





دانشکده مهندسی  
گروه مهندسی عمران

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی عمران گرایش خاک و پی

تعیین سطح سه بعدی گسیختگی در شیب‌های رسی همگن  
و تحلیل سه بعدی آن

استاد راهنما  
دکتر مهدی زمانی لنجانی

استاد مشاور  
دکتر منصور پرویزی

پژوهشگر  
آرش شوریابی

مهرماه ۱۳۹۲

تقدیم بہ

پدرم بہ استواری کوہ

مادرم بہ زلالی چشمہ

برادرم بہ صمیمیت باران

نام: آرش  
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد  
نام خانوادگی: شوریابی  
رشته و گرایش: عمران - خاک و پی  
استاد راهنما: دکتر مهدی زمانی  
تاریخ دفاع: ۱۳۹۲/۰۷/۲۰

## تعیین سطح سه بعدی گسیختگی در شیب‌های رسی همگن و تحلیل سه بعدی آن

### چکیده

زمین یک سطح ناهموار است و بر روی آن شیب‌های متعددی وجود دارد. ناپایداری شیب‌ها بر اثر عوامل مختلف، زمین‌لغزش نامیده می‌شود. زمین‌لغزش یکی از بلاای طبیعی در جهان است که انسان‌های زیادی را به کام مرگ کشانده است. روش‌های متعددی برای تحلیل پایداری شیب‌ها به وجود آمده‌اند. روش تعادل حدی و اجزای محدود از روش‌های پرکاربرد در تحلیل پایداری شیب‌ها هستند. معیار پایداری یک شیب بر اساس عددی به نام ضریب اطمینان است. رویه حاصل از گسیختگی شیب را سطح‌لغزش می‌نامند. در روش اجزای محدود، سطح‌لغزش هندسه خاصی ندارد. سطح‌لغزش در این روش، مکان هندسی متناسب با کرنش‌های برشی ماکزیمم است. در روش تعادل حدی، سطح‌لغزش هندسه خاصی دارد که قبل از عمل تحلیل پایداری شیب، فرض می‌شود. اکثراً هندسه سطح‌لغزش در روش تعادل حدی دایره‌ای فرض می‌شود.

در این تحقیق هندسه سطح‌لغزش، بیضوی در نظر گرفته می‌شود و دو روش بیشاپ ساده شده و جانبوی ساده شده از روش‌های زیرگروه روش تعادل حدی برای سطح‌لغزش با هندسه بیضوی اصلاح می‌شوند. سپس به مقایسه تحلیل پایداری شیب‌ها با دو سطح‌لغزش دایره‌ای و بیضوی در فضای دو بعدی و سه بعدی با روش‌های ذکر شده پرداخته می‌شود.

همچنین به مقایسه تحلیل پایداری با روش‌های اجزای محدود و تعادل حدی با سطح‌لغزش بیضوی در فضای دو بعدی و سه بعدی نیز پرداخته می‌شود. برای تحلیل پایداری با سطح‌لغزش بیضوی از کد نوشته شده در محیط متلب توسط مؤلف استفاده می‌شود.

در قسمتی دوم از این تحقیق، از رویه یک زمین‌لغزش واقعی در استان کهگیلویه و بویراحمد نقشه برداری می‌شود. سپس رویه حاکم بر آن با روش‌های درون‌یابی کریجینگ و اسپلاین مکعبی دو بعدی، مدل می‌شود. همچنین نزدیک‌ترین سطوح‌لغزش دایره‌ای و بیضوی برای این رویه گسیختگی در نرم‌افزار اتوکد با عمل سعی و خطا، بدست آورده می‌شوند. در پایان، این زمین‌لغزش با سطوح‌لغزش دایره‌ای و بیضوی بدست آمده با روش‌های ذکر شده تحلیل پایداری می‌شود. برای مدل‌سازی رویه گسیختگی با روش اسپلاین مکعبی دو بعدی از کد نوشته شده در محیط متلب توسط مؤلف استفاده می‌شود.

از مقایسه تحلیل پایداری شیب‌های متعدد با روش‌های بیشاپ و جانبوی ساده شده با سطوح‌لغزش دایره‌ای و بیضوی نشان داده می‌شود که از تحلیل پایداری شیب با سطح‌لغزش بیضوی نتایج کمتری نسبت به تحلیل پایداری با سطح‌لغزش دایره‌ای بدست می‌آید.

همچنین از مقایسه تحلیل پایداری سطح‌لغزش بیضوی در روش‌های بیشاپ و جانبوی ساده شده با روش عددی اجزای محدود مشخص می‌شود که تحلیل پایداری با سطح‌لغزش بیضوی با روش‌های

ذکر شده نتایج کمتر از روش اجزای محدود را نشان می‌دهد. تنها عیبی که می‌توان در تحلیل پایداری با روش تعادل حدی با سطح لغزش بیضوی وارد کرد این است که بدلیل در نظر گرفتن اثر دوران در سطوح لغزش بیضوی، تعداد سطوح لغزش بیضوی تحلیل پایداری شده خیلی بیشتر از سطوح لغزش دایره‌ای تحلیل پایداری شده است. در این رساله نشان داده خواهد شد که زاویه دوران برای سطوح لغزش بیضوی بحرانی حاده هستند و می‌توان از تحلیل پایداری سطوح لغزش بیضوی با زاویه دورانی منفردانه صرف‌نظر کرد.

**واژه‌های کلیدی:** زمین لغزش، بیشاپ ساده شده، جانبوی ساده شده، سه بعدی، سطح لغزش بیضوی، اجزای محدود

## فهرست

صفحه	عنوان
	<b>فصل اول: مقدمه</b>
۱-۱-۱	مقدمه
۲-۱	ضرورت انجام تحقیق
۳-۱	اهداف تحقیق
۴-۱	روش انجام تحقیق
	<b>فصل دوم: مبانی نظری و پژوهش‌های پیشین</b>
۱-۲	تعریف زمین لغزش
۲-۲	طبقه‌بندی زمین لغزش‌ها
۱-۲-۲	افتان
۲-۲-۲	سیلان
۱-۲-۲-۲	روانه‌های خاکی
۲-۲-۲-۲	روانه‌های گلی
۳-۲-۲-۲	جریان‌های واریزه‌ای
۳-۲-۲	لغزش
۱-۳-۲-۲	لغزش چرخشی
۲-۳-۲-۲	لغزش صفحه‌ای
۴-۲-۲	گسترش جانبی
۵-۲-۲	خزش
۶-۲-۲	خاکسره
۳-۲	عوامل ایجاد زمین لغزش
۱-۳-۲	عوامل درونی
۲-۳-۲	عوامل بیرونی
۴-۲	خسارات ناشی از زمین لغزش
۵-۲	راه‌های پیشگیری از زمین لغزش
۶-۲	ضریب اطمینان
۱-۶-۲	ضریب اطمینان نسبت به نیرو
۲-۶-۲	ضریب اطمینان نسبت به گشتاور
۷-۲	سطح لغزش
۸-۲	روش بهینه‌سازی در تعریف زمین لغزش

