

# بررسی پتانسیل لغزش در

# محدوده سدها و سازه‌های وابسته

نشریه شماره ۲۲۹

وزارت نیرو  
سازمان مدیریت منابع آب ایران  
دفتر استاندارد مهندسی آب



سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور  
معاونت امور فنی  
دفتر امور فنی و تدوین معیارها

جمهوری اسلامی ایران

# بررسی پتانسیل لغزش در محدوده سدها و سازه‌های وابسته

نشریه شماره ۲۲۹

وزارت نیرو  
سازمان مدیریت منابع آب ایران  
دفتر استاندارد مهندسی آب

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور  
معاونت امور فنی  
دفتر امور فنی و تدوین معیارها

۱۳۸۰

انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور ۸۰/۰۰/۸۱



## فهرست برگه

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. دفتر امور فنی و تدوین معیارها  
بررسی پتانسیل لغزش در محدوده سدها و سازه‌های وابسته/ معاونت امور فنی، دفتر امور فنی  
و تدوین معیارها؛ وزارت نیرو، سازمان مدیریت منابع آب ایران، دفتر استاندارد مهندسی آب.-  
تهران: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، معاونت امور پشتیبانی، مرکز مدارک علمی و  
انتشارات، ۱۳۸۰.

۲۵ ص.: مصور.- (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. دفتر امور فنی و تدوین معیارها؛  
نشریه شماره ۲۲۹) (انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور؛ ۸۰/۰۰/۸۱)

ISBN 964-425-309-4

مربوط به بخشنامه شماره ۵۴/۳۵۸۸-۱۰۵/۹۴۱۳ مورخ ۱۳۸۰/۷/۷  
کتابنامه: ص. ۲۵

۱. زمین‌شناسی ساختمانی. ۲. سد و سدسازی - اثر زلزله. ۳. سازه - پایداری. الف. سازمان  
مدیریت منابع آب ایران، دفتر استاندارد مهندسی آب. ب. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.  
مرکز مدارک علمی و انتشارات. ج. عنوان. د. فروست.

ش. ۲۲۹. ۲۴ س/ ۳۶۸ TA

ISBN 964-425-309-4

شابک ۹۶۴-۴۲۵-۳۰۹-۴

بررسی پتانسیل لغزش در محدوده سدها و سازه‌های وابسته

تهیه کننده: معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها

ناشر: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. معاونت امور پشتیبانی. مرکز مدارک علمی و انتشارات

چاپ اول: ۱۰۰۰ نسخه، ۱۳۸۰

قیمت: ۳۰۰۰ ریال

لیتوگرافی: قاسملو

چاپ و صحافی: موسسه زحل چاپ

همه حقوق برای ناشر محفوظ است.





شماره: ۱۰۵/۹۴۱۳-۵۴/۳۵۸۸	بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مشاوران و پیمانکاران
تاریخ: ۱۳۸۰/۷/۷	
موضوع: بررسی پتانسیل لغزش در محدوده سدها و سازه‌های وابسته	
<p>به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی موضوع ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و در چهارچوب نظام فنی‌اجرائی طرح‌های عمرانی کشور (مصوبه شماره ۲۴۵۲۵/ت/۱۴۸۹۸ هـ، مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیات وزیران) به پیوست، نشریه شماره ۲۲۹ دفتر امور فنی و تدوین معیارهای این سازمان، با عنوان "بررسی پتانسیل لغزش در محدوده سدها و سازه‌های وابسته" از نوع گروه سوم، ابلاغ می‌گردد.</p> <p>دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده نمایند و در صورتی که روش‌ها، دستورالعمل‌ها و راهنماهای بهتر در اختیار داشته باشند، رعایت مفاد این نشریه الزامی نیست.</p> <p>عوامل یاد شده باید نسخه‌ای از دستورالعمل‌ها، روش‌ها یا راهنماهای جایگزین را برای دفتر امور فنی و تدوین معیارهای این سازمان، ارسال دارند.</p>	
<p>محمد حساری فر معاون رئیس جمهور و رئیس سازمان</p>	



## پیشگفتار

استفاده از ضوابط، معیارها و استانداردها در مراحل تهیه (مطالعات امکان سنجی) مطالعه و طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری طرحهای عمرانی بلحاظ توجیه فنی و اقتصادی طرحها، کیفیت طراحی و اجرا (عمر مفید) و هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری از اهمیتی ویژه برخوردار می‌باشد.

نظام فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی کشور (مصوبه مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیأت محترم وزیران) بکارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در قیمت تمام‌شده طرحها را مورد تأکید جدی قرار داده است. با توجه به مراتب یاد شده و شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، امور آب وزارت نیرو (طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور) با همکاری معاونت امور فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (دفتر امور فنی و تدوین معیارها) براساس ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه اقدام به تهیه استانداردهای مهندسی آب نموده است.

استانداردهای مهندسی آب با در نظر داشتن موارد زیر تهیه و تدوین شده است:

- استفاده از تخصصها و تجربه‌های کارشناسان و صاحب‌نظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی
- استفاده از منابع و مآخذ معتبر و استانداردهای بین‌المللی
- بهره‌گیری از تجارب دستگاههای اجرایی، سازمانها، نهادها، واحدهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت
- پرهیز از دوباره‌کاریها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور
- توجه به اصول و موازین مورد عمل مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و سایر مؤسسات تهیه‌کننده استاندارد

ضمن تشکر از کارشناسان محترم برای بررسی و اظهار نظر در مورد این استاندارد، امید است مجریان و دست‌اندرکاران بخش آب، با بکارگیری استانداردهای یاد شده، برای پیشرفت و خودکفایی این بخش از فعالیتهای کشور تلاش نموده و صاحب‌نظران و متخصصان نیز با اظهار نظرهای سازنده در تکامل این استانداردها مشارکت کنند.

معاون امور فنی

پاییز ۱۳۸۰



## ترکیب اعضای کمیته

استاندارد حاضر با مشارکت اعضای کمیته تخصصی زمین شناسی مهندسی تهیه شده، که اسامی ایشان به ترتیب حروف الفبا به شرح زیر است:

خانم فیروزه امامی	طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور	فوق لیسانس زمین شناسی
آقای رسول بنی هاشمی	شرکت مهندسیین مشاور مهتاب قدس	فوق لیسانس مهندسی معدن
آقای فریدون بهرامی سامانی	شرکت مهندسیین مشاور تماوان	فوق لیسانس زمین شناسی مهندسی
آقای عباس رادمان	سازمان مدیریت منابع آب ایران	فوق لیسانس مهندسی معدن
آقای حسن مدنی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	فوق لیسانس مهندسی معدن
آقای حسین معماریان	دانشکده فنی دانشگاه تهران	دکترای زمین شناسی مهندسی
آقای محمد حسن نبوی	شرکت مهندسیین مشاور آب نیرو	فوق لیسانس زمین شناسی مهندسی
آقای عبدالرزاق واثقی	شرکت اکتشاف نفت حوزه خزر	فوق لیسانس مدیریت



## فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱	۱- مقدمه
۳	۲- عنصرهای یک زمین لغزه
۸	۳- علت لغزش زمین
۱۸	۴- تقسیم بندی زمین لغزه ها برای اهداف مهندسی
۲۱	۵- شناسایی زمین لغزه ها
۲۳	۶- توصیه هایی برای بررسی زمین لغزه در برداشتهای زمینی
۲۵	منابع و مآخذ



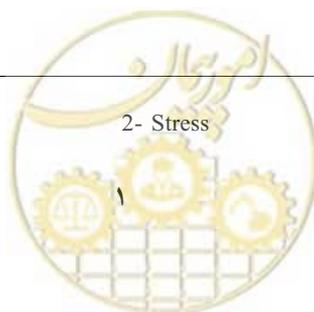
در بسیاری از جاهای دنیا، به ویژه در کشورهای کوهستانی، زمین لغزه‌های<sup>۱</sup> بسیاری روی می‌دهد که پیامدهای آن، دیرکردهای ناخواسته و هزینه‌های افزایشی برای فعالیتهای عمرانی است. برای مثال در کشور چکسلواکی، بیش از ۹۰۰۰ زمین لغزه را طی سالهای ۱۹۶۱ تا ۱۹۶۲ میلادی گزارش کرده‌اند [۷]. در ژاپن نیز سالانه بیش از ۲۰۰۰ مورد ویرانی و ریزش خاکریزها در راه‌آهنهای ملی آن روی می‌دهد. در ایران سالانه تعداد زیادی زمین لغزه به ثبت می‌رسد که با توجه به زیانهایی که به این ترتیب و بر اثر لغزش زمین به وجود می‌آید، شناسایی و بررسی توده‌های لغزشی ضرورت می‌یابد.

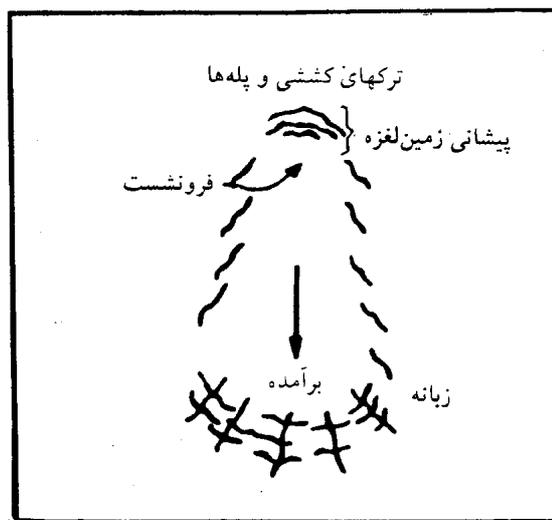
چنانچه تغییر جزئی در توده لغزیده پایدار، به طور طبیعی یا مصنوعی ایجاد شود، فعالیت توده ممکن است دوباره شروع شود. برای مثال بر اثر ساخت کانال پاناما توده‌ای با حجم ۴۵ میلیون متر مکعب لغزش کرد و ادامه ساخت آن بعد از پاکسازی شروع شد.

با وجود اینکه در سالهای گذشته، پیشرفتهای زیادی در تجزیه و تحلیل مکانیسم زمین لغزه‌ها انجام گرفته است، هنوز نمی‌توان زمان وقوع یک زمین لغزه را پیشگویی کرد.

نخستین نشانه‌ای که لغزش زمین را در آینده‌ای نزدیک بازگو می‌کند، ترکهای سطحی است که در بخش بالایی نشیبها، موازی راستای دامنه به وجود می‌آیند و به طور فزاینده فراختر می‌شوند. با پرشدن تدریجی آبهای سطحی در این ترکها، توده خاکی یا سنگی ضعیف‌تر می‌شود، نیروی رانش افقی افزایش می‌یابد و لغزش زمین آغاز می‌شود. در توده‌های لغزیده، ترکهای مایل در دو کناره زمین لغزه و نیز برآمدگی کمی در قسمت پایین مرزی آنها پدیدار می‌شود که نشانگر جنبش توده لغزیده در آینده‌ای نزدیک است (شکل ۱).

