

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه زنجان

دانشکده علوم - گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان :

مطالعه‌ی زمین لغزش و اندازه گیری جابجایی در صفحه و
خارج از صفحه‌ی نسبی زمین در چند منطقه در استان
زنجان با استفاده از تکنیک ماره

نگارش :

زهرا اسکندری

اساتید راهنما :

دکتر یوسفعلی عابدینی

دکتر سیف اله رسولی

بهمن ۱۳۸۸

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

و

همسر مهربانم

تقدیر و تشکر

بدین وسیله نگارنده از زحمات و راهنمایی‌های بی دریغ اساتید محترم، جناب آقای دکتر سیف اله رسولی و جناب آقای دکتر یوسفعلی عابدینی تقدیر و تشکر می‌نماید. همچنین از اداره آبخیزداری استان زنجان، اهالی محترم روستای قلقاتی بویژه خانواده محترم بیگدلی و همه کسانی که در اجرای این تحقیق مساعدت و همکاری داشتند، قدردانی می‌شود. از پدر، مادر و همسر مهربان و کلیه عزیزانی که در طی مسیر تحصیل و پژوهش همواره پشتیبانی و حمایت نموده‌اند سپاسگزاری می‌گردد.

چکیده

در این پایان نامه از خاصیت بزرگنمایی تکنیک ماره برای اندازه‌گیری جابجایی‌های کوچک در پدیده زمین لغزش بطور زمان واقعی استفاده می‌شود. نقش یک توری روی دیوار اتاق یکی از منازل مسکونی روستای قلقاتی که در اثر لغزش زمین در سنوات گذشته بکرات دچار ترک شده بود، چاپ شد. روستای قلقاتی در ۶۵ کیلومتری جنوب غربی شهر زنجان در مسیر زنجان - بیجار قرار دارد. تصویر این توری توسط دستگاه تصویرساز روی توری دیگری که راستای خطوط آن با خطوط توری اول زاویه کوچکی دارد، تشکیل می‌شود و فریزهای ماره ظاهر می‌گردد. در هر ۵ دقیقه یک تصویر از فریزهای ماره توسط دوربین CCD در حافظه رایانه ثبت می‌شود. این دستگاه بطور پیوسته و خودکار در تابستان سال ۱۳۸۸ تصاویر پی در پی نقش ماره را در حافظه رایانه ثبت کرده است. در اثر لغزش زمین، فریزهای ماره نسبت به هم جابجا شده و با تحلیل فریزهای ماره، میزان جابجایی آنها و در نتیجه مقدار لغزش زمین و رفتار زمانی آن تعیین می‌گردد. از مزایای این روش هزینه پایین و دقت بالای آن است.

فهرست مطالب صفحه

فصل اول مقدمه	۱
فصل دوم زمین لغزش	۴
۱-۲ تعریف زمین لغزش	۵
۲-۲ وضعیت زمین لغزشها در ایران	۶
۳-۲ بخش‌های یک زمین لغزش	۷
۴-۲ نیروهای مؤثر در وقوع زمین لغزش	۹
۵-۲ طبقه بندی زمین لغزشها	۱۱
۶-۲ مراحل حرکت شیب	۱۶
۷-۲ ضریب اطمینان	۱۷
۱-۷-۲ ضریب اطمینان در زمین لغزش انتقالی	۱۸
۲-۷-۲ ضریب اطمینان در زمین لغزش چرخشی	۱۹
۸-۲ عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش	۲۰
۱-۸-۲ عوامل مؤثر در افزایش تنش برشی	۲۰
۲-۸-۲ عوامل مؤثر در کاهش مقاومت برشی	۲۲
۹-۲ علائم هشدار دهنده زمین لغزش	۲۳
۱۰-۲ پیامدهای زمین لغزش	۲۵
۱۱-۲ روش‌های پایدارسازی و تثبیت زمین لغزشها	۲۷
۱۲-۲ رفتارنگاری یا ثبت روند جابجایی‌ها در شیب‌های ناپایدار	۳۶
۱-۱۲-۲ نقشه برداری	۳۶
۲-۱۲-۲ دورسنجی	۳۶
۱-۲-۱۲-۲ تصویربرداری INSAR	۳۷
۲-۲-۱۲-۲ تصویر برداری LIDAR	۳۸
۳-۱۲-۲ پایش بهنگام زمین لغزشها	۳۹
فصل سوم تکنیک ماره	۴۰
۱-۳ نقش ماره	۴۱

