحدهای مختلفی تشخیص داده شده است که شرح مختصری از هر یک در ذیل داده شده است (نقشه زمین‌شناسی تهران ۱:۱۰۰۰۰۰):

- واحد E_5^{ts} : شامل شیل و سیلتستون است که زمین‌های نرم و تیره رنگی را تشکیل می‌دهند ضخامت آنها ۱۰۷ متر اندازه‌گیری شده است.

- واحد E_2^{ts} : از ماسه سنگ توفی و توف با میان لایه‌های سنگ آهکی تشکیل شده که ضخامت در حدود ۲۰۰ متر دارد.

- واحد E_1^{tsl} : این واحد شامل توف سبز رنگ، توفیت، سیلتستون و سنگ آهک به ضخامت حدود ۱۰۰ متر است که سن ائوسن میانی دارد.

- واحد E_1^{st} : این واحد شامل ماسه سنگ توفی - توف سبز رنگ به ضخامت حدود ۳۰ متر است.

- واحد E_1^{ss} : این واحد از سیلتستونهای بیتومین دار، شیل و توفیت‌های آهکی با لایه بندی نازک تا متوسط تشکیل شده و دارای آثار گیاهی در شیلها و سیلتستونها است ضخامت آن بیش از ۱۰۰ متر است.

- واحد E_1^{shst} : این واحد شامل تناوبی از شیل و توف است بخشهای شیلی به رنگ خاکستری تیره و بخشهای توفی روشن رنگ و برجسته می‌باشند و بیشتر از نوع خاکستر توف با ترکیب اسیدی هستند.

- واحد E_1^r : شامل توف‌های سیلیسی، خاکستر توف، گدازه‌های ریوداسیتی به‌حالت توده‌ای و به رنگ سفید- سبز روشن و کرم و در برخی نقاط همراه با شیل است.

- واحد E_2^r : شامل توفهای سبز بالای بندی خوب است که ضخامت آنها تا حدود ۳۰۰ متر ذکر شده است.

- واحد E_3^{ss} : شامل شیل و توفیت است که به‌طور هم‌شیب و با سطح تماس تدریجی بر روی توف‌های سبز رنگ E_2^t قرار گرفته است.

- واحد E_3^b : شامل توف برش به حالت توده‌ای، کریستال لیتیک توف سبزرنگ و در برخی نقاط با کنگلومرا و ماسه سنگ توفی است.

- واحد E_3^{sc} : شامل ماسه‌سنگ، ماسه‌سنگ توفی با میان لایه‌های کنگلومرا و شیل در کل به رنگ قهوه‌ای روشن گراییده به سبز با لایه‌بندی متوسط و ضخیم است.

- واحد E_1^{ab} : شامل سنگ‌های برشی هالو کلاستیکی متخلخل زیردریایی در کل به رنگ سبز تیره است.

- واحد E_2^t : این واحد بر روی توف‌های توده‌ای همراه با سیلت‌های واحد E_1^t قرار گرفته و شامل انواع مختلف توف‌های سبز رنگ از جمله لیتیک توف، کریستال توف، خاکستر توف، توف شیشه‌ای و انواع حدواسط آن‌ها به همراه توفیت و توف آهکی، سنگ آهک ناخالص و توف‌های نواری است و داشتن لایه‌بندی خوب و داشتن لایه‌بندی خوب و نداشتن شیل و گدازه‌های آتشفشانی از واحد زیرین قابل تفکیک است.

- واحد E_1^{tssv} : شامل توف‌های سبز رنگ توده‌ای و شیل که در برخی نقاط گدازه‌های داسیتی و گدازه‌های زیر دریایی برشی و با ترکیب بازیگ را به همراه دارد.

- واحد E_3^{tc} : این واحد شامل توف سبز رنگ و سیلستون با ضخامت تقریبی ۲۷۸ متر می‌باشد.

- واحد E_1^{tsh} : بر روی توف‌های اسیدی واحد E_2^r قرار داشته و شامل تناوبی از توف سبز رنگ و شیل است. ضخامت تقریبی آن ۲۵۰ متر تخمین زده شده است.

- واحد E_1^{da} : شامل گدازه‌های داسیتی-ریوداسیتی، توف برش و لیتیک توف اسیدی است. این واحد صخره‌های برشی را تشکیل داده است و در برخی نقاط همراه با آن شیل نیز دیده می‌شود.

- واحد E_5^{tb} : شامل توف‌های لایه‌بندی شده، همراه با سیلستون و توفیت است.

۱-۵-۲- سازند هزار دره (آبرفت‌های سری A)

نام این آبرفت‌ها از ریخت‌شناسی رسوبات کنگلومرای شرق تهران که در اثر فرسایش و جریان آب، دره‌ها و شیارهای متعددی پیدا کرده‌اند، اخذ شده و ریبند در ۱۹۵۵ آن را با نام رسوبات قدیمی A نام‌گذاری کرده است. سازند A قدیمی‌ترین سازند آبرفتی در گستره کوهپایه‌ای تهران است که نسبت به سایر سازندها بیشترین ارتفاع توپوگرافی را دارد. سیمانی شدن کربنات‌ها در این سازند، در مقایسه با سایر واحدهای جوان‌تر به خوبی صورت گرفته که باعث مقاومت بالای مکانیکی این سازند شده است (محمدی اصل، ۱۳۹۰).

این سازند از لحاظ سنگ‌شناسی از کنگلومرا تشکیل یافته و انترکلاسیون‌هایی از ماسه سنگ به‌ویژه مادستون در بخش‌های زیرین آن دیده می‌شود (مغفوری مقدم و همکاران، ۱۳۸۱).

به‌طور کلی ویژگی سازند هزار دره عبارت از ضخامت زیاد، طبقه‌بندی منظم، حد متوسط قطعات بین ۱۰ تا ۲۵ سانتی‌متر، رنگ آن خاکستری روشن و از دو بخش تشکیل یافته که بخش زیرین از کنگلومرای بسیار سخت شده و بخش بالایی آن پنجه کنگلومرای با رسوبات ناپیوسته است (جدول ۱-۱).

۱-۵-۳- سازند کهریزک (آبرفت‌های سری B)

نام این سازند از دهکده کهریزک در جنوب تهران گرفته شده است. این سازند به صورت دگرشیب بر روی سطوح فرسوده سازند آبرفتی چین‌خورده هزاردره قرار گرفته است و امروزه به همان صورت اولیه در فرونشست اصلی خود برجاست. از نظر ویژگی‌های رسوب‌شناسی با سازند هزار دره تفاوت‌های بسیاری دارد و نسبت به آن ناهمگن‌تر است. علاوه بر آن اندازه مواد تشکیل دهنده آن یکسان نبوده و گه‌گاهی تخته سنگ‌هایی با ابعاد تا دو متر مکعب نیز در آن دیده می‌شود. این سازند با داشتن ویژگی‌های زیر از سازند هزار دره قابل تشخیص است (مغفوری مقدم و همکاران، ۱۳۸۱):

- قرارگیری تقریباً افقی لایه‌ها
- داشتن سیمان سست، استحکام کم و عدم جورشدگی مواد سازنده.
- تفاوت قلوه سنگ‌های آن از نظر اندازه، جنس و منشأ با یکدیگر، (جدول ۱-۱).

۱-۵-۴- آبرفت‌های تهران (آبرفت‌های سری C)

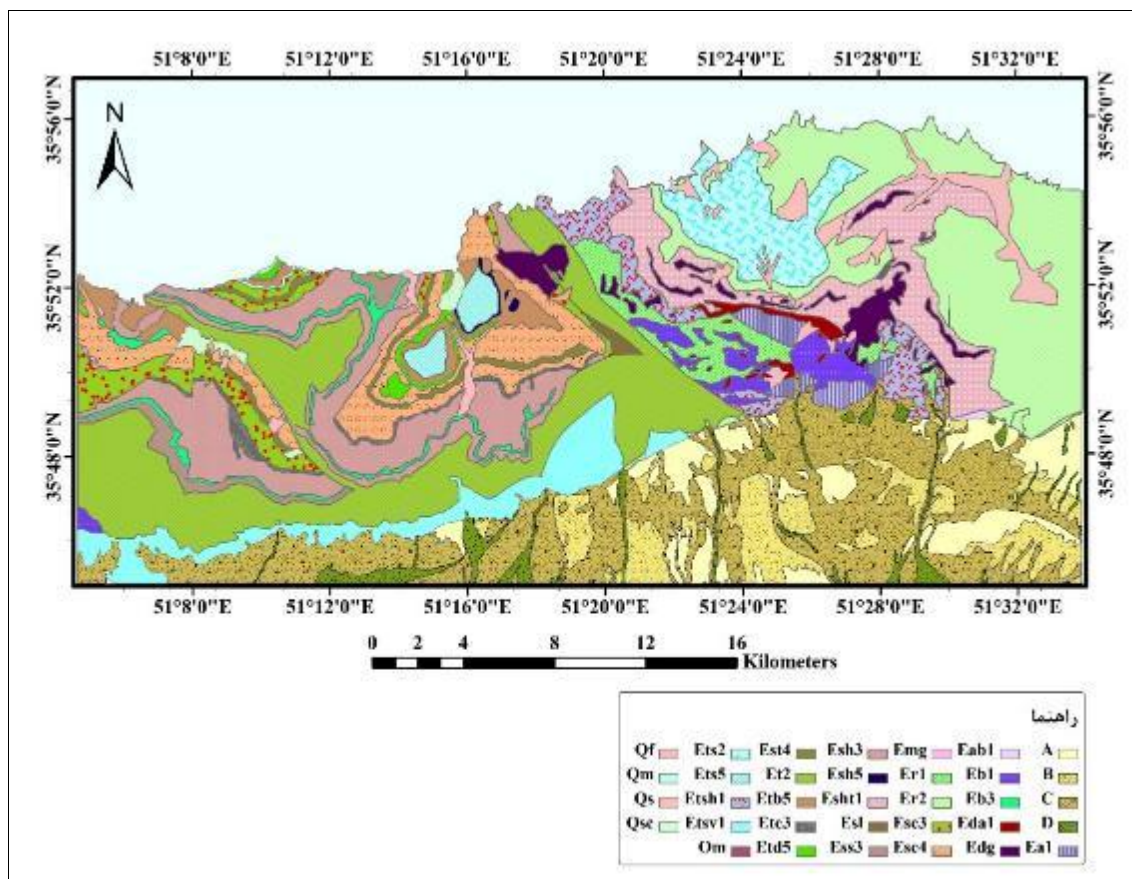
آبرفت‌های تهران اغلب از فرسایش و رسوب مجدد سازند کهریزک نتیجه شده‌اند. این آبرفت‌ها دارای لایه‌بندی بهتر و یکنواختی بیشتری نسبت به سازند کهریزک بوده و در آن افق‌هایی از کنگلومرا و لاتریت نیز دیده می‌شود. به‌علاوه حاوی لایه‌هایی از ماسه‌های دانه درشت، شن و قلوه‌سنگ به‌صورت بین لایه‌ای هستند که از تخریب توف‌های سبز البرز ناشی می‌شوند، (جدول ۱-۱) (مغفوری مقدم و همکاران، ۱۳۸۱).

۱-۵-۴- آبرفت‌های عهد حاضر (رسوبات سری D)

از نوع رسوبات مخروط افکنه‌ای، سیلابی، جور نشده و حاصل هوازدگی و نهشت دوباره آبرفت‌های قدیمی تر به ویژه سازند کهریزک است. این آبرفت‌ها به تقریب افقی و رسوبات مناطق نیمه‌خشک‌اند و جنس آن از ابتدا تا انتهای دشت متفاوت است ولی از نظر دانه‌بندی، نسبت به سازند کهریزک، نظم بیشتری دارند. مخروط افکنه‌های کرج و جاجرود بخشی از سازند آبرفتی تهران هستند که به داشتن آبخوان غنی شاخص می‌باشند (جدول ۱-۱).

جدول ۱-۱: مقایسه آبرفت‌های تهران با یکدیگر از دیدگاه ریبن (برگرفته از مغفوری مقدم و همکاران، ۱۳۸۱).

سازند				عامل
D	C	B	A	
۱۰ هزار سال	۵۰ هزار سال	۷۰۰ هزار سال	۵ میلیون سال	سن
آبرفت عهد حاضر	فن آبرفتی	کنگلومرای هتروژن	کنگلومرای هوموژن	لیتولوژی
سیمانی نشده	کمتر از A و نه سختتر	متغییر، اما معمولاً سیمان ضعیف	سیمانی شده و سخت	سیمان‌شدگی
رس بین چندین متر	رس بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر	بسیار متغییر، تا چندین متر	رس بین ۱۰۰ تا ۲۵۰ میلی‌متر	اندازه ذرات
۰	۰	۰-۱۵	۰-۹۰	شیب لایه (درجه)
<۱۰	بیشینه ۶۰	بیشینه ۶۰	بیشینه ۱۲۰۰	ضخامت (متر)
رودخانه‌ای	رودخانه‌ای	یخچالی رودخانه‌ای و یخچالی	رودخانه‌ای	محیط رسوبی
آبرفت عهد حاضر	سازند آبرفتی تهران	سازند آبرفتی هتروژن تهران	سازند رسوبی هزاردره	اسامی دیگر (محلی)
رسوبات رودخانه‌ای قدیمی و جدید	شمال و مرکز تهران	شمال تهران	شمال تهران	محل نمونه



شکل ۱-۵: نقشه واحدهای زمین‌شناسی موجود در محدوده مورد مطالعه (نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ تهران)

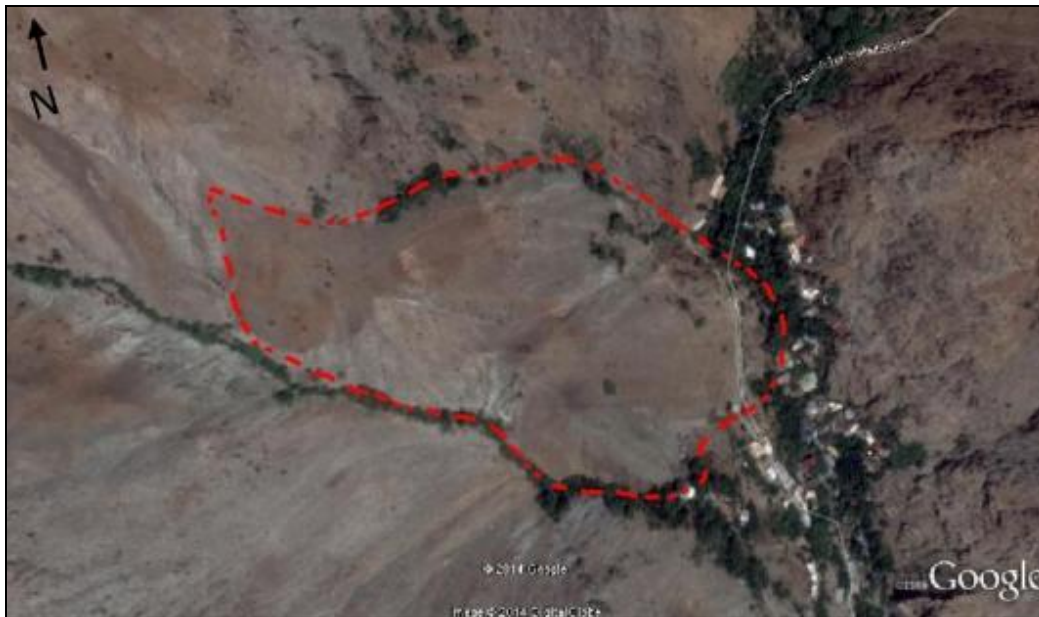
۱-۶- زمین‌لغزش‌های محدوده مطالعاتی

از آنجا که وقوع زمین‌لغزش حاکی از وجود شرایط محیطی مساعد در محدوده زمین‌لغزش می‌باشد، مطالعه لغزش‌های موجود در محدوده مطالعاتی می‌تواند در درک بهتر نقش عوامل ایجاد این پدیده بسیار سودمند است.

مطالعه مستقیم لغزش‌ها دارای اهمیت بسزایی است. چون فعالیت لغزش در هنگام زلزله می‌تواند افزایش یابد. از همین رو بازدید میدانی از زمین‌لغزش‌ها در مناطق دربند، ولنجک، درکه و فرحزاد به عمل آمده است. در این بازدیدها تعدادی از زمین‌لغزش‌های بارز در محدوده شناسایی و به منظور مقایسه با داده‌های اخذ شده از سازمان جنگل‌ها و مراتع ثبت شدند.

در این بازدیدها انواعی از زمین‌لغزش شامل لغزش‌های چرخشی خاکی و سنگی، واژگونی و جریان خاکی مشاهده شد که به شرح زیراند:

در منطقه دربند و در کوهرفت ناشی از توفهای ریولیتی سازند کرج زمین لغزشی با وسعت ۱۰ هکتار مشاهده شد. این زمین لغزش از نوع چرخشی خاکی بوده و به دلیل وجود دو رشته چشمه در دیواره آن احتمال داده می شود که سطح لغزش اشباع بوده باشد، البته تأثیر گسل در به وجود آمدن این چشمه ها و خود لغزش نیز دور از ذهن نیست (شکل ۶-۱ و ۷-۱).



شکل ۶-۱: زمین لغزش موجود در محدوده دربند



شکل ۷-۱: زمین لغزش محدوده دربند (دید عکس به سمت غرب)

جریان خاکی مشهود در شکل‌های (۸-۱ و ۹-۱) نیز همچون لغزش چرخشی شکل (۷-۱) در منطقه دربند و در کوهرفت توفهای ریولیتی سازند کرج واقع شده است و به دلیل وجود چشمه دارای محتوای رطوبت بالا بوده و وجود جاده در پاشنه این لغزش و ایجاد فرسایش می‌تواند یکی از علت‌های مؤثر در این لغزش بوده باشد.



شکل ۸-۱: لغزش جریان‌ی خاکی دربند (عکس ماهواره‌ای از نرم‌افزار Google Earth)



شکل ۹-۱: لغزش جریان‌ی خاکی دربند (دید عکس به سمت غرب)

در منطقه فرحزاد دو دسته ناپیوستگی در توف‌های برشی با میان‌لایه‌های آهکی سازند کرج مشاهده شده است که با توجه به بلوک‌های افتاده بر زمین نوع مکانیزم سقوط، واژگونی تشخیص داده شده است (شکل ۱-۱۰). قطعات سنگی واژگون شده دلیل بر فعال بودن این لغزش هستند.



شکل ۱-۱۰: لغزش واژگونی در محدوده فرحزاد (دید عکس به سمت شمال شرق)

در منطقه فرحزاد وجود واریزه‌های خاکی مطابق در پای یکی از شیب‌های حاشیه جاده خبر از ریزش‌های مداوم در این نقطه می‌دهد. ایجاد پستی و بلندی در دیواره حاشیه جاده در اثر فرسایش متأثر از تعریض جاده و همچنین فرسایش تفریقی در این نقطه است. در شکل (۱-۱۱) تأثیر پوشش گیاهی در حفظ خاک نیز به خوبی رویت است.



شکل ۱-۱۱: ریزش خاکی در محدوده دره فرحزاد (دید عکس به سمت شرق)

در محدوده ولنجک و در مجاورت ایستگاه دوم تله کابین توچال زمین لغزشی در سازند شیل آسارا با ترکیبی از شیل سیلیسی و آهکی و توفهای سبز رنگ قرار دارد. با وجود چندین رشته چشمه در بالا دست و پایین دست این لغزش که حاکی از بالا بودن سطح ایستابی در اطراف این لغزش دارد، می-توان نتیجه گرفت که محتوای رطوبت در این لغزش بالا است. لغزش نام برده از نوع مرکب با مصالح خاکی و سنگی و به وسعت تقریبی ۱۳ هکتار می باشد که باعث خمیدگی و جابه جایی مصالح سنگی شده است (شکل ۱-۱۲).



شکل ۱-۱۲: الف- تصویر ماهواره ای زمین لغزش ولنجک (نرم افزار Google Earth). ب- عکس زمین لغزش ولنجک و

چشمه های واقع در بدنه لغزش (دید عکس به سمت جنوب غربی)

در دره فرحزاد نیز زمین لغزش‌های متعددی روی داده است. از مهمترین زمین لغزش‌های این پهنه می‌توان به زمین لغزش‌های رخ داده در شهرک‌های مجلس و شهرک نفت اشاره نمود (شکل ۱-۱۳). این زمین لغزش‌ها که به دلایل انسانی و عمدتاً ساخت و ساز در مناطق پرشیب و فاقد اصول زیربنایی کافی و عدم مقاوم‌سازی در این مناطق روی داده است، باعث تخریب منازل در برخی از این شهرک‌ها شده است (شکل ۱-۱۴).

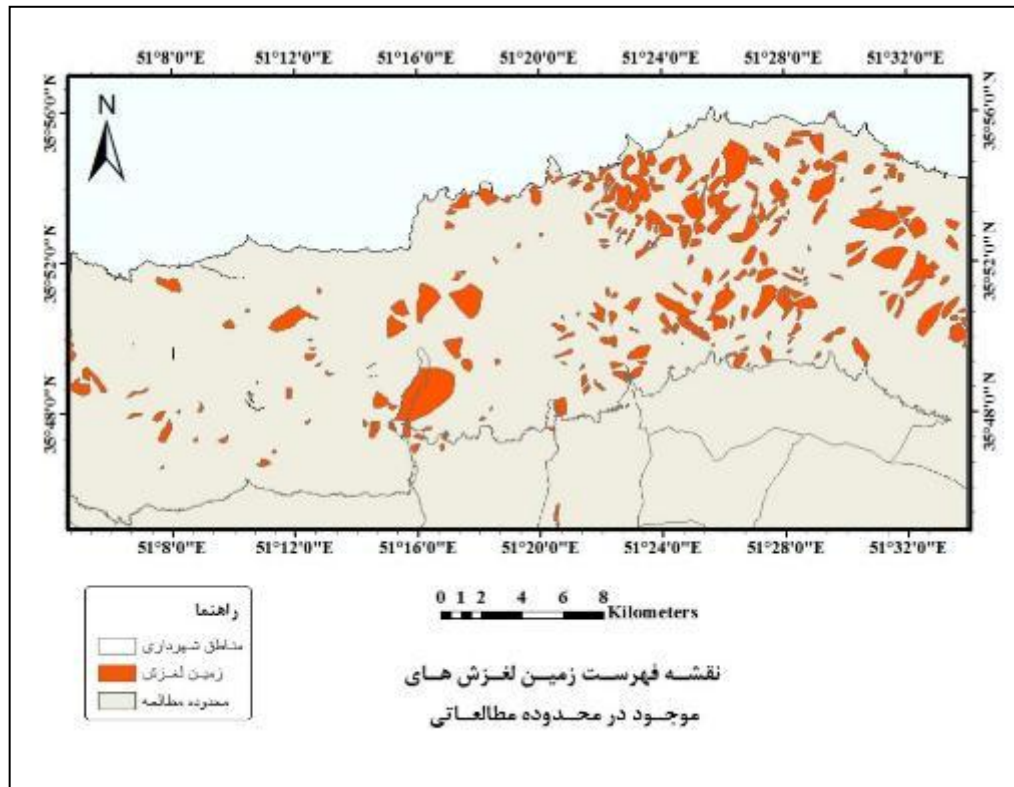


شکل ۱-۱۳: پهنه‌های لغزشی دره فرحزاد و شهرک مجلس (نرم‌افزار Google Earth)



شکل ۱-۱۴: منازل تخریب شده در اثر لغزش در شهرک مجلس (صفاری و مقیمی، ۱۳۸۷)

پس از پایان بازدیدهای میدانی و بررسی‌های تکمیلی نقشه زمین‌لغزش‌های موجود در منطقه ترسیم شد. بخش زیادی از زمین‌لغزش‌های ترسیم شده از پایگاه داده سازمان جنگل‌ها و مراتع استان تهران کسب و پس از تصحیح در نقشه استفاده شده است (شکل ۱-۱۵).



شکل ۱-۱۵: نقشه فهرست زمین‌لغزش‌های موجود در منطقه

۱-۷- لرزه‌خیزی منطقه:

حرکات پوسته زمین باعث تغییر شکل پوسته زمین و گسیختگی دامنه کوه‌ها شده، تکان‌ها و ارتعاشات بر وضعیت تنش بر سنگ‌ها تأثیر می‌گذارند و معمولاً تنش‌های برشی را افزایش می‌دهند. بعضی مواقع مقاومت برشی کاهش می‌یابد که نتیجه آن بر هم زدن پایداری دامنه‌هاست. با توجه به کاهش شدت زلزله با فاصله گرفتن از کانون لرزه‌ای می‌توان نتیجه گرفت که زمین‌لغزش‌های تحریک زلزله اکثراً در رشته‌کوه‌های با فعالیت تکتونیکی جوان و همچنین در امتداد گسل‌های فعال به وقوع می‌پیوندد. از این رو بررسی فعالیت تکتونیکی منطقه دارای نقش مؤثری در پیش‌بینی مناطق حساس به زمین‌لغزش دارد. در شکل‌گیری ساختارهای چین‌خورده البرز عواملی همچون برخورد صفحات

ایران و توران، عملکرد گسل‌های راندگی و در نهایت عملکرد گسل‌های امتدادلغز شمال باختری- جنوب باختری در البرز باختری و شمال خاوری- جنوب باختری در البرز خاوری نقش داشته‌اند. ساختارهای زمین‌شناختی البرز اغلب از نوع چین‌های ملایم و ناهم‌هنگ با روند خاوری باختری است. در بخش باختری البرز، ساختارها روند شمال باختری- جنوب باختری است. این دو روند ناهمسان در البرز مرکزی به یکدیگر رسیده‌اند (آقانباتی، ۱۳۸۳).

فعالیت تکتونیکی در این منطقه با کوهزایی آلپ شروع شده و در اواخر کرتاسه یک فشردگی شرقی- غربی بین البرز (در شمال) و آنتی‌البرز (در جنوب) به وجود آمد. از این رو تهران و مجموعه شهرهای پیرامون آن در این گستره، تحت تأثیر گسل‌های فعال و لرزه‌زا می‌باشند (محمدی اصل، ۱۳۹۰).

۱-۷-۱- گسل‌های اصلی موجود در منطقه

گسل‌های اصلی لرزه‌ای گستره تهران همگی گسل‌های مهم کوهپایه‌ای^۱ و سازنده پستی و بلندی‌های روی زمین می‌باشند؛ بنابراین پهنه اصلی زمین‌لرزه از جنبش دوباره این گسل‌ها در گستره تهران خواهد بود.

بربریان و همکاران (۱۳۶۴)، این گسل‌ها را بر اساس طول آن‌ها به سه دسته به شرح زیر تقسیم کردند:

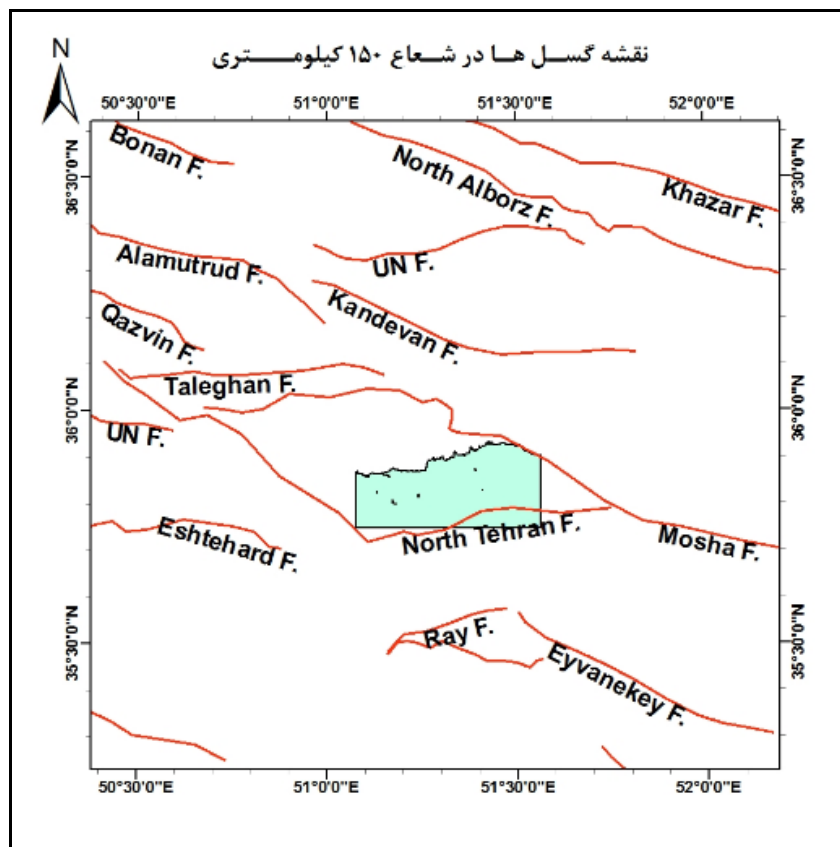
- گسل‌های اصلی (با طولی بیش از ۱۰ کیلومتر)؛

- گسل‌های متوسط (با طولی میان ۲ تا ۱۰ کیلومتر)؛

- گسل‌های فرعی (با طول کمتر از ۲ کیلومتر).

گسل‌های با طول بیش از ۱۰ کیلومتر گسل‌های جوانی هستند که در آبرفت‌های گستره تهران دیده می‌شوند. سن جوان و طول زیاد این گسل‌ها آنها را جزو گسل‌های لرزه‌زا و خطرناک گستره تهران و پیرامون آن قرار داده است (شکل ۱-۱۶).

^۱ - Mountain-bordering



شکل ۱-۱۶: گسل‌های اصلی واقع در شعاع ۱۵۰ کیلومتری محدوده مطالعاتی (حسامی و همکاران، ۱۳۸۲)

۱-۱-۷-۱- گسل مشا

گسل مشا با نام‌های دیگری همچون گسل میگون- مشا و راندگی اصلی نیز شناخته می‌شود. این گسل، گسلی لرزه‌زا و طویل است که در راستای آن گستره بلند البرز در شمال بر روی گستره چین-های کناری البرز در جنوب رانده شده است. این گسل با توجه به تمام چین‌های گسلی و خش‌لغزهای موجود در سطح آن به همراه جابه‌جایی آبراهه‌ها از نوع رانده تا معکوس با مولفه امتدادلغز چپ‌گرد تشخیص داده شده است. این گسل دارای راستای خاور جنوب خاوری- باختر شمال باختری است. شیب گسل مشا همیشه به سمت شمال و حدود ۳۵ تا ۷۰ درجه است. درازای تقریبی این گسل حدود ۴۰۰ کیلومتر بوده و شاید از جنوب باختری شاهرود در خاور تا آبیک در باختر امتداد داشته باشد. دریاچه آب شیرین تار در ۱۵ کیلومتری خاور شهرستان دماوند در راستای این گسل، در ارتفاع

۳۰۰۰ متری تشکیل شده است. . فعالیت متناوب آن سبب همجواری رسوبات پالئوزوئیک با عهد حاضر گردیده است. داده‌های گردآوری شده تا این زمان نشان می‌دهد که زمین‌لرزه‌های بسیاری به دلیل حرکت این گسل ایجاد شده است (بربریان و همکاران، ۱۳۷۱) زلزله‌های نسبت داده شده به این گسل در جدول (۲-۱) نشان داده شده است.

جدول ۲-۱: زلزله‌های نسبت داده شده به گسل مشا (محمدی اصل، ۱۳۹۰)

شدت	بزرگی	سال	زمین لرزه	گسل
VIII	۶/۵	۱۶۶۵	گستره دماوند	مشا
؟	؟	۱۸۰۲	دماوند-مازندران	
؟	؟	۱۸۱۵	گستره دماوند	
IV	۷/۱	۱۸۳۰	دماوند- شمیرانات	
VIII		۱۸۳۰	دماوند- شمیرانات	
VI	۵/۲	۱۹۳۰	آه- مبارک آباد	
		۱۹۴۷	لواسانات	
VI	۴/۰	۱۹۵۵	مشا	
؟	۴/۳	۱۹۷۴	؟(کانون این زمین‌لرزه روی گسل مشا قرار دارد)	

۲-۱-۷-۱- گسل شمال تهران

این گسل شامل پهنه گسل‌هایی است که به صورت نردبانی- پلکانی در قسمت‌های شمالی و باختری تهران با طول تقریبی ۹۰ کیلومتر از شرق دره لشگرک (ده سبو) در شمال خاوری تا روستای کاظم-آباد در کوهپایه شمال تهران قرار گرفته است و نزدیک‌ترین گسل لرزه‌زا به تهران محسوب می‌شود (جدول ۲-۱). این گسل دارای شیب متغییر از 10° تا 80° است. سازوکار گسل شمال تهران، فشاری و راستالغز چپگرد است و شامل ۳ بخش است که از خاور به باختر عبارتند از: گسل لشگرک به طول ۲۵

کیلومتر، گسل کن به طول ۲۷ کیلومتر و گسل ماهدشت- کرج به درازای ۴۳ کیلومتر. بعضی شواهد حاکی از کشش امتدادلغز چپگرد در سیستم گسلی شمال تهران، در مقطع کن یافت شده‌اند. گذرگاه

این گسل، خاور شمال خاوری- جنوب باختری است و به صورتی ملایم به طرف جنوب ملایم است. در باختر کن، گسل‌های متعدد شمال خاوری- جنوب باختری و خاوری- باختری، تداوم آن را قطع می‌کنند. در خاور لشگرک، این گسل وارد ناحیه پیچیده زمینساختی می‌شود و به گسل مشا- فشم می‌پیوندد (بربریان و همکاران، ۱۳۷۱). زلزله‌های نسبت داده شده به این گسل در جدول (۳-۱) نشان داده شده است.

جدول ۳-۱: زمین‌لرزه‌های نسبت داده شده به گسل شمال تهران (محمدی اصل، ۱۳۹۰)

شدت	بزرگی	سال	زمین لرزه	گسل
X	۷/۷	۹۵۸	زمین‌لرزه تهران	شمال تهران
IX	۷/۲	۱۱۷۷	گستره میانی شهر ری و قزوین	
؟	؟	۱۸۹۵	زمین‌لرزه تهران	
	۴/۱	۱۹۷۰	رودبار قصران (کانون آن در فاصله ۲۵ و ۳۳ کیلومتری شمال این گسل)	

۱-۷-۱-۳- گسل شمال ری

این گسل به بلندای ۲ متر با راستای خاوری- باختری و درازای ۱۶/۵ کیلومتر در شمال و شمال باختری شهر ری دیده می‌شود. این گسل از خاور تا آبادی عظیم‌آباد و از سمت باختر از آبادی صالح-آباد تا آبادی صالح‌آباد ادامه دارد. به سمت باختر آبادی چهاردانگه، دو خطواره یکی در نصیرآباد نوروزی و دیگری در جنوب حسن‌آباد دیده می‌شود که ممکن است ادامه باختری گسل شمال ری باشد. گسل شمال ری از ۲ گسل تشکیل شده که در قسمت‌های میانی با هم همپوشانی دارند. آرایش هندسی این گسل، سازوکار راندگی با شیب به سمت شمال را تداعی می‌کند.

۱-۷-۱-۴- گسل جنوب ری

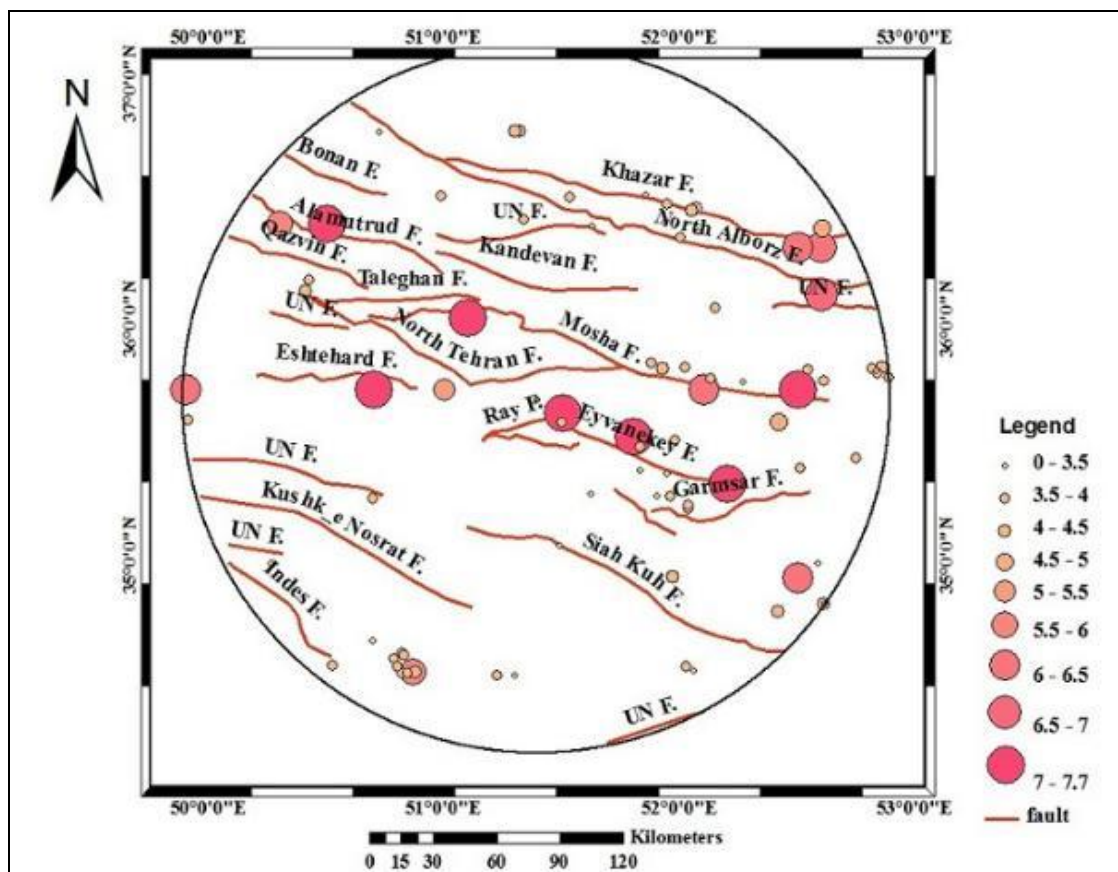
درازای کلی این گسل حدود ۱۸/۵ کیلومتر تخمین زده می‌شود. ساز و کار این گسل بر روی عکس-های هوایی راندگی با شیب به سمت شمال می‌باشد. در درازای این گسل سیلت‌های رسی کهریزک در بخش شمالی (B_s) بر روی آبرفت‌های کنونی (D) رانده شده است (بربریان و همکاران، ۱۳۷۱).

۱-۷-۲- گسل‌های متوسط (با طولی میان ۲ تا ۱۰ کیلومتر)

طول این گسل‌ها بین ۲ تا ۱۰ کیلومتر است و این گسل‌ها به خودی خود لرزه‌زا نبوده ولی ممکن است به دلیل زمین‌لرزه‌های بزرگتر دچار لغزش و جابجایی گردند. بعلاوه این گسل‌های متوسط خود ممکن است سرچشمه لرزه‌های کوچک شوند. از میان این گسل‌ها، می‌توان به گسل‌های پارک جنگلی چیتگر اشاره نمود. این گسل‌ها از نظر تقسیم‌بندی گسل‌های کواترنری در رده‌ی گسل‌های متوسط با درازای بین ۲ تا ۱۰ کیلومتری قرار دارند (محمدی اصل، ۱۳۹۰).

۱-۷-۳- برآورد پارامترهای لرزه‌ای منطقه

پارامترهای لرزه‌خیزی (بیشینه بزرگی منطقه ای M_{max} ، آهنگ فعالیت سالانه λ و پارامتر b در رابطه گوتنبرگ - ریشتر) الگوی آماری لرزه‌خیزی هر گستره را با کمیت عددی بیان می‌کنند. برای ارزیابی این کمیات در منطقه مورد مطالعه لازم است که خصوصیات زمین‌لرزه‌های روی داده مورد مطالعه قرار گیرد و تأثیرشان بر ساختگاه محاسبه شود (زارع، ۱۳۸۳). در این راستا داده‌های دستگاهی بین سال-های ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۳ به شعاع ۱۵۰ کیلومتری مرکز محدوده مطالعاتی با بزرگای بیش از ۳/۵ ریشتر در مقیاس‌های متفاوت بزرگا انتخاب و از پایگاه پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله دریافت شد. زلزله‌های تاریخی نیز از گزارش زارع (۱۳۸۳) برداشت، و به داده‌های دستگاهی موجود اضافه شد (شکل ۱-۱۷).



شکل ۱-۱۷: نقشه سائزموکتونیک شعاع ۱۵۰ کیلومتری محدوده مطالعاتی

برای بیان شدت زمین‌لرزه در واحد ریشتر از مقیاس‌های گوناگونی استفاده می‌شود که در میان آن‌ها بزرگای گشتاوری (M_w) به دلیل عدم وابستگی به دستگاه لرزه‌نگار از دقت مناسب‌تری برخوردار است. به همین دلیل داده‌های در دسترس با مقیاس‌های مختلف بزرگا برای استفاده از رابطه کمیته ملی سدهای ایران (رابطه ۱-۲) به بزرگای گشتاوری تبدیل و مقیاس آن‌ها یکسان شده است.

$$M_s = 1.205 M_b - 1.23 \quad (۲-۱)$$

آنجا که توزیع پواسون در داده‌ها اهمیت زیادی داشته و امکان دارد لرزه‌های فرعی (پس‌لرزه و پیش‌لرزه‌ها) مرتبط با رژیم لرزه‌خیزی منطقه همخوان نبوده و در اثر نیروی اصلی زلزله ایجاد نشده و خطا ایجاد نمایند، اقدام به حذف داده‌های مرتبط به پیش‌لرزه‌ها و پس‌لرزه‌ها با استفاده از جدول گاردنر و نوپوف (۱۹۷۴) شد (جدول ۱-۴). با استفاده از این جدول زمین‌لرزه‌ها بر اساس زمان وقوع غربال شده و داده‌هایی که از نظر زمانی و مکانی با یکدیگر تداخل دارند، حذف می‌گردند.

جدول ۴-۱: نسبت زمان، مکان و بزرگی در حذف پیش‌لرزه و پس‌لرزه (گاردنر و نوپوف، ۱۹۷۴)

بزرگی	۸	۷/۵	۷	۶/۵	۶	۵/۵	۵	۴/۵	۴	۳/۵
فاصله (کیلومتر)	۹۴	۸۱	۷۰	۶۱	۵۴	۴۷	۴۰	۳۵	۳۰	۲۳,۲
زمان (روز)	۹۸۵	۹۶۰	۹۱۵	۷۹۰	۵۱۰	۲۹۰	۱۵۵	۸۳	۴۲	۲۶

برای به‌دست آوردن پارامترهای لرزه‌ای به‌ویژه آهنگ فعالیت و ضریب لرزه‌خیزی منطقه (α و β) در لرزه‌های بزرگتر از ۳/۵ ریشتر از روابط گوتنبرگ-ریشتر استفاده می‌شود.

$$\text{Ln}(N_c) = 1.327 - 0.9115 M_s \quad \text{۳-۱}$$

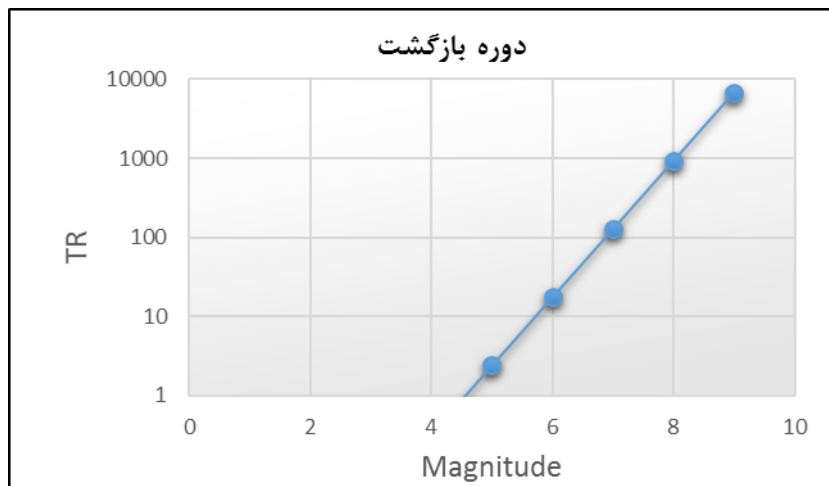
بدین ترتیب برای به دست آوردن دوره بازگشت زلزله (جدول ۶-۱) و (شکل ۱-۱۸) که همان متوسط زمان وقوع زمین‌لرزه‌ها در توالی برنولی است با توجه به بزرگای محتمل از آمار لرزه‌ها، طبق جدول (۵-۱) زیر استفاده شده است.

جدول ۵-۱: داده‌های لازم برای آنالیز لرزه‌خیزی

بزرگی دامنه	میان	فراوانی	فراوانی تجمعی	زمان بر حسب سال	فراوانی تجمعی / سال	Ln(N)
3.5 - 4	3.75	49	144	40	3.6	1.2809338
4 - 4.5	4.25	24	95	52	1.8269231	0.6026332
4.5 - 5	4.75	36	71	77	0.9220779	-0.081126
5 - 5.5	5.25	12	35	77	0.4545455	-0.788457
5.5 - 6	5.75	7	23	199	0.1155779	-2.157811
6 - 6.5	6.25	3	16	1107	0.0144535	-4.23682
6.5 - 7	6.75	6	13	1107	0.0117435	-4.44446
7 - 7.5	7.25	5	7	1107	0.0063234	-5.063499
7.5 - 8	7.75	2	2	1107	0.0018067	-6.316262

جدول ۱-۶: مقادیر دوره بازگشت برای بزرگ‌های مختلف

دوره بازگشت (TR)	λ_m	بزرگا
0.04487834	22.282464	۳
0.32680226	3.05995436	۴
2.379760851	0.42021029	۵
17.32932235	0.05770566	۶
126.191425	0.00792447	۷
918.920857	0.00108823	۸
6691.544544	0.00014944	۹



شکل ۱-۱۸: منحنی دوره بازگشت‌ها به سال

۱-۸- موضوع تحقیق

در این پایان‌نامه به بررسی و شناسایی نواحی مستعد به وقوع زمین‌لغزش در اثر زلزله و در محدوده شمالی شهر تهران با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ پرداخته شده است. برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها از سه فرضیه گسل‌های شمال تهران، ری و مشا با حداکثر شتاب ممکن برای هر گسل استفاده شده است. نواحی مستعد بر اساس ایجاد زمین‌لغزش در نوع خاصی از مصالح زمین مهندسی و به سبب زمین‌لرزه به شش گروه مختلف تقسیم‌بندی شده‌اند. این شش گروه شامل ریزش‌های خاکی و سنگی، لغزش-های چرخشی خاکی و سنگی، بهمن سنگی و جریان‌های خاکی سریع بوده و تراکم هر کدام از این لغزش‌ها در هر کیلومتر مربع اندازه‌گیری می‌شود.

۱-۹- ضرورت و اهداف تحقیق

وقوع زمین لغزش همچون دیگر مخاطرات زمین‌شناختی در کشورهای مختلف امری معمول به‌نظر می‌رسد. زمین لغزش‌ها توسط عوامل مختلفی همچون عوامل آب و هوایی و یا زلزله تحریک شده و حجم زیادی از سنگ و خاک را در راستای شیب‌های ناپایدار به حرکت در می‌آورند. علاوه بر ایجاد جراحات و یا حتی مرگ، زمین لغزش‌ها قادرند به خطوط انتقال نیرو، نفت و گاز، آب و فاضلاب و خطوط حمل و نقل آسیب‌های جدی وارد نمایند. شهر تهران پایتخت ایران با جمعیت ۱۲ میلیون نفری به‌طور حتم یکی از مهمترین شهرهای کشور بوده که علاوه بر دارا بودن مرکزیت سیاسی، مرکز اقتصادی و فرهنگی ایران نیز محسوب می‌شود. قرارگیری این شهر در نزدیکی گسل‌های فعال و رشد نامتقارن این شهر در دهه‌های گذشته به سمت مناطق کوهستانی و با ارتفاع زیاد که همچنان نیز ادامه دارد، نگرانی‌هایی را در زمینه بروز زمین لغزش‌های ناشی از زمین‌لرزه و تبعات پس از آن برانگیخته است.

اولین مرحله در مقابله با این پدیده شناخت هرچه بهتر از قسمت‌های مختلف تشکیل دهنده و همچنین فرآیندهای مسبب آن است. پهنه‌بندی زمین لغزش‌های ناشی از زمین‌لرزه پس از تهیه نقشه سابقه لغزش‌های لرزه‌ای دومین اقدام اساسی در این راستا محسوب می‌شود. در این پژوهش نیز تلاش شده است با در نظر گرفتن شرایط محیطی و عوامل تأثیرگذار به شناسایی و تقسیم‌بندی زمین لغزش-های ناشی از لرزه و با در نظر گرفتن فرضیه فعالیت حداکثری سه گسل شمال تهران، ری و مشا در پهنه شمالی شهر تهران پرداخته شود تا علاوه بر شناسایی مناطق پرخطر و پیشگیری از رویداد زمین-لغزش، در مواقع مورد نیاز با سرعت عمل و دقت بیشتری مناطق آسیب دیده را مشخص و به مدیریت سوانح اقدام نمود.

۱-۱۰- مراحل انجام پایان نامه

مراحل انجام این پایان نامه را می‌توان به دو دسته دفتری و میدانی تقسیم‌بندی نمود.

۱. در مرحله میدانی با بررسی نقشه‌ها و گزارش‌های موجود به شناسایی اولیه مکان‌های مستعد به لغزش که در آن محدوده لغزش نیز رخ داده است، پرداخته شده است. پس از انجام مطالعات اولیه و مشخص نمودن مسیرهای بهینه برای بازدید میدانی، با فراهم آوردن وسایل لازم، اقدام به بازدید میدانی شد. در این بازدید از مناطق کوهپایه‌ای شمال تهران همچون: دربند، درکه، فرحزاد و ولنجک، تعدادی از زمین‌لغزش‌های قدیمی و گاهاً فعال و همچنین برخی از شیب‌هایی که در حال حاضر پایدار که احتمال می‌رود در حین پدیده لغزش پایداری خود را از دست دهند مورد شناسایی قرار گرفت. لغزش‌ها و شیب‌های شناسایی شده سپس با داده‌های سازمان جنگل‌ها و مراتع مقایسه شد تا منبع مناسبی برای ارزیابی لغزش‌های پیش‌بینی شده توسط مدل انتخابی در دست باشد.

۲. در مرحله دفتری نیز با بررسی پیشینه روش‌های انجام شده برای پهنه‌بندی لغزش و لغزش‌های ناشی از زلزله به بیان تاریخچه مختصری از روش مورد استفاده پرداخته شده است. سپس اقدام به مطالعه پژوهش‌های انجام پذیرفته در محدوده مطالعاتی و یا پژوهش‌های مشابه با روش انتخاب شده، شده تا بتوان شناخت بهتری از موضوع مورد بحث و ارتباط آن با محدوده مطالعاتی حاصل کرد. در مرحله مطالعات دفتری اقدام به جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز در پژوهش شد تا بتوان نقشه‌های پهنه‌بندی ناشی از زلزله را در منطقه مورد مطالعه با سطح کیفی قابل قبول ایجاد نمود. در این راستا اقدامات زیر انجام پذیرفته است:

- مطالعات کتابخانه‌ای و گردآوری مطالب و داده‌های اولیه مورد نیاز.
- رقومی نمودن نقشه‌های زمین شناسی محدوده مطالعاتی با استفاده از نقشه‌های ۱/۱۰۰۰۰ فشم و تهران.
- رقومی نمودن نقشه‌های مورد نیاز از جمله توپوگرافی، کاربری اراضی و
- انجام مطالعات تحلیل خطر لرزه‌ای و برآورد منحنی شتاب افقی و عمودی .
- برآورد شتاب حداکثر در سناریوی گسل‌های مشاء، شمال تهران و ری به تفکیک هر گسل.

- تهیه نقشه‌های شیب، جهت شیب، ارتفاع دامنه، عوارض خطی و مقاومت زمین‌شناسی.
- مطالعه تصاویر ماهواره‌ای و تهیه نقشه‌های پوشش گیاهی و رطوبت از این تصاویر.
- تهیه و تحلیل نقشه‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های ناشی از زمین‌لرزه.
- مقایسه روش CAMEL با روش ارزش اطلاعاتی در حالت استاتیک

۱-۱۱- ساختار پایان‌نامه

پژوهش پیش‌رو مشتمل بر ۵ فصل بوده که در فصل نخست به بازگو نمودن کلیاتی از حوزه پژوهش و نیز از محدوده مورد مطالعه می‌پردازد تا خواننده بتواند اطلاعات پیش‌نیاز برای قسمت‌های بعد پایان‌نامه را کسب نماید. در فصل دوم به مروری بر ادبیات فنی و روش‌های مورد استفاده در پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله پرداخته شده است.

در فصل سوم به تشریح مشخصات سیستم منطق فازی و روش محاسبه با واژه‌ها (که برمبنای سیستم منطق فازی است) و همچنین معرفی روش CAMEL که روشی کیفی است، پرداخته شده است. در این فصل مشخصات CAMEL و توابع مورد استفاده در هر دو بخش امکان و خطر به همراه روش‌های فازی سازی و غیر فازی سازی آورده شده است.

در فصل چهارم اقدام به معرفی لایه‌های اطلاعاتی برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش - های ناشی از زلزله و نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله با سه سناریوی گسل مشا، گسل شمال تهران و گسل ری و لایه‌های اطلاعاتی و نقشه‌های حاصل از روش ارزش اطلاعاتی، شده است.

فصل پنجم نیز به مقایسه نتایج حاصل از پهنه‌بندی، ارائه دست‌آوردها و پیشنهاد زمینه‌های ایجاد شده برای پژوهش‌های آینده اختصاص دارد.

فصل دوم

مطالعه زمین لغزش در ایران و جهان

۲-۱- مقدمه

در شناسایی ماهیت زمین لغزش، کارشناسان و متخصصان مختلف با توجه به زمینه کاری و مطالعاتی خود، تعاریف و تقسیم‌بندی‌های گوناگونی را تا به امروز برای این واژه عنوان نموده‌اند که این امر از پیچیده و گسترده بودن این پدیده ناشی می‌شود (پارسایی و علیمحمدی، ۱۳۹۱). این تعاریف دارای وجوه اشتراک قابل توجه و یا یکسان از نظر مفهوم هستند که با جزئیات کم و بیش متفاوت توصیف می‌شوند. برای توصیف این پدیده واژه‌های مختلفی مانند لغزش^۱ (رانش)، ناپایداری دامنه^۲، زمین لغزه^۳ و غیره استفاده می‌شود (حافظی مقدس و غفوری، ۱۳۸۸).

بنا به تعریف ترزاقی (۱۹۵۰) زمین لغزش عبارت است از کلیه حرکات توده‌ای در شیب‌ها که شامل افت‌ها^۴ و واژگونی‌ها^۵ و جریان‌های واریزه‌ای^۶ است. کردن (۱۹۹۱) نیز زمین لغزش را حرکت توده سنگ، خاک و واریزه به طرف پایین شیب تعریف کرده است (آذرمی، ۱۳۹۰).

۲-۲- عوامل مؤثر بر زمین لغزش

به طور کلی عوامل مؤثر بر لغزش به دو دسته طبقه‌بندی می‌شوند

(۱) عوامل مستعد کننده

(۲) عوامل محرک

۲-۳- عوامل مستعد کننده

نام‌های دیگر آن عوامل ذاتی، عوامل سببی و عوامل آماده‌ساز می‌باشند. این عوامل به صورت ذاتی در منطقه حضور داشته و کمتر امکان تغییر و یا دستکاری دارند.

این عوامل شامل: شیب، ارتفاع، جهت شیب، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی، مشخصات ژئوتکنیکی خاک نوع و ساختار خاک و زهکشی می‌باشند (پارسایی و علیمحمدی، ۱۳۹۱).

¹ Slide

² Slope instability

³ Landslide

⁴ Rock Falls

⁵ Topples

⁶ Debris flows

۲-۴- عوامل محرک

نام های دیگر از قبیل عوامل عارضی، عوامل تحریک کننده و ... در مطالعات مختلف برای آن ذکر شده است. این عوامل به صورت ذاتی در منطقه حضور نداشته و به صورت ناگهانی بروز می کنند. این عوامل شامل: بارش، زلزله و برخی فعالیت های انسانی می باشند (پارسایی و علیمحمدی، ۱۳۹۱).

۲-۵- تأثیر زلزله بر ناپایداری زمین

عامل اصلی حرکت دامنه ها در زمان زمین لرزه، شدت تکان ها و ارتعاشات زلزله است. مطالعات زیادی نشان داده است که زلزله هایی با بزرگی ۶/۵ در مناطق مستعد به زمین لغزش باعث گسیختگی دامنه ها می شوند. زمین لغزش ها و سنگریزش هایی نیز ممکن است بر اثر تکان های با شدت پایین تر نیز ایجاد شود. به ویژه در جایی که جهت مؤلفه افقی تکان های زلزله بیشترین انطباق را با جهت لغزش داشته باشد (Keefe, 1984). همچنین نقش تداوم تکان های زلزله در ایجاد زمین لغزش ها دارای اهمیت می باشد، چرا که زلزله ای با شدت کم و مدت زمان به نسبت طولانی می تواند مقاومت داخلی توده را کاهش و باعث انباشت نیروی اینرسی درون آن شده و در نهایت موجب گسیختگی آن توده گردد (Jibson et al., 2000). در خاک هایی مانند ماسه غیر متراکم، سیلت و رس که در حالت اشباع باشند، زلزله با ایجاد روانگرایی و در خاک های رسی حساس با کاهش مقاومت برشی، زمینه را برای رخ داد زمین لغزش مساعد ساخته و در صورت پایین بودن دانسیته نسبی خاک، ساختمان آن ها را به هم می ریزد. در اثر زلزله میزان فشار حفره ای در این نوع خاک ها بالا رفته و به حد فشار سربار می رساند. رسیدن به این مرحله با کاهش مقاومت برشی خاک همراه بوده و باعث حرکت مصالح به صورت سیالی سنگین می شود (پارسایی و علیمحمدی، ۱۳۹۱).

۲-۶- طبقه بندی حرکات توده ای

طبقه بندی های متعددی برای حرکات توده ای و لغزش ارائه شده است. مهمترین فاکتورهای استفاده شده در طبقه بندی ها شامل جنس مصالح درگیر، سرعت حرکت و ابعاد لغزش (طول، عرض و عمق) می باشند.

۲-۶-۱- طبقه بندی وارنز

وارنز^۱ (۱۹۸۴) طبقه بندی را برای حرکات دامنه‌ای پیشنهاد کرده است که بر مبنای مصالح درگیر و خصوصیات حرکتی آنها و سپس براساس سایر خصوصیات مانند میزان به هم خوردگی داخلی و آب محتوی می‌باشد. در این طبقه بندی حرکات توده‌ای در ۶ گروه ریزش، واژگونی، لغزش، گسترش جانبی، جریان و حرکات توده‌ای مرکب تقسیم‌بندی شده‌اند (Varnes, 1984) (جدول ۲-۱).

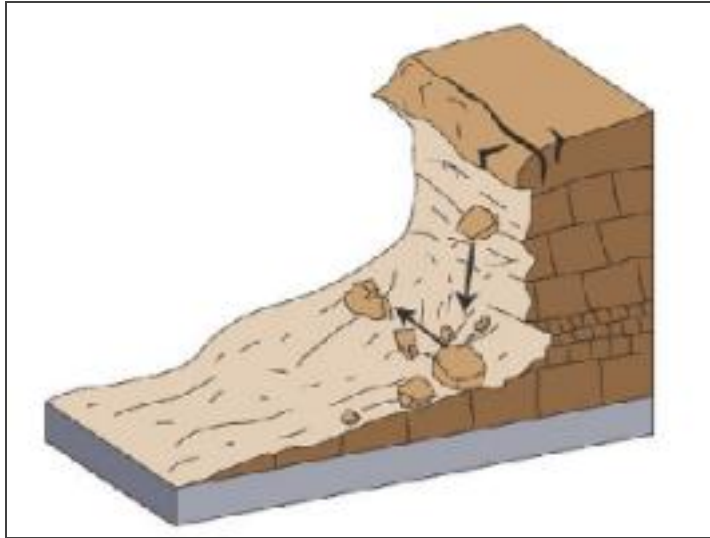
جدول ۲-۱: طبقه‌بندی حرکات توده‌ای (وارنز ۱۹۸۴)

نوع مصالح		نوع حرکت	
مصالح خاکی			
خاک ریز دانه	واریزه درشت دانه		
ریزش خاکی	ریزش واریزه‌ای	ریزش سنگی	ریزش‌ها
واژگونی خاکی	واژگونی واریزه‌ای	واژگونی سنگی	واژگونی
چرخشی خاکی	چرخشی واریزه‌ای	چرخشی سنگی	چرخشی
لغزش خاکی	لغزش واریزه‌ای	بلوکی سنگی	انتقالی
		صفحه‌ای سنگی	
لغزش خاکی	لغزش واریزه‌ای		لغزش‌ها
گسترش جانبی خاک	گسترش جانبی واریزه‌ای	-	گسترش جانبی
جریان خاکی	جریان واریزه‌ای	-	جریان
خزش خاکی	چرخش واریزه‌ای	خزش عمیق	خزش
ترکیب دو یا چند مکانیسم			مرکب

- ریزش

ریزش به سقوط کم و بیش آزاد و ناگهانی مواد خاکی یا سنگی گفته می‌شود که در شیب‌های تند اتفاق می‌افتد سازوکار شکست ممکن است به صورت سقوط آزاد، یا حرکت دامنه یا حالت واژگونی باشد (شکل ۲-۱)، (Varnes, 1984).

