

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم پایه

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی

موضوع:

پهنه بندی خطر زمین لغزش در شیب های سنگی مشرف به ۵۰ کیلومتر اول
آزادراه خرم آباد- پل زال به روش رویکرد سیستمی

نگارش:

طاهره امیری

اساتید راهنما:

دکتر ناصر حافظی مقدس

دکتر محمدرضا مهدویفر

استاد مشاور:

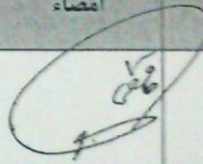
عبدالرضا نوریزدان

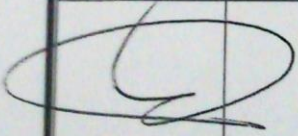
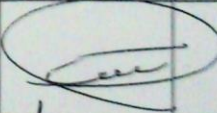
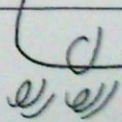
زمستان ۱۳۹۱

دانشگاه صنعتی شاهرود
دانشکده علوم زمین
گروه آبشناسی و زمین شناسی زیست محیطی

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم طاهره امیری
تحت عنوان: پهنابندی خطر زمین لغزش در شیب‌های سنگی مشرف به ۵۰ کیلومتر اول آزادراه
خرم‌آباد-پل زال به روش رویکرد سیستمی

در تاریخ ۹۱/۱۱/۲۵ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد
مورد ارزیابی و با درجه بسیار خوب مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	استاد مشاور	امضاء	استاد راهنما
	نام و نام خانوادگی:		نام و نام خانوادگی:
	-		دکتر ناصر حافظی مقدس

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی:		نام و نام خانوادگی:
	دکتر حبیب... قاسمی		دکتر غلامحسین کریمی
			نام و نام خانوادگی:
			دکتر رمضان رمضانی



دانشگاه گیلان
مدیریت تحصیلات تکمیلی
فرم شماره (۶)

بسمه تعالی

شماره :
تاریخ :
ویرایش :

فرم صور تجلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم طاهره امیری، رشته زمین شناسی، گرایش زیست محیطی، تحت عنوان: پهنه بندی خطر زمین لغزش در شیب های سنگی مشرف به ۵۰ کیلومتر اول آزادراه خرم آباد-پل زال به روش رویکرد سیستمی که در تاریخ ۱۳۹۱/۱۱/۲۵ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: بیضی متمایز) دفاع مجدد مردود

۱- عالی (۲۰-۱۹) ۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹-۱۸)

۳- خوب (۱۶-۱۷/۹۹) ۴- قابل قبول (۱۵/۹۹-۱۴) ۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- اساتید راهنما	دکتر ناصر حافظی مقدس	دانشیار	
	دکتر محمدرضا مهدویفر	استادیار	عدم حضور
۲- استاد مشاور	مهندس عبدالرضا نوربزدان	مریی	عدم حضور
۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر حبیب... قاسمی	دانشیار	
۴- استاد ممتحن	دکتر غلامحسین کرمی	دانشیار	
۵- استاد ممتحن	دکتر رمضان رضانی	استادیار	

رئیس دانشکده:

پیش به

مادرم

که به من آموخت زمین را عاشقانه دوست بدارم
و هر که را که زمین مادر اوست...

تقدیر و تشکر

زادگاهم سرزمینی است که سختی و تناوری کوه و زمینش را با مهر و لطافت آسمان آبی در آمیخته است. زمینی که کوهش چون کودکی تشنه‌ی نوازش سر به سینه آسمان می‌ساید و آسمانش چون مادری دلسوز، برای بوئیدن و بوسیدن این سترگ طفل نازک‌دل آغوش می‌گشاید. زادگاهم میعادگاه هم‌آغوشی این دو دل‌داده‌ی دیرین است و صحنه‌ی پیوستگی این دو راز بزرگ هستی؛ و می‌شود میهمان چنین سرزمینی بود و مفتون و مبهوت چنین عظمتی نشد؟

اکنون و در چنین زمانی که با یاری خداوند بزرگ مجالی یافته‌ام تا چون نوآموزی پای در راه، عظمت زمین - این اقیانوس سرشار از شکوه و شگفتی - را با بضاعتی نه در خور آن شکوه، لیک در خور توان و دانش اندکم بستایم، شایسته است قدردان کوشش و رهنمود دو عزیزم باشم که با دقت و حوصله یاریم کردند و در ستودن عظمت و پیچیدگی مام زمین با من هم‌آوا شدند. جناب آقای دکتر حافظی و دکتر مهدویفر که رهنمود بی‌دریغشان چراغ راهم شد و بدون شفقت کم نظیرشان این مهم میسر نمی‌گشت.

همچنین زیننده است تا لطف جناب آقای مهندس نوریزدان را شاکر باشم که لطف و حسن نظر خود را توشه‌ی راهم ساختند و همچنین دوستان و یاران عزیزم چون مهندس آمنه آذریپکان، مهندس شیما رستمی، مهندس مریم غیورانه، دکتر زارع نقدهی، مهندس حسین پور و مهندس مهدی سعیدیان که همگام و همراهم بودند و یاری و همراهی‌شان همواره مایه‌ی مباحثاتم خواهد بود؛ باشد که همیشه و در تمام مراحل زندگی، لطف و همراهی دوستان یاریگر و مشوقم باشد و یکرنگی و همدلی‌شان، همنشینم.

گیتی‌مان باد به کامه‌ی تن

مینومان باد به کامه‌ی روان

تعهد نامه

اینجانب طاهره امیری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی زیست محیطی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شیب‌های سنگی مشرف به ۵۰ کیلومتر اول آزادراه خرم‌آباد-پل زال تحت راهنمایی دکتر حافظی مقدس و دکتر مهدویفر متعهد می‌شوم:

- 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 می‌باشد 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 می‌گردد.
- 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

تاریخ ۱۳۹۱/۱۱/۲۵

اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

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.

چکیده:

در این پژوهش با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، بررسی ویژگیهای طبیعی، بازدیدهای میدانی و با استفاده از ۹ پارامتر کمی و کیفی موثر، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در کیلومتر ۱ تا ۵۰ از آزادراه خرم‌آباد-پل زال انجام شده است. محدوده مورد مطالعه بخشی از محور سراسری تهران- بندرامام می‌باشد که در ۲۰ کیلومتری جنوب خرم‌آباد در استان لرستان واقع شده است. برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در پژوهش حاضر از دو روش آماری دومتغیره و رویکرد سیستمی استفاده شده است. برای این منظور نقشه‌های عوامل موثر در زمین‌لغزش (شیب، جهت شیب، گسل، لیتولوژی، شتاب زلزله، جهت لایه‌بندی، ارتفاع ترانشه، اختلاف ارتفاع نسبی، شاخص مقاومت توده یا GSI) در محیط نرم افزار ARC/GIS تهیه شده و در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه مورد مطالعه تهیه گردید. در پایان برای ارزیابی صحت داده‌ها، نقشه پراکنش زمین‌لغزش با نقشه‌های تهیه شده تلفیق و کنترل گردید. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که از میان روش‌های به کار گرفته شده، روش رویکرد سیستمی دارای حداقل خطا بوده است. همچنین در این پژوهش اصلی‌ترین و مهمترین متغیرها و عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها در این ناحیه، شیب، ارتفاع ترانشه و مقاومت توده سنگ مشخص شده‌اند.

کلمات کلیدی: زمین‌لغزش، پهنه‌بندی، آزادراه خرم‌آباد-پل زال، آماری دومتغیره، رویکرد سیستمی

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

مقالات همایشی

امیری، ط. حافظی، ن. مهدویفر، م. ر. نوریزدان، ع. ر؛ ۱۳۹۱، ارزیابی پایداری شیب های سنگی در آزاد راه خرم آباد-پل زال، سی امین گردهمایی علوم زمین سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدنی کشور، تهران

امیری، ط. حافظی، ن. مهدویفر، م. ر. نوریزدان، ع. ر؛ ۱۳۹۱، پهنه بندی خطر لرزه ای در طول مسیر آزادراه خرم آباد-پل زال، اولین کنفرانس ملی راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار، تهران

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل اول: کلیات
۲	۱-۱-مقدمه
۳	۲-۱-موقعیت و مشخصات کلی آزادراه خرم‌آباد - پل زال
۴	۳-۱-اقلیم منطقه
۶	۴-۱-ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه
۶	۵-۱-سابقه تحقیق
۹	۶-۱-ضرورت و هدف مطالعه حاضر
۱۰	۷-۱-روش انجام تحقیق
	فصل دوم : مروری بر روش‌های ارزیابی خطر زمین لغزش
۱۲	۱-۲-مقدمه
۱۲	۲-۲-تعریف زمین لغزش
۱۳	۳-۲-طبقه‌بندی زمین لغزش‌ها
۱۵	۱-۳-۲-ریزش‌ها
۱۶	۲-۳-۲-واژگونی‌ها
۱۷	۳-۳-۲-لغزش‌ها
۱۷	۱-۳-۳-۲- لغزش‌های انتقالی
۱۷	۲-۳-۳-۲- لغزش‌های دورانی
۱۸	۴-۳-۲-جریان‌ها
۱۹	۴-۲-نقش عوامل موثر در پهنه‌بندی زمین لغزش
۲۰	۵-۲-ارزیابی خطر زمین لغزش

۲۱	۶-۲-مقیاس پهنه‌بندی
۲۱	۷-۲-روش‌های مختلف پهنه‌بندی زمین لغزش
۲۴	۱-۷-۲- روش آماری دو متغیره
۲۶	۲-۷-۲- روش رویکرد سیستمی

فصل سوم : ویژگی‌های عمومی منطقه

۳۰	۱-۳-چینه شناسی
۳۰	۱-۱-۳-سازند آسماری – شهبازان (AS-Sb)
۳۲	۲-۱-۳-سازند گچساران (GS)
۳۴	۳-۱-۳-سازند آغاچاری (AJ)
۳۵	۴-۱-۳-رسوبات کواترنر (Q ^{all})
۳۶	۲-۳-زمین شناسی ساختمانی
۳۷	۳-۳-گسل‌ها و چین خوردگی‌ها
۴۰	۴-۳-سیستم‌های ناپیوستگی
۴۱	۵-۳-ناپایداری‌های شیبی
۵۱	۶-۳-لرزه‌خیزی منطقه مورد مطالعه
۵۱	۱-۶-۳-برآورد شتاب زلزله
۵۲	۱-۱-۶-۳-تعیین چشمه‌های بالقوه‌ی زمین لرزه
۵۵	۲-۱-۶-۳-تعیین پارامترهای لرزه‌خیزی در هر چشمه لرزه‌ای به روش گوتنبرگ-ریشتر
۵۶	۳-۱-۶-۳-تدوین رابطه‌ی تضعیف جنبش نیرومند زمین
۵۷	۴-۱-۶-۳-برآورد خطر زمین لرزه
۵۷	۲-۶-۳-تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لرزه

فصل چهارم : تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش

۵۹	۱-۴-مقدمه
۵۹	۲-۴-پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش آماری دومتغیره
۶۰	۱-۲-۴-تحلیل ارتباط متغیرهای مستقل با متغیر وابسته (حرکت‌های توده‌ای)
۶۱	۱-۱-۲-۴-نقش لیتولوژی در وقوع زمین‌لغزش
۶۲	۲-۱-۲-۴-نقش شیب در وقوع زمین‌لغزش
۶۴	۳-۱-۲-۴-نقش جهت شیب در وقوع زمین‌لغزش
۶۵	۴-۱-۲-۴-نقش ارتفاع ترانشه در وقوع زمین‌لغزش
۶۶	۵-۱-۲-۴-رابطه اندیس مقاومت زمین شناسی یا GSI با وقوع زمین‌لغزش
۶۸	۶-۱-۲-۴-نقش گسل در وقوع زمین‌لغزش
۶۹	۷-۱-۲-۴-نقش جهت شیب ناپیوستگیها نسبت به دامنه با وقوع زمین‌لغزش
۷۳	۸-۱-۲-۴-نقش اختلاف ارتفاع نسبی در وقوع زمین‌لغزش
۷۴	۹-۱-۲-۴-نقش عامل لرزه خیزی در وقوع زمین‌لغزش
۷۵	۲-۲-۴-تهیه نقشه پهنه‌بندی به روش آماری دومتغیره
۷۶	۳-۴-پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از رویکرد سیستمی
۷۶	۱-۳-۴-اثرات متقابل میان پارامترهای انتخاب شده
۸۱	۲-۳-۴-تشکیل منوهای رده بندی
۸۱	۳-۳-۴-رده بندی شیب های سنگی منطقه از نظر میزان پایداری
۸۵	۴-۴-ارزیابی نتایج حاصل از پهنه‌بندی

فصل پنجم : نتیجه گیری

۸۹	۱-۵-خلاصه و جمع بندی
۹۰	۲-۵-پیشنهادهای اجرایی
۹۲	منابع

فهرست جداول

- جدول ۱-۲- طبقه‌بندی زمین لغزش‌ها ۱۵
- جدول ۲-۲- شرایط و عوامل ایجاد کننده زمین لغزش ۲۰
- جدول ۳-۲- مقایسه روش‌های مختلف از لحاظ عوامل در نظر گرفته شده در پهنه‌بندی زمین لغزش ۲۳
- جدول ۴-۲- نحوه امتیازدهی به پارامترها براساس میزان تاثیر آنها بر یکدیگر ۲۸
- جدول ۱-۳- خلاصه‌ای از اطلاعات برداشت شده از بازدید صحرایی در ۱۲ ایستگاه ۴۳
- جدول ۲-۳- فراوانی زمین لرزه‌ها در گستره مورد مطالعه ۵۵
- جدول ۱-۴- اطلاعات حاصل از برخورد نقشه زمین لغزش و طبقات سازندهای زمین‌شناسی ۶۱
- جدول ۲-۴- اطلاعات حاصل از برخورد نقشه زمین لغزش و طبقات شیب ۶۳
- جدول ۳-۴- اطلاعات حاصل از برخورد نقشه زمین لغزش و طبقات جهات شیب ۶۴
- جدول ۴-۴- اطلاعات حاصل از برخورد نقشه زمین لغزش و طبقات ارتفاع ترانشه ۶۵
- جدول ۵-۴- اطلاعات حاصل از برخورد نقشه زمین لغزش و طبقات اندیس مقاومت زمین‌شناسی ۶۷
- جدول ۶-۴- اطلاعات حاصل از برخورد نقشه زمین لغزش و طبقات فاصله از گسل ۶۷
- جدول ۷-۴- شیب و جهت شیب‌های برداشت شده در سه نقطه از مسیر ۷۰
- جدول ۸-۴- اطلاعات حاصل از برخورد نقشه زمین لغزش و طبقات جهت لایه بندی ۷۲
- جدول ۹-۴- اطلاعات حاصل از برخورد نقشه زمین لغزش و طبقات اختلاف ارتفاع نسبی ۷۳
- جدول ۱۰-۴- اطلاعات حاصل از برخورد نقشه زمین لغزش و طبقات شتاب زلزله ۷۴
- جدول ۱۱-۴- کلاس‌بندی برای پهنه‌بندی به روش آماری دومتغیره ۷۵
- جدول ۱۲-۴- پارامترهای تاثیرگذار در زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه ۷۸
- جدول ۱۳-۴- کدگذاری پارامترها در ماتریس اندرکنش ۷۹
- جدول ۱۴-۴- منوهای رده‌بندی در نظر گرفته شده برای هر پارامتر ۸۱

- جدول ۴-۱۵- محاسبه اندیس پایداری برای هر دامنه ۸۲
- جدول ۴-۱۶- کلاس بندی برای پهنه بندی خطر زمین لغزش به روش رویکرد سیستمی ۸۴
- جدول ۴-۱۷- محاسبه مقادیر DR و QS برای نقشه پهنه بندی به روش آماری دو متغیره ۸۶
- جدول ۴-۱۸- محاسبه مقادیر DR و QS برای نقشه پهنه بندی به روش آماری دو متغیره ۸۶

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱- محور آزادراه خرم‌آباد - پل زال ۴
- شکل ۱-۲- طبقه‌بندی انواع زمین لغزش‌ها ۱۴
- شکل ۲-۲- انواع ریزش سنگی ۱۵
- شکل ۳-۲- انواع زمین لغزش از نوع واژگونی ۱۶
- شکل ۴-۲- انواع حرکت دامنه‌ای لغزشی ۱۸
- شکل ۵-۲- الف- جریان گل، ب- جریان واریزه‌ای ۱۹
- شکل ۶-۲- مفهوم کلی ماتریس اندرکنش ۲۷
- شکل ۷-۲- الف- مفهوم اثر و تاثیر ب- نمودار اثر- تاثیر ۲۹
- شکل ۱-۳- سازند آسماری- شهبازان ۳۲
- شکل ۲-۳- سازند گچساران ۳۳
- شکل ۳-۳- چین‌های جریان‌ی در بخش ژئوسی سازند گچساران ۳۴
- شکل ۴-۳- رخنمون سازند آغاچاری ۳۵
- شکل ۵-۳- دانه‌بندی خوب و جورشدگی ضعیف ذرات در رسوبات کواترنر ۳۶
- شکل ۶-۳- نقشه گسل‌ها و سازندهای زمین‌شناسی منطقه ۳۸
- شکل ۷-۳- شکستگی‌های ایجاد شده در سنگ‌ها بر اثر گسل ۳۹
- شکل ۸-۳- خرد شدگی سنگها در سازند آسماری - شهبازان (بر اثر گسل) ۳۹
- شکل ۹-۳- نمایی از گسل در سازند گچساران ۴۰
- شکل ۱۰-۳- نقشه محدوده دارای زمین لغزش و ایستگاه‌های منطقه ۴۲
- شکل ۱۱-۳- ریزش‌های سنگی کوچک در سازند گچساران (ایستگاه شماره ۱) ۴۴
- شکل ۱۲-۳- حالتی پایدار از یک ترانشه در سازند آغاچاری (ایستگاه شماره ۲) ۴۴

- شکل ۳-۱۳- ترانسه احداث شده در سازند گچساران ... (ایستگاه شماره ۳) ۴۵
- شکل ۳-۱۴- لغزش انتقالی در سازند آغاچاری (ایستگاه شماره ۴) ۴۵
- شکل ۳-۱۵- ریزش سنگی در سازند آغاچاری (ایستگاه شماره ۵) ۴۶
- شکل ۳-۱۶- پهنه لغزشی بزرگ با احتمال ... (ایستگاه شماره ۶) ۴۶
- شکل ۳-۱۷- ریزش و لغزش در سازند گچساران ... (ایستگاه شماره ۷) ۴۷
- شکل ۳-۱۸- احتمال خطر ریزش‌های بلوکی ... (ایستگاه شماره ۸) ۴۷
- شکل ۳-۱۹- سازند آسماری بر اثر راندگی ... (ایستگاه شماره ۹) ۴۸
- شکل ۳-۲۰- خطر ریزش‌های سنگی در سازند آسماری (ایستگاه شماره ۱۰) ۴۸
- شکل ۳-۲۱- بزرگترین لغزش رخ داده در طول مسیر (ایستگاه شماره ۱۱) ۴۹
- شکل ۳-۲۲- لغزش گوه‌ای تیپیک در سازند آسماری (ایستگاه شماره ۱۲) ۴۹
- شکل ۳-۲۳- رخنمون نهشته‌های کواترنر ۵۰
- شکل ۳-۲۴- ترک‌های کششی در کیلومتر ۸ آزادراه ... ۵۰
- شکل ۳-۲۵- نقشه گسل‌های منطقه به شعاع ۱۵۰ کیلومتر ۵۳
- شکل ۳-۲۶- نمودار خطی رابطه گوتنبرگ - ریشتر ۵۵
- شکل ۳-۲۷- نقشه نقاط هم شتاب در سطح منطقه برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال ۵۷
- شکل ۴-۱- تفاوت ارتفاع ترانسه با ارتفاع نسبی دامنه ۶۰
- شکل ۴-۲- نقشه وزنی سازندهای زمین‌شناسی ۶۲
- شکل ۴-۳- نقشه وزنی طبقات شیب ۶۳
- شکل ۴-۴- نقشه وزنی طبقات جهت شیب ۶۵
- شکل ۴-۵- نقشه وزنی طبقات ارتفاع ترانسه ۶۶
- شکل ۴-۶- نمودار تعیین شاخص GSI ۶۷
- شکل ۴-۷- نقشه وزنی طبقات مقاومت توده سنگ GSI ۶۸

- شکل ۴-۸- نقشه وزنی طبقات فاصله گسلی ۶۹
- شکل ۴-۹- رزدیاگرام ترسیم شده توسط نرم افزار DIPS ۷۱
- شکل ۴-۱۰- کنتور دیاگرام ترسیم شده توسط نرم افزار DIPS ۷۱
- شکل ۴-۱۱- نقشه وزنی طبقات جهت لایه بندی ۷۲
- شکل ۴-۱۲- نقشه وزنی طبقات اختلاف ارتفاع نسبی ۷۳
- شکل ۴-۱۳- نقشه وزنی طبقات شتاب افقی زمین ۷۴
- شکل ۴-۱۴- هیستوگرام توزیع فراوانی وزن های تجمعی ۷۵
- شکل ۴-۱۵- نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه به روش آماری دو متغیره ۷۶
- شکل ۴-۱۶- مراحل رسم نمودار علت-تاثیر با کدگذاری به روش نیمه کمی خبره ۷۹
- شکل ۴-۱۷- نمودار علت - اثر برای مسئله پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه ۸۰
- شکل ۴-۱۸- هیستوگرام شدت اثر متقابل پارامترها ۸۰
- شکل ۴-۱۹- نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش رویکرد سیستمی ۸۴

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

حرکات توده‌ای مواد، فرآیندهای ژئومورفیک طبیعی هستند که براساس ویژگی‌های خاص محیطی یک محل اتفاق می‌افتند (Glade, 2003). این پدیده‌ها که بخشی از فرآیندهای فرسایش دامنه‌ای هستند، سبب انتقال حجم زیادی از مواد دامنه‌ای، مانند سنگریزه‌ها، واریزه‌ها و غیره به دره‌ها می‌شوند (Larsen & Parkes, 1997). حرکات توده‌ای و زمین‌لغزش‌ها، تحت تاثیر عوامل طبیعی و انسانی متعددی رخ می‌دهند (Sarkar *et al.* 1995) که وقوع آنها، اثرات زیست‌محیطی و اقتصادی بسیار با اهمیتی را به دنبال دارد. به طوری که براساس گزارش کمیته ملی کاهش بلایای طبیعی وزارت کشور، سهم خسارات سالانه ناشی از حرکات توده‌ای در ایران، ۵۰۰ میلیارد ریال برآورد گردیده است (احمدی و طالبی، ۱۳۸۰). بنابراین، شناخت نواحی مستعد وقوع زمین‌لغزش و حرکات توده‌ای، یکی از گام‌های اولیه در مدیریت منابع طبیعی و برنامه‌ریزی‌های توسعه‌ای است (Anbalagan, 1992). از آنجایی که زمین‌لغزش‌ها، به نسبت سایر بلایای طبیعی، پدیده‌هایی مدیریت‌پذیر به حساب می‌آیند لذا، شناخت مکانیسم وقوع و ارائه‌ی ساز و کارهای پیشگیری از رخدادن این بلایا، بخشی از برنامه‌های توسعه قلمداد می‌گردد (Crozier, 1999).

وقوع زمین‌لغزش‌های متعدد و گسترش روزافزون آنها در بسیاری از نقاط کشور ایران در سال‌های اخیر و ظهور اثرات مخرب آنها موجب گشته که نظر مسئولین و به‌ویژه کارشناسان ذیربط به این بلای طبیعی بیش از پیش معطوف گردد. شکی نیست که خسارات و پیامدهای ناشی از این پدیده که به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم متوجه امور زیربنایی کشور می‌گردد قابل توجه بوده و نیازمند بررسی دقیق و سیاستگذاری مناسب به منظور دستیابی به راهبردهای کاهش اثرات آن می‌باشد. در این راستا شناخت گستره‌های دارای زمین‌لغزش و تعیین میزان خطر آنها یکی از مهمترین گام‌هایی است که باید به آن توجه نمود. از این رو در دو دهه اخیر تحقیقات گسترده‌ای بر روی شیوه‌های تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و استفاده از ابزارها و تکنولوژیهای جدید برای تسهیل و تسریع این کار صورت گرفته است.

از آنجایی که راه‌های ارتباطی زمینی به‌ویژه جاده‌ها به‌عنوان بخشی از زیرساخت‌ها در جهت توسعه فعالیت‌های اقتصادی نقش اساسی و بنیادی را بر عهده دارند. بنابراین ضروری است که راه‌ها در برابر تاثیر عوامل جغرافیایی و مخاطرات طبیعی مخرب هر چه بیشتر ایمن شوند تا بستر مناسب و مطمئنی برای توسعه، به‌ویژه توسعه پایدار فراهم آید.

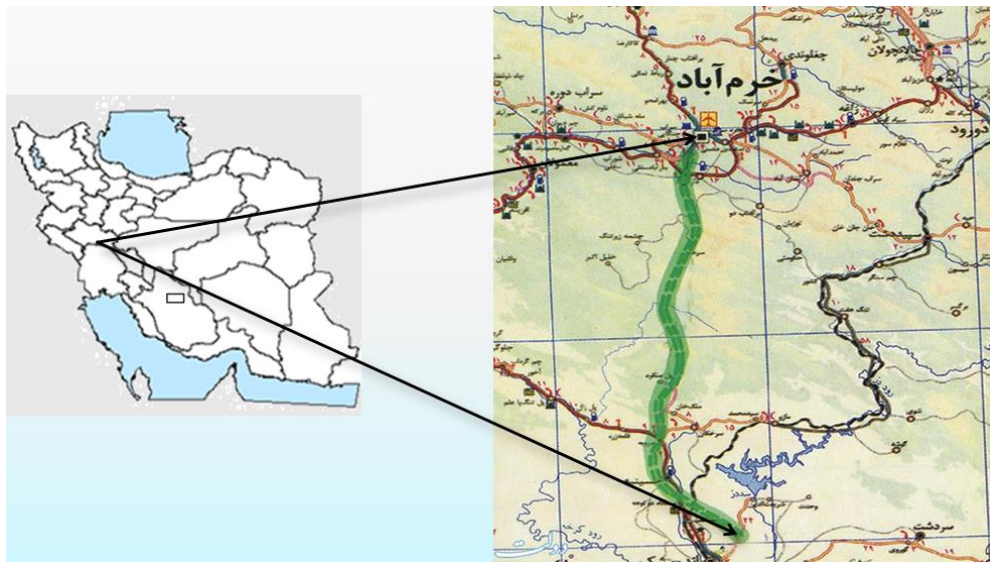
هدف از تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی در فرآیندهای توده‌ای دامنه‌ها، تقسیم‌بندی منطقه مورد مطالعه به مناطقی با درجات مختلف خطر با هدف کاهش آسیب‌های ناشی از آنها است. در این پژوهش به شناسایی مناطق مستعد زمین‌لغزش در شیب‌های سنگی مشرف بر کیلومتر ۱ تا ۵۰ آزادراه خرم‌آباد - پل‌زال و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر برای این مسیر، پرداخته شده است.

۱-۲- موقعیت و مشخصات کلی آزادراه خرم‌آباد - پل زال

آزادراه خرم‌آباد-پل زال از نظر تقسیمات سیاسی جزو استان لرستان بوده و از نظر موقعیت جغرافیایی در بین مختصات ۴۸ درجه و ۹ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۱ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۲۶ دقیقه عرض شمالی قرار دارد و قسمتی از محور سراسری تهران-بندر امام می‌باشد که در فاصله ۵۰۰ کیلومتری جنوب غربی تهران واقع شده است. این آزادراه در حد فاصل دو شهر خرم‌آباد و اندیمشک به طول ۱۰۴ کیلومتر، از ۲۰ کیلومتری خرم‌آباد آغاز شده و فاصله انتهایی آن از شهرستان اندیمشک واقع در استان خوزستان نیز حدود ۶۰ کیلومتر می‌باشد.

ارتفاع منطقه آغازین مسیر آزادراه خرم‌آباد-پل زال از سطح دریا ۱۲۰۰ متر است که در ۲۲ کیلومتری آن به ۱۷۵۶ متر افزایش می‌یابد و در پایان مسیر ارتفاع از سطح دریا ۳۳۰ متر است. بنابراین می‌توان گفت در طول مسیر آزادراه، تفاوت ارتفاع زیادی وجود دارد. حداکثر شیب در طول مسیر این آزادراه برابر با استاندارد آزادراه‌ها، ۶ درصد است. طول مسیر قبلی خرم‌آباد تا پل زال ۱۶۸ کیلومتر بود که با احداث این آزادراه فاصله خرم‌آباد تا پل زال به ۶۴ کیلومتر کاهش یافت و زمان سفر در این مسیر به

کمتر از نصف کاهش یافت. این آزادراه از مناطق سخت کوه‌های زاگرس عبور می‌کند و حالت وتر نیم‌دایره‌ی محور قدیمی را دارد.



شکل (۱-۱) : محور آزاد راه خرم‌آباد - پل زال

۱-۳ - اقلیم منطقه

عناصر اقلیمی مانند دما، میزان بارش، تعداد روزهای یخبندان و... تاثیرات زیادی را بر تراکم و نوع پوشش گیاهی بر جای می‌گذارد و همچنین عناصر اقلیمی بر نوع تجزیه و تخریب سنگ‌ها که می‌تواند به صورت فیزیکی و شیمیایی باشد نیز تاثیر می‌گذارد و در پی آن نیز نوع و عمق خاک نیز تحت تاثیر عناصر اقلیمی قرار می‌گیرد.

بطور کلی توده‌ها و جریان‌های هوایی که تحت تاثیر میدانهای کم فشار و پرفشار منطقه را تحت تاثیر قرار می‌دهند، در زمستانها، از نوع مدیترانه‌ای از غرب، قطبی از شمال و قطبی دریایی از شمال غربی است. اقلیم منطقه براساس سیستم اقلیمی آمبرژه، متناسب با اقلیم ایستگاههای خرم‌آباد و چمانجیر (ایستگاه چمانجیر یک ایستگاه باران سنجی در فاصله ۳ کیلومتری از منطقه مورد مطالعه می‌باشد) که شاخص منطقه طرح می‌باشند، اقلیم نیمه مرطوب سرد می‌باشد. همچنین محدوده مطالعاتی با ارتفاع متوسط ۱۶۱۸ متر در سیستم دومارتن در اقلیم نیمه مرطوب قرار دارد (مهندسین مشاور آب دشت سامان، ۱۳۸۸).