۹-۲- حالات تحلیل پایداری شیب‌ها .....	۲۳
۱۰-۲- روش‌های تحلیل پایداری شیب در فضای دو بعدی .....	۲۴
۱۱-۲- روش‌های قطعی .....	۲۴
۱۲-۲- روش دایره سوئدی .....	۲۵
۱۳-۲- روش اسپیرالی .....	۲۶
۱۴-۲- روش دایره اصطکاکی .....	۲۷
۱۵-۲- روش تعادل حدی .....	۲۹
۱۶-۲- روش فلنیوس .....	۳۰
۱۷-۲- روش بیشاپ ساده شده .....	۳۳
۱۸-۲- روش جانبوی ساده شده .....	۳۷
۱۹-۲- روش جانبوی اصلاح شده .....	۴۰
۲۰-۲- روش جانبوی تعمیم یافته .....	۴۴
۲۱-۲- روش گروه مهندسین .....	۴۸
۲۲-۲- روش لاو - کارافیت .....	۵۲
۲۳-۲- روش اسپنسر .....	۵۵
۲۴-۲- روش مورگنسترن- پرایس .....	۵۹
۲۵-۲- مقایسه روش‌های تعادل حدی .....	۶۷
۲۶-۲- روش المان مجزا .....	۷۱
۲۷-۲- روش خط تغییر طول صفر .....	۷۱
۲۸-۲- روش اجزای محدود .....	۷۲
۲۹-۲- مقایسه روش‌های تعادل حدی و اجزای محدود .....	۷۳
۳۰-۲- روش‌های احتمالاتی .....	۷۶
۳۱-۲- روش‌های تحلیل پایداری شیب در فضای سه بعدی .....	۷۷
۳۲-۲- ابزار موجود در تحلیل پایداری شیب .....	۸۳
۳۳-۲- روش مناسب در تحلیل پایداری شیب‌ها .....	۸۳
۳۴-۲- روش انتخاب شده برای تحلیل پایداری شیب‌ها در این تحقیق .....	۸۴

### فصل سوم: روش انجام تحقیق

۱-۳- مدل‌سازی سطح‌لغزش بیضوی در حالت دو بعدی .....	۸۵
۲-۳- تعمیم روش بیشاپ و جانبوی ساده شده برای سطوح‌لغزش بیضوی در حالت دو بعدی .....	۸۹
۳-۳- صحت تقریب‌سازی انجام شده در تحلیل پایداری شیب‌ها با فرض سطح‌لغزش بیضوی با روش بیشاپ ساده شده .....	۹۵
۴-۳- مدل‌سازی سطح‌لغزش بیضوی در حالت سه بعدی .....	۹۶
۵-۳- تعمیم روش بیشاپ و جانبوی ساده شده برای سطوح‌لغزش بیضوی در حالت سه بعدی .....	۹۷

### فصل چهارم: یافته‌های پژوهش و بحث پیرامون آن‌ها

۱-۴- الگوریتم تحلیل پایداری شیب .....	۱۰۲
۲-۴- نحوه رسم سطح‌لغزش در حالت دو بعدی .....	۱۰۴

۳-۴- نحوه رسم سطح لغزش در حالت سه بعدی .....	۱۰۴
۴-۴- نحوه محاسبه ضریب اطمینان در حالت دو بعدی .....	۱۰۷
۵-۴- نحوه محاسبه ضریب اطمینان در حالت سه بعدی .....	۱۰۹
۶-۴- بررسی عوامل مؤثر در تعیین سطح لغزش بحرانی در فضای دو بعدی .....	۱۱۱
۷-۴- بررسی عوامل مؤثر در تعیین سطح لغزش بحرانی در فضای سه بعدی .....	۱۱۷
۸-۴- صحت سنجی کد نوشته شده در محیط متلب .....	۱۱۸
مثال (۱-۴) .....	۱۱۸
مثال (۲-۴) .....	۱۲۰
۹-۴- تحلیل پایداری با سطوح لغزش دایره‌ای و بیضوی .....	۱۲۳
مثال (۳-۴) .....	۱۲۳
مثال (۴-۴) .....	۱۲۶
مثال (۵-۴) .....	۱۳۱
مثال (۶-۴) .....	۱۳۴
مثال (۷-۴) .....	۱۳۸
مثال (۸-۴) .....	۱۴۳
مثال (۹-۴) .....	۱۴۶
مثال (۱۰-۴) .....	۱۴۹
مثال (۱۱-۴) .....	۱۵۲
۱۰-۴- مطالعه موردی .....	۱۵۷
۱۱-۴- منطقه مورد مطالعه .....	۱۵۷
۱۲-۴- برداشت سطح گسیختگی .....	۱۵۹
۱۳-۴- مدل سازی رویه گسیختگی .....	۱۶۰
۱۴-۴- مدل سازی زمین لغزش با روش کریجینگ .....	۱۶۰
۱۵-۴- مدل سازی زمین لغزش با روش اسپلاین مکعبی دو بعدی .....	۱۶۲
۱۶-۴- تحلیل پایداری زمین لغزش منطقه مورد مطالعه با سطوح لغزش دایره‌ای و بیضوی .....	۱۶۷

### فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۱-۵- نتایج بدست آمده از این تحقیق .....	۱۷۲
۲-۵- پیشنهادات .....	۱۸۰
منابع .....	۱۸۱
پیوست ۱ .....	۱۹۱
پیوست ۲ .....	۱۹۳
پیوست ۳ .....	۲۰۳
پیوست ۴ .....	۲۰۹
پیوست ۵ .....	۲۱۰
پیوست ۶ .....	۲۱۴
پیوست ۷ .....	۲۱۵



## فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۲	شکل ۱-۱: زمین‌لغزش و پیامدهای آن
۴	شکل ۲-۱: سونامی در اثر زمین‌لغزش
۹	شکل ۱-۲: افتان-الف) مدل فیزیکی سقوط - ب) مدل فیزیکی واژگونی
۱۰	شکل ۲-۲: افتان-الف) مدل واقعی سقوط - ب) مدل واقعی واژگونی
۱۱	شکل ۳-۲: سیلان-الف) جریان خاکی - ب) جریان گلی و واریزه‌ای
۱۲	شکل ۴-۲: لغزش - الف) چرخشی - ب) انتقالی - ج) بلوکی
۱۳	شکل ۵-۲: گسترش جانبی
۱۴	شکل ۶-۲: خزش - الف) کج شدگی تنه درختان - ب) کج شدگی خطوط راه‌آهن
۱۵	شکل ۷-۲: خاکسره (آلاسکا-آمریکا)
۱۹	شکل ۸-۲: رویه واقعی حاصل از گسیخته شدن شیب
۲۰	شکل ۹-۲: رویه گسیختگی بدست‌آمده از روش‌های عددی
۲۰	شکل ۱۰-۲: رویه دایره‌ای حاصل از گسیخته شدن شیب
۲۱	شکل ۱۱-۲: رویه حلزونی حاصل از گسیخته شدن شیب
۲۱	شکل ۱۲-۲: رویه حاصل از گسیخته شدن شیب الف) استوانه‌ای - ب) استوانه‌ای با کناره‌های هرمی - ج) استوانه‌ای با کناره‌های بیضوی
۲۲	شکل ۱۳-۲: رویه کروی حاصل از گسیخته شدن شیب
۲۳	شکل ۱۴-۲: شبکه نقاط برای تعریف مراکز هندسی مختلف در روش بهینه‌یابی
۲۵	شکل ۱۵-۲: روش دایره سوئدی
۲۶	شکل ۱۶-۲: روش اسپیرالی
۲۸	شکل ۱۷-۲: روش دایره اصطکاکی
۳۰	شکل ۱۸-۲: نیروهای وارده بر هر قطعه در روش فلنیوس
۳۱	شکل ۱۹-۲: مشخصات هندسی هر قطعه
۳۱	شکل ۲۰-۲: جهت مثبت قراردادی برای زاویه $\alpha$
۳۲	شکل ۲۱-۲: الگوریتم تحلیل پایداری شیب با روش فلنیوس
۳۳	شکل ۲۲-۲: نیروهای وارده بر هر قطعه در روش بیشاپ ساده شده
۳۴	شکل ۲۳-۲: تنش نرمال وارده بر هر قطعه
۳۶	شکل ۲۴-۲: الگوریتم تحلیل پایداری شیب با روش بیشاپ ساده شده
۳۷	شکل ۲۵-۲: نیروهای وارده بر هر قطعه در روش جانبوی ساده شده
۳۹	شکل ۲۶-۲: الگوریتم تحلیل پایداری شیب با روش جانبوی ساده شده
۴۰	شکل ۲۷-۲: ضریب اصلاحی جانبوی
۴۱	شکل ۲۸-۲: نیروهای وارده بر هر قطعه خاک در روش جانبوی اصلاح شده
۴۳	شکل ۲۹-۲: الگوریتم تحلیل پایداری شیب با روش جانبوی اصلاح شده

- شکل ۲-۳۰: نیروهای وارده بر هر قطعه در روش جانبوی تعمیم یافته ..... ۴۴
- شکل ۲-۳۱: خط اثر نیرو در روش جانبوی تعمیم یافته ..... ۴۵
- شکل ۲-۳۲: تعریف پارامترهای  $h_t$  و  $\alpha_t$  در روش جانبوی تعمیم یافته ..... ۴۵
- شکل ۲-۳۳: الگوریتم تحلیل پایداری شیب با روش جانبوی تعمیم یافته ..... ۴۷
- شکل ۲-۳۴: تابع لغزشی در روش گروه مهندسیین نوع اول ..... ۴۸
- شکل ۲-۳۵: تابع لغزشی در روش گروه مهندسیین نوع دوم ..... ۴۹
- شکل ۲-۳۶: نیروهای وارده بر هر قطعه در روش گروه مهندسیین ..... ۴۹
- شکل ۲-۳۷: الگوریتم تحلیل پایداری شیب با روش گروه مهندسیین ..... ۵۱
- شکل ۲-۳۸: نیروهای وارده بر هر قطعه در روش لاو-کارافیت ..... ۵۲
- شکل ۲-۳۹: الگوریتم تحلیل پایداری شیب با روش لاو-کارافیت ..... ۵۴
- شکل ۲-۴۰: نیروهای وارده بر هر قطعه در روش اسپنسر ..... ۵۵
- شکل ۲-۴۱: تغییرات ضریباطمینان نسبت به  $\tan \delta$  در روش اسپنسر ..... ۵۷
- شکل ۲-۴۲: الگوریتم تحلیل پایداری شیب با روش اسپنسر ..... ۵۸
- شکل ۲-۴۳: تعریف  $\lambda$  در روش مورگنسترن-پرایس ..... ۶۰
- شکل ۲-۴۴: تابع لغزشی ثابت ..... ۶۰
- شکل ۲-۴۵: تابع لغزشی ذوزنقه‌ای ..... ۶۱
- شکل ۲-۴۶: تابع لغزشی نیمه سینوسی ..... ۶۱
- شکل ۲-۴۷: تابع لغزشی سینوسی کوتاه شده ..... ۶۲
- شکل ۲-۴۸: نیروهای وارده بر هر قطعه در روش مورگنسترن-پرایس ..... ۶۳
- شکل ۲-۴۹: تنش برشی وارده بر هر قطعه ..... ۶۳
- شکل ۲-۵۰: نمودار  $F-\lambda$  در روش مورگنسترن-پرایس ..... ۶۵
- شکل ۲-۵۱: الگوریتم تحلیل پایداری شیب با روش مورگنسترن-پرایس ..... ۶۶
- شکل ۲-۵۲: شرایط هندسی و ژئوتکنیکی شیب خاکی ..... ۶۸
- شکل ۲-۵۳: نتایج تحلیل پایداری شیب خاکی شکل (۲-۵۲) با روش‌های تعادل حدی ..... ۶۹
- شکل ۲-۵۴: مقایسه توزیع تنش نرمال در روش‌های تعادل حدی و اجزای محدود ..... ۷۴
- شکل ۲-۵۵: تغییر موضعی ضریباطمینان در روش اجزای محدود ..... ۷۴
- شکل ۲-۵۶: مقایسه توزیع تنش نرمال در روش‌های تعادل حدی و اجزای محدود در حالت نیلینگ ..... ۷۵
- شکل ۲-۵۷: تغییرات ضریباطمینان در طول مدت زمان زلزله در روش اجزای محدود ..... ۷۵
- شکل ۲-۵۸: راستای حرکت توده لغزشی در روش هانگر ..... ۷۹
- شکل ۲-۵۹: نیروهای در نظر گرفته شده برای هر ستون در روش هانگر ..... ۷۹
- شکل ۲-۶۰: روش‌های تحلیل پایداری شیب در حالت سه بعدی ..... ۸۲
- شکل ۳-۱: مشخصات هندسی بیضی ..... ۸۵
- شکل ۳-۲: مشخصات هندسی بیضی دوران کرده به اندازه  $\theta$  ..... ۸۶
- شکل ۳-۳: سطوح هندسی نامتعارف ..... ۸۸
- شکل ۳-۴: سطوح هندسی متعارف ..... ۸۹
- شکل ۳-۵: نیروهای وارده بر توده لغزشی ..... ۹۰
- شکل ۳-۶: قطعه‌بندی توده لغزشی ..... ۹۰
- شکل ۳-۷: نیروهای وارده بر هر قطعه ..... ۹۰