۴۲	..... روش‌های بررسی فریزهای ماره	۲-۳
۴۲	..... روش هندسی	۱-۲-۳
۴۴	..... روش معادلات پارامتریک	۲-۲-۳
۴۶	..... روش سری فوریه	۳-۲-۳
۴۸	..... روش فضای فوریه	۴-۲-۳
۵۰	..... اندازه‌گیری جابجایی‌های در صفحه	۳-۳
۵۳	فصل چهارم کارهای تجربی	
۵۴	..... مکان یابی	۱-۴
۵۵	..... استقرار چیدمان پروژه در آزمایشگاه	۲-۴
۵۸	..... استقرار چیدمان پروژه در روستای قلقاتی	۳-۴
۵۹	..... ثبت و پردازش تصاویر	۴-۴
۶۱	..... نتایج کار تجربی	۵-۴
۷۰	فصل پنجم نتیجه‌گیری	
۷۳	منابع و مراجع	
۷۸	واژه نامه فارسی به انگلیسی	

فصل اول

مقدمه

مطالعه‌ی علمی و جامع پدیده زمین لغزش به دلایل متعدد از اهمیت زیادی برخوردار است. مطالعه پایداری شیب در محل اجرای پروژه‌های عمده عمرانی از قبیل انتخاب مسیر بزرگراهها و راههای کوهستانی، انتخاب محل احداث سدها، احداث تونل‌های عبور و مرور، توسعه جنگل‌ها و مراتع، بسیار مهم و حساس می‌باشد. عدم توجه به این مسئله خسارات جبران ناپذیری را می‌تواند به دنبال داشته باشد. سازمان یونسکو^۱ دهه ۹۰ میلادی را به عنوان دهه مقابله با بلایای طبیعی نامگذاری کرده و زمین لغزش را به عنوان یکی از اشکال بلایای طبیعی مطرح نموده است [۱]. امروزه توجه به پدیده زمین لغزش، بعنوان یکی از اشکال حوادث غیرمترقبه و پیش بینی، شناسایی، کنترل و کاهش خطرات و خسارات ناشی از آن امری ضروری می‌باشد.

زمین لغزش، حرکت و جابجایی بخشی از مواد دامنه در امتداد یک سطح گسیختگی مشخص است که دو نوع متغیر نیمه استاتیکی و دینامیکی در وقوع آن سهیم می‌باشد. مشخصات زمین شناسی و شیب، خواص ژئوتکنیک و طرح زهکشی دراز مدت جزء متغیرهای نیمه استاتیکی محسوب شده و در خصوص متغیرهای دینامیکی می‌توان به وقوع زلزله و بارندگی اشاره نمود [۲]. مناطق مستعد به زمین لغزش، مورد رفتارسنجی قرار می‌گیرند. از جمله روش‌های رفتارسنجی می‌توان به نقشه برداری معمولی، استفاده از ابزارهای برداشت صحرایی، GPS^۲، سیستم لرزه نگاری و یا روش‌های سنجش از راه دور اشاره نمود [۳].

ماره پدیده شناخته شده‌ای است که در اثر برهم نهی ساختارهای تناوبی (مانند توری‌های خطی) به صورت فریزهای کاملاً مرئی ایجاد می‌شود که این فریزها در هر یک از ساختارهای اولیه وجود ندارند [۴]. تکنیک ماره خاصیت بزرگنمایی دارد لذا از این تکنیک برای اندازه‌گیری جابجایی‌های کوچک، انحراف‌های کوچک باریکه نور و حرکت‌های آهسته در شاخه‌های مختلف علوم و فنون استفاده می‌شود. همچنین از تکنیک ماره در مطالعه تلاطم جو [۵-۹]، اعوجاج شیشه [۱۰]، اندازه‌گیری گرادیان دما در هوا [۱۱]، اپتیک غیر خطی [۱۲] و طیف سنجی [۱۳] استفاده شده است.