به‌طور کلی زمین لغزه‌ها بر اثر نیروی وزن روی می‌دهند، ولی گاهی ممکن است زمین لرزه نیز موجب بروز آنها شود. بر اثر گسیختگی برشی در قسمتی از دامنه‌ها، توده‌های خاکی یا سنگی در راستای خط گسیختگی از آن جدا می‌شود و به سوی پایین دست به لغزش درمی‌آید. به‌طور عملی چنین انگاشته می‌شود که گسیختگی در توده سنگی یا خاکی هنگامی روی می‌دهد که تنش<sup>۲</sup> برشی میانگین در سطح لغزش، از مقاومت برشی اندازه‌گیری شده توده مورد بحث بیشتر باشد. از آنجاکه گسیختگی در توده سنگ ممکن است به تدریج و به صورت پیشرونده روی دهد، بنابراین تنش برشی میانگین که به مقدار زیادی از مقاومت برشی توده سنگی - خاکی بیشتر است، می‌تواند لغزش زمین را موجب شود.





شکل ۱- نمودی از توده لغزیده و ترکهای کناری آن

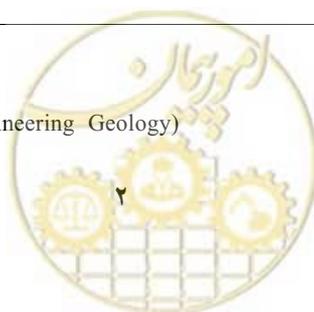
گسیختگی محلی در توده سنگ هنگامی روی می‌دهد که تنش برشی در یک نقطه، از مقاومت برشی حداکثر سنگ یا خاک بیشتر باشد. محاسبه نشان می‌دهد که تنش برشی حداکثر در قسمت پایین مرز زمین لغزه و یا نزدیک آن قرار دارد و از آنجا به سوی بالای دامنه گسترش می‌یابد. روشن است که اثر این تنش حداکثر<sup>۱</sup> با افزایش فشار تک‌محوری، بیشتر می‌شود که ممکن است در گسترده‌گی لغزش کارساز باشد.

در اینجا ضروری است عنوان شود که یک زمین لغزه گرچه توده لغزیده‌ای را به یاد می‌آورد، ولی ویژگیهای بخشی از زمین نیز که توده لغزیده از آن جدا شده است، در بررسیها باید مورد توجه قرار گیرد و افزون بر آن اندازه‌گیریهای توده لغزیده و جایگاه خالی شده نیز در توضیح پدیده، اهمیت زیادی دارند. بنابراین به منظور یکنواخت کردن واژگان و مفهوم، عنصرهای یک زمین لغزه، آنسان که انجمن جهانی مهندسی زمین‌شناسی<sup>۲</sup> پیشنهاد کرده، باید آنها را مورد توجه قرار داد (در بخش دوم این نوشتار خواهد آمد).

در بخش سوم، علت لغزش زمین از دیدگاه زمین‌شناسی مهندسی مورد بحث قرار می‌گیرد و در بخش چهارم به گوناگونی و تقسیم‌بندی زمین لغزه‌ها پرداخته‌ایم. در بخش پنجم نشانه‌های شناسایی یک زمین لغزه و ارزیابی آنها مورد بحث قرار می‌گیرد. در پایان توصیه‌هایی برای بررسی زمین لغزه ارائه خواهد شد.

1- Maximum Strain

2- IAEG (International Association of Engineering Geology)



## ۲- عنصرهای یک زمین لغزه

در هر پدیده زمین لغزه، قسمت‌هایی وجود دارد که بنا بر پیشنهاد انجمن جهانی زمین‌شناسی مهندسی نامگذاری شده است. این قسمت‌ها در شکل شماره ۲ مشخص شده‌اند و مفهوم آنها در زیر می‌آید:

پیشانی زمین لغزه<sup>۱</sup> - به توده جابه‌جا نشده برونزد در مجاورت بالاترین قسمت دیواره لغزشگاه گفته می‌شود (قسمت ۱ در شکل ۲).

دیواره لغزشگاه<sup>۲</sup> - دیواره پرشیب ایجاد شده در زمین دست‌نخورده که از لبه بالایی زمین لغزه آغاز شده و بر اثر جدایش و حرکت توده لغزیده پدید آمده است (قسمت ۲ در شکل ۲).

بالا نقطه سرمرز<sup>۳</sup> - بالاترین نقطه در مرز توده لغزیده (قسمت ۱۳ در شکل ۲) با دیواره لغزشگاه (قسمت ۳ در شکل ۲).

سر مرز<sup>۴</sup> - بخش بالایی زمین لغزه در طول مرز توده لغزیده (قسمت ۱۳ در شکل ۲) و دیواره لغزشگاه (قسمت ۴ در شکل ۲).

دیواره درون‌توده<sup>۵</sup> - دیواره پرشیب که درون توده لغزیده ایجاد شده است (قسمت ۵ در شکل ۲).

تنه لغزیده<sup>۶</sup> - بخشی از توده لغزیده است که روی لغزشگاه (قسمت ۱۰ در شکل ۲)، در میان دیواره لغزشگاه (قسمت ۲ در شکل ۲) و پا مرز گسستگی (قسمت ۱۱ در شکل ۲) جای گرفته است (قسمت ۶ در شکل ۲).

توده تازیده<sup>۷</sup> - بخشی از توده لغزیده است که فراتر از مرز گسستگی (قسمت ۱۱ در شکل ۲) حرکت کرده و روی زمین طبیعی جای گرفته باشد (قسمت ۷ در شکل ۲).

نقطه پیشتاز<sup>۸</sup> - دورترین نقطه‌ای از پایین مرز (قسمت ۹ در شکل ۲) زمین لغزه که دارای بیشترین فاصله از بالا نقطه سر مرز (قسمت ۳ در شکل ۲) است (قسمت ۸ در شکل ۲).

1- Crown

2- Main Scarp

3- Top

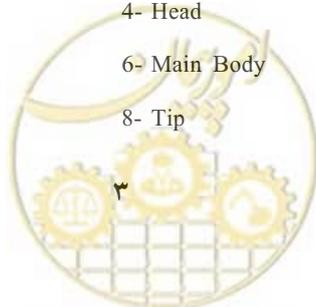
4- Head

5- Minor Scarp

6- Main Body

7- Foot

8- Tip



پایین مرز<sup>۱</sup> - مرز پایینی توده لغزیده (قسمت ۱۳ در شکل ۲) که معمولاً خمیده است و بیشترین فاصله را از دیواره لغزشگاه (قسمت ۲ در شکل ۲) دارد (قسمت ۹ در شکل ۲).

سطح گسستگی<sup>۲</sup> - دنباله دیواره لغزشگاه (قسمت ۲ در شکل ۲) است که در زیر توده لغزیده جای دارد (قسمت ۱۰ در شکل ۲).

پایین مرز سطح گسستگی<sup>۳</sup> - فصل مشترک (گاهی فرونرفته) میان بخش پایینی گسستگی (قسمت ۱۰ در شکل ۲) و سطح زمین ناگسسته (قسمت ۱۱ در شکل ۲).

بستر توده تازیده<sup>۴</sup> - بخشی از سطح زمین طبیعی که تازیده تود (قسمت ۷ در شکل ۲) روی آن جای گرفته است (قسمت ۱۲ در شکل ۲).

توده لغزیده<sup>۵</sup> - موادی که در نتیجه حرکت زمین لغزه، از جای اولیه خود روی دامنه جابه‌جا شده‌اند (قسمت ۱۷+۱۸ در شکل ۲).

منطقه فرولغزش<sup>۶</sup> - بخشی از زمین لغزه که در آن توده لغزیده پایین‌تر از سطح زمین پیش از لغزش جای گرفته است (قسمت ۱۴ در شکل ۲).

منطقه انباشته تود<sup>۷</sup> - بخشی از زمین لغزه که در آن، توده لغزیده بالاتر از سطح زمین پیش از لغزش جای دارد (قسمت ۱۵ در شکل ۲).

خالیگاه<sup>۸</sup> (قسمت خالی شده) - حجمی است که میان دیواره لغزشگاه (قسمت ۲ در شکل ۲)، قسمت زیرین توده لغزیده (قسمت ۱۷ در شکل ۲) و سطح زمین پیش از لغزش به وجود آمده است (قسمت ۱۶ در شکل ۲).

قسمت زیرین توده لغزیده<sup>۹</sup> - بخشی از توده لغزیده که روی سطح گسستگی (قسمت ۱۰ در شکل ۲) و پایین‌تر از سطح زمین پیش از لغزش جای دارد (قسمت ۱۷ در شکل ۲).

1- Toe

2- Surface of Rupture

3- Toe of Surface of Ruptur

4- Surface of Separation

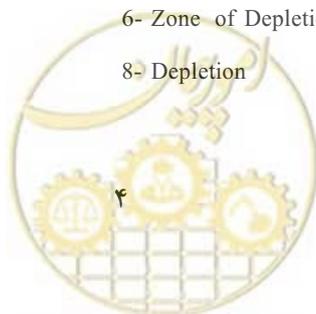
5- Displaced Material

6- Zone of Depletion

7- Zone of Accumulation

8- Depletion

9- Depleted Mass



انباشت<sup>۱</sup> - بخشی از توده لغزیده که بالای سطح زمین پیش از لغزش جای گرفته است (قسمت ۱۸ در شکل ۲).

کنار مرز<sup>۲</sup> - مرز کناری زمین لغزه، در توصیف کنار مرز بهتر است راستای قطب‌نمایی آن ذکر شود، اما اگر واژه‌های راست و چپ به کار رود، این سمتها از نگاه بیننده‌ای است که از پیشانی زمین لغزه (قسمت ۱ در شکل ۲) به آن می‌نگرد (قسمت ۱۹ در شکل ۲).

- اندازه‌های زمین لغزه

درازای گسستگی<sup>۳</sup> - فاصله میان پایین مرز گسستگی و پیشانی زمین لغزه (طول  $L_r$  در شکل ۲).

درازای توده لغزیده<sup>۴</sup> - فاصله میان نقطه پیشتاز و بالا نقطه سرمرز (طول  $L_d$  در شکل ۲).

درازای زمین لغزه<sup>۵</sup> - فاصله بین نقطه پیشتاز و پیشانی زمین لغزه ( $L$  در شکل ۲).

پهنای گسستگی<sup>۶</sup> - حداکثر پهنای بین کنار مرزهای زمین لغزه در راستای عمود بر درازای لغزشگاه ( $W_r$  در شکل ۲).

پهنای تنه لغزیده<sup>۷</sup> - حداکثر پهنای توده لغزیده در راستای عمود بر درازای آن ( $W_d$  در شکل ۲).

ژرفای سطح گسستگی<sup>۸</sup> - حداکثر ژرفای لغزشگاه نسبت به سطح زمین پیش از لغزش، که عمود بر سطح زمین پیش از لغزش اندازه‌گیری می‌شود ( $D_r$  در شکل ۲).

ژرفای توده لغزیده<sup>۹</sup> - حداکثر ژرفای توده لغزیده که عمود بر سطح توده لغزیده اندازه‌گیری می‌شود ( $D_d$  در شکل ۲).