- شکل ۳-۸: مشخصات هندسی هر قطعه ..... ۹۱
- شکل ۳-۹: نقطه اعمال نیروهای وارده بر قاعده هر قطعه در سطوح لغزش دایره‌ای و بیضوی ..... ۹۳
- شکل ۳-۱۰: شیب مثال (۳-۱) ..... ۹۵
- شکل ۳-۱۱: بیضی در فضای سه بعدی ..... ۹۶
- شکل ۳-۱۲: مشخصات هندسی بیضی در فضای سه بعدی ..... ۹۶
- شکل ۳-۱۳: جهات قراردادی در این تحقیق ..... ۹۷
- شکل ۳-۱۴: ستون‌بندی توده لغزشی در فضای سه بعدی ..... ۹۸
- شکل ۳-۱۵: نیروهای وارده بر هر ستون ..... ۹۸
- شکل ۴-۱: الگوریتم کد نوشته شده در محیط متلب برای تحلیل پایداری شیب ..... ۱۰۳
- شکل ۴-۲: شبکه‌بندی شیب جهت رسم سطح لغزش ..... ۱۰۵
- شکل ۴-۳: سطح لغزش رسم شده توسط کد نوشته شده در محیط متلب ..... ۱۰۶
- شکل ۴-۴: ستون‌بندی سطح لغزش رسم شده ..... ۱۰۶
- شکل ۴-۵: سطح لغزش تعریف شده برای محاسبه ضریب اطمینان ..... ۱۰۷
- شکل ۴-۶: قطعه‌بندی سطح لغزش شیب شکل (۴-۵) ..... ۱۰۷
- شکل ۴-۷: رویه سه بعدی سطح لغزش شیب شکل (۴-۵) ..... ۱۰۹
- شکل ۴-۸: بررسی عوامل موثر در تعیین بیضی بحرانی ..... ۱۱۲
- شکل ۴-۹: اثر نصف اندازه قطر اصلی در تعیین بیضی بحرانی در فضای دو بعدی ..... ۱۱۲
- شکل ۴-۱۰: اثر نسبت اقطار در تعیین بیضی بحرانی ..... ۱۱۴
- شکل ۴-۱۱: اثر زاویه دوران در تعیین بیضی بحرانی ..... ۱۱۵
- شکل ۴-۱۲: اثر مرکز هندسی در تعیین بیضی بحرانی ..... ۱۱۶
- شکل ۴-۱۳: شیب مثال (۴-۱) ..... ۱۱۸
- شکل ۴-۱۴: تحلیل پایداری شیب مثال (۴-۱) در نرم‌افزار FLAC/SLOPE ..... ۱۱۸
- شکل ۴-۱۵: تحلیل پایداری شیب مثال (۴-۱) در نرم‌افزار SLIDE ..... ۱۱۹
- شکل ۴-۱۶: تحلیل پایداری شیب مثال (۴-۱) با کد نوشته شده در محیط MATLAB ..... ۱۱۹
- شکل ۴-۱۷: سطح لغزش سه بعدی شیب مثال (۴-۱) ..... ۱۲۰
- شکل ۴-۱۸: شیب مثال (۴-۲) ..... ۱۲۱
- شکل ۴-۱۹: تحلیل پایداری شیب مثال (۴-۲) در نرم‌افزار SLIDE و کد نوشته شده ..... ۱۲۲
- شکل ۴-۲۰: سطح لغزش سه بعدی شیب مثال (۴-۲) ..... ۱۲۳
- شکل ۴-۲۱: شیب مثال (۴-۳) ..... ۱۲۴
- شکل ۴-۲۲: تحلیل پایداری سه بعدی شیب مثال (۴-۳) برای مقادیر مختلفی از  $S_y$  ..... ۱۲۵
- شکل ۴-۲۳: سطوح لغزش دو بعدی شیب مثال (۴-۳) ..... ۱۲۶
- شکل ۴-۲۴: سطح لغزش سه بعدی بیضوی شیب مثال (۴-۳) ..... ۱۲۶
- شکل ۴-۲۵: شیب مثال (۴-۴) ..... ۱۲۷
- شکل ۴-۲۶: مدل‌سازی شیب مثال (۴-۴) در نرم‌افزار PHASE<sup>2</sup> با المان مثلثی ..... ۱۲۷
- شکل ۴-۲۷: مدل‌سازی شیب مثال (۴-۴) در نرم‌افزار PHASE<sup>2</sup> با المان مستطیلی ..... ۱۲۷
- شکل ۴-۲۸: مدل‌سازی شیب مثال (۴-۴) در نرم‌افزار SLIDE ..... ۱۲۸
- شکل ۴-۲۹: کنتور کرنش حاصل از تحلیل پایداری شیب مثال (۴-۴) در نرم‌افزار PHASE<sup>2</sup> با المان مثلثی ..... ۱۲۸
- شکل ۴-۳۰: کنتور کرنش حاصل از تحلیل پایداری شیب مثال (۴-۴) در نرم‌افزار PHASE<sup>2</sup> با المان مستطیلی ..... ۱۲۸