ایستگاه خرم‌آباد با فاصله ۵ کیلومتر از منطقه مورد مطالعه، نزدیکترین ایستگاه سینوپتیک می‌باشد که از پارامترهای هواشناسی آن برای محاسبات شاخصهای باد و تبخیر و تعرق استفاده شده است. یکی از پارامترهای اقلیمی درجه حرارت روزانه است و مقدار آن در ایستگاههای منطقه مطالعاتی از ۱۱/۵ تا ۲۴/۴ درجه سانتیگراد متغیر می‌باشد. دمای متوسط محدوده مطالعاتی معادل ۱۲/۸ درجه سانتیگراد محاسبه شده است. میانگین حداکثرهای روزانه ۱۸/۵ تا ۳۰/۵ درجه سانتیگراد و میانگین حداقل‌های روزانه ۲/۶ تا ۱۹ در ایستگاههای منطقه متغیر می‌باشد. دوره خشک در منطقه مورد مطالعه از اواسط اردیبهشت شروع و تا اواسط مهر ادامه دارد. سرحوضه‌های منطقه کوهستانی و فاقد زمین زراعی می‌باشد (مهندسین مشاور آب دشت سامان، ۱۳۸۸).

مقدار بارندگی سالانه منطقه از ۴۹۰ تا ۶۸۰ میلیمتر متغیر می‌باشد، متوسط بارندگی منطقه ۵۶۹ میلیمتر و میانگین حداکثر روزانه ۵۱ میلیمتر برآورد گردیده است. پارامتر برف اهمیت ویژه‌ای در محاسبات هیدرولوژیکی دارد. در مناطق کوهستانی قسمت عمده‌ای از ریزش‌های جوی را برف تشکیل می‌دهد که در تغذیه رودخانه‌ها و آبهای زیرزمینی نقش مهمی را ایفا می‌کند. میانگین تعداد روزهای برفی برای منطقه مورد مطالعه به طور متوسط ۶ روز در سال می‌باشد (مهندسین مشاور آب دشت سامان، ۱۳۸۸).

تبخیر و تعرق، پتانسیل میزان آبی است که از سطح خاک و پوشش نباتی آن تحت شرایط رطوبتی کافی و بدون محدودیت و فعالیت گیاهی با پوشش کامل تبخیر شده و به اتمسفر انتقال می‌یابد. بیشترین تبخیر در منطقه مطالعاتی در ماه تیر با ۶/۰۲ میلیمتر در روز و کمترین آن ۰/۹ میلیمتر در ماه دی می‌باشد. تبخیر و تعرق پتانسیل سالیانه در منطقه طرح ۱۱۸۰ میلیمتر برآورد گردیده است. همچنین در منطقه مورد مطالعه رطوبت نسبی هوا به طور متوسط ۶۴/۷ درصد و حداکثر رطوبت نسبی مربوط به دی ماه با ۹۵/۴ درصد و حداقل رطوبت نسبی در ماههای تیر و مرداد با ۳۴/۶ درصد می‌باشد (مهندسین مشاور آب دشت سامان، ۱۳۸۸).

۱-۴- ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه

بررسی‌های میدانی در طول مسیر آزادراه خرم‌آباد-پل زال نشان از عبور این خط ارتباطی از داخل تیپ ژئومورفیک کوهستان دارد. اشکال خاص و بارز مورفولوژیکی قرار گرفته در مسیر آزادراه طاق‌دیس‌های تقریباً متقارن ایجاد شده در این ناحیه می‌باشند که روند عمومی آنها شمال غرب-جنوب شرق می‌باشد.

بررسی‌های انجام گرفته نشان می‌دهد که سیستم‌های زهکشی غالب منطقه از نوع شاخه درختی بوده ولی رودخانه‌های دائمی منطقه غالباً عمود بر محور چین‌ها و به موازات امتداد آنها جریان دارند. از مهمترین و تاثیرگذارترین اشکال ژئومورفیک در مسیر این آزادراه می‌توان به تالوس^۱‌ها اشاره کرد که در طول بخش‌های زیادی از مسیر، یک عامل تهدیدکننده برای این سازه‌ها می‌باشند، همچنین در مجاورت این مسیر می‌توان اشکال خاص ژئومورفیک مناطق خشک از جمله تختگاه^۲ را نیز مشاهده نمود. به طور کلی می‌توان شیب عمومی مناطق اطراف آزادراه را بیش از ۲۰ درصد در نظر گرفت.

۱-۵- سابقه تحقیق

تاکنون روش‌های متعدد پهنه‌بندی توسط محققین و پژوهشگران و صاحبان فن در کشورهای مختلف و ایران پیشنهاد و مورد استفاده قرار گرفته است. هر یک از این روش‌ها تحت شرایط ویژه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. تا قبل از سال ۱۳۶۹ تحقیقات و مطالعات محدودی در خصوص زمین‌لغزش، در کشور صورت پذیرفته است. خسارات سنگین ناشی از وقوع زمین‌لغزش‌ها در مناطق مختلف ایران باعث شد که تحقیقات و مطالعات توسط محققان و دانشجویان بیشتر مدنظر قرار گیرد. با توجه به اینکه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مطالعه حاضر، از دو روش آماری دومتغیره و رویکرد سیستمی یا

^۱ Talus ریزشها یا جریانات واریزه ای:

^۲ Mesa

سیستم مهندسی سنگ (RES) که در فصول بعدی به تفصیل شرح داده خواهد شد، استفاده شده است؛ بنابراین در ادامه به ذکر برخی از مطالعات انجام شده در این روش‌ها پرداخته می‌شود. سابقه‌ی استفاده از روش‌های آماری جهت پیش‌بینی خطر ناپایداری شیب‌ها در دنیا، عموماً از دهه‌ی ۱۹۹۰ به بعد می‌باشد. از نمونه کارهای علمی-تحقیقاتی انجام شده در این رابطه، در ایران می‌توان به مواردی مانند حق شناس (۱۳۷۴)، پژم (۱۳۷۵)، بداغی (۱۳۷۶)، کهی میانجی (۱۳۷۷)، نیک اندیش (۱۳۷۸)، سیارپور (۱۳۷۸)، سعدالدین (۱۳۷۳)، اشقلی فراهانی (۱۳۸۰)، جلالی (۱۳۸۱)، سفیدگری (۱۳۸۱)، شیرانی (۱۳۸۲)، شیرانی و همکاران (۱۳۸۴)، فتاحی و اردکانی (۱۳۷۹) و متکان و همکاران (۱۳۸۸) اشاره کرد. همچنین این مدل توسط محققین خارجی نیز (از جمله، Lee & Dai (2001), Massari & Atkinson (1998), Guzzeti *et al.* (2000), Van Westen *et al.* (1998), Ercangla & Gockeoglu (2002), Carrara *et al.* (1991), Sara & Kyungduck (2001),) ارائه گردیده است.

در بسیاری از این منابع، کارایی روش‌های آماری دومتغیره را نسبت به دیگر روش‌ها، مطلوب ارزیابی نموده‌اند. از جمله این موارد نیک‌اندیش (۱۳۷۸) با استفاده از روش آماری ارزش اطلاعاتی، وزن پارامترها و تراکم سطح منطقه کارون میانی در استان چهارمحال و بختیاری را با سیستم GIS و نرم افزار ILwis پهنه‌بندی نمود. لایه‌های به کار رفته شامل سنگ‌شناسی، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده و پوشش گیاهی می‌باشند. صحت نقشه پهنه‌بندی تهیه شده با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است و روش ارزش اطلاعاتی بعنوان مناسب‌ترین روش و روش وزن پارامترها و تراکم سطح در مراحل بعدی قرار گرفتند. همچنین جلالی (۱۳۸۱) با استفاده از شش روش مورا و وارسون، مورا و وارسون اصلاح شده، نیلسن، نیلسن اصلاح شده، روش قضاوت کارشناسی و روش آماری دومتغیره حوضه آبریز طالقان رود به مساحت ۱۱۳۵ کیلومترمربع را در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ با استفاده از سیستم GIS و نرم افزار ILwis پهنه‌بندی نمود. صحت نقشه پهنه‌بندی با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است و روش آماری دومتغیره، قضاوت کارشناسی، نیلسن اصلاح

شده، نیلسن و مورا و وارسون اصلاح شده و مورا و وارسون به ترتیب به عنوان روش‌های مناسب تشخیص داده شده‌اند.

سفیدگری (۱۳۸۱) نیز با استفاده از روش آماری دومتغیره (ارزش اطلاعاتی) برای کلیه ناپایداری‌ها (لغزش‌ها و ریزش‌ها)، کاناگوا، حائری، حائری اصلاح شده و تحلیل پراکنش زمین‌لغزش‌ها با استفاده از سه فیلتر خطی، میانگین و واریانس منطقه دماوند استان تهران به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ را با استفاده از سیستم GIS و نرم افزار ILWIS پهنه‌بندی نمود. لایه‌های اطلاعاتی شامل لیتولوژی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، بارندگی متوسط سالیانه، شکل شیب دامنه، جهت شیب، طبقات ارتفاعی و حداکثر شتاب زلزله می‌باشند. صحت نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه شده با پراکنش زمین‌لغزش‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است و از بین روش‌های مختلف، روش آماری دومتغیره بالاترین میزان دقت را نشان می‌دهد.

روش‌های مختلف تجربی دیگری با شرایط طبیعی خاص تعریف گردیده‌اند این روش‌ها با توجه به هدف، مقیاس، محتوی، تجارب محقق و تکنیک و تکنولوژی مورد استفاده، از دقت و صحت متفاوتی برخوردارند. به طور مثال در سال ۱۹۹۲، هادسون (Hudson) رویکرد جدیدی را با نام مهندسی سنگ (Rock Engineering System=RES) ارائه نمود. این رویکرد توسط محققان مختلفی در مسائل مربوط به پایداری شیب‌ها ارائه شده است. (Mazzoccola & Hudson (1996), Smith (1994), Ali (2002), Castaldini *et al.* (1998), Rozos *et al.* (2008), Ceryan & Ceryan (2008), Zhang *et al.* (2004), Budetta *et al.* (2008) و همچنین زارع نقدهی و خالوکاکایی (۱۳۸۸) با استفاده از این رویکرد که به عنوان یک روش سیستمی در تحلیل‌ها و رده‌بندی‌های پروژه‌های مهندسی سنگ مطرح می‌باشد توانست ناپایداری‌های شیب‌های سنگی مشرف به گردنه خوش‌بیلاق واقع در محور ارتباطی شاهرود-آزادشهر را رده‌بندی نماید و نشان داد استفاده از رویکرد سیستمی در تحلیل پایداری شیب‌ها در مقیاس وسیع و در مسائل دارای پارامترهای موثر می‌تواند بسیار مفید واقع گردد.

همچنین خطر سنگ‌ریزش در مسیر راه‌های کوهستانی، همیشه مورد توجه پژوهشگران بوده است و در این زمینه، مطالعات زیادی انجام شده که می‌توان به مطالعات لید (Lied, 1997) در نروژ و ویزورک و همکاران (Wieczorek *et al.* 1998) در دره یومیست ایالات متحده و همچنین می‌توان به پژوهش‌های باترسون (Batterson *et al.* 2006) در ارزیابی خطرات زمین‌شناسی مرتبط با سنگ‌ریزش در کانادا اشاره کرد. در ایران نیز مطالعات پراکنده در ارزیابی پایداری مسیر راه‌ها صورت گرفته که نمونه آن گزارش بررسی خطر سنگ‌ریزش ارائه شده توسط بلورچی و همکاران (۱۳۸۵) است. می‌توان گفت مطرح شدن جاده‌ها به عنوان یکی از عوامل بسیار موثر در افزایش زمین‌لغزش‌ها در مناطق فعال تکتونیکی (مانند: Owen *et al.* (2008), Barnard *et al.* (2001), Keefer (1984)) به سال‌های دور برمی‌گردد.

لازم به ذکر است محققین مختلف دیگری در قالب طرح‌های تحقیقاتی مدل‌های مختلفی را بررسی یا پیشنهاد نموده‌اند و از آنجایی که ارتباط کمتری با مدل‌های بررسی شده در این تحقیق دارند به آنها اشاره نگردیده است که از آن جمله می‌توان مدل‌های احتمالی (مانند: Lee و Jibson *et al.* (2000)) و مدل‌های هوشمند، نظیر منطق فازی ((Lee (2007)) و Pourghasemi *et al.* (2008)) را نام برد.

۱-۶- ضرورت و هدف مطالعه حاضر

لغزش زمین‌طبیعی و همچنین لغزش خاکریزهایی که به دست بشر ساخته می‌شود، از پدیده‌هایی است که در بسیاری از نقاط جهان رخ می‌دهد. یکی از مهمترین عوامل تحریک کننده زمین‌لغزش، جاده‌سازی می‌باشد (سروش، ۱۳۸۵)، زمانی که چندین کیلومتر از مسیر بزرگراه‌ها و جاده‌ها با عوارض توپوگرافی برخورد می‌کنند و از نواحی با شیب‌های سنگی و تند عبور می‌کنند، در اثر برداشت پایه و تکیه‌گاه شیب، پدیده‌های ژئومورفولوژیک، به شکل سنگ‌ریزش، لغزش، جریان‌ها و ریزش‌های واریزه‌ای، مسیرهای ارتباطی را متأثر می‌سازند (Cova & Conger, 2004).

این حوادث، ضریب اطمینان راه‌ها را کاهش می‌دهند و ضمن ایجاد اختلال در ترافیک، هزینه‌های اقتصادی زیادی را برای تعمیر و بازگشایی مجدد جاده‌ها به بار می‌آورد (Baillifard *et al.* 2003). لذا هدف اصلی در پژوهش حاضر آن است که در دامنه‌های مشرف به آزادراه خرم‌آباد-پل زال با توجه به شرایط و ویژگی‌های محیطی (عوامل درونی و بیرونی)، نقشه پهنه‌بندی خطر دامنه‌های ناپایدار تهیه، و دامنه‌هایی که از لحاظ حرکت‌های دامنه‌ای خطر آفرین هستند با توجه به میزان ناپایداری شناسایی و طبقه‌بندی شوند.

۱-۷- روش انجام تحقیق

به منظور انجام مطالعات مدنظر و دستیابی آسان و در عین حال با ضریب اطمینان بالا به هدف اصلی مطالعه فوق، کارهای زیر انجام گردیده‌اند:

- ۱- مطالعات کتابخانه‌ای و گردآوری و تهیه اسناد و مدارک شامل نقشه، عکس و اطلاعات رقومی
- ۲- انجام مطالعات لرزه‌خیزی با استفاده از نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ زمین‌شناسی و تهیه نقشه پهنه‌بندی برآورد خطر برای شبکه‌ای از نقاط با استفاده از نرم افزار SeisRisk III
- ۳- ورود، بهینه‌سازی، تهیه لایه‌های اطلاعاتی پایه از نقشه‌ها و اطلاعات رقومی در محیط GIS
- ۴- مشخص نمودن محدوده هر یک از دامنه‌های مشرف به آزادراه با استفاده از نقشه ۱/۲۵۰۰۰ توپوگرافی و رودخانه با استفاده از نرم افزار GIS
- ۵- بازدید میدانی جهت شناسایی و تهیه شناسنامه برای لغزش‌های موجود در محدوده و ارزیابی خصوصیات رخنمون‌های سنگی که شامل شیب و جهت شیب لایه، وضعیت درزه داری و ... و در نهایت تعیین عدد GSI مربوط به هر یک از رخنمون‌های سنگی
- ۶- تلفیق و آنالیز اطلاعات پایه به صورت روی هم‌گذاری (overlay) نقشه‌ها و خروجی‌های لازم در مقیاس ۱/۵۰۰۰۰
- ۷- تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه

فصل دوم

مروری بر روش‌های ارزیابی خطر

زمین لغزش

۲-۱- مقدمه

از آنجا که زمین لغزش‌ها در ابعاد بزرگ می‌توانند بسیار مخاطره‌آمیز باشند و در بعضی از نقاط جهان بی‌ثباتی شیب‌ها به عنوان یک خطر شناخته شده می‌باشد که مشکلات اساسی و پرهزینه‌ای را ایجاد میکند و یکی از نگرانی‌های مهندسان ژئوتکنیک و زمین‌شناسی مهندسی مناطق مستعد زمین لغزش می‌باشد (Bromhead, 1999)؛ لذا شناسایی مناطق حساس به زمین لغزش و رتبه‌بندی کردن این مناطق براساس پتانسیل ناشی از بروز زمین لغزش یا دیگر حرکات توده‌ای اهمیت دارد. امروزه مطالعه جامع و علمی در مورد زمین لغزش یکی از مهمترین موارد تحقیقاتی است که خود حاکی از درجه اهمیت آن در بین محققان علوم و توجه روزافزون دولت‌ها به این موضوع می‌باشد.

قبل از استفاده از روش‌های مختلف پهنه‌بندی، توجه به مفاهیم زمین لغزش و بررسی عوامل موثر بر آن اجتناب‌ناپذیر است، زیرا درک درست مفاهیم زمین لغزش و عوامل موثر بر آن می‌تواند در دقت روش پهنه‌بندی تاثیرگذار باشد.

۲-۲- تعریف زمین لغزش^۳

برای پدیده زمین لغزش تعاریف زیادی توسط محققین مختلف ارائه شده است که مفاهیم مشترکی از آنها تداعی می‌شود، در زیر تعدادی از این تعاریف آورده می‌شود:

شارپ (Sharp, 1938) زمین لغزش‌ها را ریزش زمین یا یک توده سنگ و یا مخلوطی از سنگ و خاک در جهت شیب تعریف می‌کند (شریعت جعفری، ۱۳۷۵).

ترزاقی (Terzaghi, 1950) اصطلاح زمین لغزش را برای کلیه حرکات توده‌ای در شیب‌ها شامل افتان‌ها^۴، واژگونی‌ها^۵ و سیلان‌های واریزه‌ای^۶ بکار می‌برد (Ahmad & McCaplin, 1999).

³ Landslide

⁴ Falls

⁵ Topples

⁶ Debris flow

وارنز (Varnes, 1978) زمین لغزش را چنین تعریف می‌کند: حرکت ثقلی در جهت پایین و بیرون مواد تشکیل‌دهنده یک دامنه اعم از سنگ، خاک و یا خاکریزهای مصنوعی. زمین لغزش می‌تواند یکی از انواع ریزش، لغزش، جریان و یا ترکیبی از اینها باشد (Ahmad & McCaplin, 1999).

۲-۳ - طبقه‌بندی زمین لغزش‌ها

زمین لغزش‌ها در طبیعت به اشکال مختلفی دیده می‌شوند که برای طبقه‌بندی آنها روش‌های متفاوتی براساس مکانیزم یا هندسه لغزش و یا ساختارهای زمین‌شناسی پیشنهاد شده است. با این وجود، زمین لغزش‌ها و حرکت توده‌های سنگ و خاک در گستره بزرگی از اندازه، شکل و نوع قرار می‌گیرند که حتی با وجود یک سیستم طبقه‌بندی، باز هم مشخص کردن دقیق یک ناپایداری در یک دسته خاص، کار مشکلی می‌باشد (شکل ۲-۱).

طبقه‌بندی زمین لغزش‌ها که در ادامه معرفی می‌شود، بیشتر بر اساس روش‌های پیشنهادی می‌باشد. در یک تقسیم بندی کلی (Skempton & Hutchinson, 1969) زمین لغزش‌ها به سه دسته "واژگونی‌ها"، "لغزش‌ها" و "جریان‌ها" طبقه‌بندی می‌شوند که تفاوت عمده آنها در مکانیزم حرکت توده ناپایدار می‌باشد. یکی از قدیمی‌ترین طبقه‌بندی‌ها، طبقه‌بندی شارپ (Sharp, 1938) می‌باشد که زمین لغزش‌ها را از نظر نوع حرکت و از نظر مواد (خاک یا سنگ) به لغزش و جریان تقسیم‌بندی نموده و سرعت حرکت را به عنوان پارامتر ثانویه در نظر گرفته است. پس از آن وارنز (Varnes, 1958) براساس نوع حرکت، طبقه‌بندی خود را به شرح ذیل ارائه نموده است: افتان، واژگونی، لغزش‌های انتقالی یا چرخشی، لغزش با توسعه جانبی و جریان (شریعت جعفری، ۱۳۷۵). در سال ۱۹۸۷ این طبقه‌بندی اصلاح گردید و مبنای بسیاری از طبقه‌بندی‌ها قرار گرفت (جدول ۲-۱).

Material		ROCK	DEBRIS	EARTH
Movement type				
FALLS		Rock fall	Debris fall Debris cone	Earth fall Colluvium Debris cone
	TOPPLES	Rock topple	Debris topple Debris cone	Earth topple Debris cone
SLIDES	Rotational	Single rotational slide (slump) Failed surface	Multiple rotational slide Crown Scarp Head Minor Scarp Failed surface	Successive rotational slides
	Translational (Planar)	Rock slide	Debris slide	Earth slide
SPREADS				Earth spread
FLOWS	Solifluction flows (Periglacial debris flows)		Debris flow	Earth flow (mud flow)
	COMPLEX	e.g. Slump-earthflow with roof-fall debris	e.g. composite, non-circular part rotational part translational slide grading to earthflow at toe	

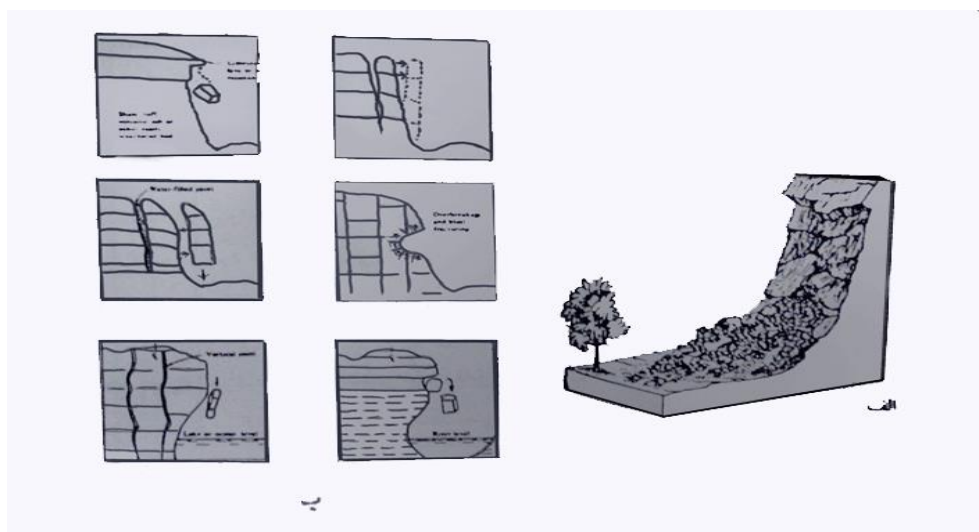
شکل (۱-۲) - طبقه‌بندی انواع زمین‌لغزش‌ها، اقتباس از وارنر (۱۹۷۸) با تغییرات

جدول (۱-۲) - طبقه‌بندی زمین‌لغزش‌ها (Varnes, 1978)

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

۲-۳-۱- ریزش‌ها

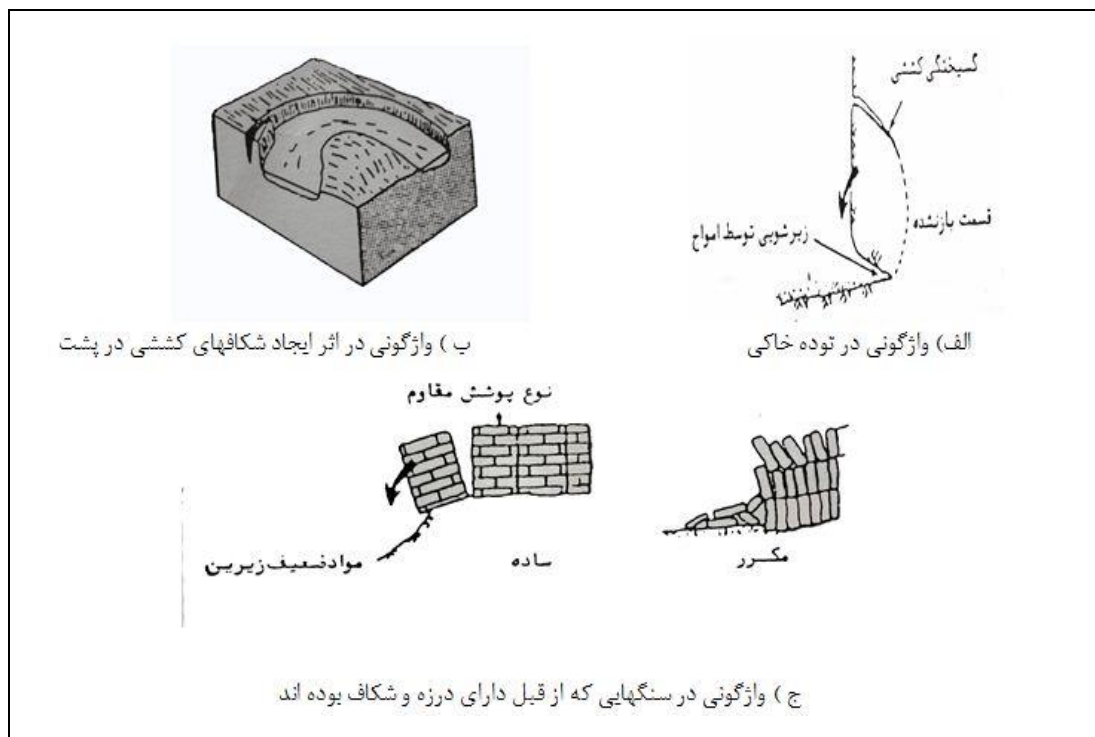
سقوط توده‌های خاک و سنگ به صورت ناگهانی در دامنه‌های پرشیب و پرتگاه‌ها ریزش نامیده می‌شود. ریزش اغلب در امتداد سطوح لایه‌بندی، درزها و شکاف‌ها و پهنه‌های گسلی بر اثر عمل یخبندان و یخ‌گشایی، زمین‌لرزه و هوازگی رخ می‌دهد. همچنین تحت‌تاثیر پدیده زیرشویی رودخانه‌ها نیز ریزش می‌تواند به‌وقوع بپیوندد. ریزش در سنگ بستر به‌صورت سنگ‌ریزش و در خاک به دو شکل خاک‌ریزش و ریزش دامنه‌ای رخ می‌دهد (شکل ۲-۲).



شکل (۲-۲) - انواع ریزش سنگی

۲-۳-۲- واژگونی‌ها

واژگونی سنگ یا خاک در شیروانی‌هایی که شیب زیادی دارند اتفاق می‌افتد. مواد متحرک به دلیل گسترش سطوح برشی، با یک لغزش اولیه از توده اصلی سنگ کنده می‌شوند. این امر گاهی به دلیل جدا شدن قطعات و ذرات در ترازهای پایین شیب رخ می‌دهد. جدا شدن قطعات و ذرات در ترازهای پایینی می‌تواند بر اثر برخورد موج، فرسایش توسط رودخانه، فرسایش لایه‌های بستر در اثر تراوش آب، هوازگی و یا حفاری بدون احتیاطات لازم رخ دهد. پس از آن، به دلیل اینکه سنگ دارای درزهایی بوده و یا مقاومت کافی برای نگهداری وزن خود ندارد، واژگونی آغاز می‌شود. وقوع چنین فرآیندی به صورت شماتیک در شکل ۲-۳ نشان داده شده است. در حالت دیگری از واژگونی‌ها، بلوک‌های سنگی به دلیل هوازگی و نفوذ آب در درزه‌ها، که می‌تواند توأم با فشار توده‌های بالادست شیروانی باشد، به تدریج از توده اصلی جدا شده و از حالت تعادل خارج می‌شوند. با شروع چرخش بلوک سنگ، تنش‌ها و نیروهای بزرگتری بر بلوک اثر کرده و باعث افزایش سرعت واژگونی می‌گردد. چنین نوع ناپایداری در لایه‌های سنگ Toppling نامیده می‌شود.



شکل (۲-۳) - انواع زمین‌لغزش از نوع واژگونی

۲-۳-۳- لغزش‌ها

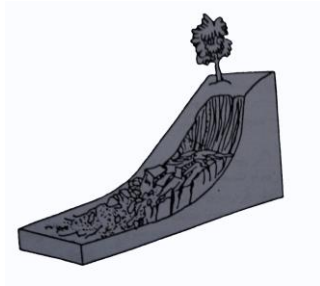
در لغزش‌ها توده ناپایدار در امتداد یک سطح برشی مشخص حرکت می‌کند و قسمت‌های مختلف این توده نسبت به نقاط مجاور خود یا ساکن است و یا تغییر مکان اندکی دارند. لغزش‌ها به حالات لغزش‌های انتقالی، لغزش‌های دورانی و لغزش‌های مرکب تقسیم‌بندی می‌شوند (شکل ۲-۴).

۲-۳-۳-۱- لغزش‌های انتقالی

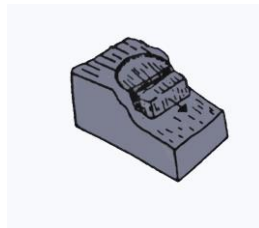
لغزش‌های انتقالی حالاتی هستند که در آنها لایه سطحی یا بلوک لغزنده از سطوح درزها جدا شده و بر روی یک سطح مسطح به سمت پایین یک حرکت خطی می‌کنند. در صورتی که ضخامت لایه یا بلوک جدا شده، در مقایسه با طول آن کم باشد، لغزش را صفحه‌ای و در حالاتی که قطعه جدا شده دارای ابعاد نسبتاً مشابهی باشد، لغزش را قطعه‌ای می‌گویند. در هر دو حالت، سطح لغزش از یک صفحه نسبتاً مسطح در یک امتداد خاص تشکیل شده است. این صفحه معمولاً منطبق بر یک لایه ضعیف و یا فصل مشترک دو لایه متوالی ضعیف و سخت می‌باشد.

۲-۳-۳-۲- لغزش‌های دورانی

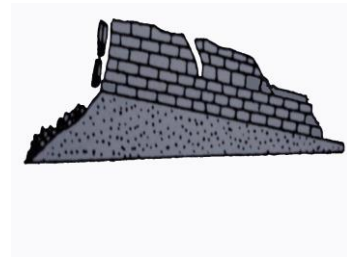
در سنگ‌های ضعیف‌تر یا خاک‌ها، سطح برشی از میان توده سنگ یا خاک و یا در طول درزها و دیگر ناپیوستگی‌های سنگ‌ها، گسترش پیدا می‌کنند. در این حالت تنش برشی در امتداد این سطح بر مقاومت برشی غلبه کرده و باعث دوران کل یا قسمتی از توده ناپایدار می‌شود، این نوع لغزش را لغزش دورانی می‌گویند. در خاک‌هایی که همگن باشند و یا مقاومت و تغییرشکل‌پذیری لایه‌های مختلف خاک نسبت به یکدیگر تفاوت زیادی نداشته باشد، لغزش به صورت دایره‌ای خواهد بود.