1- Accumulation

2- Flank

3- The Length of the Rupture Surface ( $L_r$ )

4- Length of the Displaced Mass ( $L_d$ )

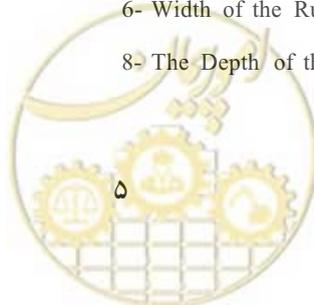
5- Total Length ( $L$ )

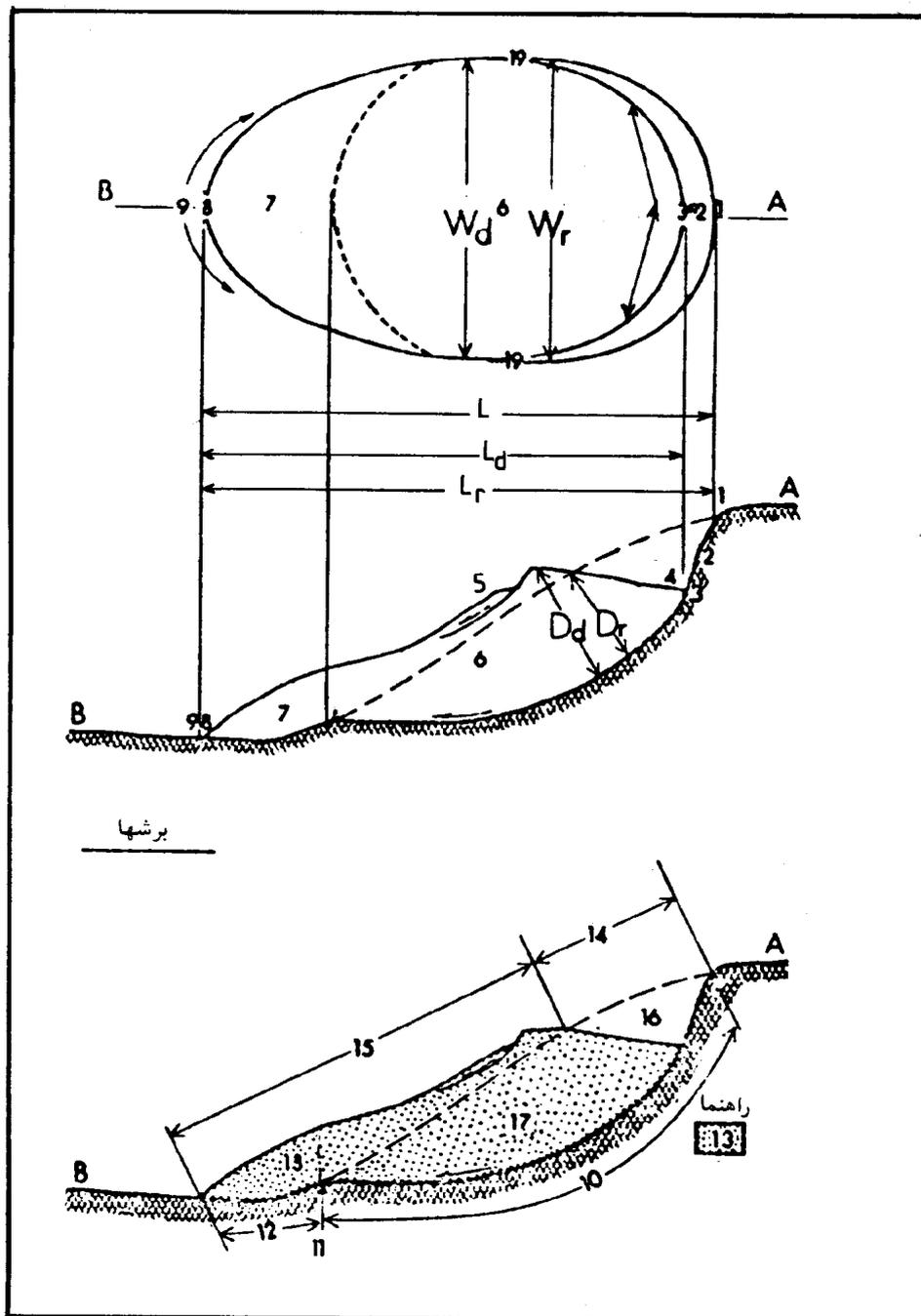
6- Width of the Rupture Surface ( $W_r$ )

7- Width of the Displaced Mass ( $W_d$ )

8- The Depth of the Rupture Surface ( $D_r$ )

9- Depth of the Displaced Mass





شکل ۲- عنصرها و اندازه‌های زمین لغزه

در جدول شماره ۱- فهرست عنصرهای زمین لغزه و در جدول شماره ۲ اندازه‌های زمین لغزه به همراه نمادهای آن آورده شده است.



جدول ۱- عنصرهای زمین لغزه

معادل فارسی	واژه عنصر	ردیف
لبه لغزشگاه، پیشانی زمین لغزه	Crown	۱
دیواره لغزشگاه	main scarp	۲
بالا نقطه سر مرز، چکاد سر مرز	top	۳
سر مرز	Head	۴
دیواره درونتوده	Minor scarp	۵
تنه لغزیده	Main body	۶
توده تازیده	Foot	۷
دور نقطه تازیده مرز نقطه پیشتاز	Tip	۸
تازیده مرز، پایین مرز	toe	۹
سطح گسستگی	Surface of rupture	۱۰
پامرز گسستگی، پایین مرز گسستگی	Toe of surface of rupture	۱۱
بستر توده تازیده	Surface of separation	۱۲
توده لغزیده	Displaced material	۱۳
منطقه فرولغزش	Zone of depletion	۱۴
منطقه انباشته تود	Zone of accumulation	۱۵
کنج خالیگاه، خالیگاه، قسمت خالی شده	Depletion	۱۶
قسمت زیرین توده لغزیده	Depleted mass	۱۷
بالا تود، انباشت	accumulation	۱۸
کناره زمین لغزه، کنار مرز	flank	۱۹

جدول ۲- اندازه‌های زمین لغزه

نماد	اصطلاح
$L_r$	درازای گسستگی
$L_d$	درازای توده لغزیده
$L$	درازای زمین لغزه (از لبه تا دور نقطه مرزی)
$D_r$	ژرفای سطح گسستگی
$w_r$	پهنای لغزشگاه
$w_d$	پهنای توده لغزیده
$D_d$	ژرفای توده لغزیده

### ۳- علت لغزش زمین

ویژگیهای گوناگونی مانند: وضعیت زمین‌شناختی (ساختار، خصوصیات سنگ‌شناسی سنگها و خاکها)، هیدروژئولوژی، توپوگرافی، آب و هوا، و هوازدگی در پایداری یک دامنه مؤثرند و ممکن است موجب زمین‌لغزه شوند. هریک از این ویژگیها به تنهایی به ندرت ممکن است موجب وقوع زمین‌لغزه شود.

شیبهای طبیعی نسبت به انواعی که بر اثر فعالیت‌های بشر احداث می‌شود، معمولاً در معرض شرایط مساعدتری قرار دارند. اگر یک شیب طبیعی بلغزد، به احتمال زیاد، گسیختگی، ناشی از کاهش تدریجی مقاومت برشی است، نه ایجاد شرایط بحرانی در زمان گسیختگی.

### ۱-۳ عواملی که موجب لغزش می‌شوند

عوامل مختلفی که در رخداد زمین‌لغزه نقش دارند؛ عبارتند از:

الف - عوامل خارجی، که باعث افزایش تنش برشی در طول صفحه با پتانسیل لغزش می‌شوند. از جمله می‌توان تغییرات هندسی شیب، بارگذاری و باربرداری (پایین مرز)، لرزه، تغییرات سطح ایستابی و یا فرسایش پای آن را نام برد.

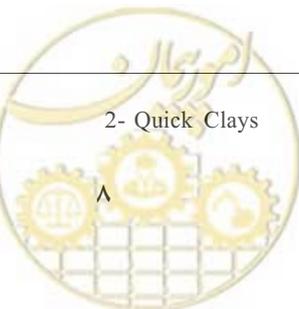
ب - عوامل درونی که باعث کاهش مقاومت برشی متوسط می‌شوند؛ مانند: هوازدگی و خزش در دامنه‌ها یا خزش در لایه ضعیف در پادامنه، آبهای زیرزمینی و ...

### ۲-۳ عواملی که موجب رویداد زمین‌لغزه شده‌اند

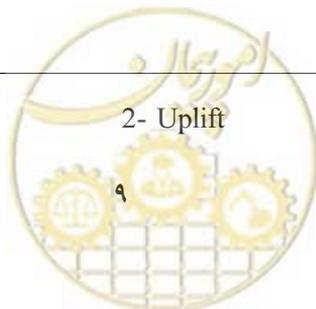
- بسیاری از زمین‌لغزه‌های مصنوعی (در اثر علت‌های خارجی) در حین کوه‌بریهای بزرگراه‌ها، راه‌آهن یا کانال و فعالیت‌های معدنی سطحی رخ داده‌اند. زمین‌لغزه‌ها در معادن روباز نیز فراوان دیده شده است. زمین‌لغزه عظیمی که در کوه ترتل<sup>۱</sup> آلبرتا کانادا رخ داد، تا حدی ناشی از فعالیت‌های معدنی در ناحیه بوده است. اغلب سازه‌های سنگین، در صورتی که در نزدیکی لبه دامنه (پیشانی) اجرا شوند، ممکن است باعث ایجاد زمین‌لغزه شوند. تغییری بسیار کوچک در زمین‌لغزه قدیمی ممکن است منجر به دوباره فعال شدن آن شود. بارگذاری زیاد بر دامنه موجب افزایش تنش برشی و فشار منفذی در خاکهای رسی شده و در نتیجه از مقاومت برشی کاسته می‌شود و هر اندازه نیز بارگذاری سریعتر انجام گیرد، وضعیت خطرناکتر خواهد بود.
- در رس‌های روان<sup>۲</sup>، زمین‌لغزه اغلب بر اثر فرسایش پای دامنه به وسیله جریان آب رخ می‌دهد. تحت شرایط ویژه‌ای، برداشت فشار روباره بر اثر گودبرداری ممکن است سبب تورم برخی از خاکها یا سنگها و باعث کاهش مقاومت برشی آنها شود.