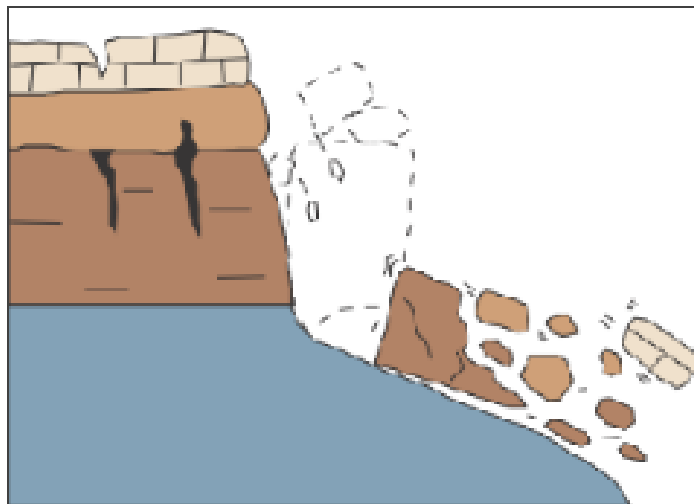
¹ Varnes (1984)



شکل ۱-۲: ریزش سنگی (Varnes, 1984)

- واژگونی

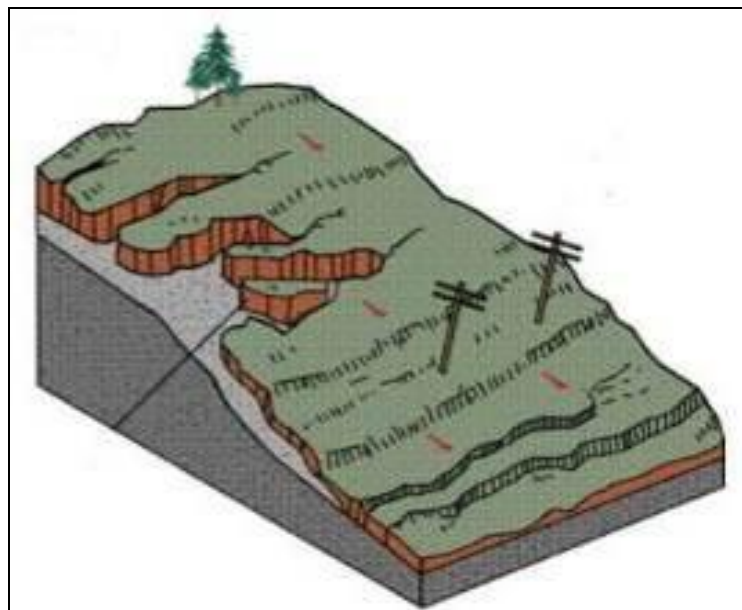
در شرایطی که شیب لایه‌بندی و شیب دامنه خلاف جهت هم باشد در این صورت بلوک‌هایی که آزاد شده‌اند حول نقطه ثقل چرخش نموده و سقوط می‌کنند. واژگونی معمولاً در توده‌های سنگی دیده می‌شود اما در خاک‌ها و واریزه‌ها نیز ممکن است به ندرت مشاهده شود (شکل ۲-۲)، (Varnes, 1984).



شکل ۲-۲: واژگونی (Varnes, 1984)

- خزش

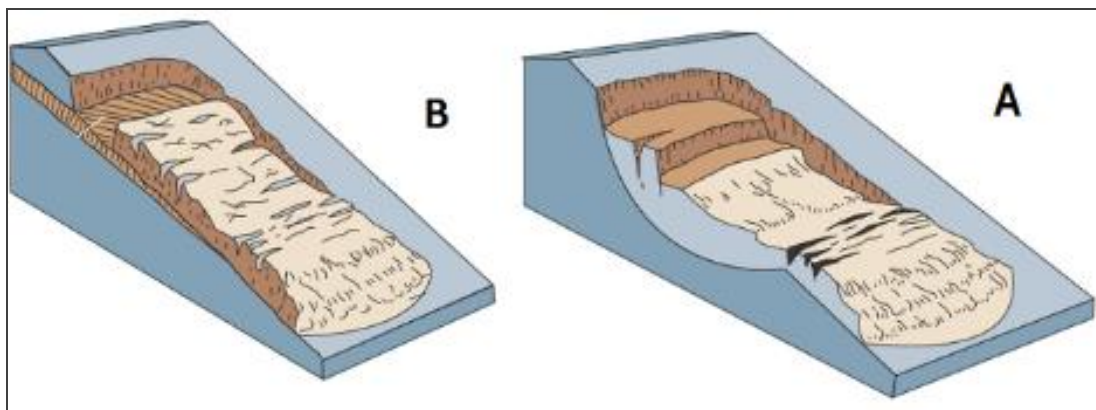
به حرکات دامنه‌ای با سرعت کم اطلاق می‌شود. در این حالت گسیختگی در دامنه ایجاد نمی‌شود ولی براساس شواهد موجود می‌توان دامنه تحت خزش را مشخص نمود (شکل ۳-۲)، (Varnes, 1984).



شکل ۲-۳: آثار خزش در دامنه کوه (Varnes, 1984)

- لغزش

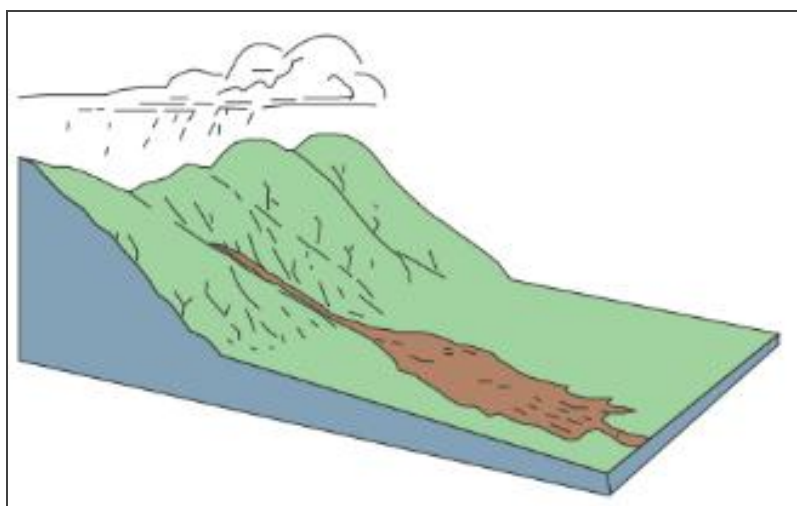
به ناپایداری‌هایی با ابعاد مشخص گفته می‌شود که توده خاک یا سنگ بر روی سطح گسیختگی به سمت پایین جابه‌جا می‌شود. معمولاً به هم ریختگی در این حالت زیاد نمی‌باشد. با توجه به شکل سطح لغزش آن را در دو گروه ۱- لغزش انتقالی ۲- لغزش چرخشی قرار می‌دهند (شکل ۲-۴). در لغزش چرخشی سطح لغزش نیم استوانه‌ای است که در مقطع به صورت دایره‌ای می‌باشد. توده لغزشی نسبت به یک نقطه فرضی در فضا چرخش می‌کند. این گروه از لغزشها را به انواع منفرد و یا چندتایی تقسیم می‌کنند. لغزش چند تایی در واقع از چند لغزش منفرد تشکیل شده است. سازوکار تشکیل این گونه از لغزشها ممکن است به صورت پیشرونده یا پسرونده باشد. در حالت پیشرونده یک لغزش بزرگ و چرخشی وجود دارد که بعداً سطوح گسیختگی دیگری در آن به وجود می‌آید. در حالت پسرونده لغزش چرخشی در جلوی دامنه ایجاد می‌شود و در اثر جابجای توده، بخش‌های بالای توده، ناپایدار می‌شود و لغزش به عقب حرکت می‌کند. لغزش‌های چرخشی در مصالح خاکی همگن یا شدیداً خرد شده اتفاق می‌افتد. در لغزش انتقالی توده خاک یا سنگ بر روی یک سطح گسیختگی صفحه‌ای مثل لایه‌بندی، گسل، درزه، حد بین دو توده با جنس مختلف یا حد فاصل بین بخش هوازده و سالم به سمت پایین حرکت می‌کند (Varnes, 1984).



شکل ۲-۴: تصویر A لغزش چرخشی و تصویر B لغزش انتقالی (Varnes, 1984)

- جریان‌ها

از مشخصه‌های بارز این نوع از ناپایداری‌ها طول زیاد آن نسبت به عرض و عمق، همچنین به هم ریختگی خیلی زیاد توده می‌باشد. جریان‌ها را می‌توان براساس نوع مصالح به خاک روانه، گل‌روانه^۱ یا جریان‌وایزه‌ای^۲ تقسیم بندی نمود. سرعت این نوع از ناپایداری‌ها متفاوت بوده و می‌تواند در مصالح خاکی، واریزه‌ای و خرد شده سنگی خشک و یا اشباع تشکیل شود (شکل ۲-۵)، (Varnes, 1984).



شکل ۲-۵: لغزش جریان‌ی (Varnes, 1984)

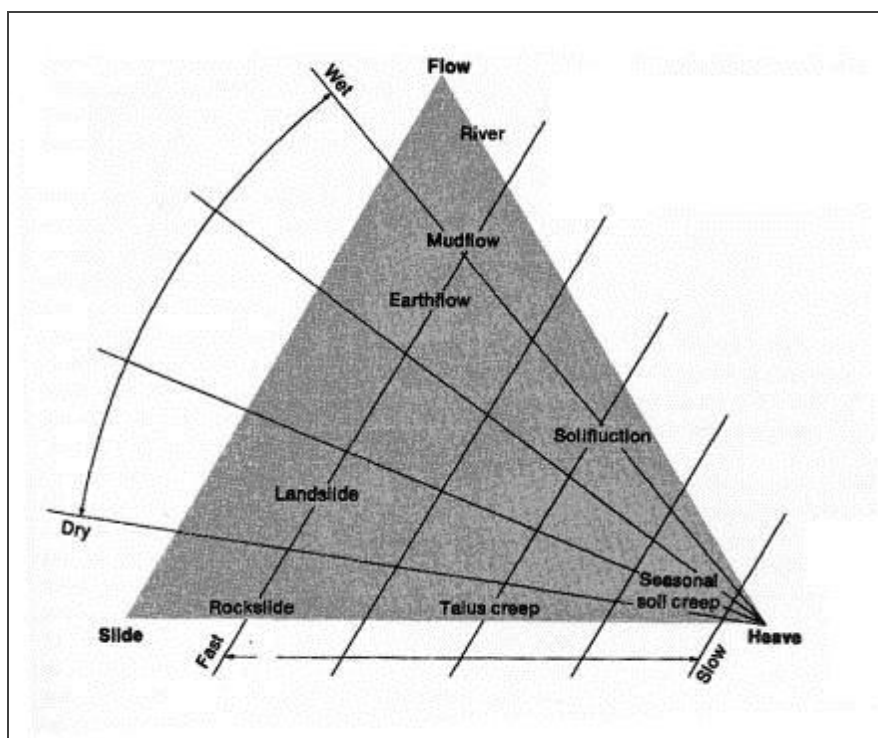
^۱ Mud flow
^۲ Debris flow

- لغزش‌های مرکب

به‌طور کلی لغزش‌های بزرگ به صورت چندگانه و مرکب‌اند بطوری که ممکن است لغزش در ابتدا به صورت چرخشی، در بخش میانی بصورت انتقالی و در بخش انتهایی بصورت جریانی نیز می‌باشند (Varnes, 1984).

۲-۶-۲- طبقه بندی کارسون و کیربی

در این تقسیم‌بندی رابطه بین حرکات دامنه‌ای براساس دو پارامتر سرعت حرکت و درصد رطوبت بیان شده است. لغزش و جریان در این تقسیم‌بندی سرعت یکسان دارند و اختلاف آن‌ها در میزان رطوبت است. از بین انواع لغزش، لغزش صفحه‌ای دارای بیشترین سرعت است و در شرایط خشک نیز می‌تواند اتفاق بیفتد (شکل ۲-۶). جریان گلی دارای سرعت بالا و شرایط اشباع است. مشخصه اصلی خزش سرعت کند آن می‌باشد و در شرایط مختلفی از رطوبت اتفاق می‌افتد (به نقل از آذر می، ۱۳۹۰).



شکل ۲-۶: طبقه بندی لغزش (Carson and Kirby, 1972)

۲-۶-۳- طبقه‌بندی ارکین بر اساس درجه فعالیت

ارکین^۱ در ۱۹۷۳ برای درجات مختلف فعالیت زمین‌لغزش را در دو کلاس تقسیم‌بندی نمود.

الف- شیب‌های فعال، حرکات شیب از قبیل ایجاد و توسعه ترک‌های کششی، مسدود شدن چشمه-های آب، کج‌شدگی درختان و غیره را در زمان یا داخل سیکل فصلی گذشته نشان می‌دهند.

ب- شیب‌های غیر فعال و بی‌حرکت در داخل سیکل‌های فصلی گذشته، که خاموش^۲ هستند. این نوع از لغزش‌ها ممکن است در آینده فعال شده و یا برای مدت طولانی خاموش مانده و فرسایش یابند. نمونه این نوع از گسل‌ها در اطراف طالقان (منطقه شهرک) فراوان می‌باشد. (پارسایی و علیمحمدی، ۱۳۹۱)

۲-۷- تقسیم‌بندی زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله

تا کنون افراد معدودی دست به تقسیم‌بندی و شرح عوامل ایجاد این‌گونه زمین‌لغزش‌ها زده‌اند که از بین آن‌ها می‌توان به کیفر (۱۹۸۴ و ۲۰۰۲) و رودریگوئز^۳ (۱۹۹۹) اشاره نمود.

کیفر (۱۹۸۴) براساس ۳۹ زمین‌لرزه تاریخی در سراسر جهان و زلزله ۱۳۵۶ خورگو در ایران خواص حرکتی زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله بر اساس زمین‌لغزش‌های رخ داده در مناطق متأثر را بر اساس طبقه‌بندی وارنز در جدول (۲-۲) رده‌بندی کرده است. این رده‌بندی زمین‌لغزش‌ها را به واسطه تشابه آن‌ها در حرکت، به هم ریختگی داخلی و خواص زمین‌شناسی به سه گروه بزرگ لغزش‌های گسسته و ریزش‌ها^۴، لغزش‌های پیوسته^۵ و گسترش‌های جانبی و جریان‌ها^۶ تقسیم کرده است که هر کدام از دو نوع اول این لغزش‌ها می‌توانند در محیط خاکی و یا در سنگی اتفاق بیافتند (جدول ۲-۲). در زمین‌لغزش‌های ذکر شده، سقوط سنگی و لغزش‌های خاکی و سنگی بیشترین فراوانی را داشته‌اند (Keefer, 1984).

¹ Erkin (1973)

² Dormant

³ Rudriguez

⁴ Disrupted slides and falls

⁵ Coherent slides

⁶ Lateral spreads and flows

۲-۷-۱- ریزش‌ها و لغزش‌های گسسته

شامل ریزش‌های سنگی، لغزش‌های سنگی، بهمن‌های سنگی، ریزش‌های خاکی، لغزش‌های خاکی گسسته و بهمن‌های خاکی می‌باشند. مصالح تشکیل دهنده این نوع لغزش‌ها شامل مصالح خردشده و ناپیوسته می‌باشد. این نوع از گسیختگی‌ها در زمین‌های شیب‌دار حرکات بسیار سریعی را به وجود آورده و خطرات زیادی را به همراه دارند. در این گروه تاکنون بهمن‌های سنگی و ریزش سنگ‌ها بیشترین آسیب‌ها و خسارات را موجب شده اند (Keifer, 1984).

۲-۷-۲- لغزش‌های پیوسته

شامل لغزش‌های چرخشی سنگی، لغزش‌های بلوکی سنگی، لغزش‌های چرخشی خاکی، لغزش‌های بلوکی خاکی و جریان‌های خاکی آرام هستند. این نوع زمین لغزش‌ها معمولاً شامل بلوک‌های پیوسته-ای می‌شوند که به صورت حرکات انتقالی یا چرخشی و بعضاً روی سطوح لغزشی عمیق‌تر با شیب متوسط تا تند حرکت می‌کنند. اغلب لغزش‌های پیوسته سرعت‌های کمتری نسبت به لغزش‌های گسسته و ریزش‌ها دارند (Keifer, 1984).

۲-۷-۳- گسترش‌های جانبی و جریان‌ها

معمولاً شامل خاک‌های روانگرا می‌شوند. هرچند رس‌های حساس نیز این نوع ناپایداری‌ها را باعث می‌شوند. به دلیل مقاومت باقیمانده کم این مصالح، این لغزش‌ها می‌توانند روی سطوح کم شیب تا هموار و با سرعت خیلی بالا اتفاق بیافتند (Keifer, 1984).

جدول ۲-۲: خصوصیات زمین لغزش‌های ناشی از زلزله (Keefer, 2002)

عمق	سرعت	آب محتوی				به هم ریختگی داخلی	نوع حرکت	نام
		D	U	PS	S			
زمین لغزش در سنگ								
لغزش‌های گسسته و ریزش‌ها								
کم عمق	بی‌نهایت سریع	X	X	X	X	زیاد یا خیلی زیاد	پرتاب، چرخش و سقوط آزاد	ریزش‌های سنگی
کم عمق	سریع تا بی‌نهایت سریع	X	X	X	X	زیاد	لغزش انتقالی رویین	لغزش‌های سنگی
							سطح برشی زیرین	
عمیق	بی‌نهایت سریع	X	X	X	X	خیلی زیاد	پیچیده، شامل لغزش و/یا جریان، به صورت روانه‌ای از قطعات سنگی	بهم‌های سنگی
لغزش‌های پیوسته								
عمیق	آرام تا سریع	X	X	X	؟	کم تا متوسط	لغزش روی سطح برشی زیرین با مولفه‌ای از چرخش در بخش بالایی	لغزش‌های چرخشی سنگی
عمیق	آرام تا سریع	X	X	X	؟	کم تا متوسط	لغزش انتقالی بر روی سطح برشی زیرین	لغزش‌های بلوکی سنگی
زمین لغزش‌ها در خاک								
لغزش‌های گسسته و ریزش‌ها								
کم عمق	بی‌نهایت سریع	X	X	X	X	زیاد یا خیلی زیاد	پرتاب، چرخش و سقوط آزاد	ریزش‌های خاکی
کم عمق	متوسط تا بی-نهایت سریع	X	X	X	X	زیاد	لغزش انتقالی روی سطح برشی زیرین یا محدوده‌ای از رس حساس ضعیف شده	لغزش‌های خاکی گسسته

کم عمق	خیلی سریع تا بی‌نهایت سریع	X	X	X	X	خیلی زیاد	لغزش انتقالی و گاهی همراه جریانی	بهمن‌های خاکی
لغزش‌های پیوسته								
عمیق	آرام تا سریع	X	X	X	؟	کم تا متوسط	لغزش روی سطح برشی زیرین با مولفه ای از چرخش در بخش بالایی	لغزش‌های چرخشی خاکی
عمیق	آرام تا سریع	X	X	X	؟	کم تا متوسط	لغزش انتقالی بر روی سطح برشی زیرین	لغزش‌های بلوکی خاکی
معمولاً کم عمق ، گاهی عمیق	خیلی آرام تا متوسط و با surge خیلی سریع	X	X			کم	لغزش انتقالی بر روی سطح برشی زیرین با جریان‌های داخلی کوچک	جریان‌های خاکی آرام
گسترش‌های جانبی و جریان‌ها								
متغیر	خیلی سریع	X	X			عموماً متوسط، گاهی کم، گاهی زیاد	حرکت انتقالی روی سطح روانگرا شده ای از شن، ماسه، سیلت یا رس‌های حساس ضعیف شده	گسترش‌های جانبی خاکی
کم عمق	خیلی سریع تا بی‌نهایت سریع	X	؟	؟	؟	خیلی سریع	جریان	جریان‌های خاکی سریع
متغیر	معمولاً سریع تا بی‌نهایت سریع، گاهی آرام تا متوسط	X	X			معمولاً زیاد یا خیلی زیاد، گاهی متوسط یا کم	پیچیده، معمولاً شامل گسترش-های جانبی و یا جریان، گاهی شامل لغزش‌های چرخشی و یا لغزش‌های بلوکی	زمین- لغزش‌های زیرآبی

*به هم ریختگی داخلی: "کم" یعنی زمین لغزش دارای یک یا چند بلوک پیوسته است، "متوسط" یعنی دارای چند بلوک پیوسته است، "زیاد" یعنی دارای تعداد زیادی بلوکهای کوچک، قطعات خاکی مجزا و قطعات سنگی است، "خیلی زیاد" یعنی تقریباً به طور کامل به دانه های خاکی مجزا یا قطعات سنگی کوچک تبدیل شده است. آب محتوی: D=خشک، U=مرطوب اما غیر اشباع، PS=تقریباً اشباع، S=اشباع. سرعت: بی نهایت آرام: کمتر از ۰/۶ متر در سال، خیلی آرام: بین ۰/۶ تا ۱/۵ متر در سال، آرام: بین ۱/۵ متر در سال تا ۱/۵ متر در ماه، متوسط: بین ۱/۵ متر در ماه تا ۱/۵ متر در روز، سریع: بین ۱/۵ متر در روز تا ۰/۳ متر در دقیقه، خیلی سریع: بین ۰/۳ متر در دقیقه تا ۳ متر در ثانیه، بی نهایت سریع: بیش از ۳ متر در ثانیه. عمق: کم عمق یعنی ضخامت عموماً کمتر از ۳ متر و عمیق یعنی ضخامت عموماً بیش از ۳ متر.

۲-۸- تعداد زمین لغزش ها در زلزله های تاریخی

کیفر (۱۹۸۴) برای تمامی ۴۰ زلزله تاریخی مورد مطالعه خود، آن ها را بر اساس بزرگا طبقه بندی کرده و تعداد کل زمین لغزش ها را در هر گروه محاسبه نموده است.

به طور کلی تعداد زمین لغزش های ناشی از زلزله با افزایش بزرگای زلزله افزایش می یابد. برای مثال زلزله هایی با $M < 5/5$ باعث ایجاد حداکثر ده ها لغزش شده اند در حالی که زلزله های با بزرگای بیش از ۸ باعث ایجاد حداقل هزاران لغزش شده اند. اما بجز بزرگا شرایط زمین شناسی محل و دیگر پارامترهای لرزه ای نیز بر تعداد لغزش ها تأثیر می گذارد. طبق این مطالعات به جز تعداد کمی از زلزله ها، در بقیه موارد تعداد زمین لغزش هایی که از قبل موجود بوده و در اثر زلزله مجدداً تحریک شده اند در مقایسه با تعداد کل زمین لغزش های ناشی از زلزله خیلی کم بوده است. حرکت مجدد لغزش ها اغلب در لغزش هایی محتمل است که شدت زلزله بیش از شدت زلزله ای که قبلاً آن ها را به وجود آورده یا لغزش در اثر عوامل دیگر ایجاد شده باشد. فراوان ترین لغزش ها در زلزله های مطالعه شده، ریزش های سنگی^۱ ۳۵٪، لغزش های خاکی گسسته^۲ ۲۶٪ و لغزش های سنگی^۳ ۲۰٪ می باشند. فراوانی این نوع از زمین لغزش ها، هم نشان دهنده حساسیت آن ها جهت شروع حرکت در زلزله ها و هم محیط های خاص زمین شناسی است که در نواحی لرزه خیز فراوان تر هستند. زمین لغزش های

^۱ Rock falls

^۲ Disrupted Soil slides

^۳ Rock slides

زیردریایی، جریان‌های آرام خاکی، لغزش‌های بلوکی سنگی و بهمن‌های سنگی در این زلزله‌ها خیلی کمتر رخ داده‌اند (جدول ۲-۳). حداقل زاویه شیب جهت وقوع این زمین‌لغزش‌ها ۰/۳ تا ۴۰ درجه است (Keffer, 1984).

جدول ۲-۳: فراوانی نسبی زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله (Keffer, 1984)

انواع زمین‌لغزش بر اساس تعداد کل آن‌ها
خیلی فراوان: بیش از صد هزار در زلزله‌های مطالعه شده
ریزش‌های سنگی لغزش‌های خاکی گسسته لغزش‌های سنگی
فراوان: ۱۰,۰۰۰ تا ۱۰۰,۰۰۰ در زلزله‌های مطالعه شده
گسترش‌های جانبی خاکی لغزش‌های چرخشی خاکی لغزش‌های بلوکی خاکی بهمن‌های خاکی
معمول: بین ۱,۰۰۰ تا ۱۰,۰۰۰ در زلزله‌های مطالعه شده
ریزش‌های خاکی جریان‌های خاکی سریع لغزش‌های چرخشی سنگی
معدود: بین ۱۰۰ تا ۱,۰۰۰ در زلزله‌های مطالعه شده
زمین‌لغزش‌های زیر آبی جریان‌های خاکی آرام لغزش‌های بلوکی سنگی بهمن‌های سنگی

۹-۲- کوچک ترین زلزله مسبب لغزش

اطلاع از شرایطی که به سبب آن زمین لغزش‌های ناشی از زلزله در گذشته اتفاق افتاده‌اند جهت ارزیابی اولیه پایداری شیروانی‌ها مفید خواهد بود. انتظار این که گسترش فعالیت زمین لغزش‌های ناشی از زلزله با افزایش بزرگای زلزله افزایش یافته و یا این که یک مقدار بزرگای حداقلی وجود دارد که در زلزله‌های خفیف تر از آن زمین لغزش ندرتاً اتفاق می‌افتد امری منطقی خواهد بود (Kefer, 1984).

همچنین انتظار این که گسترش فعالیت زمین لغزش‌های ناشی از زلزله با افزایش فاصله ساختگاه تا منبع زلزله کاهش یافته و اینکه فاصله‌ای وجود دارد که دورتر از آن در زلزله‌های با بزرگای معلوم زمین لغزشی ایجاد نخواهد شد نیز امری منطقی خواهد بود. به منظور تعیین کوچک‌ترین زلزله مسبب زمین لغزش، کیفی گزارش‌های شدت لرزه‌ای مربوط به زلزله‌های سال‌های ۱۹۵۸ تا ۱۹۷۷ آمریکا را بررسی کرد. از میان ۳۰۰ زلزله سال‌های ۱۹۵۸ تا ۱۹۷۷ آمریکا، ۶۲ مورد آن‌ها بزرگایی معادل $M_L < 4.0$ دارند. از مطالعه این زلزله‌ها مشخص شد که کوچک‌ترین زلزله مسبب زمین لغزش دارای بزرگای محلی تقریباً ۴ ($M_L = 4$) بوده است (Kefer, 1984). با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده کوچک‌ترین زلزله‌ای که باعث ایجاد انواع زمین لغزش می‌شوند عبارتند از (Kefer, 1984):

۱- $M_L = 4$: ریزش سنگی، لغزش سنگی، ریزش خاکی و لغزش‌های خاکی گسسته؛

۲- $M_L \approx 4.5$: لغزش‌های چرخشی خاکی و لغزش‌های بلوکی خاکی؛

۳- $M_L = 5$: لغزش‌های چرخشی سنگی، لغزش‌های بلوکی سنگی، جریان‌های خاکی آرام، گسترش‌های

جانبی خاکی، جریان‌های خاکی سریع و زمین لغزش‌های زیرآبی؛

۴- $M_S = 6/0$: بهمن‌های سنگی؛

۵- $M_S = 6/5$: بهمن‌های خاکی.

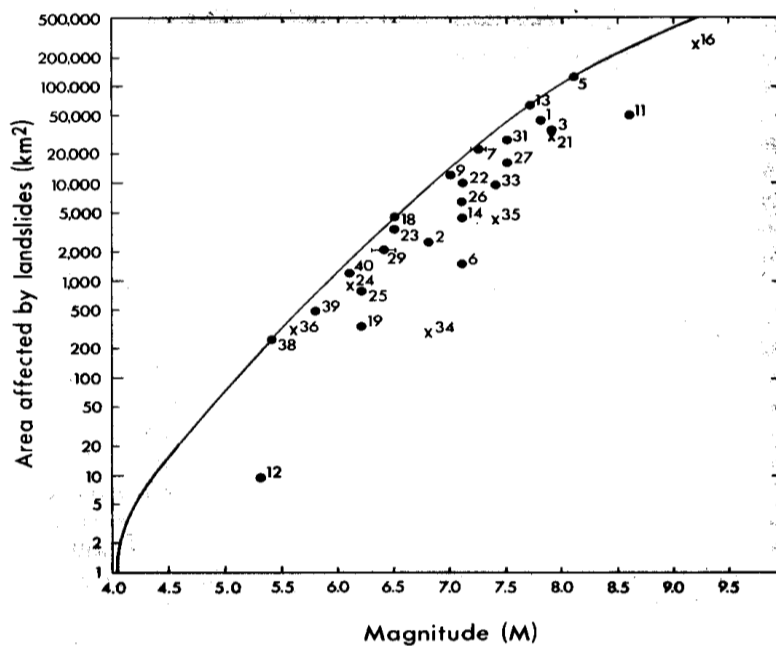
۶- همچنین $M \approx 5$ به عنوان حداقل بزرگای لازم برای روانگرایی خاک پیشنهاد شده است. (کوریبایاشی و تاتسوکا^۱ به نقل از کیفر، ۱۹۸۴)

۲-۱۰- بزرگای زلزله و سطح تحت تأثیر زمین لغزش

مساحت تحت تأثیر زمین لغزشها ارتباط خوبی را با بزرگای زلزله‌های ایجاد کننده نشان می‌دهد (شکل ۲-۷). این شکل، منحنی حدودی حداکثر سطح تحت تأثیر زمین لغزشها را در زلزله‌های مختلف نشان می‌دهد. مرز بالایی بیشترین سطح تحت تأثیر توسط زلزله، با یک رابطه غیرخطی مشخص می‌شود. رابطه مساحت ناحیه متأثر شده به وسیله زمین لغزش با بزرگای زلزله در شکل (۲-۷) مشخص می‌کند که مساحت این ناحیه می‌تواند از صفر در زلزله ای با بزرگای ۴ تا ۵۰۰۰۰۰ کیلومتر مربع در زلزله‌ای با بزرگای ۹/۲ تغییر یابد. پراکنش داده‌ها نشان می‌دهد که عواملی دیگر نیز بجز بزرگای زلزله در پراکنش زمین لغزش مؤثرند (شرایط زمین‌شناسی منطقه، عمق کانونی زلزله، فاصله از رومرکز، و مشخصات حرکت نیرومند زمین). برخی از داده‌ها ممکن است به دلیل عدم امکان شمارش کامل زمین لغزشها در مناطق زیردریایی، دور از منحنی افتاده باشند. تقریباً داده‌های حاصل از کلیه زلزله‌های عمیق (عمق بیشتر از ۳۰ کیلومتر) که در خشکی رخ داده‌اند نزدیک به منحنی واقع شده‌اند (Keffer, 1984).

کیفر با مطالعه سطح مناطق تحت تأثیر زمین لغزشها در زلزله‌های مختلف، نتیجه گرفته است که تفاوت کاهندگی انرژی زلزله در مناطق مختلف، تأثیر زیادی در سطح تحت تأثیر زمین لغزش نداشته است (Keffer, 1984).

¹ Kuribayashi and Tatsuoka, (1975,1977)



شکل ۲-۷: مساحت تحت تأثیر زمین لغزش‌ها در زلزله‌هایی با بزرگای مختلف (Keefer, 1984)

۲-۱۱- رابطه بزرگای زلزله و حداکثر فاصله زمین لغزش از کانون سطحی و گسیختگی گسلی

کیفر برای نشان دادن این ارتباط، زمین لغزش‌ها را به سه دسته تقسیم کرده است:

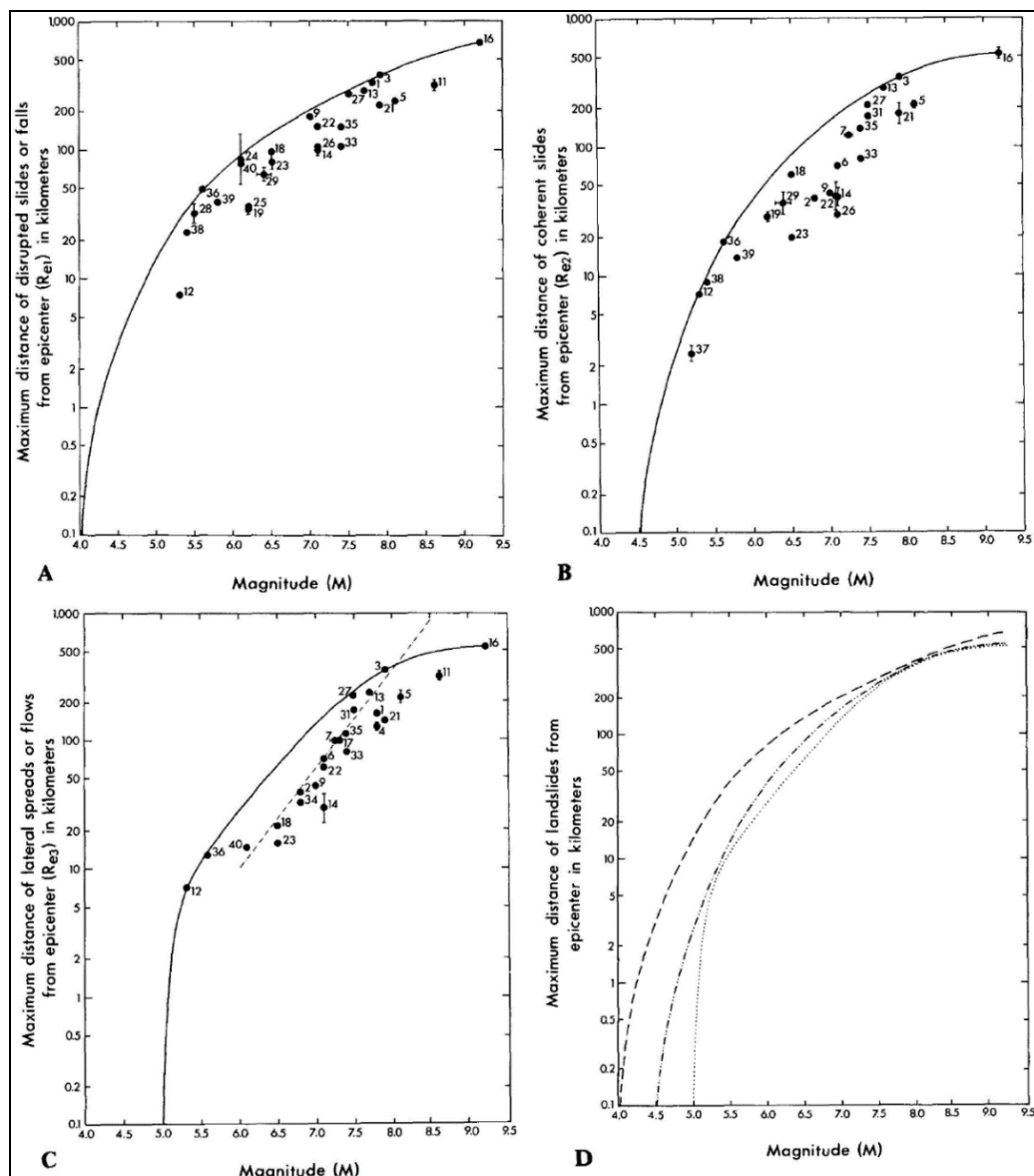
۱- لغزش‌های گسسته و ریزش‌ها: ریزش‌های سنگی، لغزش سنگی، بهمن سنگی، ریزش خاکی، لغزش خاکی گسسته و بهمن‌های خاکی؛

۲- لغزش‌های پیوسته: لغزش‌های چرخشی سنگی، لغزش‌های بلوکی سنگی، لغزش‌های چرخشی خاکی، لغزش‌های بلوکی خاکی و جریان‌های خاکی آرام؛

۳- گسترش‌های جانبی و جریان‌ها: گسترش‌های جانبی خاکی، جریان‌های خاکی سریع و زمین لغزش‌های اشباع (جدول ۲-۳).

در زلزله‌های تاریخی مورد مطالعه حداکثر فاصله زمین لغزش از کانون سطحی برای انواع مختلف زمین لغزش متفاوت می‌باشد. فاصله حداکثر از رو مرکز در شکل (۲-۸) آورده شده است. در زلزله‌هایی با بزرگای ۵، ریزش‌ها و لغزش‌های گسسته در فواصلی بیش از حدود ۱۵ کیلومتر از رو مرکز زلزله به-ندرت دیده شده اند، لیکن برای زلزله‌ای با بزرگای ۷، حتی در فواصل حدود ۲۰۰ کیلومتری نیز مشاهده شده اند. حد بالایی لغزش‌های گسسته و ریزش‌ها در بالای حد بالایی لغزش‌های پیوسته قرار

می‌گیرد و این منحنی نیز به نوبه خود بالای حد بالایی گسترش‌های جانبی و جریان‌ها قرار می‌گیرد. ارتباط بین حدهای بالایی نشان می‌دهد که لغزش‌های گسسته با تکان‌های کوچک‌تری از تکان‌های لازم برای لغزش‌های پیوسته و جریان‌ها و گسترش‌های جانبی ایجاد می‌شوند، به عبارت دیگر لغزش‌های گسسته و ریزش‌ها محدوده وسیع‌تری را فرا گرفته‌اند و تا فواصل دورتری از مرکز سطحی زلزله رخ داده‌اند (Keefe, 1984).



شکل ۲-۸: حداکثر فاصله از مرکز تا زمین‌لغزش‌ها برای زلزله‌هایی با بزرگای مختلف. (Keefe, 1984)
 خطوط عمودی داخل شکل‌ها، عدم قطعیت را در محل رو مرکز، حد اکثر فاصله زمین لغزش، یا هر دو نمایش می‌دهند. خطوط افقی داخل شکل‌ها، اختلاف در بزرگای گزارش شده را نمایش می‌دهند. A: حد اکثر فاصله

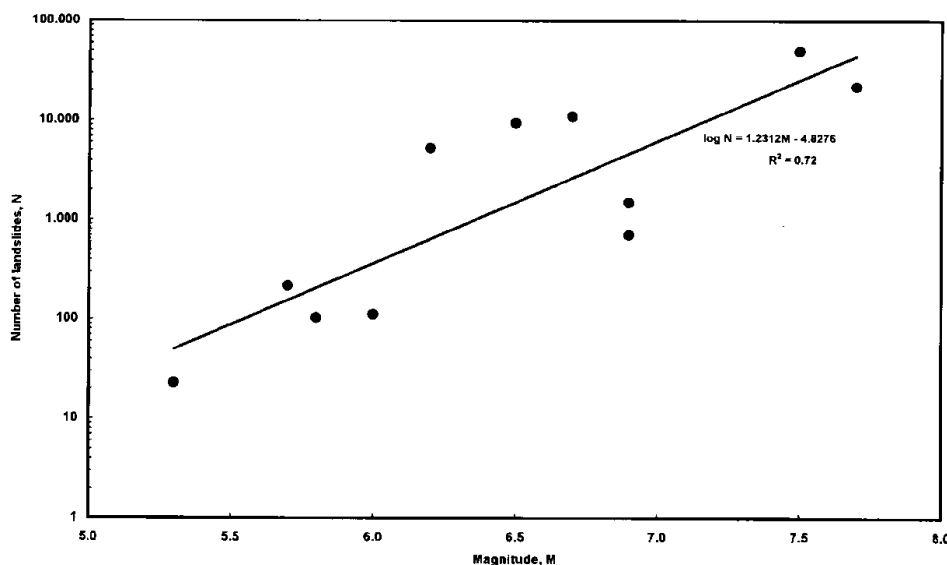
لغزش‌های گسسته یا ریزش‌ها از رو مرکز. خط ممتد، حد تقریبی است که کلیه داده‌ها در زیر آن واقع می‌شوند. B: حد اکثر فاصله لغزش‌های پیوسته از رو مرکز. خط ممتد، حد تقریبی است که کلیه داده‌ها در زیر آن واقع می‌شوند. C: حد اکثر فاصله گسترش‌های جانبی یا جریان‌ها از رو مرکز. خط ممتد، حد تقریبی است که کلیه داده‌ها در زیر آن واقع می‌شوند. خط چین، حد بالایی است که به وسیله کوریبایشی و تاتسوکا¹ (۱۹۷۵، ۱۹۷۷) برای پدیده روانگرایی خاک در زلزله‌های ژاپن تعیین شده است. D: مقایسه حدود بالایی حاصل از A، B و C. خط چین حد مربوط به ریزش‌ها و لغزش‌های گسسته، خط - دو نقطه حد مربوط به لغزش‌های پیوسته و نقطه چین مربوط به حد گسترش‌های جانبی و جریان‌ها است (Keefe, 1984).

۲-۱۲- رابطه بین تعداد زمین‌لغزش‌ها و بزرگای زلزله

رابطه بین تعداد زمین‌لغزش‌ها (بدست آمده از کامل‌ترین نقشه‌های فهرست زمین‌لغزش) و بزرگای زلزله در شکل (۲-۹) نشان داده شده است.

این شکل نشان می‌دهد که حتی زلزله‌های با بزرگای کم، زمین‌لغزش‌های زیادی را باعث شده‌اند. مطابق این شکل تعداد زمین‌لغزش‌ها با بزرگای زلزله افزایش می‌یابد. ریزش‌های سنگی، لغزش‌های سنگی، ریزش‌های خاکی و لغزش‌های خاکی گسسته به وسیله کمترین مقادیر لرزش زمین ایجاد می‌شوند. این زمین‌لغزش‌ها دارای عمق کم و بهم ریختگی داخلی زیاد هستند، لذا وقوع این نوع زمین‌لغزش‌ها در دامنه‌های با شیب تند در اثر زلزله‌های کوچک با دوام کمتر و محتوی فرکانس بالاتر لرزش مستعدتر می‌باشد. لغزش‌های پیوسته، گسترش‌های جانبی و جریان‌ها، احتمالاً به وسیله زلزله‌های بزرگ با دوام بیشتر و محتوی فرکانس پایین‌تر لرزش تولید می‌شوند. بهمن‌های سنگی و خاکی غیر از چند مورد استثناء، در اثر زلزله‌هایی با بزرگا و دوام بیشتر از انواع قبل روی می‌دهند. بیشترین تعداد این زمین‌لغزش‌ها، زمین‌لغزش‌های گسسته است (Keefe, 1984).

¹ Kuribayashi & Tatsuoka



شکل ۲-۹: رابطه بین تعداد زمین لغزش‌ها و بزرگای زلزله (Keefner, 2002)

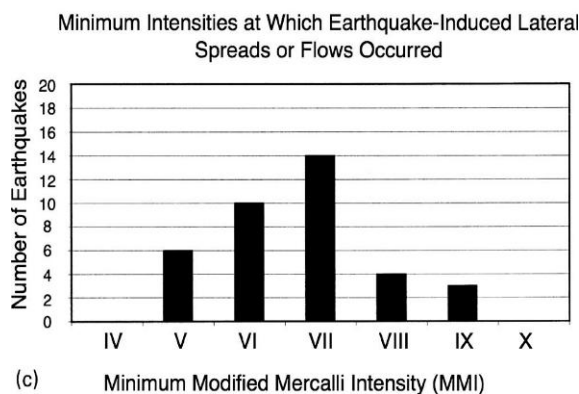
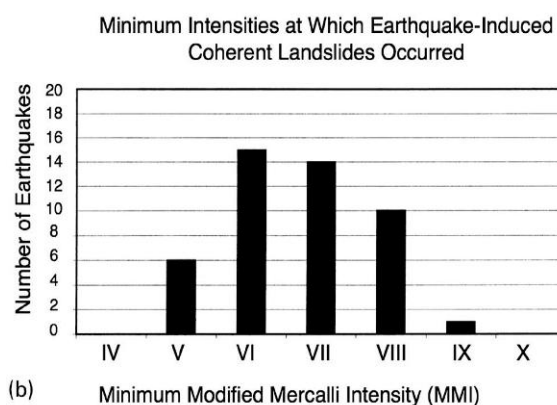
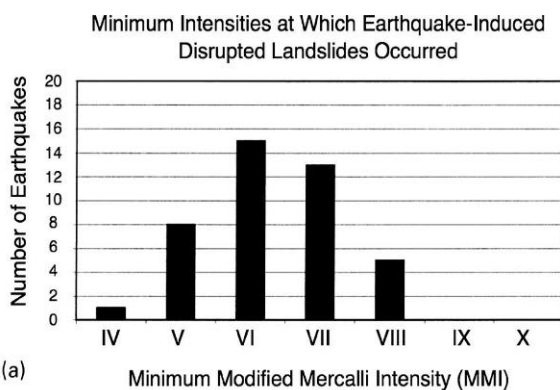
۲-۱۳- رابطه بین زمین لغزش‌ها و شدت زلزله

مقیاس‌های متعددی جهت تعیین شدت زلزله با استفاده از احساس انسان، حرکت اشیاء، میزان خسارات وارده به سازه‌های مهندسی، زمین لغزش‌ها و دیگر گسیختگی‌های سطحی تعریف شده است. مقیاسی که بیش از سایر مقیاس‌ها در بسیاری از مناطق جهان به کار می‌رود مقیاس اصلاح شده مرکالی (MMI) است که توسط وود و نیومن^۱ (۱۹۳۱) ارائه شده و توسط ریشر^۲ (۱۹۵۸) اصلاح شده است (به نقل از (Keefner, 1984)). در مقیاس اصلاح شده مرکالی، از زمین لغزش‌ها نیز جهت تعیین شدت استفاده شده است. با استفاده از این پارامتر و پارامترهای دیگر، میزان شدت در هر نقطه تعیین شده و نقشه هم شدت تهیه می‌شود. در مقایسه با سایر پارامترها نقش پارامتر زمین لغزش در تعیین شدت کم بوده و زمین لغزش‌ها حتی در مناطقی با شدت‌هایی پایین‌تر از شدت‌های تعیین شده در این مقیاس به عنوان حداقل شدت لازم برای وقوع زمین لغزش‌ها دیده می‌شوند. همانطور که ریشر (۱۹۵۸) به نقل از (Keefner, 1984) بیان کرده است زلزله‌های بزرگ می‌توانند سبب ایجاد لغزش‌های چرخشی در شدت VI (MMI) گردند. این در حالی است که وجود زمین لغزش برای نشان دادن

¹ Wood and Neumann

² Richter

شدت‌های پایین‌تر از VII (MMI) به کار نرفته است. برای تعیین پایین‌ترین شدت‌هایی که در آنها زمین‌لغزش ایجاد می‌شود نقشه هم شدت با نقشه پراکنش لغزش‌ها در زلزله‌ها توسط کیفر مقایسه گردیده است. این مقایسه برای لغزش‌های گسسته و ریزش‌ها، لغزش‌های پیوسته و گسترش‌های جانبی و جریان‌ها انجام گرفته است. حداقل شدت لازم در اغلب زلزله‌ها برای لغزش‌های گسسته و ریزش‌ها VI (MMI) و حداقل شدت گزارش شده IV (MMI) بوده است. حداقل شدت لازم برای لغزش‌های پیوسته و گسترش‌های جانبی و جریان‌ها به ترتیب VII و حداقل شدت گزارش شده V بوده است. بنابراین، ریزش‌ها و لغزش‌های گسسته به طور متوسط در شدت‌های پایین‌تری نسبت به انواع دیگر زمین‌لغزش‌ها ایجاد می‌شوند و حداقل شدت لازم برای لغزش‌های پیوسته تقریباً برابر با حداقل شدت لازم برای ایجاد گسترش‌های جانبی و جریان‌ها است. مقایسه این شدت‌ها (حداقل شدت گزارش شده) با شدت‌های تعیین شده توسط وود و نیومن (۱۹۳۱)، (به نقل از Keefe, 1984) و ریشر (۱۹۵۸)، (به نقل از Keefe, 1984)) نشان می‌دهد که زمین‌لغزش‌ها بین یک تا دو درجه پایین‌تر از مقدار مشخص شده در مقیاس اصلاح شده مرکالی ایجاد می‌شوند (Keefe, 1984).



شکل ۲-۱۰: حداقل شدت مرکالی اصلاح شده زلزله‌های مورد مطالعه. (Keifer, 1984)
 که منجر به رخداد زمین‌لغزش شده‌اند. A: حداقل شدت برای لغزش‌های گسسته و ریزش‌ها، B: حداقل شدت برای لغزش‌های پیوسته، C: حداقل شدت برای گسترش‌های جانبی و جریان‌ها. (Keifer, 1984).

۲-۱۴- رابطه بین پارامترهای لرزه‌ای و پراکنش زمین‌لغزش‌ها

مطالعات ذکر شده حاکی از این است که:

۱- حد آستانه‌ای از بزرگای زلزله وجود دارد که پایین‌تر از آن به‌ندرت زمین‌لغزش در اثر زلزله ایجاد

می‌شود؛

۲- در بالای این حد، زلزله‌ها تا فاصله خاصی از رو مرکز یا گسیختگی گسلی برحسب بزرگای زلزله توانایی ایجاد زمین‌لغزش دارند (شکل ۲-۸).

۳- به‌علاوه حد آستانه بزرگا و فواصل ایجاد لغزش تا رو مرکز و گسیختگی سطحی برای انواع مختلف زمین‌لغزش متفاوت است.

داده‌های حاصل از حداقل بزرگا و شدت و ارتباط فاصله و بزرگا نشان می‌دهند که ریزش‌های سنگی و خاکی و لغزش‌های سنگی و لغزش‌های خاکی گسسته به وسیله پایین‌ترین حد آستانه لرزش زمین ایجاد می‌شوند. رخداد ریزش‌های سنگی و خاکی و لغزش‌های سنگی و لغزش‌های خاکی گسسته در اثر وقایع لرزه‌ای با بزرگای کمتر ($M \approx 4.0$) نشان دهنده این است که این نوع زمین‌لغزش‌ها می‌توانند به وسیله یک یا چند پالس لرزش فرکانس بالا ایجاد گردند. لغزش‌های پیوسته و گسترش‌های جانبی و جریان‌ها به وسیله حد آستانه بالاتری ایجاد می‌شوند. فقدان بهمن‌های سنگی در زلزله‌هایی با بزرگای کوچکتر از ۶ و بهمن‌های خاکی در زلزله‌هایی با بزرگای کوچکتر از ۶/۵ نشان دهنده این است که این نوع زمین‌لغزش‌ها عمدتاً به وسیله حد آستانه بالاتری ایجاد می‌شوند. لغزش‌های پیوسته، گسترش‌های جانبی و جریان‌ها، بهمن‌های سنگی و خاکی احتمالاً به وسیله زلزله‌های بزرگ با دوام بیشتر و محتوی فرکانس پایین‌تر لرزش ایجاد می‌شوند. تحلیل‌های قبلی در مورد زمین‌لغزش‌های پیوسته توسط ویلسون و کیفیر^۱ (۱۹۸۳) و روانگرایی خاک که عمدتاً منجر به ایجاد بیشترین تعداد گسترش‌های جانبی می‌شوند، نشان می‌دهد که دوام زمین‌لرزه تأثیر مهمی روی شروع این زمین‌لغزش‌ها دارد (Keefer, 1984).

۲-۱۵- خصوصیات زمین‌لغزش‌ها و محیط‌های زمین‌شناسی

در بیشتر محیط‌های زمین‌شناسی زمین‌لغزش‌ها حتی در شرایط غیر لرزه‌ای نیز ایجاد می‌گردند. ایجاد زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله در یک دامنه بستگی به ویژه‌گی‌های مقاومتی مصالح تشکیل دهنده دامنه، شکل دامنه، میزان فشار آب منفذی و شدت لرزش زمین دارد (Keefer, 1984).

¹ Wilson and Keefer

۲-۱۵-۱- لغزش‌های گسسته و ریزش‌ها در سنگ

ریزش‌های سنگی: ریزش‌های سنگی، بولدرهای منفرد یا توده‌های گسسته‌ای از سنگ هستند که با افتادن، غلطش یا چرخش به پایین دامنه حرکت می‌کنند.

ریزش‌های سنگی فراوان‌ترین نوع زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله محسوب می‌شوند (جدول (۲-۲)) که موجب خسارات زیاد جانی و مالی در بسیاری از زلزله‌ها گردیده‌اند. گرچه ریزش‌های سنگی ناشی از زلزله در اغلب سنگ‌ها رخ می‌دهند ولی بیشتر در سنگ‌های به شدت درزه‌دار و یا با سیمان ضعیف دیده می‌شوند. سنگ‌های با سیمان ضعیف که ریزش‌های سنگی در آنها ایجاد می‌شوند شامل: پومیس، توف، شیل، سیلت‌استون، ماسه سنگ و کنگلومرا هستند. همچنین در بولدرهای هوازده و خرد شده موجود در یخرفت و در خاک‌های برجا نیز ریزش‌های سنگی ایجاد می‌شوند. در سنگ‌های خوب سیمانی شده که به وسیله منافذ درزه‌ای در حد چند دسی متر به صورت بخش‌های مجزا شکسته شده‌اند ریزش‌های سنگی ایجاد می‌شوند. ریزش سنگی تنها در دامنه‌هایی رخ می‌دهد که بیش از 40° درجه شیب داشته باشند. ستیغ‌های باریک کوه‌ها، برآمدگی‌های سنگی، خط الرأس قله‌ها و بریدگی‌های ایجاد شده در دامنه به‌دست انسان نسبت به دیگر قسمت‌های دامنه برای ایجاد ریزش سنگی مستعدتر هستند. بسیاری از شیب‌هایی که تولید ریزش در اثر زلزله می‌کنند در شرایط غیرلرزه‌ای نیز ناپایدار بوده و حجم زیادی از کوهرفت در دامنه‌هایشان دیده می‌شود (Keifer, 1984).

لغزش‌های سنگی: حرکت مشخص و نامنظم در توده‌ای از بلوک‌ها و یا قطعات سنگی و در طول یک سطح صاف و یا کمی چرخشی، را لغزش سنگی می‌نامند. لغزش‌های سنگی در همان مصالح مستعد برای ریزش سنگی ایجاد می‌شوند و بعضی مواقع در نهشته‌های لغزش سنگی قدیمی‌تر هم ایجاد می‌شوند. این لغزش‌ها در دامنه‌های کناری آبراهه‌ها و شیپارها^۱ با شیب بیش از 35° درجه ایجاد می‌شوند. **بهمن سنگی:** بهمن سنگی، زمین‌لغزش‌هایی هستند که به جریانی از قطعات سنگی تبدیل شده و می‌توانند چندین کیلومتر در روی دامنه‌ای با شیب چند درجه و با سرعت چند صد کیلومتر در ساعت

¹ flutes

حرکت نمایند. تمام بهمن‌های سنگی گزارش شده در ۴۰ زلزله تاریخی مطالعه شده به وسیله کیفر (۱۹۸۴) بزرگ بوده و دارای حداقل حجمی حدود $۰/۵ \times ۱۰^۶$ مترمکعب بوده‌اند؛ انرژی جنبشی لازم برای جابجایی زیاد مصالح بهمن سنگی به وسیله ایجاد ریزش اولیه در دامنه‌های پرشیب و مرتفع تأمین می‌شود. مسیر بهمن سنگی از یک بخش پرشیب ابتدایی که در آن بهمن شروع می‌شود و یک بخش کم شیب مسیر که بهمن در آن طی مسیر کرده و بعد از مسافتی متوقف می‌گردد تشکیل شده است. حداقل شیب و ارتفاع گزارش شده در زلزله‌های برای بخش آغازین بهمن ۲۵° و ۱۵۰ متر می‌باشد. داده‌های حاصل از زلزله‌ها نشان می‌دهد که اکثر بهمن‌ها در سنگ‌های شدیداً درزه‌دار رخ داده‌اند (Keefner, 1984).

۲-۱۵-۲- لغزش‌های پیوسته در سنگ‌ها

لغزش‌های چرخشی سنگی: هر لغزش چرخشی سنگی شامل یک یا تعداد کمی بلوک پیوسته و عمیق است (جدول ۲-۲). لغزش مواد طوری است که در طول سطح لغزش دارای بردار چرخش می‌گردد. این لغزش‌ها در شیب‌های بیش از ۱۵° رخ می‌دهد.

لغزش‌های چرخشی سنگی در سنگ‌های آذرین (مانند: بازالت با میان لایه‌های خاکستر و برش، پومیس،

آندزیت، گرانیت و...) و دگرگونی (مانند: گرینستون، اسلیت، شیست، آمفیبولیت و...) و همچنین در سنگ‌های رسوبی (مانند: شیل، سیلت‌استون، ماسه سنگ و...) نیز رخ می‌دهند (Keefner, 1984).

لغزش‌های بلوکی سنگی: این لغزش‌ها نیز عمیق بوده و شامل یک یا تعداد کمی بلوک سنگی است که روی صفحات صاف یا کمی خمیده حرکت می‌کنند این لغزش‌ها در شیب‌های بیش از ۱۵° رخ می‌دهند. لغزش‌های بلوکی سنگی دارای چرخش کم یا فاقد چرخش می‌باشند. لغزش‌های بلوکی سنگی در مصالحی مانند توف، آندزیت، پومیس‌های با سیمان ضعیف، شیل‌های دارای درزه‌های نزدیک به هم یا دارای سیمان ضعیف، گل سنگ، سیلت‌استون و ماسه سنگ رخ می‌دهند (Keefner, 1984).

۲-۱۵-۳- لغزش‌های گسسته و ریزش‌ها در خاک‌ها

ریزش‌های خاکی: ریزش‌های خاکی، بلوک‌ها یا توده‌های خاکی به هم ریخته‌ای از خاک هستند که به طریق پرتاب شدن، چرخش یا سقوط به پایین دامنه حرکت می‌کنند. بیشتر بلوک‌های خاکی در خلال حرکت خرد می‌شوند. در زلزله‌های مطالعه شده به وسیله کیفر ریزش‌های خاکی در شیب‌های تندی مثل پرتگاه‌های ساحلی، دیواره‌های دره‌ها، حاشیه رودخانه‌ها، رویه تراس‌ها و ترانشه‌ها بوجود آمده‌اند. گرچه شیب 63° حداقل شیبی است که در زلزله‌ها برای ایجاد این نوع لغزش‌ها گزارش شده است، ولی شیب‌های 40° نیز توانایی ایجاد ریزش‌های خاکی را دارند. بیشتر ریزش‌های خاکی در مصالحی مانند: شن یا ماسه دارای سیمان ضعیف رسی که کمی تحکیم یافته‌اند رخ می‌دهند (Keffer, 1984).

لغزش‌های خاکی گسسته: لغزش‌های خاکی گسسته شامل لایه‌هایی از خاک هستند که دارای ضخامتی حدود چند دسی متر تا چند متر بوده و در حین حرکت به قطعات نامنظمی از بلوک‌های کوچک یا دانه‌های منفرد خاک تبدیل می‌شود. عمده‌ترین مصالح تشکیل دهنده این نوع لغزش‌ها شامل ماسه‌ها یا کوهرفت‌های سست، غیراشباع و با مقدار کم یا فاقد رس می‌باشند. حداقل شیب لازم برای ایجاد این نوع لغزش 15° است (Keffer, 1984).

بهمن خاکی: بهمن خاکی شامل توده‌های طویلی متشکل از بلوک‌های کوچک و دانه‌های خاک است که سریع‌تر و ناپیوسته‌تر از لغزش‌های خاکی گسسته حرکت می‌کنند و اغلب از شیب یا منشاء اصلی خود فاصله زیادی می‌گیرند. در زلزله‌های مطالعه شده، بهمن‌های خاکی در شیب‌های بیش از 25° و در ماسه‌های غیراشباع، انباشته‌های بهمن خاکی قدیمی تر و در خاک‌های آتشفشانی ایجاد شده‌اند (Keffer, 1984).