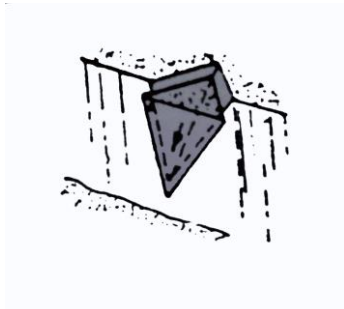
(پ)



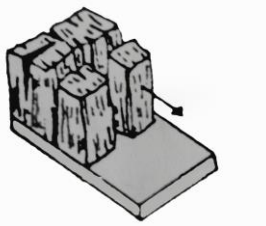
(ب)



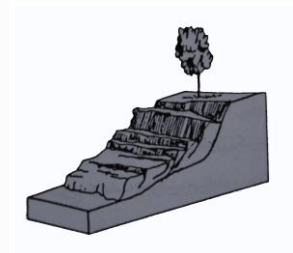
(الف)



(چ)



(ج)



(ت)

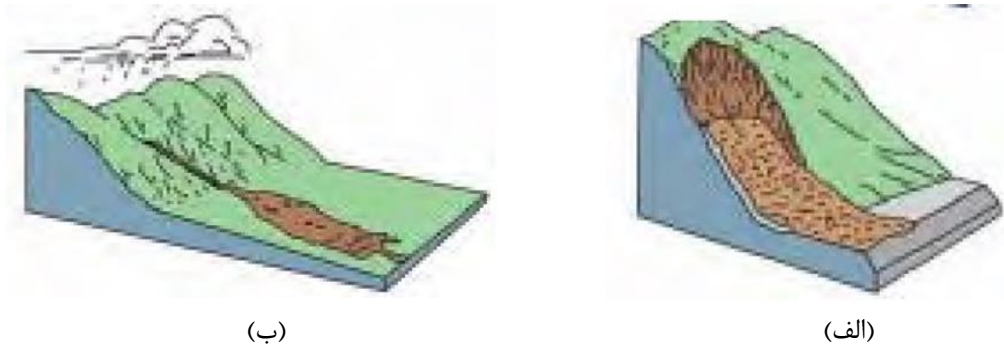
شکل (۲-۴) - انواع حرکت دامنه ای لغزشی :

الف) لغزش انتقالی سنگی ب) لغزش انتقالی بلوکی سنگی پ) لغزش واریزه ای
ت) لغزش چرخشی خاک ج) لغزش انتقالی بلوکی خاکی چ) لغزش گوه ای

۲-۳-۴ - جریان‌ها

جریان‌ها به ناپایداری‌هایی گفته می‌شود که توده زمین به صورت یک جریان به حرکت درمی‌آید. در جریان‌ها، تغییر شکل داخلی در توده متحرک بسیار بیشتر از لغزش‌ها می‌باشد. خصوصیات عمده جریان‌ها وقوع حرکت در تعداد زیاد سطوح برشی غیر مشخص و یا وجود آب زیاد در توده ناپایدار است. بعضی خاک‌ها با یک لغزش اولیه به سرعت دچار شکست و ترک شده و آب زیادی جذب می‌کنند و بنابراین ناپایداری بعدی آنها به صورت جریانی می‌باشد. در یک نگاه کلی، بسته به شیب سازه‌های خاکی، جریان‌ها می‌تواند به دو حالت جریان‌های سطحی (توسعه جانبی) و جریان‌های عمیق تقسیم‌بندی شوند. در صورتی که جریان در یک زمین با شیب ملایم و در یک گستره وسیع اتفاق بیفتد، آن را توسعه جانبی می‌گویند. در صورتی که جریان در یک زمین و یا توده خاک با شیب سطحی تندتر اتفاق بیفتد، آن را جریان عمقی می‌نامند.

جریان‌ها را می‌توان براساس نوع مصالح به خاک‌روانه، گل‌روانه^۷ یا جریان واریزه‌ای^۸ تقسیم‌بندی نمود (شکل ۲-۵).



شکل (۲-۵) - (الف) جریان گل، (ب) جریان واریزه ای

۲-۴ - نقش عوامل موثر در پهنه‌بندی زمین‌لغزش

ناپایدار شدن یک دامنه به معنای غلبه نیروهای محرک بر نیروی مقاوم در برابر گسیختگی می‌باشد. به عبارتی گسیختگی توده زمانی رخ می‌دهد که مجموع نیروهایی که کاهش مقاومت توده و افزایش تنش محرک را در پی دارند، بر مجموع نیروهای پایدارکننده غلبه یابد. آستانه حرکت زمانی است که این دو نیرو برابر باشند و در این صورت ضریب اطمینان که بیانگر نسبت این دو نیرو می‌باشد، برابر یک خواهد بود. هر نوع عامل تاثیرگذار چه در جهت افزایش نیروهای محرک و چه در جهت کاهش نیروهای مقاوم که باعث برهم خوردن تعادل این نیروها شود باعث ایجاد سطح گسیختگی و به حرکت درآمدن توده دامنه‌ای می‌شود.

طبقه‌بندی‌های بی‌شماری در مورد پارامترهای موثر بر لغزش ارائه شده است. برخی از محققین از جمله شارپ (Sharp, 1938) عوامل موثر در زمین‌لغزش را در دو دسته کلی داخلی (ذاتی) و خارجی (متغیر) قرار داده‌اند. وارنز (Varnes, 1984) نیز عوامل موثر در زمین‌لغزش را در دو بخش عوامل ذاتی و عوامل مستعدکننده عنوان می‌کند. در جدول (۲-۲) جزئیات این دو دسته عوامل نشان داده شده است. همه عوامل به جز عوامل ذاتی به عنوان کاتالیزور عمل می‌کنند، مانند آب که شیب‌ها به

⁷ Mud flow

⁸ Debris flow

راحتی در حضور آب مستعد لغزش هستند (Glade et al. 2005) و (حافظی مقدس و غفوری، ۱۳۸۸).

جدول (۲-۲) - شرایط و عوامل ایجاد کننده زمین لغزش (کمک پناه و همکاران، ۱۳۷۱)

لیتولوژی		زمین شناسی	شرایط اساسی یا ذاتی	
ساخت				ژئومورفولوژی
				شرایط هیدرولوژیکی و آب و هوایی
				پوشش گیاهی
برخاست	تغییرات بسیار بطئی	عوامل تغییر دهنده شرایط تنش	عوامل ایجاد کننده تغییرات نامطلوب	
فرسایش یا رسوبگذاری تدریجی				
نوسانات فصلی سطح آب زیر زمینی				
ارتعاشات زلزله				
فعالیت های عمرانی	تغییرات سریع	عوامل تغییر دهنده مقاومت مصالح		
نوسانات سطح آب مخزن				
تغییرات در کاربری زمین				
کند				
مهم در دوره عمر یک سازه	هوازدگی		عوامل تغییر دهنده مقاومت مصالح	
افزایش فشار منفذی و کاهش اصطکاک				
کاهش مقاومت در اثر تغییر مکان برشی دامنه				

۲-۵- ارزیابی خطر زمین لغزش

در این تحقیق پهنه بندی حرکات توده ای از نوع لغزش در نظر گرفته شده است و تحت عنوان زمین لغزش از آنها نام برده می شود. وارنز (Varnes, 1984) پهنه بندی خطر زمین لغزش را چنین تعریف کرد (Ahmad & McCaplin, 1999): پهنه بندی خطر زمین لغزش^۹ عبارت است از تقسیم بندی سطح زمین به مناطق مجزا و رتبه بندی کردن این مناطق براساس خطر ناشی از بروز زمین لغزش. نقشه های پهنه بندی خطر زمین لغزش، نقشه های حساسیت به زمین لغزش می باشند که هر پهنه بیانگر حساسیت مشخصی در رخداد و گسترش فرآیندهای لغزشی می باشد و لذا معنی احتمالاتی ندارد و فقط بیانگر حساسیت یا پتانسیل رخداد در یک منطقه می باشد (Binaghi et al. 1998).

⁹ Landslide Hazard Zonation

۲-۶- مقیاس پهنه‌بندی

ارتباط میزان اهمیت تقسیمات جزئی هر گروه با مقیاس‌های مختلف متفاوت می‌باشد. براساس طبقه‌بندی انجمن بین‌المللی زمین‌شناسی مهندسی، پهنه‌بندی با توجه به هدف و توان کارفرما در مقیاس‌های مختلف انجام می‌شود (Soeters & Van Westen, 1996).

مقیاس ملی (کوچکتر از ۱:۱۰۰۰۰۰۰)

مقیاس ناحیه‌ای (۱:۱۰۰۰۰۰۰ تا ۱:۵۰۰۰۰۰۰)

مقیاس متوسط (۱:۵۰۰۰۰ تا ۱:۲۵۰۰۰)

مقیاس بزرگ (۱:۵۰۰۰ تا ۱:۵۰۰۰۰)

برای تولید نقشه‌های مربوط به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش باید نقشه عواملی که در وقوع زمین‌لغزش موثر می‌باشد مورد ارزیابی قرار گیرند.

نقشه‌های اولیه با دقت کم و صرفاً به مناطق امن و غیر امن تقسیم می‌شوند و با استفاده از تجربه و شناختی که از عوامل مختلف موجود است و همچنین با بهره‌گیری از تجارب گذشته تهیه می‌شوند. نقشه‌های با دقت متوسط با جمع‌آوری کلیه اطلاعات، بررسی عکس‌های هوایی، استفاده از روش‌های سنجش از دور، پردازش تصاویر ماهواره‌ای، انجام بازدیدهای صحرایی و تلفیق و تطبیق اطلاعات تهیه می‌گردد. برای دسترسی به نقشه‌های دقیق و دارای جزئیات کامل، استفاده از نتایج حفاری‌های اکتشافی، داده‌های آزمایشگاهی و ژئوتکنیکی به حد کافی مورد نیاز است.

۲-۷- روش‌های مختلف پهنه‌بندی زمین‌لغزش

روش‌های متعددی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش پیشنهاد گردیده است. به‌طور کلی این روش‌ها به سه دسته اصلی ابتکاری^{۱۰}، آماری^{۱۱} و تعیینی^{۱۲} تقسیم می‌شوند (Soeters & Van Westen, 1996).

¹⁰ Heuristic

¹¹ Statistical

¹² Deterministic

جدول (۲-۳) مقایسه روش‌های مختلف از لحاظ عوامل در نظر گرفته شده در پهنه‌بندی زمین‌لغزش را بیان می‌کند.

۱) روش‌های ابتکاری یا تجربی :

در این روش‌ها، در واقع چندین نقشه پارامتر براساس دانش و تجربه شخصی وزن‌دهی و سپس با یکدیگر تلفیق می‌شوند. نقشه حاصل از این تلفیق به درجات مختلف خطر طبقه‌بندی می‌گردد. در مناطقی که از وضعیت زمین‌لغزش، اطلاعاتی در دست نیست، راهی جز استفاده از این روش نمی‌باشد (Soeters & Van Westen, 1996). روش‌های تجربی در شرایط جغرافیایی خاصی بکار برده شده است، لذا عوامل بکار برده شده در آنها متناسب با شرایط خاص آن منطقه طراحی شده است. فرضیه اصلی آن است که هر چه تعداد عوامل در نظر گرفته شده نظیر زمین‌شناسی، فیزیوگرافی، هیدرولوژی و ... بیشتر باشد، روش پهنه‌بندی از صحت و دقت بیشتری می‌تواند برخوردار باشد و جزئیات کامل‌تری را نشان می‌دهد البته میزان ارائه جزئیات به مقیاس نقشه نیز بستگی دارد.

۲) روش‌های آماری:

از مهمترین روش‌های آماری معمول، روش دومتغیره^{۱۳} و روش چندمتغیره^{۱۴} را می‌توان نام برد (Beguria & Lorente, 1999). در تحلیل آماری خطر زمین‌لغزش به طور عمده از ویژگی‌های زمین‌لغزش‌های رخ داده در منطقه مورد مطالعه برای پیش‌بینی کمی خطر زمین‌لغزش استفاده می‌شود (Saro Lee, Kyungduck M, 2001) و (Van Westen et al. (1993). در ادامه‌ی این بخش، روش آماری دو متغیره به تفصیل شرح داده خواهد شد.

¹³ Statistical Bivariate

¹⁴ Statistical Multivariate

جدول (۳-۲)-مقایسه روش‌های مختلف از لحاظ عوامل در نظر گرفته شده در پهنه‌بندی زمین لغزش (م شریعت جعفری ۱۳۷۵)

عوامل موثر در لغزش	ویژگیهای ساختاری ای	شرایط لیتولوژی	فراوانی زمین لغزه	درجه گسیختگی	آب زیر زمینی	رطوبت خاک	برش شیب و خاکریزی	پایداری دیوار حائل	شکل شیب	پستی و بلندی	تغییر شکل شیب	شیب منفی	میزان شیب	طول خط میزان	ژئومتری شیب	اختلاف ارتفاع شیب	شدت لرزه	شدت بارندگی	هیدرولوژی	کاربری زمین	پوشش گیاهی
مورا و وارسون ۱۹۹۳																					
Anbalagan,1992																					
Brobb,1972																					
Nilsen,1979																					
اصلاح شده نیلسن ۱۹۹۳																					
کاناکاوا ۱۹۸۶																					
موسسه راه ژاپن ۱۹۹۳																					
Stevenson,1977																					
رادبرویج و ونت ورس ۱۹۷۱																					
مینی رود ۱۹۷۸																					
شیوه ارزیابی ماتریس ۱۹۸۴																					
روش shih-chiao ۱۹۹۱																					

۳) روش‌های تعیینی:

روش تعیینی از روش‌های غیر مستقیم تحلیل خطر می‌باشد. زمانی به کار می‌رود که شرایط زمین‌شناسی و ژئومورفیک نسبتاً همگنی در منطقه موجود باشد و زمین‌لغزش‌ها ساده و از تنوع کمی برخوردار باشند. از معایب این روش ساده‌سازی زیاد آن می‌باشد (Van Westen & Trilen, 1996).

۲-۷-۱- روش آماری دو متغیره

در روش آماری دو متغیره^{۱۵} که کلیات آن توسط وستن (Westen, 1993) بیان گردیده، وقوع زمین‌لغزش به عنوان متغیر وابسته و هر یک از عوامل محیطی موثر در این پدیده به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته می‌شوند.

برای محاسبه وزن هر عامل و در نهایت تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش دو روش ارزش اطلاعات^{۱۶} و تحلیل حساسیت^{۱۷} یا تراکم سطح^{۱۸} به کار می‌رود که در محیط GIS می‌توان به راحتی و با دقت بالا به آن دسترسی پیدا کرد.

۱) روش ارزش اطلاعاتی

در این روش با انتخاب پیکسل به عنوان واحد زمینی و رابطه پارامترهای موثر در وقوع زمین‌لغزش با پراکندگی زمین‌لغزش‌ها، (Westen, 1998) اقدام به ارزیابی خطر زمین‌لغزش نموده و براساس این ارزیابی وزن و سهم هر یک از طبقات و واحدهای پارامتر موثر در وقوع زمین‌لغزش طبق رابطه (۲-۱) محاسبه می‌گردد.

¹⁵ Bivariate Statistical Analysis

¹⁶ Information Value

¹⁷ Susceptibility Analysis

¹⁸ Density Area

$$W_i = \ln \frac{Densclass}{Densmap} = \ln \left[\frac{\frac{Npix(S_i)}{Npix(N_i)}}{\frac{\sum Npix(S_i)}{\sum Npix(N_i)}} \right] \quad \text{رابطه (۱-۲):}$$

که در آن W_i وزن مربوط به طبقه مشخص از یک پارامتر،

Densclass : تراکم زمین لغزش در طبقه مشخص از یک پارامتر،

Densmap : تراکم زمین لغزش در کل محدوده،

$Npix(S_i)$: تعداد سلول‌ها یا مساحت زمین لغزش‌های اتفاق افتاده در هر طبقه از پارامتر،

$Npix(N_i)$: تعداد سلول‌ها یا مساحت کل هر طبقه از پارامتر می‌باشند.

۲) روش تراکم سطح :

در این روش همانند روش ارزش اطلاعاتی از طریق روابط زیر (Westen, 1998) برای هر نقشه عامل یا پارامتر تراکم لغزش محاسبه می‌گردد و سپس اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش می‌گردد.

$$D = 1000 * Npix(sxi) / Npix(xi) \quad \text{رابطه (۲-۲):}$$

که در آن، D تراکم لغزش هر متغیر،

$Npix(sxi)$ تعداد پیکسل‌های حرکات توده‌ای در داخل هر کلاس متغیر

و $Npix(xi)$ تعداد پیکسل‌های هر کلاس متغیر می‌باشند.

$$W = 1000 * Npix(sxi) / Npix(xi) - 1000 * \sum Npix(sxi) / \sum Npix(xi) \quad \text{رابطه (۲-۳):}$$

که در آن W وزن کلاس‌های متغیرها،

$Npix(sxi) / Npix(xi)$ تراکم زمین لغزش‌ها در کلاس‌های متغیرها

و $\sum Npix(sxi) / \sum Npix(xi)$ مجموع پیکسل‌های زمین لغزش‌ها بر مجموع پیکسل‌های کلاس‌های

متغیرها می‌باشند.

همچنین برای تبدیل واحدهای مربوط به هر کلاس از کیلومتر به متر، از ضریب ۱۰۰۰ در روابط استفاده شده است.

پس از تهیه نقشه‌های وزنی مربوط به پارامترهای موثر در وقوع زمین‌لغزش، همه آنها با هم جمع شده و یک نقشه وزنی تجمعی حاصل می‌گردد. در مورد مقدار عددی وزن‌ها، هرچه عدد منفی‌تر باشد نشان‌دهنده‌ی تاثیر کمتر پارامتر مربوطه در وقوع زمین‌لغزش می‌باشد و عدد مثبت‌تر نشان‌دهنده تاثیر بیشتر می‌باشد.

۲-۷-۲ - روش رویکرد سیستمی^{۱۹}

موضوع تحلیل پایداری شیب‌ها با روش‌های تحلیلی و عددی به علت پیچیدگی رفتار توده‌سنگ و تعداد عوامل موثر بر آن، همواره کاری دشوار به حساب آمده است. روش‌های تجربی نیز علیرغم استفاده فراگیر، به دلیل در نظر گرفتن فاکتورهای مشخص و مخصوص به خود، از دقت و کارایی لازم برای تمامی موقعیت‌ها برخوردار نیستند. رویکرد سیستم‌های مهندسی سنگ (RES) به عنوان یک روش سیستمی در تحلیل‌ها و رده‌بندی‌های پروژه‌های مهندسی سنگ مطرح می‌باشد (زارع نقدهی و خالو کاکایی، ۱۳۸۸).

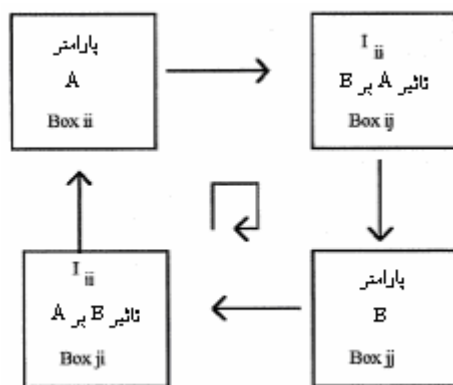
سیستم‌های مهندسی سنگ روشی است که امکان تجزیه و تحلیل همزمان روابط بین پارامترهای موثر توده‌سنگ، ساختگاه و سازه را دارد و آثار ناشی از اندرکنش آنها را مورد بررسی قرار می‌دهد (Hudson, 1992). اصلی‌ترین مشخصه رویکردهای سیستمی، در نظر گرفتن اکثر پارامترهای موثر بر سیستم مورد مطالعه و استفاده از اثرات متقابل میان آنها برای رسیدن به رفتار کل سیستم است. در واقع این مسئله تفاوت بارز این روش‌ها با روش‌های تحلیلی می‌باشد.

این رویکرد با در نظر گرفتن مسئله به صورت یک سیستم واقعی و با استفاده از ویژگی‌ها و تفکر سیستمی، امروزه به عنوان راه حلی جدید برای مسائل پیچیده مهندسی سنگ به شمار می‌رود.

¹⁹ Rock Engineering System

در سیستم‌های مهندسی سنگ شناسایی پارامترهای بحرانی، مسیرهای تاثیرگذار، حلقه‌های برگشتی و ارزیابی تکنیک‌های انتخابی مهندسی مناسب، با استفاده از ماتریس اندرکنش صورت می‌گیرد. ماتریس اندرکنش عنصر کلیدی سیستم‌های مهندسی سنگ است که جهت فهرست کردن پارامترهای مؤثر در یک پروژه مهندسی سنگ و نمایش اندرکنش بین آنها مورد استفاده قرار می‌گیرد. ساختار کلی یک ماتریس اندرکنش در شکل ۲-۶ نشان داده شده است. در این روش پارامترهای مؤثر روی قطر اصلی ماتریس قرار می‌گیرند و اندرکنش پارامترها با یکدیگر بر حسب میزان آن با کدگذاری در عناصر غیرقطری ماتریس مشخص می‌گردد. بدین ترتیب مجموع خانه‌های سطری معرف اثری است که پارامتر موجود در آن سطر (P_i) روی دیگر پارامترها دارد و مجموع خانه‌های ستونی معرف تاثیری است که پارامتر موجود در آن ستون (P_i) از دیگر پارامترها پذیرفته است (Hudson, 1992).

جهت این ماتریس در جهت عقربه‌های ساعت است، به طوری که خانه بالا سمت راست، اثر پارامتر A (برای مثال تاثیر جنس مصالح) روی B (شیب دامنه) و خانه پایین سمت چپ، اثر B روی A را نشان می‌دهد. بدین ترتیب ماتریس‌های اندرکنش به عنوان ابزاری قوی به منظور استفاده در رویکرد سیستم‌های مهندسی سنگ و نشان دادن مکانیزم‌های تاثیر عوامل اصلی بر یکدیگر معرفی می‌شوند.



شکل (۲-۶) - مفهوم کلی ماتریس اندرکنش

به منظور تفسیر سیستم‌های مهندسی سنگ روش‌های متعددی برای کدگذاری ماتریس اندرکنش ارائه شده است. از میان این روش‌ها، روش کدگذاری نیمه کمی خبره^{۲۰} معروف‌ترین مورد است که دارای پنج کلاس کدگذاری از ۰ تا ۴، مطابق جدول (۴-۲) است.

جدول (۴-۲) - نحوه امتیاز دهی به پارامترها براساس میزان تاثیر آن‌ها بر یکدیگر (Hudson & Jiao, 2000)

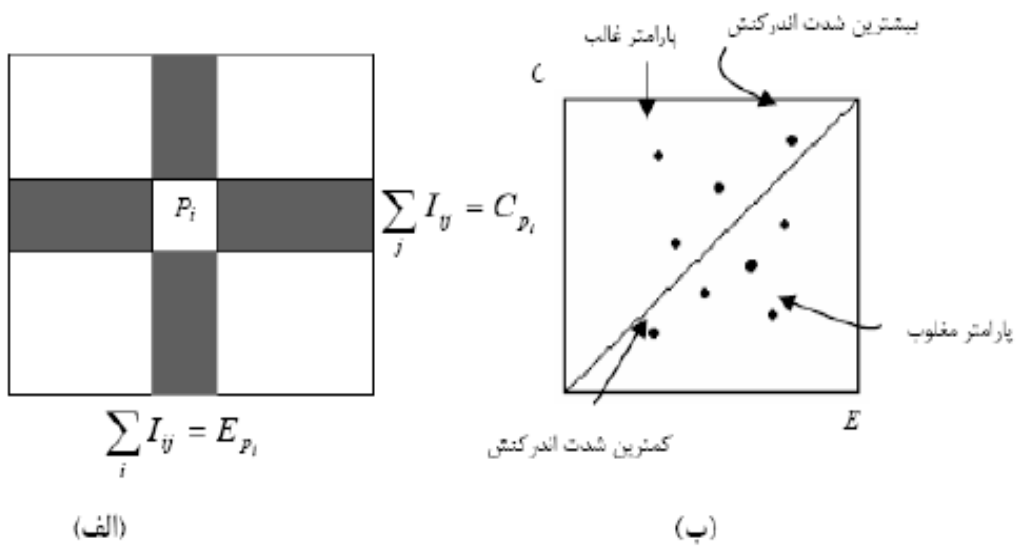
میزان تاثیر پارامترها بر هم	عدم وجود اندرکنش	ضعیف	متوسط	زیاد	بحرانی
امتیاز	۰	۱	۲	۳	۴

با توجه به نحوه ساخته شدن ماتریس واضح است که هر سطر عبوری از درایه نشان دهنده تاثیر آن بر تمام پارامترهای دیگر موجود در سیستم است. به عکس، هر ستون عبوری از درایه نشان دهنده تاثیر پارامترهای دیگر سیستم بر روی آن می‌باشد. بعد از اینکه ماتریس به صورت عددی کدگذاری شود، می‌توان جمع هر سطر و هر ستون آن را به دست آورد. مجموع مقادیر هر ستون به نام "اثر"^{۲۱} و همین‌طور مجموع مقادیر هر سطر به نام "علت"^{۲۲} شناخته می‌شوند که در نهایت سبب به وجود آمدن محورهای C و E می‌گردند. بنابراین مقادیر C نشانگر مسیری است که تاثیرات P_i روی سیستم بوده و مقدار E نشانگر تاثیری است که سیستم روی P_i دارد. در شکل (۷-۲) چگونگی اثرگذاری یک پارامتر و همچنین تاثیرپذیری آن از سیستم در قالب یک دستگاه مختصات علت-تاثیر نشان داده شده است (Hudson & Jiao, 2000).

²⁰ Semi-Expert Quantitative Coding

²¹ Effect

²² Cause



شکل (۷-۲) الف- مفهوم اثر و تاثیر مربوط به هریک از پارامترها در ماتریس اندرکنش ب- نمودار اثر- تاثیر (Hudson, 1992)

تفسیر چنین نموداری اطلاعات کاملی از وضعیت سیستم مورد مطالعه در اختیار ما خواهد گذاشت. رویکرد RES بسته به کاربرد موردنظر و متصور از آن، دارای مراحل دیگری شامل تعریف اندیس با توجه به موضوع کار و تشکیل منوهای رده‌بندی پارامترها نیز می‌باشد که سعی خواهد شد در فصل چهارم، همزمان با ارائه کاربرد در مورد آن بحث گردد.

فصل سوم

ویژگی‌های عمومی منطقه

۳-۱- چینه‌شناسی

بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی نشان می‌دهد که سازندهای مختلف دوران سنوزوئیک و نهشته‌های کواترنری در مسیر مورد مطالعه رخنمون دارد که از بین رخنمون‌های سنگی سازند آسماری-شهبازان بیشترین گسترش را دارد. در ذیل به شرح برخی ویژگی‌های میدانی سازندهای موجود در طول مسیر از قدیم به جدید پرداخته می‌شود:

۳-۱-۱- سازند آسماری - شهبازان (AS-Sb)

تفکیک سازند آسماری از سازند شهبازان در روی زمین میسر نیست، لذا هر دو سازند به صورت یک واحد غیر قابل تفکیک آسماری- شهبازان در نقشه زمین‌شناسی استان لرستان آورده شده است.

سن سازند آسماری الیگو- میوسن است. برش نمونه این سازند اولین بار توسط ریچارد دسون در تنگ گل ترش روی دامنه غربی تاقدیس کوه آسماری بررسی شد. به طور کلی سنگ‌شناسی این سازند از ۳۱۴ متر آهک‌های کرم تا قهوه‌ای حاوی فسیل‌های صدف تشکیل شده است. سازند آسماری به طور هم‌شیب بین سازند پابده (در زیر) و سازند گچساران (در بالا) قرار دارد. این سازند دو بخش را شامل می‌شود:

الف : بخش ماسه سنگی اهواز (الیگوسن - میوسن): در منطقه نفتی اهواز و منصوری، قسمت پایینی سازند آسماری (۲۱۳/۵ متر) بخش ماسه سنگی اهواز نامیده می‌شود.

ب: بخش آهکی کلهر (الیگوسن): این بخش با ضخامت ۱۱۹ متر در جنوب غرب لرستان گسترش دارد. از نظر زیست‌چینه‌شناسی سازند آسماری به سه قسمت پایینی، میانی و بالایی تقسیم می‌شود. سن سازند شهبازان ائوسن میانی- بالایی است. برش نمونه این سازند در تنگ دو در ۵۰ کیلومتری غرب ایستگاه راه‌آهن تله زنگ قرار دارد و از ۳۳۲/۵ متر دولومیت‌های دانه شکر و آهک‌های دولومیتی تشکیل شده است. سازند شهبازان فقط در نواحی شمال شرق لرستان دیده می‌شود (مطیعی، ۱۳۸۲).

اولین تونل احداث شده در کیلومتر ۲ آزادراه خرم‌آباد- پل زال از بین سازند آسماری- شهبازان عبور کرده و ویژگی‌های مشاهده شده از این سازند شامل آهک‌های کرم تا قهوه‌ای رنگ است که در بیرون زدگی‌ها به صورت برجسته و با درز و شکاف‌های زیادی به خوبی مشخص می‌شوند (شکل ۳-۱). به علت سختی و مقاومت بالای آهک‌های آسماری این تشکیلات بخش‌های مقاوم منطقه چین خورده زاگرس را تشکیل می‌دهد. به دلیل تخلخل بالا و درزه و شکاف زیاد پدیده کارستی شدن در آن گسترش پیدا کرده است و به علت صخره‌ساز بودن تولید رواناب از سطح آن تقریباً بالا می‌باشد.



شکل (۳-۱)- سازند آسماری- شهبازان (دید به غرب)

۳-۱-۲- سازند گچساران (GS)

سن این سازند میوسن زیرین است. سازند گچساران به لایه‌های ضخیم تبخیری گفته می‌شود که میان لایه‌های دریایی با ارزش‌های گوناگون قرار دارد. رخنمون عادی این رخساره از ژیبس با میان لایه‌های قرمز و خاکستری مارن و آهک فسیل‌دار تشکیل شده است (شکل ۳-۲). این سازند به عنوان واحد شیل روی مخازن نفتی سازند آسماری اهمیت دارد. برای سازند گچساران یک برش نمونه کامل در سطح زمین

وجود ندارد که این به علت داشتن خواص پلاستیکی ناشی از وجود لایه‌های ضخیم نمک و لایه‌های مارنی است که موجب دگرشکلی لایه‌ها و به هم ریختگی آنها می‌شود و قابلیت انحلال نمک‌ها این به هم‌ریختگی را در سطح زمین و یا نزدیک به آن، تسریع و تداوم می‌بخشد. این سازند از نظر آب‌های زیرزمینی اهمیت دارد. در برش زیرزمینی که ضمن حفاری‌های نفتی بررسی شده ۷ بخش غیر قابل تشخیص از یکدیگر را شامل می‌شود (مطیعی، ۱۳۸۲).



شکل (۳-۲) - سازند گچساران (دید به غرب)

ژیپس و انیدریت در این سازند نمود بیشتری دارد. خاصیت سازند گچساران انحلال‌پذیری آن می‌باشد و به راحتی در آب حل می‌شود. ژيپس‌های آن چین‌های جریانی دارند، ویژگی این چین‌ها این است که یال، دامنه، خط الراس و خط القعر مشخصی ندارند (نمی‌توان شیب و جهت شیب را در آنها برداشت کرد). این نوع چین‌ها در ژيپس بر اثر جریان ایجاد می‌شود.