1- Turtele

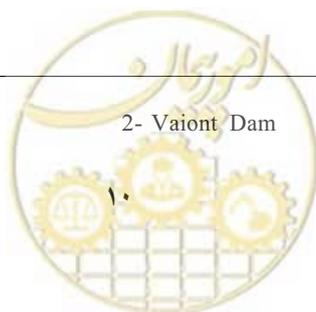
2- Quick Clays

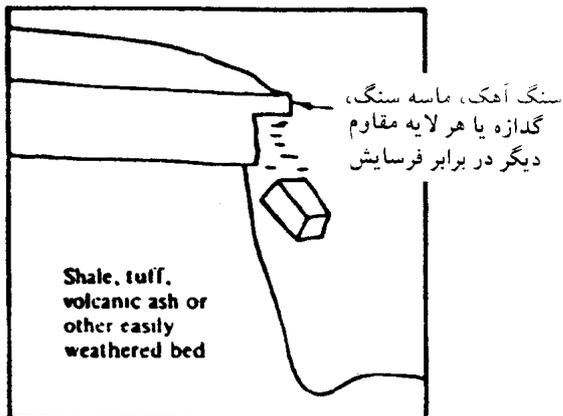


- حرکات آرام تکتونیک در پوسته زمین نظیر فرونشست<sup>۱</sup> یا فراخاست<sup>۲</sup>، ممکن است باعث افزایش شیب دامنه شده منجر به زمین لغزه شود. افزایش شیب دامنه موجب تغییر توزیع تنش توده سنگ و برهم خوردگی تعادل می شود.
- پهن شدن دره بر اثر رهایی تنشهای جانبی منجر به سست شدن سنگها در دامنه و شکلگیری درزه‌های رهایی، موازی راستای دامنه و سهولت ورود آب باران، به درون آنها می شود که پیامد آن لغزش و ریزش خواهد بود.
- لرزه‌های ایجاد شده بر اثر زمین لرزه، انفجارهای عظیم و لرزه‌های ناشی از ماشین‌آلات، با تغییر موقتی تنشها، شرایط حدی را تحت تأثیر قرار می دهند. فورش و ماسه ریزدانه نامتراکم اشباع ممکن است دچار روان شدگی شوند. اگر این خاکها چگالی نسبی کمی داشته باشند، فشار منفذی در این نوع خاکها افزایش می یابد و ممکن است به فشار روباره کل نزدیک شود. وقتی چنین اتفاقی رخ دهد، مقاومت برشی خاک به شدت کاهش می یابد و به صورت سیال درمی آید. در نواحی لرزه خیز، زمین لرزه عامل اصلی گسیختگی دامنه‌هاست. زمین لغزه‌های ناشی از زمین لرزه (سنگ ریزشها، سنگ لغزشها، بهمن سنگها و گل روانها) بر اثر زمین لرزه‌های با شدت VII- VIII مرکالی یا شدیدتر رخ می دهند [۱۰].
- زمین لغزه عظیم کبیرکوه سیمره که احتمالاً زمین لرزه عامل به وجود آمدن آن بوده، دارای حجمی برابر ۳۰ کیلومتر مکعب است. مصالح دستخورده و لغزیده آن به طول  $Ld = 17$  کیلومتر و مساحت ۱۶۵ کیلومتر مربع پراکنده شده‌اند [۱۰]. بر اثر این زمین لرزه، دریاچه‌ای روی رودخانه سیمره ایجاد شده که در آن و در ساختگاه سد سیمره (در حال ساخت) حدود ۵۰ متر رسوبات دریاچه‌ای رس فورش دار و در دو مرحله بر جای گذاشته شده است. در زمین لرزه ۱۹۶۰ شیلی (با بزرگی  $8\frac{1}{6} - 8\frac{1}{4}$  ریشتر)، هزاران زمین لغزه و سنگ ریزش رخ داد.
- یک عامل داخلی که ممکن است سبب کاهش مقاومت برشی متوسط شود، افزایش فشار منفذی خاک است. افزایش فشار منفذی در طول سطح لغزش باعث کاهش فشار مؤثر عمودی و در نتیجه کاهش مقاومت برشی است. به طور کلی بارندگی به عنوان یکی از فاکتورهای اصلی کنترل فراوانی زمین لغزه‌ها مورد قبول واقع شده است. بزرگی و تأثیر آن به وضعیت آب و هوا (نظیر: توزیع بارندگی و تغییرات دما)، توپوگرافی ناحیه، ساختار زمین شناسی دامنه، تراوایی و سایر ویژگیهای سنگ و خاک بستگی دارد. اندازه گیری بارندگی ثابت کرده است که حرکات دامنه‌ای در دوره‌های بارندگی بسیار زیاد رخ داده است. گسیختگی اغلب دامنه‌ها بعد از بارندگیهای سنگین یا در ماههای بهار، وقتی که برف آب می شود و آب به درون گسستگیها نفوذ می کند، رخ می دهد. بررسیها نشان داده است وقتی که بارندگی تجمعی طی ۱ تا ۳ روز بیش از ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلیمتر شود، تعداد گسیختگی در دامنه‌ها به شدت افزایش می یابد [۵].

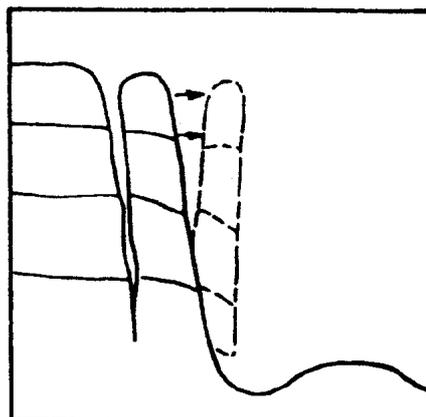


- تغییرات سطح آب زیرزمینی، پایداری دامنه‌ها را به گونه‌های مختلف تحت تأثیر قرار می‌دهد. جریان آب زیرزمینی روی دانه‌های خاک فشار وارد می‌کند و باعث کاهش پایداری می‌شود. تغییرات ناگهانی تراز آب زیرزمینی در یک مخزن باعث افزایش فشار منفذی شده و ممکن است منجر به روان شدن خاکهای ماسه‌ای تشکیل دهنده آنها بشود. در فورس و ماسه ریزدانه، بر اثر جریان آب زیرزمینی، دانه‌ها شسته شده و به بیرون حمل می‌شوند.
- دامنه‌ها بر اثر یخزدگی نیز به مخاطره می‌افتند. درزه‌های سنگ بر اثر یخزدگی آب افزایش حجم پیدا کرده و باز می‌شوند. تشکیل لایه‌های نازک یخ در خاکهای رسی به معنی وجود درصد بسیار زیادی از آب، به هنگام ذوب و تخریب رس است. در خاکهای سیلتی، یخزدگی و ذوب ممکن است فشار آب منفذی بسیار زیادی تولید کند؛ در نتیجه موجب حرکات سطحی شود. انبساط آب در گسستگیها ممکن است منجر به سنگ ریزش شود. در شکل شماره ۳ نمونه‌هایی از سنگ‌ریزشها و علت آنها دیده می‌شود. بیشترین تعداد سنگ ریزشها در بهار و پاییز وقتی که نوسانات حول و حوش نقطه یخزدگی بوده، رخ داده است.
- مقاومت برشی بر اثر بازشدن ترکهایی که نتیجه کاهش فشار روباره و یا خشک شدن خاک هستند، ممکن است کاهش یابد. اگر سطح شیلها یا رسها به وسیله لایه‌ای از ماسه یا چمن حفاظت نشده باشد، هوازگی مکانیکی و شیمیایی به تدریج چسبندگی سنگها را از بین می‌برد. به نظر می‌رسد که تغییرات شیمیایی نظیر: هیدراته شدن و تعویض یون در رسها سهم زیادی در شروع حرکت دامنه‌ها داشته باشد.
- وقتی که تراز آب در مخزن سدها به‌ویژه در خاکهای سیلتی به طور ناگهانی کاهش یابد، اغلب با گسیختگی دامنه‌ها همراه است که این پدیده به علت کاهش فشار روباره کل و افزایش فشار آب حفره‌ای رخ می‌دهد.
- در مورد خاکهایی که به‌طور موضعی اشباع شده‌اند، وقتی که به طور کامل اشباع شوند، به‌ویژه اگر خاک ریزدانه باشد، مقاومت برشی کاهش می‌یابد. بخشی از مقاومت برشی چنین خاکهایی به کشش سطحی آب منفذی در محل تماس بین دانه‌ها مربوط می‌شود که پس از اشباع شدن از بین می‌رود. چسبندگی ظاهری<sup>۱</sup> ممکن است مانع گسیختگی بریدگیهای عمودی در ماسه ریز یا فورس مرطوب شود. حتی اگر بریدگی ۳ تا ۶ متر عمق داشته باشد. در بالای سطح ایستابی چسبندگی ظاهری، حتی بعد از بارندگی سنگین نیز کلاً از بین نمی‌رود. خاکهایی نظیر لس، وقتی که برای اولین بار اشباع شوند، بخشی از مقاومت برشی خود را از دست می‌دهند. مصالح سیمانی به وسیله آب پایین‌رو حل می‌شود و مقاوت برشی خاک کاهش می‌یابد.
- آبگیری مخزن سدها ممکن است زمین‌لغزه‌های عظیمی را موجب شود (مانند سد خیلی بلند و ایونت<sup>۲</sup> در ایتالیا که از توده لغزیده ۲۷۰ میلیون متر مکعب آن به مخزن سد سرازیر شد). بیش از ۵۰۰ زمین‌لغزه در خلال آبگیری دریاچه فرانکلین روزولت در واشنگتن، رخ داده است.

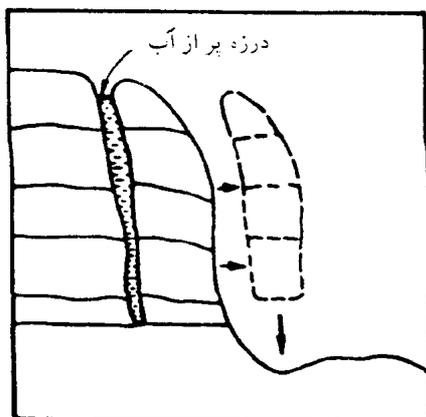




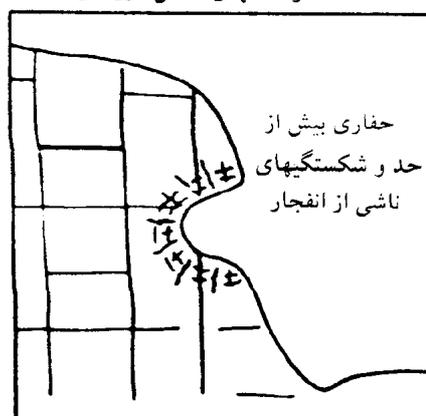
الف) هوازدگی متفاوت



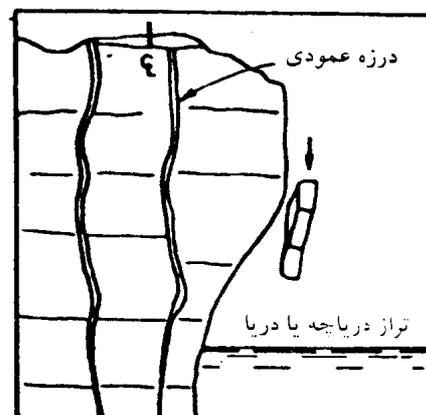
ب) فشار ناشی از یخزدگی در سنگهای همگن درزه‌دار



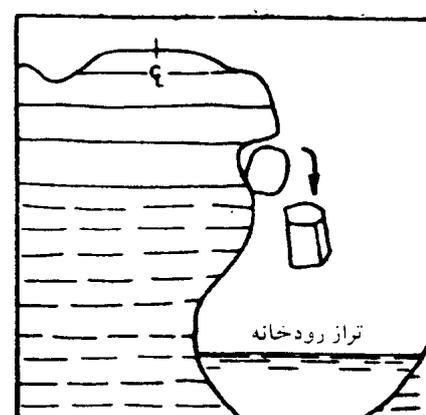
ج) سنگهای همگن درزه‌دار فشار هیدرواستاتیکی بر روی بلوکهای سست



د) سنگ همگن درزه‌دار بلوکها بدون نگهداری رها شده یا در اثر انفجار سست شده



ه) سنگ همگن درزه‌دار یا لایه‌های مقاوم بر روی لایه‌های سست فرسایش یافته قرار گرفته که به سهولت فرسوده می‌شوند. «پرتگاه» ایجاد شده در اثر امواج



ی) سنگ همگن درزه‌دار یا لایه‌های مقاوم بر روی لایه‌های سست فرسایش یافته که به سهولت فرسوده می‌شوند. پرتگاه بر اثر جریان آب ایجاد شده است.

شکل ۳- نمونه‌هایی از سنگ ریزشها در نروژ و علت آنها



نشت آب از مخازن سدها یا کانالهای بدون پوشش بتونی، بر اثر فرسایش داخلی یارگاب<sup>۱</sup> ممکن است منجر به گسیختگی شود. با توسعه فرسایش، جریان آب عبوری افزایش می‌یابد با افزایش جریان آب، حجم بیشتری از خاک دچار فرسایش می‌شود. با ادامه این روند سقف مجاری ایجاد شده فرو ریخته و با این فروریزش نشستهای زیاد به وجود می‌آید و در نتیجه ممکن است منجر به زمین لغزه شود.