۲-۱۵-۴- لغزش‌های پیوسته در خاک‌ها

لغزش‌های چرخشی خاکی: لغزش‌های چرخشی خاکی معمولاً عمیق بوده و شامل یک یا چندین بلوک خاکی است که در سطح لغزش چرخشی حرکت می‌کند.

این لغزش‌ها به وسیله پرتگاه‌های هلالی، بلوک‌هایی با سطح فوقانی برگشتی به سمت پرتگاه و پنجه‌های برجسته مشخص می‌گردد. خاک‌های دستی معمول‌ترین مصالحی هستند که این نوع لغزش‌ها طی زلزله در آن‌ها رخ می‌دهد. آبرفت‌های دشت سیلابی بیش از سایر مصالح طبیعی دیگر درگیر این لغزش‌ها می‌شوند و آبرفت‌های ماسه‌ای بیش از آبرفت‌های دانه درشت یا دانه‌ریز مستعد وقوع این لغزش‌ها می‌باشند. حداقل شیب لازم برای این لغزش‌ها 10° - 7° می‌باشند (Keefe, 1984).

لغزش‌های بلوکی خاکی: لغزش‌های بلوکی خاکی نوع دیگری از لغزش‌های عمیق هستند که دارای سطح لغزش صاف (تقریباً افقی) یا کمی خمیده هستند، این نوع لغزش دارای گرابن در بالای خود بوده و بعضاً دارای ترک و گرابن در بدنه و برآمدگی‌های فشاری^۱ در پنجه خود است. اکثر لغزش‌های بلوکی خاکی حاصل از زلزله در آبرفت‌های دشت سیلابی (سیلنتی یا ماسه ای) یا خاک‌های دستی رخ داده‌اند. دیگر مصالح مستعد برای لغزش‌های بلوکی خاکی عبارت از رسوبات یخچالی، خاکستر آتشفشانی، رسوبات واریزه‌ای، رسوبات کویری رس دار، رسوبات دریاچه ای، پادگانه‌های آبرفتی شنی، رسوبات بادرفتی ماسه‌ای، رسوبات مخروط افکنه‌های آبرفتی ماسه ای و رسوبات حاشیه یخچالی هستند. قسمت پیشانی دامنه در نواحی مستعد برای لغزش‌های بلوکی خاکی دارای شیب ملایم 5° می‌باشد (Keefe, 1984).

جریان‌های خاکی آرام: جریان‌های خاکی آرام توده‌هایی زبانه‌ای یا قطره اشکی از رس، رس سیلنتی یا سیلنت‌های رسی هستند که به وسیله سطح لغزش ناپیوسته محدود می‌گردند. بهم ریختگی داخلی در این نوع زمین‌لغزش‌ها کم است. سطح برشی اشباع است. جریان‌های خاکی آرام ناشی از زلزله‌های مطالعه شده در مصالحی مانند: خاک‌های برجای رسی، لوم‌های رسی، خاکستر آتشفشانی، واریزه‌ها و

¹ Pressure ridge

انباشته‌های جریان خاکی قدیمی تر رخ داده است. حداقل شیب لازم برای وقوع این لغزش‌ها در زلزله حدود 10° است (Keefe, 1984).

۲-۱۵-۵- گسترش‌های جانبی و جریان‌ها در خاک‌ها

گسترش‌های جانبی خاکی: حرکت گسترش جانبی به شکلی تدریجی در رسوبات روانگرا شده (شن، ماسه، سیلت) یا رس‌های حساسی که به وسیله حرکت زمین روان شده‌اند، ایجاد می‌شود. سطح برشی اشباع است. گسترش‌های جانبی دارای ترک‌های کششی و گرابن‌های داخلی متعددی است و اکثراً در سواحل، حاشیه کانال‌های رودخانه‌ها (در مصالحی مانند: سیلت، ماسه سیلتی، ماسه ریز دانه) یا مرداب‌ها اتفاق می‌افتند. این نوع حرکت در حین زلزله بیشتر در خاک‌های دستی (سیلت، شن ماسه ای و بیشتر ماسه ریز دانه) و آبرفت‌های دشت سیلابی (در حاشیه‌های رودخانه‌ها) رخ می‌دهند. حداقل شیب لازم برای وقوع این نوع زمین‌لغزش‌ها $3/0^{\circ}$ است، که مطابق با مقدار گزارش شده به وسیله یوند^۱ (۱۹۷۵) می‌باشد (Keefe, 1984).

جریان‌های خاکی سریع: جریان‌های خاکی سریع روانه‌هایی از خاک هستند که معمولاً (ولی نه همیشه) با آب مخلوط شده و مانند سیال و با سرعتی بالا، در دامنه‌هایی با شیب بسیار کم (چند درجه) بیش از چندین کیلومتر حرکت کرده و بلوک‌هایی به وزن چند صد تن را حرکت می‌دهند. اکثر جریان‌های خاکی سریع در خاک‌های اشباع رخ داده‌اند. حداقل شیب لازم برای وقوع این نوع زمین‌لغزش‌ها در خاک‌های اشباع شده $3/2^{\circ}$ است (Keefe, 1984).

زمین‌لغزش‌های زیرآبی: تمامی زمین‌لغزش‌های زیردریایی و زیردریاچه‌ای تحت عنوان زمین‌لغزش‌های زیرآبی طبقه‌بندی می‌گردند. گرچه برخی از زمین‌لغزش‌های زیرآبی ناشی از زلزله از نوع چرخشی یا لغزش بلوکی بوده‌اند ولی بیشتر آنها از نوع گسترش جانبی، جریان‌های سریع یا هر دو می‌باشند. اگرچه حداقل زاویه شیب لازم برای وقوع این نوع لغزش‌ها $5/0^{\circ}$ است، اما بیشتر این نوع لغزش‌ها در دامنه‌هایی با شیب بیش از 10° رخ داده‌اند (Keefe, 1984).

^۱ Yound

۲-۱۶- روش‌های مختلف پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

آلوتی و چودجوری^۱ (۱۹۹۹) با در نظر گرفتن نظرات دیگر پژوهشگران طبقه‌بندی را برای روش‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش ارائه دادند. در این تقسیم‌بندی روش‌های مطالعه به دو نوع کیفی و کمی تقسیم شده‌اند.

۲-۱۶-۷- روش کیفی

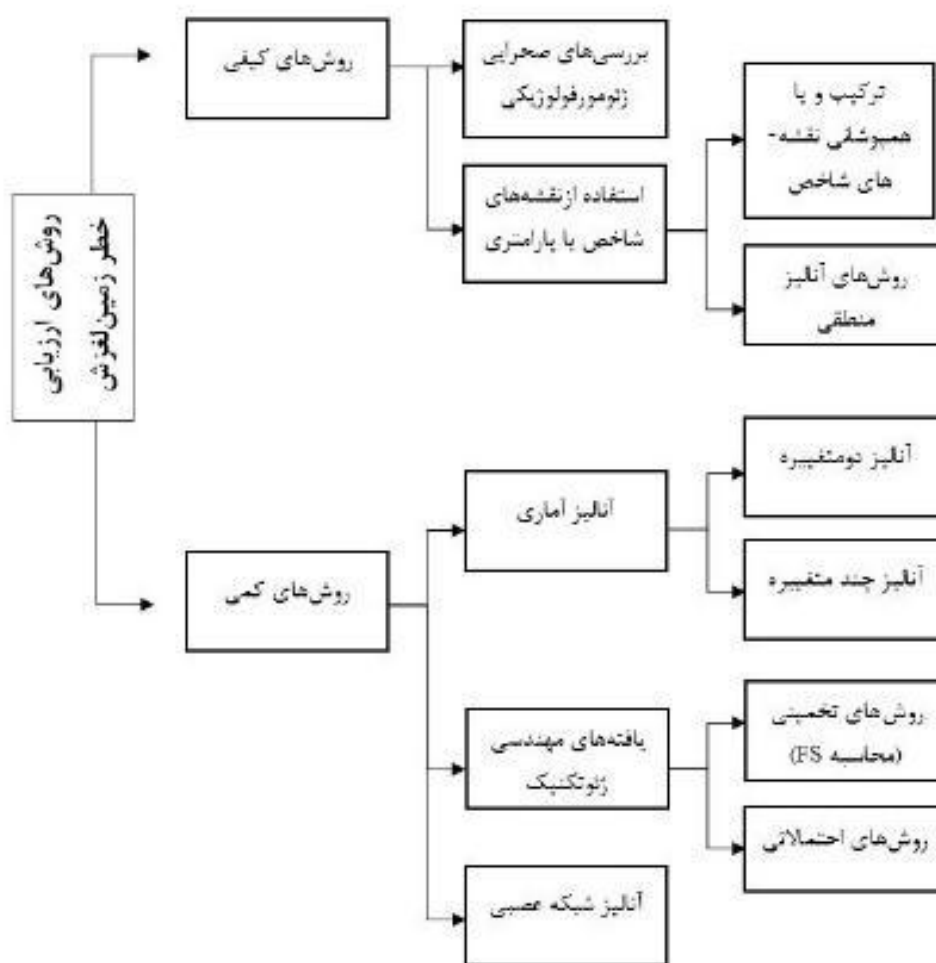
روش‌های کیفی به صورت کلی بر پایه نظرات شخصی و یا نظرات جمعی افرادی که اقدام به پهنه‌بندی کرده‌اند استوار است. داده‌های ورودی به این روش‌ها معمولاً توسط بازدیدهای صحرایی و یا تفسیر عکس‌های ماهواره‌ای جمع‌آوری شده‌اند. لیروی (۱۹۹۶) این‌گونه روش‌ها را روش‌های مبتنی با قضاوت کارشناسی دانسته است.

۲-۱۶-۸- روش کمی

محدودیت اصلی در روش‌های کیفی، وزن‌دهی به انبوهی از عوامل کنترل‌کننده پایداری شیب بر اساس

سلیقه شخصی است. راه حل این مشکل ارزیابی آماری پراکنش زمین‌لغزش‌ها به وسیله عوامل مؤثر است. روش‌های کمی شامل آنالیزهای تخمینی، هوش مصنوعی، روش‌های احتمالاتی و آماری و در کل روش‌هایی که مبتنی بر ریاضیات باشند. با به‌کارگیری این روش‌ها نیاز به قضاوت کارشناسی کم و کم‌تر شده و در نتیجه خطای مرتبط کاهش چشم‌گیری می‌یابد. اطلاعات به‌دست آمده از روش‌های کمی می‌تواند در مناطق دارای شرایط مساعد اما فاقد لغزش کاربرد داشته باشد. دشواری اصلی در این نوع از روش‌ها مشخص نمودن فرآیندهای ناپایداری دامنه و شناسایی و ارزیابی سیستماتیک عوامل گوناگون لغزش است. شکل (۲-۱۱) روش‌های طبقه‌بندی ذکر شده را به تفصیل نشان می‌دهد (Aelotti & Chowdhury, 1999).

¹ Aelotti & Chowdhury



شکل ۲-۱۱: طبقه بندی روش های پهنه بندی خطر زمین لغزش (Aelotti & Chowdhury, 1999)

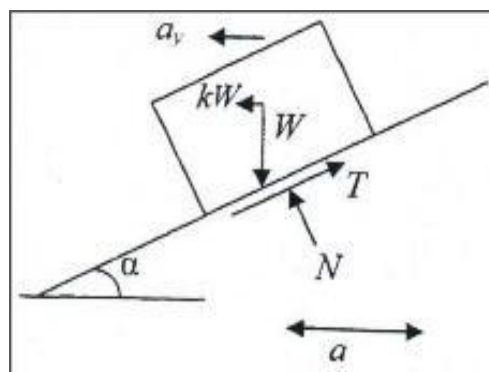
بر اساس این طبقه بندی، مدل CAMEL از آنجایی که از روش های مبتنی بر منطق همچون منطق فازی استفاده می کند، جز روش های کیفی قرار دارد.

۲-۱۷- مطالعه زمین لغزش در ایران و جهان

شاید اولین مشاهدات مرتبط با زمین لغزش های ناشی از زمین لرزه را بتوان به ۳۸۰۳ سال پیش نسبت داد. چینی ها در این زمان زمین لغزش های ناشی از زلزله را ثبت نمودند. پس از آن در ۲۳۸۷ سال قبل یونانیان به ثبت این وقایع دست زدند. اولین مطالعات علمی در این زمینه، پس از زلزله ۱۷۸۳ در ایتالیا با بزرگای ۷ در مقیاس ریشتر صورت گرفت. از مطالعات انجام گرفته در سده های ۱۹ و ۲۰، می توان به مطالعات دتون^۱ (۱۸۸۹) و لاوسون^۱ (۱۹۰۸) اشاره نمود که هر دو بر روی زلزله های رخ داده

¹ Dutton

در ایالات متحده انجام پذیرفته است. سیمونت^۲ (۱۹۶۴) با استفاده از روش‌های آماری توانست زمین- لغزش‌های ناشی از زمین‌لرزه‌های ناشی از زمین‌لرزه را از زمین‌لغزش‌های با منشأ متفاوت جداسازی نماید (keefner, 2002). اما می‌توان گفت که بررسی‌های قاعده‌مند مرتبط با زمین‌لغزش‌های ناشی از زمین‌لرزه از ۱۹۶۵، با بررسی توده‌های لغزشی توسط نیومارک و معرفی مدل جابجایی بلوکی سخت شروع شد. روش نیومارک بهبودی در روش شبه استاتیک سنتی است که می‌توانست تنها در شرایط خاص (به عنوان مثال زمانی که فاکتور ایمنی برابر با ۱ باشد) به ارائه اطلاعات محدودی در مورد نحوه ریزش اقدام نماید اما هیچ اطلاعاتی در مورد تغییر شکل ناشی از لرزه به دست نمی‌داد. روش جدید حاکی از این است که کاهش بیش از واحد (۱) فاکتور ایمنی "شکست" لزوماً به معنای رخداد زمین- لغزش نیست، بلکه زمان ادامه لرزه در حالت کم بودن فاکتور ایمنی ($FS < 1$) نیز اهمیت بسزایی دارد. با این حال، هر بار که فاکتور ایمنی کمتر از حد واحد است، برخی تغییر شکل‌های دائمی رخ می‌دهند و باعث کاهش مقاومت توده لغزشی می‌شوند. این روش نشان می‌دهد که یک توده لغزشی در راستای شیب، زمانی یک بلوک لغزشی به حساب می‌آید که نیروی اینرسی (شتاب X توده) وارد بر روی آن، معادل یا بیشتر از نیروی مورد نیاز برای ایجاد لغزش باشد (شکل ۲-۱۲). در این مدل در واقع این شتاب بحرانی^۳ (a_c) ناشی از زلزله است که موجب گسیختگی بلوک لغزشی می‌شود (رابطه ۱-۲).



شکل ۲-۱۲: بلوک لغزشی در تحلیل نیومارک
(N نیروی نرمال بر سطح، T نیروی برشی، W وزن بلوک، k ضریب زلزله)

¹ lawson

¹⁰ simont

³ Critical Acceleration (Yield)

$$a_c = (FS - 1)g \sin(\alpha) \quad ۲-۱$$

شایان ذکر است که در این رابطه a_c نمایانگر شتاب بحرانی (g) ، FS فاکتور ایمنی استاتیکی، g شتاب گرانش زمین و α زاویه شیب به درجه می باشد. فاکتور ایمنی نیز از طریق رابطه (۳-۱) محاسبه می گردد.

$$FS = \frac{\dot{c}}{\gamma t \sin \alpha} + \frac{\tan \dot{\phi}}{\tan \alpha} - \frac{m \gamma_w \tan \dot{\phi}}{\gamma \tan \alpha} \quad ۳-۱$$

در این رابطه \dot{c} نمایانگر چسبندگی، $\dot{\phi}$ زاویه اصطکاک داخلی و α زاویه شیب، γ وزن حجمی مواد، γ_w وزن حجمی آب، t ضخامت عمود بر شیب ورقه گسیخته شده و m نسبت ضخامت ورقه اشباع شده، می باشند.

روش نیومارک از اولین روش‌های شبه استاتیکی^۱ بود که قادر به بررسی رفتار توده‌های لغزشی در حالت دینامیک و در راستای شیب‌های طبیعی است. تا قبل از ابداع این روش، زمین لرزه تنها جزئی از عوامل تحریک کننده زمین لغزش به حساب می آمده است. ویلسون و کیفر (۱۹۸۳) با استفاده از داده‌های شتاب نگاشت به جای شدت آریاس نشان دادند که روش نیومارک نتایج مفید و منطقی از لغزش‌های ناشی از لرزه را ایجاد می نماید (Jibson et.al, 2000).

رده بندی اصولی زمین لغزش‌ها توسط وارنر در ۱۹۷۸ مفاهیم لازم جهت شناخت و درک بهتر زمین لغزش‌های ناشی از زمین لرزه را به صورت مدون به دست داد و موجب گردید اکثر پژوهشگران، این طبقه بندی را به عنوان چارچوب رده بندی این نوع از زمین لغزش‌ها در نظر گیرند. در این طبقه بندی زمین لغزش‌ها بر اساس مصالح درگیر، خصوصیات حرکتی و سپس دیگر خصوصیات مانند میزان به هم خوردگی داخلی و آب محتوی تقسیم بندی شده اند. نحوه تقسیم بندی در طبقه بندی وارنر به گونه ای است که می توان زمین لغزش‌های متأثر از زلزله را تمیز و گونه آن را تشخیص داد.

کیفر (۱۹۸۴)، بر پایه طبقه بندی وارنر اقدام به طبقه بندی زمین لغزش‌های ناشی از زمین لرزه نمود. در این تقسیم بندی وی با مطالعه ۳۹ زمین لرزه تاریخی در سراسر جهان و زلزله ۱۳۵۶ خورگو در ایران، زمین لغزش‌ها را به واسطه تشابه آن‌ها در حرکت، به هم ریختگی داخلی و خواص زمین شناسی به سه

¹ pseudo-static

گروه بزرگ لغزش‌های گسسته و ریزش‌ها، لغزش‌های پیوسته ۲ و گسترش‌های جانبی و جریان‌ها ۳ تقسیم کرده است. هر کدام از دو نوع اول این لغزش‌ها می‌توانند در محیط خاکی و یا سنگی اتفاق بیافتد. وی همچنین ۱۵ نوع زمین لغزش را که توسط عوامل لرزه ای ایجاد شده اند، تشخیص داد. این زمین لغزش‌ها به ترتیب کاهش فراوانی عبارتند از:

۱- ریزش‌های سنگی-۲- لغزش‌های خاکی گسسته-۳- لغزش سنگی-۴- گسترش جانبی خاک-۵- لغزش چرخش-۶- خاکی-۷- لغزش بلوکی خاکی-۸- بهمن خاکی-۹- ریزش خاکی-۱۰- جریان خاکی سریع-۱۱- لغزش چرخشی سنگی-۱۲- زمین لغزش زیر آبی-۱۳- جریان خاکی آرام-۱۴- لغزش بلوکی سنگی-۱۵- بهمن سنگی.

وی همچنین اقدام به تجزیه و تحلیل پارامترهای لرزه‌ای و رابطه آن‌ها با زمین لغزش نمود که می‌توان به محاسبه کوچکترین زلزله مسبب زمین لغزش، رابطه بین بزرگی زلزله و سطح متأثر از زمین لغزش، رابطه بین بزرگی زمین لغزش و حداکثر فاصله تا گسیختگی گسل، رابطه بین بزرگی گسل و حداکثر فاصله تا رومرکز زلزله و حداقل شتاب لازم جهت تحریک زمین لغزش اشاره نمود (Keefer, 1984). جیبسون و همکاران (۲۰۰۰)، روشی را در استفاده آسان‌تر از روش نیومارک ابداع نمود. او با استفاده از پلات کردن ۱۱ داده آریاس منطقه، رابطه‌ای را به دست آورد که از طریق آن می‌توان جابجایی نیومارک منطقه را به راحتی محاسبه نمود. وی رابطه شدت آریاس، شتاب بحرانی و جابجایی نیومارک را بر مبنای ۵۵۵ شتاب جهانی شتاب-زمان تاریخی به صورت رابطه زیر بیان نمود.

$$\log D_N = 1.460 \log I_a - 6.642 a_c + 1.546 \pm 0.409 \quad :4-1$$

در این رابطه D_N نمایانگر جابجایی نیومارک (cm)، I_a شدت آریاس (m/sec^2) و a_c نماینده شدت بحرانی (g) می‌باشد. هرچند جیبسون ایراداتی را بر این روش در مباحث شیب‌های ضعیف شده، خاک‌های ریزدانه با خاصیت پلاستیکی (روانگرا) و زمین لغزش‌های دارای تعادل نزدیک به حد بحرانی

¹ Disrupted slides and falls

² Coherent slides

³ Lateral spreads and flows

وارد می‌داند، اما این روش را جهت پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های ناشی از لرزه مناسب می‌داند (Jibson et.al, 2000).

از آنجایی که در طراحی روش نیومارک توجه بسیاری به خواص مهندسی خاکریزها و سدهای خاکی مصنوعی شده است، این روش در پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های پیوسته با سطح لغزشی خوب ضعف‌های آشکار داشته (Miles, 2010). روش نیومارک در پیش‌بینی انواع زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله مانند: لغزش‌های خاکی گسسته‌شده، لغزش‌های سنگی و ریزش‌های سنگی نیز دارای نواقص زیادی می‌باشد (Keefer, 1984).

مایلز و کیفر (۲۰۰۷) روشی کیفی را بر پایه منطق فازی و محاسبه با واژه‌ها را طراحی نمودند که قادر به مدل‌سازی طیف وسیعی از زمین‌لغزش‌های ناشی از لرزه باشد. در این روش که از دو بخش ترتیب امکان و میزان تمرکز منطقه‌ای زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله ساخته شده است. در هر کدام از این بخش‌ها چندین بلوک قانون اگر-آنگاه به همراه عمل‌گرهای فازی وجود دارند.

بخش امکان رخداد^۱ محتمل بودن زمین‌لغزش و بخش تراکم خطر^۲ خطر نسبی هر نوع از زمین-لغزش‌ها را به صورت تعداد زمین‌لغزش در هر کیلومتر مربع محاسبه می‌نماید.

در ایران نیز تا کنون اقدامات زیادی در راستای پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های ناشی از لرزه انجام شده است که می‌توان به پژوهش‌های زیر اشاره نمود:

حافظی مقدس (۱۳۷۲)، با استفاده از روش‌های نیلسن، کاناگوا و تحلیل شیب نامحدود منطقه رودبار در استان گیلان را به روش دستی پهنه‌بندی نمود. در این تحقیق ارتباط مکانیسم‌های لغزشی با فاصله از گسل زمین‌لرزه‌ای، کانون سطحی گسل‌های فعال، ارتفاع نسبی و جنس مصالح ارزیابی گردیده است. او روش نیلسن را برای منطقه مورد مطالعه اصلاح نمود و نتایج نسبتاً خوبی را ارائه داد. همچنین نتایج حاصل از روش کاناگوا در منطقه فعال و گسلی لاکه - کتبه واقع در رودبار، نسبتاً مناسب بوده است (میرصانعی و مهدویفر، ۱۳۸۵).

¹ Possibility Module

² Hazard Module

حائری (۱۳۷۵)، با اصلاح روش مورا و وارسون استان مازندران به مساحت ۴۶۶۴۶ کیلومتر مربع را به مقیاس ۱: ۲۵۰۰۰۰ با استفاده از روش دستی پهنه‌بندی نمود. نحوه شبکه‌بندی از نوع منظم مربعی شکل با ابعاد شبکه ۲۵۰۰ متر می‌باشد و لایه‌های اطلاعاتی بکار رفته شامل: لیتولوژی، زاویه شیب، طول راه و رودخانه، طول گسل حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته با دوره بازگشت صد سال، شدت زلزله و درصد رطوبت طبیعی منطقه می‌باشد. او برای ارزیابی صحت ضرایب، عوامل ناپایداری دامنه‌ها را در دو حالت استاتیکی و دینامیکی در ضرایب مختلف ضرب کرده و نتایج کار را با رانش‌های قدیمی و جوان، کوچک و بزرگ این مناطق کالیبره نمود تا مناسبترین ضرایب به دست آید (میرصانعی و مهدویفر، ۱۳۸۵).

نوگل سادات (۱۳۷۵)، با استفاده از روش فازی استان گلستان به مساحت ۱۴۷۱۱ کیلومتر مربع را به مقیاس ۱: ۲۵۰۰۰۰ با استفاده از برنامه کامپیوتری تهیه شده برای این منظور پهنه‌بندی نمود. نحوه شبکه‌بندی آن منظم مربعی شکل با ابعاد شبکه ۱۰۰۰ متر می‌باشد. لایه‌های اطلاعاتی بکار رفته شامل: سنگ‌شناسی، شیب دامنه، شتاب حرکت زمین، بارندگی سالیانه، فاصله از گسل، کاربری یا پوشش گیاهی می‌باشد. صحت نقشه پهنه‌بندی شده را با چک صحرایی و بررسی نقشه پهنه‌بندی مناطق تپ مورد ارزیابی قرار داد (میرصانعی و مهدویفر، ۱۳۸۵).

مهدویفر (۱۳۷۶)، با استفاده از روش مجموعه‌های فازی منطقه خورش رستم از توابع شهرستان خلخال واقع در استان اردبیل به مساحت ۱۲۶۸ کیلومترمربع را با روش دستی به مقیاس ۱: ۵۰۰۰۰ پهنه‌بندی نمود. نحوه شبکه‌بندی در این تحقیق شبکه‌بندی منظم مربعی شکل با ابعاد شبکه ۵۰۰ متر می‌باشد. لایه‌های اطلاعاتی بکار رفته برای پهنه‌بندی شامل: نهشته‌های لغزشی، واحدهای زمین-شناسی، فاصله از گسل، کاربری اراضی، تپ اراضی و شیب دامنه می‌باشد. صحت نقشه پهنه‌بندی تهیه شده با نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است (میرصانعی و مهدویفر، ۱۳۸۵).

شریعت جعفری (۱۳۷۶)، با استفاده از سه روش تجربی کانگاواف نیلسن و نیلسن اصلاح شده منطقه میانی حوزه طالقان واقع در استان تهران را به مقیاس ۱ : ۲۵۰۰۰۰ با استفاده از روش دستی پهنه-بندی نمود. صحت نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه شده با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است و روش نیلسن به‌عنوان مناسب‌ترین روش و در مرحله بعد روش نیلسن اصلاح شده و کانگاو قرار دارند (میرصانعی و مهدویفر، ۱۳۸۵).

مجموعیانه‌ی (۱۳۷۸)، با استفاده از روش مورا و وارسون، مورا و وارسون اصلاح شده، کانگاو و حائری گستره وانه جاده هراز واقع در استان مازندران را با روش دستی به مقیاس ۱ : ۵۰۰۰۰ پهنه‌بندی نمود. نحوه شبکه‌بندی آن منظم مربعی شکل با ابعاد ۵۰۰ متر و ۱۰۰۰ متر می‌باشد. صحت نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه شده با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است. و روش مورا و وارسون اصلاح شده به‌عنوان مناسب‌ترین روش و همچنین روش کانگاو برای مناطق ریزشی مناسب-ترین روش تشخیص داده شد (میرصانعی و مهدویفر، ۱۳۸۵).

جلالی (۱۳۷۹)، با استفاده از شش روش (مورا و وارسون، مورا و وارسون اصلاح شده، نیلسن و نیلسن اصلاح شده) و روش قضاوت کارشناسی پهنه‌بندی بر اساس (سنگ افت، جریانی، لغزش انتقالی و چرخشی) روش آماری دو متغیره حوزه آبخیز طالقان رود به مساحت ۱۱۳۵ کیلومترمربع را در مقیاس ۱ : ۵۰۰۰۰ با استفاده از سیستم GIS و نرم افزار ILWIS پهنه‌بندی نمود. صحت نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه شده با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است. صحت روش‌های فوق به ترتیب عبارتند از: روش آماری دو متغیره، قضاوت کارشناسی، نیلسن اصلاح شده، نیلسن، مورا و وارسون اصلاح شده و مورا و وارسون (میرصانعی و مهدویفر، ۱۳۸۵).

میر صانعی (۱۳۸۲)، با تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مقیاس ۱ : ۲۵۰۰۰۰ در محیط GIS با استفاده از لایه‌های شیب و زمین‌شناسی در تهران کارایی نقشه‌های پهنه‌بندی را بر اساس این دولایه مورد بررسی قرار داده است و با انتخاب حوضه آبخیز دماوند که الگوی مناسبی از نظر شیب و لیتولوژی در این منطقه و تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های این حوضه نقشه پتانسیل خطر لغزش

را مورد ارزیابی قرار داده است. سپس نقشه پتانسیل خطر با نقشه شتاب زلزله و همباران سالیانه به طور جداگانه تلفیق شده و نقشه های پهنه‌بندی جدیدی ساخته شده و برای ارزیابی کارایی نقشه پراکنش زمین لغزش های منطقه شاهد حوزه آبخیز دماوند مورد استفاده قرار گرفته است (میرصانعی و مهدویفر، ۱۳۸۵).

فاطمی عقدا و همکاران (۱۳۸۳)، با استفاده از منطق فازی به مطالعه موردی زمین‌لغزش‌ها در محدوده رودبار پرداختند. در این پهنه‌بندی از اپراتور AND به عنوان عملگر فازی با استلزام Min برای فازی سازی و استنتاج و از عملگر Max جهت خروجی نهایی استفاده شده است (فاطمی عقدا و دیگران، ۱۳۸۳).

نصیری و ارومیه‌ای (۱۳۸۴)، با بهره‌گیری از تحلیل لغزشی نیومارک (۱۹۶۵) و استفاده از رهیافت جیبسون (۲۰۰۰) و با در نظر گرفتن احتمال گسیختگی بر روی قطعات^۱ گسل‌های شمال تهران و مشا و گسلش سطحی در حالت اشباع کامل به پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله در شمال تهران اقدام نموده است. بر مبنای نقشه تولیدی، میزان خطر در گستره مناطق شهری تهران، در سوهانک، باغ شاطر، تجریش، فرحزاد و دره کن بیشترین مقدار میزان خطر و سطح خطر در پهنه باختری لواسانات، لوارک و دیگر نواحی کوهستانی شمال بسیار زیاد تخمین زده شده است. در این روش، ارزیابی خطر در پهنه زمین‌لغزش‌های قدیمی و مناطق با چگالی بالایی از درزه‌ها و گسل‌های کوچک، با عدم قطعیت بالایی همراه است و این حالی است که درزه‌ها در مقیاس پهنه‌بندی گنجانده نمی‌شوند و زمین‌لغزش‌های قدیمی بعنوان یک سامانه ناپایدار، می‌بایست بطور جداگانه بر روی نقشه نهایی پهنه‌بندی ترسیم شوند (نصیری و ارومیه‌ای، ۱۳۸۴).

پورقاسمی و همکاران (۱۳۸۸)، با استفاده از روش آماری چند معیاره فازی و تخمین ارجعیت عوامل با مدل AHP، بخشی از حوزه آبریز هراز را پهنه‌بندی نموده‌اند. در این پژوهش از تابع عضویت مثلثی استفاده شده است. نتایج این پهنه‌بندی حاکی از این است که ۲۹/۴۲ درصد از منطقه مورد مطالعه

¹ Segment

دارای حساسیت بالا، ۳۲/۱۹ درصد حساسیت زیاد، ۳۰/۳۶ درصد حساسیت متوسط و ۸/۰۴ درصد حساسیت کمی به لغزش داشته و عوامل شیب، بارش و لیتولوژی تأثیر زیادی در مساعد بودن منطقه به لغزش داشته‌اند (پورقاسمی و دیگران، ۱۳۸۸).

فاطمی عقدا و همکاران (۱۳۹۱)، با استفاده از روش فازی CAMEL به بررسی زمین لغزش‌های رویداده در زلزله ۱۳۷۵ سرعین پرداخته و روش فوق را با روش مهدویفر مقایسه نموده است. وی مشاهده نموده است که روش CAMEL برای ریزش‌ها و لغزش‌های خاکی گسسته، لغزش‌های بلوکی و چرخشی خاکی، تراکم کم تا متوسط پیش‌بینی کرده که ریزش‌ها و لغزش‌های خاکی گسسته، لغزش‌های بلوکی و چرخشی خاکی حادث شده بر اثر زلزله سرعین نیط بر روی نقاط با تراکم متوسط منطبق شده و بنابراین تطابق مناسبی دارند. همچنین CAMEL برای جریان‌های خاکی تراکم کم را پیش‌بینی نموده که با جریان‌های خاکی موجود تطابق خوبی دارد. در نقشه احتمال رخداد با روش مهدویفر به جز یک مورد تمام نقاط با احتمال کم رخداد زمین لغزش نمایش داده شده‌اند، که تطابق کم با زمین لغزش‌های موجود در منطقه دارد. به صورت کلی می‌توان گفت که روش CAMEL در مورد زمین لغزش‌های خاکی عملکرد بهتری نسبت به زمین لغزش‌های سنگی داشته است (فاطمی عقدا و همکاران، ۱۳۹۱).

فصل سوم

آشنایی با منطق فازی و

مبانی روش‌های مورد استفاده

۳-۱- مقدمه

در این پژوهش از دو روش فازی و ارزش اطلاعاتی در پهنه‌بندی زمین‌لغزش در گستره شمالی تهران استفاده شده است. در ادامه به شرح این دو روش پرداخته شده است. از آنجایی که پایه و اساس نرم افزار CAMEL بر منطق فازی ساخته شده، در آغاز این بخش به معرفی این منطق و توابع فازی تشکیل دهنده آن پرداخته شده است.

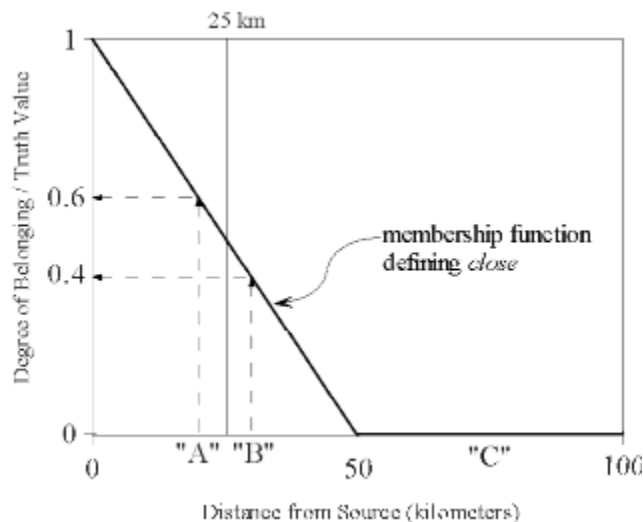
۳-۲- مجموعه‌های فازی

مجموعه‌های فازی با تعریف یک رده بندی مشخص برای درجه عضویت که در آن صفر نشان دهنده عدم عضویت کامل و یک به معنی عضویت کامل می‌باشد به گسترش مفهوم مجموعه‌های "صریح" یا "دو ارزشی" (۰ یا ۱) می‌پردازد.

بررسی یک مثال برای درک تفاوت بین مجموعه‌های فازی و صریح مفید است. به عنوان مثال ۳ سایت را در نظر بگیرید: سایت A، ۲۳ کیلومتر از گسل فاصله دارد، فاصله سایت B تا گسل، ۲۷ کیلومتر می‌باشد، و سایت C، ۷۵ کیلومتر از گسل فاصله دارد (شکل ۳-۱). آیا این سایت‌ها به منبع لرزه‌ای نزدیک هستند؟ یک مجموعه "صریح" یا "دو ارزشی" نیاز به تعریف یک تابع - به طور معمول یک محدوده عددی- برای تعیین اینکه آیا هر سایت عضو دسته "نزدیک" هست یا خیر، دارد. با استفاده از این تابع، با داشتن مقدار فاصله هر سایت از منبع لرزه‌ای می‌توان تعیین کرد که آیا عضویت درست است (۱) یا نادرست (۰). اگر محدوده ۰-۲۵ کیلومتر برای دسته "نزدیک" انتخاب شده باشد، عضویت سایت A در "نزدیک" درست (۱) است، در حالی که این عضویت برای سایت‌های B و C نادرست (۰) است. سایت‌های A و B تنها ۴ کیلومتر از هم فاصله دارند، اما سایت A به عنوان نزدیک به منبع لرزه‌ای دسته بندی شده است و سایت B نزدیک به گسل تلقی نشده است. با مجموعه‌های فازی، عضویت به صورت عددی بین صفر و یک و شامل آن‌ها تعریف می‌شود. این مقدار به عنوان مقدار درستی^۱ نامیده می‌شود.

¹ Truth Value

بنابراین تابع عضویت^۱ در منطق فازی نه تنها مشخص می‌کند چه زمانی عضویت درست (۱) و چه زمانی نادرست (۰) است، بلکه نشان می‌دهد که مقدار درستی چگونه بین ۰ و ۱ (محور Y) با توجه به دامنه تابع (محور X) تغییر می‌کند. توابع عضویت می‌توانند بسیاری از تعاریف مختلف ریاضی را دربر داشته باشند، که ساده‌ترین و معمول‌ترین آن‌ها توابع خطی چند تکه می‌باشند. توابع عضویت دو ویژگی اساسی دارند: (۱) مقدار تابع با افزایش و/یا کاهش بین ۰ و ۱ تغییر می‌کند (۲) در تابع تنها یک نقطه (یا یک محدوده از نقاط) مربوط به مقدار ۱ می‌باشد. برای مثال ما درباره سایت‌های نزدیک به منبع لرزه‌ای، شکل (۱-۳) یک تابع عضویت دلخواه، برای تعریف مجموعه‌های فازی ممکن برای دسته "نزدیک" را نشان می‌دهد. بنابراین مجموعه فازی برای این مثال مقدار فاصله و مقدار درستی مربوط به آن خواهد بود: ۲۳km، ۰/۶ و ۲۷km، ۰/۴ و ۷۵km، ۰/۰ (Miles and Keefer, 2007).



شکل ۱-۳: مثالی از مجموعه‌های فازی و صریح برای توصیف "نزدیک" بودن. (Miles and Keefer, 2007)

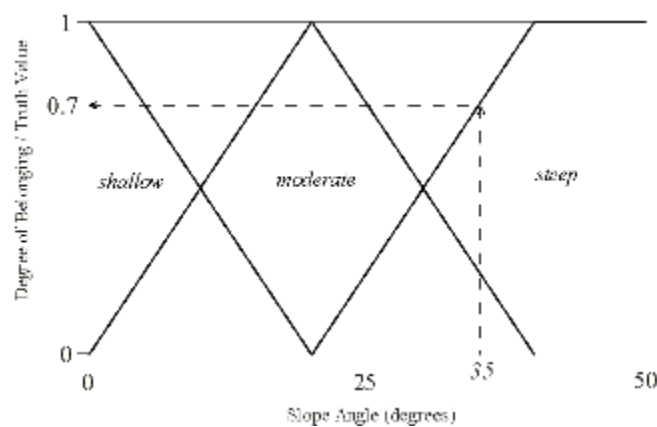
۱-۲-۳- متغیرهای فازی

متغیر در سیستم‌های فازی ساخته شده از مجموعه‌ای از توابع عضویت تعریف شده با توجه به یک دامنه از اعداد می‌باشد. این توابع عضویت مربوط به دسته‌های ممکن یا "مقادیر فازی"^۲ یک متغیر مشخص می‌باشد. هر مقدار فازی معمولاً توسط یک برچسب دسته (گروه) مشخص شده و به آن

^۱Membership Function

^۲Fuzzy Values

ارجاع داده می شود. شکل (۲-۳) یک مثال از متغیر زاویه شیب را نشان می دهد، که با ارزش های (مقادیر) "کم"، "متوسط" و "تند" در محدوده ۰ تا ۵۰ درجه از افق تعریف شده است. به عنوان مثال، عبارت "زاویه شیب تند است" نشان می دهد متغیر زاویه شیب مقداری "تند" را داراست. با توجه به تابع عضویت استفاده شده برای تعریف "تند" که در شکل (۲-۳) نشان داده شده است، شیبی با زاویه ۳۵ درجه نسبت به افق به میزان ۰/۷ "تند" است. یعنی، مقدار درستی عبارت "زاویه شیب تند است" برای زاویه شیب ۳۵ درجه، ۰/۷ می باشد (Miles and Keefer, 2007).



شکل ۲-۳: نمونه‌ای از متغیر زاویه شیب با داشتن مقادیر "کم"، "متوسط"، و "تند".

اگر زاویه شیب ۳۵ درجه باشد مقدار درستی عبارت "زاویه شیب تند است" ۰/۷ می باشد. (Miles and Keefer, 2007)

۲-۲-۳- سیستم‌های استنتاج فازی

سیستم‌های استنتاج فازی، یک چارچوب محاسباتی بر طرفدار بر مبنای مفهوم مجموعه‌های فازی، قواعد if-then و استدلال فازی هستند. سیستم‌های استنتاج فازی، تحت عناوین مختلفی مثل سیستم‌های مبتنی بر قواعد فازی، سیستم‌های خبره فازی، مدل فازی، حافظه انجمنی فازی، کنترل کننده منطق فازی و سیستم فازی شناخته می‌شوند (وانگ به نقل از تشنه لب، ۱۳۸۵).

ساختار پایه‌ی سیستم‌های استنتاج فازی از سه بخش مفهومی تشکیل می‌شود. بخش اول، قواعد هستند که شامل گزینشی از قواعد فازی می‌باشد و به منزله قلب و موتور سیستم ایفای نقش می‌کند. بخش دوم، پایگاه داده است که تابع عضویت مورد استفاده در قواعد فازی در قالب آن تعریف می‌شود.

در نهایت بخش سوم ساز و کار استنتاج است که روال استنتاج توسط آن و به کمک قواعد و حقایق موجود، برای رسیدن به یک خروجی معقول انجام می‌پذیرد (شکل ۳-۳) (وانگ به نقل از تشنه لب، ۱۳۸۵).

یک سیستم استنتاج فازی با ورودی و خروجی غیر فازی در واقع یک نگاشت غیر خطی از ورودی به خروجی را پیاده سازی می‌کند. این عملیات نگاشت از طریق قواعد if- then فازی انجام می‌شود. هر یک از این قواعد، رفتار محلی این عملیات نگاشت را تشریح می‌کند. در واقع قسمت فرض هر قاعده، یک ناحیه فازی در فضای ورودی و قسمت نتیجه‌ی آن، یک ناحیه ی فازی در فضای خروجی را تعیین می‌نماید(وانگ، به نقل از تشنه لب، ۱۳۸۵).

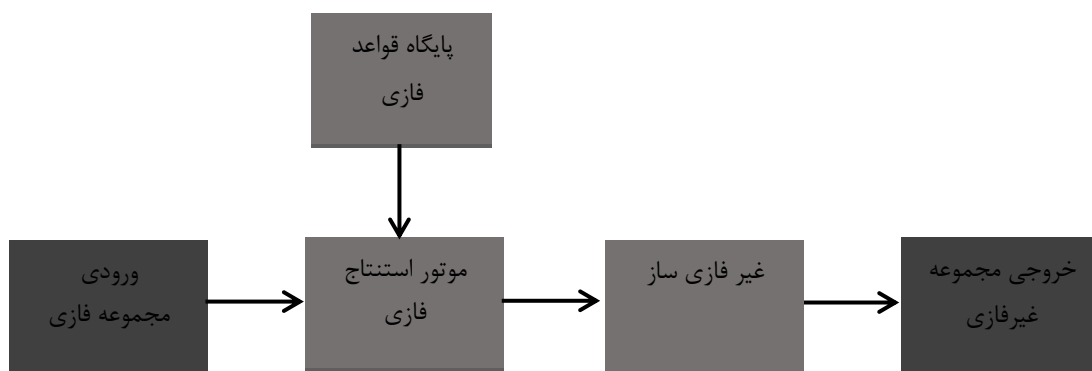
در کتاب و مقالات معمولاً از سیستم های فازی صحبت می‌شود.

(۱) سیستم فازی خالص

(۲) سیستم های فازی تاکاگی- سوگنو کانگ^۱

(۳) سیستم های با فازی ساز و غیر فازی ساز (ممدانی)

در میان سه سیستم استنتاج فوق، از سیستم استنتاج ممدانی در نرم افزار Fuzzy Tech استفاده شده است. بنابراین سیستم استنتاج فازی به شرح زیر می‌باشد:



شکل ۳-۳: نحوه عملکرد سیستم استنتاج فازی.

در سیستم ممدانی (سیستم‌های با فازی ساز و غیر فازی ساز) یک فازی ساز دو ورودی می‌باشد که با استفاده از روش غیر فازی ساز محاسبه مرکز جرم متغیرهای با مقادیر حقیقی را به یک متغیر با مقدار

¹ Takagi – Sugeno Fuzzy System

حقیقی در خروجی تبدیل می‌کند. که در نتیجه محاسبات به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد و همین عامل سبب می‌شود که به پرترفدارترین سیستم استنتاج فازی در دنیا تبدیل گردد. این سیستم معایب هر دو سیستم قبلی را پوشاند. از این پس نیز منظور ما از سیستم فازی با فازی ساز و غیر فازی ساز خواهد بود (تشنه لب و همکاران، ۱۳۸۵).

در ادامه مراحل تولید سیستم استنتاج ممدانی که به عنوان موفق ترین و پر کاربردترین سیستم های فازی می‌باشد توضیح خواهیم داد.

۳-۲-۱- ایجاد پایگاه دانش

ایجاد پایگاه دانش از طریق، استخراج اطلاعات از کارشناسان و منابع ادبیات فنی، داده های کمی و تجربی امکان پذیر است. استخراج اطلاعات از طریق کارشناسان خبره نیازمند به دیدار مستقیم و رو در رو و محاسبه با کارشناسی می‌باشد که از نظر آن موضوع خاص متخصص محسوب می‌گردد. برای استخراج دانش از منابع ادبیات علمی لازم است متون را برای شناسایی متغیرهای دخیل و موضوعات مربوطه تجزیه و تحلیل کرد تا گزاره‌های منطقی را از متن بتوان استخراج کرد. در ادبیات علمی بسیاری از اطلاعات ممکن است شماتیکی باشد، که می توان برای استخراج قوانین از آنها مشابه با داده‌های تجربی برخورد کرد. معادلات ریاضی را می‌توان رسم نمود و برای شناسایی قوانین مورد استفاده قرار داد. برای تولید قوانین از داده‌های تجربی از روش شبکه عصبی استفاده می‌شود (Miles & Keefer , 2007).

۳-۲-۲- موتور استنتاج فازی

موتور استنتاج فازی به منزله قلب سیستم استنتاج فازی ایفای نقش می‌کند. که شامل یک یا چند قانون if-then می‌باشد که باتوجه به نحوه‌ی استدلال فازی و نوع عملگرها، ورودی‌ها به خروجی تبدیل می‌شود. برای اجرای درست قواعد نیاز به مکانیزمی داریم که خروجی مناسب به مجموعه if-then بدهد. یعنی با دانستن توابع تعلق مقدمه بتوان توابع نتیجه را تعیین کنیم. برای این کار از قواعد ترکیبی استنتاج استفاده می‌شود (وانگ به نقل از تشنه لب، ۱۳۸۵).

۳-۲-۲-۱- اعمال روش دلالت (استنتاج مبتنی بر ترکیب قواعد)

به عملیات تفسیر یک قاعده if – then، که در آن با توجه به درستی فرض، درجه درستی قسمت

نتیجه برداشت می شود، دلالت گفته می شود (کیا، ۱۳۸۹)

در ارتباط با منطق دو مقداری یا دو دویی قواعد if-then چندان پیچیده نیستند. در صورت درست

بودن فرض نتیجه درست خواهد بود. اما با فازی در نظر گرفتن آنها، نحوه ی تعیین نتیجه به چه

صورت خواهد بود؟ پاسخ این سوال بسیار ساده است. کافی است درجه عضویت قسمت فرض معین

گردد؛ آنگاه درجه درستی نتیجه برابر با درجه درستی فرض خواهد بود.

- در منطق دودویی: $P \longrightarrow q$

- در منطق فازی: $0.5p \rightarrow 0.5q$

قسمت فرض می تواند متشکل از چند قسمت باشد. مثلا:

If sky is gray and wind is strong and barometer is falling then.....

در این حالت کلیه قسمت های فرض به صورت همزمان ارزیابی شده و با استفاده از عملگرهای

منطقی یک عدد تولید می شود. همچنین قسمت نتیجه نیز می تواند از چند بخش تشکیل شود:

If temperature is cold then hot water value is open and cold water value is shut

به این ترتیب همه ی نتایج به شکل مساوی بر روی نتیجه نهایی نقش خواهند داشت؛ اما نتیجه چقدر

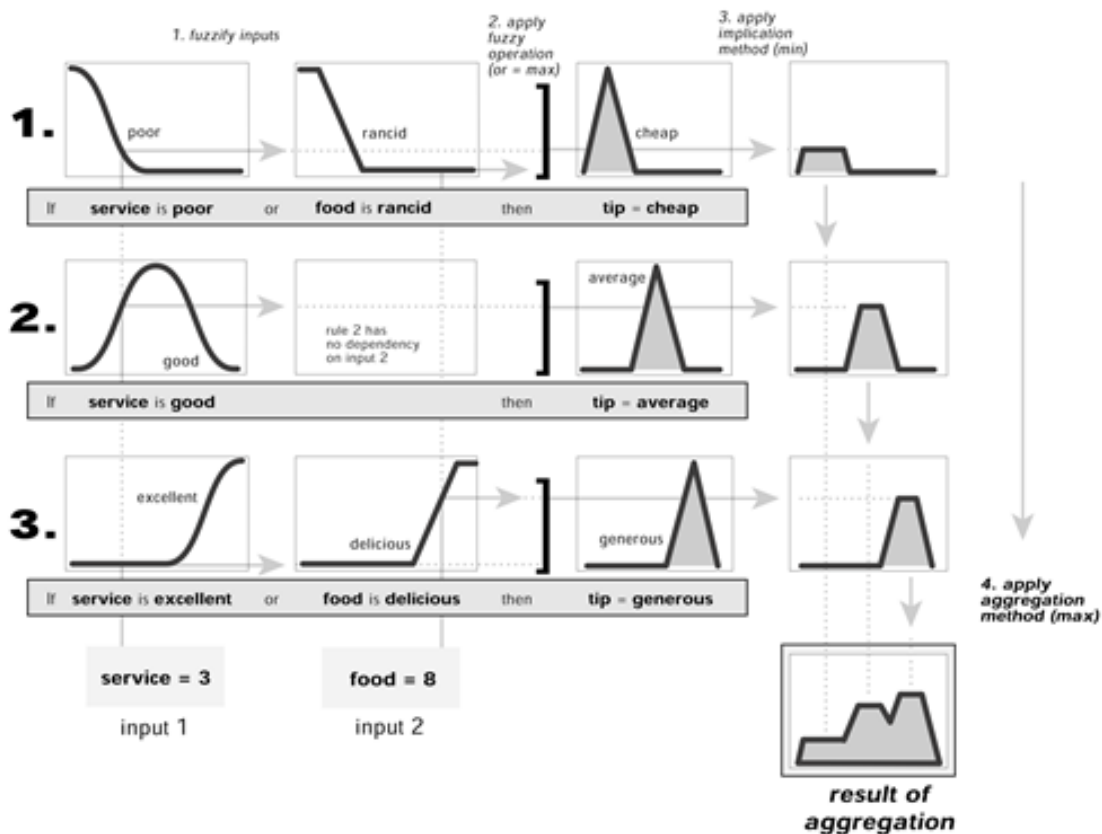
توسط قسمت فرض تحت تاثیر قرار می گیرد؟ قسمت نتیجه، مجموعه فازی که باید به خروجی نسبت

داده شود را تعیین می کند. تابع دلالت آن مجموعه فازی را با توجه به درجه تعیین شده توسط

قسمت فرض تحت تاثیر قرار می دهد. رایج ترین روش ها برای ایجاد تغییر در مجموعه فازی خروجی،

برش با استفاده از تابع min که در شکل (۳-۴) نشان داده شده است. و یا مقیاس کردن با استفاده از

تابع prod که طی آن مجموعه فازی فشرده می شود می باشد (کیا، ۱۳۸۹).



شکل ۳-۵: نحوه عملکرد تجميع خروجی‌ها در سیستم استنتاج ممدانی با استفاده از عملگر max. (Matlab, 2008)

به منظور درک بهتر ساختار CAMEL و نحوه استنتاج بر اساس ترکیب قواعد می‌توان به مایلز و کیفیر (Miles & Keefer, 2007) مراجعه کرد.

۳-۲-۲-۳- غیر فازی ساز

غیر فازی سازی آخرین مرحله در جهت تولید خروجی در سیستم های فازی می‌باشد. وظیفه ی غیر فازی ساز مشخص کردن نقطه‌ای که بهترین نماینده مجموعه فازی Z است را بر عهده دارد. توجیه- پذیری، سادگی محاسبات و پیوستگی سه ویژگی هستند که یک غیر فازی ساز به عنوان یک انتخاب برای غیر فازی کردن می‌تواند داشته باشد. در جدول (۳-۱) ویژگی‌های اصلی روش‌های غیر فازی سازی مشاهده می‌شود.

الف) روش مرکز ثقل: یکی از پرترفدارترین روش های غیرفازی ساز "محاسبه با مرکز جرم"^۱ (COM)

^۱ Center of Maximum

می‌باشد. در این روش مرکز ناحیه زیر منحنی را محاسبه می‌کند. نقطه Z را به عنوان مرکز ناحیه‌ای که به وسیله تابع عضویت C پوشش داده شده تعریف می‌کنند.

$$Z = \frac{\int z \cdot \mu_c(z) dz}{\int \mu_c(z) dz} = \frac{\int z \max \mu_{C'_k}}{\int \max \mu_{C'_k}} \quad :1-3$$

به عنوان مثال می‌توانید به شکل زیر توجه کنید که دو مجموعه بریده شده در قسمت‌های همپوشانی هم دارند. مقدار غیر فازی شده Z به صورت \downarrow مشخص شده است. در این روش غیر فازی کردن از لحاظ محاسباتی پیچیده است و سرعت کم از معایب کنترل‌کننده‌ای است که از این نوع غیر فازی کننده استفاده می‌کند.

(ب) روش مرکز مجموع‌ها: در روش مرکز ثقل مجبور بودیم تابع عضویت خروجی C را محاسبه نماییم تا در صورتیکه دو C'_i همپوشانی داشتند ناحیه همپوشانی را فقط یکبار در محاسبات وارد نماییم اما در این روش هر C'_i به صورت جداگانه محاسبه می‌شود و این امکان را به ما می‌دهد که بدون محاسبه C از سرعت بیشتر برخوردار شویم. این الگوریتم یکی از سریعترین الگوریتم‌های عمل غیر فازی کردن است و به همین دلیل در بیشتر کنترل‌کننده‌های فازی استفاده می‌نمایند. نحوه انجام این روش برای فضای تعریف پیوسته به صورت زیر است:

$$Z = \frac{\int z \cdot \sum_{k=1}^n \mu_{C'_k}(z) dz}{\int \sum_{k=1}^n \mu_{C'_k}(z) dz} \quad :2-3$$

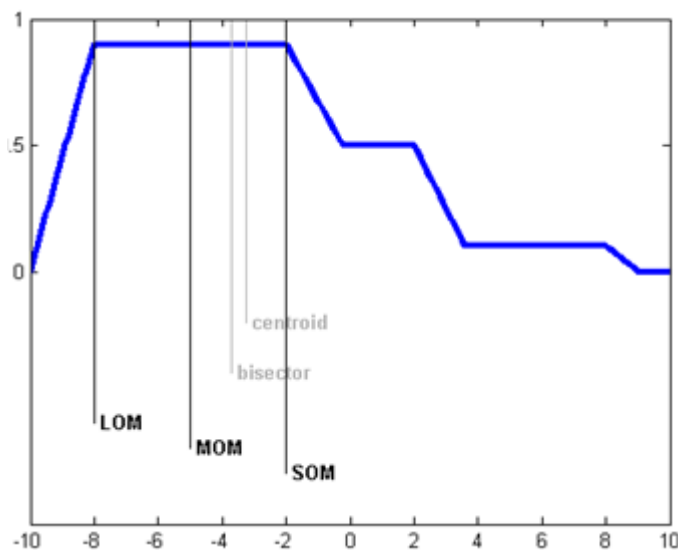
روش مرکز مجموع‌ها در شکل (۳-۶) به نمایش گذاشته شده است

(ج) متوسط، کوچکترین و بزرگترین ماکزیمم: MOM، SOM و LOM به ترتیب مخفف عبارات میانگین ماکزیمم، کوچکترین ماکزیمم و مرکز بزرگترین ماکزیمم می‌باشد. اگر تابع عضویت تجمیع دارای یک ماکزیمم باشد آنگاه LOM، SOM و MOM قابل تمایز نمی‌باشد و دارای ارزش عدد

یکسانی می‌باشد. این غیر فازی سازها از لحاظ شهودی توجیه پذیر بوده، ضمن اینکه از نظر محاسباتی ساده می‌باشد.

جدول (۱-۳). انواع روش های غیر فازی ساز

ماکزیمم	مرکز مجموعها	مرکز ثقل	
بله	بله	بله	توجیه پذیری
بله	بله	خیر	سادگی محاسبات
خیر	بله	بله	پیوستگی



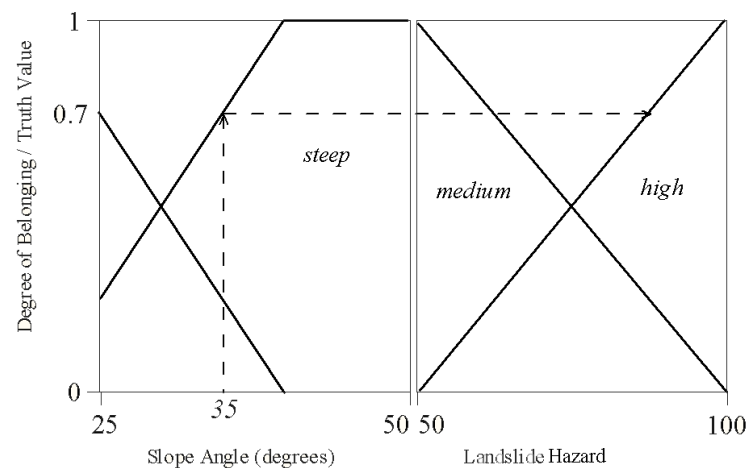
شکل ۳-۶: نحوه محاسبه مقدار غیر فازی با استفاده از روش مرکز جرم، مرکز مجموعها، میانگین ماکزیمم، کوچکترین ماکزیمم و مرکز بزرگترین ماکزیمم (Roger jang & Gully, 1995)

روش های فوق جزء روش های تقریبی محسوب می‌گردد و دارای محاسبات بسیار ساده می‌باشد ولی دارای معایبی نیز می‌باشد از جمله آنکه تنها در صورتی به جواب درست می‌رسند که بخش ماکزیمم تابع عضویت به صورت مسطح باشد.

۳-۲-۳- ترکیب مقادیر ورودی برای یک قانون اگر-آنگاه

قانون در سیستم های منطق فازی یک عبارت "اگر-آنگاه" قابل محاسبه است که متغیرها را به یکدیگر مرتبط می‌نماید. یک قانون ساده "اگر-آنگاه" می‌تواند با استفاده از یک متغیر ورودی و یک متغیر خروجی ساخته شود.

نمونه‌ای از یک قانون "اگر شیب تند باشد خطر زمین لغزش بالا است" می‌باشد (شکل ۳-۷). مقدار درستی مربوط به عبارت ورودی "شیب تند است" به عبارت خروجی "خطر زمین لغزش بالا است" اختصاص داده می‌شود. در مثال شکل (۳-۷)، مقدار شیب ۳۵ درجه بر اساس تابع عضویت "تند" به مقدار درستی ۰/۷ منتج می‌شود، که سپس به متغیر خروجی مشخص شده در قانون اگر-آنگاه (در این مورد "خطر زمین لغزش بالا است") منتقل می‌شود. به عبارت دیگر، اگر مقدار درستی "شیب تند است" ۰/۷ باشد، مقدار درستی "خطر زمین لغزش بالا است" نیز ۰/۷ می‌باشد. می‌توان وزنی بین ۰ و ۱ را به هر قانون اختصاص داد که در مقدار درستی متغیر خروجی ضرب می‌شود. این وزن، درجه حمایت^۱ (DOS) نامیده می‌شود. وزن DOS کمتر از ۱ تأثیر یک قانون مشخص را کاهش می‌دهد (Miles and Keefer, 2007).