- شکل ۴-۳۱: تحلیل پایداری شیب مثال (۴-۴) در نرم افزار SLIDE ..... ۱۲۹
- شکل ۴-۳۲: تحلیل پایداری سه بعدی شیب مثال (۴-۴) برای مقادیر مختلفی از  $S_y$  ..... ۱۳۰
- شکل ۴-۳۳: سطوح لغزش دو بعدی شیب مثال (۴-۴) ..... ۱۳۱
- شکل ۴-۳۴: سطح لغزش سه بعدی بیضوی شیب مثال (۴-۴) ..... ۱۳۱
- شکل ۴-۳۵: شیب مثال (۵-۴) ..... ۱۳۲
- شکل ۴-۳۶: تحلیل پایداری سه بعدی شیب مثال (۵-۴) برای مقادیر مختلفی از  $S_y$  ..... ۱۳۳
- شکل ۴-۳۷: سطوح لغزش دو بعدی شیب مثال (۵-۴) ..... ۱۳۴
- شکل ۴-۳۸: سطح لغزش سه بعدی بیضوی شیب مثال (۵-۴) ..... ۱۳۴
- شکل ۴-۳۹: شیب مثال (۶-۴) ..... ۱۳۵
- شکل ۴-۴۰: نتایج تحلیل پایداری سه بعدی شیب مثال (۶-۴) برای مقادیر مختلفی از  $S_y$  ..... ۱۳۶
- شکل ۴-۴۱: سطوح لغزش دو بعدی شیب مثال (۶-۴) ..... ۱۳۷
- شکل ۴-۴۲: سطح لغزش سه بعدی بیضوی شیب مثال (۶-۴) ..... ۱۳۸
- شکل ۴-۴۳: شیب مثال (۷-۴) ..... ۱۳۸
- شکل ۴-۴۴: تحلیل پایداری شیب مثال (۷-۴) برای مقادیر مختلف LH ..... ۱۳۹
- شکل ۴-۴۵: تحلیل پایداری شیب مثال (۷-۴) برای المان‌های متفاوت با اندازه‌های مختلف ..... ۱۳۹
- شکل ۴-۴۶: تحلیل پایداری شیب مثال (۷-۴) برای قطعات مختلف با روش بیشاپ ساده شده ..... ۱۴۰
- شکل ۴-۴۷: تحلیل پایداری شیب مثال (۷-۴) برای قطعات مختلف با روش جانبوی ساده شده ..... ۱۴۰
- شکل ۴-۴۸: تحلیل پایداری سه بعدی شیب مثال (۷-۴) برای مقادیر مختلفی از  $S_y$  ..... ۱۴۱
- شکل ۴-۴۹: شیب مثال (۸-۴) ..... ۱۴۳
- شکل ۴-۵۰: تحلیل پایداری سه بعدی شیب مثال (۸-۴) برای مقادیر مختلفی از  $S_y$  ..... ۱۴۴
- شکل ۴-۵۱: سطوح لغزش دو بعدی شیب مثال (۸-۴) ..... ۱۴۵
- شکل ۴-۵۲: سطح لغزش سه بعدی بیضوی شیب مثال (۸-۴) ..... ۱۴۵
- شکل ۴-۵۳: شیب مثال (۹-۴) ..... ۱۴۶
- شکل ۴-۵۴: تحلیل پایداری سه بعدی شیب مثال (۹-۴) برای مقادیر مختلفی از  $S_y$  ..... ۱۴۷
- شکل ۴-۵۵: سطوح لغزش دو بعدی بحرانی شیب مثال (۹-۴) ..... ۱۴۸
- شکل ۴-۵۶: سطح لغزش سه بعدی بیضوی شیب مثال (۹-۴) ..... ۱۴۸
- شکل ۴-۵۷: سطوح لغزش بیضوی شیب مثال (۹-۴) با روش‌های بیشاپ و جانبوی ساده شده ..... ۱۴۹
- شکل ۴-۵۸: شیب مثال (۱۰-۴) ..... ۱۴۹
- شکل ۴-۵۹: تحلیل پایداری سه بعدی شیب مثال (۱۰-۴) برای مقادیر مختلفی از  $S_y$  ..... ۱۵۰
- شکل ۴-۶۰: سطوح لغزش دو بعدی شیب مثال (۱۰-۴) ..... ۱۵۱
- شکل ۴-۶۱: سطح لغزش سه بعدی بیضوی شیب مثال (۱۰-۴) ..... ۱۵۲
- شکل ۴-۶۲: تاثیر رطوبت بر مقاومت برشی خاک ..... ۱۵۲
- شکل ۴-۶۳: شیب مثال (۱۱-۴) ..... ۱۵۳
- شکل ۴-۶۴: تحلیل پایداری سه بعدی شیب مثال (۱۱-۴) برای مقادیر مختلفی از  $S_y$  در حالت با اثر فشار آب حفره‌ای ..... ۱۵۴
- شکل ۴-۶۵: تحلیل پایداری سه بعدی شیب مثال (۱۱-۴) برای مقادیر مختلفی از  $S_y$  در حالت بدون اثر فشار آب حفره‌ای ..... ۱۵۴
- شکل ۴-۶۶: سطوح لغزش دو بعدی شیب مثال (۱۱-۴) ..... ۱۵۵

- شکل ۴-۶۷: سطح لغزش سه بعدی بیضوی شیب مثال (۴-۱۱) در حالت بدون اثر فشار آب حفره‌ای ..... ۱۵۶
- شکل ۴-۶۸: سطح لغزش سه بعدی بیضوی شیب مثال (۴-۱۱) در حالت اعمال اثر فشار آب حفره‌ای ..... ۱۵۶
- شکل ۴-۶۹: زمین لغزش روستای ده‌آب ..... ۱۵۸
- شکل ۴-۷۰: زمین لغزش روستای بهرام‌بیگی ..... ۱۵۸
- شکل ۴-۷۱: تغییر سطح شیب در اثر توده خاک جابه‌جا شده و شرایط جوی ..... ۱۵۹
- شکل ۴-۷۲: قسمت آغازین و دست‌نخورده یک زمین لغزش ..... ۱۵۹
- شکل ۴-۷۳: مدل‌سازی نقاط برداشت شده در نرم‌افزار SURFER ..... ۱۶۰
- شکل ۴-۷۴: مدل‌سازی رویه زمین لغزش میانی شکل (۴-۷۰) با روش کریجینگ ..... ۱۶۱
- شکل ۴-۷۵: مدل اصلاح شده زمین لغزش میانی شکل (۴-۷۰) با روش کریجینگ ..... ۱۶۱
- شکل ۴-۷۶: یک المان مستطیلی ۴ گره‌ای ..... ۱۶۲
- شکل ۴-۷۷: بررسی پیوستگی در مرزها با استفاده از رابطه کاهش یافته ..... ۱۶۶
- شکل ۴-۷۸: بررسی پیوستگی در مرزها با استفاده از تابع اصلی ..... ۱۶۶
- شکل ۴-۷۹: مدل‌سازی رویه زمین لغزش میانی شکل (۴-۷۰) ..... ۱۶۷
- شکل ۴-۸۰: بزرگترین مقطع عرضی زمین لغزش میانی شکل (۴-۷۰) ..... ۱۶۷
- شکل ۴-۸۱: دایره و بیضی مماس شده بر قسمت دست‌نخورده بزرگترین مقطع عرضی ..... ۱۶۸
- شکل ۴-۸۲: شرایط هندسی در نظر گرفته شده در تحلیل پایداری شیب مورد مطالعه ..... ۱۶۸
- شکل ۴-۸۳: تحلیل پایداری شیب مورد مطالعه برای مقادیر مختلفی از  $S_y$  با روش بیشاپ ساده شده ..... ۱۶۹
- شکل ۴-۸۴: تحلیل پایداری شیب مورد مطالعه برای مقادیر مختلفی از  $S_y$  با روش جانبوی ساده شده ..... ۱۶۹
- شکل ۴-۸۵: سطوح لغزش دو بعدی شیب مورد مطالعه ..... ۱۷۰
- شکل ۴-۸۶: سطح لغزش کروی بحرانی شیب مورد مطالعه ..... ۱۷۱
- شکل ۴-۸۷: سطح لغزش بیضوی بحرانی شیب مورد مطالعه ..... ۱۷۱
- شکل ۵-۱: مطابقت روش بیشاپ ساده شده با روش مورگنسترن-پرایس ..... ۱۷۲
- شکل ۵-۲: بحرانی بودن روش جانبوی ساده شده نسبت به روش بیشاپ ساده شده در تحلیل پایداری دو بعدی با سطح لغزش دایره‌ای ..... ۱۷۳
- شکل ۵-۳: بحرانی بودن روش جانبوی ساده شده نسبت به روش بیشاپ ساده شده در تحلیل پایداری دو بعدی با سطح لغزش بیضوی ..... ۱۷۳
- شکل ۵-۴: بحرانی بودن روش جانبوی ساده شده نسبت به روش بیشاپ ساده شده در تحلیل پایداری سه بعدی با سطح لغزش دایره‌ای ..... ۱۷۴
- شکل ۵-۵: بحرانی بودن روش جانبوی ساده شده نسبت به روش بیشاپ ساده شده در تحلیل پایداری سه بعدی با سطح لغزش بیضوی ..... ۱۷۴
- شکل ۵-۸: بحرانی بودن تحلیل پایداری دو بعدی نسبت به سه بعدی با روش بیشاپ ساده شده ..... ۱۷۵
- شکل ۵-۹: بحرانی بودن تحلیل پایداری دو بعدی نسبت به سه بعدی با روش جانبوی ساده شده ..... ۱۷۵
- شکل ۵-۶: بحرانی بودن تحلیل پایداری با سطح لغزش بیضوی نسبت به تحلیل پایداری با سطح لغزش دایره‌ای در حالت دو بعدی ..... ۱۷۶
- شکل ۵-۷: بحرانی بودن تحلیل پایداری با سطح لغزش بیضوی نسبت به تحلیل پایداری با سطح لغزش دایره‌ای در حالت سه بعدی ..... ۱۷۶
- شکل ۵-۱۰: همگرا شدن تحلیل پایداری سه بعدی به دو بعدی با افزایش  $S_y$  در روش بیشاپ ساده شده ..... ۱۷۷
- شکل ۵-۱۱: همگرا شدن تحلیل پایداری سه بعدی به دو بعدی با افزایش  $S_y$  در روش جانبوی ساده شده ..... ۱۷۷