● ریشه درختها نیز در پایداری دامنه‌ها سهم زیادی دارند. ریشه‌های گیاهان تحت عوامل مکانیکی و خشکاندن شبیها بر اثر مکش آب زیرزمینی، پایداری دامنه‌ها را تأمین می‌کنند. از بین رفتن پوشش گیاهی، در رژیم آب زیرزمینی درون لایه‌های زیر سطحی اثر معکوس دارد. همچنین بر اثر قطع ریشه‌ها، عوامل مسلح شدن خاک از بین رفته و موجب ناپایدار شدن دامنه می‌شوند. توزیع مناسب ریشه گیاهان باعث افزایش مقاومت برشی خاک تشکیل دهنده دامنه‌ها می‌شود. پوشش گیاهی زمین نشانه غیرمستقیمی از پایداری دامنه‌هاست. زمین بدون پوشش گیاهی یا پوشش ناچیز نشانه فرسایش سریعتر و ناپایداری بیشتر در مقایسه با جنگلهای حفاظت شده با پوشش گیاهی انبوه است که کمتر مستعد فرایند تخریب گسترده‌اند. پوشش جنگلی، به‌طور کلی مانع عملکرد عوامل جوی روی دامنه‌هاست و آنها را از تأثیر هوازدگی و فرسایش حفاظت می‌کند.

### ۳-۳ رده‌بندی زمین لغزه‌ها

یک سیستم رده‌بندی می‌تواند کمک زیادی برای مهندسان و زمین‌شناسانی باشد که سعی دارند علل زمین لغزه را بیابند و تمهیداتی را برای جلوگیری یا اصلاح زمین لغزه‌ها مدنظر قرار دهند.

چندین سیستم رده‌بندی پیشنهاد شده است. بسیاری از این سیستمها برای اهداف و ناحیه ویژه‌ای ارائه شده است و نمی‌تواند در جای دیگر کاربرد داشته باشد. هایم<sup>۲</sup> یک سیستم رده‌بندی که تنها برای سنگ لغزشهای آلپ کاربرد دارد، پیشنهاد کرد و او بیش از ۲۰ نوع مختلف سنگ لغزش را تشخیص داد.

سیستم رده‌بندی پیشنهاد شده توسط ورنسکی<sup>۳</sup> [۷] به طرز قابل ملاحظه‌ای در اروپای شرقی به کار گرفته شده است. زمین لغزه‌ها با توجه به شکل سطح لغزش به اسکونت<sup>۴</sup>، کانسکونت<sup>۵</sup>، و اینسکونت<sup>۶</sup> رده‌بندی شده‌اند. در اسکونت، لغزش در طول سطوح منحنی و عمدتاً سطوح استوانه رخ می‌دهد. این نوع لغزشها اساساً در خاکهای چسبنده رخ می‌دهد. سطح گسیختگیهای کانسکونت اساساً منطبق بر سطوح لایه‌بندی و دیگر ناپیوستگیهاست. سطح گسیختگیهای اینسکونت، ناپیوستگیها را در عرض می‌برد. این نوع لغزشها به‌طور کلی تا عمق زیادی گسترش خواهند داشت.

1- Piping

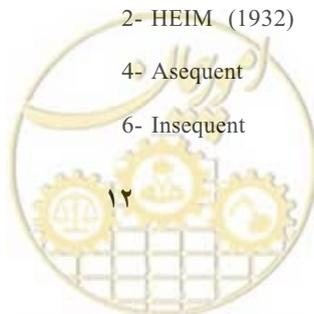
2- HEIM (1932)

3- Sverenskii (۱۹۶۹، زاروباو منکل)

4- Asequent

5- Consequent

6- Insequent



همچنین زمین لغزه‌ها را می‌توان بر حسب بیشینه عمق آنها به شرح زیر رده‌بندی کرد:

نوع	حداکثر نوع
لغزشهای سطحی	کمتر از ۱/۵ متر
لغزشهای کم عمق	۱/۵ تا ۵ متر
لغزشهای عمیق	۵ تا ۲۰ متر
لغزشهای بسیار عمیق	بیش از ۲۰ متر

اسکمپتون<sup>۱</sup> زمین لغزه‌ها را بر حسب نسبت  $\frac{D}{L}$  رده‌بندی کرد که در آن D عمق حداکثر زمین لغزه و L طول حداکثر زمین لغزه است. زمین لغزه‌ها را می‌توان بر حسب وضعیت فعالیت آنها به فعال، غیرفعال، و پایدار رده‌بندی کرد [۷].

در ژاپن زمین لغزه‌ها بر حسب بیشینه سرعت به دوره اصلی تقسیم شده‌اند: رده اول دارای سرعت بین ۰/۱ تا ۱۰ متر در سال که معمولاً این نوع لغزشها در خاک باسن ترشیاری رخ می‌دهند. نوع دوم اساساً در سنگهای مزوزوئیک و پالئوزوئیک رخ می‌دهند که معمولاً سرعت آنها بسیار زیاد است.

چهار نوع زمین لغزه اصلی می‌توان به شرح زیر تشخیص داد: ریزش<sup>۲</sup>، زمین لغزه‌های چرخشی<sup>۳</sup>، زمین لغزه‌های ترانس لسنال<sup>۴</sup>، و روانه‌ها<sup>۵</sup>، این چهار نوع زمین لغزه اصلی در شکل شماره ۴ نشان داده شده‌اند.

### ۱-۳-۳ ریزشها

ریزش توده خاکی و یا سنگی وقتی رخ می‌دهد که سطح گسیختگی نمی‌تواند شکل گیرد.

### ۲-۳-۳ زمین لغزه‌های چرخشی

انواع مختلف زمین لغزه چرخشی را می‌توان به نامهای زمین لغزه‌های چرخشی تک لغزشی (اسلیپس)<sup>۶</sup>، زمین لغزه‌های چرخشی چند لغزشی<sup>۷</sup> و آسیبهای پشت سرهم شناسایی کرد (شکل شماره ۵). زمین لغزه‌های چرخشی تک لغزشی یا اسلامپها، در شیل و رسهای همگن در طول سطوح گسیختگی دایره‌ای رخ می‌دهند. لغزشهایی از این نوع نسبتاً عمیق با  $(\frac{D}{L} = 0/33 - 0/15)$  هستند [۶]. این نسبت با افزایش شیب دامنه افزایش می‌یابد.

1- Skempton (1953)

2- Falls

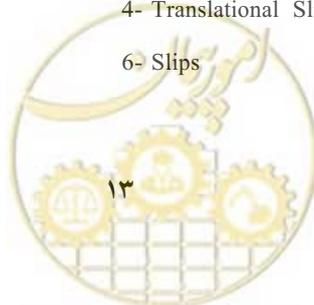
3- Rotational Slides

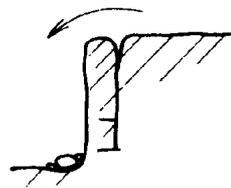
4- Translational Slides

5- Flows

6- Slips

7- Multiple Rotational Slides

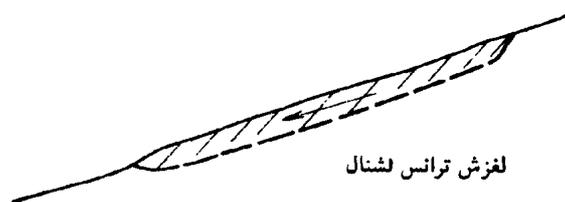




Fallt



لغزش چرخشی

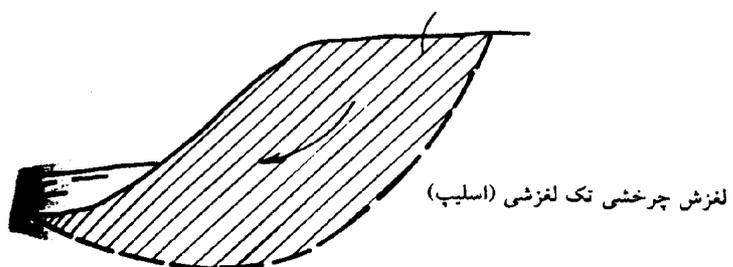


لغزش ترانس لشنال

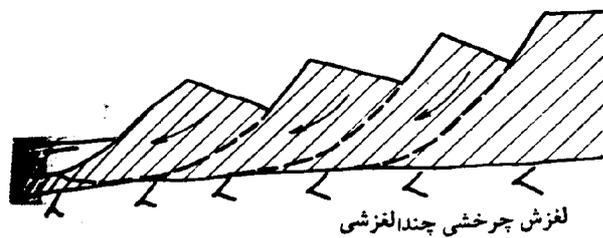


روانه

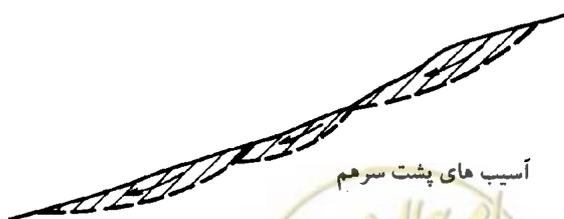
شکل ۴- چهار نوع زمین لغزه اصلی



لغزش چرخشی تک لغزشی (اسلیپ)



لغزش چرخشی چندالغزشی



آسیب های پشت سرهم

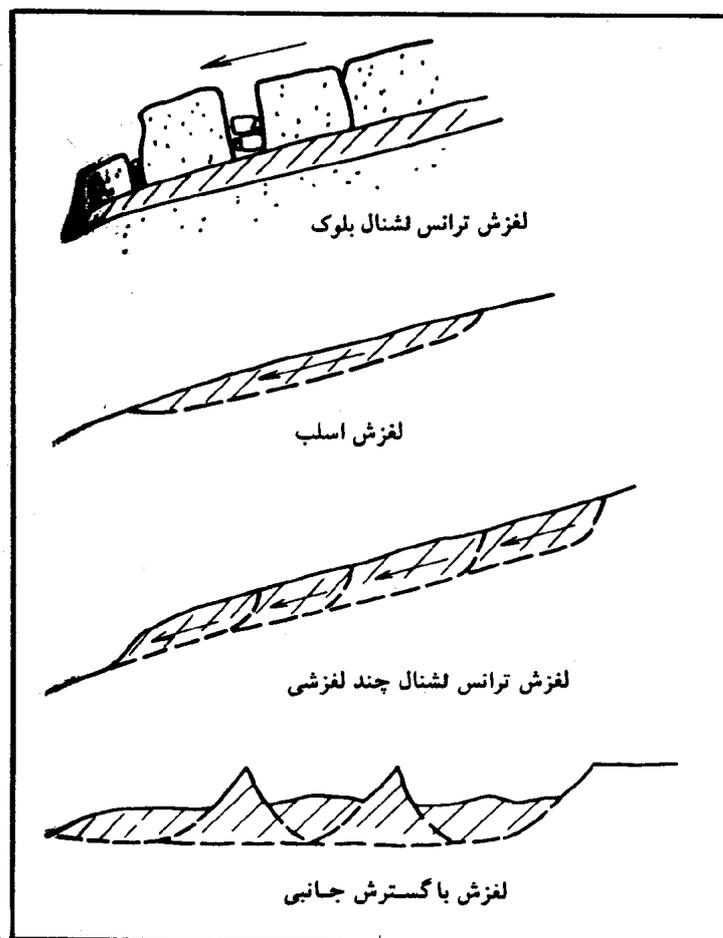
شکل ۵- انواع مختلف زمین لغزه چرخشی



سطح گسیختگی در رسهای نرم همگن تقریباً دایره‌ای است. وقتی که خاک همگن نباشد، سطح گسیختگی به ندرت دایره‌ای است زیرا شکل آن متأثر از سطوح ناپیوستگیهاست. زمین لغزه‌های چرخشی چندلغزشی با یک لغزش محلی و اولیه شروع می‌شوند. این نوع لغزشها به تدریج توسعه یافته و به سوی عقب و در طول یک سطح گسیختگی قاعده‌ای گسترش می‌یابد (در شکل شماره ۵ انواع زمین لغزه‌های چرخشی نشان داده شده است).