شکل (۳-۳) - چین‌های جریان‌ی در بخش ژئوسپی سازند گچساران در ترانشه احداث شده در طول مسیر (منطقه تل سالار)

فرآیند انحلال و ایجاد کارست در ژئوسپس‌های آن زیاد است. وقتی ژئوسپس در آب حل می‌شود غار زیرزمینی ایجاد می‌کند برای همین ممکن است در اثر بارندگی در این منطقه فرونشست محلی یا عمودی رخ دهد. فرونشست محلی می‌تواند به شکل فروچاله^{۲۳} باشد. در مسیر مورد مطالعه در بخش تل و کوماس به دلیل حضور سازند گچساران نشست عمومی داریم.

۳-۱-۳ - سازند آغاچاری (AJ)

سن این سازند میوسن بالایی - پلیوسن می‌باشد. برش نمونه این سازند در طول جاده امید به چاه‌های نفت میدان آغاچاری مطالعه شده است. سازند آغاچاری به طور تدریجی و هم شیب روی سازند میشان قرار گرفته است، در صورتی که کنگلومرای بختیاری به طور دگرشیب سازند آغاچاری را می‌پوشاند. در استان لرستان سازند میشان به وسیله آغاچاری جایگزین شده این سازند به طور هم‌شیب بر روی

²³ Sinkhole

تبخیری‌های گچساران قرار می‌گیرد. ضخامت این سازند متغیر است و در لرستان از رسوبات دریاچه‌ای تشکیل شده است (مطیعی، ۱۳۸۲).

این سازند از بخش‌های مارنی قهوه‌ای، ماسه‌سنگ‌هایی به رنگ سبز روشن و مارن قرمز و خاکستری تشکیل شده است و به عبارتی این سازند دارای تناوبی از ماسه سنگ و مارن می‌باشد که ضخامت هر کدام از بخش‌های مارنی و ماسه‌ای آن یک متر می‌باشد.



شکل (۳-۴) - رخنمون سازند آغاچاری - دید به جنوب

۳-۱-۴ - رسوبات کواترنری (Q^{all})

رسوبات این زمان به صورت رسوبات آبرفتی، کوهپایه‌ای، بادی و صحرایی و بالاخره رسوبات کویری است. به طور کلی به استثنای رسوبات دریایی، دریاچه‌ای، دلتایی و مردابی، دوره کواترنری با یک فاز فرسایشی در تمام ایران مشخص است.

در منطقه مورد مطالعه عموماً رسوبات فاقد سنگ و سیمان و به صورت خاک است و دارای قلوه سنگ-هایی از جنس آهک و ذرات آن بدون استثنا حاصل فرسایش رسوبات آسماری – شهبازان است (شکل ۳-۵). منشا ذرات آنها آبرفتی و دارای جورشدگی ضعیف است که علت آن کم بودن فاصله منشا تا محل نهشت است. با حرکت به سمت جنوب آزادراه سن سازندها جدیدتر می‌شود. به علت عدم سیمان‌شدگی در این رسوبات، با بارش باران و رواناب، تغییر موضع داده و به صورت ذرات معلق در آب درآمده و همراه آب به پایین دست حمل می‌شوند.



شکل (۳-۵) - دانه‌بندی خوب و جورشدگی ضعیف ذرات در رسوبات کواترنر در منطقه مورد مطالعه

۲-۳- زمین‌شناسی ساختمانی

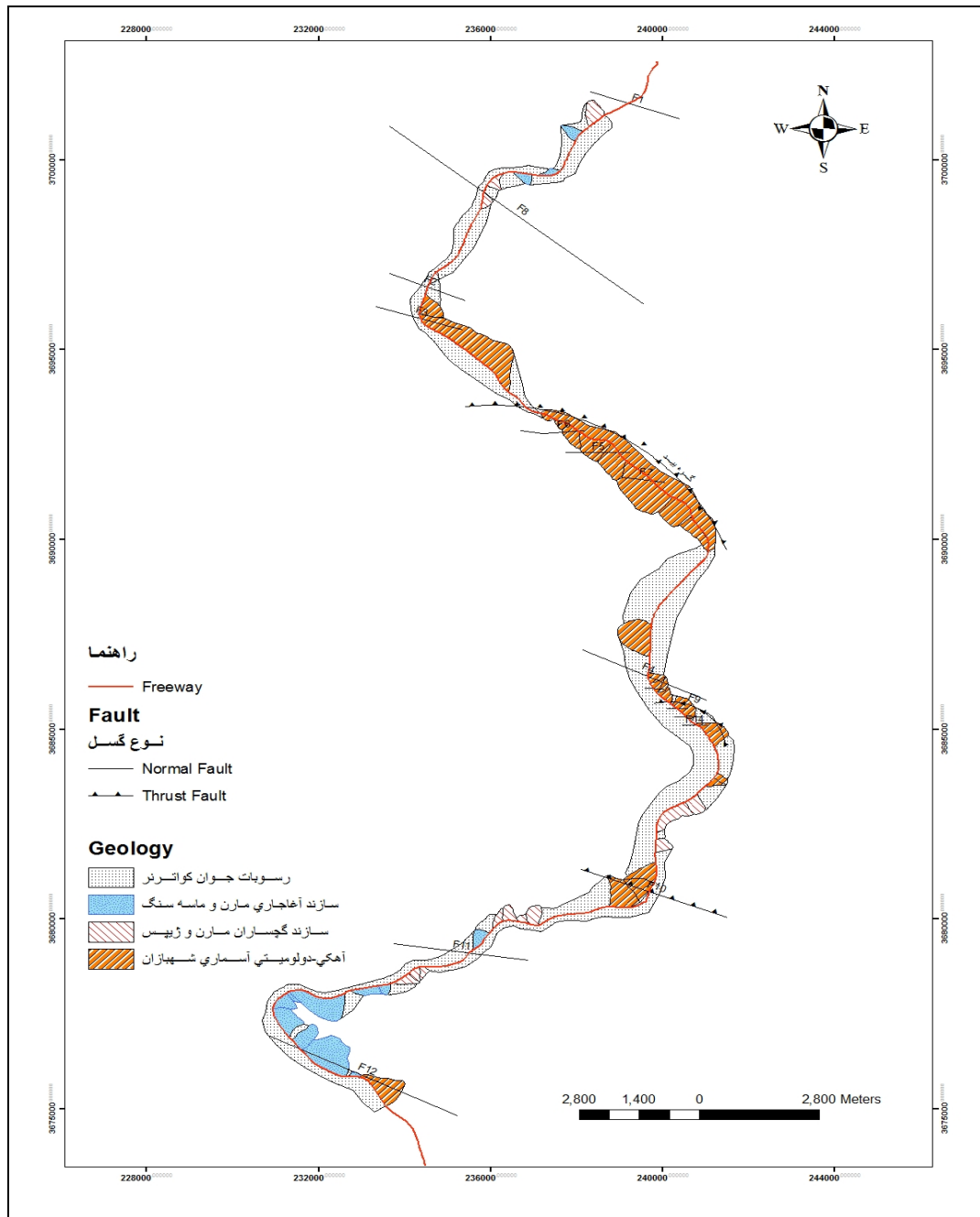
از لحاظ ساختاری منطقه مورد مطالعه بخشی از زون ساختاری زاگرس چین‌خورده می‌باشد. زاگرس یکی از واحدهای زمین‌ساختی کشورمان است که به واحد جنوب‌غرب نیز شهرت دارد. این واحد یکپارچه‌ترین توده کوهستانی ایران است. اغلب ساختارها و فعالیت‌های تکتونیکی در کمربند چین‌خورده زاگرس نتیجه فشاری است که به سمت شمال‌شرقی وارد می‌شود و علت آن جابجایی پهنه عربی به سوی اوراسیا است.

دگرشکلی فشاری از فاز لارامین (کرتاسه پسین) همزمان با جدایش صفحه عربستان از آفریقا و ایجاد دریای سرخ آغاز شده است. بنابراین یک شباهت بین حرکات پوسته‌های اخیر با آن‌هایی که در طی کوهزایی آلپی ایجاد شده و باعث رورانندی سمت جنوب‌غربی شده‌اند، وجود خواهد داشت. چنانچه امتداد گسل‌های ترانسفورم (گسل‌های امتداد لغز پشته‌های میان اقیانوسی) دریای سرخ و خلیج عدن امتداد بردار جابجایی صفحه عربستان تلقی شود، با توجه به سایر شواهد دگرشکلی و داده‌های نئوتکتونیک به نظر می‌رسد که راستای امتداد جابجایی یا فشردگی اصلی است که در اثر تجزیه N30E تا N20E آن می‌توان مؤلفه‌های فشاری و مؤلفه‌های جابجایی راستگرد را استنباط نمود (مطیعی، ۱۳۸۲).

۳-۳- گسل‌ها و چین‌خوردگی‌ها

در منطقه مورد مطالعه (آزادراه خرم‌آباد - پل زال) سیستم‌های شکستگی مربوط به گسل‌خوردگی می‌باشند که باعث خرد شدن سنگ‌ها و ایجاد درزه‌ها در سازندهای این مسیر شده است (شکل ۳-۶). گسل گره‌بید از مهمترین سیستم‌های گسله موجود در مسیر مورد مطالعه می‌باشد، این گسل در ۷ کیلومتری آزادراه خرم‌آباد - پل زال قرار دارد این سیستم گسله که سازوکار راندگی دارد از مهمترین عارضه‌های ساختاری شناسایی شده در منطقه مورد مطالعه می‌باشد که جهت حرکت آن شمال - شمال‌شرق و شیب راندگی به سمت جنوب - جنوب‌غرب می‌باشد. این گسل باعث رانده شدن سازند آهکی و دولومیتی آسماری - شهبازان بر روی سازند گورپی شده است. مرز این دو سازند گسله است و بر اثر این راندگی توده‌سنگی سازند آسماری - شهبازان به شدت خرد شده است که این خردشدگی باعث افزایش نفوذپذیری و انحلال‌پذیری (ایجاد اشکال کارستی) آن شده است. وجود این عوامل یعنی گسل، خردشدگی زیاد واحدهای سنگی و به دنبال آن ایجاد ترانشه به منظور

احداث این آزادراه زمینه مناسبی را جهت لغزش سنگ و ریزش خاک در حجم زیاد و به طول تقریبی دو کیلومتر در طول جاده را فراهم نموده است.



شکل (۳-۶) - نقشه گسلها و سازندهای زمین‌شناسی منطقه



شکل (۷-۳) - شکستگی های ایجاد شده در سنگ ها بر اثر گسل



شکل (۸-۳) - خرد شدگی سنگها در سازند آسماری - شهبازان (بر اثر گسل)



شکل (۳-۹) - نمایی از گسل در سازند گچساران - دید شرق

بررسی‌های میدانی انجام شده در مسیر مورد مطالعه نشان می‌دهد که این منطقه تحت تاثیر عناصر ساختاری بزرگ مقیاس به ویژه گسل‌ها با مولفه راندگی، شکل اصلی و فعلی خود را به دست آورده است. از دیگر ساختارهای تکتونیکی در زون ساختاری زاگرس چین‌ها می‌باشند. در این مسیر تاقدیس و ناودیس که علت ایجاد آنها فاز کوهزایی است به چشم می‌خورد. روند ناودیس و تاقدیس شمال غرب - جنوب شرق است، شیب لایه‌ها به سمت جنوب و امتداد عمود بر آن می‌باشد. در هسته تاقدیس کشکان قرار دارد و روی آن آسماری - شهبازان و سپس گچساران قرار دارد.

۳-۴ - سیستم‌های ناپیوستگی

بررسی‌های میدانی انجام گرفته نشان می‌دهد که در سطح منطقه مورد مطالعه و از میان واحدهای سنگی و رسوبی دوران سنوزوئیک و ترشیاری، سازندهای آسماری - شهبازان، گچساران و آغاچاری دارای بیشترین رخنمون در دو طرف جاده می‌باشند. در سطح این توده‌های سنگی حضور سیستم‌های گسیختگی در دسته‌های متعدد یک ویژگی شاخص مهندسی می‌باشد. برداشت‌های میدانی نشان می‌دهد

که در سطح توده‌های سنگی آسماری - شهبازان حداقل سه دسته درزه و در بیشتر نقاط وجود توده‌های سنگی خرد و برشی شده باعث بروز گسیختگی‌های متعدد و متوالی شده است. از سویی در سطح سایر سازندهای سخت منطقه مانند بخش‌های ماسه‌سنگی آجاجاری حداکثر سه دسته درزه برشی به چشم می‌خورد.

از مهمترین ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی سطوح ناپیوستگی در توده‌های سنگی در مسیر مورد مطالعه می‌توان سطوح ناپیوستگی صاف، پرکننده غالباً رسی، فاصله‌داری غالباً کمتر از ۱۰ سانتی‌متر، بازشدگی بیش از ۱۰ میلی‌متر، تداوم بیش از ۲۰ متر، حضور آب در امتداد این سطوح به شکل جریان در نیمی از سال، هوازدگی نسبتاً شدید و مقاومت دیواره درزه به مراتب کمتر از سنگ بکر را نام برد.

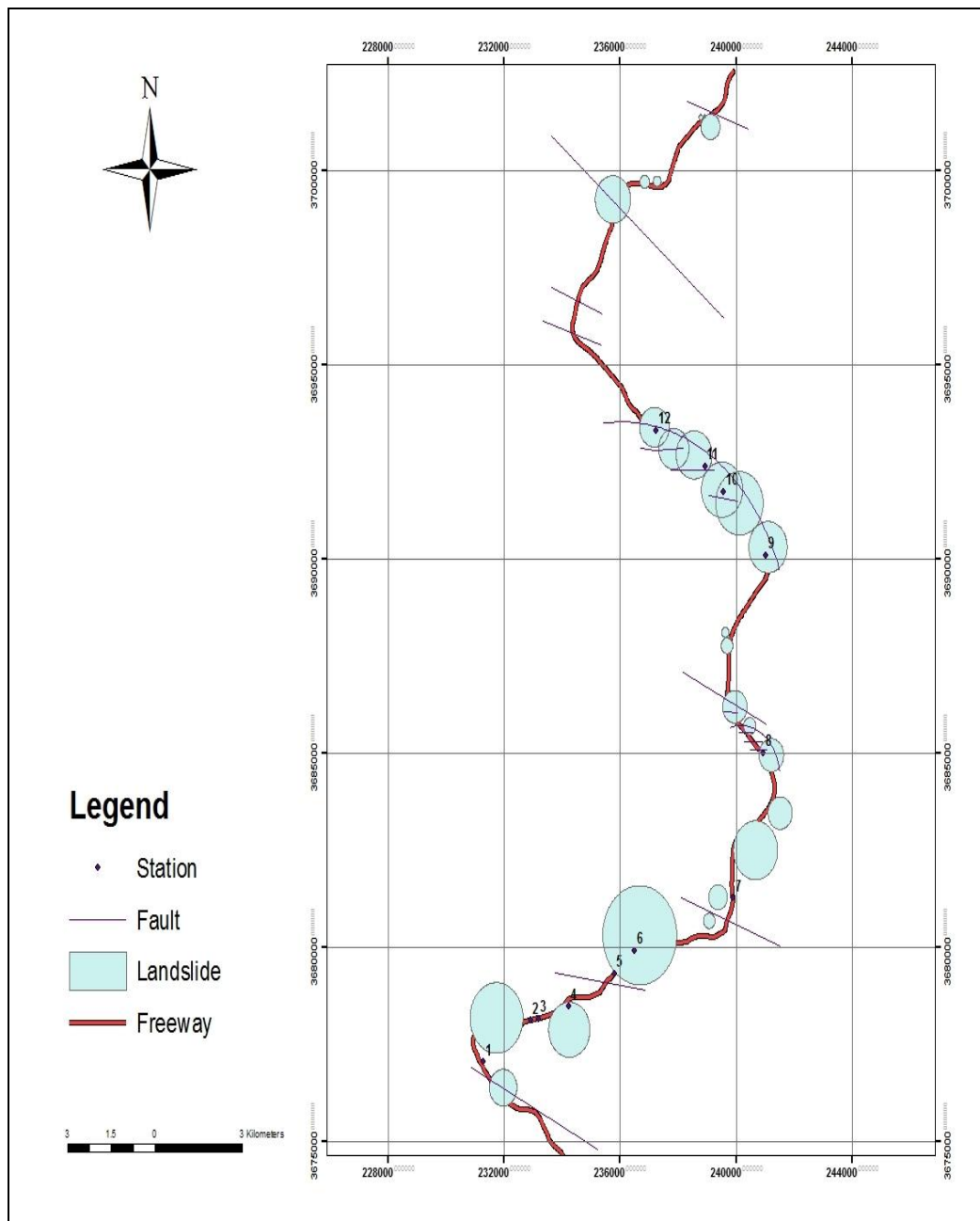
از سویی مقاومت تک‌محوری سنگ بکر که توسط چکش اشمیت برآورد شده است حداکثر ۴۲ مگاپاسکال می‌باشد که این مقاومت در سطح ناپیوستگی‌ها به ۳۵ مگاپاسکال تنزل می‌یابد. مسلماً این توده‌های سنگی با این ویژگی‌ها استعداد ناپایداری را به شکل بالقوه دارا می‌باشند که عوامل تشدیدکننده ناپایداری بالفعل مانند آب زیرزمینی، بارندگی، یخبندان، تنش‌های زودگذر مانند زلزله و ترافیک به همراه مقدار شیب ترانشه‌های احداث شده در کنار سایر عوامل زمین‌شناسی باعث شده‌اند اغلب شیب‌های سنگی در مسیر آزادراه خرم‌آباد - پل زال (منطقه مورد مطالعه) به شدت ناپایدار باشند که ناپایداری‌ها از لحاظ فعالیت در رده حرکات فعال قرار می‌گیرند.

۳-۵- ناپایداری‌های شیبی

با بازدیدهای صحرائی از مناطق دارای حرکات توده‌ای و یا مستعد و با در نظر گرفتن شرایط غالب سطوح ناپیوستگی‌ها در نرم افزار Rock-Lab، اندیس مقاومت زمین‌شناسی (GSI) در ۱۲ ایستگاه در منطقه مورد نظر تعیین شد. همچنین ارتفاع ترانشه‌ها، شیب لایه‌بندی و سایر اطلاعات لازم برداشت و در نهایت

مکانیسم ناپایداری در هر ایستگاه بررسی شد. در جدول (۳-۱) به اختصار اطلاعات برداشت شده از ۱۲ ایستگاه و در ادامه تصاویری از مناطق یاد شده با توضیحات مختصری آورده شده است (شکل ۳-۱۱ تا ۳-۳).

(۳۴).



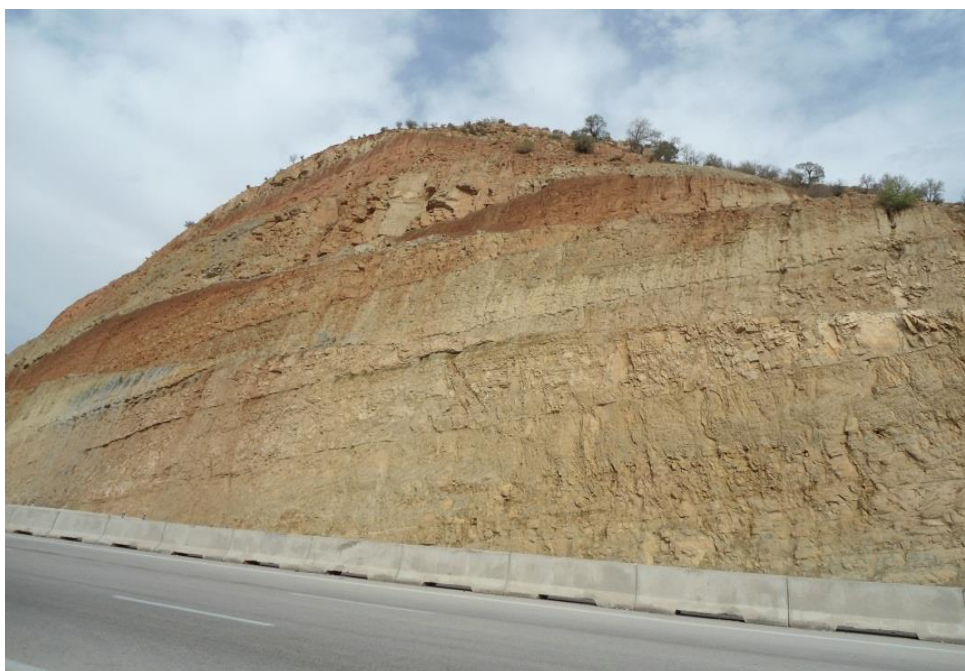
شکل (۳-۱۰) - نقشه محدوده های دارای زمین لغزش و ایستگاههای بررسی شده در منطقه مورد مطالعه

جدول (۳-۱) - خلاصه ای از اطلاعات برداشت شده از بازدید صحرایی در ۱۲ ایستگاه

مکانیسم ناپایداری	تعداد دسته درزه	اندیس مقاومت زمین شناسی	شیب و جهت شیب لایه بندی ها	ارتفاع ترانشه	شیب دامنه	سازند زمین شناسی	مختصات جغرافیایی		شماره ایستگاه
							X	Y	
ریزشهای کوچک	دسته ۴	۲۷	۵۵/۰۱۵	۲۰	۳۰	سازند ژپیس و مارن گچساران	231299	3677063	۱
پایدار	دسته ۲	۵۵	۲۰/۰۳۰	۳۶	۳۵	سازند مارن و ماسه سنگ آجاجاری	235816	3679345	۲
احتمال ناپایداری		۴۰	۲۰/۰۳۰	۲۰	۳۵	سازند ژپیس و مارن گچساران	236508	3679930	۳
ریزش + لغزش	دسته ۴	۲۵	۵۵/۰۱۵	۳۰	۴۵	سازند مارن و ماسه سنگ آجاجاری	232929	3678136	۴
ریزش (نقطه بحرانی)	دسته ۴	۲۵	۵۵/۰۱۵	۳۰	۴۵	سازند مارن و ماسه سنگ آجاجاری	233192	3678184	۵
پهنه لغزشی		۳۰	۲۰/۰۳۰	۲۰	۵۰	سازند ژپیس و مارن گچساران	234231	3678490	۶
ریزش + لغزش		۳۰	۲۰/۰۳۰	۲۰	۵۳	سازند ژپیس و مارن گچساران	239897	3681289	۷
ریزشهای بلوکی و صفحه ای	خرد شده	۴۵	۴۰/۰۳۵	۴۰	۴۶	سازند آهکی دولومیتی آسماری شهبازان	240936	3685019	۸
ریزشهای بلوکی	خرد شده	۳۰	۱۰/۰۷۰	۲۰	۲۵	سازند آهکی دولومیتی آسماری شهبازان	241032	3690110	۹
مرکب	خرد شده	۳۵	۱۰/۰۷۰	۳۰	۲۵	سازند آهکی دولومیتی آسماری شهبازان	239561	3691750	۱۰
مرکب	خرد شده	۲۷	۱۰/۰۷۰	۳۵	۳۱	سازند آهکی دولومیتی آسماری شهبازان	238934	3692400	۱۱
ریزش + لغزش گوه ای	خرد شده	۳۰	۲۵/۰۱۰	۲۵	۲۵	سازند آهکی دولومیتی آسماری شهبازان	237245	3693316	۱۲



شکل (۱۱-۳) - ریزش‌های سنگی کوچک در سازند گچساران (ایستگاه شماره ۱)



شکل (۱۲-۳) - حالتی پایدار از یک ترانشه در سازند آغاچاری (ایستگاه شماره ۲)



شکل (۳-۱۳) - ترانشه احداث شده در سازند گچساران که حالتی پایدار را نشان می‌دهد ولی با توجه به شواهد و جنس لایه‌ها احتمال ناپایداری در آینده به علت آبیگری مارن‌های موجود پیش‌بینی می‌شود (ایستگاه شماره ۳).



شکل (۳-۱۴) - لغزش انتقالی در سازند آغاچاری (ایستگاه شماره ۴)



شکل (۳-۱۵) - ریزش سنگی در سازند آغاچاری (ایستگاه شماره ۵)



شکل (۳-۱۶) - پهنه لغزشی بزرگ با احتمال خطر لغزش‌های بزرگ و ریزش در سازند گچساران (ایستگاه شماره ۶)



شکل (۳-۱۷) - ریزش و لغزش در سازند گچساران با لایه‌های کاملاً به هم ریخته (ایستگاه شماره ۷)



شکل (۳-۱۸) - احتمال خطر ریزش‌های بلوکی و صفحه‌ای (در صورت وقوع زمین‌لرزه) در سازند آسماری-شهبازان (ایستگاه شماره ۸)



شکل (۳-۱۹) - سازند آسماری بر اثر رانندگی بر روی سازند گورپی قرار گرفته است. در این نقطه ریزش‌های بلوکی به دلیل وجود درزه‌هایی با شیب ۹۰ درجه رخ داده است (ایستگاه شماره ۹).



شکل (۳-۲۰) - خطر ریزش‌های سنگی در سازند آسماری (ایستگاه شماره ۱۰)



شکل (۳-۲۱)- بزرگترین لغزش رخ داده در طول مسیر که شامل لغزش‌های بلوکی چرخشی و مرکب (عمق لغزش تا کف) در میان سازند آسماری می‌باشد. در این منطقه بلوک‌های بزرگ سنگی لغزش یافته در طول مسیر مشاهده می‌شود (ایستگاه شماره ۱۱).



شکل (۳-۲۲)- لغزش گوه‌ای تیپیک در سازند آسماری (ایستگاه شماره ۱۲)



شکل (۳-۲۳) - رخنمون نهشته‌های پایدار کوتاه‌تر که تراکم طبیعی بالایی دارد و ناشی از دانه بندی خوب است.



شکل (۳-۲۴) - ترکهای کششی در کیلومتر هشت آزادراه که نشانه فعال بودن زمین لغزش می‌باشد.

۳-۶- لرزه‌خیزی منطقه مورد مطالعه

عامل لرزه‌خیزی به صورت تخمین شتاب حداکثر محتمل برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال در منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شده است. منطقه مورد مطالعه در یک پهنه با خطر نسبی لرزه‌ای بالا قرار گرفته است (آیین نامه ۲۸۰۰). برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه‌ای گستره مورد نظر از آخرین اطلاعات زمین‌شناسی و زلزله‌شناسی استفاده می‌شود. برای این منظور از نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ نقشه‌های تکتونیکی، گزارش‌ها، اسناد و مدارک علمی موجود و داده‌های زمین‌لرزه‌های محلی، نقشه‌ی لرزه‌زمین‌ساختی گستره‌ی مورد مطالعه تهیه شده و براساس آن ۲۱ چشمه‌ی بالقوه‌ی زمین‌لرزه بصورت خطی و پهنه‌ای تعیین شده است. در هر چشمه براساس داده‌های زمین‌لرزه‌ای موجود و استفاده از راهکار مناسب برای برآورد پارامترهای لرزه‌خیزی از داده‌های ناکامل و دارای عدم قطعیت، پارامترهای لرزه‌خیزی برآورد شده است.

سپس با استفاده از نرم‌افزار SeisRisk III (Bender & Perkins, 1987) برای شبکه‌ای از نقاط برآورد خطر انجام و نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین‌لرزه‌ای منطقه مورد مطالعه تهیه گردیده است.

۳-۶-۱- برآورد شتاب زلزله

برآورد خطر زمین‌لرزه به معنی تخمین پارامترهای جنبش زمین در یک ساختگاه می‌باشد که از فعالیت چشمه‌های با پتانسیل لرزه‌ای در یک دوره زمانی مشخص نتیجه می‌شود. این کار به روش‌های زیر انجام می‌شود:

۱- روش تجربی- آماری: این روش ساده‌ترین راه برای ارزیابی خطر زمین‌لرزه است و مبتنی بر آمار زمین‌لرزه‌های رویداده در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

۲- روش قطعی: برای انجام این روش لازم است که مراحل زیر انجام شود:

الف- تعیین چشمه‌های لرزه‌ای.

ب- تعیین بیشینه‌ی بزرگی که می‌توان از هر چشمه انتظار داشت.

ج- تعیین رابطه مناسب تضعیف جنبش زمین برای منطقه مورد نظر.

د- تعیین میزان خطر یا بیشینه‌ی شتاب زمین.

در این روش جنبش زمین بدست آمده برای ساختگاه مورد نظر تنها یک زمین‌لرزه با بزرگی مشخص در یک چشمه به فاصله‌ی مشخص از ساختگاه بیان می‌شود. صرف‌نظر از اینکه احتمال وقوع زمین‌لرزه‌ای با خصوصیات متفاوت وجود داشته باشد، به همین دلیل برای ساختگاه‌های مهم انجام برآورد خطر زمین‌لرزه با این روش قابل اطمینان نیست.

۳- روش احتمالاتی: برخلاف روش قطعی در برآورد خطر زمین‌لرزه به روش احتمالاتی تمام بزرگی‌های ممکن بیش از (M) حاصل از چشمه‌های مهم که در فواصل مختلفی از ساختگاه قرار گرفته‌اند با در نظر گرفتن درصد احتمال وقوع بیان می‌شود. بنابراین در این روش تعیین جنبش زمین با یک احتمال مشخص برای ساختگاه امکان‌پذیر است. برآورد خطر زمین‌لرزه به روش احتمالاتی شامل چهار مرحله‌ی اساسی است (cornell, 1968).