شکل ۳-۷: نمونه‌ای از انتقال مقدار درستی متغیر ورودی به مقدار درستی خروجی قانون "اگر زاویه شیب تند باشد

خطر زمین لغزش بالا است". (Miles and Keefer, 2007)

۳-۲-۴- ترکیب چندین قانون با مقادیر خروجی یکسان

یک بلوک قوانین فازی، ترکیب چندین قانون اگر-آنگاه است که هر قانون از هر تعداد متغیرهای ورودی به متغیر خروجی مشابه منتج می‌شود.

¹ Degree of Support

یک بلوک قانون کامل باید حداقل یک قانون برای مقدار هر متغیر خروجی داشته باشد. (که هر یک با یک تابع عضویت همراه می‌باشد). در عمل بیشتر بلوک‌های قوانین، بیش از یک قانون برای هر مقدار متغیر خروجی دارند. در این گونه موارد، لازم است چندین مقدار درستی به دست آمده برای متغیر خروجی واحد که از چند قانون به دست آمده‌اند، تجمیع شوند. یکی از عملگرهای مورد استفاده برای تجمیع، عملگر حداکثر (MAX) می‌باشد که حداکثر مقدار درستی از میان تمام مقادیر درستی به دست آمده برای محاسبه یک متغیر خروجی مشخص را انتخاب می‌کند. عملگر تجمیع دیگر، عملگر $BSUM^1$ (به معنی "جمع محدود") می‌باشد که جمع محدود همه مقادیر درستی‌های به دست آمده برای یک متغیر فازی مشخص را حساب می‌کند، که نمی‌تواند از یک تجاوز کند.

در ادامه نمونه یک بلوک قانون حاوی ۴ قانون را نشان می‌دهد. دو قانون (قوانین ۳ و ۴) وجود دارند که خروجی آن‌ها "خطر زمین لغزش بالا است" می‌باشد. حالتی را در نظر بگیرید که مقدار درستی خروجی برای قانون ۳، 0.7 و برای قانون ۴، 0.5 با استفاده از عملگر حداکثر (MAX) برای تجمیع مقادیر درستی "خطر زمین لغزش بالا است"، مقدار درستی 0.7 به دست می‌آید (حداکثر 0.5 و 0.7). با استفاده از عملگر $BSUM$ برای "خطر زمین لغزش بالا است"، مجموع دو مقدار درستی از یک فراتر می‌رود و مقدار درستی تجمیع شده یک خواهد بود:

۱. اگر زاویه شیب کم باشد، خطر زمین لغزش کم است.
۲. اگر زاویه شیب متوسط و فاصله نزدیک باشد، خطر زمین لغزش متوسط است.
۳. اگر زاویه شیب تند باشد، خطر زمین لغزش بالا است.
۴. اگر سنگ شناسی از نوع رسوبات لغزشی باشد خطر زمین لغزش بالا است (Miles and Keefer, 2007).

¹ Bounded Sum

۳-۲-۵- ترکیب قوانین با مقادیر خروجی مختلف

برای یافتن نتیجه کلی یک بلوک از قوانین، همه قوانین بلوک بر اساس داده‌های ورودی مشخص محاسبه می‌گردند. مقدار درستی ترکیبی مرتبط با هر یک از مقادیر خروجی را می‌توان به طور مستقل تعبیر کرد. به عنوان مثال، مقادیر درستی خروجی برای بلوک قوانین می‌تواند به این صورت تعیین شود: "خطر زمین لغزش کم است" برابر با ۰؛ "خطر زمین لغزش متوسط است" برابر با ۰/۳؛ "خطر زمین لغزش بالا است" برابر با ۱،۰. تفسیر این نتیجه این خواهد بود که خطر زمین لغزش مسلماً کم نیست، اما تا حدی متوسط و تا حدی بالا است، و شواهد داده‌های ورودی نشان می‌دهد که خطر زمین لغزش بطور ملموسی بیشتر بالا است تا متوسط.

روش جایگزین دیگر این است که، مقدار درستی برای هر یک از مقادیر متغیر خروجی را غیر فازی^۱ نماییم، به این معنی که یک مقدار عددی برای متغیر خروجی در محدوده اعداد مربوطه به آن متغیر تعیین شود. چندین روش غیر فازی کردن^۲ وجود دارند.

برای کاربردهای مدل‌سازی، رایج‌ترین روش به نام مرکز حداکثر (COM^۳) می‌باشد. روش مرکز حداکثر یک میانگین وزنی از مقادیر دامنه متغیر خروجی در نظر می‌گیرد، و به این منظور از مقدار درستی مربوط به مرکز تابع عضویت هر یک از متغیرهای خروجی استفاده می‌کند (Miles and Keefer, 2007).

مثالی را در نظر بگیرید که در آن حداکثر تابع عضویت خطر زمین لغزش برای "کم"، "متوسط" و "زیاد" به ترتیب با مقادیر دامنه ۰، ۵۰ و ۱۰۰ مرتبط می‌باشد. با استفاده از مقادیر درستی در نمونه-های فوق (کم/۰، متوسط ۰/۳، زیاد ۱)، مقدار غیرفازی شده با استفاده از روش مرکز حداکثر برابر خواهد بود با:

$$\frac{0 \times 0 + 50 \times 0.3 + 100 \times 1}{0 + 0.3 + 1} = 88.5$$

^۱ defuzzified

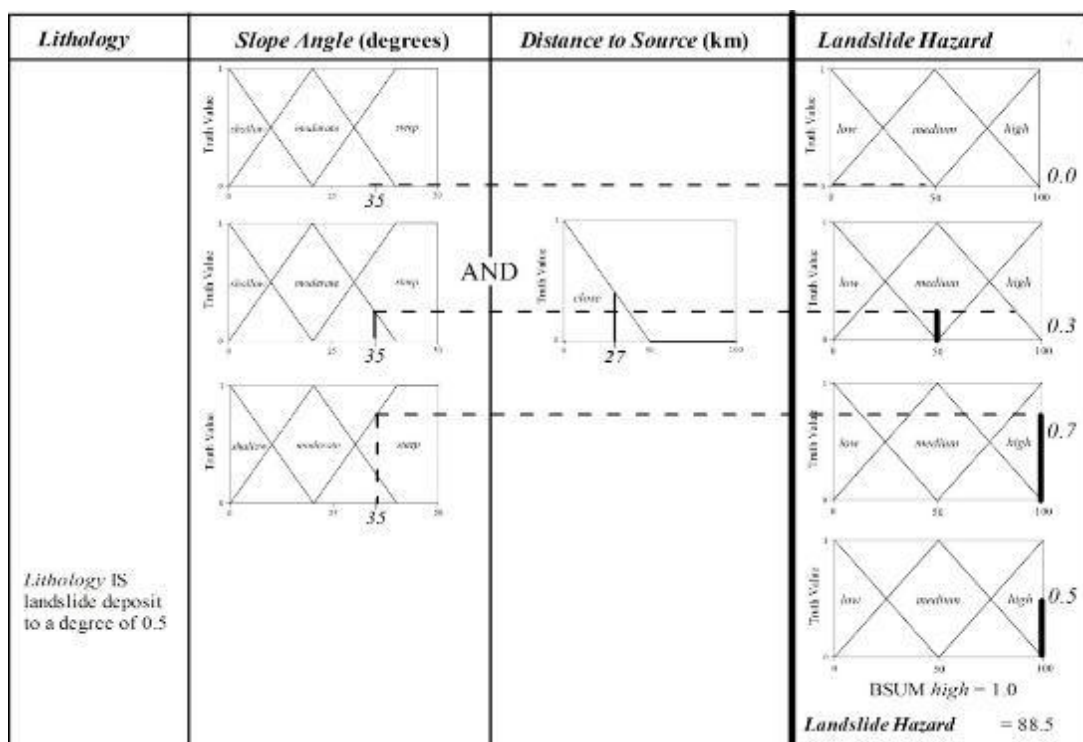
^۲ defuzzification

^۳ Center of Maximum

۳-۲-۶- مثالی از محاسبات یک سیستم ساده فازی

با ارائه یک مثال گرافیکی کامل برای یک بلوک ساده قوانین اگر-آنگاه فازی، می‌توان عناصر سیستم-های منطق فازی را خلاصه نمود. شکل (۳-۸) و بلوک قوانین فازی را با در نظر گرفتن توابع عضویت برای هر متغیر بر اساس فرضیات بالا ارائه می‌دهد.

حالتی را در نظر بگیرید که در آن داده‌های ورودی به سیستم منطق فازی عبارتند از: شیب ۳۵ درجه، فاصله ۷ کیلومتر، سنگ شناسی از نوع رسوبات لغزشی با مقدار درستی ۰/۵. با استفاده از BSUM برای تجمیع مقادیر خروجی‌های یکسان و مرکزحداکثر برای غیر فازی کردن، خطر زمین-لغزش نهایی بولی ۸۸/۵ محاسبه شده است.



شکل ۳-۸: مثالی کامل از یک سیستم فازی ۴ متغیره و ۴ قانونه برای سناریوی داده‌های ورودی شیب ۳۵ درجه،

فاصله ۲۷ کیلومتر، و سنگ شناسی، رسوبات لغزشی با مقدار درستی ۰/۵ (Miles and Keefer, 2007).

۳-۲-۷- مقدمه‌ای بر نرم‌افزار CAMEL

نرم افزار CAMEL، نرم‌افزاری کمکی است که به زبان شی‌گرا^۱ و جهت استفاده در نرم افزار ArcGIS طراحی و گسترش یافته است. برای اجرای این نرم‌افزار نیاز به نصب برنامه‌های جانبی همچون ArcMap و Fuzzy TechTM می‌باشد. برنامه Fuzzy Tech قلب این مدل و مسئول انجام مراحل فازی آن می‌باشد. آنالیز صورت گرفته به وسیله این مدل شامل سه بخش است. فاز اولیه طراحی شامل (۱) استخراج اطلاعات برای CAMEL، (۲) طراحی و ویژگی‌های CAMEL، و (۳) پیاده سازی و اجرای CAMEL می‌باشد، که در ادامه، به‌طور مفصل شرح داده شده و توصیف شده‌اند (Miles and Keefer, 2007).

۳-۲-۸- استخراج اطلاعات برای CAMEL

اولین گام برای توسعه CAMEL استخراج اطلاعات می‌باشد، که مبنای تعریف متغیرها و تولید قوانین اگر-آنگاه را تشکیل می‌دهد. برای توسعه اولیه، از دو منبع اطلاعات استفاده شده است: ادبیات علمی و قضاوت کارشناسی. این اطلاعات می‌تواند در آینده با استفاده از داده‌های تجربی، خروجی مدل‌های جایگزین، و نظر کارشناسان اصلاح و یا تکمیل گردد (Miles and Keefer, 2007).

استخراج اطلاعات با گردآوری ادبیات فنی مربوط به تجزیه و تحلیل زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله‌های گذشته، و استخراج اطلاعات عددی مربوطه انجام گردیده است. قضاوت کارشناسی برای پر کردن کمبود اطلاعات در ادبیات فنی مورد استفاده قرار گرفته است (Miles and Keefer, 2007).

در این مرحله از توسعه، داده‌های تجربی به سه دلیل به عنوان یک منبع اطلاعات مورد استفاده قرار نگرفته‌اند. اول، موجودی فهرست زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله‌های تاریخی بسیار محدود است (و پایگاه داده‌های مکانی محدودتر). دوم، بسیاری از فهرست‌های زمین‌لغزش در دسترس، اطلاعات دقیقی، به عنوان مثال با توجه به انواع مختلف زمین‌لغزش ارائه نداده‌اند. در نهایت، با توسعه اولیه CAMEL بدون استفاده از داده‌های تجربی، قادر به استفاده از این داده‌های تجربی برای کمک به

¹ Object Oriented Language

ارزیابی کیفیت منابع بنیادی دانش شده‌اند (داده‌های تجربی برای توسعه ساختار CAMEL مورد استفاده قرار نگرفته است و فقط برای ارزیابی کارایی CAMEL در پیش‌بینی میزان تراکم و خطر زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله مورد استفاده قرار گرفته است). معادلات ریاضی، مانند بسیاری از معادلات موجود برای محاسبه جابجایی نیومارک، به دو دلیل برای توسعه اولیه استفاده نشده‌اند.

مدل ریاضی جداگانه برای هر دسته بندی و نوع از زمین‌لغزش ناشی از زلزله وجود ندارد. همچنین، استفاده از معادلات موجود انتخاب متغیرهای ورودی و خروجی را محدود نموده است. علاوه بر این، روابط ریاضی محدودی وجود دارد که میزان تمرکز زمین‌لغزش را، به خصوص برای نوع خاصی از زمین‌لغزش، پیش‌بینی می‌کند. با چارچوب مفهومی و الگوریتمی توسعه یافته برای CAMEL، اطلاعات تجربی را می‌توان در آینده برای بهتر کردن تعریف متغیرها، قوانین تکی و یا بلوک‌های قوانین، و وزن‌های قوانین مورد استفاده قرار داد.

اولین قدم در فرآیند استخراج اطلاعات تعیین متغیرهای ورودی و خروجی است. متغیرهای خروجی به طور عمده بر اساس اهداف طراحی CAMEL تعیین شده‌اند (یعنی پیش‌بینی میزان تراکم زمین‌لغزش برای هر نوع از زمین‌لغزش). برای توسعه اولیه، مایلز و کیفر (۲۰۰۷) تصمیم به کاهش تعداد متغیرهای خروجی با تجمیع انواع زمین‌لغزش‌های مشابه بر اساس طبقه بندی کیفر (۱۹۸۴) گرفته‌اند. بنابراین، شش متغیر خروجی ذکر شده در جدول (۳-۲)، نماینده ده نوع زمین‌لغزش مختلف هستند. برای این مرحله از تحقیق، گسترش جانبی خاک به دلیل نوع اطلاعات و دانش متفاوت مورد نیاز برای توصیف این نوع از زمین‌لغزش در نظر گرفته نشده است.

یک فهرست اولیه از متغیرهای ورودی توسط تجزیه و تحلیل ادبیات مرتبط با زمین‌لغزش و زلزله با استفاده از نمایه‌سازی متن و نرم افزار جستجو برای یافتن شاخص‌های معمول به کار رفته، عوامل تعیین کننده وضعیت، و متغیرهای مستقل به دست آمده است (Miles & Keefer, 2007). در این طبقه‌بندی و در گروه III، گسترش جانبی خاک در نظر گرفته نشده است.

جدول ۳-۲: طبقه بندی انواع تجمیع شده زمین لغزش ناشی از زلزله، استفاده شده توسط مدل CAMEL بر اساس کیفر (۱۹۸۴)

زمین لغزش	مجموعه
لغزش‌ها و ریزش‌های سنگی گسسته	I
بهمن‌های سنگی	
لغزش‌های خاکی گسسته، ریزش‌ها و بهمین‌ها	
چرخش‌های سنگی و لغزش‌های بلوکی	II
چرخش‌های خاکی و لغزش‌های بلوکی	
جریان‌های خاکی سریع	III

بررسی ادبیات فنی جمع آوری شده نشان می‌دهد که با توجه به اطلاعات موجود از وقوع زمین‌لغزش‌های

ناشی از زلزله‌های گذشته دو نوع کلی از اطلاعات در ارتباط با زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله وجود دارد. نوع اول اطلاعات، شاخص‌ها یا شرایط زمین‌شناسی را وصف و تعیین می‌کند که رخداد نوع خاصی از زمین‌لغزش امکان پذیر است یا خیر. نوع دوم اطلاعات، به توصیف تغییر در شدت خطر با افزایش مقدار متغیری خاص پرداخته است. این دو نوع اطلاعات شاخص‌ها و تشدیدکننده‌ها- به عنوان اصول ساختاری برای طراحی CAMEL عمل می‌کنند (Miles and Keefer, 2007).

۳-۲-۹- طراحی و ویژگی‌های CAMEL

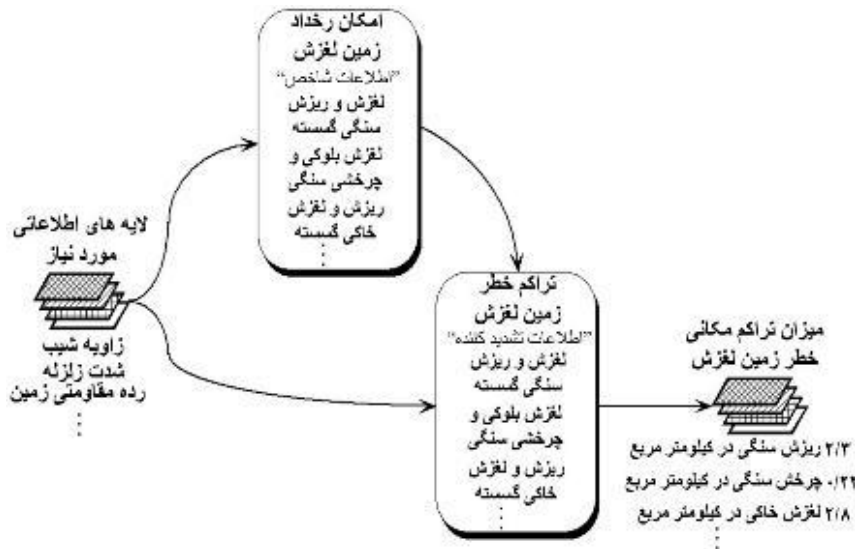
CAMEL از دو بخش ساخته شده که هر یک از چندین بلوک قانون اگر-آنگاه تشکیل شده‌اند، که به ترتیب امکان و میزان تمرکز منطقه‌ای زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله را تعیین می‌کنند (شکل ۳-۹). بخش امکان رخداد^۱ تعیین می‌کند که آیا وقوع هر یک از انواع زمین‌لغزش امکان پذیر است یا خیر. بخش تراکم خطر^۲ تعیین خطر نسبی هر نوع از زمین‌لغزش، به صورت تعداد زمین‌لغزش در هر کیلومتر مربع، را به عهده دارد. این قالب بخش بخش برای جدا کردن فاز به کارگیری اطلاعات در

¹ Possibility Module

² Hazard Module

مورد امکان وقوع، از اطلاعات در رابطه با خطر نسبی برای هر نوع زمین لغزش ذکر شده در جدول (۳-۳)

(۲) می باشد (Miles and Keefer, 2007).

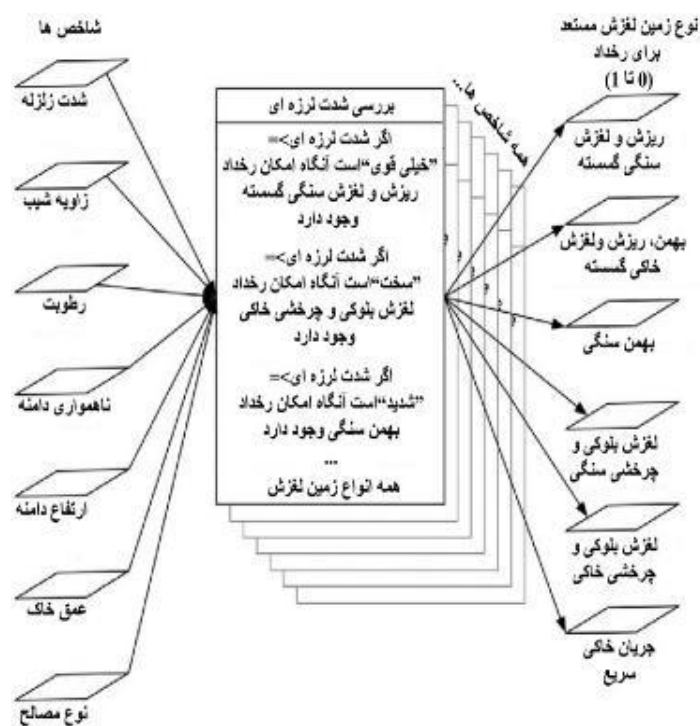


شکل ۳-۹: چارچوب دو بخشی CAMEL، از جمله بخش های امکان رخداد و تراکم خطر. (Miles and Keefer, 2007)

۳-۲-۹-۱- بخش امکان رخداد

ساختار و جریان داده های مربوط به بخش امکان در شکل (۳-۱۰) آورده شده است. این بخش متشکل از هفت متغیر ورودی، همراه با هفت بلوک قوانین متناظر می باشد که به صورت سری قرار گرفته اند (آرایش به صورت قوانین رقابتی). هر بلوک تعیین کننده نوع زمین لغزش و درجه ای امکان وقوع می باشد. اگر یک متغیر شاخص، مشخص کند که نوع خاصی از زمین لغزش امکان پذیر نیست، نتیجه کلی این خواهد شد که آن نوع زمین لغزش خاص غیر ممکن است. اگر تمام متغیرهای شاخص نشان دهند که نوعی از زمین لغزش امکان پذیر است، حداقل مقدار درستی مربوط به همه بلوک های قوانین به عنوان مقدار درستی خروجی برای بخش امکان خواهد بود. بزرگی مقدار درستی خروجی نشان می دهد که بر اساس داده های وارد شده توسط کاربر و نتیجه به دست آمده از قوانین اگر-آنگاه بخش امکان، هر نوع از زمین لغزش تا چه درجه ای ممکن است. عملگر "و" برای همه بلوک های قانون در تمام بخش امکان استفاده شده است. PROD نتایج کمتری برای مقدار درستی محاسبه شده برای بخش امکان به دست خواهد داد زیرا ترکیب از طریق ضرب انجام می شود. این نوع

طراحی بدان معنی است که CAMEL در حالت عدم قطعیت فرض را بر امکان وقوع زمین لغزش می-گذارد. در نهایت، همه قوانین در بخش امکان وزن DOS برابر یک را دارا می‌باشند. امکان وقوع هر نوع زمین لغزش از طریق متغیر خروجی LandslideType بیان می‌شود. LandslideType یک متغیر اسمی متشکل از شش دسته مربوط به انواع زمین لغزش مدل شده در CAMEL می‌باشد. خروجی-های مرتبط با این متغیر، یک مجموعه فازی با یک مقدار درستی محاسبه شده برای هر یک از شش نوع زمین لغزش می‌باشند (Miles and Keefer, 2007).



شکل ۳-۱۰: نمودار جریانی داده‌ها برای بخش امکان CAMEL شامل اطلاعات شاخص. (Miles and Keefer, 2007)

جدول (۳-۳) متغیرهای شاخصی را که ورودی‌های بخش امکان CAMEL را تشکیل داده‌اند، نشان داده است. متغیرها به ترتیبی که در CAMEL مورد بررسی قرار گرفته‌اند، فهرست شده‌اند. هر شاخص به طور مختصر با تعریف واحد کمی، دامنه، و تعداد و برچسب مقادیر فازی برای هر متغیر تعریف شده است. متغیرهایی که دامنه‌ی آن‌ها با مقدار حداقل (-۱) تعریف شده‌است مقدار حداقل واقعی ۰ را دارا می‌باشند. مقدار منفی یک روش طراحی است برای فهمیدن اینکه کاربر مقدار آن ورودی را وارد نکرده است. برای این متغیرها، مقدار "نا موجود" یک مقدار داده معتبر است (به این معنی که،

اطلاعات لزوماً برای آن متغیر خاص CAMEL برای محاسبه خروجی نیاز نیست) (Miles and Keefer, 2007).

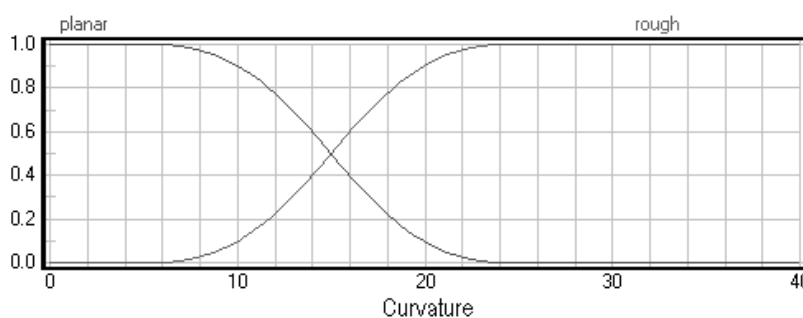
جدول ۳-۳: متغیرهای ورودی بخش امکان CAMEL. (Miles and Keefer, 2007)

نام متغیر	واحدها	حداکثر	حداقل	برچسب مقادیر فازی
P ناهمواری زمین	زاویه شیب بر شیب	۴۰	۰	مسطح ناهموار
P شدت زلزله	شدت نقشه لرزه‌ای (MMI)	۱۲	-۱	ناموجود بزرگتر از ۷ بزرگتر از ۸ بزرگتر از ۹
P عمق خاک	متر	۱۰	-۱	ناموجود کم عمق عمیق
P ارتفاع دامنه	متر	۳۰۰	-۱	ناموجود کم مرتفع
P نوع مصالح	(اسمی)	-	-	ناموجود سنگ خاک
P رطوبت	درصد	۱۰۰	۰	بیش از حد مرطوب تقریباً اشباع
P زاویه شیب	زاویه از افق	۹۰	۰	مابین ۵ و ۴۰ مابین ۱۵ و ۴۰ بزرگتر از ۵ بزرگتر از ۱۵ بزرگتر از ۲۵ بزرگتر از ۳۵

*P=امکان رخداد

۳-۲-۹-۱-۱-P ناهمواری دامنه

اطلاعات کمی در مورد ناهمواری دامنه و خطر زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله نسبتاً نادر است. مطالعات لیائو و همکاران^۱ (۲۰۰۲) نشان داده است، متغیری که آنها به عنوان "ناهمواری دامنه" معرفی کرده‌اند، ارتباط بسیار مؤثر با وقوع زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله چپ چپ تایوان در سال ۱۹۹۹ داشت. زمین‌لغزش‌های اتفاق افتاده در این رویداد اغلب از نوع ریزش‌ها و لغزش‌های گسسته بودند. ناهمواری دامنه را می‌توان به سادگی انحنای شیب بی علامت (بدون بعد) در پروفیل تعریف کرد. و به عبارت دیگر مشتق دوم ارتفاع در جهت پایین شیب، بر حسب درجه می‌باشد. دو مقدار فازی برای P ناهمواری دامنه - "مسطح" و "ناهموار" - برای مقدار مشتق دوم کمتر و بیشتر از ۱۵ در نظر گرفته شده است (شکل ۳-۱۱). لیائو و همکاران (۲۰۰۲) افزایش قابل توجهی در تمرکز زمین‌لغزش‌ها برای مقادیر بالاتر از این مقدار مشاهده کرده‌اند. لیائو و همکاران (۲۰۰۲)، مشاهده کرده‌اند که امکان کمی برای وقوع زمین‌لغزش در مناطق با ناهمواری زمین به میزان کمتر از ۵ وجود دارد. برای متغیر P ناهمواری دامنه یک تابع عضویت S شکل به جای خط راست مورد استفاده قرار گرفته است تا مقادیر درستی بسیار کمی برای P ناهمواری دامنه نزدیک صفر به دست دهد. نتیجه‌ای برای داده‌های ناموجود برحسب P ناهمواری دامنه در نظر گرفته نشده است زیرا ناهمواری دامنه از داده‌های ارتفاعی به دست می‌آید، که به احتمال زیاد برای محاسبه مقادیر زاویه شیب منطقه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد (مورد نیاز برای اجرای CAMEL) (Miles and Keefer, 2007).



شکل ۳-۱۱: تابع عضویت برای P ناهمواری دامنه. (Miles and Keefer, 2007)

¹ Liao et al.(2002)

قوانینی که امکان وقوع زمین لغزش را بر اساس P ناهمواری دامنه مشخص می‌کنند در جدول (۳-۴) فهرست شده‌اند. برای زمین لغزش‌های دسته یک، امکان رخداد تنها زمانی وجود دارد که P ناهمواری دامنه دارای مقدار فازی "ناهموار" باشد. فرض شده است که ناهمواری دامنه یک شاخص مهم برای انواع دیگر زمین لغزش‌ها در CAMEL نمی‌باشد و بنابراین امکان وقوع این نوع زمین لغزش‌ها برای هر مقدار فازی از این متغیر وجود دارد. این بلوک قانون در حال حاضر در بخش امکان اولین بلوک قانون می‌باشد. بنابراین بایستی تمام ترکیبات ورودی را در نظر بگیرد. اگرچه مهم نیست که به عنوان مثال، لغزش‌های چرخشی خاکی P ناهمواری دامنه "ناهموار" دارند یا خیر، این مقدار فازی باید برای آن‌ها نیز بررسی شود (Miles and Keefer, 2007).

جدول ۳-۴: بلوک قوانین بخش امکان در مورد دانش موجود درباره P ناهمواری دامنه. (Miles and Keefer, 2007)

آنگاه		اگر
درجه پشتیبانی	P ناهمواری دامنه	نوع زمین لغزش
۱	ناهموار	ریزش سنگی
۱	ناهموار	بهمن سنگی
۱	ناهموار	ریزش خاکی
۱	ناهموار	چرخش سنگی
۱	ناهموار	چرخش خاکی
۱	ناهموار	جریان خاکی
۱	مسطح	ریزش خاکی
۱	مسطح	چرخش سنگی
۱	مسطح	چرخش خاکی
۱	مسطح	جریان خاکی

۳-۲-۹-۱-۲-۲ P-شدت زلزله

شاخص P شدت زلزله حداقل شدت مورد نیاز برای وقوع هر نوع از زمین لغزش را معرفی می‌نماید. تفاوت مهم و اساسی مابین مقیاس سنتی MMI و مقیاس شدت زلزله بکار برده شده در این تحقیق که به وسیله سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه شده است، این است که مقیاس سنتی MMI،

مقیاسی بر اساس اعداد صحیح مجزا از یکدیگر است در حالی که مقیاس شدت زلزله حاصل از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مقیاسی بر اساس اعداد ممیز شناور پیوسته است. به عبارت دیگر، به واسطه روابط رگرسیونی، مقادیر اعشاری MMI به ازای شدت‌های زلزله ارائه شده به وسیله سامانه اطلاعات جغرافیایی ممکن هستند.

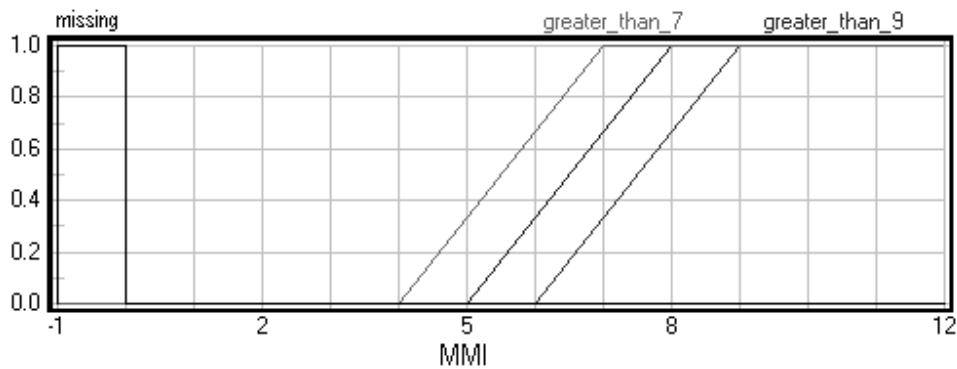
همانطور که در شکل (۳-۱۲) نشان داده است، P شدت زلزله از سه مقدار فازی ساخته شده است: "ناموجود"، "بزرگتر از ۷"، "بزرگتر از ۸" و "بزرگتر از ۹". کمترین مقدار به دسته اول زمین-لغزش‌ها، به جز بهمن‌های سنگی، اعمال می‌شود. مقدار متوسط به دسته دوم (لغزش‌های پیوسته) و دسته سوم زمین لغزش‌ها (جریان‌های سریع خاکی) اعمال می‌گردد. بالاترین مقدار مربوط به اطلاعات وقوع بهمن‌های سنگی است.

مقادیر آستانه MMI برای بهمن‌های سنگی از اطلاعات حداقل بزرگی و فاصله از هانوکس و همکاران (۲۰۰۲)^۱ و کیفر (۱۹۸۴)، که به MMI تبدیل شده است، استخراج شده‌اند. سایر مقادیر از رودریگوئز و همکاران (۱۹۹۹)^۲ و کیفر (۱۹۸۴) بدست آمده‌اند. هر تابع عضویت از مقدار درستی صفر (۰) برای کمترین حداقل MMI ثبت شده، تا مقدار درستی یک (۱) برای بیشترین حداقل MMI ثبت شده افزایش می‌یابد (شکل ۳-۱۳).

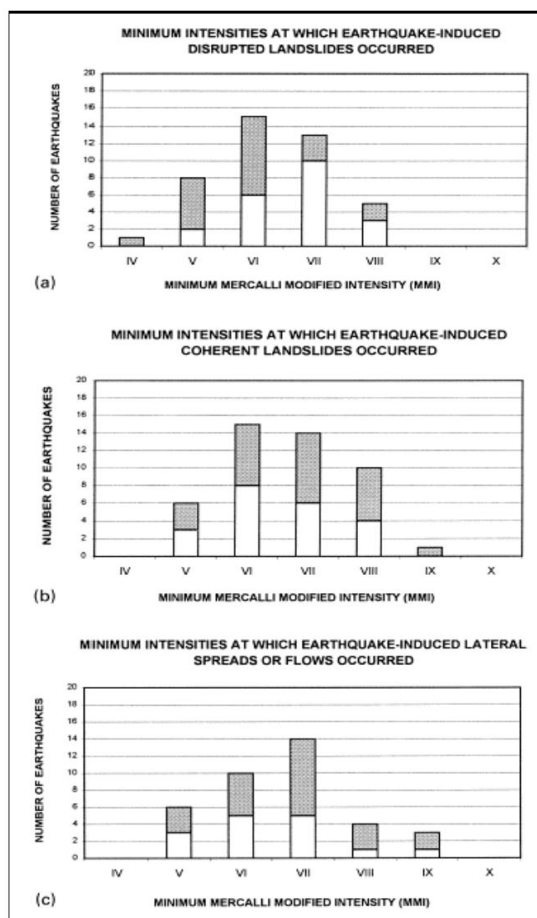
اگر هیچ اطلاعاتی از شدت وجود نداشته باشد، CAMEL امکان وقوع در حالت استاتیکی را برای هر نوع زمین لغزش محاسبه می‌کند (Miles and Keefer, 2007).

¹ Hancox et al.(2002)

² Rodriguez et al. (1999)



شکل ۳-۱۲: تابع عضویت برای P شدت زلزله. (Miles and Keefer, 2007)



شکل ۳-۱۳: حداقل شدت مورد نیاز برای وقوع دسته‌های مختلف زمین‌لغزش (Rodriguez et al., 1999).

قسمت‌های خاکستری از کیفر (۱۹۸۴)، قسمت‌های سفید از رودریگوئز (۱۹۹۹).

بلوک قوانین مربوط به تعیین امکان وقوع هر نوع زمین‌لغزش بر اساس P شدت زلزله در جدول (۳-۵) ذکر شده است.

LandslideType7 برای پیوند دادن این بلوک قوانین به بلوک قوانین قبلی استفاده شده است. همانطور که پیشتر توضیح داده شده است، عملگر "و" برای انتقال مقدار درستی از بلوک قوانین قبلی استفاده شده است.

شش قانون آخر بلوک قوانین برای داده های "ناموجود" در نظر گرفته شده اند (برای انجام تجزیه و تحلیل حساسیت استاتیک (امکان وقوع در حالت استاتیکی))، (Miles and Keefer, 2007).

جدول ۳-۵: بلوک قوانین بخش امکان در مورد دانش مربوط به P شدت زلزله. (Miles and Keefer, 2007)

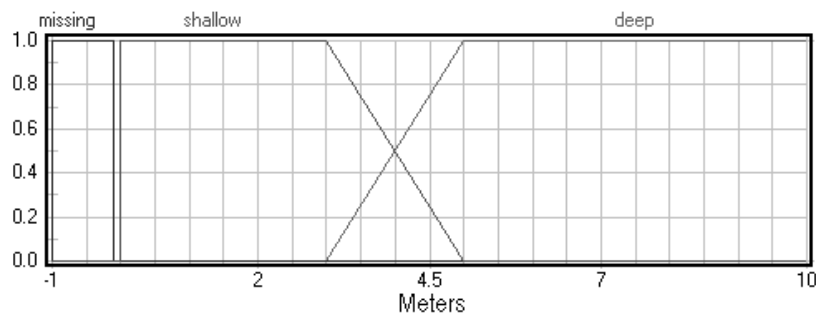
آنگاه		اگر	
درجه پشتیبانی	LandslideType7	P شدت لرزه ای	LandslideType6
۱	ریزش سنگی	بزرگتر از ۷	ریزش سنگی
۱	لغزش خاکی	بزرگتر از ۷	لغزش خاکی
۱	چرخش سنگی	بزرگتر از ۸	چرخش سنگی
۱	چرخش خاکی	بزرگتر از ۸	چرخش خاکی
۱	جریان خاکی	بزرگتر از ۸	جریان خاکی
۱	بهمن سنگی	بزرگتر از ۹	بهمن سنگی
۱	ریزش سنگی	ناموجود	ریزش سنگی
۱	بهمن سنگی	ناموجود	بهمن سنگی
۱	لغزش خاکی	ناموجود	لغزش خاکی
۱	چرخش سنگی	ناموجود	چرخش سنگی
۱	چرخش خاکی	ناموجود	چرخش خاکی
۱	جریان خاکی	ناموجود	جریان خاکی

۳-۲-۹-۱-۳-۳ P عمق خاک

متغیر P عمق خاک بر پایه دانش برگرفته از کیفر (۱۹۸۴) و بومر و رودریگوئز^۱ (۲۰۰۰) تعریف شده است. دو مقدار فازی آن در دو سوی مقدار ۳ متر تعریف می شوند (شکل ۳-۱۴). این آستانه فازی نشان دهنده این است که آیا به اندازه کافی خاک برای رخ دادن گسیختگی عمیق وجود دارد یا نه.

^۱ Bommer and Rodriguez (2000)

اگر داده های مربوط به عمق خاک ناموجود باشند، CAMEL فرض خواهد کرد که زمین لغزش دسته یک در خاک ممکن است. جدول (۳-۶) قوانین مربوطه را نشان می دهد. توجه کنید که مقادیر درستی برای همه مقادیر فازی به جز "چرخش خاکی" به سادگی به بلوک قوانین بعد منتقل شده‌اند (Miles and Keefer, 2007).



شکل ۳-۱۴: تابع عضویت برای P عمق خاک. (Miles and Keefer, 2007)

جدول ۳-۶: بلوک قوانین بخش امکان در مورد دانش مربوط به P عمق خاک. (Miles and Keefer, 2007)

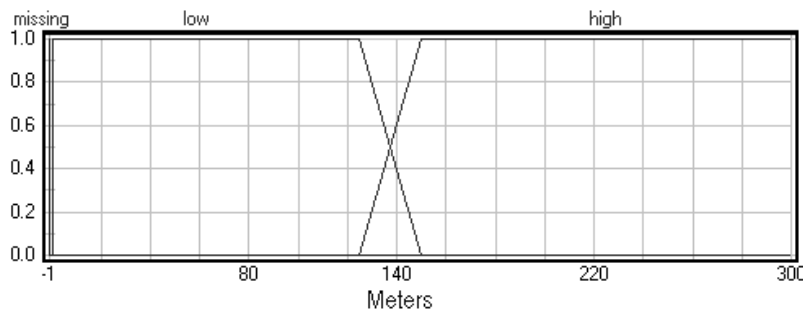
آنگاه		اگر	
درجه پشتیبانی	LandslideType5	LandslideType6	P عمق خاک
۱	چرخش خاکی	چرخش خاکی	عمیق
۱	چرخش خاکی	چرخش خاکی	ناموجود
۱	ریزش سنگی	ریزش سنگی	
۱	بهمن سنگ	بهمن سنگ	
۱	لغزش خاکی	لغزش خاکی	
۱	چرخش سنگی	چرخش سنگی	
۱	جریان خاکی	جریان خاکی	

۳-۲-۹-۱-۴-P ارتفاع دامنه

کیفر (۱۹۸۴) تصریح کرده است که برای بروز بهمن سنگی ارتفاع دامنه باید بزرگتر یا مساوی ۱۵۰ متر باشد. این اطلاعات در متغیر P ارتفاع دامنه (شکل ۳-۱۵) که از دو مقدار فازی "کم" و "مرتفع" تشکیل شده است، منعکس شده است. مقدار فازی دوم طوری تعریف شده است که مقدار درستی آن

در مقدار ارتفاع شیب ۱۵۰ متر (۱) می‌باشد. تابع عضویت دیگر صرفاً معکوس این تابع عضویت است. شیب توابع عضویت منطقی است چون ارتفاع ۱۵۰ متر براساس مجموعه داده‌های کیفر (۱۹۹۳) کمترین حدآستانه‌ای برای رخداد بهمن سنگی است. مقدار فازی "ناموجود" نیز امکان پذیر است و بدین معنی است که در صورتی که اطلاعات مقادیر ارتفاع دامنه موجود نباشد فرض بر این است که رخداد بهمن سنگی ممکن است.

جدول (۷-۳) لیست قوانین مرتبط را نشان می‌دهد و مشاهده می‌شود که محاسبات فقط برای مقدار فازی "بهمن سنگی" انجام می‌پذیرد. مقادیر درستی مربوط به انواع دیگر زمین لغزش به بلوک قوانین بعدی منتقل می‌شود (Miles and Keefer, 2007).



شکل ۳-۱۵: تابع عضویت برای P ارتفاع دامنه. (Miles and Keefer, 2007)

جدول ۳-۷: بلوک قوانین بخش امکان در مورد دانش مربوط به P ارتفاع دامنه. (Miles and Keefer, 2007)

آنگاه		اگر	
درجه پشتیبانی	LandslideType4	LandslideType5	ارتفاع دامنه
۱	ریزش سنگی	ریزش سنگی	
۱	بهمن سنگی	بهمن سنگی	مرتفع
۱	لغزش خاکی	لغزش خاکی	
۱	چرخش سنگی	چرخش سنگی	
۱	چرخش خاکی	چرخش خاکی	
۱	جریان خاکی	جریان خاکی	
۱	بهمن سنگی	بهمن سنگی	ناموجود

۳-۲-۹-۱-۵-P نوع مصالح

P نوع مصالح یک متغیر اسمی است. این متغیر می‌تواند سه مقدار اسمی، "سنگ"، "خاک"، و "ناموجود" را اختیار کند. این متغیر به عنوان یک سوئیچ دوتایی برای نشان دادن اینکه آیا خواص مواد مربوط به متغیرهای ورودی ارائه شده (به عنوان مثال، h رده زمین، تعریف شده در ادامه) متناسب با سنگ یا خاک است، می‌باشد. اگر هیچ اطلاعاتی ارائه نشده باشد، همان‌طور که در بلوک قوانین در جدول (۳-۸) نشان داده شده است، سیستم فازی همان جنس مربوطه را به زمین‌لغزش - های خاکی و سنگی نسبت می‌دهد. علاوه بر این، فرض شده است، که هر دو زمین‌لغزش‌های سنگی و خاکی امکان‌پذیر هستند (Miles and Keefer, 2007).

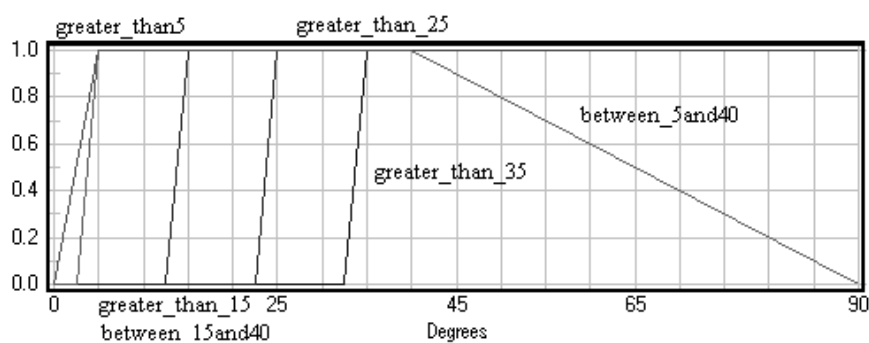
جدول ۳-۸: بلوک قوانین بخش امکان در مورد دانش مربوط به P نوع مصالح. (Miles and Keefer, 2007)

آنگاه			اگر
درجه پشتیبانی	LandslideType3	LandslideType4	P نوع مصالح
۱	ریزش سنگی	ریزش سنگی	سنگ
۱	بهمن سنگی	بهمن سنگی	سنگ
۱	لغزش خاکی	لغزش خاکی	خاک
۱	چرخش سنگی	چرخش سنگی	سنگ
۱	چرخش خاکی	چرخش خاکی	خاک
۱	جریان خاکی	جریان خاکی	خاک
۱	ریزش سنگی	ریزش سنگی	ناموجود
۱	بهمن سنگی	بهمن سنگی	ناموجود
۱	لغزش خاکی	لغزش خاکی	ناموجود
۱	چرخش سنگی	چرخش سنگی	ناموجود
۱	چرخش خاکی	چرخش خاکی	ناموجود
۱	جریان خاکی	جریان خاکی	ناموجود

۳-۲-۹-۱-۶-P رطوبت

P رطوبت نشان دهنده اطلاعات موجود در مورد انواع مختلف زمین لغزشها با توجه به محتوای رطوبتی خاک یا عمق سطح ایستابی می باشد. این متغیر نشان می دهد که لایه مورد تجزیه و تحلیل نسبت به عمق لایه تا چه درجه ای اشباع شده است. P رطوبت از نظر مفهومی نسبت ارتفاع آب زیرزمینی به عمق کل لایه مورد بررسی، ضرب در ۱۰۰٪ می باشد. این تعریف همان تعریف مقدار m است که به طور معمول در مدل های شیب بی نهایت برای مدل سازی منطقه ای بکار گرفته شده است (به عنوان مثال، (Jibson et al., 1998). اطلاعات برای این متغیر بر اساس کیفر (۱۹۸۴) می باشد. تعریف این متغیر در شکل (۳-۱۶) نشان داده شده است. پایین ترین مقدار، "بیشتر از حد مرطوب"، مربوط به دسته دوم زمین لغزشها می شود، با این فرض که وقوع لغزشهای پیوسته نیاز به آب زیر زمینی کمی دارد. شکل تابع عضویت نشان می دهد که برای درصد اشباع بیشتر از صفر، مقداری امکان وقوع زمین لغزش وجود دارد. مقدار بالا، "تقریباً اشباع"، مربوط به جریانهای سریع خاکی می باشد، که نیاز به رطوبت بالا دارند (Keifer, 1984).

مقدار آستانه ۷۵٪ (نشان دهنده مقدار درستی ۱) به عنوان یک مقدار محافظه کارانه برای فرض اشباع بودن کل لایه در نظر گرفته شده است. آستانه بالاتر، مقادیر امکان اختصاص یافته به شیبهای کمتر اشباع شده را کاهش دهد. نگاهی به قوانین مربوط ذکر شده در جدول (۳-۹)، نشان می دهد که "ریزش سنگی"، "بهمن سنگی"، و "لغزش خاکی" بدون در نظر گرفتن شرایط رطوبت امکان وقوع دارند (Keifer, 1984, 1993).



شکل ۳-۱۶: توابع عضویت برای P رطوبت. (Miles and Keifer, 2007)

جدول ۳-۹: بلوک قوانین بخش امکان در مورد دانش مربوط به P رطوبت. (Miles and Keefer, 2007)

آنگاه		اگر	
درجه پشتیبانی	LandslideType2	LandslideType3	رطوبت
۱	ریزش سنگی	ریزش سنگی	
۱	بهمن سنگی	بهمن سنگی	
۱	لغزش خاکی	لغزش خاکی	
۱	چرخش سنگی	چرخش سنگی	بیشتر از حد مرطوب
۱	چرخش خاکی	چرخش خاکی	بیشتر از حد مرطوب
۱	جریان خاکی	جریان خاکی	تقریباً اشباع شده

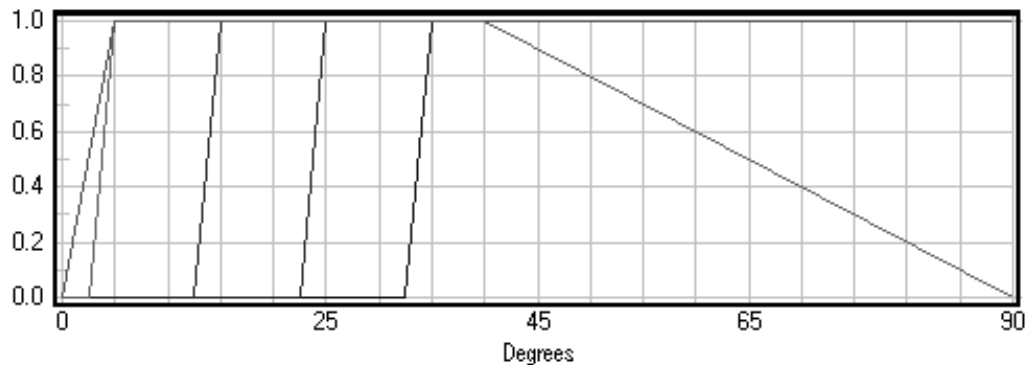
۳-۲-۹-۱-۷-P زاویه شیب

اطلاعات مربوط به حداقل زاویه شیب لازم برای وقوع هر نوع زمین لغزش توسط متغیر P زاویه شیب، بیان می‌شود. پنج تابع عضویت نشان داده شده در شکل (۳-۱۷)، بر اساس هانوکس و همکاران (۲۰۰۲)، رودریگوتز و همکاران (۱۹۹۹) و کیفر (۱۹۸۴)، (جدول ۳-۱۰) تولید شده‌اند.

در تعریف تابع عضویت برای جریان‌های سریع خاکی، بیشترین مقدار حداقل برای وقوع این نوع از زمین لغزش در ادبیات فنی، یعنی $2/3^\circ$ ، را به بالا تا مقدار 5° گرد کرده‌ایم. اکثریت جریان‌های خاکی براساس مجموعه اطلاعات کیفر (۱۹۸۴) در شیب بیش از ۵ درجه اتفاق افتاده‌اند. این کار تعریف تابع عضویت "P زاویه شیب" را ساده‌تر می‌کند. دیگر مقادیر حداقل از مقدار درستی (۱) برای کمترین مقدار حداقل زاویه شیب منتشرشده تا مقدار درستی صفر (۰) برای $2/5$ درجه تغییر می‌کند. مقدار فازی "بیش از 15° " برای دسته اول زمین لغزش‌های خاکی بر اساس مقادیر موجود برای لغزش‌های خاکی گسسته در نظر گرفته شده است. این بدان معنی است که امکان رخداد بهمن‌های خاکی در حال حاضر توسط CAMEL بیش از واقعیت پیش‌بینی می‌شود زیرا در حالت کلی زاویه شیب حداقل برای وقوع این نوع از زمین لغزش ۳۵ درجه می‌باشد. لغزش‌های خاکی گسسته بسیار معمول هستند (Keefer, 1984)، بنابراین متغیر "P زاویه شیب" بر اساس این اولویت طراحی شده است.

مقدار فازی " بیش از 35° " بر اساس اطلاعات موجود در مورد ریزش‌ها و لغزش‌های سنگی تعریف شده‌است. اطلاعات موجود در مورد لغزش‌های بلوکی خاکی برای تعریف مقدار فازی " مابین 5° تا 40° " مورد استفاده قرار گرفته است و برای هر دو لغزش‌های بلوکی خاک و لغزش‌های چرخشی خاکی به کار گرفته شده است. مقدار فازی " مابین 15° تا 40° " بر اساس اطلاعات مربوط به همه انواع لغزش‌های پیوسته سنگی می‌باشد.

زاویه شیب حداکثر 40° درجه برای زمین‌لغزش دسته دوم بر اساس هانسن و فرنکس^۱ (۱۹۹۱)، کرودن و وارنز (۱۹۹۶) و مجموعه داده‌های کیفر (۱۹۸۴) تعریف شده است. به دلیل عدم قطعیت موجود در این حداکثر، تابع عضویت به آرامی تا رسیدن به مقدار درستی صفر (۰) در 90° درجه کاهش می‌یابد. جدول (۳-۱۱) بلوک قوانین مربوط به هر مقدار فازی از " P زاویه شیب " را نشان می‌دهد (Miles and Keefer, 2007).



شکل ۳-۱۷: توابع عضویت برای P زاویه شیب. (Miles and Keefer, 2007)

¹ Hansen and Franks

جدول ۳-۱۰: اطلاعات در مورد حداقل زاویه شیب مورد نیاز برای رخداد نوع خاصی از زمین لغزش. (Miles and Keefe, 2007)

حداقل زاویه شیب (درجه)			نوع زمین لغزش
Keefe (1984)	Rodriguez et al (1999)	Hancox et al. (2002)	
۳۵ - ۴۰	۳۵	۴۰	لغزش‌های سنگی و ریزش‌های سنگی گسسته شده
۱۵ / ۴۰	۵۵	۲۵ - ۳۵	لغزش‌های خاکی گسسته شده / ریزش‌های خاکی
۲۵	n/a	۲۵ - ۳۵	بهمن‌های سنگی
۱۵	۱۵	۱۵	لغزش‌های بلوکی سنگی و چرخش‌های سنگی
۵ - ۴۰	۸	۱۵	لغزش‌های بلوکی خاکی و چرخش‌های خاکی
۲,۳	۰	۲	جریان‌های خاکی سریع

جدول ۳-۱۱: بلوک قوانین بخش امکان در مورد اطلاعات مربوط به P زاویه شیب. (Miles and Keefe, 2007)

آنگاه	اگر		
	LandslideType	LandslideType2	زاویه شیب P
درجه پشتیبانی			
۱	ریزش سنگی	ریزش سنگی	بزرگتر از ۳۵
۱	بهمن سنگی	بهمن سنگی	بزرگتر از ۲۵
۱	لغزش خاکی	لغزش خاکی	بزرگتر از ۱۵
۱	چرخش سنگی	چرخش سنگی	مابین ۱۵ - ۴۰
۱	چرخش خاکی	چرخش خاکی	مابین ۱۰ - ۵
۱	جریان خاکی	جریان خاکی	بزرگتر از ۵

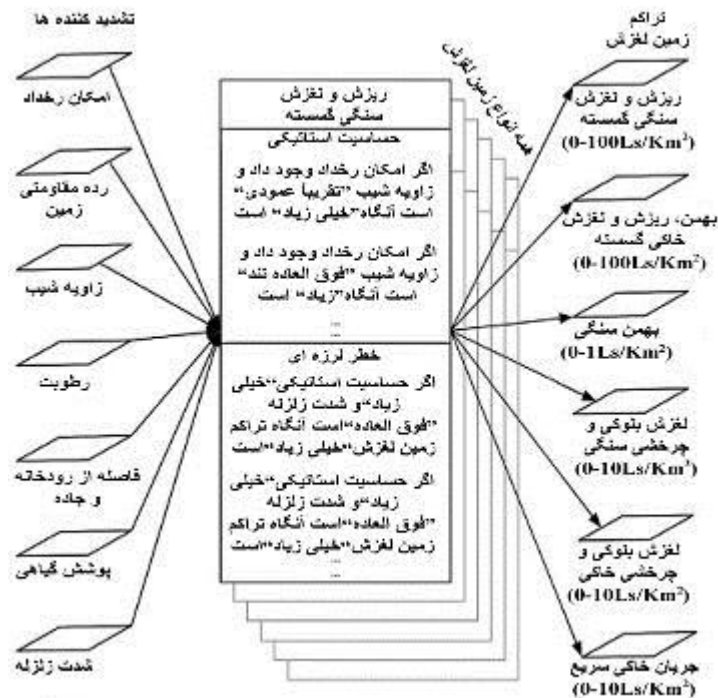
۳-۲-۹-۲-بخش خطر

بخش خطر در شکل (۳-۱۸) نشان داده شده است. این بخش هر نوع زمین لغزش را به طور جداگانه در دو زیر بخش، حساسیت استاتیکی^۱ و خطر لرزه‌ای^۲ مورد بررسی قرار می‌دهد تا مقادیر منطقه‌ای تراکم

¹Static Susceptibility

² Seismic Hazard

شش نوع زمین لغزش CAMEL را محاسبه کند.



شکل ۳-۱۸: نمودار جریان داده‌ها برای بخش خطر CAMEL معرف ورودی‌ها (اطلاعات تشدید کننده)، خروجی‌ها، و

ترتیب (سازماندهی) قواعد. (Miles and Keefer, 2007)

زیربخش حساسیت استاتیکی شامل اطلاعات در مورد متغیرها، مستقل از تأثیر زلزله (به معنی شرایط استاتیکی) می‌باشد. این اطلاعات در مورد حساسیت استاتیکی با دو بلوک قانون نمایندگی شده است. در بلوک قوانین اول، مقادیر متغیرهای خروجی به طور یکسان با افزایش مقادیر متغیرهای ورودی افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، قوانین به نحوی هستند که برای هر پله افزایش یک مقدار فازی ورودی (به عنوان مثال، "کم" به "متوسط")، خروجی نیز به میزان یک مقدار فازی افزایش می‌یابد. بلوک قانون دوم زیربخش حساسیت استاتیکی، متغیرهای با اهمیت کمتر (یا متغیرهای مربوط به اطلاعات با جزئیات کمتر یا کیفیت ضعیف‌تر) را مورد بررسی قرار می‌دهد، که در CAMEL متغیر ویرایشگر نامیده شده‌اند. ویرایشگرها در بخش حساسیت استاتیکی با افزایش و یا کاهش حساسیت تا حداکثر یک مقدار فازی، عمل می‌کنند. برای مثال، اگر در نزدیکی قسمت پاشنه دامنه جریان آبی

وجود داشته باشد و بدون در نظر گرفتن آن حساسیت استاتیکی "متوسط" باشد، حساسیت استاتیکی محاسبه شده "زیاد" خواهد شد.

زیر بخش خطر لرزه ای، اثر تکان‌های ناشی از زلزله را روی حساسیت استاتیکی محاسبه شده توسط زیر بخش قبلی را در نظر گرفته‌است. زیر بخش خطر لرزه‌ای تمام ترکیبات ممکن از مقادیر فازی حساسیت استاتیکی و شدت زمین‌لرزه را در نظر گرفته‌است.

خروجی زیر بخش خطر لرزه‌ای (و خروجی کلی CAMEL) برآوردی از تراکم منطقه‌ای (زمین‌لغزش در هر کیلومتر مربع) هر نوع زمین‌لغزش می‌باشد. همانطور که در شکل (۳-۱۸) دیده می‌شود، نکته مهم آن است که، محدوده ممکن مقادیر تراکم زمین‌لغزش برای هر نوع زمین‌لغزش متفاوت می‌باشد (Miles and Keefer, 2007).

متغیرهای ورودی بخش خطر

بخش خطر به طور کلی، البته نه به طور مستقیم، بر اساس اطلاعات کمی به دست آمده از ادبیات علمی استوار است. همه دامنه‌ها و برخی از توابع عضویت خاص مشخصاً بر اساس اطلاعات استخراج شده از ادبیات فنی شکل گرفته‌اند، در حالی که عناصر دیگر برگرفته از معیارهای طراحی و یا قضاوت مهندسی هستند.

مگر به دلایل خاص، توابع عضویت با استفاده از اشکال مثلث تعریف شده‌اند. به جای داده‌های کمی، توابع عضویت با استفاده از سه محدودیت تعریف شده‌اند.

- دامنه باید به طور کامل با توابع عضویت مشخص شده یا پوشش یابد.
- همه توابع عضویت همسایه باید در مقدار درستی ۰/۵ یکدیگر را قطع کنند.
- توابع عضویت همسایه باید مکمل یکدیگر باشند. برای مثال، اگر یک تابع عضویت در نقطه خاصی از دامنه، مقدار درستی ۰/۷ را نشان دهد، تابع عضویت همسایه باید در همان محل مقدار درستی ۰/۳ را نشان دهد.

این معیارها زمانی که ورودی‌ها نامطمئن یا مبهم هستند کمک می‌کنند بالاترین مقدار درستی ممکن به دست آید. این معیارها همچنین تضمین می‌کنند که هیچ داده ورودی وجود ندارد که CAMEL قادر به محاسبه خروجی برای آن نباشد و مانع از حصول نتایج بسیار متفاوت با تغییر کوچک در مقادیر می‌گردد. جدول (۳-۱۲) فهرست همه متغیرهای ورودی بخش خطر را فهرست کرده است. هر متغیر با واحدهای کمی، مقادیر حداقل و حداکثر، و برچسب مقدار فازی برای هر متغیر، تعریف شده است (Miles and Keefer, 2007).