### ۳-۳-۳ زمین لغزه‌های ترانس لشنال

زمین لغزه‌های ترانس لشنال را می‌توان به لغزش بلوک، اسلب<sup>۱</sup>، زمین لغزه‌های ترانس لشنال چند لغزشی و زمین لغزه‌های با گسترش جانبی<sup>۲</sup> (شکل شماره ۶) تقسیم کرد. لغزشهای ترانس لشنال در طول سطوح ناپیوستگیهایی که تقریباً موازی سطح زمین باشد، رخ می‌دهد.



شکل ۶- لغزشهای ترانس لشنال

1- Slab

2- Spreading Failure

یک تفاوت اساسی بین گسیختگیهای چرخشی و ترانس لشنال وجود دارد. سیستم نیرویی که لغزش چرخشی را آغاز می‌کند، با افزایش تغییر شکل ناشی از کج شدگی به سوی عقب توده خاکی یا سنگی در حال لغزش کاهش می‌یابد. در صورتی که سیستم نیرویی که لغزش ترانس لشنال را باعث شده است، ثابت باقی می‌ماند.

لغزش بلوک در توده‌های سنگی مقاوم درزه‌دار و در طول سطوح ناپیوستگیهای پرشیب رخ می‌دهد. لغزشهای ترانس لشنال در سنگها بیشتر معمول است و در طول سطوح گسیختگی از پیش تعیین شده رخ می‌دهند.

لغزشهای اسلب اساساً در رسهای هوازده یا مواد واریزه‌ای رخ می‌دهد. سطح گسیختگی تقریباً موازی سطح زمین است. نسبت  $\frac{D}{L}$  در این نوع لغزش به ندرت بیشتر از  $\frac{1}{10}$  است [۶]. لغزش اسلب در دامنه‌های پرشیب خاکی بعد از بارندگیهای سنگین نیز رخ می‌دهد.

لغزشهای ترانس لشنال چند لغزشی معمولاً به وسیله یک لغزش اسلب آغاز می‌شوند. چنین لغزشهایی به سوی بالای دامنه گسترش می‌یابد؛ زیرا خاک بالای «سرمرز» به وسیله آب باران که ترکها را پر کرده، به تدریج ضعیف می‌شود.

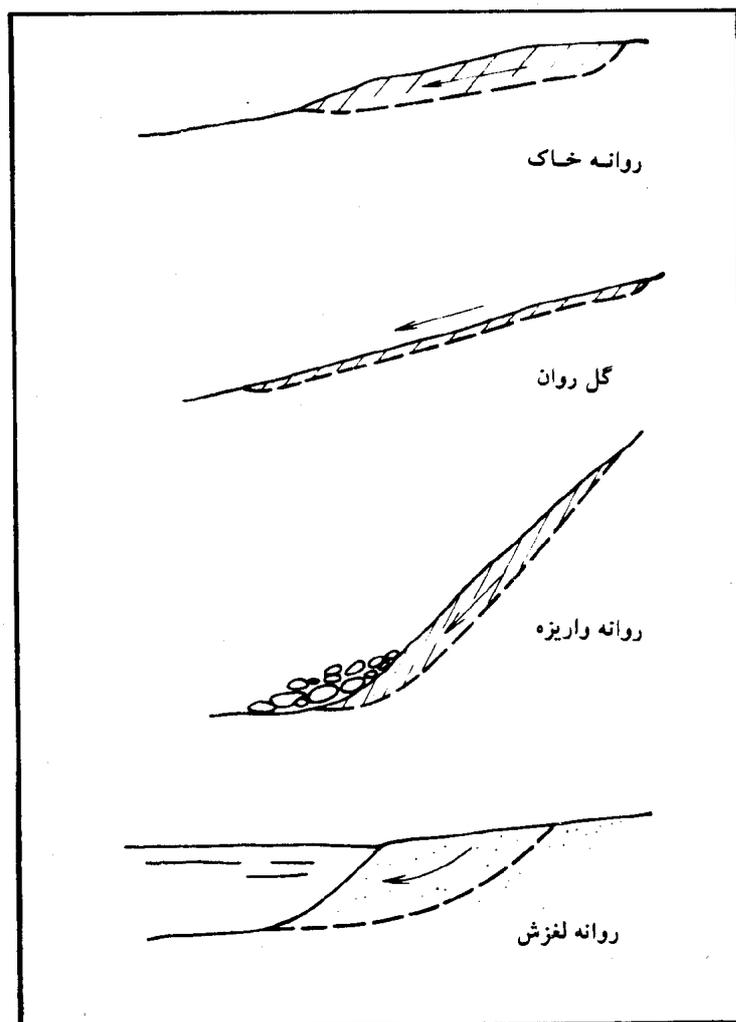
لغزشهای با گسترش جانبی، بیشتر در رسهای لایه لایه، جایی که فشار منفذی زیاد به طور فصلی در رگه‌های سیلتی و ماسه‌ای رخ می‌دهد، دیده می‌شود. حرکت جانبی ممکن است باعث شکستن مصالح رویی به چند واحد مستقل شود. چنانچه زون (منطقه) ضعیف زیری ضخیم باشد، پشت بلوکها ممکن است در زون (منطقه) ضعیف فرو رود و در نتیجه به سوی عقب شیبدار شود.

### ۳-۳-۴ روانه‌ها

از ویژگیهای روانه این است که مصالح در حین حرکت روی دامنه خرد شده و به صورت سیال به جریان درمی‌آید. چندین نوع مختلف روانه قابل تشخیص است (شکل شماره ۷)، از جمله روانه خاک، گل روان و روانه واریزه را می‌توان نام برد. تفاوت بین روانه‌های مختلف در سرعت حرکت آنهاست. سرعت حرکت در گل روان بیشتر از روانه واریزه است.

اسکمپتون و هچینسون [۶]، روانه خاک را به حرکت آرام مصالح هوازده و نرمی که در پامرز زمین لغزه توسعه می‌یابد، محدود کرده‌اند. روانه خاک زون (منطقه) تدریجی به وجود آمده بین لغزش و روانه گل روان را نشان می‌دهد. برای مثال خردشدن توده خاکی در روانه خاک کمتر از گل روان است و بخش قابل ملاحظه‌ای از پوشش گیاهی اولیه در حین روانه خاک حفظ شده است.





شکل ۷- انواع روانه‌ها

روانه خاک در خاکهای رسی و سیلتی، اغلب در خلال یا بعد از بارندگی سنگین رخ می‌دهد. گسیختگیها بر اثر افزایش تدریجی فشار منفذی و کاهش مقاومت برشی خاک اتفاق می‌افتد. میزان جابه‌جایی در یک روانه خاک از کند تا بسیار سریع بسته به شیب دامنه و رطوبت خاک متغیر است. بسیاری از گل روانها برای سالها ادامه می‌یابد تا اینکه شیب دامنه به اندازه کافی کم شود تا جابه‌جایی متوقف شود یا توده خاکی به اندازه کافی خشک شده و باعث افزایش مقاومت برشی شود.

گل روان در مناطقی که شیب سطحی دامنه عموماً بین ۵ تا ۱۵ درجه است، توسعه می‌یابد. گل روان به وفور در لایه‌های رسی بکر و درزه‌دار که به طور متناوب با لایه‌های ماسه‌ای ریز دارای فشار منفذی بالا رخ می‌دهد. گل روان در این خاکها بر اثر فرسایش لایه‌های ماسه‌ای یا لامیناسیون رخ می‌دهد.



روانه‌هایی که در مصالح درشت دانه رخ می‌دهد، معمولاً روانه واریزه نامیده می‌شوند. چنین روانه‌هایی اغلب در نواحی خشک و نیمه خشک، جایی که زمین فاقد پوشش گیاهی است یا در دامنه‌های واریزه‌ای یا تنگه‌هایی که انباشته از واریزه هستند و فاقد پوشش گیاهی هستند، اتفاق می‌افتد. روانه واریزه معمولاً در حین بارندگیهای سنگین یا سیلابهای ناگهانی شروع می‌شود.

به خاطر آنکه اغلب بستر مسیلهای قدیمی را دنبال می‌کنند. روانه واریزه معمولاً دراز و باریک است. دره می‌تواند عمیقاً به وسیله جریان مصالح و به خاطر چگالی (دانسیته) بالای آن فرسایش یابد و روانه ممکن است برای کیلومترها ادامه یابد. میزان جابه‌جایی از بسیار آرام تا بسیار سریع متغیر است و توده واریزه‌ای با حرکت به پایین دامنه خرد می‌شود. رطوبت توده واریزه در حال حرکت معمولاً حدود ۱۰۰ درصد است.

#### ۴- تقسیم‌بندی زمین لغزه‌ها برای اهداف مهندسی

از دیدگاه مهندسی، زمین لغزه‌ها به دو صورت کلی زیر تقسیم می‌شوند:

#### ۴-۱ تقسیم‌بندی بر پایه فعالیت

##### ۴-۱-۱ زمین لغزه‌های فعال

این زمین لغزه‌ها از روی شکلشان به سهولت شناخته می‌شوند، زیرا سطح زمین در آنها مشخص و بدون پوشش گیاهی است و هنوز تحت تأثیر عوامل جوی و فرسایش قرار نگرفته است. درختان از حالت قائم خارج می‌شوند، جاده‌ها، دیواره‌های حفاظتی و سازه‌های نواری که از این مناطق لغزشی می‌گذرند، جابه‌جا می‌شوند و اغلب آسیب می‌بینند. لغزشگاه زمین لغزه، پرشیب و عاری از پوشش گیاهی است. غالباً شکافهای متعدد و باز در توده لغزیده دیده می‌شود.

##### ۴-۱-۲ زمین لغزه‌های غیر فعال

وضعیت این زمین لغزه‌ها معمولاً بر اثر فرسایش به هم می‌خورد و در نتیجه اغلب تشخیص آنها مشکل است. معمولاً دارای پوشش گیاهی اند. لغزشگاههای قدیمی که به هنگام فعالیت زمین لغزه شکل گرفته بودند، فرسایش یافته‌اند. زمین لغزه‌های غیرفعال به وسیله درختان کج یا خم شده و شکافهایی که به وسیله واریزه پر شده‌اند قابل شناسایی اند. به طور کلی زمین لغزه‌های غیرفعال ممکن است بر اثر تغییرات نسبتاً کوچک در آنها، ناپایدار شوند. مثلاً با گودبرداری قسمت پایانی آنها دوباره فعال می‌شوند. سن زمین لغزه‌های غیرفعال را اغلب می‌توان از سن قدیمی ترین درختان که به صورت مستقیم در منطقه زمین لغزه رشد می‌کنند و همچنین از مرحله فرسایش و توسعه پروفیل جدید خاک تعیین کرد.