- شکل ۵-۱۲: کاهش ضریب اطمینان با افزایش تعداد قطعات در تحلیل پایداری دو بعدی..... ۱۷۸
- شکل ۵-۱۳: افزایش ضریب اطمینان با افزایش تعداد قطعات در تحلیل پایداری سه بعدی..... ۱۷۸
- شکل ۵-۱۴: بحرانی بودن روش تعادل حدی با سطح لغزش بیضوی نسبت به روش اجزای محدود..... ۱۷۹
- شکل ۵-۱۵: کاهش ضریب اطمینان در اثر اعمال فشار آب حفره‌ای..... ۱۷۹

## فهرست جداول

صفحه

عنوان

۵.....	جدول ۱-۱: زمین لغزش‌های رخ داده در جهان در قرن ۲۱
۹.....	جدول ۱-۲: طبقه‌بندی زمین لغزش از نظر وارنز
۱۹.....	جدول ۲-۲: ضرایب اطمینان مجاز در آیین‌نامه‌های مختلف
۲۴.....	جدول ۳-۲: نوع آنالیز تحلیل پایداری شیب برای هر نوع خاک
۶۸.....	جدول ۴-۲: نتایج تحلیل پایداری شیب خاکی شکل (۲-۵۲) با روش‌های تعادل حدی
۷۰.....	جدول ۵-۲: نیروهای در نظر گرفته شده در روش‌های تعادل حدی
۷۰.....	جدول ۶-۲: ضرایب اطمینان به کار رفته در روش‌های تعادل حدی
۷۸.....	جدول ۷-۲: روش‌های تعادل حدی دو بعدی تعمیم یافته در فضای سه بعدی
۹۵.....	جدول ۱-۳: نتایج مثال (۱-۳)
۱۰۸.....	جدول ۱-۴: مشخصات هندسی قطعه دوم سطح لغزش شیب شکل (۴-۵)
دوم	جدول ۲-۴: محاسبه پارامترهای مؤثر در ضریب اطمینان به روش بیشاپ ساده شده در حالت دو بعدی برای قطعه دوم
۱۰۸.....	سطح لغزش شیب شکل (۴-۵)
دوم	جدول ۳-۴: محاسبه پارامترهای مؤثر در ضریب اطمینان به روش جانبوی ساده شده در حالت دو بعدی برای قطعه دوم
۱۰۸.....	سطح لغزش شیب شکل (۴-۵)
۱۱۰.....	جدول ۴-۴: مشخصات هندسی بیستمین ستون سطح لغزش سه بعدی شیب شکل (۴-۷)
بیستمین	جدول ۵-۴: محاسبه پارامترهای مؤثر در ضریب اطمینان به روش بیشاپ ساده شده در حالت سه بعدی برای بیستمین
۱۱۰.....	ستون سطح لغزش شیب شکل (۴-۷)
بیستمین	جدول ۶-۴: محاسبه پارامترهای مؤثر در ضریب اطمینان به روش جانبوی ساده شده در حالت سه بعدی برای بیستمین
۱۱۱.....	ستون سطح لغزش شیب شکل (۴-۷)
۱۱۳.....	جدول ۷-۴: بررسی اثر نصف اندازه قطر اصلی در تعیین بیضی بحرانی
۱۱۴.....	جدول ۸-۴: بررسی اثر نسبت اقطار در تعیین بیضی بحرانی
۱۱۵.....	جدول ۹-۴: بررسی اثر زاویه دوران در تعیین بیضی بحرانی
۱۱۶.....	جدول ۱۰-۴: مختصات متناظر با هر نقطه در بررسی اثر مرکز هندسی در تعیین بیضی بحرانی
۱۱۷.....	جدول ۱۱-۴: بررسی اثر مرکز هندسی در تعیین بیضی بحرانی
۱۲۰.....	جدول ۱۲-۴: نسبت $(F_3/F_2)$ برای شیب مثال (۱-۴)
۱۲۱.....	جدول ۱۳-۴: نتایج تحلیل پایداری شیب مثال (۲-۴) توسط محققین
۱۲۲.....	جدول ۱۴-۴: نسبت $(F_3/F_2)$ برای شیب مثال (۲-۴)
۱۲۴.....	جدول ۱۵-۴: نتایج تحلیل پایداری شیب مثال (۳-۴) توسط محققین
۱۲۴.....	جدول ۱۶-۴: تحلیل پایداری دو بعدی شیب مثال (۳-۴) با کد نوشته شده در محیط MATLAB
۱۲۵.....	جدول ۱۷-۴: نسبت $(F_3/F_2)$ برای شیب مثال (۳-۴)
۱۲۹.....	جدول ۱۸-۴: تحلیل پایداری دو بعدی شیب مثال (۴-۴) با کد نوشته شده در محیط MATLAB
۱۳۰.....	جدول ۱۹-۴: نسبت $(F_3/F_2)$ برای شیب مثال (۴-۴)