۱- تعیین چشمه‌های لرزه‌ای

۲- تعیین پارامترهای لرزه‌خیزی در هر چشمه‌ی لرزه‌ای

۳- تعیین یا گزینش مرحله‌ی تضعیف

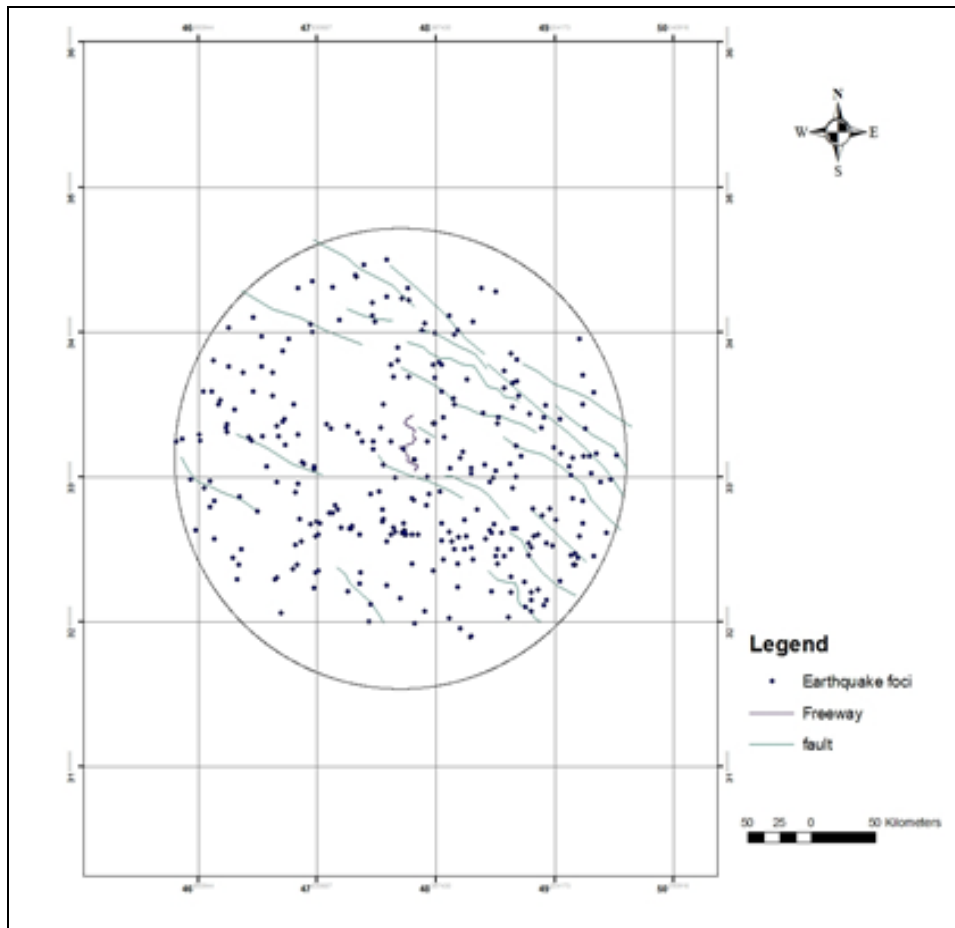
۴- برآورد خطر زمین‌لرزه

در این بررسی برآورد خطر و پهنه‌بندی زمین‌لرزه‌ای با استفاده از روش احتمالاتی انجام شده است.

۳-۶-۱-۱- تعیین چشمه‌های بالقوه‌ی زمین‌لرزه

تعیین چشمه‌های بالقوه‌ی زمین‌لرزه مهمترین مرحله‌ی تحلیل خطر زمین‌لرزه است. برای تعیین چشمه‌های بالقوه‌ی زمین‌لرزه از کاتالوگ زمین‌لرزه‌های ایران و نواحی مجاور مشتمل بر پارامترهای مبنایی زمین‌لرزه‌های تاریخی (میرزایی، ۱۳۸۱) و دستگاهی از سده‌ی چهارم پیش از میلاد مسیح تا سال ۲۰۱۲ میلادی که براساس داده‌های USGS/NEIC گسترش داده شده است و نقشه‌های زمین‌شناسی تکتونیک و ژئوفیزیکی منتشر شده از سوی زمین‌شناسی کشور و سایر نقشه‌های قابل دسترس در ایران و همچنین گزارش‌های موجود از تعیین ساز و کار کانونی زمین‌لرزه‌ها استفاده شده

است. برای برآورد خطر زمین‌لرزه به روش احتمالاتی در گستره‌ی منطقه مورد مطالعه چشمه‌های بالقوه زمین‌لرزه بصورت ۲۱ چشمه مدل شده است.



شکل (۳-۲۵) - نقشه گسله‌های منطقه به شعاع ۱۵۰ کیلومتر

از میان گسله‌های فعال مهمی که در فاصله ۱۵۰ کیلومتری منطقه مورد مطالعه وجود دارند، پنج گسله از اهمیت بیشتری برخوردار هستند که عبارتند از:

-گسله دورود : مهمترین گسله منطقه، گسله دورود است. این گسله با درازای حدود ۱۰۰ کیلومتر قابل شناسایی است و از نوع راستالغز راستگرد است و شیب آن زیاد و به سوی شمال شرقی است (۷۰ تا ۷۵ درجه) و بلوک جنوب غربی آن حدود دو متر جابجایی قائم داشته است. بیشینه توان لرزه‌زایی گسله $M_s=7.4$ است. فاصله آن از منطقه مورد مطالعه از ۱۰۱ تا ۱۲۹ کیلومتر تغییر می‌کند.

-گسله راندگی خرم‌آباد: در شمال شهر خرم‌آباد، در کوه‌های بلند آن راندگی بسیار مشخصی وجود دارد که یک توده بزرگ سنگ‌های مزوزوئیک را روی سنگ‌های جنوب‌غربی آن کشانده است. درازای راندگی به طور میانگین حدود ۶۵ کیلومتر است. قسمت جنوبی-جنوب‌غربی آن در حقیقت جداکننده استان لرزه‌زمین‌ساختی زاگرس بلند و زاگرس چین‌خورده می‌باشد. فاصله این گسله تا آزادراه از ۶۳ تا ۸۹ کیلومتر تغییر می‌کند. توان لرزه‌زایی این گسله برابر $M_s=6.8$ برآورد می‌شود. شیب آن حدود ۶۰ درجه به سوی شمال‌شرقی به نظر می‌رسد.

- گسله کاکارضا : گسله‌ای است که در ادامه گسله-راندگی خرم‌آباد، جداکننده استان لرزه‌زمین-ساخت زاگرس بلند و زاگرس چین‌خورده است. درازای آن حدود ۴۰ کیلومتر و از نوع گسله معکوس بزرگ‌زاویه می‌باشد که شیب آن دست‌کم ۷۵ درجه به سوی شمال‌شرقی است. بیشینه توان لرزه‌زایی آن $M_s=6.6$ محاسبه شده است. فاصله آن تا منطقه مورد مطالعه از ۷۳ تا ۹۶ کیلومتر تغییر می‌کند.

- گسله F1 : گسله‌ای است که در راستای شمال‌غربی-جنوب‌شرقی و از نوع معکوس بزرگ‌زاویه به نظر می‌رسد (۷۵ درجه به سوی شمال شرقی) و از دو گسله به دنبال هم تشکیل شده که با هم در نظر گرفته شده‌اند و درازای آن حدود ۴۰ کیلومتر است. این گسله نام جغرافیایی ندارد و چون خیلی نزدیکتر از دیگر گسله‌هاست، با اینکه از نوع گسله‌های کواترنر نمی‌باشد ولی برای برخی نقاط منطقه اثر بیشتری از سه گسله یاد شده خواهد داشت. بیشینه توان لرزه‌زایی آن $M_s=6.6$ برآورد شده است. فاصله گسله تا منطقه مورد مطالعه ۳۷-۴۹ کیلومتر می‌باشد.

- گسله F: گسله دیگری در جنوب باختری آزادراه وجود دارد که فاصله آن تا تونل‌ها کمتر می‌باشد و در نتیجه می‌توان اثر آنرا در نظر گرفت. این گسله با توجه به راستای آن از نوع راندگی است و درازای آن ۵۶ کیلومتر می‌باشد. هیچ داده لرزه‌ای از این گسله در دست نیست و مرکز زمین‌لرزه‌های رویداده در گستره ($R=150$) نیز با آن فاصله دارند. بیشینه بزرگایی که برای این گسله می‌توان در نظر گرفت $M_s=6.8$ است.

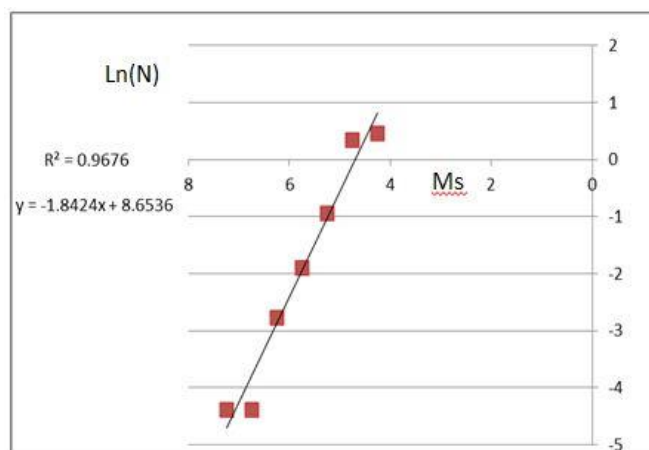
۳-۶-۱-۲- تعیین پارامترهای لرزه‌خیزی در هرچشمه لرزه‌ای به روش گوتنبرگ-ریشتر

در این روش برای به دست آوردن پارامترهای لرزه‌خیزی با استفاده از فراوانی تجمعی زمین‌لرزه‌ها و بزرگی آن‌ها که در جدول ۳-۲ آورده شده است، نمودار ۳-۱ رسم شده است. با توجه به این نمودار پارامترهای معادله خطی گوتنبرگ-ریشتر به دست آمده است. در این رابطه فراوانی تجمعی زمین‌لرزه (N) به طور خطی و با در نظر گرفتن رابطه ساده زیر به بزرگا (Ms) نسبت داده می‌شود.

$$\text{Ln}(N) = \alpha - \beta M_s \quad \text{رابطه (۳-۱)}$$

جدول (۳-۲) - فراوانی زمین‌لرزه‌ها در گستره مورد مطالعه

Ms	محدوده بزرگی در نظر گرفته شده	f(N)	فراوانی تجمعی	sum/year	ln(N)
4.25	4-4.5	127	289	1.58	0.46
4.75	4.5-5	112	162	1.4	0.33
5.25	5-5.5	31	50	0.38	-0.94
5.75	5.5-6	12	19	0.15	-1.89
6.25	6-6.5	5	7	0.06	-2.77
6.75	6.5-7	1	2	0.01	-4.38
7.25	7-7.5	1	1	0.01	-4.38



شکل (۳-۲۶) - نمودار خطی رابطه گوتنبرگ - ریشتر

پارامترهای لرزه‌خیزی در گستره منطقه مورد مطالعه با استفاده از نمودار ۱-۳ و رابطه گوتنبرگ-ریشتر، با اعمال برازش خطی بین M_s و $\ln(N)$ با ضریب همبستگی $r=0.96$ طبق رابطه ۲-۳ به دست آمده است.

$$\ln(n)=8.6-1.8 M_s \quad \text{رابطه (۲-۳)}$$

با استفاده از پارامترهای لرزه‌خیزی به دست آمده با روش گوتنبرگ-ریشتر و طول هر یک از گسل‌ها در هر یک از زون‌های لرزه‌ای میزان α برای هر گسل بدست آمد. با استفاده از داده‌های فوق (مقادیر ضرایب لرزه‌خیزی) می‌توان نرخ وقوع سالیانه را به روش گوتنبرگ-ریشتر برای هر چشمه لرزه‌ای مطابق رابطه ۳-۳ محاسبه نمود.

$$\lambda(m)= \text{EXP}(\alpha - \beta *M) \quad \text{رابطه (۳-۳)}$$

۳-۶-۱-۳-۲ تدوین رابطه‌ی تضعیف جنبش نیرومند زمین

با ارزیابی بار وارده‌ی ناشی از وقوع زمین‌لرزه به سازه مورد نظر می‌توان طراحی مناسبی برای آن در نظر گرفت. برای بیان چنین پارامتری از زمین‌لرزه یک تابع ریاضی که بیانگر رابطه پارامترهای جنبش نیرومند زمین با پارامترهای چشمه لرزه‌ای محیط انتشار زمین‌شناسی محل ساختگاه و نوع ساختمان می‌باشد مورد نیاز است. با بررسی به‌عمل آمده و مقایسه روابط مختلف رابطه تضعیف جنبش زمین (Ambraseyes & Douglas, (2000 که در رابطه (۴-۳) ارائه شده است گزینش شد.

رابطه (۴-۳):

$$\text{Log}Y=b_1+b_2M_s+b_3d+b_aS_a+b_s \sigma$$

که ثابت‌های زیر (ثابت‌های (Ambraseyes & Douglas,(2000) برای برآورد شتاب افقی محاسبه می‌شوند.

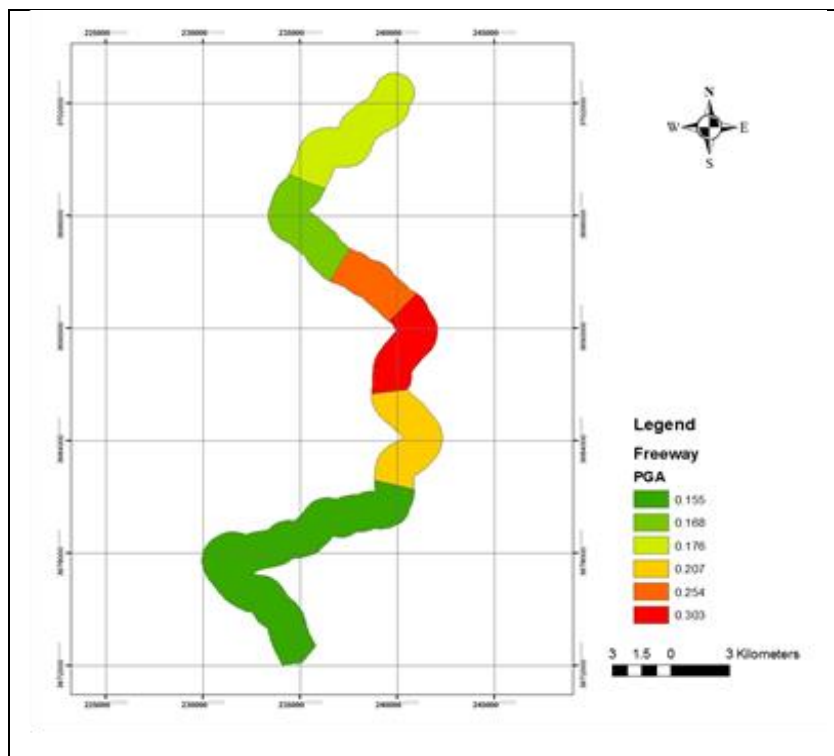
$$b_a=0.020, b_s=0.029, \sigma=0.214, b_3=-0.0238, b_2=0.202, b_1=-0.659, S_a=1$$

۳-۶-۱-۴- برآورد خطر زمین‌لرزه

در این روش، تحلیل خطر زمین‌لرزه بر اساس روش اصلی معرفی شده توسط Cornell, (1968) و روابط ارائه شده توسط Bender & Perkins که به صورت برنامه نرم‌افزاری (SEISRISK-III, 1987) ارائه شده انجام شده است. برای برآورد خطر زمین‌لرزه در منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش احتمالاتی برای شبکه‌ای از نقاط با فاصله ۰/۱ درجه طول و عرض جغرافیایی مقادیر شتاب افقی موردانتظار از رویداد زمین‌لرزه در چشمه‌های بالقوه زمین‌لرزه برای ۰/۱ احتمال افزایش در ۵۰ سال (دوره بازگشت ۴۷۵ سال) که در طراحی سازه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد محاسبه شد و براساس آن شتاب افقی برای ۹ نقطه از طول کل مسیر با فواصل ۵ کیلومتری تعیین شد که بیشترین و کمترین مقدار محاسبه شده به ترتیب 0.303g و 0.168g می‌باشد.

۳-۶-۲- تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه

در انتها با استفاده از مقدار شتاب‌های افقی محاسبه شده برای هر بخش، نقشه نقاط هم شتاب در سطح آزادراه خرم‌آباد-پل زال برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال تهیه می‌شود (شکل ۳-۲۷).



شکل (۳-۲۷)- نقشه نقاط هم شتاب در سطح آزادراه خرم‌آباد-پل زال برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال

فصل چهارم

تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر

زمین لغزش

۴-۱- مقدمه

شناسایی و طبقه‌بندی نواحی مستعد و حساس به خطر زمین‌لغزش و پهنه‌بندی آن گامی مهم در ارزیابی خطرات زیست‌محیطی به شمار رفته و نقش غیرقابل‌انکاری را در مدیریت حوضه‌های آبخیز ایفا می‌نماید (Sarkar et al. 1995). روش‌های مختلفی جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در نقاط مختلف جهان مورد استفاده قرار گرفته است. همانطور که پیشتر گفته شد، در پژوهش حاضر از دو روش آماری دومتغیره و رویکرد سیستمی به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استفاده شده است و در نهایت صحت نقشه‌های پهنه‌بندی تولید شده با زمین‌لغزش‌های رویداده و قضاوت کارشناسی سنجیده می‌شود.

۴-۲- پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش آماری دومتغیره

همانگونه که پیشتر گفته شد در روش آماری دومتغیره، وقوع زمین‌لغزش به عنوان متغیر وابسته و هر یک از عوامل محیطی موثر در این پدیده به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین مهمترین مرحله برای ارزیابی و تعیین خطر زمین‌لغزش، شناسایی و بررسی زمین‌لغزش‌های به وقوع پیوسته و مطالعه عواملی که زمین‌لغزش‌ها را کنترل می‌کنند می‌باشد (شریعت جعفری، ۱۳۸۵). لغزش‌های موجود در منطقه مورد مطالعه عمدتاً شامل ریزش‌های سنگی می‌باشند و براساس اطلاعات قابل دسترس، ۹ عامل به عنوان عوامل اصلی شناسایی گردید. این عوامل عبارتند از لیتولوژی، ارتفاع ترانشه، مقدار شیب، جهت شیب، اندیس مقاومت زمین‌شناسی یا GSI، فاصله از گسل، جهت ناپیوستگی‌ها و شتاب زلزله.

در پژوهش حاضر از روش تراکم سطح برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه استفاده می‌شود برای این منظور پس از تهیه نقشه لایه‌های اطلاعاتی در محیط GIS و تلفیق آن با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها، با مشخص شدن طول هر کلاس از پارامترهای موثر در لغزش و طول

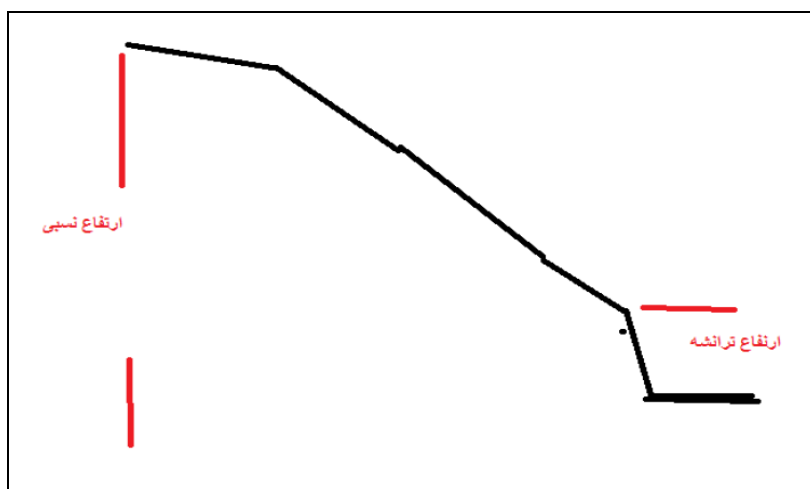
لغزش موجود در هر کلاس و طول کل منطقه در دامنه‌های مشرف به آزادراه و با استفاده از روابط ریاضی عنوان شده در فصل دوم، مقادیر وزنی رده‌های هر پارامتر محاسبه گردید.

۴-۲-۱- تحلیل ارتباط متغیرهای مستقل با متغیر وابسته (حرکت‌های توده‌ای)

مهمترین مرحله برای ارزیابی و تعیین خطر زمین‌لغزش، شناسایی و بررسی زمین‌لغزش‌های به وقوع پیوسته و مطالعه عوامل کنترل‌کننده زمین‌لغزش می‌باشد (شریعت جعفری، ۱۳۷۵).

پس از انجام بررسی‌های مختلف در مورد ویژگی‌های طبیعی منطقه مورد مطالعه و همچنین براساس قضاوت کارشناسی در مورد زمین‌لغزش‌های رویداده در منطقه مورد مطالعه ۹ عامل و متغیر اصلی به عنوان عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش شناسایی شد، این عوامل عبارتند از لیتولوژی، ارتفاع ترانشه، مقدار و جهت شیب، اندیس مقاومت زمین‌شناسی یا GSI، فاصله از گسل، جهت ناپیوستگی‌ها، ارتفاع نسبی و شتاب زلزله که در ادامه به ارتباط هر عامل با پدیده زمین‌لغزش به صورت جداگانه پرداخته می‌شود.

لازم به ذکر است ارتفاع نسبی و ارتفاع ترانشه در اینجا دو مفهوم متفاوت دارند، به طوری که ارتفاع نسبی با توپوگرافی رابطه مستقیم دارد و ارتفاع ترانشه به معنی برداشت بخشی از دامنه به منظور احداث سازه (در اینجا جاده) می‌باشد و نتیجه فعالیت‌های انسانی می‌باشد (شکل ۴-۱).



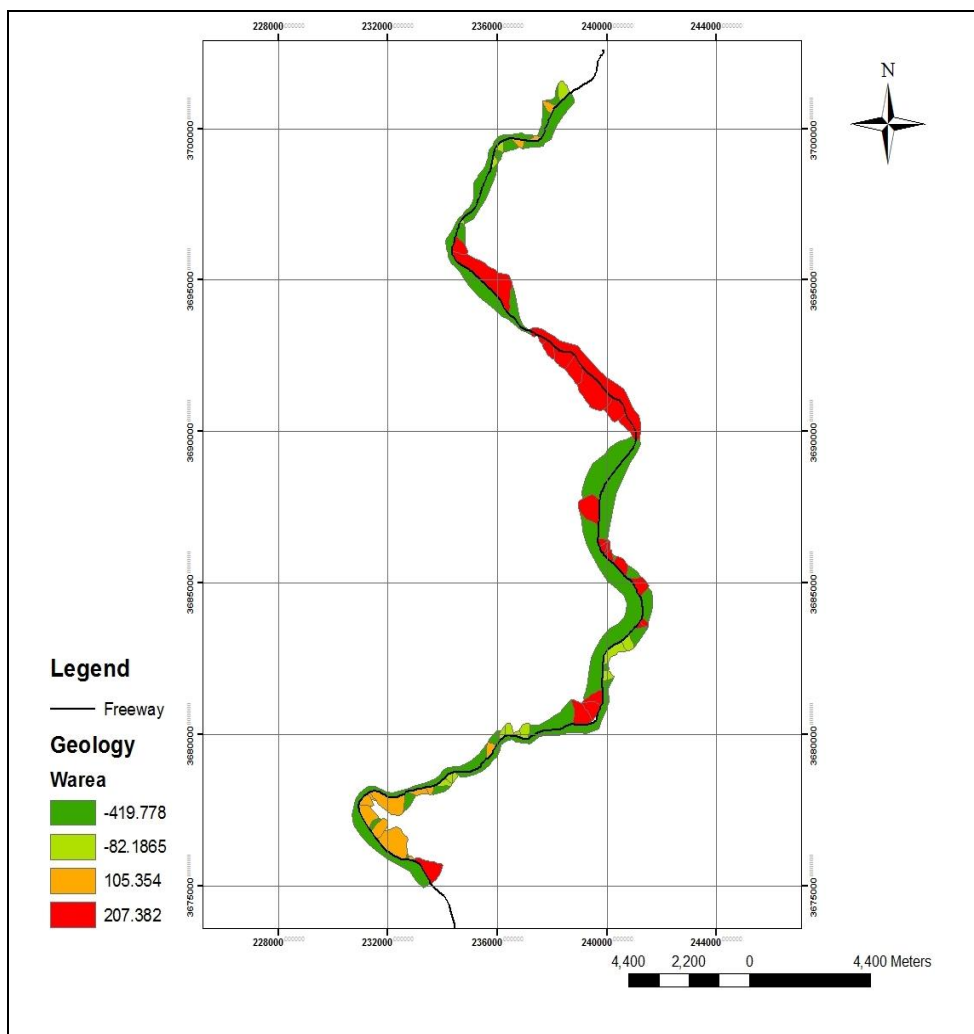
شکل (۴-۱) - تفاوت ارتفاع ترانشه با ارتفاع نسبی دامنه

۴-۲-۱-۱- نقش لیتولوژی در وقوع زمین لغزش

منطقه‌ی مطالعاتی بخشی از ورقه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ خرم‌آباد می‌باشد. با توجه به حساسیت متفاوت سازندهای زمین‌شناسی به زمین‌لغزش، عامل لیتولوژی نقش موثری در پراکنش زمین‌لغزش‌ها در منطقه دارد. جهت بررسی نقش لیتولوژی در وقوع لغزش‌ها در منطقه، از تلفیق لایه‌ی زمین‌شناسی با لایه پراکنش زمین‌لغزش، میزان لغزش‌های صورت گرفته در هر سازند مشخص گردید (جدول ۴-۱). همانگونه که در فصل پیش توضیح داده شد، در منطقه مورد مطالعه چهار سازند رخنمون دارند که از میان سازندهای موجود، سازند آهکی دولومیتی آسماری-شهبازان بیشترین لغزش را داراست. براساس تحلیل‌های انجام شده و برداشت‌های صحرایی در مسیر مورد مطالعه زمین‌لغزش‌ها در سازند گچساران در بخش مارنی آن به صورت جریان‌ی و در شرایط اشباع می‌باشد، همچنین در بخش‌هایی که ارتفاع ترانشه بیش از ۳۰ متر است و خاک‌برداری به شکل غیراصولی انجام شده است، می‌توان شاهد جدایش بخش‌های ژیبسی و حرکت آن در سطح جاده به شکل ریزش‌سنگ و Rockfall بود. سازند آغاچاری دارای تناوبی از لایه‌های مارن و ماسه‌سنگ می‌باشد که با مقاومت لایه‌های ماسه در برابر فرسایش و مقاومت کمتر لایه‌های مارنی می‌توان شاهد فرورفتگی لایه‌های مارن و بیرون‌زدگی لایه‌های ماسه‌سنگ بود. این تفاوت مقاومت در برابر فرسایش باعث خالی‌شدن لایه مارن زیر ماسه-سنگ شده و با ایجاد درزه در لایه ماسه‌سنگی، لغزش بلوکی ایجاد می‌شود. در آسماری-شهبازان لغزش از نوع انتقالی و بلوکی است که می‌توان عامل ایجاد بلوک‌ها را گسل دانست.

جدول (۴-۱)- اطلاعات حاصل از برخورد نقشه زمین‌لغزش و طبقات سازندهای زمین‌شناسی

ردیف	کلاس زمین‌شناسی	طول کل رده (Km)	طول لغزش (Km)	تراکم لغزش	وزن
1	آهکی-دولومیتی آسماری شهبازان	20.84	13.0	627.1	207.3
2	سازند آغاچاری مارن و ماسه سنگ	7.56	3.9	525.1	105.3
3	سازند گچساران مارن و ژیبس	5.48	1.8	337.5	-82.1
4	رسوبات جوان کواترنری	11.12	0.0	0.0	-419.7
جمع	-	45	18.8	-	-



شکل (۲-۴) - نقشه وزنی سازندهای زمین‌شناسی

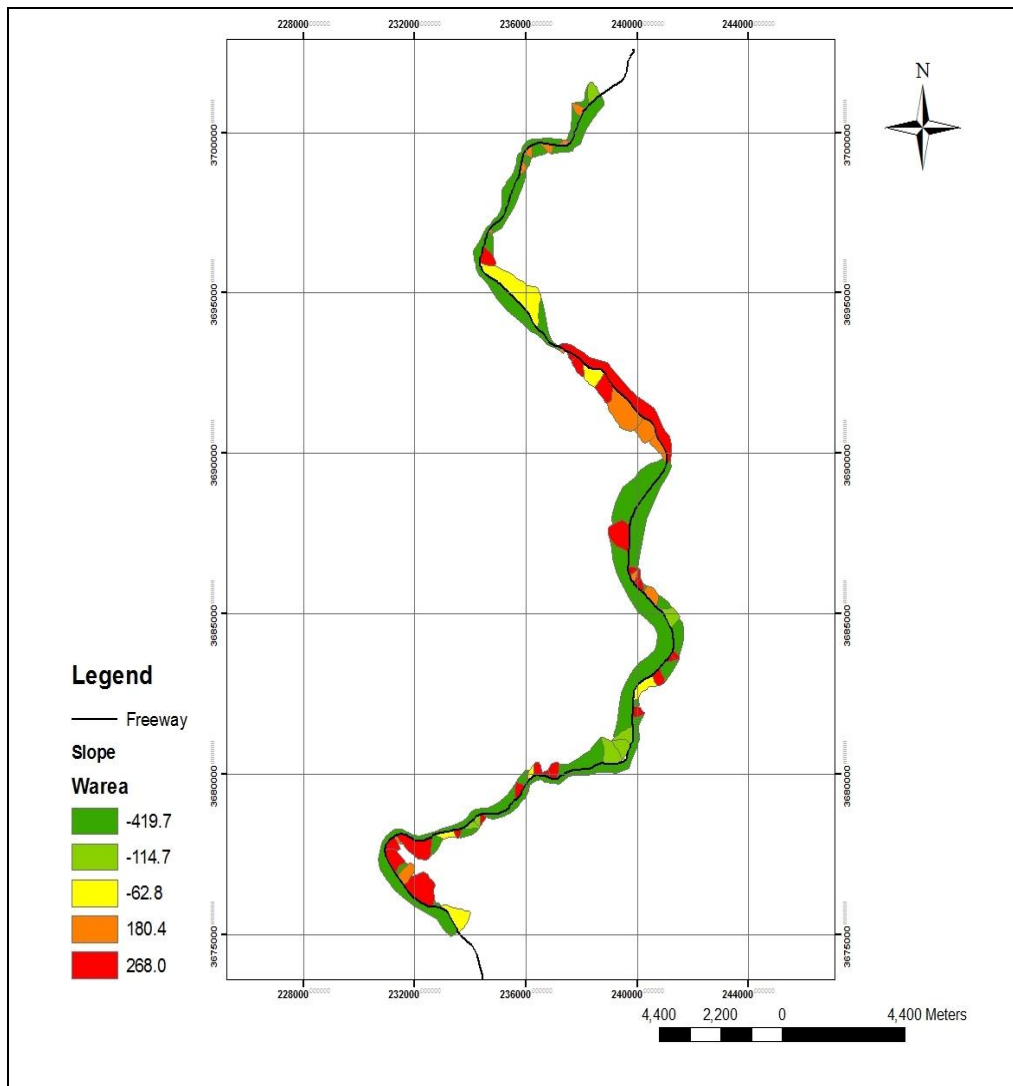
۲-۴-۱-۲ - نقش شیب در وقوع زمین‌لغزش

به لحاظ تئوری، همواره با افزایش شیب دامنه، تنش برشی افزایش می‌یابد و به تبع آن انتظار می‌رود پتانسیل ناپایداری شیب نیز افزایش یابد (Dai & Lee, 2002). به استثنای شیب‌های بالای ۳۵ درصد که رخنمون توده‌های سنگی مقاوم به چشم می‌خورد. برای تهیه نقشه‌ی شیب، از نقشه‌ی رقومی ارتفاعی^{۲۴} و از امکانات نرم افزار Arc/GIS استفاده شده و نهایتاً این نقشه در شش طبقه تهیه گردید.