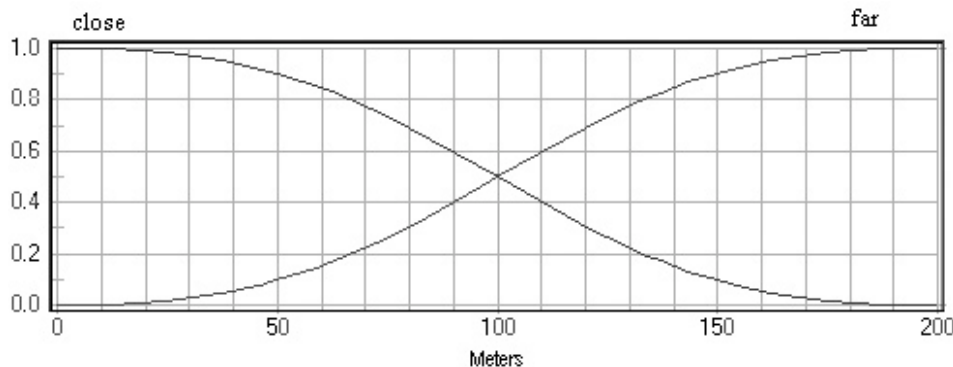
جدول ۳-۱۲: متغیرهای ورودی CAMEL- متغیرها و ویرایشگرها. (Miles and Keefer, 2007)

اسم متغیر	واحد	حداکثر مقدار	حداقل مقدار	برچسب مقادیر فازی
فاصله از رودخانه h و جاده	متر	۲۰۰	۰	نزدیک دور
رده زمین h	واحد های نسبی (نسبت)	۵	۱	خیلی خوب خوب متوسط ضعیف خیلی ضعیف
رطوبت h	درصد	۱۰۰	۰	خیلی کم کم متوسط زیاد خیلی زیاد نه خیلی کم
شدت زلزله h	MMI نقشه لرزه‌ای	۱۰	۴	خفیف متوسط قوی خیلی قوی سخت شدید

بی نهایت				
خیلی جزئی جزئی نسبتاً جزئی متوسط نسبتاً تند تند خیلی تند فوق العاده تند تقریباً عمودی	۵	۶۵	زاویه از افق	زاویه شیب h
پراکنده متراکم	۰	۱۰۰	درصد	پوشش گیاهی h

۳-۲-۹-۱-h فاصله از رودخانه و جاده

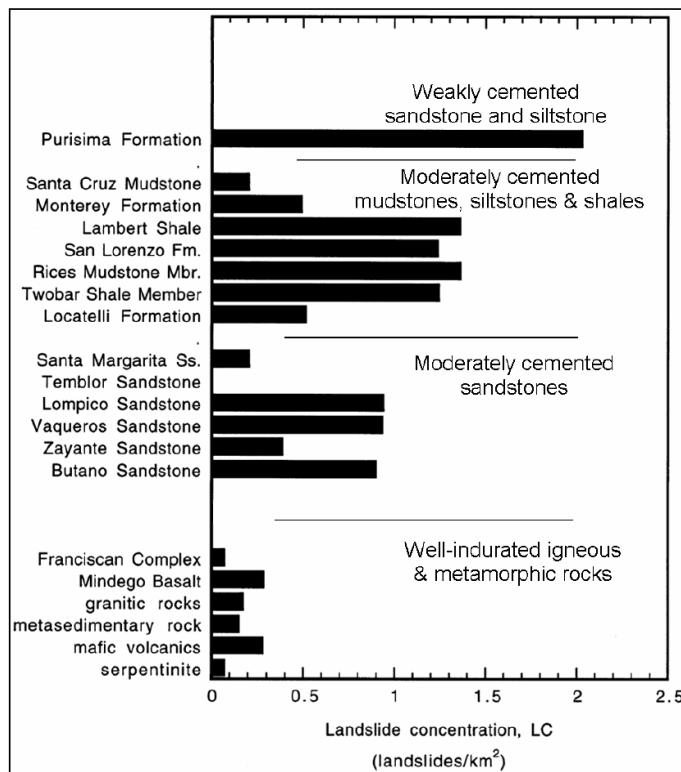
کرودن و وارنز (۱۹۹۶) از نظر مفهومی، h فاصله از رودخانه و جاده موجب سهولت ارائه عوامل مورفولوژیکی مؤثر در گسیختگی دامنه (مانند فرسایش پنجه دامنه توسط جریان آب، یا شیب بیش از حد دامنه ناشی از قطع شدگی به وسیله جاده) می‌شود. این متغیر به طور مشخص، فاصله دامنه از رودخانه و جاده (عامل خطی) برحسب متر می‌باشد. دامنه متغیر و تعداد مقادیر فازی بر اساس بررسی فهرست زمین لغزش‌های ناشی از زلزله لوما پریتا (۱۹۸۹) از کیفر (۱۹۹۸) فرض شده است. تعریف تابع عضویت نشان داده شده در شکل (۳-۱۹)، برای دو مقدار فازی بر این فرض استوار است که تأثیر فاصله از رودخانه و جاده در فواصل فراتر از ۱۰۰ متر به طور آشکاری کم می‌شود. شکل S مانند تابع عضویت به این منظور انتخاب شده است که انتقال بین مقادیر فازی نزدیک و دور سریع تر از منحنی-های خط راست معادل می‌باشد. به عبارت دیگر، فازی بودن بین دو مقدار در مقایسه با توابع عضویت مثلثی در قسمت‌های انتهایی دامنه کم می‌باشد (Miles and Keefer, 2007).



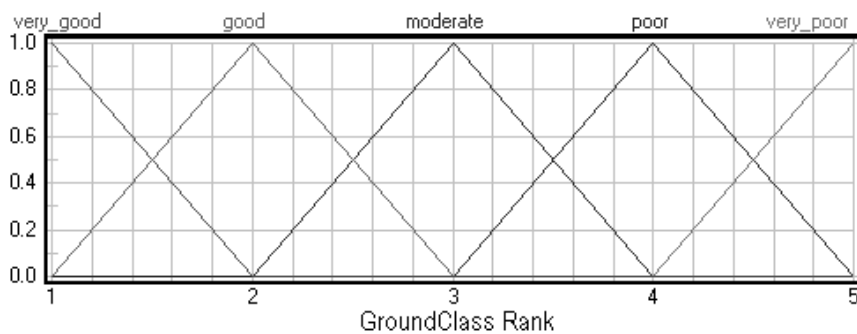
شکل ۳-۱۹: توابع عضویت برای h فاصله از رودخانه و جاده. (Miles and Keefer, 2007)

متغیر " h رده زمین" بر اساس توضیحات و اطلاعات مبتنی بر کیفر (۲۰۰۰) در مورد مشخصات کیفی مواد تشکیل دهنده شیب یا سنگ شناسی با خطر زمین لغزش‌های ناشی از زلزله تعریف شده است. شکل (۳-۲۰) اطلاعات ارائه شده در کیفر (۲۰۰۰) را نمایش می‌دهد، که بیانگر ارتباط یکنواخت بین پنج تعریف کیفی سنگ شناسی است که با کاهش کیفیت سیمان‌شدگی، دوام و هوازدگی سنگ، تراکم زمین لغزش افزایش می‌یابد. " h رده زمین" به عنوان شاخصی از شرایط زمین و مشخصات مواد، مانند مقاومت برشی و درزه‌های سنگ می‌باشد که مقادیر پایین‌تر نشان دهنده شرایط ضعیف‌تر زمین می‌باشد (شکل ۳-۲۱). به همین دلیل، تعریف تابع عضویت به صورت یک تابع یکسان، برای هر مقدار رده زمین موضوع ساده‌ای می‌باشد.

مشخص کردن داده‌های ورودی برای " h رده زمین" مستلزم آن است که کاربر داده‌ها و/یا اطلاعات مربوط به شرایط زمین را به یکی از ۵ طبقه ترجمه کند (به هر حال رتبه‌بندی در CAMEL لزومی ندارد مقادیر عددی صحیح باشد). این متغیر بسته به مقدار " P نوع مصالح"، نماینده شرایط خاک یا سنگ می‌باشد (Miles and Keefer, 2007).



شکل ۳-۲۰: اطلاعات توصیفی معرف افزایش امکان رخداد زمین لغزش با توجه به کیفیت سیمان یا دوام سنگ بر اساس مطالعه زمین لغزش‌های ناشی از زلزله سال ۱۹۸۹ لومارینا، کیفر (۲۰۰۰). (Miles and Keefer, 2007)

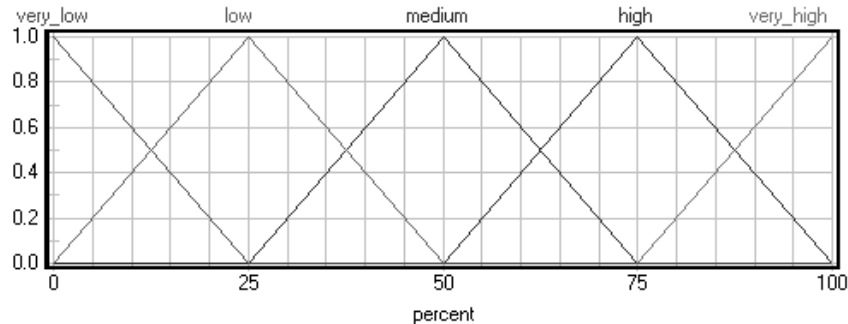


شکل ۳-۲۱: توابع عضویت برای h رده زمین. (Miles and Keefer, 2007)

۳-۲-۹-۲-۳- h رطوبت

از نظر مفهومی، "h رطوبت" به همان شیوه "P رطوبت" تعریف شده است. این متغیر نشان می‌دهد که لایه زمین مورد مطالعه به نسبت عمق لایه چند درصد اشباع است. "h رطوبت" نسبت ارتفاع قسمت اشباع لایه زمین مورد مطالعه بر عمق لایه، ضرب در ۱۰۰٪ می‌باشد. دامنه این متغیر از ۰ تا ۱۰۰٪ اشباع می‌باشد.

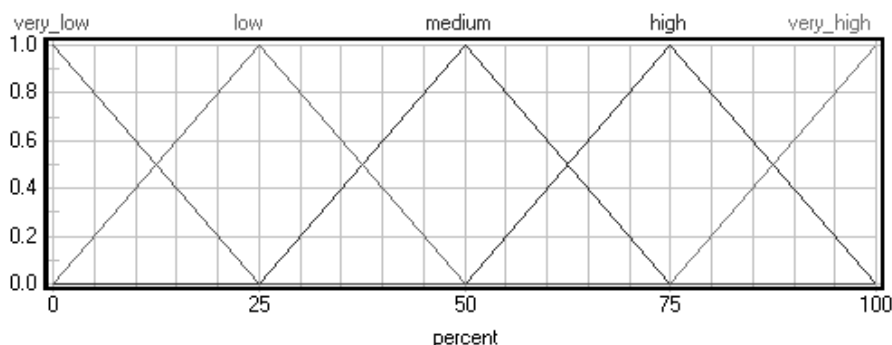
همانند "h رده زمین"، پنج مقدار فازی "h رطوبت" از تقسیم دامنه به پنج قسمت (شکل ۳-۲۲) که توسط توابع عضویت متقارن تعریف شده‌اند، مشخص شده است (Miles and Keefer, 2007).



شکل ۳-۲۲: توابع عضویت برای h رطوبت. (Miles and Keefer, 2007)

۳-۲-۹-۲-۳ شدت زلزله

متغیر "h شدت زلزله" نشان دهنده اطلاعات درباره تأثیر شدت زلزله در رخداد زمین لغزش است. به زبان ساده این متغیر یک ترجمه فازی از مقیاس MMI (با در نظر گرفتن مقادیر بین ۴ و ۱۰)، با توابع عضویت متقارن واقع شده در هر مقدار MMI می باشد (شکل ۳-۲۳). برچسب های مقادیر فازی بر اساس عبارات مورد استفاده در نقشه لرزه‌ای^۱ توسط ولد و همکاران^۲ (۱۹۹۹) می باشد. هیچ مقدار فازی بزرگتر از ۱۰ تعریف نشده است زیرا نقشه لرزه‌ای این مقادیر را فراهم نمی کند و اطلاعات کمی نیز در مورد زمین لغزش های مربوط به چنین شدت های بزرگی وجود دارد (Miles and Keefer, 2007).



شکل ۳-۲۳: توابع عضویت برای h شدت زلزله. (Miles and Keefer, 2007)

¹ ShakeMap

² Wald et al. (1999)

۳-۲-۹-۲-۵- h زاویه شیب

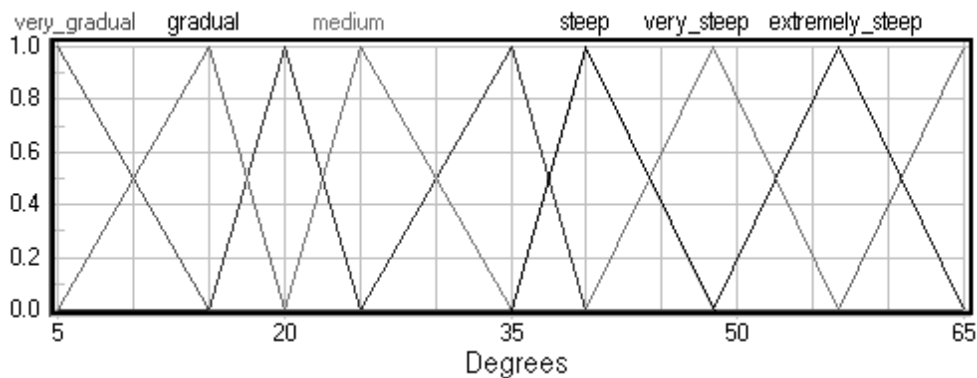
اطلاعات در مورد تأثیر افزایش زاویه شیب توسط "h زاویه شیب" ارائه شده است (شکل ۳-۲۴). واحد آن درجه نسبت به افق است - همانند "P زاویه شیب". حداقل مقدار (۵ درجه) در تعریف دامنه مربوط به شاخص آستانه وقوع برای جریان‌های سریع خاکی و لغزش‌های چرخشی خاکی می‌باشد. برای مقادیر کمتر از شیب ۵ درجه، هیچ نوع زمین‌لغزشی با توجه به مشخصات فعلی CAMEL ممکن نیست.

در تعریف دامنه از مقدار حداکثر ۶۵ درجه استفاده شده است چرا که این مقدار حداکثر، مقدار ارائه شده در منابعی است که برای استخراج اطلاعات از آنها استفاده شده است. به عنوان مثال، هانوکس و همکاران^۱ (۲۰۰۲) مقدار ۶۵ درجه را به حساسیت "زیاد تا خیلی زیاد" مرتبط می‌کنند.

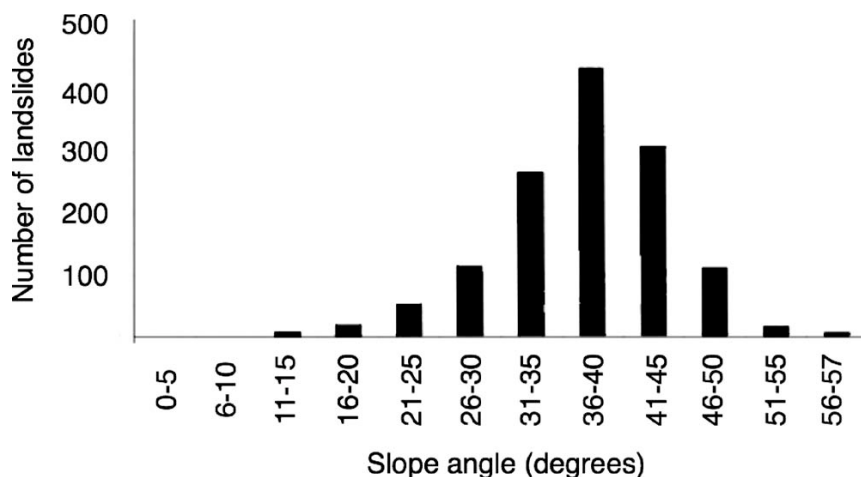
برای ایجاد سازگاری منطقی، هر تابع عضویت تعریف شده در "P زاویه شیب" توابع عضویت متناظری در "h زاویه شیب" دارد. به عنوان مثال برای زاویه ۲۰ درجه در تابع عضویت متناظر با شیب‌های ممکن برای لغزش‌های چرخشی و بلوکی سنگی (تابع عضویت بین ۱۵ تا ۴۰ درجه در "P زاویه شیب") پنج تابع بین ۱۵ و ۴۰ درجه در "h زاویه شیب" وجود دارد. توابع عضویت در زوایای بزرگتر از ۴۰ تا ۶۵ درجه در فواصل مساوی تعریف شده‌اند. شکل مثلث نامتقارن برای توابع عضویت امکان انتقال آرام بین مقادیر فازی را فراهم می‌آورد. اگر از توابع دوزنقه‌ای شکل متقارن برای تعریف "h زاویه شیب" استفاده می‌شد، نتایج خروجی CAMEL برای برخی از محدوده‌های زاویه شیب یکسان می‌شد زیرا شکل دوزنقه مقدار درستی یک (۱) را به جای یک نقطه در یک فاصله نتیجه می‌دهد (Miles and Keefer, 2007). شکل (۳-۲۵) ارتباط مابین تراکم زمین‌لغزش‌ها (همه انواع) و افزایش زاویه شیب را نشان می‌دهد و از مطالعه زمین‌لغزش‌های ایجاد شده به وسیله زلزله نورفریدج^۲ (۱۹۹۴) حاصل شده است (Parise and Jibson, 2000).

¹ Hancox

² Northridge (1994)



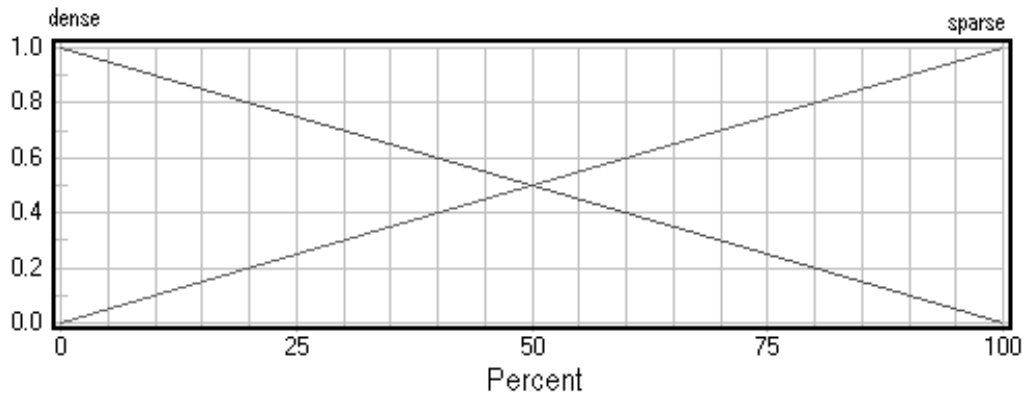
شکل ۳-۲۴: توابع عضویت برای h زاویه شیب. (Miles and Keefer, 2007)



شکل ۳-۲۵: اطلاعات تشدید کننده معرف افزایش تراکم زمین لغزش‌های ایجاد شده به وسیله زلزله نورفریدج (۱۹۹۴)، با افزایش زاویه شیب (Parise and Jibson, 2000).

۳-۲-۹-۲-۶-۳ پوشش گیاهی

اطلاعات کمی در مورد تأثیر پوشش گیاهی بر روی انواع مختلف زمین لغزش ناشی از زلزله در ادبیات فنی به جز نمودار درختی تصمیم‌گیری کیفی (۱۹۹۳) برای ارزیابی حساسیت ریزش‌ها و لغزش‌های سنگی وجود دارد. به همین دلیل، یک تعریف بسیار ساده برای "h پوشش گیاهی" (شکل ۳-۲۶) فرض شده است. از نظر مفهومی، این متغیر اشاره به پوشش گیاهی (تراکم) یک منطقه، که به صورت درصد از منطقه بیان می‌شود، دارد. دو مقدار فازی، "پراکنده" و "انبوه" با مقدار ۵۰ درصد به عنوان مرز تصمیم‌گیری، تعریف شده‌اند. ممکن است کاربرد این متغیر در نسخه فعلی مدل محدود باشد، اما موجب تنزل عملکرد مدل نخواهد بود، زیرا یک متغیر اختیاری است (Miles and Keefer, 2007).



شکل ۳-۲۶: توابع عضویت برای h پوشش گیاهی. (Miles and Keefer, 2007)

۳-۲-۱۰- متغیرهای خروجی-تراکم زمین لغزش

متغیرهای ذکر شده در جدول (۳-۱۳) خروجی‌های مرتبط با بخش خطر CAMEL هستند. هر یک از شش نوع زمین لغزش با چهار متغیر خروجی مرتبط می‌باشد. این متغیرها متناظر با دو نوع خروجی خطر لرزه‌ای - یکی که غیر فازی شده است و متغیر اسمی دیگر که غیر فازی نشده است (به عنوان مثال ، RAvSeismic و RAvSeismicFz) - و به همین ترتیب، دو نوع خروجی حساسیت استاتیکی (به عنوان مثال، RAvStatic و RAvStaticFz) می‌باشند. (FuzzyTechTM، نرم افزار استفاده شده برای پیاده سازی CAMEL، نیاز به تعیین روش غیر فازی سازی به عنوان بخشی از تعریف متغیرها دارد و به همین دلیل برای مشاهده خروجی هم به صورت غیر فازی شده و هم به صورت یک مجموعه فازی، دو متغیر جداگانه بایستی تعریف شوند).

مقادیر فازی برای همه متغیرهای خروجی یکسان هستند، اما با دامنه های مختلف و موقعیت تابع عضویت متفاوت سه ستون آخر جدول (۳-۱۳)، (Miles and Keefer, 2007).

جدول ۳-۱۳: مشخصات متغیرهای خروجی بخش خطر. (Miles and Keefer, 2007)

برچسب مقادیر فازی	پارامتر مکانی مرکز تابع عضویت (ln Ls/km ²)	پارامتر مکانی مرکز تابع عضویت (Ls/km ²)	اسم متغیر
خیلی کم	-۴,۶۰۵	۰,۰۱	RAvSeismic RAvStatic RAvSeismicFz RavStaticFz
کم	۳,۴۵۴	۰,۰۳۱۵	
متوسط	-۲,۳۰۳	۰,۱	
زیاد	-۱,۱۵۱	۰,۳۱۶	
خیلی زیاد	۰	۱	
خیلی کم	-۲,۳۰۳	۰,۱	RFallSeismic RFallStatic RFallSeismicFz RfallStaticFz
کم	-۰,۵۷۶	۰,۵۶۲	
متوسط	۱,۱۵۱	۳,۱۶۱	
زیاد	۲,۸۷۸	۱۷,۷۷۹	
خیلی زیاد	۴,۶۰۵	۱۰۰	
خیلی کم	-۲,۳۰۳	۰,۱	SfallSeismic SfallStatic SfallSeismicFz SfallStaticFz
کم	-۰,۵۷۶	۰,۵۶۲	
متوسط	۱,۱۵۱	۳,۱۶۱	
زیاد	۲,۸۷۸	۱۷,۷۷۹	
خیلی زیاد	۴,۶۰۵	۱۰۰	
خیلی کم	-۲,۳۰۳	۰,۱	RSlumpSeismic RSlumpStatic RSlumpSeismicFz RslumpStaticFz
کم	-۱,۱۵۱	۰,۳۱۶	
متوسط	۰	۱	
زیاد	۱,۱۵۱	۳,۱۶۱	
خیلی زیاد	۲,۳۰۳	۱۰	
خیلی کم	-۲,۳۰۳	۰,۱	SSlumpSeismic SSlumpStatic SSlumpSeismicFz SslumpStaticFz
کم	-۱,۱۵۱	۰,۳۱۶	
متوسط	۰	۱	
زیاد	۱,۱۵۱	۳,۱۶۱	
خیلی زیاد	۲,۳۰۳	۱۰	

خیلی کم	-۲,۳۰۳	۰,۱	SFlowSeismic SFlowStatic SFlowSeismicFz SflowStaticFz
کم	-۱,۱۵۱	۰,۳۱۶	
متوسط	۰	۱	
زیاد	۱,۱۵۱	۳,۱۶۱	
خیلی زیاد	۲,۳۰۳	۱۰	

از آنجا که بهترین اطلاعات موجود مربوط به ریزش‌ها و لغزش‌های گسسته سنگی می‌باشد، دامنه و توابع عضویت برای این نوع زمین‌لغزش بر اساس دانش کمی موجود تعریف شده و سپس برای توصیف انواع دیگر زمین‌لغزش متناسب شده است. برای ریزش‌ها و لغزش‌های گسسته سنگی، حداکثر تمرکز ریزش سنگی به میزان ۱۰۰ زمین‌لغزش در هر کیلومتر مربع (100 Ls/Km^2) و حداقل 0.1 Ls/Km^2 تعریف شده است. این حداکثر مقدار بر اساس مقدار تمرکز زیاد (در حدود 74 Ls/Km^2) اندازه‌گیری شده توسط پاریس و جیبسون (۲۰۰۰) برای زلزله نورفریدج (۱۹۹۴) کالیفرنیا فرض شده است. بالاترین مقدار در نمودار درختی تصمیم‌گیری ریزش سنگی کیفر (۱۹۹۳) تنها 16 Ls/Km^2 می‌باشد.

به این دلیل مقیاس لگاریتم طبیعی برای دامنه همه متغیرهای خروجی بخش خطر مورد استفاده قرار گرفته است که مقیاس حسابی منجر به توابع عضویت بسیار فشرده در کنار یکدیگر می‌گردد که در آن تأثیر مقادیر فازی بیشتر در فرآیند غیر فازی سازی بالاست. با مقیاس لگاریتم طبیعی، حداکثر مقدار هر تابع عضویت در فواصل برابر واقع می‌شوند. استفاده از مقیاس لگاریتم طبیعی این مشکل را ایجاد می‌کند که مقادیر خروجی تمرکز زمین‌لغزش همواره بزرگتر از صفر (۰) خواهند شد. با این حال، از دیدگاه پیاده‌سازی، متغیر LandslideType می‌تواند برای اطمینان از اینکه اگر امکان صفر (۰) (یا مقدار بسیار کوچک دیگر) مورد استفاده قرار گیرد، تراکم زمین‌لغزش گزارش شده نیز صفر (۰) می‌شود به کار گرفته شده است.

در سه ستون آخر جدول (۳-۱۳)، برجسب‌های مقادیر فازی به همراه محل مربوط به حداکثر تابع عضویت در دامنه، برای هر دو سیستم لگاریتم طبیعی و حسابی بیان شده است (100 Ls/Km^2). در اینجا

از روش غیرفازی سازی "مرکز حداکثر" استفاده شده است، که تنها نیاز به تعیین حداکثر (یا مرکز) هر تابع عضویت دارد. توجه کنید که همه نقاط اوج در دامنه لگاریتمی در فواصل مساوی واقع شده‌اند.

باقی متغیرهای خروجی با مقیاس کردن تعریف متغیر RFallSeismic (و غیره) بر اساس مشاهدات تاریخی فراوانی زمین‌لغزش‌های کیفر (۱۹۸۴) (جدول ۳-۱۴) مشخص شده‌اند. کیفر (۱۹۸۴) به صورت تقریبی تفاوت تعداد زمین‌لغزش میان گروه‌بندی‌های مختلف زمین‌لغزش را مورد بررسی قرار داده است، که بر این اساس بهمن‌های سنگی حداقل و ریزش‌های سنگی حداکثر فراوانی را به خود اختصاص داده‌اند. از آنجا که لغزش‌های گسسته خاکی بسیار فراوان هستند، متغیرهای مربوطه (SFallSeismic و غیره) عیناً مشابه متغیرهای ریزش‌ها و لغزش‌های گسسته سنگی تعریف شده‌اند.

تعداد لغزش‌های بلوکی و چرخشی خاکی بر اساس کیفر (۱۹۸۴) فراوان هستند، البته با تعدادی کمتر از ریزش‌ها و لغزش‌های گسسته سنگی. بنابراین، متغیرهای تعریف شده برای ریزش‌های سنگی با ضریب ۰/۱ کاهش داده شده‌اند، و در نتیجه حداکثر تراکم ممکن لغزش‌های بلوکی و چرخشی خاکی 10 Ls/Km^2 به دست آمده است. برای جریان‌های خاکی و لغزش‌های چرخشی و بلوکی سنگی با توجه به جدول (۳-۱۳) مشاهده می‌شود که تعداد این نوع زمین‌لغزش‌ها به میزان یک یا دو واحد بزرگی کمتر از لغزش‌های چرخشی و بلوکی خاکی می‌باشد ولی برای سادگی طراحی متغیرها، همان مشخصات به آن‌ها اختصاص داده شده است.

در نهایت، تعداد بهمن‌های سنگی به میزان سه واحد بزرگی کمتر از ریزش‌ها و لغزش‌های گسسته سنگی است. با این حال، با در نظر گرفتن حداکثری بالاتر نسبت به تعداد اشاره شده در کیفر (۱۹۸۴)، تعداد 1 Ls/Km^2 به عنوان حداکثر مقدار ممکن تراکم بهمن‌های سنگی مشخص شده است (Miles and Keefer, 2007).

جدول ۳-۱۴: فراوانی نسبی زمین‌لغزش‌های ناشی از ۴۰ زلزله تاریخی در سراسر جهان بر اساس کیفر (۱۹۸۴). زمین‌لغزش‌ها به ترتیب کاهش رخداد فهرست شده‌اند. (Miles and Keefer, 2007)

نوع زمین لغزش بر اساس تعداد کل آن‌ها
خیلی فراوان: بیش از صد هزار در زلزله‌های مطالعه شده
ریزش‌های سنگی لغزش‌های خاکی گسسته لغزش‌های سنگی
فراوان: ۱۰,۰۰۰ تا ۱۰۰,۰۰۰ در زلزله‌های مطالعه شده
گسترش‌های جانبی خاکی لغزش‌های چرخشی خاکی لغزش‌های بلوکی خاکی بهمن‌های خاکی
معمول: بین ۱,۰۰۰ تا ۱۰,۰۰۰ در زلزله‌های مطالعه شده
ریزشهای خاکی جریان‌های خاکی سریع لغزش‌های چرخشی سنگی
معدود: بین ۱۰۰ تا ۱,۰۰۰ در زلزله‌های مطالعه شده
زمین لغزش‌های زیر آبی جریان‌های خاکی آرام لغزش‌های بلوکی سنگی بهمن‌های سنگی

۳-۲-۱۱- بلوک قوانین بخش خطر

برای هر یک از شش نوع لغزش CAMEL، سه بلوک قوانین وجود دارد که اجزاء مربوط به آن را در بخش و زیربخش‌های خطر تشکیل داده‌اند. در بلوک قانون بخش خطر، شش بلوک حساسیت استاتیکی، شش بلوک قانون اختیاری "ویرایشگر"، و شش بلوک قانون خطر لرزه‌ای وجود دارند. متغیرهای در نظر گرفته شده در بلوک‌های قانون حساسیت استاتیکی و ویرایشگر می‌تواند برای انواع

زمین لغزش متفاوت باشد. جدول (۳-۱۵) شامل فهرست انواع زمین لغزش‌های در نظر گرفته شده در CAMEL به همراه اینکه کدام متغیر برای هر یک از انواع زمین لغزش به عنوان متغیرهای اصلی و متغیرهای ویرایشگر استفاده شده‌اند و یا اصلاً مورد استفاده قرار نمی‌گیرند، می‌باشد. "P شدت زلزله" برای همه انواع زمین لغزش در نظر گرفته شده است. برای اختصار، بلوک‌های قانون تنها برای ریزش‌ها و لغزش‌های بلوکی سنگی در زیر ارائه شده است. همه بلوک‌های قانون که بخش خطر CAMEL را تشکیل می‌دهند در پیوست یک ارائه شده‌اند (Miles and Keefer, 2007).

جدول ۳-۱۵: متغیرهای ورودی در نظر گرفته شده برای هر نوع زمین لغزش در بخش خطر CAMEL. (Miles and Keefer, 2007)

نوع زمین لغزش	حساسیت استاتیکی	ویرایشگرها
بهمن سنگی	h رده زمین h زاویه شیب	h فاصله از بهم ریختگی
ریزش‌ها و لغزش‌های سنگی گسسته	h رده زمین h زاویه شیب	h فاصله از بهم ریختگی h رطوبت h پوشش گیاهی
بهمن‌ها، ریزش‌ها و لغزش‌های خاکی گسسته	h رده مقاومتی زمین h زاویه شیب	h فاصله از بهم ریختگی h رطوبت h پوشش گیاهی
لغزش‌های بلوکی و چرخشی سنگی	h رده زمین h زاویه شیب h رطوبت	h فاصله از بهم ریختگی h پوشش گیاهی
لغزش‌های بلوکی و چرخشی خاکی	h رده زمین h زاویه شیب h رطوبت	h فاصله از بهم ریختگی h پوشش گیاهی
جریان‌های خاکی سریع	h رده زمین h زاویه شیب	h فاصله از بهم ریختگی h رطوبت h پوشش گیاهی

۳-۲-۱۲- بلوک قانون حساسیت استاتیکی

بلوک قانون حساسیت استاتیکی برای لغزش‌های گسسته و ریزش‌های سنگی در جدول (۳-۱۶) داده شده است. بر اساس روش کومبز و اندروز^۱ (۱۹۹۸) برای ترکیب قوانین تک ورودی تک خروجی، "h" رده مقاومتی زمین " و "h زاویه شیب" در بلوک قوانین، با در نظر گرفتن دو مجموعه قوانین مستقل جداگانه ساخته شده‌اند.

جدول ۳-۱۶: بلوک قوانین حساسیت استاتیکی برای ریزش‌ها و لغزش‌های گسسته سنگی. (Miles and Keefer, 2007)

آنگاه			اگر	
h زاویه شیب	DOS	RFallStatisticInt	h رده زمین	LandslideType
	۰,۸۰	خیلی کم	خیلی خوب	ریزش سنگی
	۰,۸۰	کم	خوب	ریزش سنگی
	۰,۸۰	متوسط	متوسط	ریزش سنگی
	۰,۸۰	زیاد	ضعیف	ریزش سنگی
	۰,۸۰	خیلی زیاد	خیلی ضعیف	ریزش سنگی
نسبتاً تند	۰,۲۰	خیلی کم		ریزش سنگی
تند	۰,۲۰	کم		ریزش سنگی
خیلی تند	۰,۲۰	متوسط		ریزش سنگی
فوق العاده تند	۰,۲۰	زیاد		ریزش سنگی
تقریباً عمودی	۰,۲۰	خیلی زیاد		ریزش سنگی

در حالی که متغیرها به طور مستقل در نظر گرفته شده‌اند، متغیر LandslideType (از بخش امکان) با

¹ Combs and Andrews(1998)

استفاده از عملگر PROD با حساسیت مشخص در تمام قوانین جمع شده است. (عملگر PROD در سراسر بخش خطر استفاده شده است). این از عناصر طراحی است که امکان تعیین شده برای وقوع هر نوع زمین لغزش را به ارزیابی تراکم منطقه‌ای زمین لغزش‌ها تبدیل می‌کند. اگر امکان صفر (۰) باشد، تراکم نیز صفر (۰) خواهد شد. اگر مقداری امکان مثبت وجود داشته باشد، تراکم زمین لغزش نیز مثبت خواهد شد، اگر چه ممکن است بسیار کم باشد. اثر این نوع طراحی این است که تراکم زمین لغزش محاسبه شده برای امکان یک (۱) و یا کمتر از یک (۱)، اما بزرگتر از صفر (۰)، یکسان خواهد بود. با این حال، مقدار کمتر امکان توسط متغیرهای خروجی فازی (به عنوان مثال، RFallSeismicFz و RFallStaticFz) نشان داده شده است.

ترکیب مقادیر فازی خروجی (به ترتیب بر اساس "h رده زمین" و "h زاویه شیب") با استفاده از اپراتور BSUM انجام شده است. با استفاده از اپراتور BSUM وزن‌دهی مختلف به متغیرها با کاربرد وزن DOS آسان شده است.

در حال حاضر در CAMEL، "h رده مقاومتی زمین" وزن بالاتری ($DOS=0/8$) نسبت به "h زاویه شیب" ($DOS=0/2$) دارد. این وزن‌ها انتخابی هستند و در آینده می‌توانند برای بهبود عملکرد CAMEL اصلاح شوند. این انتخاب به این دلیل صورت گرفته است که در ادبیات علمی موارد کمی وجود دارند که بیانگر افزایش حساسیت ریزش‌های سنگی در زاویه‌های فراتر از حدود ۴۵ درجه - باشند. این نکته خلاف آن چیزی است که مدل‌های تعادل حدی نشان داده‌اند. پس تفسیر دیگری، و شاید عمیق‌تر، در مورد استفاده از وزن‌های DOS مختلف این است که اعتماد بیشتری به اطلاعات نمایندگی شده توسط قوانین "h رده مقاومتی زمین" نسبت به قوانین "h زاویه شیب" وجود دارد.

یک محدودیت طراحی که برای انواع زمین لغزش‌های دیگر با آن مواجه شده‌اند (که البته در جدول (۳-۱۶) موجود نیست) این است که برای چند بلوک قانون حساسیت استاتیکی تعداد بیشتری مقدار فازی "h زاویه شیب" از مقادیر فازی خروجی (همواره پنج عدد) وجود دارد. این موضوع نتیجه این است که زمین لغزش‌های مختلفی برای دامنه‌های مختلف مقادیر "P زاویه شیب" ممکن می‌باشند و

همچنین معیارهای طراحی که در آن حداقل پنج مقدار در محدوده معتبر برای هر نوع زمین لغزش وجود دارد. در بلوک‌های قانون حساسیت استاتیکی به دو روش مختلف با این مشکل برخورد شده است. یا مقادیر خروجی، به ازای هر دو واحد افزایش مقادیر فازی "h زاویه شیب" یک واحد فازی افزایش پیدا کرده‌اند و یا از وزن‌های DOS صعودی برای تفکیک مقادیر فازی خروجی "خیلی زیاد" استفاده شده است (Miles and Keefer, 2007).

۳-۲-۱۳- بلوک قانون ویرایشگرها

قوانین مربوط به زیر بخش ویرایشگرها در جدول (۳-۱۷) نشان داده شده است. (قواعد مربوط به RFallStaticFz نیز مشابه هستند). نحوه عمل ویرایشگرها به این گونه است که اگر شرایط برای به کار افتادن ویرایشگر فراهم شود، سپس حساسیت استاتیکی تعیین شده در بلوک قانون قبلی باید به میزان یک مقدار فازی، افزایش یا کاهش پیدا کند. علاوه بر این، داده‌های ورودی برای متغیرهای ویرایشگر، اختیاری است. ۲۰ قانون درون بلوک قوانین وجود دارد. پنج قانون به وسیله هیچ یک از سه ویرایشگر در نظر گرفته نشده‌اند و مقادیر تعیین شده در بلوک قوانین قبلی را به سادگی و بدون تغییر به مرحله بعد فرستاده‌اند. این قوانین (۵ قانون) وزن DOS بیشتری به اطلاعات حاصل از بلوک قوانین قبلی داده‌اند. ۱۵ قانون باقی مانده همه ترکیب‌های سه ویرایشگر (هر کدام یک مقدار فازی) را با پنج مقدار فازی^۱ RFallStaticInt، که یک متغیر واسطه با خصوصیات مشابه RFallStatic می‌باشد، در نظر گرفته‌اند.

به هر قانون ویرایشگر یک وزن DOS، به میزان $1/n$ داده شده‌است، که در آن n تعداد ویرایشگرهای در نظر گرفته شده برای مقدار فازی آن خروجی خاص می‌باشد. با استفاده از اپراتور BSUM، تأثیر سه ویرایشگر جمع گردیده‌است. بدون استفاده از این طرح، داشتن بیش از یک ویرایشگر با مقدار درستی (۱) همان تأثیر یک ویرایشگر با مقدار درستی (۱) را خواهد داشت. برای اطمینان از یکنواخت بودن خروجی‌ها، همه مقادیر فازی همه ویرایشگرها باید در نظر گرفته شوند، حتی اگر ویرایشگر روی

^۱ RFallStaticInitial

خروجی بلوک قانون قبلی اثری نداشته باشد- برای مثال، اولین قانون در جدول (۳-۱۶) Miles and Keefer, 2007).

جدول ۳-۱۷: بلوک قانون ویرایشگر برای ریزش‌ها و لغزش‌های سنگی گسسته. (Miles and Keefer, 2007)

اگر			آنگاه		
h فاصله از بهم ریختگی	h رطوبت	RFallStaticInt	h پوشش گیاهی	DOS	RfallStatic
		خیلی کم	متراکم	۱,۰۰	خیلی کم
		کم	متراکم	۱,۰۰	خیلی کم
		خیلی کم		۱,۰۰	خیلی کم
		متوسط	متراکم	۰,۳۴	کم
	نه خیلی کم	خیلی کم		۰,۳۴	کم
		کم		۱,۰۰	کم
نزدیک		خیلی کم		۰,۳۴	کم
		زیاد	متراکم	۰,۳۴	متوسط
	نه خیلی کم	کم		۰,۳۴	متوسط
		متوسط		۰,۳۴	متوسط
نزدیک		کم		۰,۳۴	متوسط
		خیلی زیاد	متراکم	۰,۳۴	زیاد
	نه خیلی کم	متوسط		۰,۳۴	زیاد
		زیاد		۱,۰۰	زیاد
نزدیک		متوسط		۰,۳۴	زیاد
	نه خیلی کم	خیلی زیاد		۰,۳۴	خیلی زیاد
	نه خیلی کم	زیاد		۰,۳۴	خیلی زیاد
		خیلی زیاد		۱,۰۰	خیلی زیاد
نزدیک		زیاد		۰,۳۴	خیلی زیاد
نزدیک		خیلی زیاد		۰,۳۴	خیلی زیاد

یکی از محدودیت‌های طراحی بلوک قوانین ویرایشگرها با استفاده از روش کومبیز و اندروز (۱۹۹۸) این است که برای یک مقدار فازی (با فرض داشتن داده‌ها) دو قانون در نظر گرفته خواهد شد:

➤ قانونی که آن ویرایشگر خاص (به عنوان مثال، "h پوشش گیاهی") و متغیر استفاده شده برای عبور دادن خروجی‌ها از بلوک قانون حساسیت (به عنوان مثال، RFallStaticInt) را در نظر گرفته- است؛

➤ قانون دیگری که به سادگی اجازه عبور به خروجی‌های بلوک قانون حساسیت را داده است.

اگر دسته دوم قوانین مشخص نمی‌شدند، در مواردی که هیچ داده‌ای برای هیچ یک از ویرایشگرها ارائه نشده بود هیچ قانونی به مقدار درستی غیر صفر منجر نمی‌شد. به هر حال بر اساس طراحی انجام شده، نتیجه این است که ویرایشگر قابلیت افزایش حساسیت را نه به میزان یک مقدار فازی، بلکه تا حدی دارد (Miles and Keefer, 2007).

۳-۲-۱۴- بلوک قانون خطر لرزه ای

شکل (۳-۲۷) همه قوانینی را که بلوک قانون خطر لرزه‌ای ریزش‌ها و لغزش‌های گسسته سنگی را تشکیل داده‌اند، ارائه داده است. قوانین برای هر دو (RFallSeismic) و (RfallSeismicFz) یکسان هستند. همچنین، به دلیل فراوانی تاریخی تقریباً یکسان برای سنگ و خاک (Keefer, 1984)، این قوانین برای SFallSeismic و SFallSeismicFz نیز یکسان و صادق هستند.

این بلوک قوانین به لحاظ تعیین نهایی تراکم زمین‌لغزش‌ها (و عدم قطعیت همراه آن) با دو بلوک قانون قبلی متفاوت است زیرا این بلوک تقاطع تمام ترکیب‌های مقادیر فازی بین RFallStatic و h شدت زلزله را مورد بررسی قرار می‌دهد. روش کومبز و اندروز (۱۹۹۸) برای این بلوک قوانین مناسب نیست زیرا کنترل بیشتری برای به اجرا درآوردن شرایط محدود کننده لازم است. یعنی برای مثال، اگر RFallStatic "خیلی کم" است، خطر نهایی نیز باید "خیلی کم" باشد.

با روش کومبز و اندروز (۱۹۹۸)، اگر h شدت زلزله مقدار "بی‌نهایت" بگیرد، خروجی را بیش از حد تحت تأثیر قرار می‌دهد و منجر به مقدار تراکم نهایی به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از محل تابع عضویت "خیلی کم" برای RFallSeismic می‌گردد.

Rfall/Static	خیلی کم	کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	کم
	کم	کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	کم	کم
	متوسط	کم	خیلی کم	کم	کم	متوسط	متوسط
	زیاد	کم	کم	کم	متوسط	زیاد	زیاد
	خیلی زیاد	کم	کم	متوسط	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
	ضعیف	متوسط	قوی	خیلی قوی	سخت	شدید	بسی نهایت
	شدت زلزله h						

شکل ۳-۲۷: بلوک قانون متغیرهای لرزه ای برای ریزش‌ها و لغزش‌های گسسته سنگی. (Miles and Keefer, 2007)

همه قوانین در داخل بلوک قوانین وزن برابر ($DOS=1$) دارند. دو ورودی با استفاده از عملگر PROD ترکیب می‌شوند. BSUM برای جمع‌بندی خروجی‌ها استفاده می‌شود تا مقادیر خروجی فازی را با در نظر گرفتن بیشترین قوانین به دست آورد. بنابراین، مقدار BSUM "خیلی کم" را در نظر می‌گیرد (و مابقی را نیز، تا "خیلی زیاد"). اگر از عملگر جمع MAX برای خروجی‌ها استفاده می‌شد، یک قانون مربوط به "خیلی زیاد" وزنی برابر با تمام قوانین مربوط به "خیلی کم" را خواهد داشت. همه تراکم‌های زمین‌لغزشی که از نظر کمی متناظر با "خیلی زیاد" باشند (به عنوان مثال 100 Ls/Km^2 برای ریزش‌ها و لغزش‌های بلوکی) باید یک اتفاق نادر در نظر گرفته شوند زیرا چنین تراکم‌های زمین‌لغزشی از لحاظ تاریخی کمیاب می‌باشند. اطلاعات موجود در متون علمی در خصوص تقاطع حساسیت استاتیکی و شدت زلزله جزئیات کافی برای ترجمه متناظر یک به یک به قوانین فازی را ندارد. با توجه به این نکته، قوانین اولیه براساس محدودیت‌های شرح داده شده در ادبیات فنی، به علاوه چندین معیار قانون - مشخصات از پیش تعریف شده - ساخته شدند. معمولی‌ترین، اما با اولویت‌ترین، معیار مشخصات این است که سطوح فازی نشان داده شده توسط سایه خاکستری رنگ در شکل (۳-۲۳) باید با تغییرات ملایم و پیوسته باشد. یعنی مقادیر خروجی فازی قوانین مجاور هرگز نباید بیش از یک مقدار فازی از یکدیگر فاصله داشته باشند (به عنوان مثال، "کم" به "متوسط"). بالاترین

مقدار خروجی فازی (تراکم زمین لغزش "خیلی زیاد") تنها باید به حساسیت استاتیک "خیلی زیاد" اختصاص یابد. تراکم زمین لغزش "خیلی زیاد"، در واقع نشان دهنده یک حالت بسیار شدید است که به لحاظ تاریخی بسیار نادر است. تراکم زمین لغزش "خیلی کم" همیشه باید به حساسیت "خیلی کم" اختصاص داده شود. تراکم زمین لغزش "خیلی کم" باید فقط به مقادیر فازی "h شدت زلزله" با مقدار برابر یا کمتر از آستانه مشخصه متناظر برای رخداد آن نوع خاص زمین لغزش که در "P شدت زلزله" (شکل ۳-۱۲) بیان شده است، اختصاص داده شود.

بر اساس کیفر (۲۰۰۰) و پاریس و جیبسون^۱ (۲۰۰۰) تراکم زمین لغزش‌ها باید با کاهش حساسیت استاتیکی نسبت به کاهش شدت زلزله با سرعت به مراتب بیشتری کاهش یابد. در تأیید این محدودیت، (جدول ۳-۱۴) کیفر مشاهده نمود که امکان وقوع تعداد زیادی زمین لغزش (۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰) برای زلزله‌های در حد متوسط (شدت ۶) وجود دارد. در نهایت، جدول فراوانی (جدول ۳-۱۴) برای برقراری ارتباط بین بلوک‌های قانون خطر لرزه‌ای در CAMEL برای انواع زمین لغزش که دامنه یکسان دارند (یا حداکثر مقدار تمرکز ممکن) مورد استفاده قرار گرفته است. این کار با مقایسه تعداد کل مقادیر فازی هر یک از خروجی‌ها به عنوان نماینده فراوانی و مطمئن شدن از اینکه نسبت فراوانی‌ها مطابق با مشاهدات کیفر (۱۹۸۴) می‌باشد، انجام شده است. به عنوان مثال، دو بلوک قانون یکی مربوط به لغزش‌های گسسته خاکی، ریزش‌ها، و بهمن‌های خاکی و دیگری مربوط به لغزش‌های گسسته سنگی و ریزش‌های سنگی یکسان هستند، زیرا این نوع لغزش‌ها تقریباً میزان فراوانی یکسانی دارند.

در نقطه مقابل، بلوک‌های قانون برای لغزش‌های چرخشی خاکی و لغزش‌های چرخشی سنگی متفاوت هستند، و بیشتر قوانین به میزان تراکم "خیلی زیاد" برای لغزش‌های چرخشی خاکی منجر می‌شوند. این موضوع نشان دهنده فراوانی تاریخی بالاتر لغزش‌های چرخشی و بلوکی خاکی نسبت به لغزش‌های

¹ Parise and Jibson

چرخشی و بلوکی سنگی می‌باشد (Miles and Keefer, 2007). متن فوق برگرفته و اصلاح شده از (معماریان، ۱۳۸۹) می‌باشد.

۳-۳- روش ارزش اطلاعاتی

اساس این روش که توسط یین و یان (Yin & Yan, 1988) تشریح شده است بر تحلیل همراه بودن بین زمین لغزش و عوامل مؤثر در استعداد زمین لغزش استوار است.

در این روش ارتباط یک متغیر وابسته (زمین لغزش) و یک متغیر مستقل مورد تحلیل قرار می‌گیرد و اهمیت هر یک از عوامل به طور جداگانه تجزیه و تحلیل می‌شود.

جهت محاسبه خطر زمین لغزش با استفاده از روش ارزش اطلاعاتی، هر نقشه عامل با نقشه پراکنش زمین لغزش‌های منطقه همپوشانی داده می‌شود و تراکم سطح زمین لغزش در هر رده متغیر محاسبه می‌گردد. سپس از رابطه (۳-۳) ارزش اطلاعات برای هر رده متغیر محاسبه شده و نقشه ارزش اطلاعات برای هر عامل تهیه می‌گردد. با تلفیق ارزش اطلاعات کل تهیه و با طبقه‌بندی این نقشه به تعدادی رده خطر زمین لغزش، نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش تهیه می‌گردد (رابطه ۳-۴)، (پارسایی و علیمحمدی، ۱۳۹۱).

$$IV = \ln \left[\frac{(A/B)}{(C/D)} \right] \quad 3-3$$

$$H = \sum W_i \quad 4-3$$

شایان ذکر است که در رابطه فوق A تعداد پیکسل‌های با حرکات توده‌ای موجود در کلاس متغیر، B تعداد پیکسل‌های کلاس متغیر، C ، تعداد پیکسل‌های دارای حرکات توده‌ای سیستم، D تعداد پیکسل‌ها در کل منطقه می‌باشد. میزان خطر (H) برای هر واحد شبکه‌ای نیز از جمع جبری وزن‌های عوامل مختلف بدست می‌آید.

فصل چهارم

پهنه‌بندی زمین لغزش

در پهنه مورد مطالعه

۴-۱- مقدمه

در این تحقیق پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش CAMEL و با سه سناریو گسلی صورت پذیرفته و سپس زمین‌لغزش‌های پیش‌بینی شده در حالت استاتیک به‌وسیله روش ارزش اطلاعاتی و زمین‌لغزش‌های موجود در محدوده مقایسه گردیده است. در بررسی زمین‌لغزش‌های مرتبط با زمین‌لرزه مقایسه خروجی مدل در حالت دینامیک یا متحرک توسط زمین‌لغزش‌های ناشی از زمین‌لرزه صورت می‌پذیرد و کارایی مدل در پهنه مورد نظر سنجیده می‌شود. به دلیل نبود زلزله‌های ایجاد کننده زمین‌لرزه و به تبع آن نبود فهرست مشخص و مناسبی از زمین‌لغزش‌های مرتبط با زمین‌لرزه در محدوده مطالعاتی، قابلیت مدل CAMEL در حالت استاتیک از طریق مقایسه آن با روش ارزش اطلاعاتی انجام گرفته است. روش ارزش اطلاعاتی پهنه‌بندی را به‌صورت کلی و با استفاده از ارزش‌های استخراج شده از زمین‌لغزش‌های موجود انجام می‌دهد.

۴-۲- لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز برای مدل CAMEL

به جهت همخوانی بیشتر داده‌های ورودی با اطلاعات خروجی، تعداد ۹ ورودی برای مدل CAMEL انتخاب گردیده:

۱- ناهمواری سطحی

۲- شدت زلزله

۳- عمق خاک

۴- ارتفاع دامنه

۵- رطوبت

۶- زاویه شیب

۷- رده مقاومتی زمین

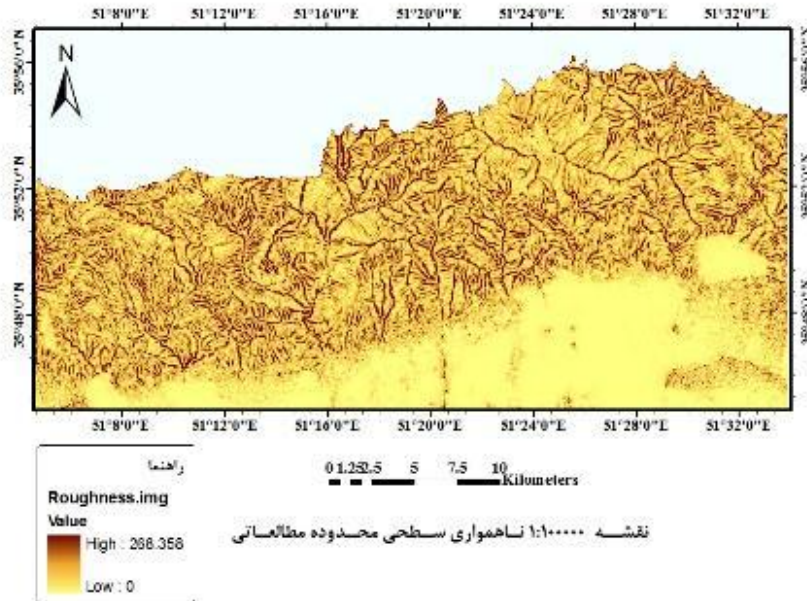
۸- فاصله از به هم ریختگی

۹- پوشش گیاهی.

۴-۲-۱- ناهمواری سطحی

همان گونه که در فصل قبل نیز ذکر گردید، لیاو (۱۹۹۹) با مطالعه زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله چی چی تایوان در سال ۱۹۹۹ پی برد که با افزایش بیش از ۱۵ مشتق دوم ارتفاع، میزان تراکم

زمین لغزش افزایش زیادی می‌یابد. برای وقوع لغزش‌های دسته I (بهمن‌های سنگی و ریزش‌ها) نیاز است که مقدار فازی این متغیر دارای ارزش فازی بیشتر از ۱۵ باشد (زبر) برای دسته های II و III (زمین لغزش‌های خاکی و جریان‌های خاکی) فرض می‌شود که امکان وقوع این زمین‌لغزش‌ها برای هر مقدار فازی از این متغیر وجود دارد. این لایه اطلاعاتی از طریق دستور Curvature در محیط نرم افزار ArcGIS ساخته شده است (شکل ۴-۱).



شکل ۴-۱: نقشه ناهمواری سطحی محدوده مطالعاتی

۴-۲-۲- شدت زلزله:

برای تهیه این لایه اطلاعاتی همان گونه که در قسمت کلیات نیز شرح داده شد، در ابتدا داده‌های زلزله‌های صده اخیر (۲۰۱۳-۱۹۰۰) در شعاع ۱۵۰ کیلومتری مرکز محدوده مطالعاتی از سایت پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و گزارش زلزله‌های تاریخی از گزارش زارع (۱۳۸۳) دریافت و جهت یکدست نمودن داده‌ها تمامی مقیاس‌های موجود به مقیاس گشتاوری تبدیل و برای به دست آوردن توزیع پواسون در داده‌ها، اقدام به حذف پیش‌لرزه و پس‌لرزه‌ها به وسیله جدول گاردنر و نوپوف (۱۹۷۴) گردید. به منظور محاسبه پارامترهای لرزه‌ای به‌ویژه آهنگ فعالیت و ضریب لرزه‌خیزی منطقه (α و β) در لرزه‌های بزرگتر از ۳٫۵ ریشتر از رابطه گوتنبرگ-ریشتر استفاده گشته است (رابطه ۱-۳).

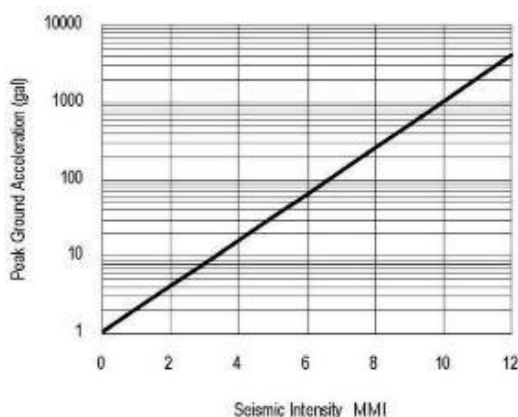
به منظور محاسبه پارامترهای لرزه‌ای گسل‌های مشا، شمال تهران و ری آهنگ فعالیت محاسبه شده برای منطقه به وسیله بزرگترین بزرگای محتمل برای هر گسل و سپس طول آن گسل نرمال

گردید. بدین منظور بزرگترین شتاب محتمل در سناریوهای مختلف گسل‌های مشا، شمال تهران و ری به بزرگای بیشینه محاسبه شده توسط زارع (۱۳۸۳) با استفاده از روابط تجربی بزرگا و طول و بزرگای مشاهده‌ای استفاده گردیده است (جدول ۴-۱).

جدول ۴-۱: بزرگترین بزرگای محتمل به وسیله روابط تجربی بزرگا و طول (زارع، ۱۳۸۳)

نام گسل	M_{max}	بزرگای مشاهده‌ای		بزرگای حاصل از رابطه طول گسل-بزرگا	
		ضریب	بزرگا	ضریب	بزرگا
شمال تهران	۷/۰	۰/۲	۷/۲	۰/۸	۶/۹
مشا	۷/۴	۰/۲	۷/۱	۰	۷/۵
ری	۵/۹	۰/۱	۷/۱	۰/۹	۵/۸

سپس داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار SEISRISK III و به وسیله رابطه کاهیدگی صدیق (۱۹۹۷) آنالیز گردید تا مقادیر شتاب افقی با دوره بازگشت ۴۷۵ سال به دست آید. اطلاعات خروجی از نرم‌افزار SEISRISK III به محیط نرم‌افزار ArcGIS انتقال داده شده و به وسیله درون‌یابی نقشه پهنه‌بندی لرزه‌ای برای گسل‌های مشا، شمال تهران و ری ترسیم گردید. مقیاس لرزه‌ای مورد استفاده در مدل CAMEL مقیاس مرکالی اصلاح شده بوده که وابسته به مشاهدات انسانی در حین لرزش و آسیب‌های لرزه‌ای است. از این رو مقیاس موجود باید به مقیاس MMI تبدیل شود. بدین سبب از رابطه خط (۴-۱) به دست آمده از نمودار تریفوناک و بردی (۱۹۷۵) (JICA, 2000) که نشان دهنده رابطه بین مقیاس مرکالی و مقیاس $PGA(gal)$ است (شکل ۴-۲)، برای تبدیل مقیاس PGA به MMI، استفاده گردیده است. در تصاویر پایین این نقشه‌ها به تفکیک سناریوی گسلی آورده شده‌اند (شکل ۴-۳، شکل ۴-۴ و شکل ۴-۵).