جدول ۲۰-۴: تحلیل پایداری شیب مثال (۵-۴) در نرم‌افزارهای SLIDE و SLOPE/W و PLAXIS	۱۳۲
جدول ۲۱-۴: تحلیل پایداری دو بعدی شیب مثال (۵-۴) با کد نوشته شده در محیط MATLAB	۱۳۲
جدول ۲۲-۴: نسبت $(F_3/F_2)$ برای شیب مثال (۵-۴)	۱۳۳
جدول ۲۳-۴: تحلیل پایدار شیب مثال (۶-۴) با روش‌های SPENCER و SRM و نرم‌افزار SLIDE	۱۳۵
جدول ۲۴-۴: تحلیل پایدار مثال (۶-۴) در نرم‌افزارهای GEOSTUDIO2007 و PLAXIS و SLIDE	۱۳۶
جدول ۲۵-۴: تحلیل پایداری دو بعدی شیب مثال (۶-۴) با کد نوشته شده در محیط MATLAB	۱۳۶
جدول ۲۶-۴: نسبت $(F_3/F_2)$ برای شیب مثال (۶-۴)	۱۳۷
جدول ۲۷-۴: محاسبه LH برای سطوح لغزش بدست آمده از کد نوشته شده در محیط MATLAB	۱۴۱
جدول ۲۸-۴: نتایج گریفیت و مارکوز و نیان و همکارانش برای LH بدست آمده از کد نوشته شده در محیط MATLAB	۱۴۲
جدول ۲۹-۴: نسبت $(F_3/F_2)$ برای شیب مثال (۷-۴)	۱۴۲
جدول ۳۰-۴: تحلیل پایداری شیب مثال (۸-۴) با نرم‌افزارهای اجزا محدودی و SLIDE	۱۴۳
جدول ۳۱-۴: تحلیل پایداری دو بعدی شیب مثال (۸-۴) با کد نوشته شده در محیط MATLAB	۱۴۳
جدول ۳۲-۴: نسبت $(F_3/F_2)$ برای شیب مثال (۸-۴)	۱۴۴
جدول ۳۳-۴: تحلیل پایداری شیب مثال (۹-۴) در نرم‌افزار SLIDE	۱۴۶
جدول ۳۴-۴: تحلیل پایداری دو بعدی شیب مثال (۹-۴) با کد نوشته شده در محیط MATLAB	۱۴۶
جدول ۳۵-۴: نسبت $(F_3/F_2)$ برای شیب مثال (۹-۴)	۱۴۷
جدول ۳۶-۴: تحلیل پایداری شیب مثال (۱۰-۴) در نرم‌افزار SLIDE	۱۴۹
جدول ۳۷-۴: تحلیل پایداری شیب مثال (۱۰-۴) با کد نوشته شده در محیط MATLAB	۱۵۰
جدول ۳۸-۴: نسبت $(F_3/F_2)$ برای شیب مثال (۱۰-۴)	۱۵۱
جدول ۳۹-۴: تحلیل پایداری شیب مثال (۱۱-۴) در نرم‌افزار SLIDE	۱۵۳
جدول ۴۰-۴: تحلیل پایداری شیب مثال (۱۱-۴) با کد نوشته شده در محیط MATLAB	۱۵۳
جدول ۴۱-۴: نسبت $(F_3/F_2)$ برای شیب مثال (۱۱-۴)	۱۵۵
جدول ۴۲-۴: ارزیابی صحت معادله کاهش یافته اسپلین مکعبی دو بعدی	۱۶۵
جدول ۴۳-۴: بررسی پیوستگی در گره‌ها با توجه به رابطه کاهش یافته	۱۶۵
جدول ۴۴-۴: مقادیر شیب‌های برداشت شده در نقاط مختلف کوه مورد نظر	۱۶۸
جدول ۴۵-۴: کاهش ضریب اطمینان در تحلیل پایداری با سطح لغزش بیضوی	۱۷۰
جدول ۴۶-۴: نسبت $(F_3/F_2)$ برای شیب مورد مطالعه	۱۷۰
جدول ۱-۵: زوایای بحرانی بدست آمده برای سطوح لغزش بحرانی	۱۸۰



## فصل اول: کلیات تحقیق

### ۱-۱- مقدمه

در علم مهندسی سطح مورب نسبت به افق، شیب نامیده می‌شود. زمین یک سطح ناهموار است و بر روی آن شیب‌های خاکی و سنگی متعددی وجود دارد. شیب‌ها می‌توانند طبیعی یا ساخته بشر (مصنوعی) باشند. نیاز روزافزون بشر به ساخت و ساز و کمبود زمین هموار سبب شده است که بشر به ساخت و ساز بر روی شیب‌ها یا در مجاورت آن‌ها تمایل پیدا کند.

افزایش نیروی وزن وارده بر این شیب‌ها و یا تغییر ساختار ژئوتکنیکی مصالح تشکیل دهنده شیب‌ها سبب ناپایداری آن‌ها می‌شوند. ناپایداری شیب‌های خاکی و سنگی در مهندسی ژئوتکنیک زمین لغزش<sup>۱</sup> نامیده می‌شود. زمین لغزش یکی از خطرات زمین‌شناختی است و از مهمترین واژه‌هایی است که در مطالعات حرکات دامنه‌ای بکار می‌رود. زمین لغزش عبارت است از پایین افتادن یکپارچه و نسبتاً سریع حجمی از مواد رسوبی مانند خاک و سنگ در امتداد دامنه‌ها که نسبت به سرعت، وسعت و عملکرد آن گاهی پدیده‌های فاجعه باری را ایجاد می‌کند و ممکن است ده‌ها و صدها هزار متر مکعب خاک و سنگ را بصورت یکجا تحت تاثیر قرار دهد (شکل ۱-۱). در ایالات متحده آمریکا ۲۵-۵۰ نفر هر ساله در اثر لغزش زمین جان خود را از دست می‌دهند. زمین لغزش ۲۵ درصد از ویرانی‌ها و بلایای طبیعی جهان را به خود اختصاص می‌دهد.

لغزش‌ها معمولاً از یک ترک آغاز می‌شود [۳۶]. خسارات وارده در اثر این بلای طبیعی سبب شده است که مطالعات زیادی در زمینه ارزیابی پایداری شیب‌ها و روش‌های پایدارسازی آن‌ها انجام شود. با وجود پیشرفت‌های زیاد در این زمینه هنوز در بسیاری از نقاط جهان، گسیختگی شیب‌ها سبب تلفات جانی و مالی زیادی می‌شود.

---

<sup>۱</sup> Landslide



شکل ۱-۲: زمین لغزش و پیامدهای آن

## ۱-۲- ضرورت انجام تحقیق

سرزمین ما ایران با توجه به شرایط زمین‌شناسی و آب و هوایی، از جمله کشورهایی است که شاهد وقوع زمین‌لغزش‌های بسیاری است. وقوع زمین‌لغزش‌های متعدد و گسترش روزافزون آن‌ها سبب مهم شدن این پدیده در ایران شده است.

این پدیده همه ساله در اکثر استان‌های کشور موجب خسارت اقتصادی به راه‌ها، خطوط آهن، خطوط انتقال نیرو و ارتباطات، کانال‌های آبیاری و آبرسانی، تأسیسات معدنی، تأسیسات استخراج، پالایشگاه‌های نفت و گاز، شبکه شریان‌های حیاتی داخل شهرها، کارخانه‌ها و مراکز صنعتی، سدها، دریاچه‌ها، جنگل‌ها مراتع و منابع طبیعی، مزارع و مناطق مسکونی و روستاها می‌شود. در ایران بیش از ۳۲۵۰ مورد زمین‌لغزش در استان‌های کشور به ثبت رسیده است.

یکی از تلخ‌ترین آن‌ها در ۱۲ فروردین ۱۳۷۷ رخ داد. در این روز بخشی از ارتفاعات آهکی کوه کی نو مشرف بر رودخانه لبد و روستای آبی‌کار در منطقه بازفت استان چهارمحال و بختیاری دچار لغزش شد و حجم عظیمی از توده‌های سنگی و خاکی را بر روستای آبی‌کار ریخت و این روستا را با ۵۵ نفر سکنه، باغات، مزارع و حتی حیوانات کاملاً مدفون ساخت و یکی از غم‌انگیزترین رویدادهای سالهای اخیر را بوجود آورد. همچنین می‌توان به لغزش‌های حاصل از زلزله ۳۱ خرداد ۱۳۶۹ منجیل و رودبار با ۲۰۰ کشته اشاره کرد که سبب مدفون شدن تمامی ساکنین روستای فتلک در زیر صدها تن خاک و سنگ شد [۱۳۴].