²⁴ Elevation Model Digital

جدول (۴-۲) - اطلاعات حاصل از برخورد نقشه زمین لغزش و طبقات شیب

ردیف	کلاس مقدار شیب	طول کل رده (Km)	طول لغزش (Km)	تراکم لغزش	وزن
1	<15	0.24	0	0	-419.7
2	15-25	7.48	4.49	600.2	180.4
3	26-35	15.89	10.93	687.8	268.0
4	36-45	6.5	2.32	356.9	-62.8
5	>45	3.77	1.15	305.0	-114.7
6	مسطح	11.12	0.0	0.0	-419.7
جمع		45	18.89	419.7	0



شکل (۴-۳) - نقشه وزنی طبقات شیب

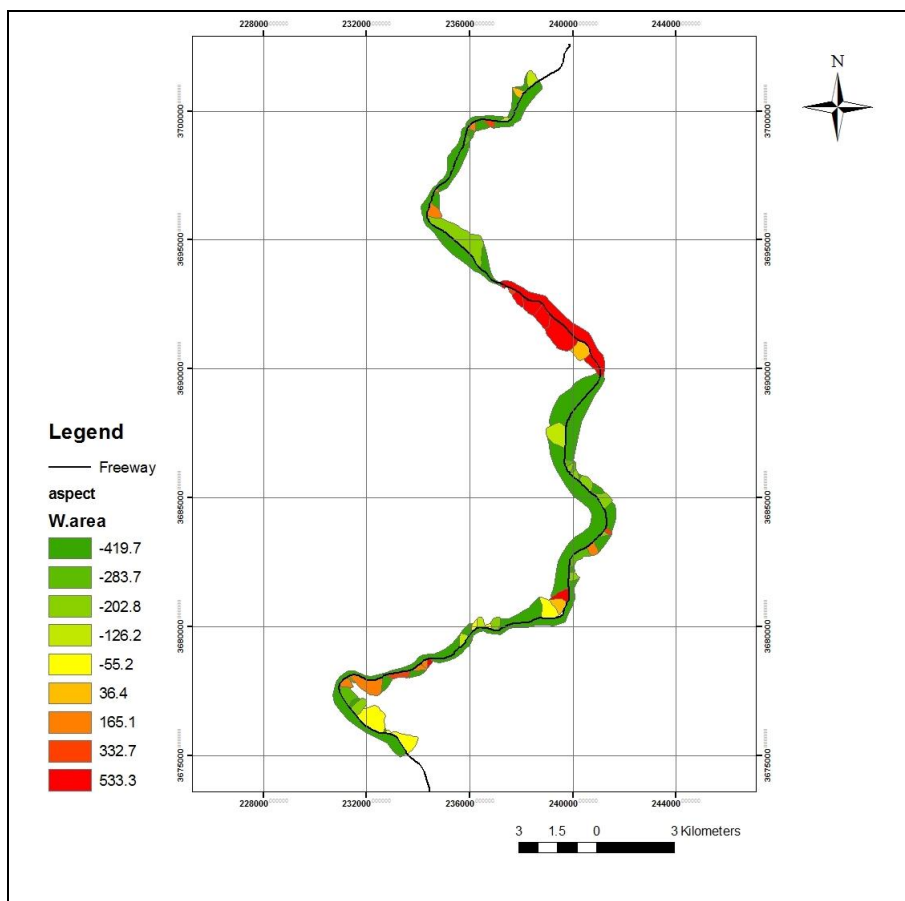
۳-۱-۲-۴ نقش جهت شیب در وقوع زمین لغزش

میان توزیع ناپایداری‌های دامنه‌ای و جهت شیب دامنه، ارتباط معنی‌داری برقرار است، به نحوی که تراکم ناپایداری‌های دامنه‌ای در دامنه‌های شمالی (پشت به آفتاب) افزایش و در دامنه‌های جنوبی (رو به آفتاب) کاهش می‌یابد (معماریان و سیارپور، ۱۳۸۵). که این امر به دلیل وجود رطوبت بیشتر در دامنه‌های پشت به آفتاب می‌باشد.

نقشه‌ی جهت شیب منطقه مورد مطالعه، با استفاده از نقشه‌ی رقومی ارتفاعی و با استفاده از امکانات نرم‌افزار Arc/GIS تهیه شد. همچنین جهت طبقه‌بندی از روش هشت وجهی، شمال، شمال‌شرقی-شمال‌غربی، جنوب، جنوب‌شرقی-جنوب‌غربی، شرق و غرب و همچنین برای قسمتهایی از طول مسیر آزادراه که زمین‌های مرتفع می‌باشد واژه‌ی مسطح به کار رفته است.

جدول (۳-۴) - اطلاعات حاصل از برخورد نقشه زمین لغزش و طبقات جهات شیب

ردیف	کلاس جهت شیب	طول کل رده (Km)	طول لغزش (Km)	تراکم لغزش	وزن
1	E	1.6	0.73	456.2	36.4
2	N	1.94	1.46	752.5	332.7
3	NE	10.89	10.38	953.1	533.3
4	NW	4.24	2.48	584.9	165.1
5	S	3.84	1.4	364.5	-55.1
6	SE	2.76	0.81	293.4	-126.3
7	SW	5.67	1.23	216.9	-202.8
8	W	2.94	0.4	136.05	-283.7
9	مسطح	11.12	0	0	-419.7
جمع	-	45	18.89	-	-



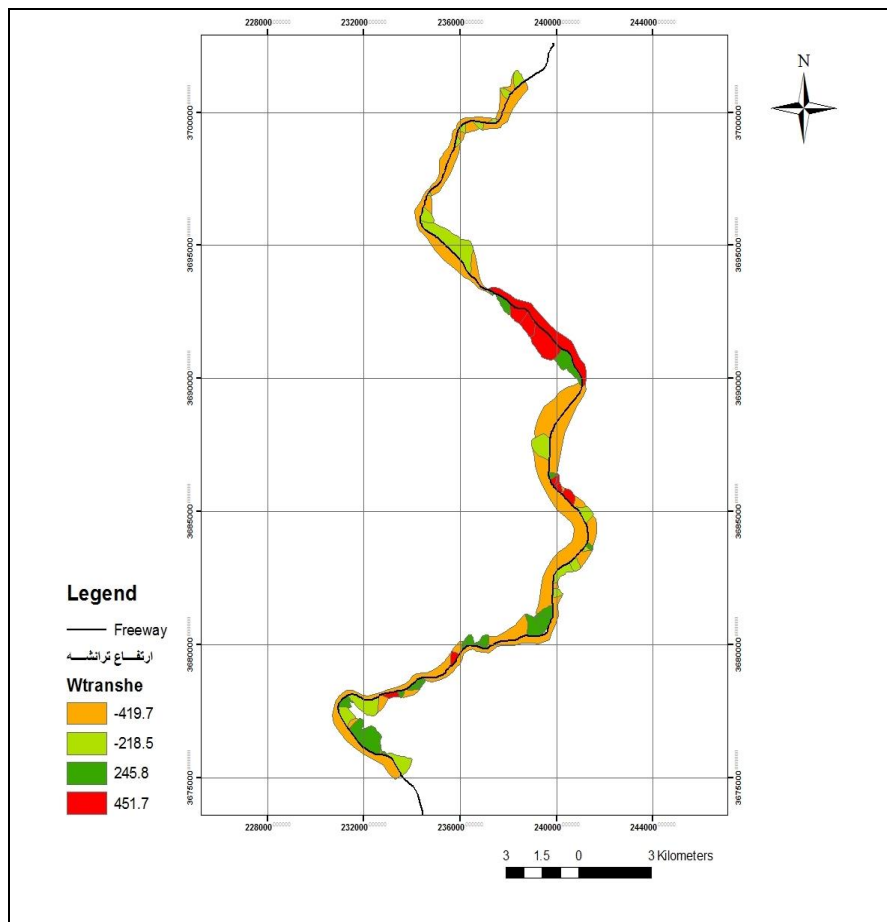
شکل (۴-۴) - نقشه وزنی طبقات جهت شیب

۴-۱-۲-۴ نقش ارتفاع ترانشه در وقوع زمین لغزش

ایجاد ترانشه‌های مصنوعی باعث به هم خوردن تعادل تنش در دامنه‌ها و ایجاد حرکات دامنه‌ای در آنها می‌گردد. در این پژوهش با توجه به افزایش وقوع زمین لغزش با افزایش ارتفاع ترانشه به خوبی می‌توان رابطه این دو را عنوان نمود، به طوری که می‌توان شاهد افزایش بالای زمین لغزش‌ها در ترانشه‌های با ارتفاع بیش از ۲۵ متر بود.

جدول (۴-۴) - اطلاعات حاصل از برخورد نقشه زمین لغزش و طبقات ارتفاع ترانشه

ردیف	کلاس ارتفاع ترانشه (m)	طول کل رده (Km)	طول لغزش (Km)	تراکم لغزش	وزن
1	بدون ترانشه	11.12	0	0	-419.7
2	<15	12.82	2.58	201.2	-218.5
3	16-25	9.93	6.61	665.6	245.8
4	>25	11.13	9.7	871.5	451.7
جمع	-	45	18.89	-	-



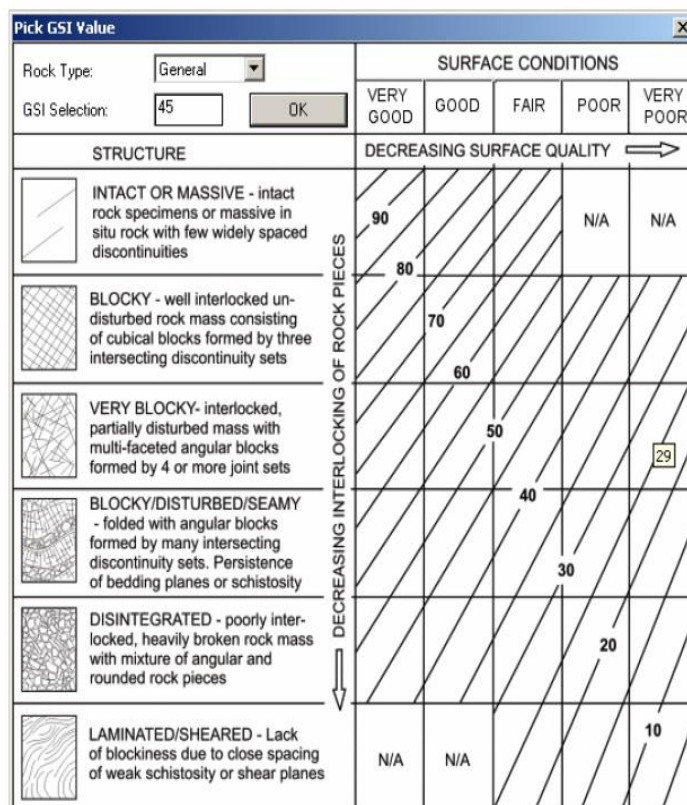
شکل (۴-۵) - نقشه وزنی طبقات ارتفاع ترانشه

۴-۲-۱-۵ - رابطه اندیس مقاومت زمین‌شناسی یا GSI با وقوع زمین‌لغزش

پس از تهیه‌ی نقشه زمین‌شناسی، باید پارامترهای مقاومتی هر یک از سازندهای موجود در منطقه تعیین و در پهنه‌بندی لحاظ شوند. دقت در تعیین این پارامترها از اهمیت بالایی برخوردار است. عدم توجه به این مهم، ممکن است ضریب اطمینان را در یک منطقه به طور محسوسی کاهش یا افزایش دهد و این امر به طور مستقیم بر دقت تعیین نقاط مستعد لغزش تاثیرگذار است.

پارامترهای مقاومتی توده‌سنگ علاوه بر خصوصیات سنگ‌های تشکیل‌دهنده، به عوامل دیگری همچون میزان خردشدگی، هوازدگی و میزان آب موجود در منافذ آنها بستگی دارد.

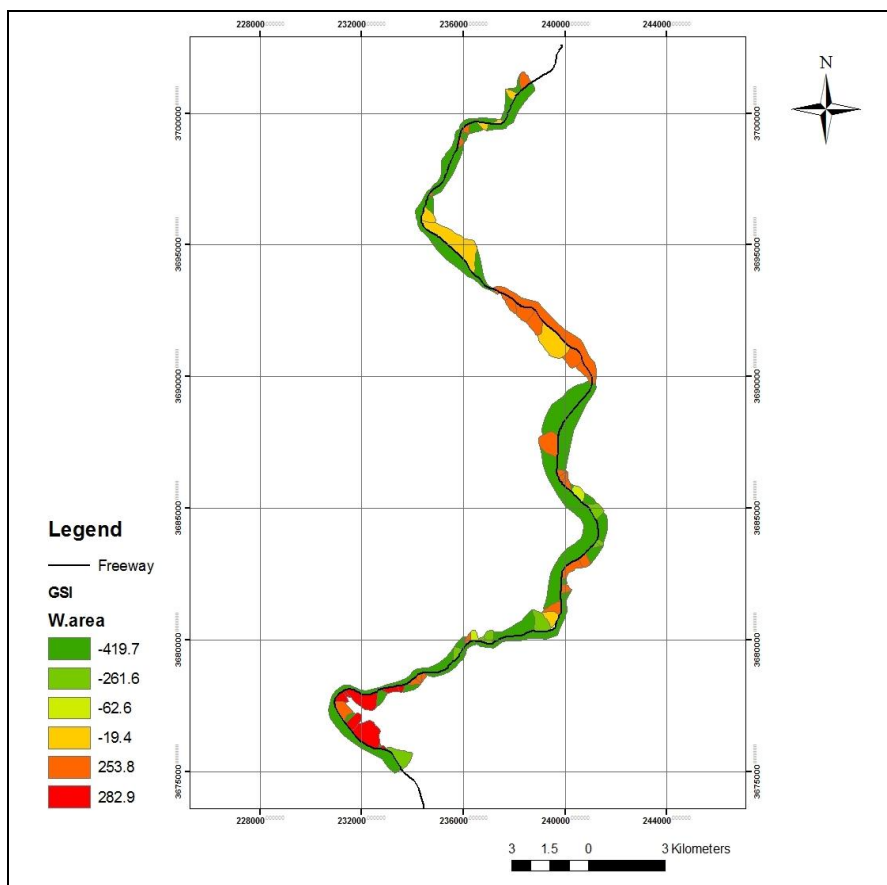
با وجود چنین شرایطی معیار ارائه شده توسط هوک و براون (۱۹۸۰) که براساس پارامتر GSI سنگ، پارامترهای مقاومتی مصالح را تعیین می‌کند، می‌تواند بسیار کارآمد باشد. در ایجاد این معیار، از همان ابتدا مشخص گردید که معیار نامبرده هیچ ارزش تجربی ندارد، مگر اینکه پارامترهای آن را بتوان از طریق مشاهدات ساده‌ی زمین‌شناسی در منطقه تخمین زد. با داشتن پارامترهای موردنیاز و به لطف وجود نرم‌افزار RockLab (شکل ۴-۶)، پارامترهای مقاومتی سنگ در نهایت تعیین می‌شوند.



شکل (۴-۶) - نمودار تعیین شاخص GSI (Hoek et al., 2002)

جدول (۴-۵) - اطلاعات حاصل از برخورد نقشه زمین‌لغزش و طبقات اندیس مقاومت زمین‌شناسی

ردیف	کلاس GSI	طول کل رده (Km)	طول لغزش (Km)	تراکم لغزش	وزن
1	<25	4.81	3.38	702.7	282.9
2	26-30	17.8	11.99	673.5	253.8
3	31-35	6.37	2.55	400.3	-19.4
4	36-40	0.98	0.35	357.1	-62.6
5	>40	3.92	0.62	158.1	-261.6
6	100	11.12	0	0	-419.7
جمع	-	45	18.89	-	-



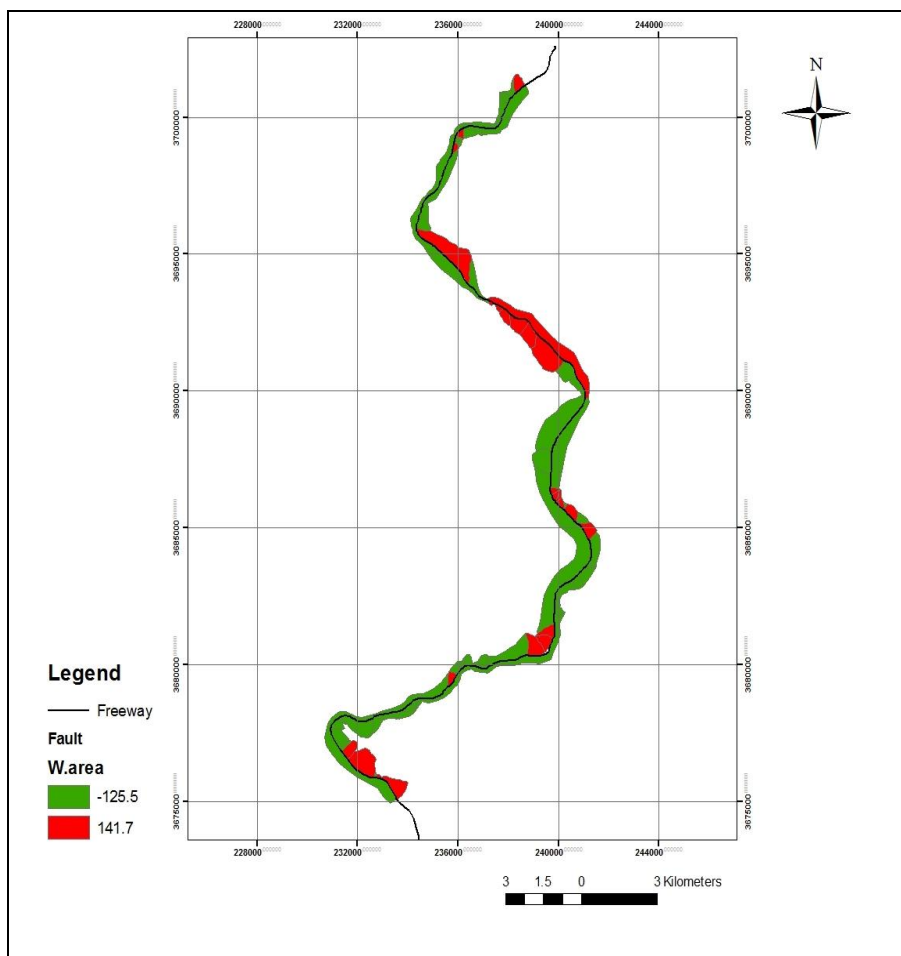
شکل (۴-۷) - نقشه وزنی طبقات مقاومت توده سنگ GSI

۶-۱-۲-۴ نقش گسل در وقوع زمین لغزش

گسل‌ها در مطالعات مهندسی سنگ از اهمیت بخصوصی برخوردار هستند. گسل‌ها موجب القای تشکیل دسته درزه‌های اصلی در جهت شکل‌گیری خود می‌شوند، از طرف دیگر گسل‌ها سبب هوازدهی عمیق‌تر شده و نیز خطر جابجایی گسلی در حین زلزله نیز وجود دارد. طبق مطالعات انجام شده در منطقه مورد مطالعه، موثرترین عامل وقوع زمین لغزش در سازند آسماری -شهبازان، گسل‌ها می‌باشند.

جدول (۴-۶) - اطلاعات حاصل از برخورد نقشه زمین لغزش و طبقات فاصله از گسل

کلاس	فاصله از گسل (m)	طول کل رده (Km)	طول لغزش (Km)	تراکم لغزش	وزن
1	0-100	21.14	11.87	561.4	141.7
2	>100	23.86	7.02	294.21	-125.5
جمع		45	18.89	419.7	0



شکل (۴-۸) - نقشه وزنی طبقات فاصله گسلی

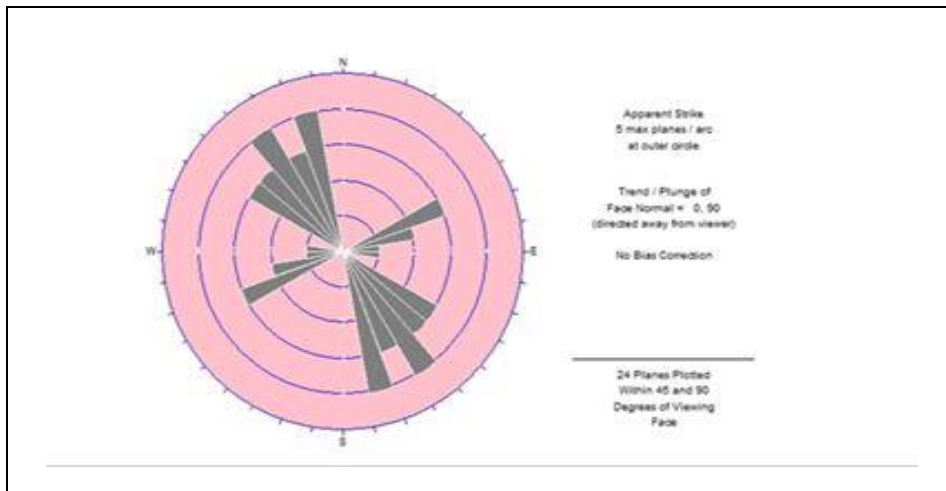
۴-۲-۱-۷ - نقش جهت شیب ناپیوستگی‌ها نسبت به دامنه با وقوع زمین لغزش

ناپیوستگی‌ها از عناصر ساختاری مهم منطقه بوده و شامل شکستگی‌هایی هستند که حرکات نسبی بین دو طرف سطح شکستگی در آنها وجود ندارد مانند درزه‌ها و نیز سطوح لایه‌بندی. از بررسی درزه‌ها می‌توان پدیده‌های لغزش و ریزش‌های سنگی را مورد بررسی قرار داد. به منظور تفسیر ویژگی‌های سیستم‌های ناپیوستگی موجود در توده‌های سنگی منطقه در ۱۲ نقطه از طول مسیر آزادراه با استفاده از کمپاس اقدام به عملیات درزه‌نگاری شده و بیش از ۱۵۰ نمونه اندازه‌گیری صورت گرفته است. مشخصات درزه‌ها (جهت شیب/شیب) را در محیط نرم‌افزاری DIPS وارد نموده، در نتیجه نمودار گل سرخی و تمرکز قطب ناپیوستگی (کنتر دیاگرام) در هر نقطه به دست آمد. سپس با استفاده از نمودارها هم‌سویی بین جهت ناپیوستگی‌ها و جهت شیب دامنه مشخص

می‌شود. در ادامه برای نمونه، این مراحل در ذیل برای سه نقطه با ۲۴ برداشت از نشان داده شده است.

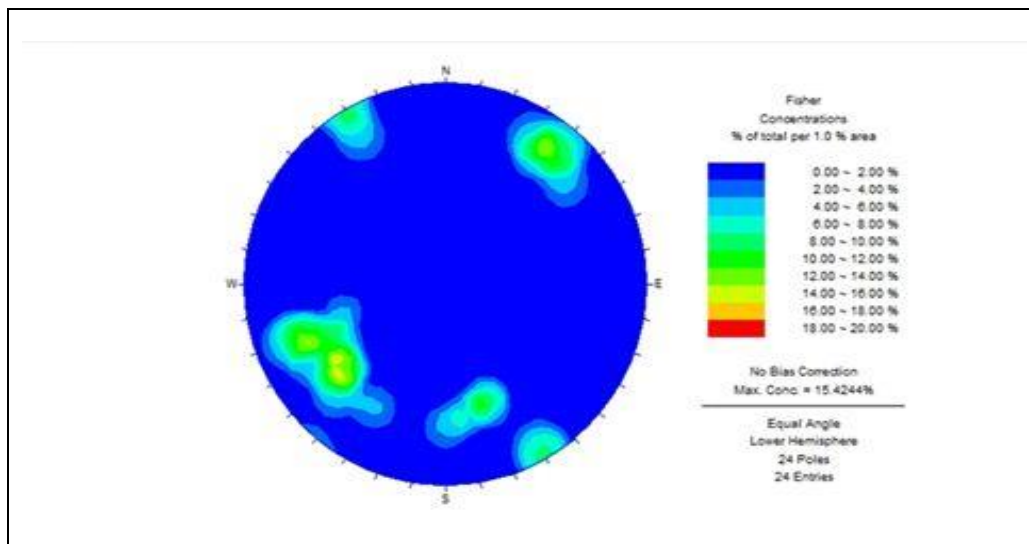
جدول (۴-۷) - شیب و جهت شیب‌های برداشت شده در سه نقطه از مسیر

ID	Dip	Dip direction
1	70	30
2	80	210
3	65	50
4	75	60
5	65	340
6	75	72
7	80	70
8	85	220
9	60	60
10	65	350
11	75	45
12	75	230
13	65	65
14	65	50
15	70	50
16	70	70
17	75	215
18	80	150
19	55	75
20	60	340
21	70	360
22	90	330
23	85	330
24	80	220



شکل (۴-۹) - رزیدیاگرام ترسیم شده توسط نرم افزار DIPS

براساس رزیدیاگرام‌های ترسیم شده روند غالب سیستم ناپیوستگی در نقطه مورد نظر شمال غرب- جنوب شرق و جهت شیب غالب شمال شرق می‌باشد .



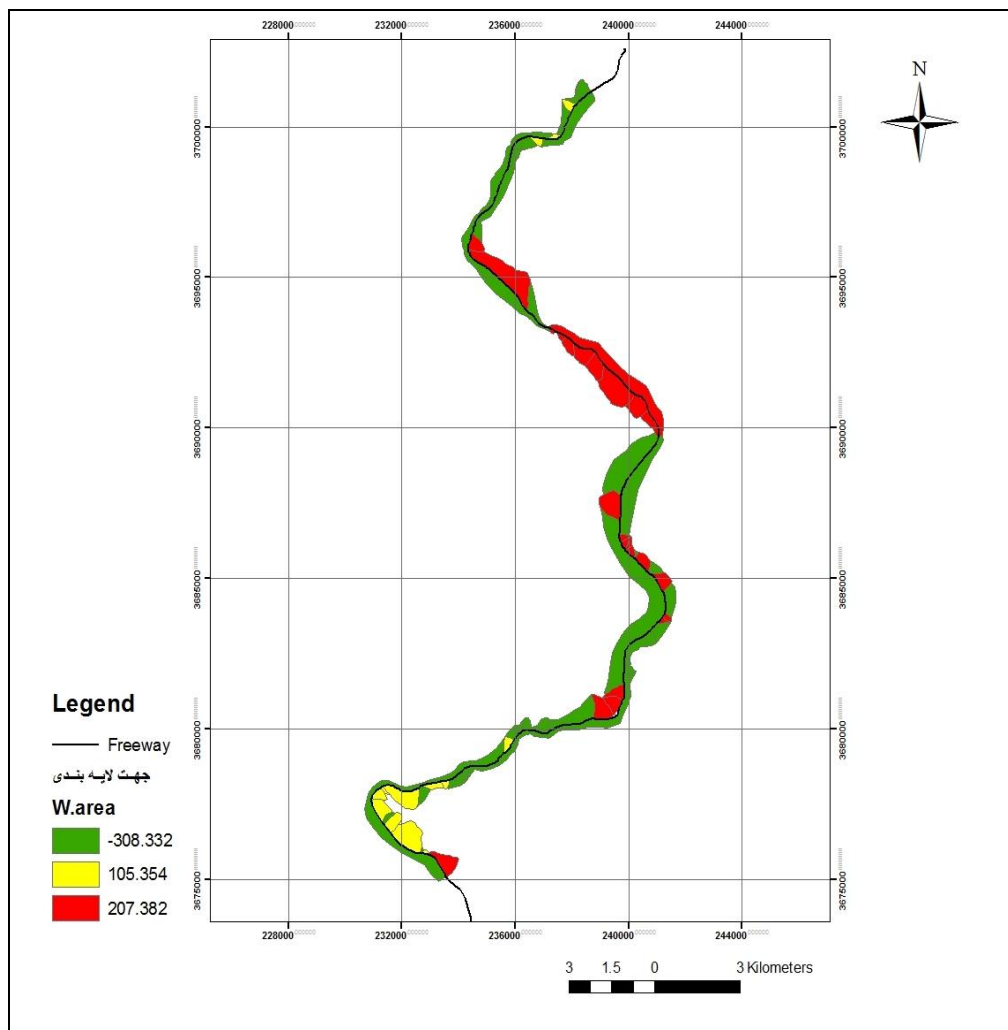
شکل (۴-۱۰) - کنتور دیاگرام ترسیم شده توسط نرم افزار DIPS

با توجه به کنتور دیاگرام‌های ترسیم شده در نقطه مورد نظر ۵ دسته درزه اصلی و چندین دسته درزه فرعی شناسایی شده است. از آنجایی که جهت شیب دامنه در نقطه مورد نظر نیز شمال می‌باشد،

بنابراین به عنوان جهت موافق ناپیوستگی‌ها تشخیص داده می‌شود. به همین ترتیب برای سایر نقاط نیز این برآورد انجام می‌شود و در نهایت منجر به تهیه نقشه جهت ناپیوستگی‌ها نسبت به دامنه می‌شود و با تلفیق آن با نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها جدول (۴-۸) تهیه شد.

جدول (۴-۸) - اطلاعات حاصل از برخورد نقشه زمین لغزش و طبقات جهت لایه بندی

ردیف	جهت لایه بندی	طول کل رده (Km)	طول لغزش (Km)	تراکم لغزش	وزن
1	موافق	20.84	13.07	627.1	207.3
2	مخالف	7.56	3.97	525.1	105.3
3	بدون لایه بندی	16.6	1.85	111.4	-308.3
جمع		45	18.89	-	-



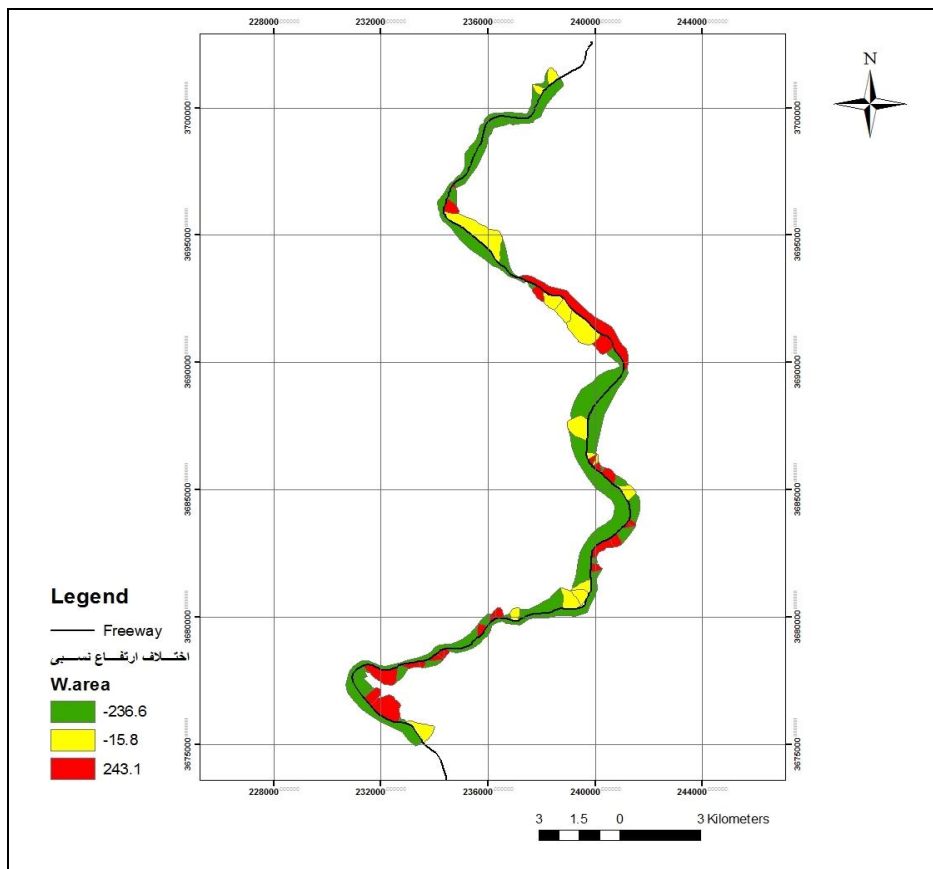
شکل (۴-۱۱) - نقشه وزنی طبقات جهت لایه بندی

۴-۲-۱-۸- نقش اختلاف ارتفاع نسبی در وقوع زمین لغزش

ارتفاع یک شیب‌سنگی به طور کلی نتیجه تلفیق فعالیت‌های تکتونیکی و فرآیندهای فرسایش و هوازدگی مربوط به شرایط آب‌وهوای منطقه و اثرات متقابل ناشی از آنها می‌باشد. بنابراین پارامتر ارتفاع به صورت مستقیم بر شکست و ناپایداری شیب‌سنگی تاثیر ندارد، بلکه اثرات متقابل فاکتورها و نتایج ناشی از آن تاثیراتی بر سیستم پایداری دارد که در نتیجه نمی‌توان آن را جدا از سایر پارامترها دانست.