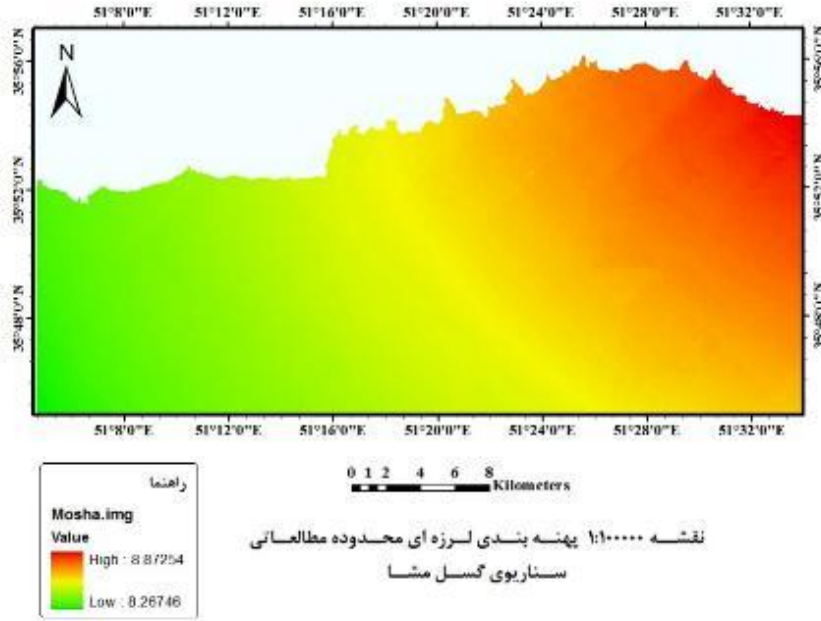
شکل ۴-۲: نمودار رابطه بین $PGA(gal)$ و MMI

تریفوناک و بردی (۱۹۷۵) برگرفته از (JICA, 2000)

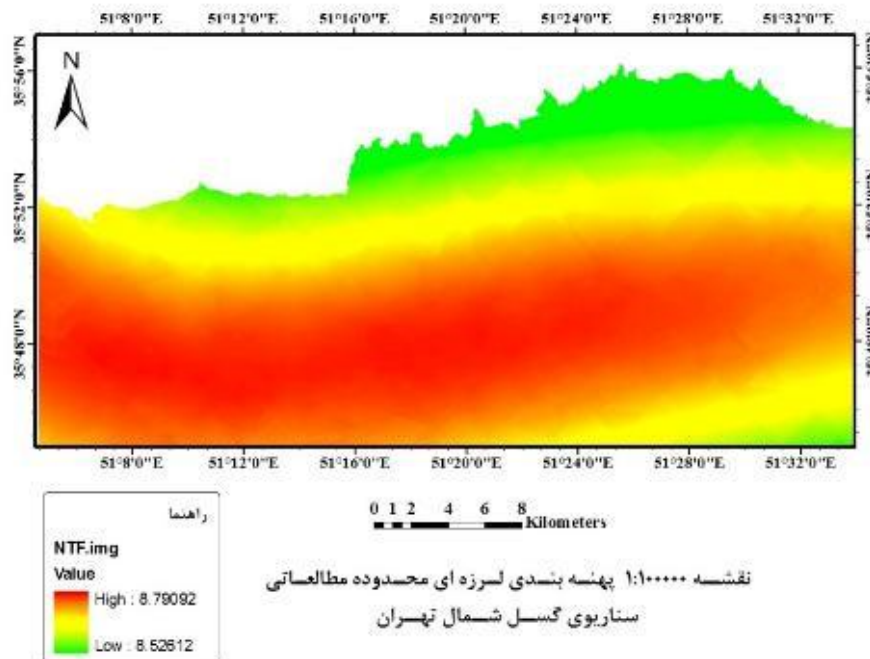
$$x = 1.4558 \times \ln(981 \times 0.94849)y$$

:۱-۴

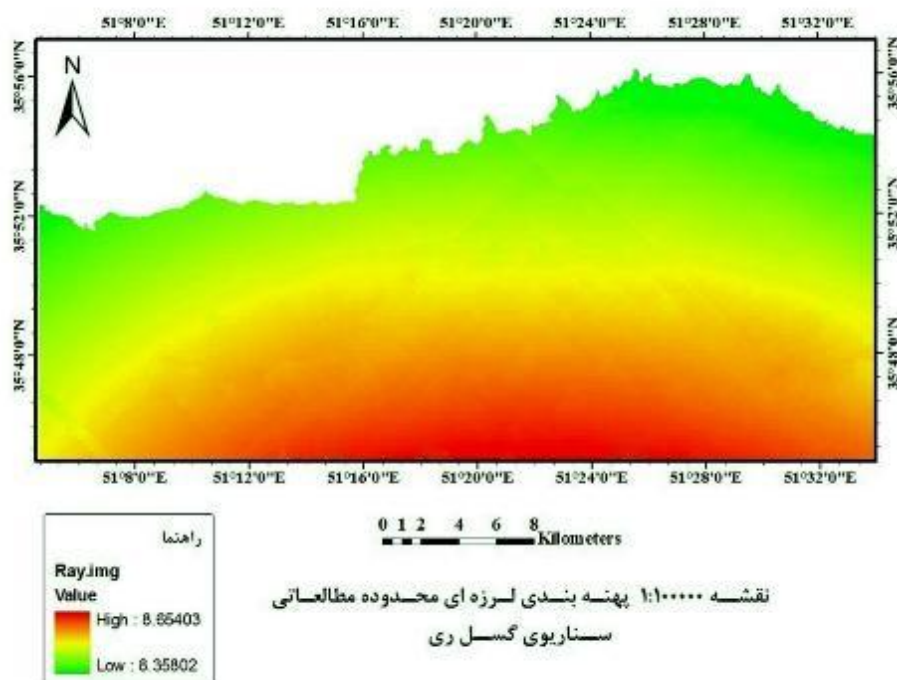
در این رابطه y برابر با بزرگای زلزله برحسب $PGA(g)$ و x بزرگای زلزله برحسب MMI می‌باشد



شکل ۳-۴: نقشه پهنه‌بندی لرزه‌ای گسل مشا با دوره بازگشت ۴۷۵ سال



شکل ۴-۴: نقشه پهنه‌بندی لرزه‌ای گسل شمال تهران با دوره بازگشت ۴۷۵ سال



شکل ۴-۵: نقشه پهنه بندی لرزه ای گسل ری با دوره بازگشت ۴۷۵ سال

۴-۲-۳- عمق خاک

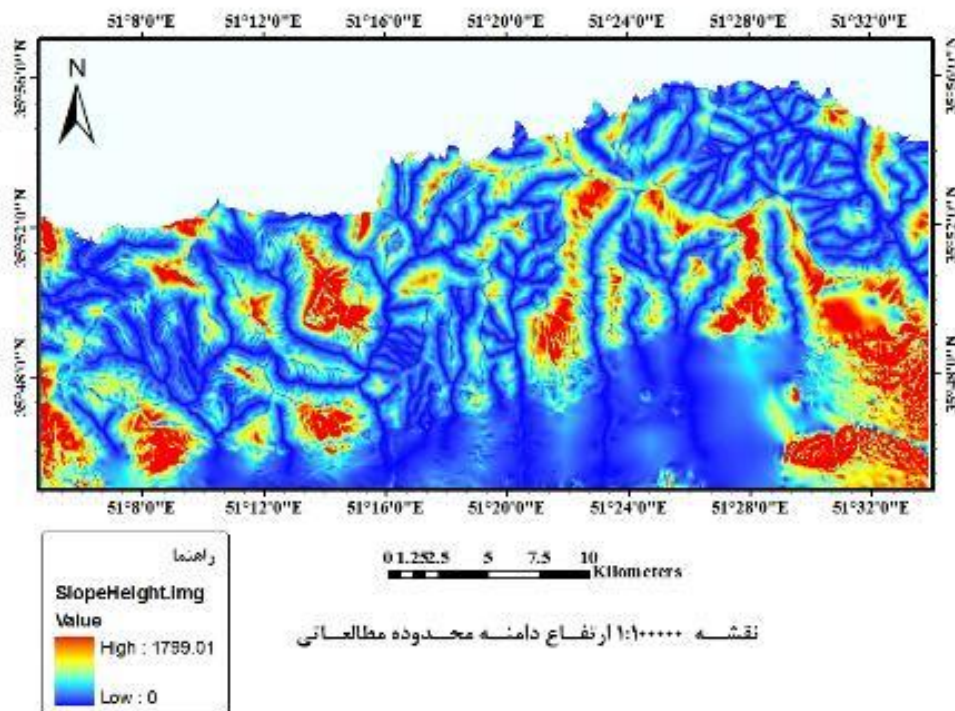
اهمیت این متغیر در این است که یکی از مخاطره بارترین انواع زمین لغزش یا همان لغزش چرخشی خاکی به این لایه اطلاعاتی وابستگی بسیاری دارد. به همین جهت در تهیه این لایه اطلاعاتی سعی بر آن شد تا با استفاده از نقشه های خاک موجود در سازمان منابع طبیعی و جهاد کشاورزی و یا با آنالیز عکس های ماهواره ای به اطلاعات مناسبی از وضعیت عمق خاک در محدوده مطالعاتی دسترسی یافته شود. اما داده های موجود در هر دو سازمان فاقد اطلاعات مورد نیاز در این تحقیق بودند و تنها به ذکر ضخامت برخی نوع از خاک های کشاورزی بسنده شده بود. از این رو در تهیه این لایه از دانش برگرفته از کیفر (۲۰۰۷) استفاده و مقدار ثابت ۳/۳۳ به عنوان عمق خاک در نظر گرفته شد. دلیل انتخاب این مقدار برای عمق خاک این است که این مقدار، متداول ترین عمق گسیختگی برای زمین لغزش های ناشی از زلزله است. مایلز و کیفر (۲۰۰۹) به استناد به مطالعات صورت پذیرفته پیشین عنوان کرده اند که در مقیاس منطقه ای یکنواخت فرض کردن عمق سطح لغزش خاک برای مدل سازی زمین لغزش های ناشی از زلزله امری متداول و رایج است (Milles and Keefe, 2009).

۴-۲-۴- ارتفاع دامنه

لایه ارتفاع دامنه از نظر نحوه ساخت شباهت زیادی با لایه رقومی ارتفاع دارد اما تفاوت اصلی آنها در این است که لایه رقومی ارتفاع، ارتفاع هر نقطه را نسبت به دریاهای آزاد محاسبه می‌نماید در حالی که لایه ارتفاع دامنه، ارتفاع میان منطقه مرتفع را از نزدیکترین گودی به آن اندازه‌گیری می‌نماید. از آنجا که شبکه آبراهه‌ایی دارای نقاط دارای ارتفاع پست شکل می‌گیرند، ارتفاع هر نقطه نسبت به نزدیک‌ترین رودخانه از طریق رابطه محاسبه می‌شود (شکل ۴-۶).

$$H = \tan \alpha \times X \quad ۲-۴$$

در این رابطه H ارتفاع دامنه بر حسب متر و X فاصله افقی از رودخانه بر حسب متر و α زاویه شیب بر حسب درجه می‌باشد.



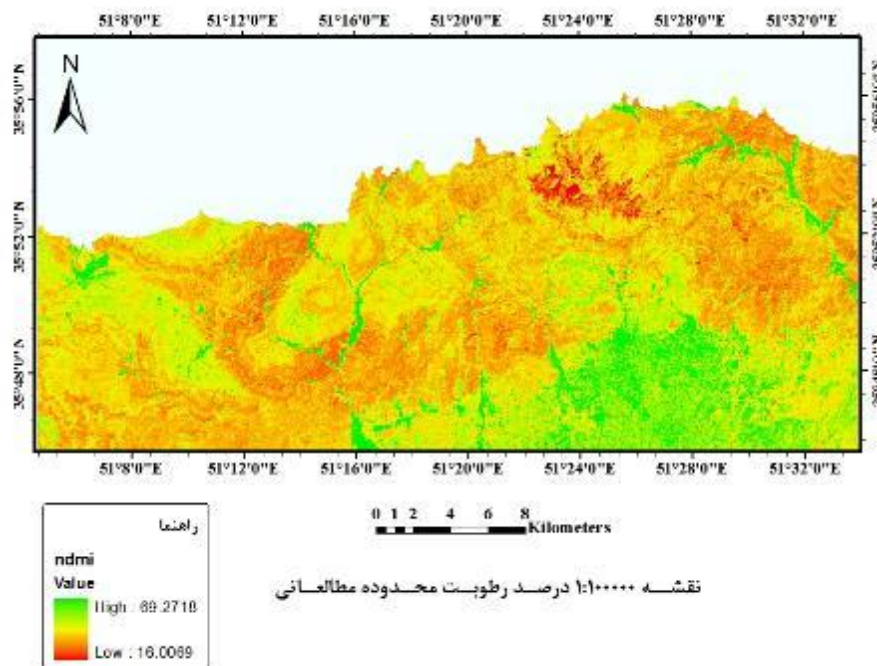
شکل ۴-۶: نقشه ارتفاع دامنه محدوده مطالعاتی

۴-۲-۵- رطوبت

مایلز و کیفر (۲۰۰۷) عنوان کرده‌اند که درصد رطوبت از نسبت عمق سطح ایستابی به ضخامت لایه مورد مطالعه به دست می‌آید. تنها داده قابل استفاده در این زمینه را می‌توان داده‌های آب‌های زیرزمینی سازمان آب منطقه‌ای تهران و شرکت مادر تخصصی منابع آب ایران دانست که دارای داده‌های مرتبط با ایستگاه‌های پیزومتری و چاه‌های بهره‌برداری می‌باشند. از این داده‌ها، چاه‌های

آماربرداری سالیانه آب زیرزمینی در منطقه فاقد یکنواختی و هماهنگی بوده و غیر قابل اطمینان بودند و ایستگاه‌های پیزومتری نیز تمامی محدوده مورد مطالعه را پوشش نمی‌دادند و نقشه همبارش تولیدی نیز به دلیل این که مصالح سنگی همچون مصالح خاکی آب را به خود جذب نمی‌کنند و به نسبت خاک، بارش را بیشتر هدایت می‌نمایند و به خوبی نمایانگر وضعیت واقعی رطوبت نمی‌باشد، قابل استفاده نبود. به همین دلایل از شاخص تفاضل نرمال شده رطوبت^{۸۱} در این پژوهش استفاده گردید. به وسیله این شاخص می‌توان درصد رطوبت لحظه‌ای و جذب شده خاک در محدوده مطالعاتی را بررسی نمود. این شاخص برای محدوده مطالعاتی با استفاده از باند ۴ (باند مادون قرمز نزدیک) و باند ۵ (باند مادون قرمز میانی) در رابطه ۴-۳ و در محیط نرم افزار ArcGIS تهیه شده است (شکل ۴-۷).

$$NDMI = \frac{NIR(4) - SWIR(5)}{NIR(4) + SWIR(5)} \quad ۳-۴$$



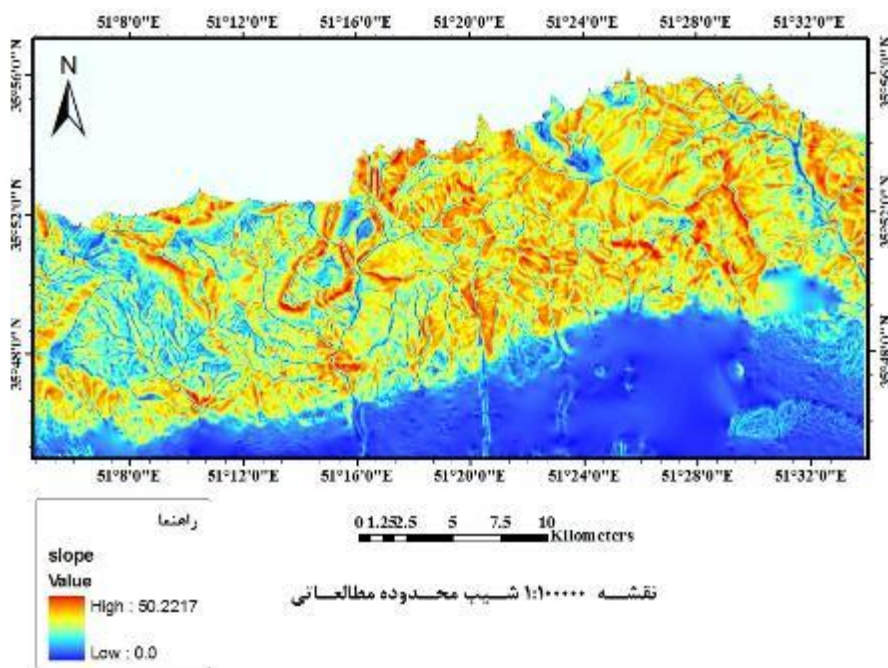
شکل ۴-۷: نقشه درصد رطوبت در محدوده مطالعاتی

⁸¹ Normalized Difference Moisture Index

۴-۲-۶- زاویه شیب

این لایه با استفاده از لایه رقومی ارتفاع و در محیط نرم افزار ArcGIS ساخته می‌شود. این لایه که تأثیر زیادی بر روی گسترش زمین لغزش‌ها دارد، می‌تواند نقش مهمی را نیز در تراکم زمین لغزش‌ها اجرا کند.

با توجه به نقشه شیب منطقه که دارای بازه‌ای بین ۰ تا ۵۰ می‌باشد، می‌توان این انتظار را داشت که این عامل نقش پررنگی در ایجاد زمین لغزش داشته باشد. زیرا بخش قابل توجهی از محدوده مطالعاتی دارای شیب‌های تند بوده و شیب‌های کم (۵-۰) در محدوده در اقلیت می‌باشد.



شکل ۴-۸: نقشه درجه شیب محدوده مطالعاتی

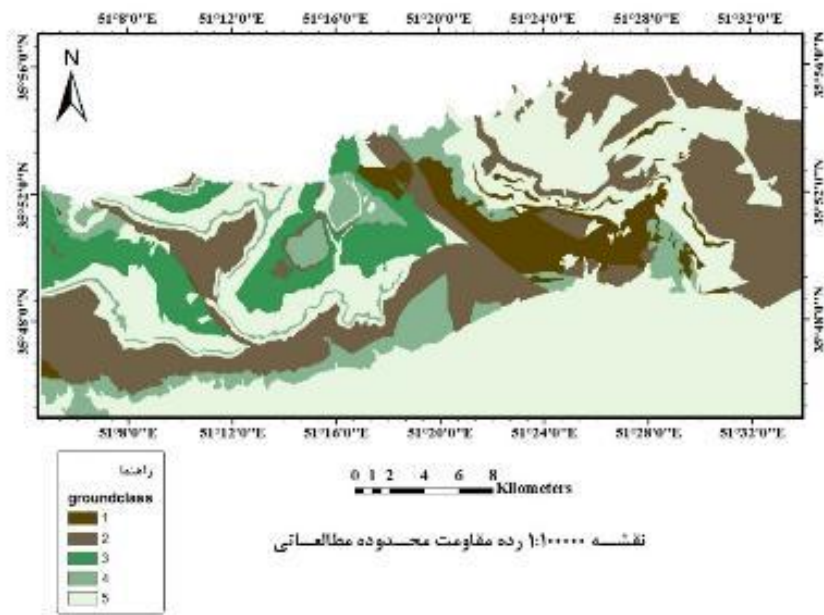
۴-۲-۷- رده مقاومتی زمین

مایلز و کیفر (۲۰۰۷) این لایه را به وسیله زمین لغزش‌های رویداده در اثر زلزله و در هر رده زمین-شناسی تعریف نموده‌اند تا این لایه ورودی شاخصی برای نمایش میزان حساسیت واحدهای مختلف زمین‌شناسی به وقوع لغزش باشد. در تحقیق پیش‌رو به دلیل نبود نقشه‌های کافی از زمین لغزش‌های رویداده در اثر زلزله و بنابراین نامشخص بودن منشأ و دلیل اصلی وقوع این زمین لغزش‌ها از شاخص مقاومت زمین‌شناسی واحدهای مختلف زمین‌شناسی به جای لایه نام برده استفاده شده است. شاخص مقاومت زمین‌شناسی در ۱۹۹۵ برای تخمین مقاومت توده سنگ و مدول تغییر شکل توده سنگ ابداع شده است و از آنجا که ایجاد زمین لغزش به‌ویژه زمین لغزش‌های ناشی از زلزله رابطه بسیار زیادی با

میزان مقاومت توده و همچنین میزان خورد شدگی آن دارند، این شاخص می‌تواند، شاخصی مناسب در نمایش میزان حساسیت به زمین‌لغزش در محدوده مطالعاتی باشد. در این پژوهش از داده‌های مطالعات صورت گرفته توسط مهندس نصیری از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی استفاده شده است (جدول ۴-۲). بر اساس دانش برگرفته از مایلز و کیفر (۲۰۰۷) این لایه باید به ۵ طبقه تقسیم شود که در شکل (۴-۹) ملاحظه می‌گردد.

جدول ۴-۲: پارامترهای فیزیکی واحدهای زمین‌شناسی موجود در محدوده (نصیری، ۱۳۸۴)

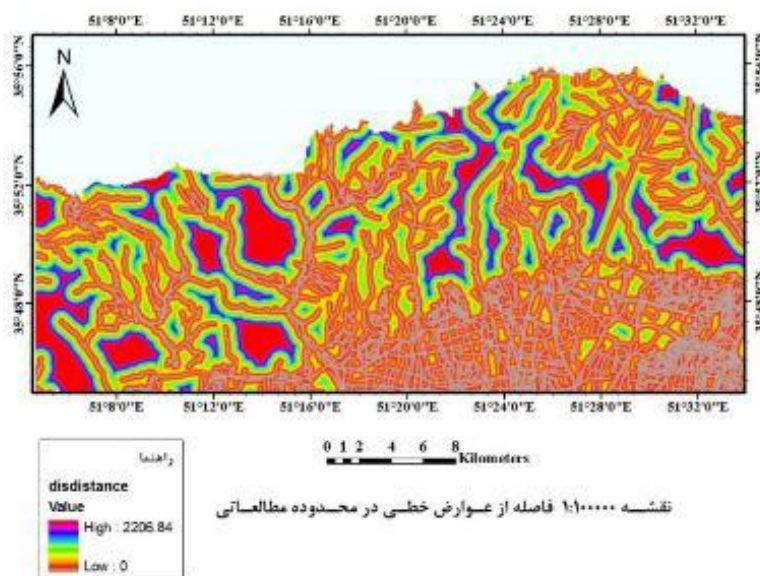
GSI	ϕ	c	جنس	واحد زمین‌شناسی
0	0	0	هزاردره	A
0	34	0.03	سازند B	B
0	0	0	سازند C	C
0	29	0.1	رسوبات عهد حاضر	D
78	40	0.43	جریان‌های گدازه‌ای آندزیتی و داسیتی به همراه برش توفی	Ea1
85	41	0.43	برش گدازه‌ای بازالتی و آندزیتی	Eab1
85	41	0.43	برش گدازه‌ای بازالتی و آندزیتی	Eb1
38	37	0.32	برش توفی سبز و سفید، توف خاکستر	Eb3
84	40	0.43	جریان‌های گدازه‌ای آندزیتی و داسیتی به همراه پیروکلاست‌های ریوداسیتی	Eda1
73	36	0.41	میکرومونوزودیوریت و میکرو گابرو به صورت سیل و دایک	Edg
79	38	0.42	میکرو گابرو	Emg
84	40	0.43	توف ریولیتی و گدازه	Er1
76	39	0.42	توف ریولیتی و در مواردی همراه میان لایه شیل	Er2
40	38	0.32	ماسه سنگ توفی، میکروکنگومرا و توفیت	Esc3
57	40	0.37	ماسه سنگ، کنگومرا و توف سبز	Esc4
11	34	0.25	شیل با میان لایه‌های ماسه سنگ توفی و سیلتاستون	Esh3
10	34	0.25	شیل با میان لایه‌های توفیت و ماسه سنگ توفی	Esh5
6	31	0.2	ماسه سنگ توفی و توف سبز	Es1
8	33	0.22	تناوب شیل و سیلتستون توفی	Ess3
50	38	0.349	ماسه سنگ روشن، توف سبز، کنگومرا	Est4
76	39	0.42	توف خاکستر و توف بلوری، برش توفی	Et2
34	38	0.3	توف سبز، برش توفی و توفیت	Etb5
40	38	0.32	توفیت، ماسه سنگ و کنگومرا	Etc3
64	38	0.4	هیالوتراکتی آندزیت، تراکی آندزیت، توف برشی	Etd5
8	33	0.22	تناوب شیل و سیلتستون توفی	Ets2
31	36	0.3	توف سبز و سیلتستون توفی	Ets5
29	34	0.3	تناوب توف سبز و شیل	Etsh1
38	37	0.32	توف سبز توده‌ای، شیل و گدازه‌های آندزیتی	Etsv1
0	34	0.07	مخروط افکنه‌های آبرفتی قدیمی و جوان	Qf
0	35	0.02	مورن	Qm
0	33	0.01	رسوبات واریزه‌ای قدیمی و جوان	Qs
0	27	0	سنگریزه	Qsc



شکل ۴-۹: نقشه رده مقاومت زمین در محدوده مطالعاتی

۴-۲-۸- فاصله از رودخانه و جاده

لایه فاصله از رودخانه و جاده نمایانگر فاصله سطحی هر نقطه در نقشه تا نزدیکترین عوارض خطی موجود در محدوده مطالعاتی می‌باشد. همان طور که در بسیاری از پژوهش‌ها بر آن تأکید شده است، وجود عوارض خطی عاملی برای فرسایش پای دامنه‌ای و نا متعادل کردن شیب‌ها به شمار می‌آید (شکل ۴-۱۰).

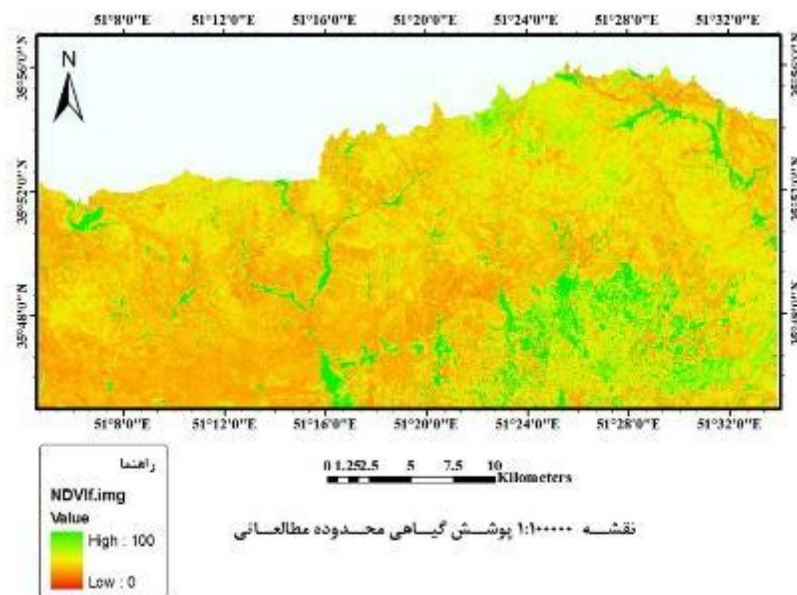


شکل ۴-۱۰: نقشه فاصله از عوارض خطی در محدوده مطالعاتی

۴-۲-۹- پوشش گیاهی

در اختصاص ارتباط میزان پوشش گیاهی و زمین لغزش‌های ناشی از لرزه اطلاعات کمی در دست می‌باشد. با این حال مایلز و کیفر (۲۰۰۷) با دو مقدار فازی متراکم و پراکنده با مرز ۵۰٪ آن را به عنوان اصلاح کننده^{۸۲} دخیل نموده‌اند. در تهیه نقشه پوشش گیاهی از شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی^{۸۳} که از باندهای ۳ و ۴ ماهواره لندست استفاده شده است (رابطه ۴-۴).

$$NDVI = \frac{NIR(4) - RED(3)}{NIR(4) + RED(3)} \quad ۴-۴$$



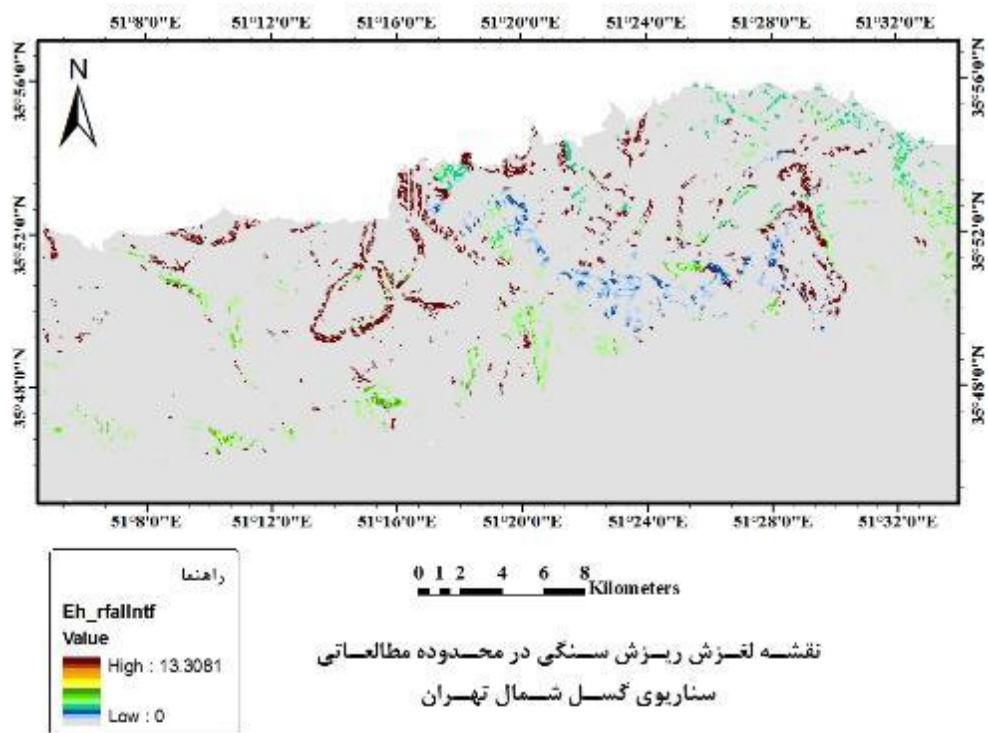
شکل ۴-۱۱: نقشه پوشش گیاهی در محدوده مطالعاتی

۴-۳- نقشه‌ها و اطلاعات خروجی مدل CAMEL

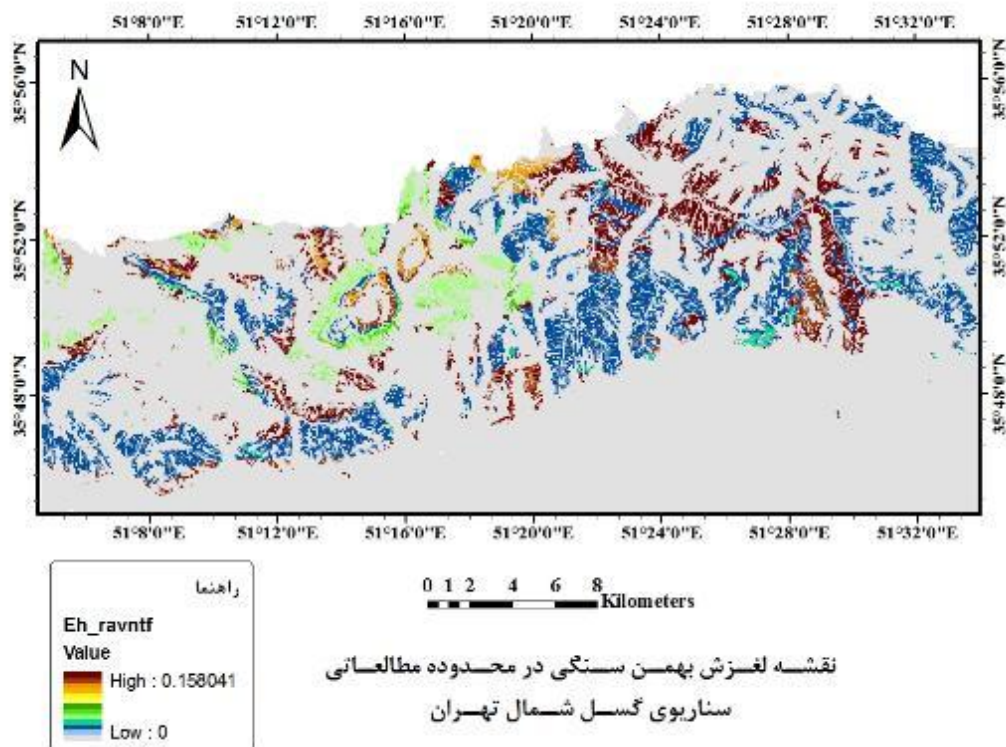
در مدل CAMEL با وارد کردن ۹ ورودی ذکر شده، نخست از طریق نوار ابزار Calc Possibility اقدام به محاسبه امکان رخداد انواع شش گانه زمین لغزش‌ها نموده و سپس به محاسبه و تولید نقشه خطر از طریق نوار ابزار Calc Hazard می‌شود. در ادامه نقشه‌های خروجی مدل CAMEL (شکل‌های ۴-۱۲) تا (۴-۲۹)) به تفکیک سناریو گسلی آورده شده‌اند.

^{۸۲} Modifier

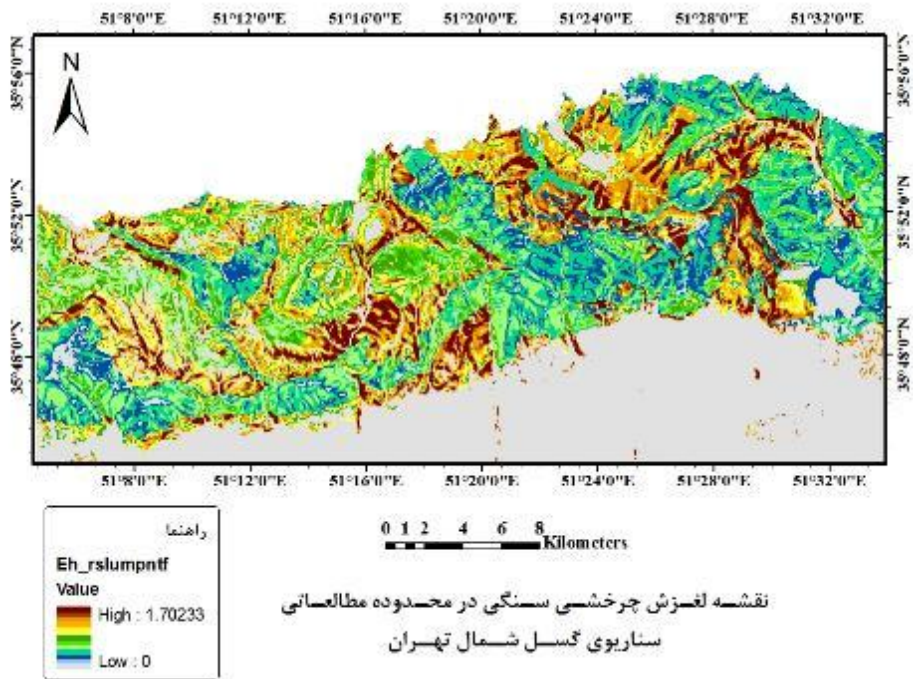
^{۸۳} Normalized Difference Vegetation Index



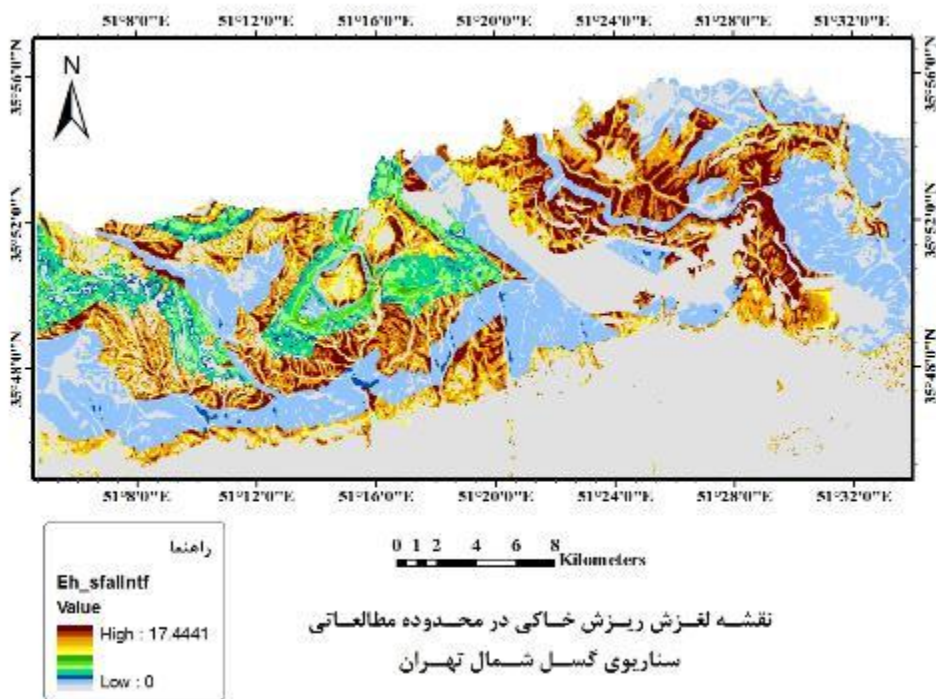
شکل ۴-۱۲: نقشه لغزش ریزش سنگی با سناریو گسل شمال تهران



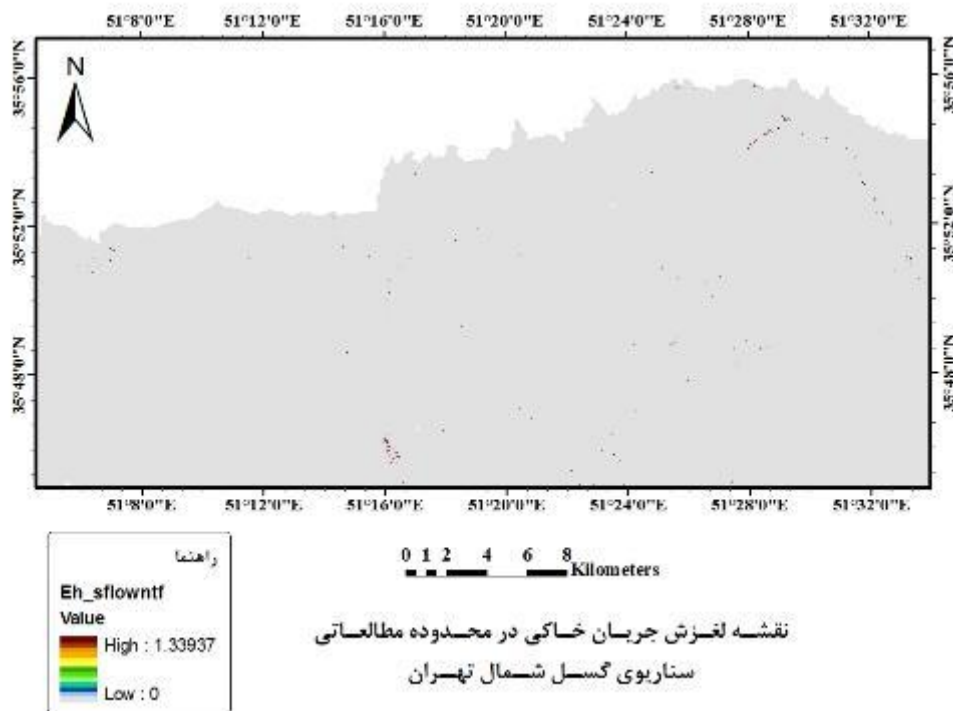
شکل ۴-۱۳: نقشه لغزش بهمن سنگی با سناریو گسل شمال تهران



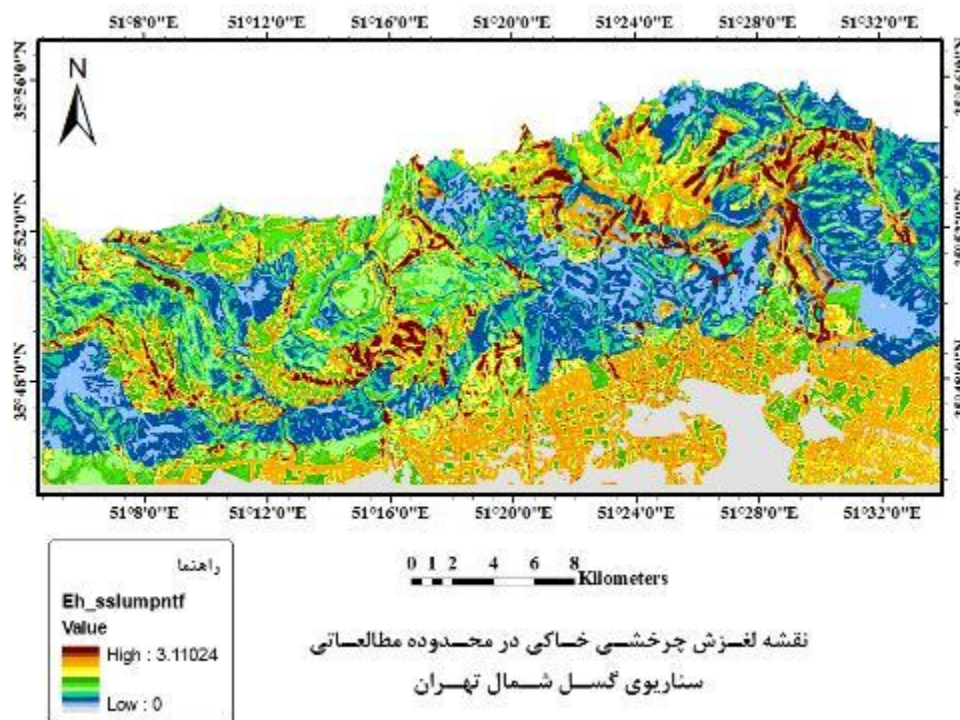
شکل ۴-۱۴: نقشه لغزش چرخشی سنگی با سناریو گسل شمال تهران



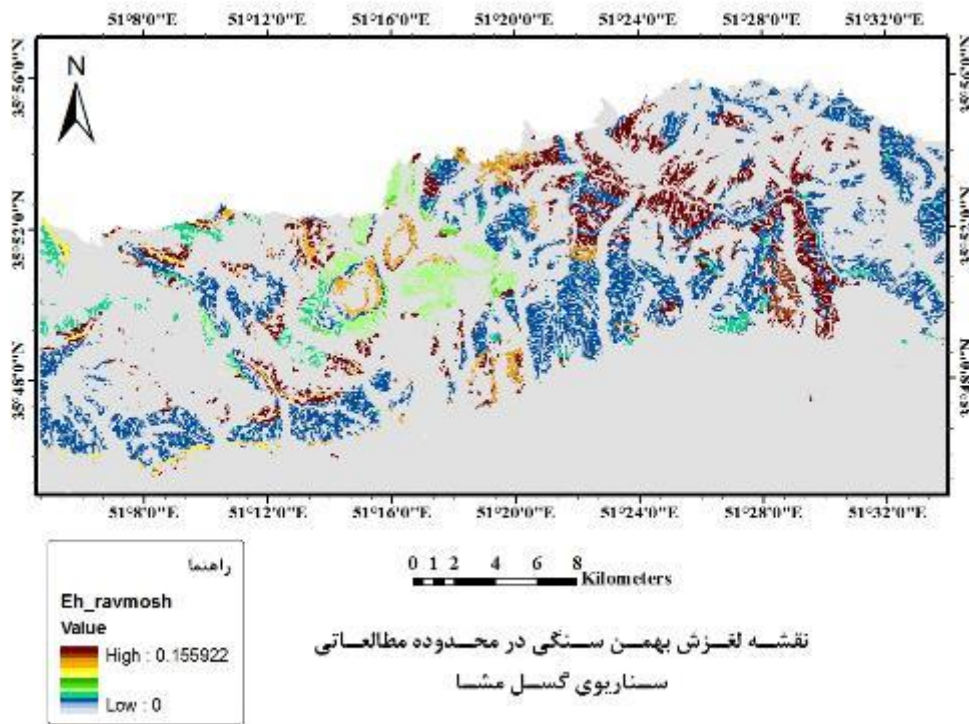
شکل ۴-۱۵: نقشه لغزش ریزش خاکی با سناریو گسل شمال تهران



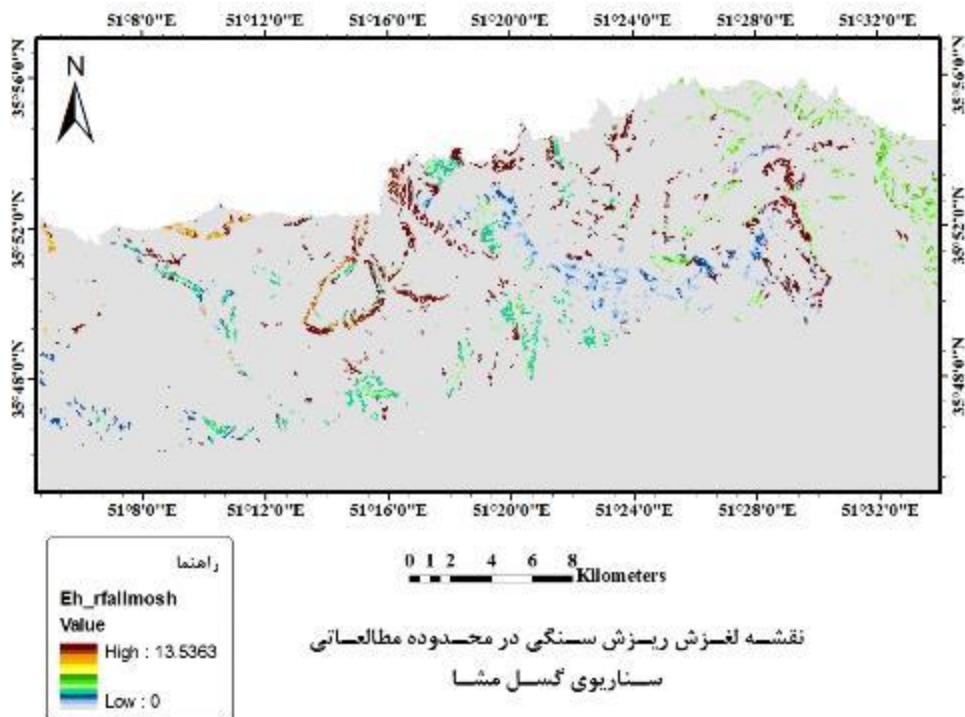
شکل ۴-۱۶: نقشه لغزش جریان خاکی با سناریو گسل شمال تهران



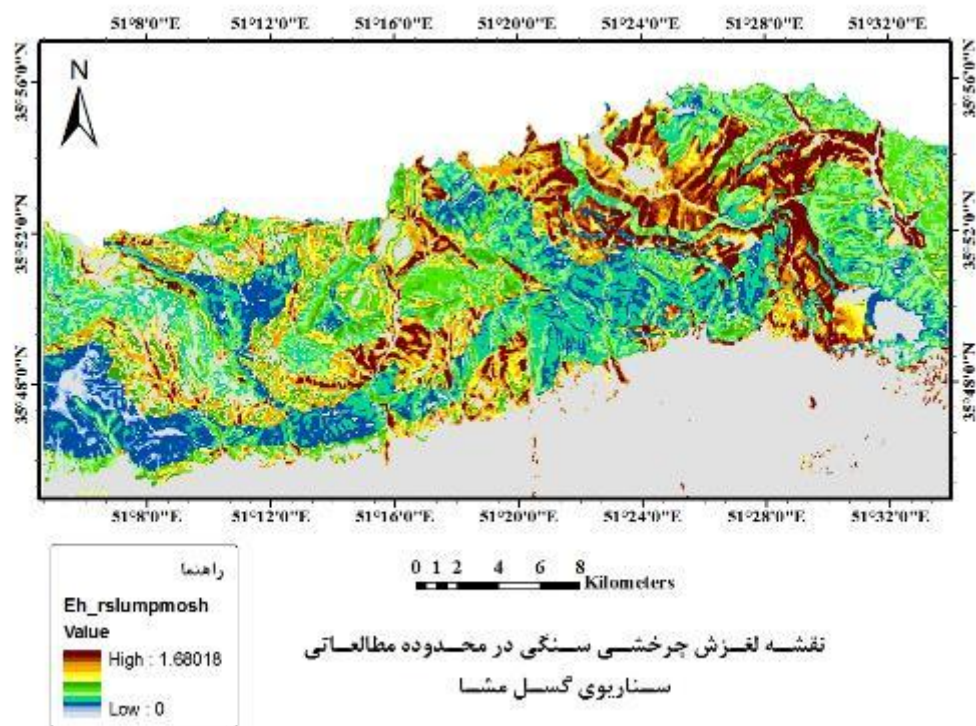
شکل ۴-۱۷: نقشه لغزش چرخشی خاکی با سناریو گسل شمال تهران



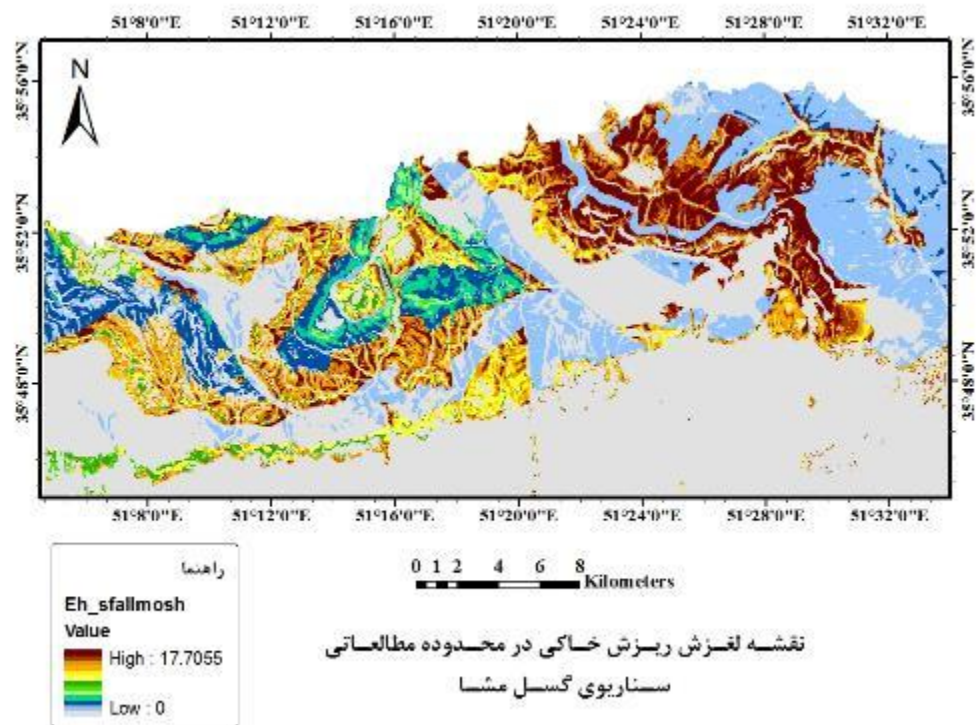
شکل ۴-۱۸: نقشه لغزش بهمن سنگی با سناریو گسل مشا



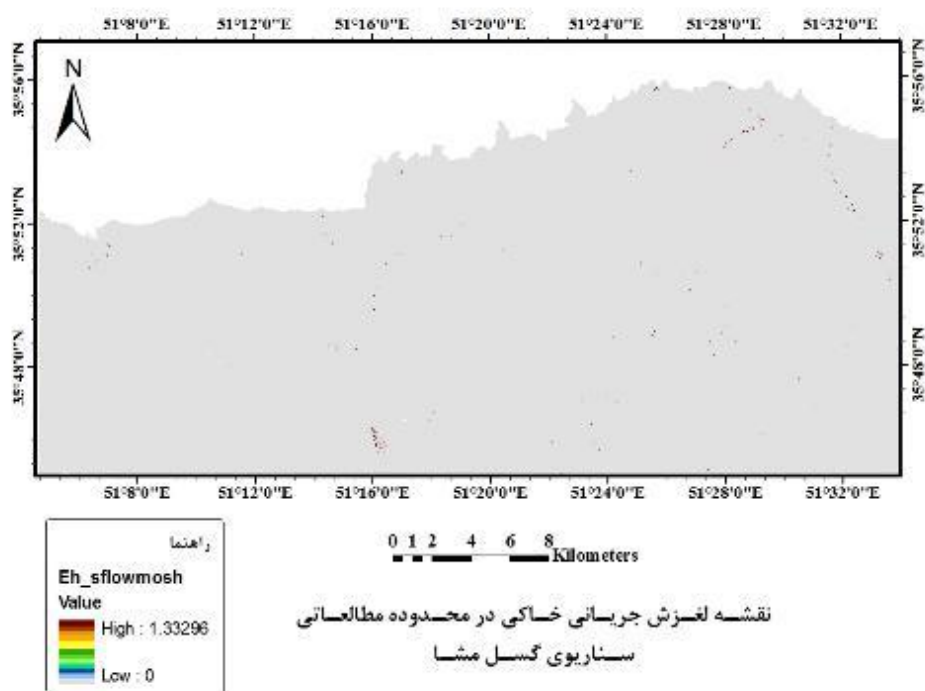
شکل ۴-۱۹: نقشه لغزش ریزش سنگی با سناریو گسل مشا



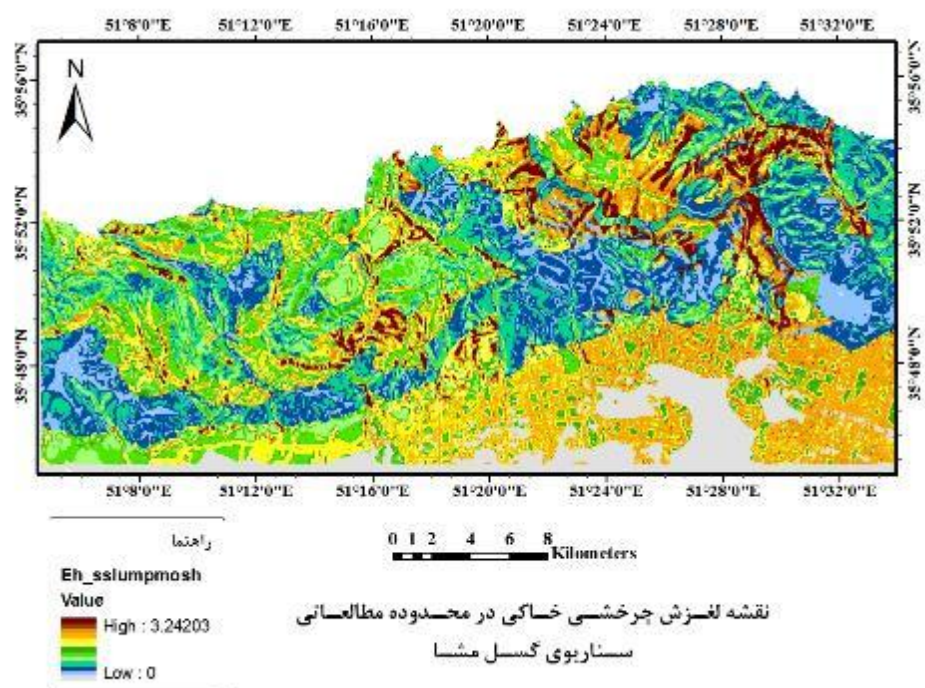
شکل ۴-۲۰: نقشه لغزش چرخشی سنگی با سناریو گسل مشا



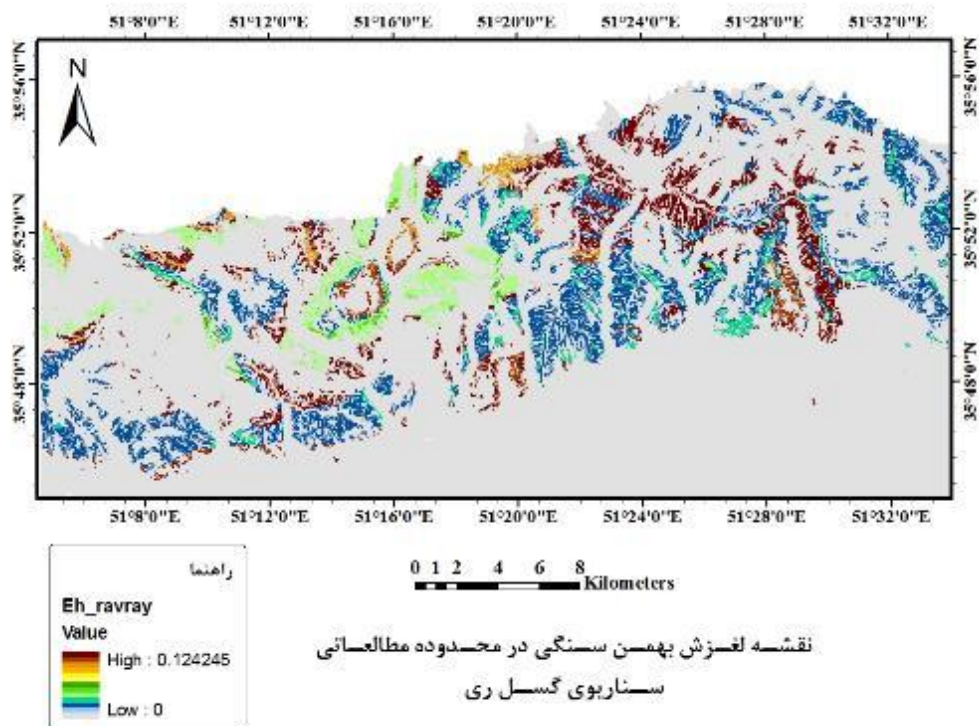
شکل ۴-۲۱: نقشه لغزش ریزش خاکی با سناریو گسل مشا



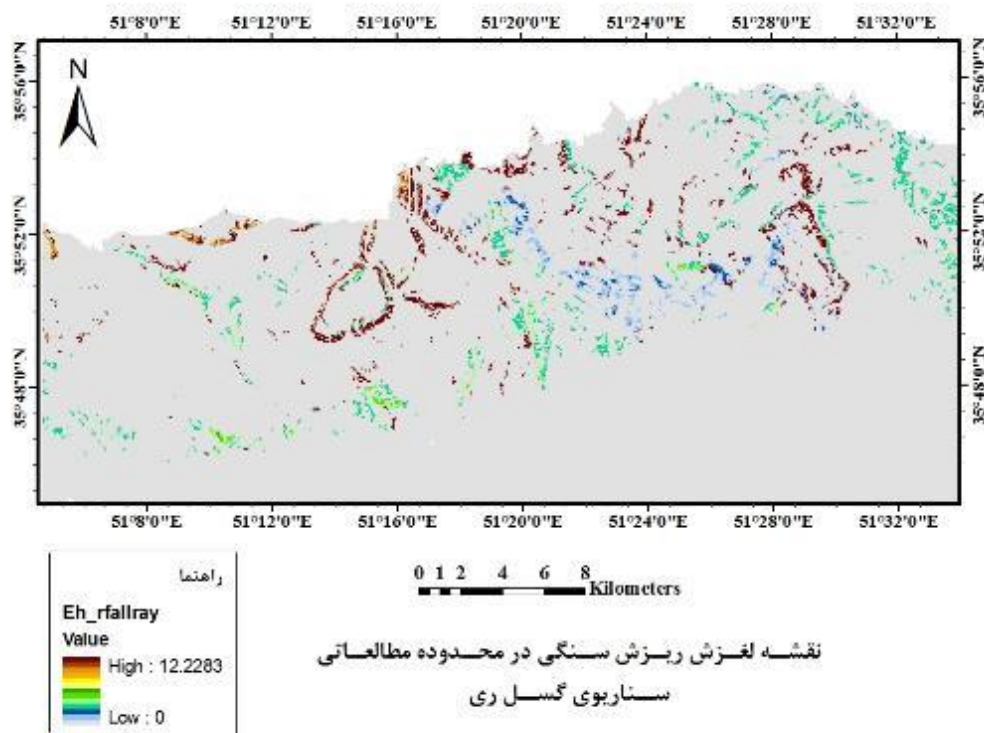
شکل ۴-۲۲: نقشه لغزش جریان‌ی خاک‌ی با سناریو گسل مشا