نمونه‌هایی دیگر از زمین‌لغزش‌های رویداده در ایران به شرح زیر است [۱۲۹].

- ❖ زمین‌لغزش روستای عنا در استان فارس (۱۳۷۱)
- ❖ زمین‌لغزش‌های ناشی از بارندگی سنگین در گیلان (۱۳۷۲)
- ❖ زمین‌لغزش‌های ناشی از بارندگی در چهارمحال بختیاری (۱۳۷۲)
- ❖ زمین‌لغزش روستای گرمی در استان اردبیل (۱۳۷۴)
- ❖ زمین‌لغزش بزرگ معدن سرب و روی انگوران
- ❖ زمین‌لغزش جاده امام‌زاده علی-آب‌اسک (۱۳۷۷)

بزرگترین زمین‌لغزش جهان در استان لرستان در محلی بنام سیمره رخ داده است. این لغزش در حدود ۱۰ هزار سال قبل اتفاق افتاد. در اثر آن حدود ۲۰ کیلومتر مکعب از سنگ‌های آهکی میوسن پایینی و ائوسن (سازند آسماری) از یال شمالی تاقدیس کبیرکوه در امتداد صفحات لایه‌بندی جدا شده و به سمت پایین لغزید. بیشترین حرکت قائم در این لغزش حدود ۱۶۰۰ متر بود و در این لغزش ۵۰ میلیون تن سنگ جابجا شده است [۱۰۵،۹۸،۵۸].

صفحه لغزش آن ۱۵ کیلومتر پهنا دارد و واریزه‌های لغزشی، سطحی در حدود ۱۶۵ کیلومتر مربع را در بر می‌گیرد. واریزه‌های حاصل از این لغزش رودخانه کرخه را قطع کرده و در سرتاسر کف دره گسترده شده‌اند. برخی از مواد حاصل از این لغزش تا ۱۴ کیلومتر دورتر حرکت کرده‌اند.

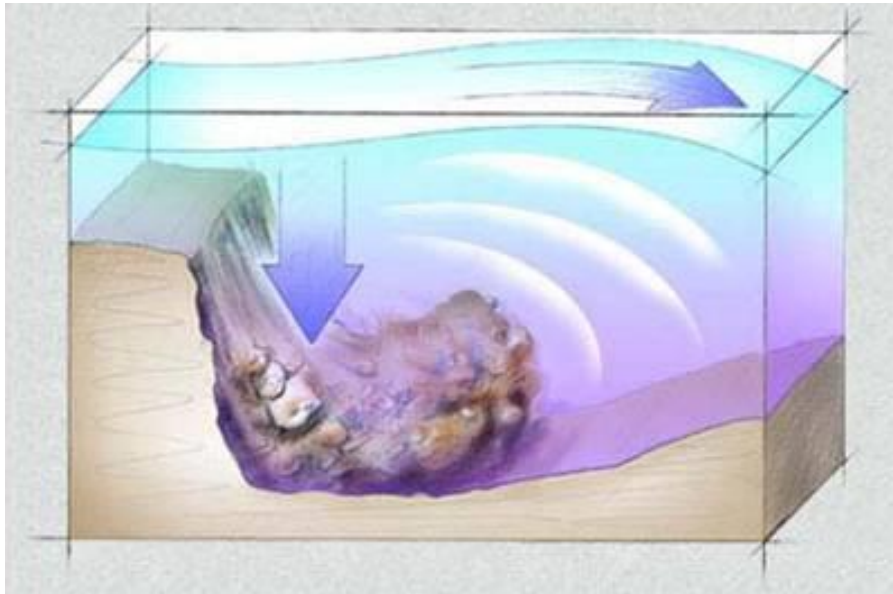
واریزه‌های لغزشی پس از سقوط در مسیر رودخانه کرخه، سدی ساخته و باعث ایجاد دریاچه‌ای بزرگ در پشت آن شدند (با ۳۹ کیلومتر طول). این دریاچه آنقدر باقی ماند تا بیش از ۱۵۰ متر رسوب بر کف آن انباشته شد. در حال حاضر این رسوبات محل مناسبی برای چندین هزار هکتار از اراضی

کشاورزی محسوب می شود. وسعت این زمین لغزش تا اندازه‌ای است که در عکس‌های ماهواره‌ای به راحتی قابل تشخیص است.

آمارها خسارات وارده از زمین لغزش را در ایران بیش از یک صد میلیون دلار در سال گزارش می کنند [۷۹]. تا اوایل سال ۱۳۷۷ زمین لغزش‌ها باعث ۱۸۶۶ میلیارد ریال خسارت، تخریب ۶۷۶۳ هکتار جنگل، تخریب ۱۷۰ کیلومتر راه ارتباطی و ۹۶۳۸۰۷ مترمکعب ایجاد رسوب سالیانه شده است. از این رو در دو دهه اخیر به ویژه از زلزله منجیل بعد (۱۳۶۹) تحقیقات گسترده‌ای بر روی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در کشور و راه‌های مقابله با آن صورت گرفته است.

زمین لغزش‌ها می توانند سبب ایجاد حوادث غیر متقربه شود. یکی از این بلایا سیل است، به این نحو که واریزه‌های حاصل از زمین لغزش با مسدود کردن مسیر رودخانه‌ها، منجر به عقب‌گرد میزان زیادی آب شده و سیل‌های بازگشتی را ایجاد می کنند. همچنین زمین لغزش می تواند سبب خرابی سدها شود. ریزش دامنه‌های منتهی به دریاچه‌های سد سبب می شود حجم زیادی از واریزه‌ها به صورت ناگهانی به دریاچه اضافه شود و باعث افزایش فشار بر سد شود، این حجم اضافه شده می تواند سبب شکستگی سد یا لبریز شدن آن گردد. به عنوان مثال می توان به زمین لغزش سد وایونت ایتالیا اشاره کرد که باعث کشته شدن بیش از ۲۰۰۰۰ نفر شد [۱۲۹].

همچنین زمین لغزش می تواند سبب ایجاد سونامی شود (شکل ۱-۲). دلایل عمده‌ی ایجاد سونامی در دریاها و اقیانوس‌ها، زمین‌لرزه و زمین لغزش هستند. همان طور که در دامنه‌ی شیب‌دار کوه‌ها، زمین لغزش اتفاق می افتد، در بستر شیب‌دار دریاها و اقیانوس‌ها نیز این پدیده رخ می دهد. در صورتی که حجم زیادی از رسوبات به طور ناگهانی جابجا شوند، موج سونامی ایجاد می شود.



شکل ۲-۲: سونامی در اثر زمین لغزش