جدول (۴-۹) - اطلاعات حاصل از برخورد نقشه زمین لغزش و طبقات اختلاف ارتفاع نسبی

ردیف	اختلاف ارتفاع (M)	طول کل رده (Km)	طول لغزش (Km)	تراکم لغزش	وزن
1	<50	16.82	3.08	183.1	-236.6
2	50-100	17.09	11.33	662.9	243.1
3	>100	11.09	4.48	403.9	-15.8
جمع		45	18.89	419.7	0



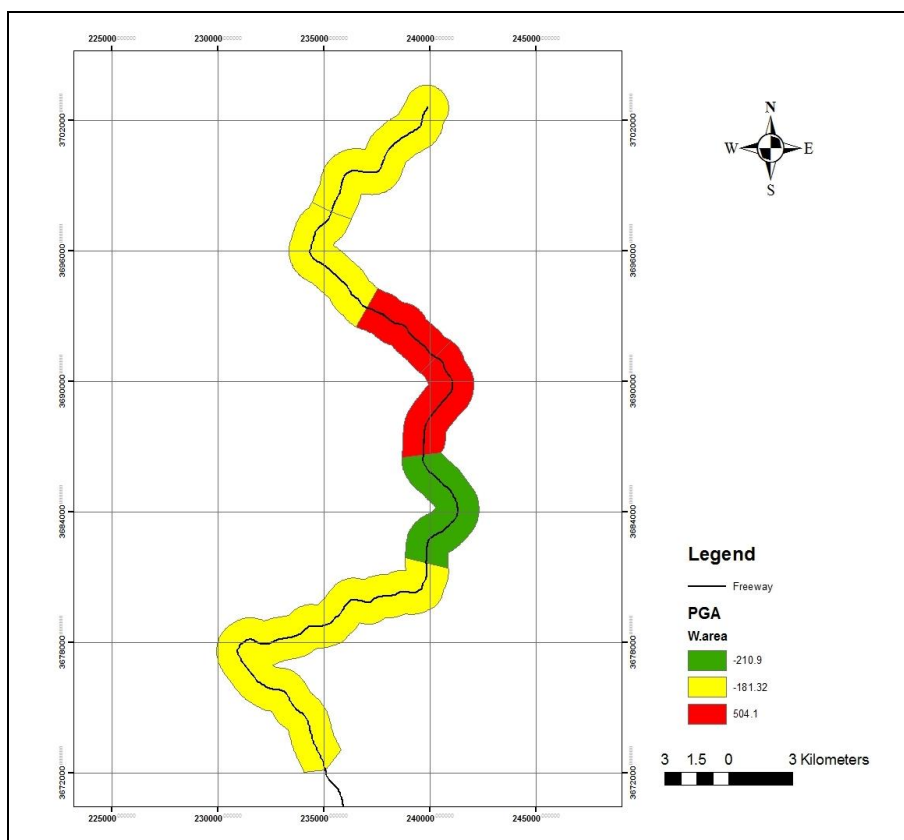
شکل (۴-۱۲) - نقشه وزنی طبقات اختلاف ارتفاع نسب

۹-۱-۲-۴ نقش عامل لرزه‌خیزی در وقوع زمین‌لغزش

نیروی زلزله در ایجاد ناپایداری شیبها یک عامل تحریک کننده محسوب می‌شود و اصولاً پهنه‌بندی خطر ناپایداری به طور عمده برای ارزیابی شیب‌های طبیعی در برابر عواملی نظیر زلزله و باران‌های مداوم و شدید که به صورت تصادفی و ناگهانی اتفاق می‌افتند، بکار می‌رود. برای تعیین شتاب افقی زمین در اثر زلزله، همانگونه که در فصل پیش شرح داده شد از روش احتمالاتی و برای نه نقطه از طول مسیر، شتاب محاسبه شد و طبق جدول (۴-۱۰) مقدار وزنی هر طبقه کلاس بندی شد.

جدول (۴-۱۰) - اطلاعات حاصل از برخورد نقشه زمین‌لغزش و طبقات شتاب زلزله

ردیف	کلاس شتاب زلزله (g)	طول کل رده (Km)	طول لغزش (Km)	تراکم لغزش	وزن
1	<0.2	28.35	6.76	238.4	-181.3
2	0.2-0.25	4.55	0.95	208.7	-210.9
3	>0.25	12.1	11.18	923.9	504.1
جمع		45	18.89	419.7	0



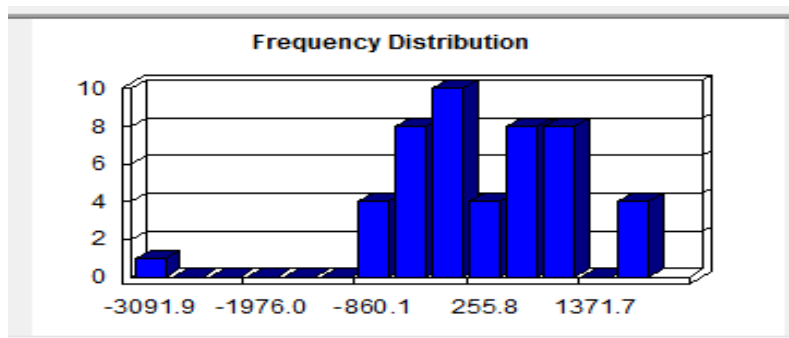
شکل (۴-۱۳) - نقشه وزنی طبقات شتاب افقی زمین

۴-۲-۲- تهیه نقشه پهنه‌بندی به روش آماری دومتغیره

در نهایت با استفاده از ستون وزنی جداول تهیه شده برای هر پارامتر، نقشه‌های پارامترهای موثر در لغزش را کلاس‌بندی^{۲۵} نموده و با روی هم اندازی تمام نقشه‌ها و جمع جبری ستون مربوط به مقادیر وزنی، نقشه خطر زمین‌لغزش بر اساس مدل دومتغیره تهیه می‌شود.

در جریان محاسبه وزن‌ها، برای پارامترهایی که نقش موثرتری در وقوع زمین‌لغزش ندارند (یا به عبارتی در پایداری موثرند)، مقادیر منفی و برای طبقات پارامترهایی که بی‌تاثیر هستند، مقادیر صفر و برای واحدهایی که تاثیر مثبت دارند، مقادیر مثبت، محاسبه می‌گردد و در محاسبه نقشه تجمع وزن ها، برآیند و جمع جبری این وزن‌ها محاسبه می‌شود.

برای کلاس‌بندی داده‌ها از امکانات نرم افزار ARC/GIS و نقاط شکست هیستوگرام مربوط به فراوانی وزن‌های تجمعی (شکل ۴-۱۴) می‌توان استفاده نمود.



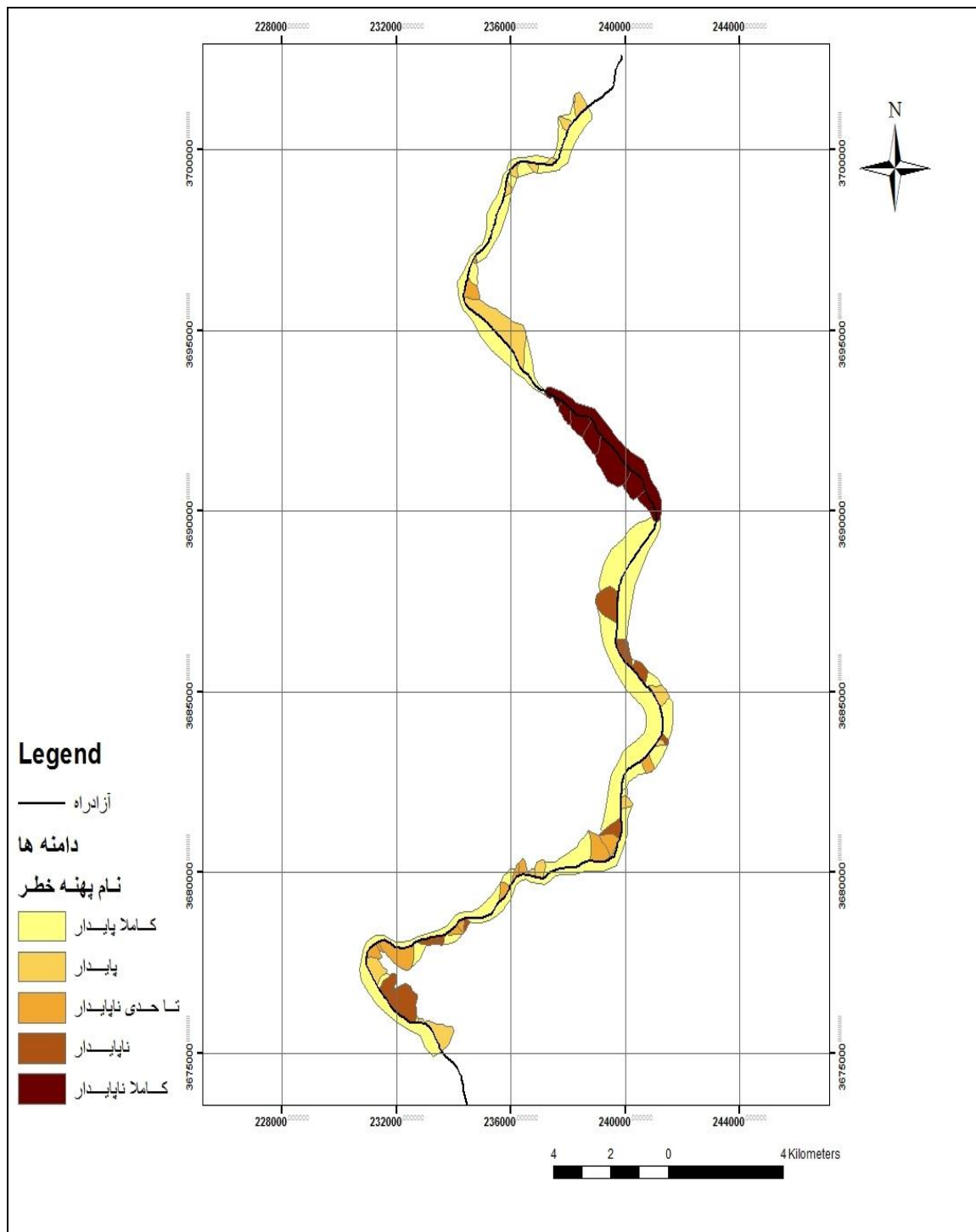
شکل (۴-۱۴)-هیستوگرام توزیع فراوانی وزنهای تجمعی

جدول (۴-۱۱)- کلاس بندی پیشنهادی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش آماری دومتغیره در منطقه مورد

مطالعه

نام پهنه خطر	آستانه به دست آمده برای هر طبقه
کاملاً پایدار	<-650
پایدار	0 تا -650
تا حدی ناپایدار	750 تا -650
ناپایدار	1500 تا 750
کاملاً ناپایدار	1500<

²⁵ Reclassify



شکل (۴-۱۵) - نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه به روش آماری دو متغیره

۴-۳- پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از رویکرد سیستمی^{۲۶}

اصلی‌ترین مشخصه روش سیستم مهندسی سنگ، در نظر گرفتن اکثر پارامترهای موثر بر سیستم مورد مطالعه و استفاده از اثرات متقابل میان آنها برای رسیدن به رفتار کل سیستم است. در این روش پارامترها در طول قطر اصلی ماتریس اندرکنش قرار می‌گیرند و پس از کدگذاری اثرات به نموداری به نام نمودار علت-اثر رفته و بدین ترتیب میزان اندرکنش هر یک مشخص می‌شود. سپس با رسم هیستوگرام مجموع این فاکتورها برای پارامترهای سیستم، میزان اهمیت پارامترها رتبه‌بندی می‌گردد. در مرحله بعد با تشریح پارامترها به صورت کمی یا کیفی می‌توان منوهای رده‌بندی هر پارامتر را تشکیل داده و با محاسبه اندیس تعریف شده برای سیستم، رفتار آن را با در نظر گرفتن تاثیر تمام پارامترها برای زیر سیستم‌های مورد مطالعه محاسبه نمود (زارع و خالوکاکایی، ۱۳۸۸). در این فصل، مراحل اشاره شده به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه به طور کامل اجرا می‌شوند.

۴-۳-۱- اثرات متقابل میان پارامترها

همانگونه که ذکر شد نه پارامتر به عنوان عوامل اصلی موثر شناخته شد (جدول ۴-۱۲)، که به منظور درک چگونگی میزان اثر یک پارامتر در سایر پارامترها، در یک ماتریس اندرکنش قرار می‌گیرند. ماتریس مذکور یک ماتریس مربعی می‌باشد که نه پارامتر اصلی به همراه درایه پایین سمت راست با علامت P10 (ناپایداری‌های بالقوه) در طول قطر اصلی آن لیست شده و اثرات متقابل در نظر گرفته شده در سایر درایه‌های غیر اصلی قرار می‌گیرند.

²⁶ Rock Engineering System

جدول (۴-۱۲) - پارامترهای تاثیرگذار در زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه

علامت	پارامترهای اصلی
1	جنس مصالح
2	شیب دامنه
3	ارتفاع ترانشه
4	اختلاف ارتفاع نسبی
5	مقاومت توده سنگ
6	جهت لایه بندی با دامنه
7	جهت شیب
8	وجود گسل
9	شتاب زلزله
10	ناپایداری های بالقوه

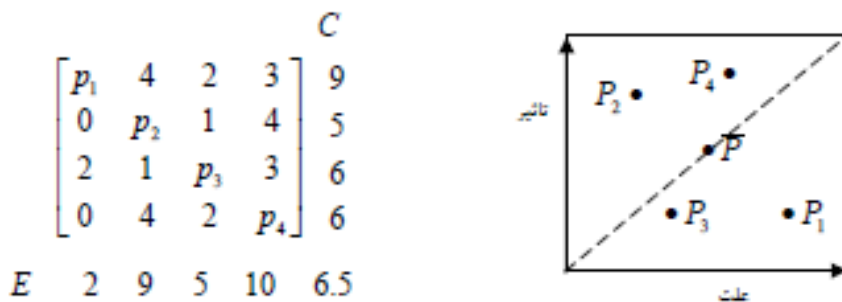
هر سطر عبوری از یک پارامتر، اثر آن پارامتر را بر روی سیستم تشریح می کند و به نام علت پارامتر شناخته می شود. همین طور هر ستون اثر سیستم بر روی پارامتر را نشان می دهد و اثر بر روی پارامتر نامگذاری می شود. مثلاً ستونی که از درایه جهت شیب عبور می کند، نشان می دهد که چگونه سیستم توده سنگ، جهت شیب را تحت تاثیر قرار می دهد. به همین شکل سطر عبوری از این درایه نشان دهنده اثر جهت شیب بر توده سنگ است.

برخی از پارامترها نسبت به سایرین اثر بیشتری بر روی سیستم دارند و برخی دیگر بیشتر تحت تاثیر سیستم قرار می گیرند. برای عددی سازی اهمیت و میزان اثرات متقابل مختلف، یک روش کدگذاری لازم است. همانگونه در فصل ۲ توضیح داده شد و با توجه به شناخت از شرایط منطقه مورد مطالعه، عمل کدگذاری در این پژوهش با روش نیمه عددی خیره (ESQ) انجام می شود که محدوده ای از صفر (عدم تاثیر) تا چهار (اثر بحرانی) بکار گرفته شده است. ماتریس اثر متقابل کدگذاری برای پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه در جدول (۴-۱۳) آورده شده است.

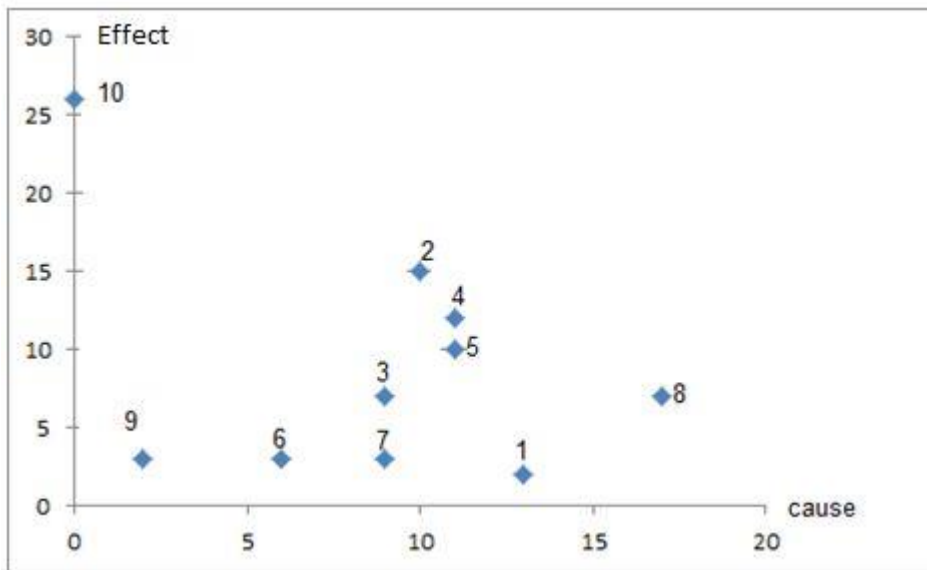
جدول (۴-۱۳) - کدگذاری پارامترها در ماتریس اندرکنش

P1	3	2	2	3	0	0	0	0	3	13	Cause
0	P2	3	2	1	0	0	0	0	4	10	
0	3	P3	2	0	0	0	0	0	4	9	
0	2	2	P4	1	1	2	1	0	2	11	
0	3	0	2	P5	0	0	4	0	2	11	
0	0	0	0	0	P6	0	2	0	4	6	
0	2	0	2	1	2	P7	0	0	2	9	
2	2	0	2	4	0	1	P8	3	3	17	
0	0	0	0	0	0	0	0	P9	2	2	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	P10	0	
2	15	7	12	10	3	3	7	3	26		
Effect											

پس از کدگذاری پارامترها در ماتریس اندرکنش می‌توان نموداری از مجموع سطر و ستون‌ها رسم نمود که موقعیت هر نقطه در آن نشان‌دهنده وضعیت اندرکنش آن پارامتر می‌باشد. به طوری که در شکل (۴-۱۶)، پارامتر P1 بیشترین غلبه، پارامتر P2 کمترین غلبه، پارامتر P3 کمترین اندرکنش و پارامتر P4 بیشترین اندرکنش را در سیستم دارند. پارامتر P نیز مقدار متوسط اندرکنش سیستم را نشان می‌دهد.



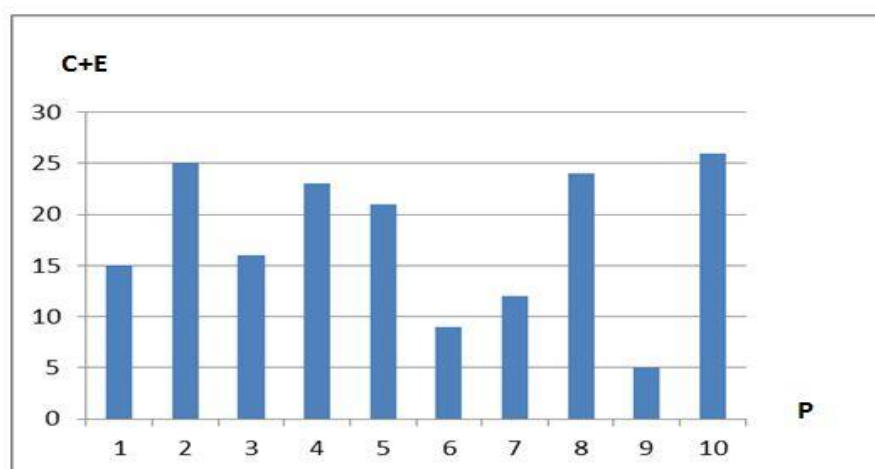
شکل (۴-۱۶) - مراحل رسم نمودار علت-تاثیر با کدگذاری به روش نیمه کمی خبره



شکل (۴-۱۷) - نمودار علت - اثر برای مسئله پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه

از نمودار علت-اثر رسم شده در مطالعه حاضر این امر آشکار می‌گردد که پارامتر ۱۰ یعنی ناپایداری بالقوه کاملاً تحت اثر سیستم بوده و در عوض پارامتر ۱ و ۸ یعنی جنس مصالح و گسل‌ها بیشترین تسلط را بر سیستم دارند.

همچنین از مجموع علت و اثر برای هر پارامتر می‌توان هیستوگرام شدت اثر متقابل را رسم نمود که میزان اهمیت پارامترها را نشان می‌دهد. به طور کلی هر چه اندرکنش یک سیستم بیشتر باشد، آن سیستم به صورت بالقوه ناپایدار است، زیرا تغییر کوچکی در یک پارامتر تا حد قابل توجهی بر رفتار سیستم تأثیر می‌گذارد.



شکل (۴-۱۸) - هیستوگرام شدت اثر متقابل پارامترها

۴-۳-۲- تشکیل منوهای رده بندی

برخی پارامترها به صورت کیفی و برخی کمی می‌باشند، به همین دلیل امکان وارد کردن مقادیر واقعی به طور مستقیم در محاسبات وجود ندارد بنابراین تعیین یک رده‌بندی برای کلاس‌های مختلف کیفیت‌ها و مقادیر لازم می‌باشد. در اینجا سه کلاس برای مقادیر هر پارامتر در نظر گرفته شده است (جدول ۴-۱۴)، که صفر برای "سهم کم"، یک برای "سهمیم" و دو برای "سهم زیاد" پارامترها تعیین شده است.

جدول (۴-۱۴) - منوهای رده‌بندی در نظر گرفته شده برای هر پارامتر

رده بندی اختصاص یافته			پارامتر
2	1	0	
سازند آجاجاری + آسماری شهبازان	سازند گچساران	رسوبات جوان کواترنر	لیتولوژی
15-35	5-15 & >35	0-5	شیب دامنه
>25	16-25	<15	ارتفاع ترانشه (M)
>100	50-100	0-50	اختلاف ارتفاع نسبی (M)
<30	31-40	>40	GSI
موافق	مخالف	مسطح	جهت لایه بندی با دامنه
N SW NW	W NE	S SE E	جهت شیب
<100	100-200	>200	فاصله از گسل (M)
>0.250	0.20 - 0.25	<0.200	شتاب زلزله (g)

۴-۳-۳- رده‌بندی شیب‌های سنگی منطقه از نظر میزان پایداری

پس از تهیه منوهای رده‌بندی برای هر پارامتر، می‌توان به هر دامنه به جای قراردادن مقادیر کمی یا کیفی تعریف شده، عدد مربوطه را جایگزین نمود. در مطالعه حاضر اطلاعات لازم برای ۵۲ دامنه جمع‌آوری شد، بنابراین جدولی همانند جدول (۴-۱۵) ترسیم می‌شود که جزئیات مربوط به محاسبه ناپایداری شیب‌های سنگی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

در ردیف‌های انتهایی جدول، مقادیر C+E و مقادیر نرمالیزه شده آن به جمع کل قابل مشاهده‌اند. در ردیف آخر این جدول، α_1 به عنوان ضریب وزنی هر پارامتر (رابطه ۴-۳) آورده شده است که حاصل مقیاس‌بندی مقدار نرمالیزه شده قبلی با حداکثر رتبه هر پارامتر در منوهای رده بندی (MP_{ij}) است.

$$\alpha_1 = \frac{1}{MP_{ij}} \times \frac{(C+E)}{\sum(C+E)} \% \quad \text{رابطه (۳-۴):}$$

به این ترتیب می‌توان اندیس ناپایداری شیب‌ها^{۲۷} را از رابطه (۴-۴) محاسبه نمود.

$$SII_j = \sum_{i=1}^9 \alpha \times P_{ij} \quad \text{رابطه (۴-۴):}$$

در این روابط، i مربوط به پارامترها (از ۱ تا ۹) و j مربوط به شیب‌ها (از ۰ تا ۵۱) و P_{ij} رتبه داده شده به هر پارامتر در هر کلاس از منوی رده‌بندی با توجه به شرایط آن است. حداکثر مقدار SII نیز عدد ۱۰۰ می‌باشد.

جدول (۴-۱۵) - محاسبه اندیس پایداری برای هر دامنه

شماره دامنه	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	SII
0	2	2	2	1	2	2	2	2	1	90.6
1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	94.3
2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	82.6
3	2	2	2	1	1	2	2	2	1	83.6
4	1	1	0	1	2	1	2	0	1	47.6
5	2	1	1	2	1	1	0	2	0	65
6	2	2	1	1	2	1	2	0	0	64.6
7	1	1	1	1	2	1	2	0	0	51.3
8	1	1	1	1	2	1	2	0	0	51.3
9	1	2	1	1	2	1	1	0	0	55.6
10	1	1	0	2	2	1	0	1	0	53.6
11	2	1	0	2	1	2	0	0	0	46.6
12	2	2	0	0	1	1	2	0	0	44.6
13	1	2	0	0	2	1	2	1	0	54.6
14	1	2	0	0	2	1	1	2	0	58.6
15	1	2	0	1	2	1	2	0	0	54.3
16	2	2	0	1	1	2	2	0	0	55.3
17	2	2	0	2	2	2	0	0	2	65.3
18	2	2	1	2	2	2	1	2	1	88.9
19	2	1	0	2	0	2	2	2	1	65.33
20	2	1	1	1	0	2	2	0	1	46.99
21	2	2	0	1	0	2	2	0	1	49.99
22	1	2	0	1	2	1	2	0	1	55.99
23	2	1	1	2	2	1	1	1	0	68
24	2	1	1	2	0	1	0	1	0	50
25	2	1	2	1	2	1	2	0	0	61.66

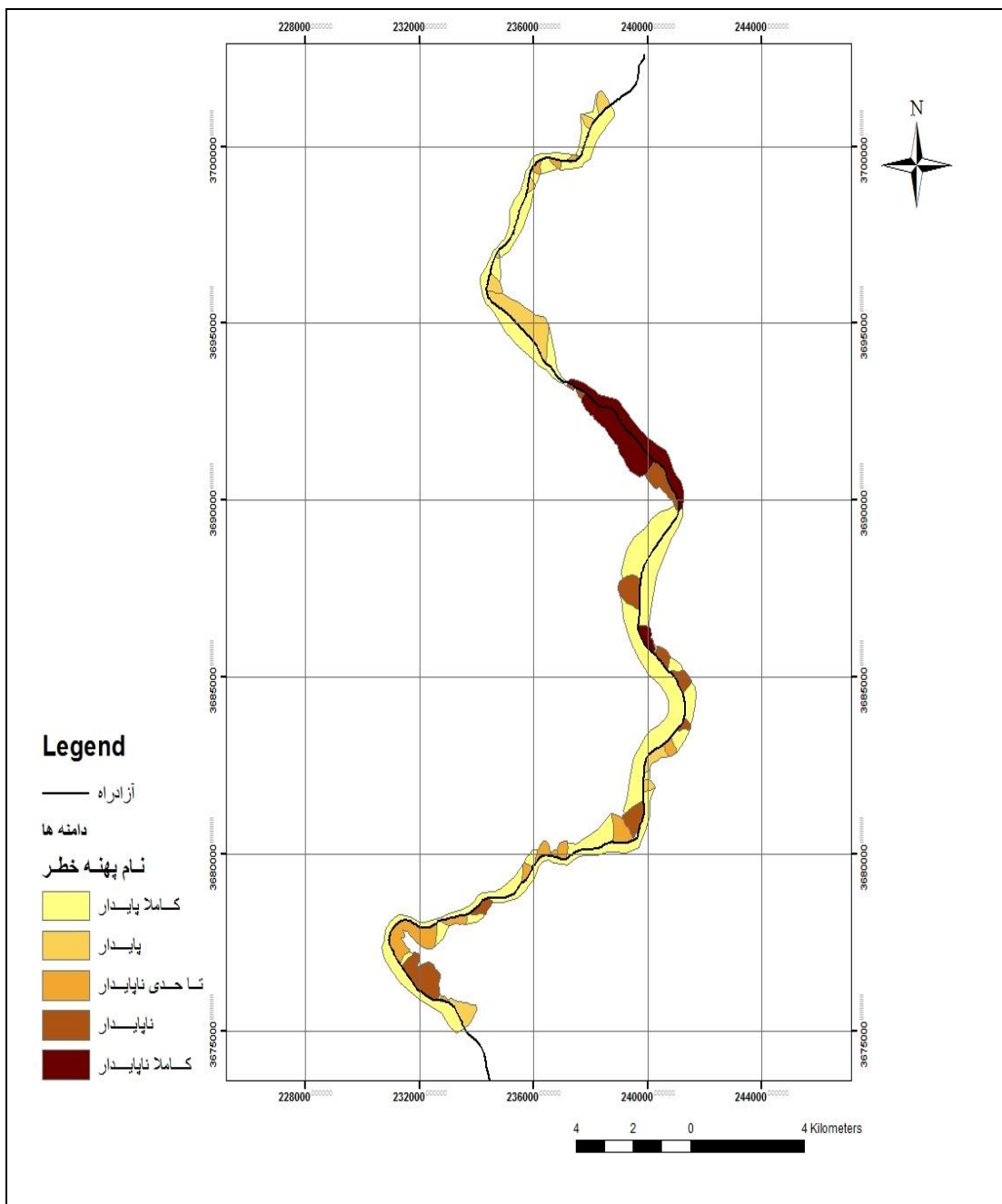
²⁷ Slope Instability Index

شماره دامنه	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	SII
27	2	2	1	0	2	1	1	0	0	52.99
28	2	2	1	0	2	1	2	0	0	56.99
29	2	2	0	0	2	1	1	0	0	47.66
30	2	2	1	1	2	1	2	1	0	72.66
31	2	2	1	1	2	1	0	2	0	72.66
32	2	1	1	0	2	1	0	2	0	56.66
33	1	1	0	1	2	1	1	0	1	43.66
34	1	2	1	2	0	1	2	0	0	53.33
35	1	1	1	1	0	1	0	0	0	29.33
36	1	2	1	1	1	1	0	0	0	44.66
37	1	1	1	1	2	1	0	0	0	43.33
38	2	1	2	1	0	1	0	1	0	47.66
39	2	2	0	2	0	2	0	2	0	64
40	2	1	0	0	1	1	0	0	0	28.33
41	2	1	1	0	2	1	1	1	2	55.98
42	2	2	1	0	2	2	2	1	2	71.31
43	2	1	2	2	2	2	1	2	2	87.65
44	2	2	1	1	2	2	1	2	2	82.98
45	2	1	2	2	2	2	1	2	2	87.6
46	2	2	2	2	1	2	1	2	2	88.9
47	2	2	1	1	2	2	0	0	2	62.9
48	2	2	1	0	2	2	1	0	2	59.3
49	2	1	0	2	1	2	2	1	0	62.6
50	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1.66
51	2	2	2	1	2	1	1	2	2	85.3
(C+E)/Σ(C+E)%	10	16.6	10.6	15.3	14	6	8	16	3.3	
Max Pij	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
A	5	8.3	5.33	7.67	7	3	4	8	1.67	

پس از به دست آوردن اندیس‌های ناپایداری برای هر دامنه، می‌توان آنها را برحسب محدوده مقدار اندیس‌ها کلاس‌بندی کرد. این کلاس‌بندی پیشنهادی برای شرایط حاضر در جدول (۴-۱۶) آورده شده است. در نهایت کلاس‌بندی‌های انجام شده، برای هر دامنه را در محیط GIS وارد کرده و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش رویکرد سیستمی تهیه می‌گردد.