شکل ۴-۲۳: نقشه لغزش چرخشی خاک‌ی با سناریو گسل مشا

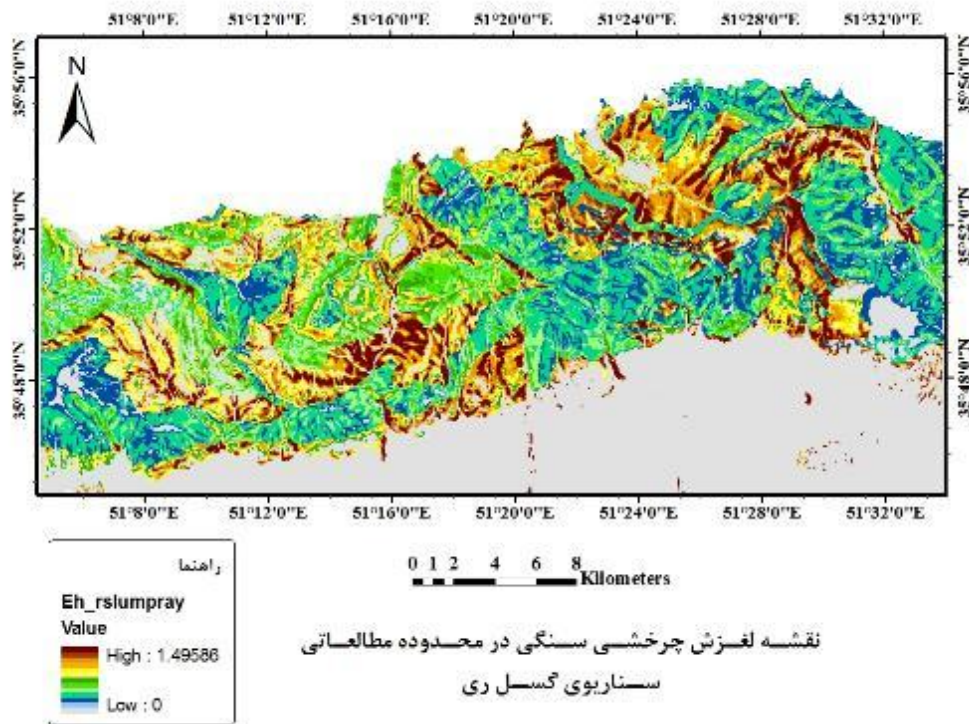


شکل ۴-۲۴: نقشه لغزش بهمن سنگی با سناریو گسل

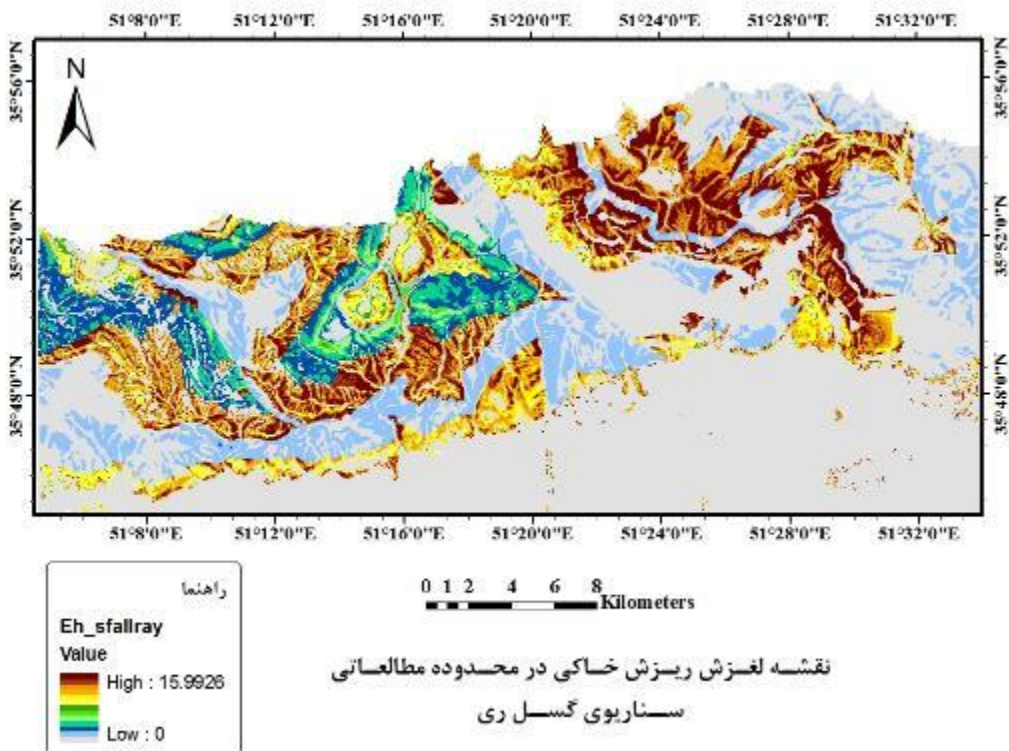


ری

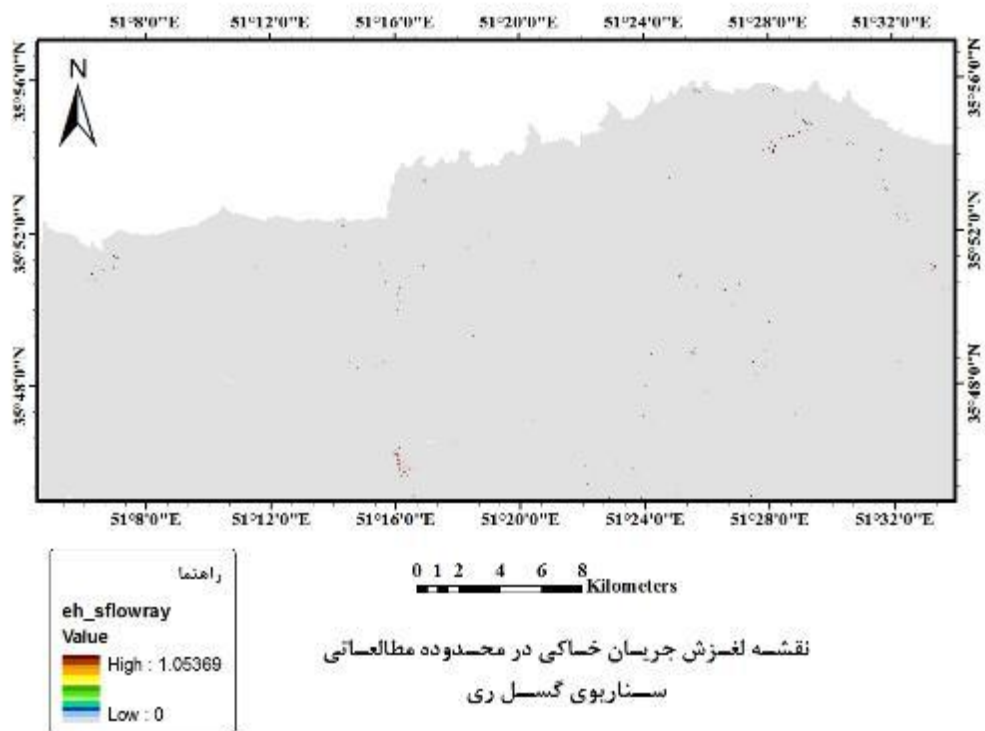
شکل ۴-۲۵: نقشه لغزش بهمن سنگی با سناریو گسل ری



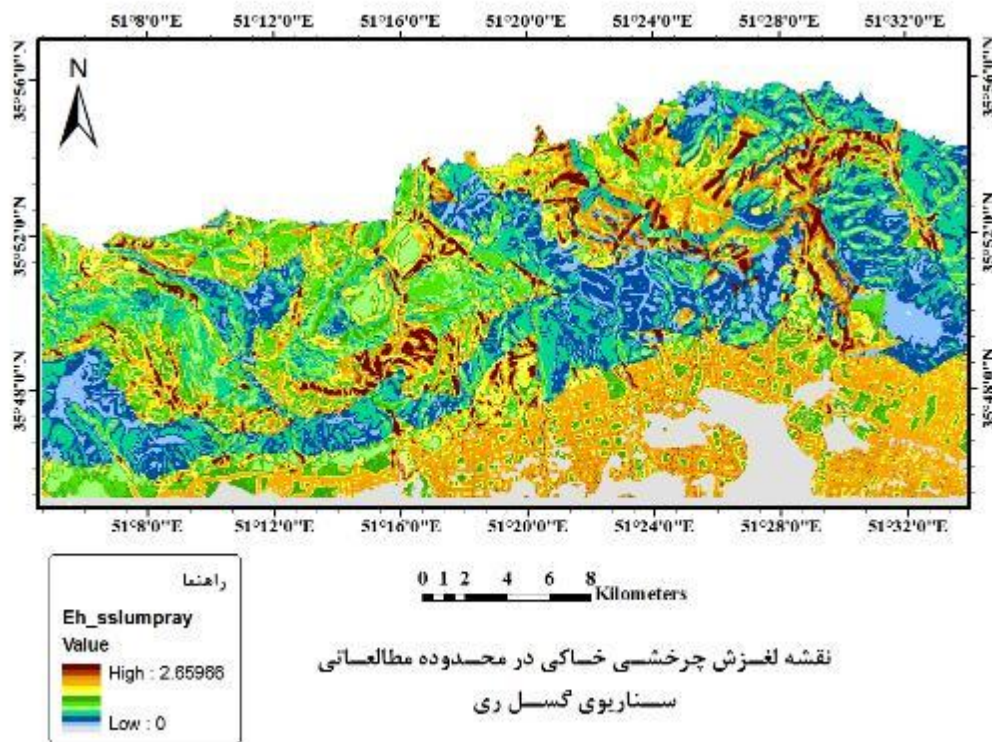
شکل ۴-۲۶: نقشه لغزش چرخشی سنگی با سناریو گسل ری



شکل ۴-۲۷: نقشه لغزش ریزش خاکی با سناریو گسل ری



شکل ۴-۲۸: نقشه لغزش جریانی خاکی با سناریو گسل ری



شکل ۴-۲۹: نقشه لغزش چرخشی خاکی با سناریو گسل ری

۴-۴- تحلیل اطلاعات مدل CAMEL

۴-۴-۱- تحلیل بهمن سنگی

همانطور که در شکل‌های (۴-۱۳، ۴-۱۸ و ۴-۲۴) مشاهده می‌شود با آنکه بهمن‌های سنگی از گستردگی بالایی در نواحی شمالی محدوده برخوردارند ولی حداکثر تراکم زمین‌لغزش برای بهمن‌های سنگی تقریباً برابر با ۰,۱۵ در واحد کیلومتر مربع و در سناریوی گسل شمال تهران محاسبه شده است. در وقوع این نوع زمین‌لغزش وجود عامل ارتفاع دامنه و شدت زلزله با شدت بیش از ۹ مرکالی علاوه بر عامل شیب زیاد منطقه تأثیر گذار بوده. با توجه به نبود شتاب زلزله نزدیک به ۹ مرکالی میزان تراکم بهمن‌های سنگی در منطقه مورد مطالعه کمتر از ۱ پیش بینی شده است.

۴-۴-۲- تحلیل ریزش‌های سنگی

با توجه به شکل‌های (۴-۱۲، ۴-۱۹ و ۴-۲۵) ریزش‌های سنگی از گستردگی و تراکم زیادی در منطقه برخوردار هستند. در وقوع ریزش‌های سنگی عامل شیب تأثیر بسزایی دارد. با توجه به جدول ۳-۹ برای وقوع این نوع لغزش‌ها شیب منطقه باید از ۳۵ درجه بیشتر باشد و در نتیجه در مناطقی با شیب بیشتر از ۳۵ درجه امکان رخداد این نوع لغزش بیشتر بوده اما نسبت به ریزش‌های خاکی دارای فراوانی کمتری می‌باشند.

۴-۴-۳- تحلیل ریزش‌های خاکی

با توجه به شکل (۴-۱۵، ۴-۲۱ و ۴-۲۷) مشاهده می‌شود که ریزش‌های خاکی نسبت به ریزش‌های سنگی از تراکم و گستردگی بالاتری برخوردار هستند. زاویه شیب دامنه و مقاومت مصالح در نواحی کوهستانی از عوامل مؤثر در وقوع این نوع زمین‌لغزش‌ها به شمار می‌آید. با توجه به گزارش کيفر (۱۹۸۴)، زاویه شیب برای وقوع ریزش‌های خاکی بین ۱۵ تا ۴۵ درجه متغیر بوده و سبب شده که در نواحی کوهستانی با شیب کم و با مقاومت مصالح پایین امکان وقوع بیشتری داشته باشند. محافظه کارانه انتخاب شدن حدود شیب برای این متغیر نیز دلیل بیشتر بودن تراکم ریزش‌های خاکی نسبت به ریزش‌های سنگی در منطقه است.

۴-۴-۴- تحلیل لغزش‌های جریان خاکی

با توجه به گزارش کيفر (۱۹۸۴) جریان‌های خاکی در شیب‌های بیش از ۵ درجه امکان وقوع دارند. این نوع زمین‌لغزش‌ها به متغیر رطوبت بسیار وابسته بوده و برای وقوع آن باید خاک در حالت اشباع باشد. در مدل CAMEL حد آستانه شدت زلزله برای وقوع این نوع زمین‌لغزش برابر با ۸ مرکالی در نظر گرفته شده است. شکل‌های (۴-۱۶، ۴-۲۲ و ۴-۲۸) معرف خروجی جریان خاکی مدل

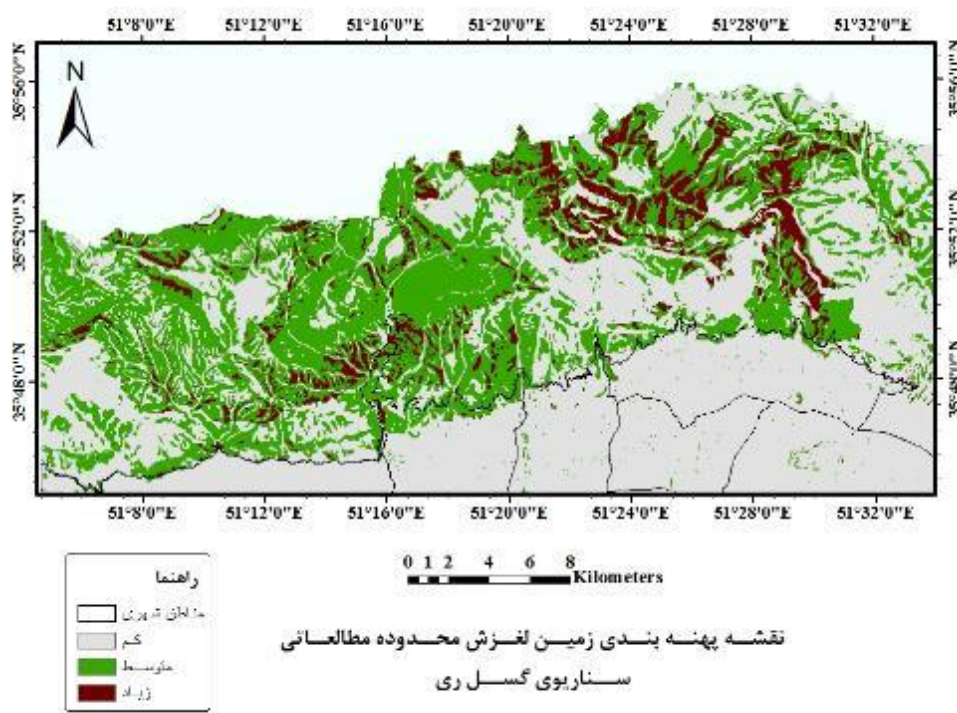
CAMEL می‌باشد. به دلیل اینکه منطقه مورد مطالعاتی در آب و هوایی نیمه مرطوب قرار دارد و رخنمون‌های سنگی گسترش زیادی در منطقه دارند، خیلی کم اتفاق می‌افتد که مقدار رطوبت در خاک به حد اشباع برسد و مهم‌ترین دلیل آن را نیز می‌توان چنین دانست که در مناطق کوهستانی به دلیل میزان بالای تراکم زهکش‌ها، نزولات جوی به سرعت زهکش شده، زمان نفوذ آب کم و بدین سبب امکان نفوذ آب کمتر فراهم می‌باشد.

۴-۴-۵- تحلیل لغزش‌های چرخشی خاکی

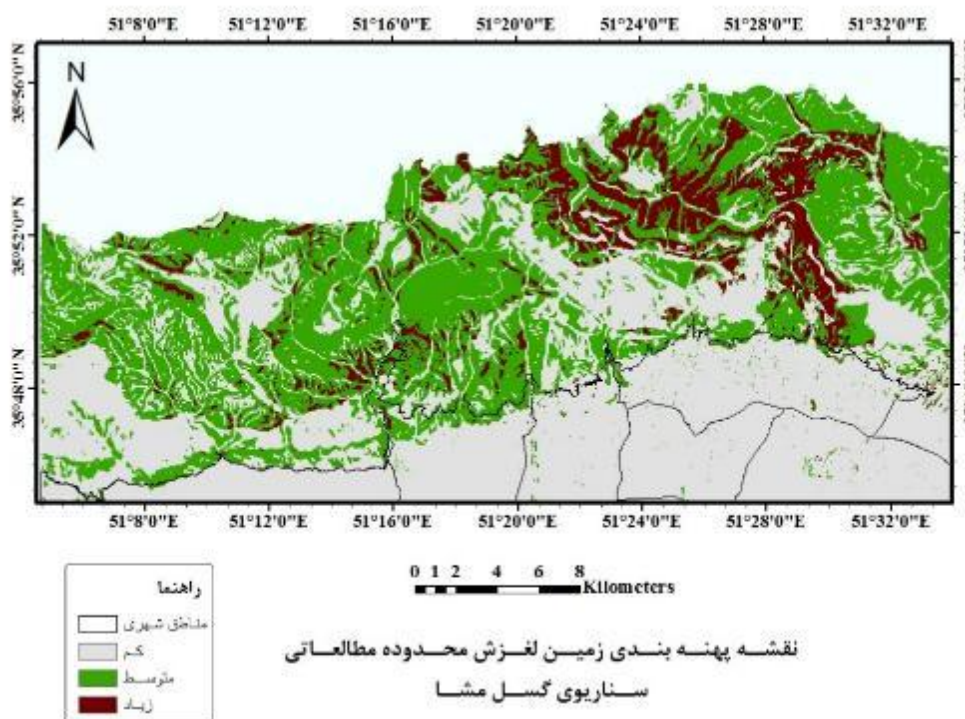
در وقوع این نوع زمین‌لغزش‌ها عامل رطوبت همانند جریان‌های خاکی تأثیر بسزایی دارد. با مقایسه شکل‌های (۷-۴) و (۱۷-۴، ۲۳-۴ و ۲۹-۴) انطباق خوبی بین عامل رطوبت و زمین‌لغزش‌های چرخشی خاکی مشاهده می‌شود. با این تفاوت که در نواحی جنوبی محدوده لغزش‌های چرخشی خاکی در شیب‌های کمتر از ۱۵ درجه با امکان وقوع کمتری برخوردارند. در مقایسه با ریزش‌ها مشاهده می‌شود که ریزش‌ها برای وقوع نیاز به حد آستانه شدت زلزله کمتری دارند و با کوچکترین تکان‌های زلزله در نواحی کوهستانی و شمالی امکان وقوع بالایی را دارا می‌باشند. وقوع لغزش‌های چرخشی نه تنها به عامل زاویه شیب و رده زمین وابسته می‌باشد بلکه عامل رطوبت نیز به عنوان عاملی تأثیرگذار در وقوع این نوع زمین‌لغزش‌ها مطرح می‌باشد.

۴-۴-۶- تحلیل لغزش‌های چرخشی سنگی

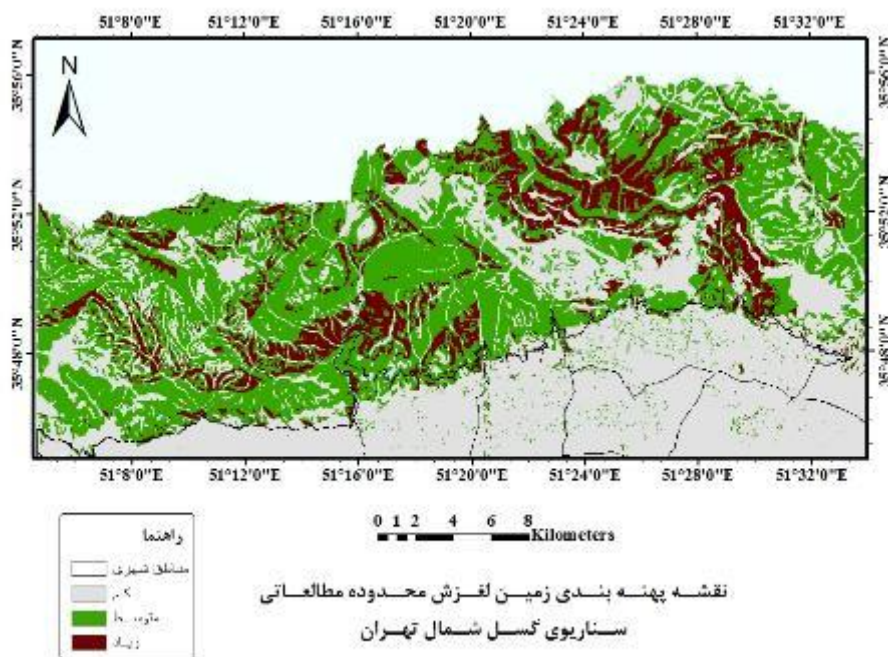
با توجه به شکل‌های (۱۴-۴، ۲۰-۴ و ۲۶-۴) مشاهده می‌شود که گستردگی و تراکم زمین‌لغزش‌های چرخشی سنگی در منطقه کم می‌باشد. که بیشتر می‌تواند مرتبط با ساختار CAMEL و پایگاه دانشی می‌باشد که در CAMEL از آن استفاده شده است. در ۴۰ زلزله تاریخی مطالعه شده توسط کیفر (۱۹۸۴) فراوانی این نوع زمین‌لغزش‌ها بعد از بهمن‌های سنگی به شدت کم گزارش شده‌اند و مدل نیز به پیش بینی این نوع زمین‌لغزش با تراکم پایین با توجه به گزارش کیفر (۱۹۸۴) اشاره می‌نماید که با مطالعه بلوک قوانین متغیر شیب دامنه در بخش امکان مشاهده می‌شود در زوایه‌های ما بین ۱۵ تا ۴۰ امکان وقوع لغزش سنگی وجود دارد در حالی که در شیب‌های کمتر از این یعنی بین ۵ تا ۴۰ درجه امکان وقوع لغزش‌های خاکی وجود خواهد داشت و با توجه به نقشه پراکندگی شیب در منطقه و کم بودن پراکندگی شیب‌های بیش از ۳۵ درجه، می‌توان دلیل رخداد لغزش‌های چرخشی خاکی در شیب‌های کمتر از لغزش‌های چرخشی سنگی و بنابراین فزونی تراکم و گستردگی آن نسبت به نوع سنگی را این چنین استنباط نمود. با تجمیع تمامی انواع زمین‌لغزش‌ها و ثابت در نظر گرفتن حدود خطر می‌توان نقشه خطر کلی منطقه را با توجه به سناریو گسلی خاص به دست آورد. این نقشه با توجه به سناریو گسلی مرتبط در شکل‌های (۳۰-۴)، (۳۱-۴) و (۳۲-۴) نمایش داده شده است.



شکل ۴-۳۰: نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش در محدوده مطالعاتی با سناریو گسل ری



شکل ۴-۳۱: نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش با سناریو گسل مشا



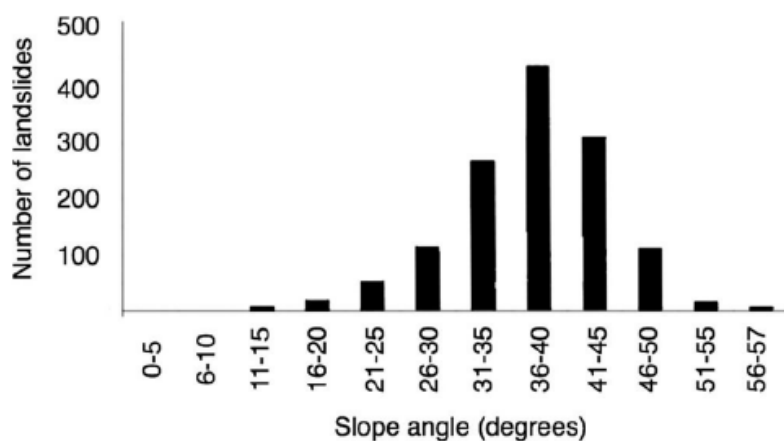
شکل ۴-۳۲: نقشه پهنه بندی زمین لغزش با سناریو گسل شمال تهران

۴-۷- مدل ارزش اطلاعاتی

لایه های مورد استفاده در این مدل با توجه به شرایط منطقه و همچنین تحقیقات انجام شده در محدوده مطالعاتی و یا منطق مجاور با آن از جمله مطالعات (امیراحمدی و همکاران، ۱۳۸۹)، (علیجانی و همکاران، ۱۳۸۹) و (Pourghasemi et al., 2012) تهیه شده اند و شامل موارد زیر می-باشد:

۴-۷-۱- رده شیب

با توجه به کلاس های شیب معرفی به وزن دهی و امتیاز دهی لایه ها پرداخته شده است. با مقایسه وزن های بدست آمده در جدول (۵-۳) مشاهده می گردد که به ازای افزایش شیب دامنه، مقادیر وزن- های بدست آمده از طریق روش ارزش اطلاعاتی افزایش می یابد. در کلاس شیب بیشتر از ۴۵ درجه زمین لغزش های کمی گزارش شده است که می تواند به دلیل کم بودن پوشش این کلاس در محدوده مورد مطالعه و نبود مصالح سست و خاکی در این کلاس باشد. پاریس و جیبسون (Parise & jibson, 2000) در مطالعات خود نیز مشاهده کرد که تا شیب ۳۵ تا ۴۰ درجه با افزایش وقوع زمین لغزش و پس از آن با کاهش تعداد زمین لغزش ها مواجه گشته است.



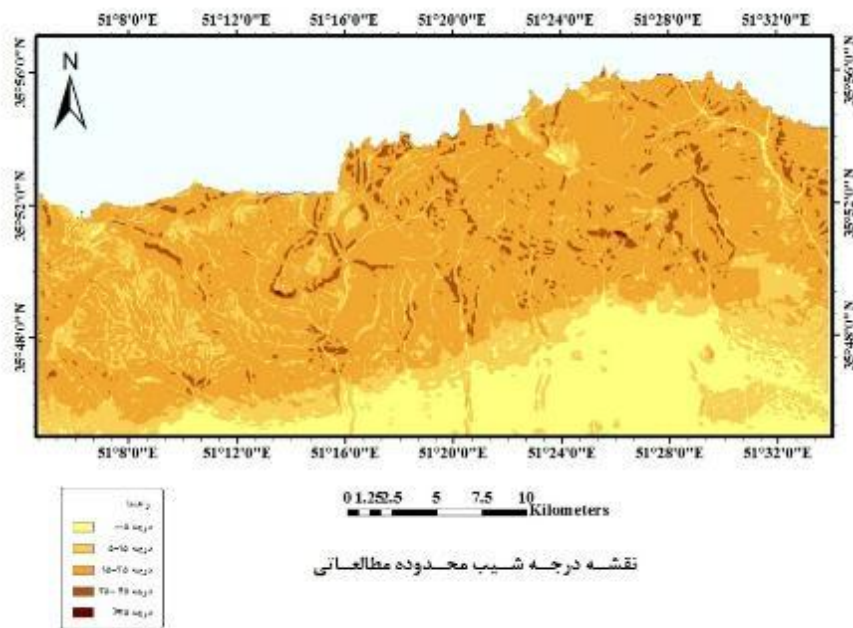
شکل ۴-۳۳: اطلاعات تشدید کننده معرف افزایش تراکم زمین لغزش‌های ایجاد شده

به وسیله زلزله نورف ریج^{۸۴} (۱۹۹۴) با افزایش زاویه شیب (Parise and Jibson, 2000)

جدول ۴-۳: تراکم زمین لغزش در طبقات شیب منطقه مورد مطالعه

ارزش اطلاعاتی	تعداد پیکسل مرتبط با مساحت رده	تعداد پیکسل زمین لغزش در رده	کلاس
-۰/۵۹۱	۶۲۴۰۹	۳۰۰۶	۱
۰/۳۶	۲۰۲۵۶۹	۲۵۲۵۸	۲
۰/۸۴۳	۱۳۱۴۶	۲۶۵۷	۳
۰/۶۸۴	۷۹	۳۷	۴
	۳۵۷۹۶۵	۳۱۱۳۶	مجموعه ع

⁸⁴ Northridge, 1994



شکل ۴-۳۴: نقشه جهت شیب در محدوده مورد مطالعه

۴-۷-۲- رده مقاومت زمین:

رده مقاومت زمین معرف حساسیت سازندها نسبت به زمین لغزش می باشد که در ۵ کلاس امتیاز دهی می شود. با توجه به جدول (۴-۵) مشاهده می شود که کلاس ۵ حساس ترین کلاس این لایه می باشد.

جدول ۴-۴: تراکم زمین لغزش در طبقات رده زمین منطقه مورد مطالعه

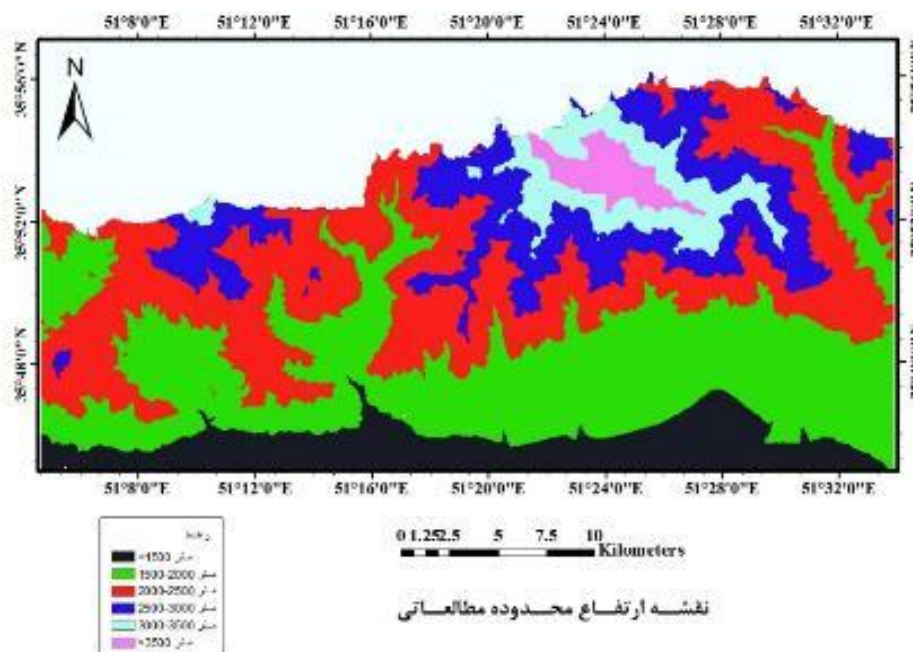
کلا س	تعداد پیکسل زمین لغزش در رده	تعداد پیکسل مرتبط با مساحت رده	ارزش اطلاعاتی
۱	۲۳۵۴	۳۸۰۲۹	- ۰/۳۴۱
۲	۱۱۳۶۵	۱۰۹۱۶۹	۰/۱۷۹
۳	۱۰۹۱	۴۷۴۷۵	- ۱/۳۳۱
۴	۲۲۹۳	۵۰۸۶۸	- ۰/۶۵۸
۵	۱۳۸۹۴	۱۱۲۲۶۹	- ۰/۳۵۲
مجموع	۳۱۱۳۶	۳۵۷۸۰۸	

۴-۷-۳- طبقات ارتفاعی:

تغییرات ارتفاعی هر منطقه به عنوان عامل موثر در ایجاد حرکات توده‌ای محسوب می‌شوند. این عامل، جهت رواناب‌ها و میزان تراکم شبکه زهکشی را کنترل می‌کند و در میزان رطوبت خاک (به عنوان عامل موثر در حرکات توده‌ای) و میزان شیب دامنه‌ها تاثیر بسزایی دارد. مطابق با جدول (۵-۶) مشاهده می‌شود که با افزایش ارتفاع میزان وزن‌های مربوط به ارزش اطلاعاتی افزایش می‌یابد. با وجود افزایش ناگهانی تعداد پیکسل‌های زمین‌لغزش در طبقات ارتفاعی ۴ و ۵، تراکم زمین‌لغزش در این طبقات ارتفاعی، متوسط نشان داده شده است.

جدول ۴-۵: تراکم زمین‌لغزش در طبقات ارتفاعی منطقه مورد مطالعه

ارزش اطلاعاتی	تعداد پیکسل مرتبط با مساحت رده	تعداد پیکسل زمین-لغزش در رده	کلاس
-۳/۱۷۸	۲۱۷۹۷	۷۹	۱
-۰/۲۰۹	۹۲۲۵۴	۶۵۱۱	۲
-۰/۰۷۳	۱۲۴۷۵۲	۱۱۶۷۴	۳
-۰/۰۲۲	۶۴۷۰۸	۵۵۰۷	۴
۰/۴۴۸	۳۳۳۱۷	۴۵۳۸	۵
۰/۴۱۴	۲۰۹۸۳	۲۷۶۱	۶
	۳۵۷۸۱۳	۳۱۱۳۶	مجموع



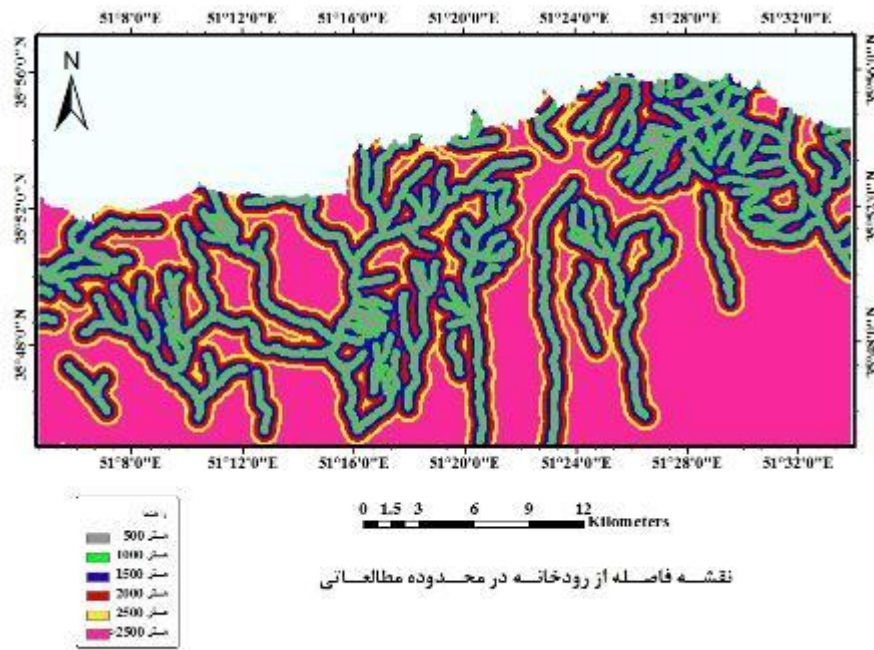
شکل ۴-۳۵: نقشه طبقات ارتفاعی در محدوده مورد مطالعه

۴-۷-۴- فاصله از رودخانه:

رودخانه‌ها به عنوان یکی از علل اصلی در وقوع زمین‌لغزش در نظر گرفته می‌شود. بر اثر جریان آب رودخانه‌ها، حفر و فرسایش در دره‌ها صورت می‌پذیرد. این امر باعث شسته شدن مصالح پای شیب‌ها در دو سوی رودخانه شده و هم‌چنین موجب افزایش زاویه شیب دامنه‌ها گشته و عامل نگه دارنده را از پای دامنه حذف می‌نماید. با تلفیق لایه عارضه خطی زهکش‌ها با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها مشاهده می‌شود که با افزایش فاصله از زهکش‌ها تراکم زمین‌لغزش‌ها کاهش می‌یابد. میزان تراکم زمین‌لغزش‌ها در ۶ کلاس این رده بررسی شده است. متغیر فاصله از زهکش (رودخانه) نمایانگر فاصله افقی هر پیکسل با عارضه خطی می‌باشد. با توجه به تراکم‌های پیش بینی شده در جدول (۵-۹) مشاهده می‌شود که زمین‌لغزش‌های منطقه ارتباط تنگاتنگی با عامل محرک فاصله از زهکش دارند.

جدول ۴-۶: تراکم زمین‌لغزش در فاصله از رودخانه منطقه مورد مطالعه

کلاس	تعداد پیکسل زمین‌لغزش در رده	تعداد پیکسل مرتبط با مساحت رده	محدوده	ارزش اطلاعاتی
۱	۶۵۰۸	۵۴۹۲۹	۰ - ۱۰۰	۰/۳۹۸
۲	۵۰۳۸	۵۰۰۰۱	۱۰۰ - ۲۰۰	۰/۱۴۶
۳	۶۸۸۲	۷۰۰۷۵	۲۰۰ - ۴۰۰	۰/۱۲۱
۴	۴۶۵۸	۵۵۵۹۹	۴۰۰ - ۶۰۰	- ۰/۰۳۸
۵	۳۶۸۹	۴۳۱۹۳	۶۰۰ - ۸۰۰	- ۰/۰۱۹
۶	۴۱۹۴	۸۳۹۰۳	>۸۰۰	- ۰/۵۵۵
مجموع	۳۱۱۳۶	۳۵۷۷۰۲		



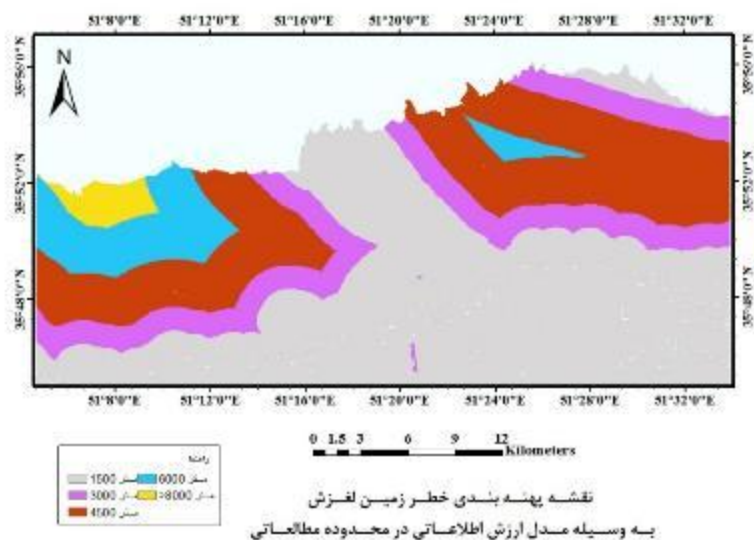
شکل ۴-۳۶: نقشه فاصله از رودخانه

۴-۷-۵- فاصله از گسل:

عامل فاصله از گسل به عنوان یکی از علل محرک در وقوع زمین لغزش در نظر گرفته شده است. در تحقیق حاضر فواصل هر رده تا رده دیگر ۱۵۰۰ متر تعیین شده است.

جدول ۴-۷: تراکم زمین لغزش در طبقات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

ارزش اطلاعاتی	تعداد پیکسل مرتبط با مساحت رده	تعداد پیکسل زمین لغزش در رده	کلاس
- ۰/۴۹۳	۱۱۴۲۴۹	۶۰۷۵	۱
۰/۱۴۴	۶۹۰۰۱	۶۹۳۷	۲
۰/۴۹۷	۱۰۸۲۷۱	۱۵۴۹۸	۳
۰/۴۸۱	۴۳۶۱۳	۲۳۴۷	۴
- ۲/۰۴۳	۲۲۵۸۳	۲۵۷	۵
	۳۵۷۷۱۵	۳۱۱۳۶	مجموع



شکل ۴-۳۷: فاصله از گسل های منطقه

۴-۷-۶- جهت:

جهت شیب از جمله عوامل ذاتی است که به طور غیر مستقیم منعکس کننده تاثیر لایه‌هایی از جمله ضخامت، پوشش گیاهی، رطوبت و ... می باشد. بنابر این استفاده از این لایه در پهنه بندی بسیار مفید خواهد بود. جهت شیب دامنه نیز به عنوان یکی دیگر از عوامل موثر (متغیر مستقل) در ایجاد حرکات توده‌ای مد نظر قرار گرفته است. البته این عامل نسبت به درجه شیب دامنه از اهمیت کمتری برخوردار است. در حالت کلی دامنه‌های شمالی به دلیل ماندگاری برف و رطوبت (به ویژه در اوایل فصل بهار) نقش موثرتری در ایجاد حرکات توده‌ای ایفا می‌کند.

در واقع دامنه‌های رو به آفتاب (دامنه‌های جنوبی) به دلیل اینکه مدت زمان بیشتری تحت تابش نور خورشید قرار می‌گیرند، برف در این مناطق زودتر ذوب می‌گردد و میزان تبخیر در آنها کمتر و در نتیجه دارای رطوبت بیشتری نسبت به دامنه‌های جنوبی می‌باشد.

- شمال (۲۲,۵ - ۳۳۷,۵)

- شمال شرقی (۲۲,۵ - ۶۷,۵)

- شرقی (۶۷,۵ - ۱۱۲,۵)

- جنوب شرقی (۱۱۲,۵ - ۱۵۷,۵)

پس از تهیه هر یک از نقشه‌های پهنه‌بندی به روش ارزش اطلاعاتی و CAMEL (شکل‌های ۴-۴۱ و ۴-۴۲) در مرحله اول به مقایسه بین پهنه‌های بدست آمده در هر نقشه از لحاظ خطر با میزان پراکنش زمین‌لغزش‌های موجود در منطقه پرداخته شده است و در نهایت با بکارگیری روش‌های آماری و مقایسه نقشه‌ها با یکدیگر، کارایی هر یک از روش‌های اعمال شده برای پهنه‌بندی در منطقه حاضر را بررسی گردیده است.

۴-۸- روش تجزیه و تحلیل

پس از تولید هر یک از نقشه‌های پهنه‌بندی، نقشه‌های حاصل از روش CAMEL و روش ارزش اطلاعاتی را بر اساس میزان جهش بزرگ در میزان ارزش‌های خروجی هر یک از نقشه‌ها به کمک روش Natural break به ۶ گروه طبقه‌بندی می‌گردد (جدول ۴-۹). به نحوی که بالاترین ارزش نشان دهنده بیشترین احتمال خطر و کمترین ارزش نشان دهنده کمترین میزان خطر می‌باشد.

جدول ۴-۹: طبقه‌بندی پهنه‌های برای نقشه حاصل از روش ارزش اطلاعاتی

معادل توصیفی خطر	ارزش خروجی	زاویه شیب	کلاس خطر
فوق العاده کم	۴/۵۴۹ - - ۸/۴۳۳	مناطق با شیب کمتر از ۵ درجه	۱
بسیار کم	۲/۹۹۶ - - ۴/۵۴۹	مناطق با شیب بیشتر از ۵ درجه	۲
کم	۱/۶۱۹ - - ۲/۹۹۶		۳
متوسط	۰/۷۱۹ - - ۱/۶۱۹		۴
زیاد	۰/۱۴۹ - ۰/۷۱۹		۵
خیلی زیاد	۲/۰۵۱ - ۰/۱۴۹		۶

پس از کلاسه‌بندی هر نقشه، با استفاده از جداول توصیفی موجود در هر نقشه، برای هر کلاس خروجی جداگانه‌ای تعیین نموده و پس از محاسبه تعداد پیکسل‌های موجود در هر پهنه، مجموع پیکسل‌های هر پهنه بصورت جداگانه محاسبه گردیده است. در مرحله بعد لایه رستر حاوی زمین-لغزش‌های موجود موجود در محدوده مورد مطالعه بر روی هر کدام از پهنه‌ها به صورت جداگانه اشتراک‌گیری شده و پس از عملیات قطع دادن در محیط ArcMap تعداد پیکسل زمین‌لغزش‌های موجود در هر پهنه محاسبه شده است (جدول ۴-۱۰). سپس به تعیین تراکم زمین‌لغزش‌ها در هر پهنه و در کل منطقه و در نهایت به آنالیزها و محاسبات و مقایسه نقشه‌ها با یکدیگر و استنتاج نتایج اقدام شده است.

جدول ۴-۱۰: طبقه‌بندی پهنه‌های برای نقشه حاصل از روش CAMEL در حالت استاتیکی

معادل توصیفی خطر	ارزش خروجی	زاویه شیب	کلاس خطر
فوق العاده کم	۰,۰ - ۰/۱۹۹	مناطق با شیب کمتر از ۵ درجه	۱
بسیار کم	۰/۱۹۹ - ۰/۵۴۶	مناطق با شیب بیشتر از ۵ درجه	۲
کم	۰/۵۴۶ - ۰/۷۶۷		۳
متوسط	۰/۷۶۷ - ۰/۹۲		۴
زیاد	۰/۹۲ - ۱/۱۱		۵
خیلی زیاد	۱/۱۱ - ۱/۸۱		۶

۴-۹- مقایسه روش‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش

برای آزمایش نقشه پهنه‌بندی روش‌های گوناگونی موجود است. یکی از این روش‌ها، روش ارائه شده توسط گی (Gee, 1992) است که صحت نقشه پهنه‌بندی خطر را به وسیله پارامتری به نام جمع مطلوبیت^{۸۵} ارزیابی می‌نماید. اصول این ارزیابی بر محاسبه میزان پراکنش داده‌ها حول میانگین است. نقشه‌ای انتخاب می‌شود که QS آن بیشتر و یا به عبارتی قدرت تفکیک آن بیشتر باشد. بدین منظور در ابتدا پارامتری به نام نسبت تراکم^{۸۶} برای هر پهنه خطر محاسبه می‌شود:

۴-۱:

$$DR = \frac{\%L}{\%A}$$

که در آن DR نسبت تراکم، $\%L$ درصدی از پیکسل‌های زمین‌لغزش‌های موجود در منطقه که در پهنه مورد نظر واقع شده و $\%A$ درصدی از پیکسل‌های منطقه است که توسط پهنه اشغال شده است. بدین ترتیب DR برابر ۱ بدین مفهوم است که تراکم زمین‌لغزش‌ها در پهنه مورد نظر برابر تراکم زمین‌لغزش متوسط منطقه است. به همین صورت DR بزرگتر یا کوچکتر از یک بیانگر تراکم‌های بیشتر یا کمتر زمین‌لغزش‌ها در پهنه نسبت به متوسط تراکم لغزش‌ها می‌باشد.

بعد از محاسبه مقدار DR برای کلیه زیر گروه‌ها مقدار از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

⁸⁵ Sum of Quality (QS)

⁸⁶ Density Ratio (DR)

$$QS = \sum_{i=1}^n (DR_i - 1)^2 \times A_i \quad ۲-۴$$

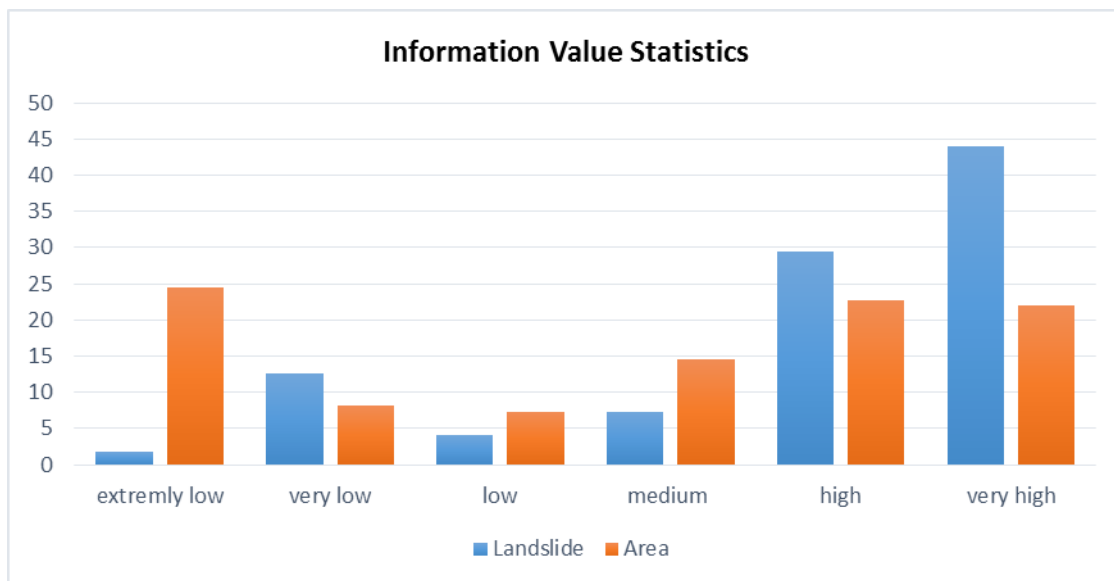
که در آن DR_i و A_i به ترتیب نسبت تراکم و درصد پیکسل هر پهنه و n تعداد پهنه‌ها در نقشه مورد نظر می‌باشد. بدین ترتیب پارامتر QS مجموع مجذور اختلافات نسبت تراکم هر پهنه را نسبت به متوسط آنها (تراکم متوسط منطقه) محاسبه می‌کند.

۴-۱۰- ارزیابی نقشه حاصل از پهنه‌بندی به روش ارزش اطلاعاتی

نتایج حاصل در محاسبه DR و QS در نقشه پهنه‌بندی در جداول (۴-۱۱) و شکل (۴-۳۹) منعکس شده است.

جدول ۴-۱۱: محاسبه مقادیر DR و QS برای نقشه پهنه‌بندی حاصل از روش ارزش اطلاعاتی

DR تراکم نسبی	محاسبات QS	درصد پیکسل هر پهنه	تعداد پیکسل زمین لغزش‌های هر پهنه	درصد پیکسل زمین لغزش‌های هر پهنه	تعداد پیکسل هر پهنه	پهنه‌های زمین لغزش
۰/۰۷	۰/۲۱	۲۴/۴۰	۵۴۸	۱/۷۶	۸۷۲۲۵	فوق العاده کم
۱/۵۳	۰/۰۲	۸/۲۴	۳۹۱۶	۱۲/۵۸	۲۹۴۶۳	بسیار کم
۰/۵۷	۰/۰۱	۷/۲۹	۱۲۸۸	۴/۱۴	۲۶۰۶۶	کم
۰/۵۰	۰/۰۳	۱۴/۵۱	۲۲۴۸	۷/۲۲	۵۱۸۵۹	متوسط
۱/۳۰	۰/۰۲	۲۲/۶۹	۹۱۵۶	۲۹/۴۱	۸۱۰۹۱	زیاد
۱/۹۹	۰/۲۲	۲۲/۰۴	۱۳۶۸۴	۴۳/۹۵	۷۸۷۶۷	خیلی زیاد
	۰/۵۲	۹۹/۱۷	۳۰۸۴۰	۹۹/۰۵	۳۵۴۴۷۱	مجموع



شکل ۴-۳۹: مقایسه درصد زمین لغزش‌ها در هر پهنه با درصد پیکسلس هر طبقه با استفاده از روش ارزش اطلاعاتی

نتایج حاصل از بررسی این نقشه به شرح زیر است:

۱- بیشترین و کمترین درصد پیکسلی هر پهنه در این نقشه به ترتیب مربوط به پهنه خطر فوق‌العاده کم و خطر کم می‌باشد.

۲- بیشترین و کمترین تراکم نسبی زمین لغزش‌ها در روش ارزش اطلاعاتی به ترتیب مربوط به پهنه بسیار پرخطر و خطر بسیار کم می‌باشد.

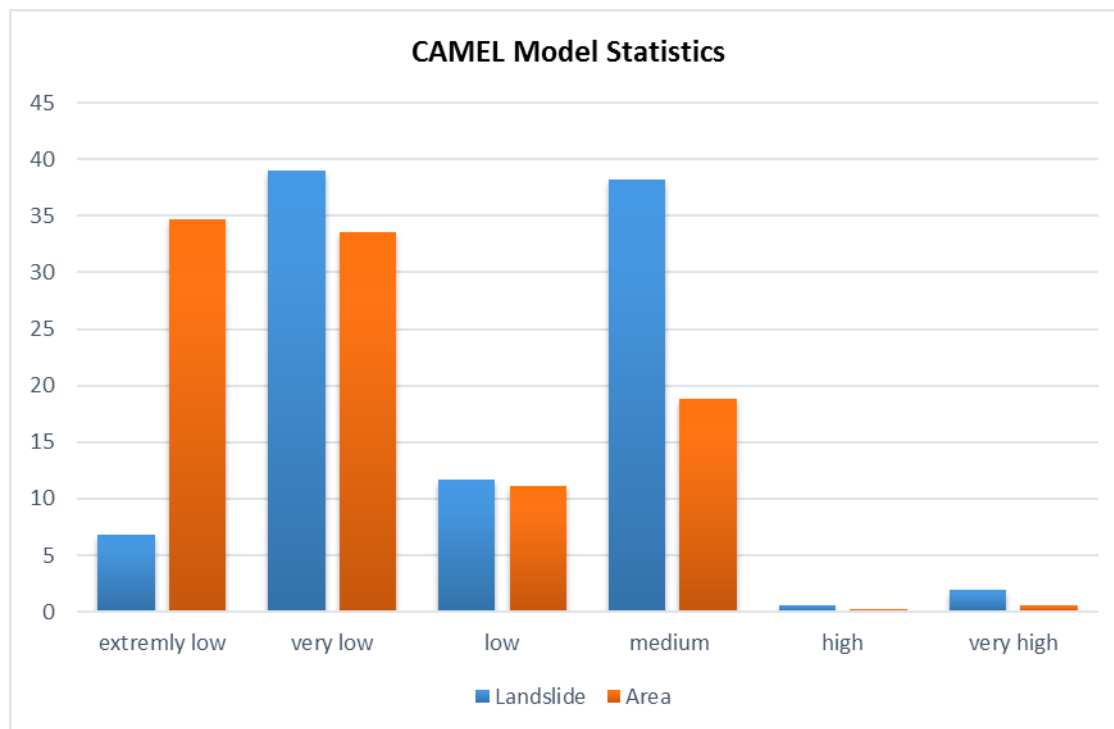
۳- QS در این نقشه از مقدار مطلوبیت خوبی برخوردار است.

۴-۱۱- ارزیابی نقشه حاصل از پهنه‌بندی به روش CAMEL

نتایج حاصل در محاسبه DR و QS در نقشه پهنه‌بندی با استفاده از مدل CAMEL در حالت استاتیکی در جدول (۴-۱۲) و شکل (۴-۴۰) منعکس شده است.

جدول ۴-۱۲: محاسبه مقادیر DR و QS برای نقشه پهنه‌بندی حاصل از روش CAMEL در حالت استاتیک

DR تراکم نسبی	محاسبات QS	درصد پیکسل زمین- لغزش‌های هر پهنه	تعداد پیکسل زمین لغزش‌های هر پهنه	درصد پیکسل هر پهنه	تعداد پیکسل هر پهنه	پهنه‌های زمین لغزش
۰/۲۰	۰/۲۲	۶/۸۴	۱۰	۳۴/۷۳	۱۲۴۱۳۷	فوق العاده کم
۱/۱۷	۰/۰۱	۳۹/۰۶	۲۱۳۰	۳۳/۵۴	۱۱۹۸۹۷	بسیار کم
۱/۰۵	۰	۱۱/۷۳	۱۲۱۶۳	۱۱/۱۴	۳۹۸۳۰	کم
۲/۰۳	۰/۲۰	۳۳۸/۲۶	۳۶۵۲	۱۸/۸۷	۶۷۴۴۴	متوسط
۲/۳۷	۰/۰۱	۰/۶۴	۱۱۹۱۲	۳۸/۲۶	۲۰۹۰۰	زیاد
۳/۱۵	۰/۰۳	۱/۹۱	۱۹۸	۰/۶۴	۲۱۷۱	خیلی زیاد
	۰/۴۶	۹۸/۴۴	۵۹۶	۹۸/۴۴	۳۵۴۴۳۹	مجموع



شکل ۴-۴: مقایسه درصد پیکسل زمین لغزش‌ها در هر پهنه با درصد پیکسل هر طبقه

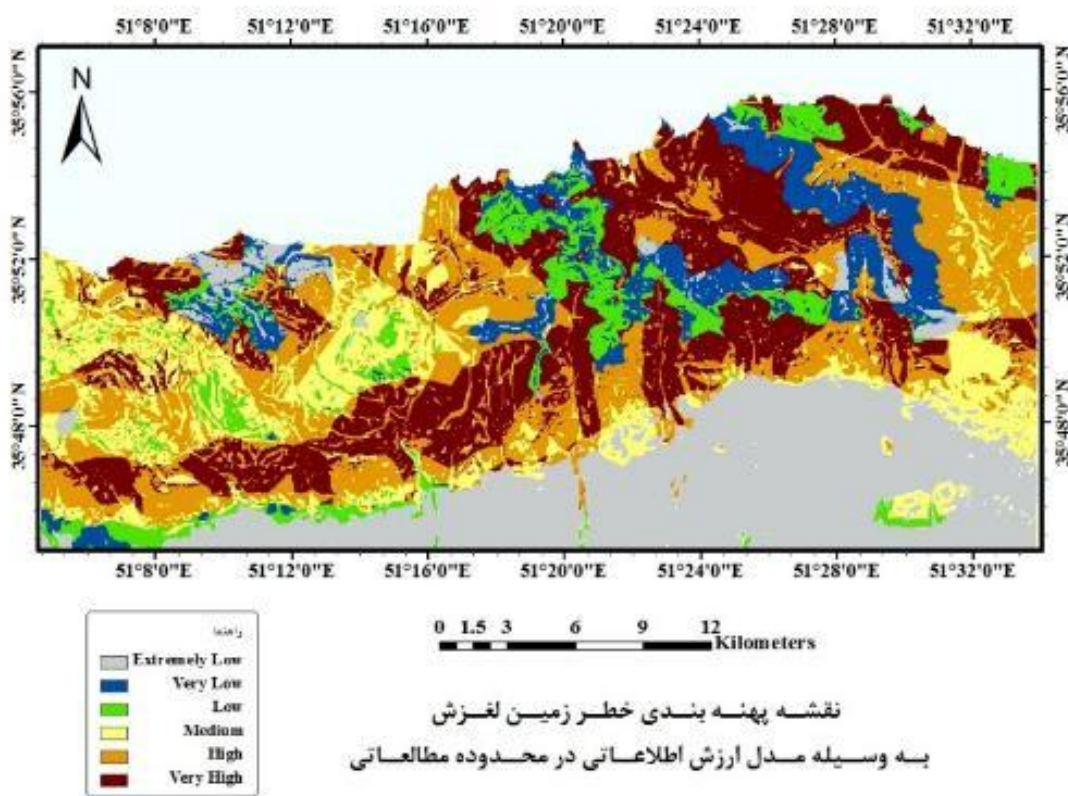
با استفاده از روش CAMEL در حالت استاتیک

نتایج حاصل از پهنه‌بندی به شرح زیر است:

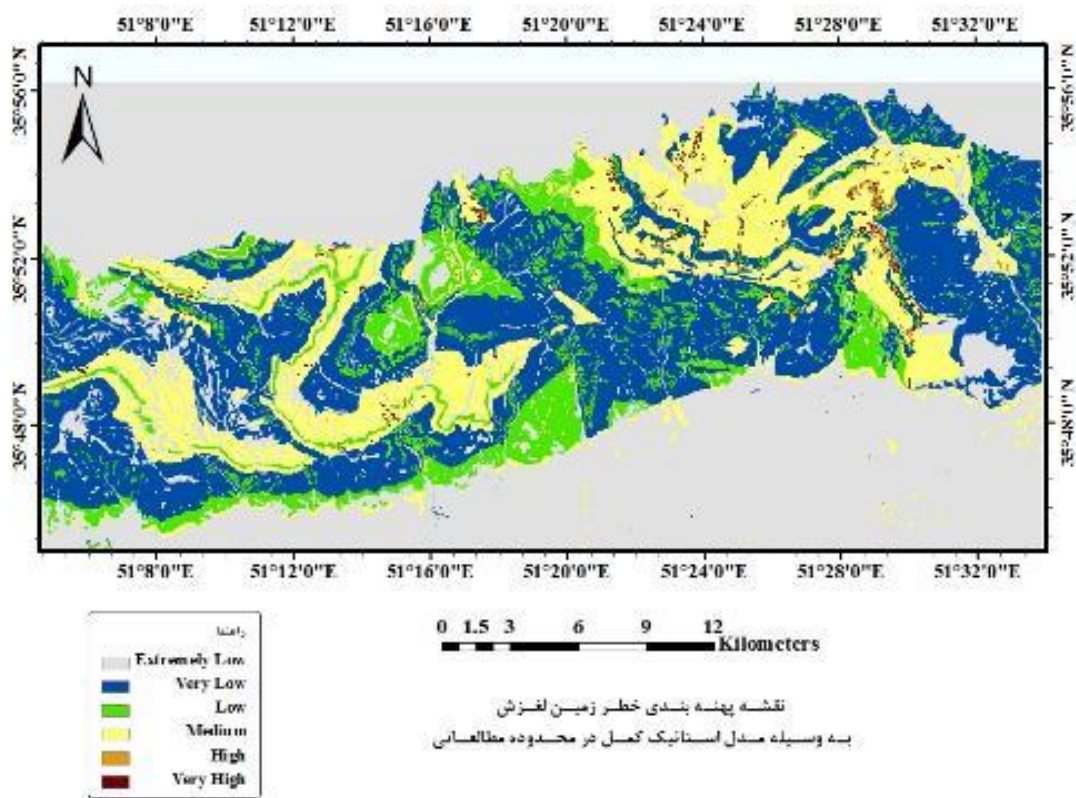
۱- بیشترین و کمترین درصد پیکسلی هر پهنه در این نقشه به ترتیب مربوط به پهنه خطر فوق‌العاده کم و خطر زیاد می‌باشد.