## ۲-۴ تقسیم‌بندی بر پایه چگونگی تشکیل

در دامنه‌ها، بدون توجه به منشأ آنها، اعم از: خاکی یا سنگی، طبیعی یا مصنوعی، سه گروه عمده ناپایداری به شرح زیر ممکن است روی دهد: ریزشی، لغزشی و خزشی.

البته تقسیم‌بندی ترکیبی از سه حالت یادشده را نیز می‌توان انجام داد؛ مانند: ریزشی - خزشی و خزشی - لغزشی

## ۳-۴ ارزیابی امکان ریزش یا لغزش یک دامنه

۱-۳-۴ در دامنه‌های بلند و پرشیب حاوی درزه‌های رهایی و درزه‌های برشی، به سبب یخزدگی و ذوب یخ، هوازدگی، فرسایش به وسیله روانابها (بارندگی)، آبهای زیرزمینی و نیروی وزن، درزه‌های رهایی به طور مداوم باز می‌شوند و به سوی لایه‌های سنگی پایین‌تر پیشروی می‌کنند. زیر بریدگی سنگهای ضعیف که بر اثر نیروهای طبیعی یا به وسیله انسان به وجود آمده باشد، باعث می‌شود که سنگهای رویی پایداری خود را از دست بدهند و به طور ناگهانی فرو ریزند.

۲-۳-۴ در دامنه‌های سنگی، موقعیت گسستگیهای اولیه و ثانویه نظیر: لایه‌بندی، درزه‌ها، شیب‌واری، گسلها و رانده‌ها، نسبت به جهت و شیب دامنه، تأثیر به‌سزایی در پایداری آنها دارد.

- مقدار شیب گسستگی‌ها یا فصل مشترک دو گسستگی و شیب و امتداد دامنه، نقش کنترل‌کننده‌ای دارد. در این مورد سه نوع ارتباط زیر مهم است:

- شیب گسستگی یا زاویه میل فصل مشترک دو گسستگی بیشتر از شیب دامنه است. هرچه سوی گسستگی یا فصل مشترک دو گسستگی با راستای شیب دامنه موازی‌تر باشد، خطر گسیختگی بیشتر خواهد بود.

- شیب گسستگی یا زاویه میل فصل مشترک دو گسستگی، همسو با شیب دامنه ولی کمتر از آنند که یک حالت پایدار است.

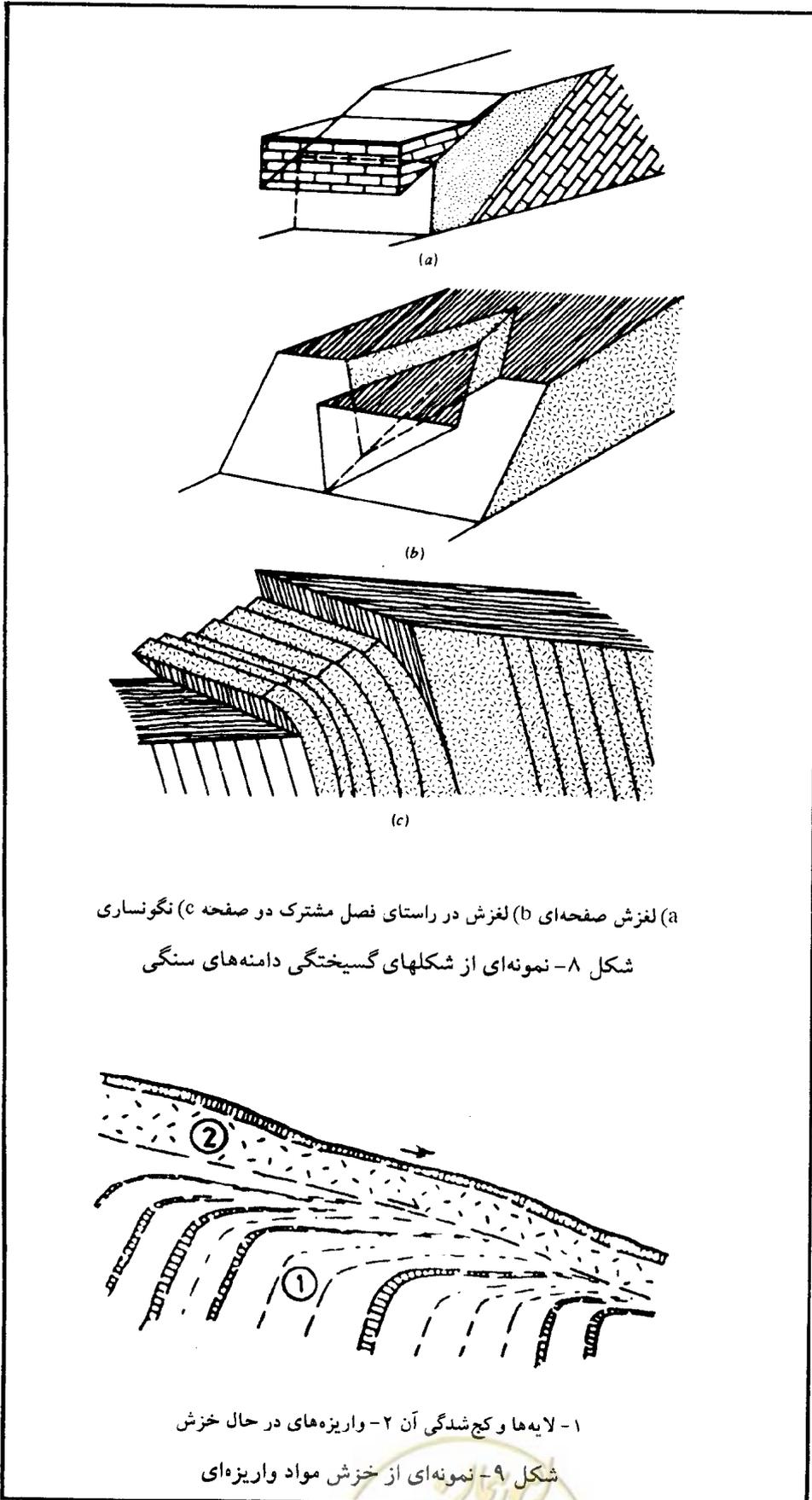
- سوی شیب ناپیوستگیها با شیب دامنه ناهم‌سوست. در این حالت تنها ریزش از نوع نگونسازی<sup>۱</sup> امکانپذیر است (شکل شماره ۸).

## ۳-۳-۴ دامنه‌های در حال خزش

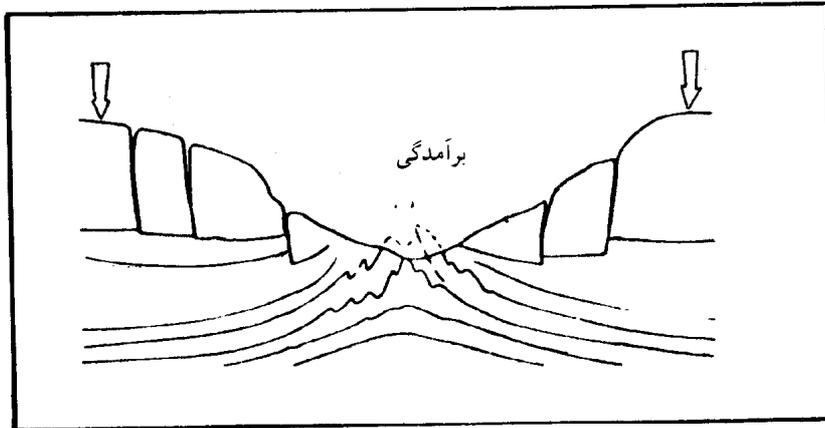
دامنه‌های در حال خزش را ممکن است به وسیله عوارض زمین‌شناسی زیر ارزیابی کرد:

- خزش سطحی بر اثر حرکت آرام و کمابیش مداوم ذرات خاک و سنگ ناشی از تغییرات دما و رطوبت
- کج شدن لایه‌ها به سوی شیب دامنه و مخالف جهت شیب لایه‌ها (شکل شماره ۹)





- بر اثر عمیق شدن دره‌ها، خزش در عمق بیشتر نیز ممکن است رخ دهد. به این نوع خزش بالازدگی<sup>۱</sup> یا برآمدگی گفته می‌شود. این پدیده وقتی رخ می‌دهد که لایه‌های ضعیف دارای قابلیت فشرده شدن زیر لایه‌های مقاوم بوده و در کف دره رخنمون پیدا کنند. در مراحل اولیه، بالازدگی، لایه‌ها به سوی بالا خمیده شده، کم‌کم تاقدیس مانند می‌شوند و با گذشت زمان نوعی چین خوردگی محلی و محدود به وجود می‌آید (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- نمونه‌ای از برآمدگی کف دره که در سنگهای فشارپذیر واقع در زیر سنگهای مقاوم روی می‌دهد.

- بلوکهای درزه‌دار سنگهای مقاوم که روی لایه‌های رسی قرار دارند، دچار لغزش و خزش آرام می‌شوند. بلوکهای کناری به تدریج در لایه‌های ضعیف فرو می‌روند و به سوی پایین حرکت می‌کند. کشش ایجاد شده در لایه‌های مقاوم باعث می‌شود که لایه‌های کناری بریده شده و در طول شکافهای ایجاد شده از توده اصلی جدا شوند. بخش پایینی بلوکهای فرو خرنده معمولاً به سوی بیرون از توده سنگ حرکت می‌کند و قسمت بالای آنها به سمت دامنه کج‌شدگی نشان می‌دهد.

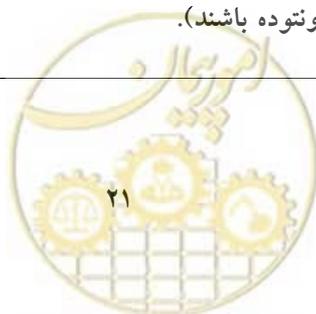
- فرآیند خزش در سنگهای مستعد تغییر شکلهای پلاستیکی مانند: سنگهای فیلیتی و شیستی نیز دیده می‌شود.

## ۵- شناسایی زمین لغزه‌ها

### ۱-۵ شناسه‌ها

زمین لغزه‌ها را می‌توان با استفاده از عوارض ریختاری - ساختاری به شرح زیر شناسایی کرد:

- دامنه‌های پر شیب دره‌ها که دارای پرتگاه هلالی شکل در بالا، سکوه‌های ناهموار در ترازهای پایین‌تر، شکل تپه‌ماهوری در بخش میانی و ترکهای کششی با فاصله تکرار زیاد، باشند (پرتگاه هلالی شکل لغزشگاه زمین لغزه و سکوها ممکن است دیواره‌های درون‌توده باشند).