جدول (۴-۱۶) - کلاس بندی برای پهنه بندی خطر زمین لغزش به روش رویکرد سیستمی در منطقه مورد مطالعه

نام پهنه خطر	آستانه به دست آمده برای هر طبقه
کاملاً پایدار	<30
پایدار	30 تا 45
تا حدی ناپایدار	45 تا 60
ناپایدار	60 تا 75
کاملاً ناپایدار	>75



شکل (۴-۱۹) - نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش رویکرد سیستمی

۴-۴- ارزیابی نتایج حاصل از پهنه‌بندی

برای ارزیابی کیفیت نتایج حاصل از پهنه‌بندی زمین‌لغزش با استفاده از نقشه پراکندگی زمین‌لغزش‌های موجود، اقدام به ارزیابی و مقایسه روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش گردید. جهت انجام این امر، نقشه مذکور با نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به وسیله سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی GIS تقاطع داده شد. سپس با استفاده از روشی که توسط (Gee, 1992) ارائه گردیده است، پهنه‌های خطر مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. در این روش از پارامتری به نام نسبت تراکم (DR)، طبق رابطه (۴-۵) استفاده می‌شود.

$$DR = \%L / \%A \quad \text{رابطه (۴-۵):}$$

$$DR = \text{نسبت تراکم}$$

$\%L$ = درصدی از سطح کل زمین‌لغزش‌های موجود در پهنه مورد نظر

$\%A$ = درصدی از سطح منطقه که توسط هر پهنه خطر، اشغال شده است.

بدین ترتیب DR برابر با یک بدین مفهوم است که تراکم لغزش‌ها در پهنه مورد نظر برابر تراکم زمین‌لغزش متوسط منطقه است و DR بزرگتر یا کوچکتر به ترتیب بیانگر تراکم‌های بیشتر یا کمتر زمین‌لغزش‌ها در پهنه مورد نظر نسبت به متوسط تراکم لغزش‌ها می‌باشد.

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

جهت محاسبه انحراف از معیار که شاخصی برای تعیین میزان پراکنش داده‌ها حول میانگین آنهاست، رابطه (۴-۶) که میزان پراکنش اعداد تراکم نسبی را می‌سنجد، تعریف می‌گردد.

$$QS = \sum_{i=1}^n (DR_i - 1)^2 \times \%A_i \quad \text{رابطه (۴-۶):}$$

که در آن n تعداد پهنه‌ها در نقشه مورد نظر است.

بدین ترتیب پارامتر QS مجموع مجذور اختلافات نسبت تراکم هر پهنه را نسبت به متوسط آنها (تراکم متوسط منطقه) محاسبه می‌کند. لازم به ذکر است که این پارامتر نسبی است و به تنهایی نمی‌تواند میزان مطلوبیت نتایج حاصل از یک نقشه را ارزیابی کند، بلکه در بین دو یا چند نقشه معیار ارزیابی است. QS بزرگتر گویای پراکنش بیشتر داده‌های آن نقشه است.

جداول (۱۷-۴) و (۱۸-۴) نتایج مربوط به نقشه‌های پهنه‌بندی به روش آماری دومتغیره و رویکرد سیستمی را نشان می‌دهد.

جدول (۱۷-۴) - محاسبه مقادیر DR و QS برای نقشه پهنه‌بندی به روش آماری دو متغیره

نام پهنه	طول پهنه (KM)	درصد طول پهنه	طول لغزش‌های پهنه (Km)	درصد لغزش‌های پهنه	DR	QS
کاملاً پایدار	11.12	24.7	0	0	0	0.9
پایدار	9.21	20.4	1.58	8.3	0.4	0.8
تا حدی ناپایدار	9.69	21.5	3.82	20.2	0.9	0.8
ناپایدار	6.17	13.7	4.88	25.8	1.8	0.5
کاملاً ناپایدار	8.78	19.5	8.61	45.5	2.3	0.7
		100		100		3.91

جدول (۱۸-۴) - محاسبه مقادیر DR و QS برای نقشه پهنه‌بندی به روش آماری دو متغیره

نام پهنه	طول پهنه (KM)	درصد طول پهنه	طول لغزش‌های پهنه (Km)	درصد لغزش‌های پهنه	DR	QS
کاملاً پایدار	11.12	24.7	0	0	0	0.9
پایدار	7.48	16.6	0.93	4.9	0.2	0.6
تا حدی ناپایدار	7.1	15.8	3.28	17.3	1.09	0.5
ناپایدار	9.4	20.9	4.39	23.2	1.11	0.7
کاملاً ناپایدار	9.8	21.8	10.29	54.4	2.4	0.8
		100		100		3.74

از آنجایی که در روش آماری دومتغیره کلیه وزن‌ها با استفاده از نقشه فهرست زمین‌لغزش‌ها بدست می‌آیند، چنانچه نقشه فهرست بر روی نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش انداخته شود، زمین‌لغزش‌ها بیشتر

در مناطقی واقع می‌گردند که با خطر بالا مشخص شده‌اند. بنابراین با ارزیابی انجام شده صحت نقشه پهنه‌بندی آزمایش گردید و با مقایسه دو روش می‌توان گفت در مطالعه منطقه موردنظر هر دو روش قابل قبول محسوب می‌شوند و هم‌خوانی خوبی با واقعیت میدانی دارند.

فصل پنجم

نتیجه گیری

۵-۱- خلاصه و جمع‌بندی

مسیر مورد مطالعه به طول ۵۰ کیلومتر از نظر زمین‌شناسی ساختاری در زون ساختمانی زاگرس چین‌خورده قرار گرفته است. راه ارتباطی موردنظر در طول مسیر خود در محدوده مورد مطالعه عمدتاً با استفاده از تونل‌های احداث شده عمود بر عناصر ساختاری منطقه از جمله تاقدیس‌های موجود احداث گردیده است.

از لحاظ چینه‌شناسی سازندهای موجود و دارای رخنمون در طول سازه متعلق به دوران سوم زمین‌شناسی و شامل سازندهای: ۱- آسماری شهبازان ۲- گچساران ۳- آجاجاری و در نهایت رسوبات دوران چهارم می‌باشند که سازند آسماری دارای حداکثر رخنمون می‌باشد.

براساس تحلیل‌های انجام شده و برداشت‌های صحرایی در مسیر مورد مطالعه حرکات توده‌ای در سازند گچساران از نوع ریزش سنگی و جریان است و لغزش در آن از نوع چرخشی است. در سازند آجاجاری خطر واژگونی بلوک‌های سنگی وجود دارد و در آسماری-شهبازان لغزش‌ها از نوع بلوکی، انتقالی می‌باشد.

براساس اطلاعات قابل دسترس، ۹ عامل به عنوان عوامل اصلی تاثیرگذار شناسایی گردید. این عوامل عبارتند از لیتولوژی، ارتفاع ترانشه، مقدار و جهت شیب، اندیس مقاومت زمین‌شناسی یا GSI، فاصله از گسل، جهت ناپیوستگی‌ها و شتاب زلزله. که با توجه به کارهای انجام شده در ارزیابی پایداری شیب‌های سنگی می‌توان گفت از میان همه عوامل فرض شده در جهت تاثیر در بروز ناپایداری به ترتیب عوامل شیب، ارتفاع ترانشه و GSI توده سنگ در اولویت قرار دارند.

به منظور ارزیابی درجه خطرپذیری سازه موردنظر از لحاظ مخاطرات محیطی مرتبط با پوسته خارجی زمین به ویژه حرکات توده‌ای در مصالح سنگی با استفاده روش‌های آماری و کارشناسی مبادرت به مطالعه محدوده مورد مطالعه شده است. بدین لحاظ روش ۱- آماری دومتغیره ۲- روش رویکرد سیستمی در مسیر فوق مورد آزمون قرار گرفته‌اند.

بدین لحاظ و باتوجه به بررسی‌های میدانی کلیه عوامل مهم و موثر در بروز ناپایداری شناسایی و نقشه هر کدام از این عوامل در محیط GIS تهیه گردیده است و در نهایت با استفاده از روابط ریاضی موجود در هر روش مبادرت به تلفیق لایه‌های فوق و تهیه نقشه خطرپذیری گسیختگی سنگ در مسیر شده است.

در بررسی و مطالعه زمین‌لغزش‌ها در منطقه مورد مطالعه و پهنه‌بندی آن در رابطه با پتانسیل لغزش‌ها، نقاط مشخصی از طول مسیر دارای پتانسیل بالایی از وقوع زمین‌لغزش می‌باشند که با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده می‌گردد از لحاظ تفکیک نقاط مختلف از لحاظ درجه خطر به ویژه مناطق کم‌خطر و پرخطر روش آماری دومتغیره دارای همخوانی بهتری با واقعیات میدانی می‌باشد. از طرفی مشاهده می‌گردد روش کارشناسی رویکرد سیستمی به لحاظ متکی بودن به اظهارات منطبق با صحرا دارای نقاط مشترک زیادی با روش فوق نیز می‌باشد.

با توجه به نتایج به دست آمده از به کارگیری روش نوین رویکرد سیستمی می‌توان گفت هرچند این روش دارای نقاط مشترک زیادی با دو روش اخیر می‌باشد لیکن در تفکیک دقیق مرزهای خطر تا حدودی عاجز است.

۵-۲- پیشنهادهای اجرایی

به منظور کاهش درجه ریسک مناطق پرخطر و کاهش تبعات بعدی ناشی از هرگونه ناپایداری احتمالی به ویژه در فصول تر سال لازم است تا تدابیری به شرح ذیل اندیشیده گردد:

۱- رهاسازی بلوک‌های معلق در مسیر به خصوص در ورودی و خروجی تونل‌ها به وسیله ابزار

دستی

۲- انجام عملیات بتن پاشی در محل رخنمون سازندهای حساس به فرسایش مارنی

۳- احداث خندق با ابعاد مشخص و استاندارد در حاشیه مسیر جهت کنترل ریزش‌ها به خصوص

با مولفه جهش و سر خوردن

۴- احداث دایک‌های بتنی و سنگی بتنی در محل ریزش‌های ادامه‌دار و حجیم

۵- ایجاد و احداث عملیات درخت‌کاری در طول مسیر

همچنین با توجه به اینکه هیچگونه داده و اطلاعات مستندی از وضعیت قبل و فعلی مسیر در دست نبوده یا دسترسی به آنها مقدور نمی‌باشد، لازم است در مقیاس بزرگ و با استفاده از روش‌های نوین، مطالعاتی مفصل در مسیر انجام گردد. به این منظور انجام مطالعات دقیق ژئوتکنیکی به همراه عملیات رفتار سنجی (Monitoring) دامنه‌های مسئله‌دار لازم و ضروری می‌باشد.

منابع

- ۱) احمدی، ح و طالبی، ع (۱۳۸۰): "بررسی عوامل موثر در ایجاد حرکت‌های توده‌ای (منطقه اردبیل استان چهارمحال و بختیاری)" *مجله منابع طبیعی ایران*، جلد ۴. شماره ۴.
 - ۲) اشقلی فراهانی، ع (۱۳۸۰)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد "ارزیابی خطر ناپایداری دامنه های طبیعی در منطقه رودبار با استفاده از تئوری فازی"، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت معلم تهران.
 - ۳) بداعی، ب (۱۳۷۶)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، "پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در بخشی از حوضه شاهرود"، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
 - ۴) بلورچی م ج، انتظام ا، محمودپور م، کریم نژاد، س، شمشکی ا، (۱۳۸۵) "گزارش بررسی خطر سنگ ریزش در جاده چالوس"، سازمان زمین شناسی کشور، گزارش شماره: ۱-۱-۸۵
- En Geo
- ۵) پایگاه اینترنتی پژوهشگاه زلزله، <http://www.iiies.ac.ir>
 - ۶) پژم، م. (۱۳۷۵)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد "پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده ای در حوزه آبخیز الموت رود"، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
 - ۷) جلالی، ن (۱۳۸۱) "ارزیابی تعدادی از روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز طالقان"، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.
 - ۸) حافظی‌مقدس، ن و غفوری، م، (۱۳۸۸) "زمین‌شناسی زیست‌محیطی" انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.
 - ۹) حق شناس، ا (۱۳۷۴) پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد "پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و ارتباط آن با تولید رسوب در منطقه طالقان"، دانشگاه تربیت مدرس.

- ۱۰) زارع نقدهی، م.، خالوکاکایی، ر. (۱۳۸۸) "تحلیل و رده بندی پتانسیل ناپایداری شیب‌های سنگی مشرف به جاده گردنه خوش ییلاق با استفاده از رویکرد سیستمی "مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران، جلد دوم، شماره ۱ و ۲، ۱۹-۳۲
- ۱۱) سروش، ع، (۱۳۸۵)، "تثبیت شیب شیروانی خاکریزها و خاکبرداری‌ها"، جلد اول، چاپ اول، پژوهشکده حمل و نقل
- ۱۲) سعدالدین ا، (۱۳۷۳)، پایان نامه کارشناسی ارشد " بررسی اثرات پارامترهای هیدرو ژئومورفولوژیک بر حرکات توده‌ای مواد دامنه‌ای در حوزه آبخیز چاشم-خطیر کوه سمنان"، دانشگاه تربیت مدرس. ۱۲۳ص.
- ۱۳) سفیدگری، ر. (۱۳۸۱) پایان‌نامه کارشناسی ارشد "ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ (مطالعه موردی حوزه آبخیز دماوند)"، دانشگاه تهران.
- ۱۴) سیارپور، م (۱۳۷۸) پایان‌نامه کارشناسی ارشد "پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین‌لغزش در جنوب خلخال، استان اردبیل". دانشگاه تهران. ۹۳ص.
- ۱۵) شریعت جعفری، م. (۱۳۷۵) " مبانی و اصول پایداری شیب‌های طبیعی". انتشارات سازه: ۲۱۸ص.
- ۱۶) شیرانی ک.، غیومیان ج.، مختاری ا (۱۳۸۴) " بررسی و ارزیابی آماری دو متغیره و جند متغره در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش"، نشریه آب و آبخیز، جلد ۲(۲): ۳۶-۴۷
- ۱۷) شیرانی، ک (۱۳۸۲) " ارزیابی مهمترین روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به منظور انتخاب روش مناسبی برای جنوب استان اصفهان منطقه سمیرم در مسیر رودخانه ماربر"، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، شماره ثبت ۸۳/۹۶۱، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۰۴ ص.

- ۱۸) فتاحی اردکانی، م.ع (۱۳۷۹) پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری "بررسی و ارزیابی کارایی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و تکنیک سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوزه آبخیز لتیان"، مرکز آموزش عالی امام خمینی.
- ۱۹) کمک پناه ع، چدنی ا.ج، منتظرالقائم س، (۱۳۷۱). "خطرات ناشی از زمین لغزه در مناطق شهری و اهمیت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی" اولین کنفرانس بین المللی بلایای طبیعی در مناطق شهری. بخش اول - زلزله، دفتر مطالعات و برنامه ریزی شهر تهران.
- ۲۰) کهی میانجی، ی. (۱۳۷۷) پایان نامه کارشناسی ارشد، "تحلیل چند متغیره آماری احتمال وقوع زمین‌لغزش با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در منطقه طالقان"، دانشگاه تربیت مدرس. ۲۰۴ ص.
- ۲۱) متکان. ع.ا.، سمیع‌اج.، پورعلی. سید ح.، صفایی. م. (۱۳۸۸) "مدل‌های منطق فازی و سنجش از دور جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز لاجیم"، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، سال ۵، شماره ۴: ۳۱۸-۳۲۵.
- ۲۲) معماریان، ح. و سیاپور، م.، (۱۳۸۵)، "نقش پارامتر شیب دامنه در بروز خطا در پهنه بندی خطر زمین‌لغزش"، نشریه دانشکده فنی، ج ۴۰، شماره ۱، ص ۱۱۰-۱۰۵.
- ۲۳) مهندسین مشاور آب دشت سامان (۱۳۸۸)، "گزارش زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی حوزه آبخیز تل عجم"، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان لرستان
- ۲۴) مهندسین مشاور آب دشت سامان (۱۳۸۷)، "گزارش زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی حوزه شورآب"، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان لرستان
- ۲۵) میرزایی، ن. (۱۳۸۱). "پارامترهای مبانی زمین‌لرزه های ایران"، انتشارات دانش نگار
- ۲۶) میرصانعی، ر. و مهدویفر، م.ر، (۱۳۸۵)، "روش‌ها و معیارهای بهینه جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش"، طرح مطالعاتی کمیته فرعی مقابله با خطرات ناشی از زلزله و لغزش لایه های زمین. ۲۷-۵۱.

۲۷) نیک اندیش، ن (۱۳۷۸) رساله دکتری " بررسی نقش عوامل هیدرواقلیم در وقوع حرکات توده

ای در حوزه کارون میانی"، دانشگاه اصفهان

Reference

1. Ahamad, R, and J.P.,Mc Caplin, (1999). Landslide susceptibility maps for the Kingston Metropolation Area Jamaica. <http://www.Oas.Org/en/cdmp>.
2. Anbalagan, R., (1992), "Landslide Hazard Evaluation and Zonation Mapping in Mountainous Terrain", *Engineering Geology*, Vol. 32: 269-278
3. Atkinson, P.M. and Massari, R. (1998). Generalized linear modelling of susceptibility to landsliding in the central Appennines, Italy. *Comput Geosci*, 24(4): 373–385.
4. Ali KM, Hasan K (2002) Rock mass characterization to indicate slope instability in Bandarban: a rock engineering systems approach. *Environ Eng Geosci* 8(2):105–119
5. Ambraseys, N. & Moinfar, A., (1973). The seismicity of Iran: the Silakhor (Lurestan) earthquake of 23rd January 1909, *Ann. Geophys.*, 26, 659– 678.
6. Baillifard.,F.Jaboyedoff.,M.and sartori.,M; (2003); Rockfall hazard mapping along a mountainous road in Switzerland using a GIS-based parameter rating approach ,*Natural Hazards and Earth System Sciences*.Vol:3,,PP:431-438.
7. Batterson, M., McCuaig, S. & Taylor, D.(2006) Mapping and assessing risk of geological hazard on the Northeast Avalon peninsula and Humber valley, Newfoundland, Newfoundland and Labrador Department of Natural Resources, Geological Survey, Report 06-1, pages 147-160.
8. Barnard, P.L., Owen, L.A., Sharma, M.C., Finkel, R.C., (2001).” Natural and humaninduced landsliding in the Garwhal Himalaya of northern India”. *Geomorphology* 40, 21–35.
9. Beguria ,S., Lorente, A .(1999), Landslide Hazard Mapping by Multivariate Statistics : Comparison of Methodes and Case Study in the Spanish Pyrenees.
10. Bender, B. and Perkins, D., 1987, A computer program for seismic hazard estimation, SEISRISK III.*US Geological Surv. Bull.* 1772.

11. Binaghi, E., Luzi, L., Madella, P., Pergalani, F & Rampini, A ,(1998) *Slope Instability Zonation : A Comparison between Certainty Factor and Fuzzy Dempster – Shafer Approaches, Natural Hazard*, 17,pp.77-97.
12. Bromhead, E.N (1999) “ The Stability of Slopes “ *Library of Congress Cataloging in Publication Data. 1:1-2*
13. Budetta P, Santo A, Vivencio F (2008) Landslide hazard mapping along the coastline of the Cilento region (Italy) by means of a GIS based parameter rating approach. *Geomorphology* 94:340–352.
14. Cornell, C. A.,(1968)” *Engineering Seismic Risk Analysis*”, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 58, No. 5, pp. 1583-1606.
15. Cornell, J., (1979)”*The Great International Disaster Book*” , Pocket Books, New York.
16. Crozier, M., (1999),” *Landslide, Applied Geography, Principles and Practice*”, Elsevierl :83-94.
17. Cova, T.J, Conger,S,. (2004); *Transportation hazard*, in Kutz. M. (ed)., *Transportation Engineering*, Mc Graw Hill,New York,PP:17.1-17.24.
18. Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui V. & Reichenbach, p., (1991), "GIS techniques and statistic models in evaluating landslide hazard", *Earth Surface Processes Landforms*, Vol. 16: 427 – 455.
19. Castaldini D, Genevois R, Panizza M, Puccinelli A, Berti M, Simoni A (1998) An integrated approach for analyzing earthquakeinduced surface effects: a case study from the Northern Apennins, Italy. *J Geodyn* 26(2–4):413–441.
20. Cornel, C.A., 1968, *Engineering Seismic Risk analysis* Bull. Seism. Soc. Am., 58, 1583-1606.
21. Dai, F.C. and Lee, C.F. (2001). Terrain-based mapping of landslide susceptibility using a geographical information systems: a case study. *Can Geotech J.*, 38: 911–923.
22. Dai, F.C. & Lee, C.F., 2002,"*Landslide characteristics and slope instability*", *Geomorphology*, Vol. 42: 213–228.
23. Douglas, J., 2001, *Engineering Seismology and Earthquake Engineering*. A comprehensive worldwide summary of strong-motion attenuation relationships for peak ground acceleration and spectral ordinates (1969 to 2000). ESEE Report No. 01-1.

24. Ercanoglu, M. and Gokceoglu, C. 2002. Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. *Environ Geol*, 41: 720–730.
25. Glade, T. (2003) "Landslide occurrence as a response to dramatic land use change". In: *Catena* 51 (3-4): 297-314.
26. Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P., Carrara, A.,(2000), "comparing landslide map: A case study in the upper Tiber river basin, central Italy", *Environmental management*, Vol. 25: 247-263.
27. Gutenberg, B. and Richter, C.F., (1944), Frequency of earthquakes in California. *Bull. Seism. Soc.Am.*, 34, 185-188.
28. Haeri, S.M., Samaiee, A.H.(1995). Some Methods of Landslide Microzonation, 10th European Conf. on Earthquake Engineering, Duma(ed.), Balkema, Rotterdam.
29. Hoek, E., Carranza-Torres, C.T., and Corkum, B. (2002), Hoek-Brown failure criterion – 2002 edition. Proc. North American Rock Mechanics Society meeting in Toronto in July 2002.
30. Hudson JA (1992a) *Rock engineering systems, theory and practice*. Ellis Horwood Ltd, Chichester
31. Hudson JA (1992b) Atlas of rock engineering mechanisms: part 2— slopes. *Int J Rock Mech Min Sci* 29(2):157–159
32. Hudson JA, Harrison JP (1992) A new approach to studying complete rock engineering problems. *Q J Eng Geol* 25:93–105
33. Hudson, J. A., Jiao, Y.(2000) "Analysis of rock Engineering Projects" ,Imperial college Press, London.
34. Jibson, W.R., Edwin, L.H. and John, A.M. (2000). "A method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard maps". *Eng Geol*, 58: 271–289.
35. Keefer, D.K., (1984). "Landslides caused by earthquakes". *Geological Society of America Bulletin* 95, 406–421.
36. Larsen, M.C. and Parks, J.E. (1997) How wide is a road? The association of roads and mass-wasting in a forested montane environment. *Earth Surface Processes and Landforms*, 22: 835-848.
37. Lee, S. (2007). "Application and verification of fuzzy algebraic operators to landslide susceptibility mapping". *Environmental Geology* 52, 615-623.

38. Lied, K., (1977) "Rockfall problems in Norway. In: Rockfall dynamics and protective work effectiveness. ISMES publ. n.90. Bergamo, 51-53.
39. Mazzoccola DF, Hudson JA (1996) A comprehensive method of rock mass characterization for indicating natural slope instability. *Q J Eng Geol* 29:37–56.
40. Owen, L. A., Kamp, U., Khattak, G. A., Keefer, D., Harp, E. L., Bauer, M., (2008), "Landslides triggered by the October 8, 2005, Kashmir Earthquake", *Geomorphology* 94, 1–9.
41. Pourghasemi, H.R, Moradi, H.R., Mohammady, M., Gholamalifard, M. (2008). "Landslide Hazard Mapping with Using of Fuzzy Logic and GIS", International Proceeding GIS86 & ISPRS, 6-7 JAN, pp.13.
42. Sarkar, S. Kanungo Glade, T., (2003) "Vulnerability assessment in landslide risk analysis". *DIEERDE*. 134:123 – 146.
43. Sarkar, S. Kanungo, D.P, & Mehrotar, S., (1995), "Landslide Zonation: A case study in Garwal Himalaya, India", *Mountain Research and Development*, Vol. 15 (4):301-309.
44. Sarkar, S. Kanungo, D.P, & Mehrotar, S., (1995), "Landslide Zonation: A case study in Garwal Himalaya, India", *Mountain Research and Development*, Vol. 15(4):301-309.
45. Sara, L. & Kyungduck, M. (2001), "Statistical analysis of landslide susceptibility at Yonging, Kkorea", *Enviromented geology*, Vol. 40:1095–1113.
46. Sharp CFS. 1938. Landslide and related phenomena. Columbia university press, New York
47. Smith GJ (1994) The engineering geological assessment of shallow mine workings with particular reference to chalk. Dissertation, University of London.
48. Skempton, A. and Hutchinson, J.N. (1969) Stability of Natural Slopes and Embankment Foundations, Proc. 7th Int. Conf. On Soil Mechanics & Foundation Eng., State of the art volume, 291-340.
49. Soeters, R. and Van Westen, C.J. (1996) Slope Instability Recognition, Analysis and Zonation In: Turner, A.K. and Schuster, R.L. (ed). Landslides, investigation and mitigation. Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 247, National Academy Press Washington D.C., U.S.A., P 129-177.

50. Terzaghi, K., (1950), *Mechanism of landslides, in Application of Geology to Engineering Practice*, Berkeley Vol., Geological Society of America, p.83-123.
51. Van Westen , C.J and Trilene ,M.T.J.(1996) An Approach Towards Deterministic Landslide Hazard Analysis in GIS.A Case Study from Mainzales (Colombia). *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol.21,pp 853-868.
52. Van Westen , C.J (1998) *Geographic Information Systems in Slope Instability Zonation (GISSIZ)*, Volume 1,2.
53. Van Westen, C.J. and Soeters, R. (1998) *GISSIZ: Workshop on GIS in Landslide Hazard Mapping: the Kakani Area(Nepal) 1: Theory*. Version 2, ITC, p.156.
54. Varnes, D.J (1978) *Slope movment Types and Processes*,. *In Landslide Analysis and Control (Schuster, R.L & Krizek, R.J. eds)*, *National Academi of Science*, Report 176, Washington, D.C., pp. 11-35
55. Varnes, D.J.(1978) *Landslide Types and Processes*. *In: Landslides and Engineering Practice.E.B.Eckel (ed)*. Special Report no.29., Highway Research Board, pp 20-47
56. Van Westen., K. Soeters, R., Rangers ,N .(1993) *Geographic Information Systems as Applied to Landslide Hazard Zonation Mapping Awareness & GIS In Europe* vol 7 no 5 June 1993
57. Van Westen , C.J (1998) *Geographic Information Systems in Slope Instability Zonation (GISSIZ)*, Volume 1,2.
58. Wieczorek, G.F., Morrissey, M.M., Iovine, G. & Godt, J., (1998)- *Rockfall hazards in the Yosemite Valley. U.S. Geol. Survey Open-File Report 98/467*, 8 pp.
59. Zhang LQ, Yang ZF, Liao QL, Chen J (2004) An application of the rock engineering systems (RES) methodology in rockfall hazard assessment on the Chengdu-Lhasa highway, China. *Int J Rock Mech Min Sci* 41(3):833–838.

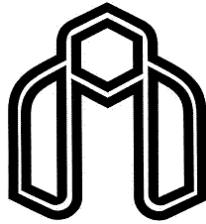
Abstract

In this research, based on geographical information system (GIS), considering the natural characteristics, field observations and using nine quantitative and qualitative variables, landslide hazard zonation in 1 to 50 kilometers of Khorramabad – Pole zal freeway, has been carried out. The study area is located on 20 kilometers south of Khorramabad in Lorestan province is a part of Tehran-Bandar Imam first class road.

In order to provide landslide hazard zonation two methods (bivariate statistical method and systematical approach) have been used in this survey. In these methods, the required maps (slope, slope direction, fault, lithology, earthquake velocity, dip direction, elevation trenches, GSI) provided with Arc/GIS software and finally map of landslide hazard has been prepared. Finally, for evaluating the accuracy of data, the landslide distribution map has been compared and evaluated.

The obtained results show that the systematical approach includes the little error. Also, in this research, the most important variables and effective parameters on landslide in the study are slope, tranche elevation, and GSI.

Key words: landslide, zonation, Khorramabad-Pole zal Freeway, bivariate statistical, systematical approach.



Shahrood University of Technology
Faculty of Earth Sciences

**Landslide Hazard Zonation of Rock-Slope in First 50 Km of
Khorramabad-Pole Zal Freeway Using Systematical
Approach**

T. Amiri

Supervisors

Dr. N. Hafezi Moghadas

Dr. M.R. Mahdavifar

Advisor

A. R. Nooryazdan

February 2013