۲- بیشترین و کمترین تراکم نسبی زمین‌لغزش‌ها در روش CAMEL به ترتیب مربوط به پهنه خطر بسیار کم و خطر زیاد می‌باشد.

۳- QS در این نقشه از مقدار مطلوبیت خوبی برخوردار نمی‌باشد.



شکل ۴-۴: پهنه‌بندی زمین‌لغزش به روش ارزش اطلاعاتی در منطقه مورد مطالعه



شکل ۴-۴۲: نقشه پهنه بندی زمین لغزش های ناشی از زمین لرزه توسط مدل CAMEL

فصل پنجم

بحث و نتایج

۵-۱- خلاصه نتایج کسب شده

با بررسی نقشه‌های تراکم تولید شده توسط روش CAMEL می‌توان به این نتیجه رسید که در سه نوع از زمین‌لغزش‌های ایجاد شده گسل مشا و در سه نوع دیگر گسل شمال تهران بسیار دخیل بوده و بیشترین تراکم با آن نوع از زمین‌لغزش مرتبط را تولید می‌نمایند (جدول ۴-۳). گسل مشا در تراکم لغزش‌های چرخشی خاکی، ریزش سنگی و ریزش خاکی و گسل شمال تهران در لغزش‌های بهمن سنگی، چرخشی سنگی و جریان خاکی بیشترین تأثیر را داشته‌اند. با مقایسه تراکم زمین‌لغزش‌های پیش‌بینی شده، نتایج زیر قابل دریافت است:

جدول ۵-۱: انواع زمین‌لغزش‌ها به همراه سناریوهای ایجاد کننده

گسل ایجاد کننده زمین‌لغزش	نوع زمین‌لغزش
گسل‌های مشا، شمال تهران و ری	زمین‌لغزش‌های چرخشی خاکی
گسل‌های شمال تهران، مشا و ری	ایجاد زمین‌لغزش‌های بهمن سنگی
گسل‌های مشا، شمال تهران و ری	ایجاد زمین‌لغزش‌های ریزش سنگی
گسل‌های شمال تهران، مشا و ری	تولید زمین‌لغزش‌های چرخشی سنگی
گسل‌های مشا، شمال تهران و ری	زمین‌لغزش‌های ریزش خاکی
گسل‌های شمال تهران، مشا و ری	زمین‌لغزش‌های جریان خاکی

* تقدم در ایجاد به ترتیب سناریوها مشخص شده است.

در ایجاد انواع مختلفی از زمین‌لغزش تراکم ایجاد شده در هر بخش در سناریوهای گسل شمال تهران و گسل مشا دارای نزدیکی رقمی زیادی هستند، در صورتی که تراکم‌های ایجاد شده در هر بخش در سناریو گسل ری دارای تفاوت زیادی با دو سناریو دیگر است.

همان گونه که در بخش قبل نیز توضیح داده شد، علاوه بر عامل رطوبت که در نوع و تراکم لغزش ایجاد شده تأثیر بسزایی دارد، از نقش عوامل دیگر و ارتباط آن‌ها با متغییر شدت لرزه نیز نمی‌توان چشم‌پوشی نمود. به عنوان مثال نقش نزدیکی رده‌های مقاومتی زمین‌شناسی با مقاومت کم، نزدیک بودن شیب‌های زیاد بیش از ۳۰ درجه به منبع لرزه و قرارگیری عوارض خطی در مجاورت گسل‌ها. عوامل ذکر شده در سناریوی گسل ری به‌خوبی خود را نمایان ساخته‌اند، به‌گونه‌ای که با فاصله‌دار

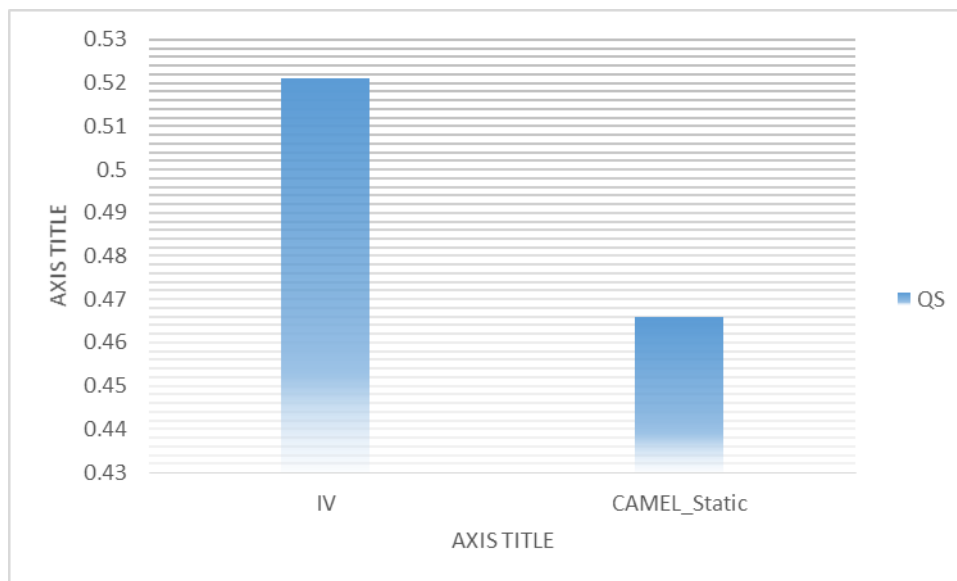
بودن متغیرهای نام برده و افزایش فاصله از منبع لرزه‌زا که موجب کاهش انرژی لرزه‌ای شده و میزان تراکم زمین‌لغزش‌های ایجاد شده نیز به طرز چشم‌گیری کاهش پیدا کرده است. در سناریوهای مشا و شمال تهران نیز شاهد همین رابطه هستیم. به گونه‌ای که در سناریو گسل شمال تهران با توجه به نزدیکی و حتی همپوشانی عوامل به خصوص عوامل شیب، جنس زمین و شبکه آبراهه‌ها در نزدیکی منابع لرزه‌ای این سناریوها، تراکم زمین‌لغزش نیز افزایش یافته است. همان طور که اشاره گردید دو عامل درجه شیب و مقاومت مصالح به ویژه در گسترش ریزش‌های سنگی و خاکی و کم بودن گسترش بهمن‌های سنگی بیشترین تأثیر را در محدوده مطالعه داشته‌اند.

با مقایسه تراکم بیشینه پیش‌بینی شده در هر سه گسل می‌توان به شاخص درصد تراکم محتمل زمین‌لغزش‌ها دست یافت. این شاخص نمادی در معرفی میزان توان هر گسل در ایجاد زمین‌لغزش می‌باشد. بر این اساس گسل مشا با بیشترین تراکم محتمل (۳۵٪) و گسل ری با کمترین تراکم محتمل (۳۱٪) معرفی می‌گردند. بر طبق این شاخص گسل مشا دارای بیشترین پتانسیل و گسل ری دارای کمترین پتانسیل در ایجاد لغزش می‌باشند. گسل تهران نیز با ایجاد ۳۴٪ از زمین‌لغزش‌های ایجاد شده دومین پتانسیل را دارد.

از مقایسه روش CAMEL در حالت استاتیک با مدل ارزش اطلاعاتی نیز می‌توان دریافت که:

۱- با توجه به اطلاعات جدول (۵-۲) در مدل CAMEL، به ترتیب $34/78$ و $33/54$ درصد از مساحت منطقه را رده خطر فوق العاده کم و خیلی کم تشکیل می‌دهند. و از طرف دیگر رده‌های خطر بالا و خیلی بالا از مساحت کمی در منطقه برخوردار هستند.

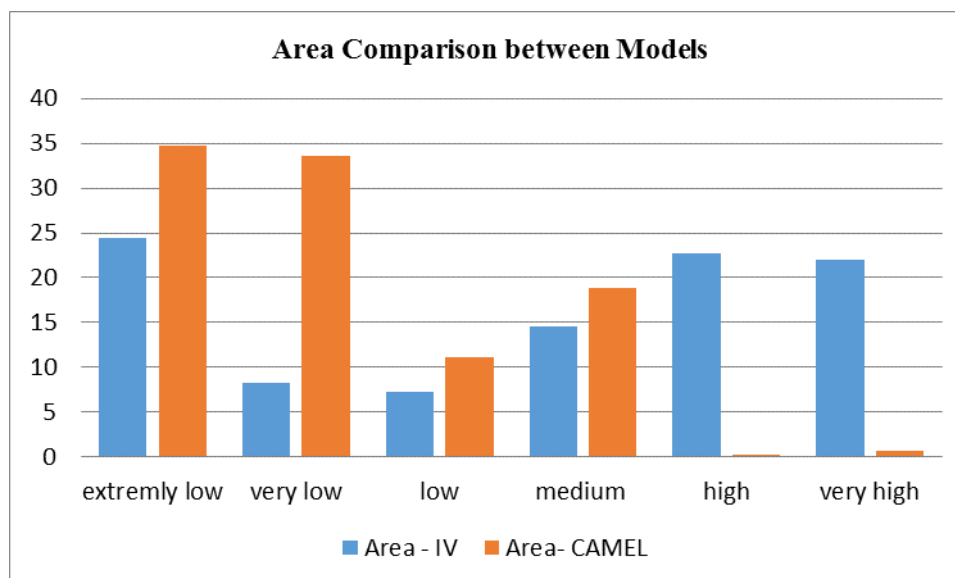
۲- با توجه به شکل (۵-۱) با آنکه رده‌های خیلی کم، کم و متوسط به نسبت زمین‌لغزش‌های بالایی در مدل CAMEL برخوردار هستند نسبت زمین‌لغزش‌های موجود در رده‌های خیلی زیاد، کمتر از رده‌های فوق می‌باشد که حاکی از عدم موفقیت این مدل در قیاس با مدل ارزش اطلاعاتی می‌باشد.



شکل ۵-۱: مقایسه QS شاخص مطلوبیت بین دو نقشه پهنه‌بندی نهایی

جدول ۵-۲: مقایسه درصد پیکسلی هر پهنه خطر بین دو نقشه به کار رفته در پژوهش حاضر

درصد پیکسل هر پهنه برای ارزش اطلاعاتی	درصد پیکسل هر پهنه برای CAMEL	پهنه‌های زمین لغزش
۲۴/۴۰	۳۴/۷۳	Extremely Low
۸/۲۴	۳۳/۵۴	Very Low
۷/۲۹	۱۱/۱۴	Low
۱۴/۵۱	۱۸/۸۷	Medium
۲۲/۶۹	۳۸/۲۶	High
۲۲/۰۴	۰/۶۴	Very High



شکل ۵-۲: مقایسه درصد پیکسلی هر پهنه خطر بین ۲ مدل

- ۳- با توجه به مساحت پوشش داده شده در هر پهنه، می‌توان گفت روش CAMEL، زمین- لغزش‌ها را بیشتر در رده بسیار کم و کم طبقه‌بندی نموده است. این در حالیست که مدل ارزش اطلاعاتی توانسته است بیشترین زمین‌لغزش را در رده‌های بالا و خیلی بالا دسته‌بندی نماید.
- ۴- برای مقایسه کارایی نقشه‌های حاصل، از پارامتر QS استفاده شده است. QS نقشه به روش نقشه ارزش اطلاعاتی $0/54$ و نقشه تجمیع خروجی CAMEL در حالت استاتیکی $0/46$ می‌باشد. با توجه به مقادیر فوق نقشه‌های پهنه‌بندی با روش ارزش اطلاعاتی از مطلوبیت بهتری برخوردار است (شکل ۵-۱).

با توجه به نقشه‌های تولیدی بخش‌های شمالی شهر تهران به خصوص مناطقی از کوهسار کن، حصارک، درکه، ولنجک و بخش‌هایی از منطقه فرحزاد دارای خطر بالا و خطر متوسط به زمین‌لغزش- های ناشی از زلزله بوده و نیاز است که با برنامه‌ریزی از ساخت و ساز در این چنین مکان‌های پرشیب و قرارگرفته بر روی حریم گسل‌های فعال به جد خودداری شود.

با استفاده از تجمیع تراکم انواع زمین‌لغزش‌های پیش‌بینی شده می‌توان نقشه کلی خطر زمین‌لغزش در منطقه به وسیله سناریویی خاص را ترسیم نمود. در شکل‌های (۴-۳۰، ۴-۳۱ و ۴-۳۲) این نقشه

ارائه شده‌اند. تفاوت این نقشه‌ها با نقشه‌های خطر قبلی که به وسیله انواع زمین‌لغزش‌ها تفکیک شده بودند در استفاده از این نقشه‌ها در امر مدیریت بحران است. به وسیله این نقشه‌ها می‌توان بین مناطق مختلف با تراکمی خاص بدون توجه به نوع زمین‌لغزش تفاوت ایجاد نمود و بر این مبنا می‌توان مدیریت مکان‌های پرخطر و همچنین مکان‌های دارای بیشترین احتمال را اولویت بندی نمود. با در نظر گرفتن نتایج حاصل می‌توان نتیجه گرفت که نرم‌افزار CAMEL دارای قابلیت‌های مناسبی در پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله در پهنه مطالعاتی دارا می‌باشد اما در پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها در حالت استاتیک دارای قابلیت مناسبی نمی‌باشد. با توجه به نتایج این پژوهش امید است در راستای مقابله با پدیده زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله گامی مؤثر برداشته شده باشد. تا دیگر شاهد بروز سوانح ناگوار در کشورمان نباشیم.

۵-۲- افق‌های ادامه تحقیق

از آنجا که هیچ مدل ساخته شده‌ای تا کنون نتوانسته است که طبیعت را به صورت کاملاً دقیق مدل‌سازی کند، مدل به کار برده شده نیز قطعاً دارای نواقص و ضعف‌هایی است که امید می‌رود در آینده اصلاح و با دقت بهتری به کار برده شود. از این رو نکاتی چند در باب فعالیت‌های پس از این گفته می‌شود.

۱- با توجه به نقش اساسی نوع مصالح در مدل به کار برده شده توصیه می‌شود نقشه‌های نوع مصالح به تفکیک خاکی (کمتر از ۳/۳۳ و یا بیشتر از ۳/۳۳ متر) و یا سنگی در محدوده مورد مطالعه تهیه و ارتباط بین زمین‌لغزش‌های پیش‌بینی شده با میزان مقاومت این نوع از مصالح نیز بررسی گردد.

۲- از آنجایی که نرم‌افزار پیش رو توانایی پهنه‌بندی انواع زمین‌لغزش‌ها را به جز زمین‌لغزش‌های گسترش جانبی دارد پیشنهاد می‌شود راهکاری برای دخیل کردن انواع زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله همچون گسترش جانبی در مدل ارائه گردد.

۳- با توجه به تفاوت اقلیمی منطقه مورد مطالعه با منطقه‌ای در ایالت کالیفرنیا که نرم‌افزار عمدتاً با توجه به شرایط محیطی آن طرح‌ریزی شده است. تغییر محدوده متغیرها از طریق جابجایی حدود توابع فازی در محیط برنامه‌نویسی VBA^{۸۷} به جهت تطابق بیشتر با محدوده مطالعاتی پیشنهاد می‌گردد.

۴- پیشنهاد می‌گردد با دخیل نمودن پارامترهای دیگر لغزش، همچون سرعت و حجم زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله برای ایجاد درکی بهتر از این پدیده و پیش‌بینی هرچه بهتر آن اقدام گردد.

۵- از آنجا که سرعت امواج ناشی از زلزله در مصالح با مقاومت‌های مختلف متفاوت است، پیشنهاد می‌گردد با استفاده از سرعت امواج برشی خاصیت تشدید امواج در آبرفت‌ها و دره‌ها نقشه پهنه‌بندی لرزه‌ای دوباره ترسیم و پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها مجدداً انجام پذیرد

⁸⁷ Visual Basic For Application

فہرست منابع

منابع فارسی

- ۱- امیر احمدی، ا.، کامرانی دلیر، ح.، صادقی، م.، (۱۳۸۹). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش سلسله مراتبی، مطالعه موردی حوضه آبخیز چلاو آمل. فصلنامه علمی- پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، سال هشتم، شماره ۲۷.
- ۲- آقائباتی، س.، ع.، (۱۳۸۳). زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ص ۴۵۵.
- ۳- بربریان، م.، قرشی، م.، طالبیان، م.، شجاع طاهری، ج.، (۱۳۷۱). لرزه زمین ساخت و خطر زمین‌لرزه گسلش در گستره سمنان. گزارش شماره ۶۳، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ۴- بربریان، م.، قریشی، م.، ارژنگ روش، ب.، مهاجر اشجعی، ا.، (۱۳۶۴). پژوهش و بررسی ژرف نو زمین ساخت، خطر زمین‌لرزه - گسلش در گستره تهران و پیرامون. سایت سازمان زمین‌شناسی کشور. پارسایی، ل. ا.، علیمحمدی، ص.، (۱۳۹۱). زمین‌لغزش در ایران. انتشارات جهاد دانشگاهی .
- ۵- شنه لب، م.، صفارپور، ن.، افیونی، د.، (۱۳۸۵). سیستم های فازی و کنترل فازی. دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
- ۶- حافظی مقدس، ن.، غفوری، م.، (۱۳۸۸). زمین‌شناسی زیست محیطی. انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۷- حائری، م.، و سمیعی، ا.، (۱۳۷۶). روش جدید پهنه‌بندی مناطق شیبدار در برابر خطر زمین-لغزش با تکیه بر بررسی‌های پهنه‌بندی استان مازندران.
- ۸- حسامی، خ.، جمالی، ف.، طبسی، ه.، (۱۳۸۲). نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰۰ گسل‌های فعال ایران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
- ۹- درویش زاده، ع.، (۱۳۸۸). زمین‌شناسی ایران (چینه‌شناسی، تکتونیک، دگرگونی و ماگماتیسم). انتشارات امیر کبیر.
- ۱۰- زارع، م.، (۱۳۸۳). گزارش نهایی مطالعات تحلیل خطر زمین‌لرزه تهران، پژوهشگاه بین‌المللی و زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، شورای پژوهش‌های علمی کشور، کمیسیون عمران و زلزله، وزارت علوم و تحقیقات و فناوری، برنامه ملی تحقیقات (شماره ثبت ۵۰۲۰).

- ۱۱- صفاری، ا.، مقیمی، ا.، (۱۳۸۷). ارزیابی ژئومرفولوژیکی توسعه شهری و آسیب‌پذیری ناشی از زمین‌لغزش در دامنه‌های کوهستانی کلانشهر تهران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۷، بهار ۱۳۸۸.
- ۱۲- علیجانی، ب.، قهرودی، م.، امیر احمدی، ا.، (۱۳۸۹). پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در دامنه‌های شمالی شاه جهان با استفاده از GIS. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی.
- ۱۳- فاطمی عقدا، س. م.، غیومیان، ج.، تشنه لب، م.، اشقلی فراهانی، ع.، (۱۳۸۳). بررسی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی منطقه رودبار). مجله علوم دانشگاه تهران، جلد سی و یکم، شماره ۱.
- ۱۴- فاطمی عقدا، س. م.، مهدویفر، م. ر.، باقری، و.، (۱۳۹۱). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله ۱۳۷۵ سرعین، ایران با استفاده از روش‌های کیفی و کمی. نشریه زمین‌شناسی مهندسی، جلد هفتم، شماره ۱ بهار و تابستان ۱۳۹۲.
- ۱۵- کسمایی، م.، (۱۳۷۰). نقشه پهنه‌بندی اقلیمی ایران مسکن و محیط‌های مسکونی. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن وزارت مسکن و شهرسازی.
- ۱۶- کیا، م.، (۱۳۸۹). منطق فازی در MATLAB. خدمات نشر کیان رایانه سبز.
- ۱۷- محمدی اصل، ز.، (۱۳۹۰). شرایط زمین‌شناسی شهر تهران. سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران.
- ۱۸- معماریان، پ.، (۱۳۸۹). پژوهش ۲ دوره دکتری. پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
- ۱۹- مغفوری مقدم، ا.، پازوکی، ا.، زارعی سهامیه، ر.، (۱۳۸۱). زمین‌شناسی ایران. نشر عقیل.
- ۲۰- مهدویفر، م. ر.، (۱۳۸۵). ارزیابی تحلیلی و طراحی سامانه مدیریت ریسک زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله در کشور. پایان دکتری ژئوفیزیک و زلزله‌شناسی. پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

۲۱- مهدی علی نیا، آ.، (۱۳۹۰). شناسایی نواحی مستعد زمین لغزش با استفاده از روش تحلیلی و آماری شاخص همپوشانی و مقایسه نتیجه آن به روش شبکه عصبی مصنوعی (در گستره مطالعاتی چهار گوشه برگه ۱:۲۵۰۰۰۰ تهران). پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات.

۲۲- میرصانعی، ر.، مهدویفر، م.، ر.، (۱۳۸۵). تهیه راهنمای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در ایران. پژوهشکده سوانح طبیعی.

۲۳- نصیری، ش.، (۱۳۸۳). نگرشی بر زمین لغزش‌های ایران، بررسی موردی ناپایداری شیب‌ها در جاده هراز. پایگاه ملی داده‌های علوم زمین، صفحه ۱۹ تا ۲۱.

۲۴- نصیری، ش.، ارومیه‌ای، ع.، (۱۳۸۴). خطر زمین لغزش‌های حاصل از زلزله در شمال تهران. چهارمین همایش زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران.

منابع لاتین

1. Aleotti, P., chowdhury, R., 1999. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. Bulletin of engineering geology and environment.
2. Carson M., Kirby M., 1972. Hillslope form and processes. Cambridge university press, Cambridge.
3. Combs, W.E., Andrews, J.E., 1998. Combinatorial rule explosion eliminated by a fuzzy rule configuration. IEEE Transactions on Fuzzy Systems.
4. Cruden, D. M., 1991. A Simple Definition of a landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology.
5. Cruden, D.M. and Varnes, D.J., 1996. Landslide types and processes. In Landslides, Investigation and Mitigation. Special Report 247, Transportation Research Board, Washington, pp. 36-75.
6. Gee, M. D. 1992. Classification of Landslide Hazard Zonation Methods and a Test of Predictive Capability. Proc. 6 th International Symposium on Landslides, Christchurch, New Zealand, 2: 947-952.

7. Harp, E. L., Jibson, R. W., 1995. Inventory of Landslides triggered by the Northridge, California earthquake. U. S. Geological Survey.
8. Harp, E.L., Jibson, R.W., 1996. Landslides Triggered by the 1994 Northridge, California Earthquake. Bulletin of the Seismological Society of America.
9. Japan International Cooperation Agency (JICA). , 2000 —The study on seismic microzoning of the greater Tehran area in the Islamic republic of Iran, Pacific consultations international,
10. Jibson, R.W., 1993. Predicting Earthquake-Induced Landslide Displacement Using Newmark's Sliding Block Analysis. Transportation Research Record 1411, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
11. Jibson, R.W., Harp, E.L., Michael, J.M., 2000. A method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard maps. Engineering Geology.
12. Keefer, D.K., 1984. Landslides caused by earthquakes. Bulletin of the Geological Society of America.
13. Keefer, D.K., 1993. The susceptibility of rock slopes to earthquake-induced failure. Association of Engineering Geologists Bulletin.
14. Keefer, D.K., 1999. Earthquake-induced landslides and their effects on alluvial fans. Journal of Sedimentary Research.
15. Keefer, D.K., 2000. Statistical analysis of an earthquake-induced landslide distribution -the 1989 Loma Prieta, California event. Engineering Geology.
16. Keefer, D.K., 2002. Investigating landslides caused by earthquakes, A historical review. U.S. Geological Survey.
17. Liao, C., Lee C.T., Liao, H., 2002. Statistical analysis of factors affecting landslides triggered by the 1999 Chi-Chi, Taiwan Earthquake. American Geophysical Union Meeting, San Francisco.
18. Miles, S. B., 2010. Participatory model assessment of earthquake-induced landslide hazard models. Natural Hazards Center.
19. Miles, S. B., Keefer, D. K., 2000. Evaluation of seismic slope–performance models using a regional case study. Environmental& Engineering Geoscience.
20. Miles, S. B., Keefer, D. K., 2007. Comprehensive areal model of earthquake-induced landslides: Technical specification and user guide. U.S. Geological Survey.

21. Miles, S. B., Keefer, D. K., 2009. Evaluation of CAMEL — comprehensive areal model of earthquake-induced landslides. *Engineering Geology* 104.
22. Miles, S.B., Keefer, D.K., 2007. A Comprehensive Areal Model of Earthquake-Induced Landslides using Fuzzy Logic Systems. International Conference on Urban Disaster Reduction, Taipei, Taiwan, November 27-29, 2007.
23. Newmark, N. M., 1965. Effect of Earthquakes on Dams and Embankments. *Geotechnique*.
24. Parise, M., and Jibson, R., 2000. A seismic landslide susceptibility rating of geologic units based on analysis of characteristics of landslides triggered by the 17 January, 1994 Northridge, California earthquake. *Engineering Geology*.
25. Pourghsemi, R., Biswajeet, P., Gokceoglu, C., 2012. Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran. *National Hazards*, 63:965-996.
26. Rodriguez, C., Bommer, J., Chandler, R., 1999. Earthquake-induced landslides: 1980-1997. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*.
27. Roger Jang, J., S., Gulley, N., 1995. *Fuzzy Logic Toolbox User's Guide*. The MathWorks, Inc.
28. Seed, H. B., 1968. Landslides during earthquakes due to soil liquefaction. American Society of Civil Engineers, *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division*.
29. Seed, H. B., 1979. Soil liquefaction and cyclic mobility evaluation for level ground during earthquakes. American Society of Civil Engineers, *Journal of the Geotechnical Engineering Division*.
30. Varnes, D.J., 1978. Slope Movements and Types and Processes. In: *Landslides: Analysis and control*, Transportation Research. Board National.
31. Varnes, D.J., 1984., *Landslide Hazard Zonation: a Review of Principles and Practice*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), France.
32. Wilson, R. G ., Keefer, D. K., 1983. Dynamic analysis of a slope failure from the 1979 Coyote Lake, California, earthquake. *Seismological Society of America Bulletin*.
33. Wilson, R.C., 1993. Relation of Arias Intensity to Magnitude and Distance in California. US Geological Survey.

34. Wilson, R.C., Keefer, D.K.,1985. Predicting Areal Limits of Earthquake- Induced Landsliding. U.S. Geological Survey.
35. Yin, K. L. and Yan, T. Z 1988. Statistical prediction models for slope instability of metamorphosed rocks. In Bonnard, C. (Ed.), Landslides, Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides, 2, Balkema, Rotterdam, 1269–1272.
36. Youd, T. L., Hoose, S. N., 1977. Liquefaction susceptibility and geologic setting. in Proceedings, World Conference on Earthquake Engineering, 6th, New Delhi, Indian Society of Earthquake Technology.
37. Zadeh, L. A., 1965. Fuzzy sets. Information and Control.

پوست

پیوست ۱:

جدول (پ ۱-۱): فهرست زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی مورد استفاده

Latitude	Longitude	Depth	Magnitude	Magnitude(Mw)	Date(yyyy/mm/dd)
35.3	52.2			7.2	743
35.6	51.5			7.1	855
35.7	51			5.4	864
36	51.1			7.7	958
35.7	49.9			6.5	1119
35.7	50.7			7.2	1177
36.4	50.5			7.6	1608
35.7	52.1			6.5	1665
36.3	52.6			6.5	1678
36.4	50.3			5.9	1808
36.3	52.5			6.5	1809
36.1	52.6			6.7	1825
35.7	52.5			7.1	1830
34.9	52.5			6.4	1868
36.39	50.48		Ms:5.4	5.5	1901-05-20
36.5	52.04	14	M:5	5	1940-09-25
35.76	51.99		Ms:5.2	5.3	1930-10-02
36	52.8	17	Ms:5.4	5.5	1935-04-12
34.8	52.1		mb:5	5	1951-04-22
34.8	52.1		mb:5.5	5.5	1937-04-07
35.18	52.4	33	mb:4.7	4.7	1945-05-11
35.77	52.57	29	mb:4.3	4.3	1973-10-27
35.13	50.76	25	mb:4.8	4.8	1970-06-27
34.64	50.36	15	mb:4.7	4.7	1971-04-30
35.02	52.64	33	M:3.9	3.9	1973-06-30
35.06	50.16	22	mb:5.2	5.2	1968-04-26
35.3	52		M:4.5	4.5	1954-09-02
36.2	50.8		mb:4	4	1960-07-10

36.61	51.42	63	M:4.5	4.5	1958-11-02
36.4	51.5		Ms:4.8	5	1957-05-06
35.11	52.31	15	MS:5.4	5.5	1982-10-25
34.84	52.01	23	mb:5.3	5.3	1977-05-25
36.1	50.75	15	mb:4.8	4.8	1966-11-08
36.54	51.11	10	mb:4.7	4.7	1973-09-17
36.07	52.47		mb:7	6.8	1957-07-02
35.4	51.9	144	mb:4.5	4.5	1967-02-16
35.25	52.38		mb:4.5	4.5	1980-12-19
36.93	51.32	33	mb:4.4	4.4	1983-12-21
36.85	50.85	15	mb:4.8	4.8	1983-12-20
34.87	52.45	26	mb:4.6	4.6	1979-03-25
35.71	49.81		Ms:7.2	7.2	1962-09-01
36.38	51.16	33	M:5.3	5.3	1959-05-01
35.8	51.8		M:4	4	1960-06-01
36.2	52.76	30	mb:5.2	5.2	1971-08-09
36.04	52.29	20	Mw:5.5	5.5	1983-03-25
35.2	52.1	33	mb:4.6	4.6	1979-02-22
36.01	51.31	78	mb:4.1	4.1	1970-10-03
35.32	52.34	23	Mw:5.3	5.3	1988-08-22
36.22	52.92	15	mb:4.6	4.6	1974-11-05
36.34	52.65	33	mb:4.5	4.5	1979-03-18
35.62	50.26	15	mb:4.7	4.7	1975-04-11
36.29	52.72	35	mb:5.1	5.1	1992-09-22
35.58	52.66	15	mb:4.7	4.7	1985-10-14
36.05	51.91	44	mb:4.5	4.5	1994-11-21
35.81	51.95	33	M:4.6	4.6	1974-01-10
36.6	51.19	22	MS:4.2	4.5	1995-06-26
35.88	52.97	15	mb:4.2	4.2	1996-08-25
35.97	52.57	28	mb:3.5	3.5	2003-09-30
35.17	52.1	16	mb:4.6	4.6	1993-08-19
35.17	50.5	15	mb:4.7	4.7	2003-12-24

36.78	51.85	33	mb:4.3	4.3	1985-02-16
36.8	50.96	15	mb:4.2	4.2	1998-12-19
35.44	52.32	33	mb:4.5	4.5	1991-01-22
35.6	52.53	33	mb:3.8	3.8	1997-06-23
36.54	52	6	ML:3.5	3.5	2006-08-30
35.9	52.97	30	Mw:6	6	1990-01-20
36.45	51.27		mb:4.7	4.7	1981-08-04
34.65	50.56	7	ML:3.8	3.8	2004-10-25
34.74	50.98	33	mb:4.5	4.5	1982-07-05
36.42	50.21	15	mb:3.9	3.9	1999-03-26
34.47	51.02	13	ML:3.7	3.7	2001-07-24
35.06	51.48	17	ML:3.5	3.5	2010-11-29
36.26	51.57	27	Ms:6.4	6.4	2004-05-28
35.53	52.12	16	ML:3.8	3.8	2004-09-24
35.59	49.92	15	ML:3.8	3.8	2011-12-28
35.84	52.18	4	mb:3.6	3.6	2001-06-24
35.91	52.66	15	ML:3.5	3.5	2004-06-27
34.47	50.69	62	mb:4.7	4.7	1985-02-11
36.17	50.43	15	ML:4	4	2009-07-29
34.91	51.94	24	ML:4.6	4.6	2007-08-25
36.28	52.42	75	mb:4.2	4.2	2002-10-18
35.74	51.89	14	ML:4.1	4.1	2006-12-20
35.36	52.69	33	mb:4.2	4.2	2003-06-22
34.74	52.45	14	ML:4.1	4.1	2011-08-28
35.93	52.71	1	ML:3.7	3.7	2002-12-15
35.61	51.62	15	mb:3.5	3.5	2003-09-19
35.63	52.86	24	mb:4.5	4.5	2003-06-21
36.78	52.03	33	mb:4.3	4.3	1993-05-12
36.29	51.55	12	mb:4.1	4.1	2002-05-21
35.58	52.78	15	ML:3.5	3.5	2002-08-18
35.01	50.05	14	ML:4.3	4.3	2005-03-25
34.88	50.14	14	ML:3.5	3.5	2006-02-27

34.8	52.64	18	ML:4.5	4.5	2010-11-21
36.82	51.34	7	ML:4.2	4.2	2012-07-27
35.93	52.78	14	ML:3.7	3.7	2010-03-29
34.82	51.91	14	ML:3.5	3.5	2012-09-25
36.25	52.73	14	ML:4.5	4.5	2008-03-26
36.52	51.67	14	ML:3.5	3.5	2013-05-29
36.26	52.66	26	MS:4.4	4.7	2001-05-16
35.7	52.55	15	ML:3.8	3.8	2008-04-24
35.12	52.25	18	mb:3.5	3.5	2003-10-13
35.18	52.69	14	ML:3.5	3.5	2008-12-16
34.94	51.37	44	mb:4.2	4.2	1997-11-05
36.58	51.14	33	mb:3.8	3.8	1996-01-14
34.92	50.93	15	ML:3.5	3.5	2002-12-09
35.89	52.33	33	mb:4.7	4.7	2002-10-10
36.54	51	15	mb:4.4	4.4	1993-03-08
35.98	50.45	14	ML:3.9	3.9	2006-02-22
35.47	51.57	15	ML:3.9	3.9	2009-10-17
34.52	50.84	17	ML:5.6	5.6	2007-06-18
36.06	50.97	46	mb:4.3	4.3	1998-12-03
35.33	52.11	11	ML:3.8	3.8	2001-02-16
35.74	52.66	14	ML:3.7	3.7	2010-01-26
34.48	50.79	16	mb:4.5	4.5	1988-03-01
36.51	50.36	28	MS:4.2	4.5	1997-06-07
35.19	52.88	33	mb:3.9	3.9	2002-05-13
34.54	52.11	14	ML:3.7	3.7	2010-02-24
36.22	52.08	33	mb:3.6	3.6	1998-07-07
36.3	52	8	ML:3.6	3.6	2000-08-08
34.92	52.64	15	ML:3.5	3.5	2008-09-15
35.79	52.45	16	ML:3.8	3.8	2013-06-21
36.34	52.01	14	ML:4.2	4.2	2009-08-14
35.8	51.87	9	ML:3.8	3.8	2012-08-17
34.6	50.48	14	ML:3.7	3.7	2005-07-11

36.38	52.15	15	mb:4.6	4.6	1998-01-09
35.87	52.86	14	ML:4.2	4.2	2010-01-20
35.47	51.78	26	ML:4.2	4.2	2011-02-20
36	52.66	28	mb:3.6	3.6	2003-12-02
36.42	51.99	9	mb:4.8	4.8	2002-04-08
35.34	51.95	14	ML:3.6	3.6	2013-05-18
35.69	51.68	9	ML:4	4	2003-03-09
35.55	50	17	ML:3.7	3.7	2011-06-14
34.47	51.09	14	ML:3.5	3.5	2005-04-10
35.46	52.62	14	ML:3.8	3.8	2013-10-09
35.77	52.6	14	ML:3.7	3.7	2009-06-09
34.48	50.83	15	ML:3.9	3.9	2011-04-11
34.79	52.62	14	ML:3.5	3.5	2013-09-08
36.37	51.32	34	ML:3.8	3.8	2007-06-04
36.4	51.84	6	ML:3.8	3.8	2010-03-09
35.19	52.05	16	ML:3.6	3.6	2011-12-01
36.37	52.83	16	ML:5.2	5.2	2012-01-11
35.59	52.42	14	ML:4.6	4.6	2012-02-10
35.51	51.95	14	ML:3.9	3.9	2011-04-06
35.77	51.94	13	ML:3.7	3.7	2012-07-02

پیوست ۲:

مشخصات کامل بلوک قوانین بخش خطر CAMEL

پ ۱-۲. بهمن سنگی

جدول (پ ۱-۲): بلوک قوانین حساسیت استاتیکی برای بهمن‌های سنگی.

اگر			آنگاه	
h رده زمین	LandslideType	h زاویه شیب	DOS	RAvStaticInt
خیلی خوب	بهمن سنگی		۰,۷۵	خیلی کم
خوب	بهمن سنگی		۰,۷۵	کم
متوسط	بهمن سنگی		۰,۷۵	متوسط
ضعیف	بهمن سنگی		۰,۷۵	زیاد
خیلی ضعیف	بهمن سنگی		۰,۲۵	خیلی زیاد
	بهمن سنگی	متوسط	۰,۲۵	خیلی کم
	بهمن سنگی	نسبتاً تند	۰,۲۵	کم
	بهمن سنگی	تند	۰,۲۵	متوسط
	بهمن سنگی	خیلی تند	۰,۲۵	زیاد
	بهمن سنگی	فوق العاده تند	۰,۲۵	خیلی زیاد
	بهمن سنگی	تقریباً عمودی	۰,۲۵	خیلی زیاد

جدول (پ ۲-۲): بلوک قانون ویرایشگرها برای بهمن‌های سنگی

اگر		آنگاه	
h فاصله از بهم ریختگی	RAvStaticInt	DOS	RAvStatic
	خیلی کم	۱,۰۰	خیلی کم
	کم	۱,۰۰	کم
	متوسط	۱,۰۰	متوسط
	زیاد	۱,۰۰	زیاد
	خیلی زیاد	۱,۰۰	خیلی زیاد
نزدیک	خیلی کم	۰,۵	کم
نزدیک	کم	۰,۵	متوسط
نزدیک	متوسط	۰,۵	زیاد

خیلی زیاد	۰,۵	زیاد	نزدیک
خیلی زیاد	۰,۵	خیلی زیاد	نزدیک

RAV/Static	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم
	کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	کم
	متوسط	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	کم	متوسط
	زیاد	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد
	خیلی زیاد	خیلی کم	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
	خیف	متوسط	قوی	خیلی قوی	سخت	تمدید	بی نهایت

h شدت زلزله

شکل (پ ۲-۱): بلوک قانون خطر لرزه‌ای برای بهمن‌های سنگی.

پ ۲-۲. ریزش‌ها و لغزش‌های سنگی گسسته

جدول (پ ۲-۳): بلوک قوانین حساسیت استاتیکی برای ریزش‌ها و لغزش‌های سنگی گسسته.

اگر			آنگاه	
h رده زمین	LandslideType	h زاویه شیب	DOS	RFallStatisticInt
خیلی خوب	ریزش سنگی		۰,۸۰	خیلی کم
خوب	ریزش سنگی		۰,۸۰	کم
متوسط	ریزش سنگی		۰,۸۰	متوسط
ضعیف	ریزش سنگی		۰,۸۰	زیاد
خیلی ضعیف	ریزش سنگی		۰,۸۰	خیلی زیاد
	ریزش سنگی	نسبتاً تند	۰,۲۰	خیلی کم
	ریزش سنگی	تند	۰,۲۰	کم
	ریزش سنگی	خیلی تند	۰,۲۰	متوسط
	ریزش سنگی	فوق العاده تند	۰,۲۰	زیاد
	ریزش سنگی	تقریباً عمودی	۰,۲۰	خیلی زیاد

جدول (پ ۲-۴). بلوک قانون ویرایشگرها برای ریزش‌ها و لغزش‌های سنگی گسسته

اگر				آنگاه	
h فاصله از بهم ریختگی	h رطوبت	RFallStaticInt	h پوشش گیاهی	DOS	RFallStatic
		خیلی کم	متراکم	۱,۰۰	خیلی کم
		کم	متراکم	۱,۰۰	خیلی کم
		خیلی کم		۱,۰۰	خیلی کم
		متوسط	متراکم	۰,۳۴	کم
	نه خیلی کم	خیلی کم		۰,۳۴	کم
		کم		۱,۰۰	کم
نزدیک		خیلی کم		۰,۳۴	کم
		زیاد	متراکم	۰,۳۴	متوسط
	نه خیلی کم	کم		۰,۳۴	متوسط
		متوسط		۰,۳۴	متوسط
نزدیک		کم		۰,۳۴	متوسط
		خیلی زیاد	متراکم	۰,۳۴	زیاد
	نه خیلی کم	متوسط		۰,۳۴	زیاد
		زیاد		۱,۰۰	زیاد
نزدیک		متوسط		۰,۳۴	زیاد
	نه خیلی کم	خیلی زیاد		۰,۳۴	خیلی زیاد
	نه خیلی کم	زیاد		۰,۳۴	خیلی زیاد
		خیلی زیاد		۱,۰۰	خیلی زیاد
نزدیک		زیاد		۰,۳۴	خیلی زیاد
نزدیک		خیلی زیاد		۰,۳۴	خیلی زیاد

RFallStatic	خیلی کم	کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	کم
	کم	کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	کم	کم
	متوسط	متوسط	خیلی کم	کم	کم	متوسط	متوسط
	زیاد	زیاد	کم	کم	متوسط	زیاد	زیاد
	خیلی زیاد	خیلی زیاد	متوسط	متوسط	زیاد	زیاد	خیلی زیاد
	خیفیف	متوسط	قوی	خیلی قوی	سخت	شدید	بسی نهایت
	h شدت زلزله						

شکل (پ ۲-۲): بلوک قانون خطر لرزه‌ای برای ریزش‌ها و لغزش‌های سنگی گسسته.

پ ۲-۳. لغزش‌های چرخشی و بلوکی سنگی

جدول (پ ۲-۵): بلوک قوانین حساسیت استاتیکی برای لغزش‌های چرخشی و بلوکی سنگی.

اگر				آنگاه	
h رده زمین	Landslide Type	h رطوبت	h زاویه شیب	DOS	RSlump StatiticInt
خیلی خوب	چرخش سنگی			۰,۴	خیلی کم
خوب	چرخش سنگی			۰,۴	کم
متوسط	چرخش سنگی			۰,۴	متوسط
ضعیف	چرخش سنگی			۰,۴	زیاد
خیلی ضعیف	چرخش سنگی			۰,۴	خیلی زیاد
	چرخش سنگی	خیلی کم		۰,۴	خیلی کم
	چرخش سنگی	کم		۰,۴	کم
	چرخش سنگی	متوسط		۰,۴	متوسط
	چرخش سنگی	زیاد		۰,۴	زیاد
	چرخش سنگی	خیلی زیاد		۰,۴	خیلی زیاد
	چرخش سنگی		جزئی	۰,۲	خیلی کم
	چرخش سنگی		نسبتاً جزئی	۰,۲	کم
	چرخش سنگی		متوسط	۰,۲	متوسط
	چرخش سنگی		نسبتاً تند	۰,۲	زیاد

	چرخش سنگی		تند	۰,۲	خیلی زیاد
	چرخش سنگی		خیلی تند	۰,۳	خیلی زیاد
	چرخش سنگی		فوق العاده تند	۰,۴	خیلی زیاد
	چرخش سنگی		تقریباً عمودی	۰,۵	خیلی زیاد

جدول (پ ۲-۶): بلوک قانون ویرایشگرها برای لغزش‌های چرخشی و بلوکی سنگی.

اگر			آنگاه	
h فاصله از بهم ریختگی	RSlumpStaticInt	h پوشش گیاهی	DOS	RSlumpStatic
	خیلی کم		۱,۰۰	خیلی کم
	کم	متراکم	۱,۰۰	خیلی کم
	خیلی کم	متراکم	۱,۰۰	خیلی کم
	متوسط		۱,۰۰	کم
	خیلی کم	متراکم	۰,۵	کم
نزدیک	کم		۰,۵	کم
	خیلی کم		۱,۰۰	متوسط
	زیاد	متراکم	۰,۵	متوسط
نزدیک	کم		۰,۵	متوسط
	متوسط		۱,۰۰	زیاد
	کم	متراکم	۰,۵	زیاد
نزدیک	خیلی زیاد		۰,۵	زیاد
	متوسط		۱,۰۰	خیلی زیاد
نزدیک	زیاد		۱,۰۰	خیلی زیاد
نزدیک	متوسط		۱,۰۰	خیلی زیاد

RSlumpStatic	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم
	کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	کم	کم
	متوسط	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	کم	متوسط	متوسط
	زیاد	خیلی کم	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	زیاد
	خیلی زیاد	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	زیاد	خیلی زیاد
	ضعیف	متوسط	قوی	خیلی قوی	سخت	شدید	بسی نهایت
	h شدت زلزله						

شکل (پ ۲-۳): بلوک قانون خطر لرزه‌ای برای لغزش‌های چرخشی و بلوکی سنگی.

پ ۲-۴. لغزش‌های خاکی گسسته، ریزش‌های خاکی و بهمن‌های خاکی

جدول (پ ۲-۷): بلوک قانون حساسیت استاتیکی برای لغزش‌های خاکی گسسته، ریزش‌های خاکی و بهمن‌های خاکی

اگر		آنگاه		
h رده زمین	Landslide Type	h زاویه شیب	DOS	SFallStatisticInt
خیلی خوب	ریزش خاکی		۰,۷۵	خیلی کم
خوب	ریزش خاکی		۰,۷۵	کم
متوسط	ریزش خاکی		۰,۷۵	متوسط
ضعیف	ریزش خاکی		۰,۷۵	زیاد
خیلی ضعیف	ریزش خاکی		۰,۷۵	خیلی زیاد
	ریزش خاکی	جزئی	۰,۲۵	خیلی کم
	ریزش خاکی	نسبتاً جزئی	۰,۲۵	کم
	ریزش خاکی	متوسط	۰,۲۵	کم
	ریزش خاکی	نسبتاً تند	۰,۲۵	متوسط
	ریزش خاکی	تند	۰,۲۵	متوسط
	ریزش خاکی	خیلی تند	۰,۲۵	زیاد
	ریزش خاکی	فوق العاده تند	۰,۲۵	زیاد
	ریزش خاکی	تقریباً عمودی	۰,۲۵	خیلی زیاد

جدول (پ ۲-۸): بلوک قانون ویرایشگرها برای لغزش‌های خاکی گسسته ، ریزش‌های خاکی و بهمن‌های خاکی

اگر				آنگاه	
فاصله از بهمن ریختگی	h رطوبت	SFallStaticInt	h پوشش گیاهی	DOS	SFallStatic
		خیلی کم	متراکم	۱,۰۰	خیلی کم
		کم	متراکم	۱,۰۰	خیلی کم
		خیلی کم		۱,۰۰	خیلی کم
		متوسط	متراکم	۰,۳۴	کم
نزدیک		خیلی کم		۰,۳۴	کم
	نه خیلی کم	خیلی کم		۰,۳۴	کم
		کم		۱,۰۰	کم
		زیاد	متراکم	۰,۳۴	متوسط
نزدیک		کم		۰,۳۴	متوسط
	نه خیلی کم	کم		۰,۳۴	متوسط
		متوسط		۱,۰۰	متوسط
		خیلی زیاد	متراکم	۰,۳۴	زیاد
نزدیک		متوسط		۰,۳۴	زیاد
	نه خیلی کم	متوسط		۰,۳۴	زیاد
		زیاد		۱,۰۰	زیاد
نزدیک		زیاد		۰,۵۰	خیلی زیاد
نزدیک		خیلی زیاد		۰,۵۰	خیلی زیاد
	نه خیلی کم	زیاد		۰,۵۰	خیلی زیاد
	نه خیلی کم	خیلی زیاد		۰,۵۰	خیلی زیاد
		خیلی زیاد		۱,۰۰	خیلی زیاد

SFallStatic	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	کم
	کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	کم	کم
	متوسط	خیلی کم	خیلی کم	کم	کم	متوسط	متوسط
	زیاد	خیلی کم	کم	متوسط	متوسط	زیاد	زیاد
	خیلی زیاد	کم	کم	متوسط	زیاد	زیاد	خیلی زیاد
	ضعیف	متوسط	قوی	خیلی قوی	سخت	شدید	بسیار
	h شدت زلزله						

شکل (پ ۲-۴): بلوک قانون خطر لرزه‌ای برای لغزش‌های خاکی گسسته، ریزش‌های خاکی و بهمن‌های خاکی.

پ ۲-۵: لغزش‌های چرخشی و بلوکی خاکی

جدول (پ ۲-۹): بلوک قوانین حساسیت استاتیکی برای لغزش‌های چرخشی و بلوکی خاکی.

اگر				آنگاه	
h رده زمین	Landslide Type	h رطوبت	h زاویه شیب	DOS	SSlump StatiticInt
	چرخش خاکی		خیلی جزئی	۰,۲۰	خیلی کم
	چرخش خاکی		جزئی	۰,۲۰	خیلی کم
	چرخش خاکی		نسبتاً جزئی	۰,۲۰	کم
	چرخش خاکی		متوسط	۰,۲۰	متوسط
	چرخش خاکی		نسبتاً تند	۰,۲۰	زیاد
	چرخش خاکی		تند	۰,۲۰	خیلی زیاد
	چرخش خاکی		خیلی تند	۰,۳۰	خیلی زیاد
	چرخش خاکی		فوق العاده تند	۰,۴۰	خیلی زیاد
	چرخش خاکی		تقریباً عمودی	۰,۵۰	خیلی زیاد
خیلی خوب	چرخش خاکی			۰,۴۰	خیلی کم
خوب	چرخش خاکی			۰,۴۰	کم
متوسط	چرخش خاکی			۰,۴۰	متوسط
ضعیف	چرخش خاکی			۰,۴۰	زیاد

خیلی زیاد	۰,۴۰			چرخش خاکی	خیلی ضعیف
خیلی کم	۰,۴۰	خیلی کم		چرخش خاکی	
کم	۰,۴۰	کم		چرخش خاکی	
متوسط	۰,۴۰	متوسط		چرخش خاکی	
زیاد	۰,۴۰	زیاد		چرخش خاکی	
خیلی زیاد	۰,۴۰	خیلی زیاد		چرخش خاکی	

جدول (پ ۲-۱۰): بلوک قانون ویرایشگرها برای لغزش‌های چرخشی و بلوکی خاکی.

اگر			آنگاه	
h فاصله از بهم ریختگی	SSlumpStaticInt	h پوشش گیاهی	DOS	SSlumpStatic
	خیلی کم	متراکم	۱,۰۰	خیلی کم
	کم	متراکم	۱,۰۰	خیلی کم
	خیلی کم		۱,۰۰	خیلی کم
	متوسط	متراکم	۰,۵۰	کم
	کم		۱,۰۰	کم
نزدیک	خیلی کم		۰,۵۰	کم
	زیاد	متراکم	۰,۵۰	متوسط
	متوسط		۱,۰۰	متوسط
نزدیک	کم		۰,۵۰	متوسط
	خیلی زیاد	متراکم	۰,۵۰	زیاد
	زیاد		۱,۰۰	زیاد
نزدیک	متوسط		۰,۵۰	زیاد
	خیلی زیاد		۱,۰۰	خیلی زیاد
نزدیک	زیاد		۱,۰۰	خیلی زیاد
نزدیک	خیلی زیاد		۱,۰۰	خیلی زیاد

SSlumpStatic	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	کم	
	کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	کم	کم	متوسط	
	متوسط	خیلی کم	خیلی کم	کم	متوسط	متوسط	زیاد	
	زیاد	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	زیاد	خیلی زیاد	
	خیلی زیاد	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	خیلی زیاد	
		خفیف	متوسط	قوی	خیلی قوی	سخت	تندی	بی نهایت
		h شدت زلزله						

شکل (پ ۲-۵): بلوک قانون خطر لرزه‌ای برای لغزش‌های چرخشی و بلوکی خاکی.

پ ۲-۶. جریان‌های سریع خاکی

جدول (پ ۲-۱۱): بلوک قانون حساسیت استاتیکی برای جریان‌های خاکی سریع

اگر			آنگاه	
h رده زمین	LandslideType	h زاویه شیب	DOS	SFlowStatisticInt
خیلی خوب	جریان خاکی		۰,۷۵	خیلی کم
خوب	جریان خاکی		۰,۷۵	کم
متوسط	جریان خاکی		۰,۷۵	متوسط
ضعیف	جریان خاکی		۰,۷۵	زیاد
خیلی ضعیف	جریان خاکی		۰,۷۵	خیلی زیاد
	جریان خاکی	خیلی جزئی	۰,۲۵	خیلی کم
	جریان خاکی	جزئی	۰,۲۵	خیلی کم
	جریان خاکی	نسبتاً جزئی	۰,۲۵	کم
	جریان خاکی	متوسط	۰,۲۵	کم
	جریان خاکی	نسبتاً تند	۰,۲۵	متوسط
	جریان خاکی	تند	۰,۲۵	متوسط
	جریان خاکی	خیلی تند	۰,۲۵	زیاد
	جریان خاکی	فوق العاده تند	۰,۲۵	زیاد
	جریان خاکی	تقریباً عمودی	۰,۲۵	خیلی زیاد

جدول (پ ۲-۱۲): بلوک قانون ویرایشگرها برای جریان‌های سریع خاکی

اگر			آنگاه		
h فاصله از بهم ریختگی	h رطوبت	SFlowStaticInt	h پوشش گیاهی	DOS	SFlowStatic
		خیلی کم	متراکم	۱,۰۰	خیلی کم
		کم	متراکم	۱,۰۰	خیلی کم
		خیلی کم		۱,۰۰	خیلی کم
	خیلی زیاد	خیلی کم		۰,۳۴	کم
		متوسط	متراکم	۰,۳۴	کم
		کم		۱,۰۰	کم
نزدیک		خیلی کم		۰,۳۴	کم
	خیلی زیاد	کم		۰,۳۴	متوسط
		زیاد	متراکم	۰,۳۴	متوسط
		متوسط		۱,۰۰	متوسط
نزدیک		کم		۰,۳۴	متوسط
	خیلی زیاد	متوسط		۰,۳۴	زیاد
		خیلی زیاد	متراکم	۰,۳۴	زیاد
		زیاد		۱,۰۰	زیاد
نزدیک		متوسط		۰,۳۴	زیاد
	خیلی زیاد	زیاد		۰,۵۰	خیلی زیاد
	خیلی زیاد	خیلی زیاد		۰,۵۰	خیلی زیاد
		خیلی زیاد		۱,۰۰	خیلی زیاد
نزدیک		زیاد		۰,۵۰	خیلی زیاد
نزدیک		خیلی زیاد		۰,۵۰	خیلی زیاد

SFlowStatic	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم
	کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	کم	کم
	متوسط	خیلی کم	خیلی کم	خیلی کم	کم	متوسط	متوسط
	زیاد	خیلی کم	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	زیاد
	خیلی زیاد	خیلی کم	کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
	تخفیف	متوسط	قوی	خیلی قوی	سخت	شماره	بی نهایت
	h شدت زلزله						

شکل (پ ۲-۶): بلوک قانون خطر لرزه‌ای برای جریان‌های سریع خاکی.

پیوست ۳:

فهرست آمار بارش در ایستگاه‌های هواشناسی

جدول (پ ۳-۱): آمار بارش از سال ۱۹۹۵ تا ۱۹۹۹

Year	Station					
1999	431.7	560.9	354	720.7	367.9	Abali
1998	191.5	258.9	171.3	365.6	337.67	Chitgar
1997	187.3	324.1	157.7	353.3	147.3	Dushan
1996	363.7	361.7	187.5	398.4	185.8	Firouzkouh
1995	342.7	466	303.8	604	229.3	Firouzpoll
	243.3	368.8	185.2	511.1	149	Geophysics
	341.3	496.7	269.7	641.3	233.1	Northern Tehran
	173.3	238.6	144.7	351.7	138.5	Mehrabad Tehran
	181.9	265.3	142.7	315	181.5	Karaj
	393.5	534	543.5	588	461.5	Rodak
	542	576	614.5	680	568	Ahar
	325	481	483.5	585	450	Colac chal
	482	476.5	671	673	583.5	Garmabdar
	342.5	331	285.5	432.5	430.5	Allolak

جدول (پ ۳-۲): آمار بارش از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۴

2004	2003	2002	2001	2000	Year
					Station
630.3	599.4	557	429.4	440.9	Abali
302.8	308.1	325.7	203.6	245.8	Chitgar
298.3	344.7	323	164	223.6	Dushan
264.6	292.8	320	207.5	288.2	Firouzkouh
428.9	404.2	407.6	297	277	Firouzpoll
358.8	402.9	379.3	220.1	267.3	Geophysics
471.4	555.2	489.1	302	383	Northern Tehran
311.7	294.7	298	174	195.6	Tehran Mehrabad
270.1	268.4	262.1	173.5	240	Karaj
494.8	655	836	515	652.5	Rodak
638	813.5	869	608	743	Ahar
460	578	462.5	426.5	573	Colak chal
730.5	791	773	580.5	646.1	Garmabdar
349.5	594	526.3	374.9	377.4	Allolak

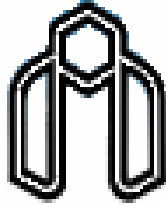
جدول (پ ۳-۳): آمار بارش از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹

2009	2008	2007	2006	2005	Year
					Station
537.1	305.2	1531.2	713.6	611.7	Abali
224	144.6	301.2	339.9	325.6	Chitgar
250.9	160.9	284	318.5	275.6	Dushan
286.7	190.4	411.2	338.1	297.7	Firouzkouh
399.1	294.3	529.9	464.2	546.9	Firouzpoll
259.3	211.9	363.9	379.4	365.8	Geophysics
385	257.4	488.3	505.9	490.2	Shomale Tehran
213.5	149.9	303.5	289.5	272.7	Tehran Mehrabad
264.5	167.9	392.5	354.9	300.6	Karaj
540.2	556.5	436.2	822.5	660.8	Rodak
645	680	386.5	688.2	747	Ahar
560	564	477.5	743.5	579.2	Colak chal
572.5	619.5	472.5	968.5	740.5	Garmabdar
497	351	276	596	525	Allolak

Abstract:

Despite every year growth of natural disasters, the disasters aftermath is decreasing in recent years due to a revolution. The revolution in information and communication technology caused the better and more efficient management of natural disasters. In Iran which is prone to natural disasters caused by earthquake, the use of intelligent methods in investigation of natural disasters induced by earthquake has just been started. Landslide is One of the most troubling agents that sometimes cause the main loss in earthquakes. In the current study a comprehensive model of earthquake induced landslides (CAMEL) have been used to investigate the distribution of earthquake induced landslides in northern Tehran and with the use of three different seismic scenarios include north Tehran fault, Mosha fault and Ray fault. CAMEL is a qualitative method based on fuzzy logic and computing with words. Using this method, these conclusions occurred that north Tehran fault cause more landslides and is the most effective scenario in producing soil slump, soil fall and rock fall landslides. North Tehran fault is more able in producing rock avalanch, rock slump and soil flow landslides. Comparing CAMEL model in static state with information value technic indicate that information value technic is more desirable than CAMEL static model with QS (Quality of Sum) of 0.46 and 0.54 respectively.

KeyWords: Earthquake Induced Landslide, Camel, Fuzzy Logic, Computing with Words, Fault Scenarios, Information Value.



Shahrood University of Technology
Faculty of Earth Sciences

Landslide Hazard Zonation of Tehran's Northern slopes

Mohamad Hosein Zade

Supervisors:

Dr. N. Hafezi Moghaddas

Dr. M. R. Mahdavifar

September 2014