- وجود چشمه‌ها یا استخرهای طبیعی آب در قسمت‌های مختلف
- انباشت مصالح سست در کناره تپه و گسترش برخی از آنها تا رودخانه که باعث خمیدگی و حتی تغییر راستای رودخانه شده‌اند (توده لغزیده).
- دامنه‌ها یا سکوه‌های ظاهراً فرو افتاده و بدون ارتباط با یکدیگر که از بالا تا پایین همراه با تعدادی سکو یا تپه‌ماهورند (دیواره‌های درون‌توده).
- در دره‌ها و روی دامنه‌ها آثاری از تغییر مسیر رود وجود دارد که بالای دامنه مسطح شده و شیب کف دره کم یا زیاد شده‌است.
- در هم ریختگی توده‌های سنگی و خاکی، به هم ریختگی در لایه‌بندی یا سیستم گسستگی‌ها، سازندهای سنگی به هم ریخته یا تکرار شده، نشانه‌های قابل ملاحظه‌ای از تغییر شکل و حرکت در توده‌های سنگی‌اند.
- درختها روی تپه‌ها به یک سو کج شدگی دارند و تفاوت بارزی با تپه‌های دارای وضعیت طبیعی نشان می‌دهند.
- پوشش زمین نشانه غیرمستقیمی از پایداری دامنه تپه‌ها است. زمین بدون پوشش گیاهی یا پوشش ناچیز، نشانه فرسایش سریعتر و ناپایداری بیشتر در مقایسه با جنگلهای حفاظت شده با پوشش گیاهی انبوه است و کمتر مستعد فرآیند فروریزی دامنه‌ها<sup>۱</sup> است.
- به‌طور کلی آب زیرزمینی در طول گسستگیهای ساختاری در توده سنگها حرکت می‌کند و الگوی جریانی آن یکنواخت نیست. ارزیابی مشاهدات رفتاری آب زیرزمینی در دامنه‌ها برای یک منطقه گسترده ممکن نیست. در نتیجه، برای اینکه ارزیابی سریعی انجام شود، طبیعت نشانه‌های سطحی رفتار آب زیرزمینی، داده‌های ارزشمندی را در مورد پایداری دامنه‌ها فراهم می‌کند؛ مانند: جابه‌جایی دهانه چشمه‌ها، موقعیت گل روان‌ها و ...
- در دامنه‌هایی که وضعیت زمین‌شناسی آنها به شرح زیر است، تحت شرایط ویژه‌ای ممکن است زمین لغزه رخ دهد:
  - دامنه بلند و پرشیب به‌وجود آمده در خاکهای آماس‌پذیر و یا سنگهای ضعیف مانند: توف، سنگ رسی، شیل، فیلیت، میکاشیست، کلریت شیست و گرافیت شیست، مستعد فرسایش اند و به سهولت موجب رخداد زمین لغزه می‌شوند. فیلیت‌ها و شیست‌ها به لحاظ دارا بودن کانیهای ورقه‌ای به سرعت هوازده شده و باعث ناپایداری می‌شوند، بنابراین وجود توده‌های لغزشی در آنها امکانپذیر است.
  - در مورد خاک، خاستگاه و سن مصالح پارامترهای اصلی است. به‌طور کلی رسوبات آبرفتی قدیمی خوب متراکم‌اند و مقاومت برشی بالایی دارند. در صورتی که مصالح جوان نظیر واریزه‌ها، سست‌اند و مقاومت برشی کمی دارند. لغزشها در این گونه خاکها زیاد دیده می‌شود.
  - ساختارهای نامساعد توده سنگ با سطوح ضعیف (لایه‌بندی، گسل، سیستم گسستگیها) که موازی دامنه‌ها شکل می‌گیرند و از تلاقی آنها ممکن است گوه‌های ناپایداری را تشکیل دهند.
  - توده‌های سنگی که زیر انباشته‌ای از مصالح سست قرار دارند و دارای سطوح ضعیف موازی دامنه‌اند. بر اثر

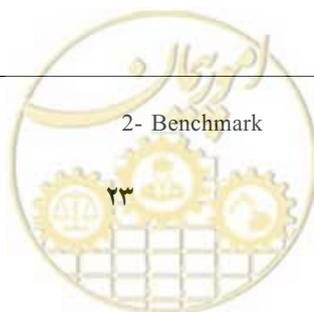


عملکرد آب زیرزمینی و آب مخازن سد، در این مکانها ممکن است لغزش رخ دهد. در صورتی که سطوح ضعیف در توده سنگ زیرین دارای زاویه شیب کمتر از ۲۰ درجه باشد و در قسمت پایین دامنه<sup>۱</sup>، بلوکهای سنگی و دیگر مصالح مقاوم وجود داشته باشد، ممکن است دامنه پایدار بماند.

- در بررسیهای صحرایی، باید بین مناطق تکتونیکی تغییر شکل یافته و زمین لغزهها، تفاوت قائل شد. شکافهای شاخه‌ای در توده سنگهای تغییر شکل یافته که هم روند با ساختارهای تکتونیکی منطقه نیستند و انباشت بسیار ضخیم مصالح ناهمگن در قسمت‌های بالایی دامنه‌ها، نشانگر زمین لغزه است.
- در محدوده دریاچه آتی ساختگاههای مورد بررسی، چنانچه پایین‌مرز زمین لغزه به آب دریاچه برسد، ولی در آنجا بلوکهای عظیم سنگی و دیگر مصالح مقاوم وجود داشته باشد، زمین لغزه ممکن است پایدار بماند.
- بلوکهای حجیم سنگی ناپایدار واقع در نزدیکی ساختگاه سد، بعد از آگیری و در شرایط دریاچه پر، بسیار خطرناک خواهند بود.

## ۶- توصیه‌هایی برای بررسی زمین لغزه در برداشتهای زمینی

- برای بررسی و ارزیابی اولیه ناپایداری زمین لغزه‌های یافت شده در محدوده اثر کننده بر سازه، استفاده از جدول شماره ۳ توصیه می‌شود.
- چنانچه توده لغزیده در محدوده مخزن سد باشد با بهره‌گیری از عکسهای هوایی، مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ یا بزرگتر، نقشه ریختاری - ساختاری زمین لغزه و پیرامون آن تهیه شده و در آن عنصرهای زمین لغزه تا آنجا که امکان داشته باشد، مشخص خواهد شد.
- افزوده بر آن، برنامه بررسیهای تفصیلی زمین لغزه تنظیم می‌شود تا در ادامه بررسیها به مرحله اجرا درآید. در این برنامه‌ریزی، بررسیهای ژئوفیزیک، گمانه‌زنی، حفر چاهکها و همچنین نشانه‌های کنترل جنبش<sup>۲</sup> گنجانیده خواهد شد.



جدول ۳- نکاتی که باید در زمین برای بررسی و ارزیابی اولیه ناپایداری زمین لغزه مورد توجه قرار گیرد :

ردیف	موقعیت	نکات مورد توجه
۱	پیشانی زمین لغزه	۱- شکل و اندازه ۲- وجود ترکها و شکافها (کمیت، کیفیت، ...) ۳- بخش مستعد لغزش آتی (ابعاد، احتمال وقوع، عوامل ایجادکننده، روشهای مقابله)
۲	دیواره لغزشگاه	۱- وضعیت هندسی ۲- ویژگیهای سطح لغزش ۳- نشست آب ۴- تازگی
۳	بالا نقطه سرمرز	۱- موقعیت ۲- تراز ۳- علت
۴	سرمرز	۱- شکل و اندازه ۲- بازشدگی نسبت به سطح لغزش
۵	دیواره درونتوده	۱- وضعیت هندسی ۲- ویژگیهای سطح لغزش ۳- نشست آب ۴- تازگی
۶	توده لغزیده	۱- وضعیت هندسی ۲- جنس ۳- میزان دستخوردگی ۴- پایداری
۷	توده تازیده	۱- وضعیت هندسی ۲- جنس ۳- میزان دستخوردگی ۴- پایداری
۸	نقطه پیشتاز	۱- موقعیت ۲- تراز
۹	پایین مرز - تازیده	۱- شکل و اندازه ۲- موقعیت
۱۰	سطح گسستگی	۱- وضعیت هندسی (شکل، اندازه، ...) ۲- ویژگیهای سطح لغزش ۳- نشست آب ۴- برآورد ادامه سطح لغزش در زیرزمین
۱۱	پایین مرز گسستگی	(در صورت دیده شدن) ۱- موقعیت ۲- شکل ۳- تراوش آب
۱۲	بستر توده تازیده	۱- شکل ۲- اندازه
۱۳	تنه لغزیده، لغزیده تود	۱- وضعیت هندسی ۲- جنس ۳- میزان دستخوردگی ۴- پایداری
۱۴	زون فرولغزش	۱- وضعیت هندسی ۲- جنس ۳- میزان دستخوردگی ۴- پایداری
۱۵	زون انباشته تود	۱- وضعیت هندسی ۲- جنس ۳- میزان دستخوردگی ۴- پایداری
۱۶	خالگاه، قسمت خالی شده	۱- وجود بلوک سنگها در کف، ۲- پوشش گیاهی، ۳- زهاب و ...
۱۷	قسمت زیرین توده لغزیده	۱- وضعیت هندسی ۲- جنس ۳- میزان دستخوردگی ۴- پایداری
۱۸	انباشت	۱- وضعیت هندسی ۲- جنس ۳- میزان دستخوردگی ۴- پایداری
۱۹	کنار مرز	۱- شکل و اندازه ۲- وجود ترک و شکاف



## منابع و مأخذ

- ۱- ابوالحسن رده (۱۳۷۱) واژگان زمین‌لغزه، علوم زمین شماره ۵.
- 2- Anbalagan, R.(1992),Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain, Eng. Geol., 32, 269-277,Elsevier.
- 3- Bell.F.G.(1987), Ground Engineers Reference Book, Blytherworths.
- 4- Blyth,F.G.H.and defreitas ,M.H., (1975), A Geology for Engineers, Arnold.
- 5- Cooke, R.u. and Doornkamp (1974), Geomorphology in Environmental Management, Clarendon press, oxford.
- 6- Winter korn .H.F. and H. Yang Fang, (1975), Foundation Eng.Handbook, VNR.
- 7- Zaruba, Q. and Mencl , V. (1976), Eng. Geology, Elsevier.
- 8- Zaruba ,Q.and Mencl,V.(1982), Landslides and their Control, Elsevier.
- 9- Goodman, R.E. (1989), Introduction to Rock Mech. Second edi.
- 10- HOEK, E & Bray, J.W.(1977) Rock Store Engineering Second Edt. Institutional Mining and Metallurgy.



Islamic Republic of Iran

# **Investigation of landslide potential in dam sit and related structures**

**No: 229**

Management and Planning Organization  
Office of the Deputy for Technical Affairs  
Bureau of Technical Affairs and Standards

Ministry of Energy  
Water Engineering Standards Plan  
Iran Water Resources Management Organization

2001/2002



## این نشریه

با عنوان "بررسی پتانسیل لغزش در محدوده سد‌ها و سازه‌های وابسته" در برگزیده عنصرهای یک زمین‌لغزه، علت لغزش زمین، رده‌بندی زمین‌لغزه‌ها، تقسیم‌بندی برپایه فعالیت، تقسیم‌بندی برپایه مکانیسم تشکیل، شناسایی زمین‌لغزه‌ها و در نهایت توصیه‌هایی برای بررسی زمین‌لغزه در برداشت‌های زمینی است. با توجه به اینکه رانش زمین در محدوده سد‌ها و سازه‌های وابسته آن، می‌تواند ایمنی افراد و ماشین‌آلات را به هنگام اجرا مورد مخاطره قرار دهد، تأخیر در اجرا را باعث شود، ایمنی سازه‌ها را به هنگام بهره‌برداری تهدید کند و سیستم هیدرولیک (سد و مخزن) را مختل سازد، شناسایی و بررسی توده‌های لغزشی ضرورت می‌یابد.

معاونت امور پشتیبانی  
مرکز مدارک علمی و انتشارات

ISBN 964-425-309-4



9789644253096



omoorepeyman.ir