در سال ۱۹۶۹ وسیله‌ای جدید توسط Blahoslav Kostak برای آشکارسازی و اندازه‌گیری حرکت در پیوندگاههای صخره‌ها با استفاده از دو نقش ماره ارائه گردید. وی با توری‌های دایره‌ای دو نقش ماره هذلولی مجزا را ظاهر نمود و از طریق شمارش تعداد و جهت جابجایی فریزها، جابجایی‌ها را در دو صفحه افقی و عمودی اندازه‌گیری کرد [۱۴]. از آنجاییکه در این روش، جابجایی با تعداد فریزها متناسب بوده و تعداد فریزها به صورت عدد صحیح فرد گزارش می‌شود لذا فقط جابجایی‌هایی ثبت می‌شوند که در حد محو دو فریز کامل باشند که این مسئله دقت اندازه‌گیری این روش را محدود می‌نماید. از طرفی در صورت همدمایی فولاد و صخره، تغییرات ابعادی بازوهای فولادی (نگهدارنده‌های دو واحد ماره‌ای) ناشی از تغییرات دما می‌تواند به عنوان انبساط تکه‌های

^۱ United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (UNESCO)

^۲ Global Positioning System

سنگ در نظر گرفته شود. این وسیله به کرنش سنج TM-71 موسوم بوده و در کشورهای بلغارستان، پرو، کانادا و اسلواکی بکار گرفته شده است [۱۶و۱۵].

در برخی از روستاهای استان زنجان زمین لغزش رخ می‌دهد. لذا روشی که بتواند جابجایی زمین لغزش را بطور دقیق اندازه‌گیری نماید از اهمیت خاصی برخوردار است. طبق بررسی‌های انجام شده توسط اداره آبخیزداری استان زنجان، روستای قلقاتی واقع در ۶۵ کیلومتری جاده زنجان - بیجار به دلیل شرایط خاص زمین‌شناسی، آب و هوایی و پوشش گیاهی از مهمترین مناطق مستعد برای وقوع زمین لغزش در این استان است.

در این رساله از تکنیک ماره برای اندازه‌گیری جابجایی‌های کوچک در پدیده زمین لغزش استفاده شده است. نقش توری اول روی دیوار اتاق یکی از منازل مسکونی روستای قلقاتی که در سال‌های گذشته بر اثر این پدیده بکرات ترک خورده بود، چاپ شد. تصویر این توری توسط دستگاه تصویرساز روی توری دوم که راستای خطوط آن با خطوط توری اول زاویه کوچکی داشت، تشکیل شد و فریزهای ماره ظاهر گردید. تصاویر زمان واقعی فریزهای ماره با استفاده از دوربین تصویربرداری مجهز به CCD^۱ در فاصله‌های زمانی ۵ دقیقه توسط رایانه ثبت شد. در اثر زمین لغزش فریزهای ماره نسبت به هم جابجا شده و با تحلیل این فریزها، میزان جابجایی آنها و در نتیجه مقدار لغزش زمین و رفتار زمانی آن تعیین گردید. هزینه پایین و دقت بالا از مزایای این روش است.

فصل دوم این رساله به معرفی تکنیک ماره و روش‌های آن اختصاص دارد. در فصل سوم زمین لغزش، شرایط وقوع و عوامل مؤثر بر آن مورد بررسی قرار گرفته و همچنین به روش‌های مهار آن اشاره شده است. روش تحقیق در فصل چهارم تشریح شده و در فصل پنجم نتایج تحقیق ارائه شده است.

^۱Charge Coupled Device

فصل دوم

زمین لغزش

۱-۲ تعریف زمین لغزش

تعاریف و اصطلاحات متعددی از قبیل حرکت توده‌ای، حرکت شیب و زمین لغزش توسط مؤلفین و محققین برای بیان پدیده زمین لغزش ارائه شده است که از لحاظ مفهومی دارای وجوه مشترک زیاد و یا یکسان بوده و از نظر کاربردی نسبتاً مشابه می‌باشند. از میان این تعاریف و اصطلاحات، عبارت زمین لغزش، تخصصی تر و کاربردی تر بوده و بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. بطور کلی به حرکت مواد تشکیل دهنده زمین اعم از خاک و سنگ که در مناطق شیبدار تحت تأثیر نیروی ثقل به طرف پایین صورت می‌گیرد، زمین لغزش گفته می‌شود.

پدیده زمین لغزش عموماً در مناطق کوهستانی ایجاد می‌شود. این پدیده عمدتاً با فعالیت‌های لرزه‌ای و آب و هوایی تحریک شده و اغلب در اثر بارندگی رخ می‌دهد. بروز زمین لغزش عموماً به تلفات جانی و خسارات مالی زیادی منجر می‌شود. علاوه بر زیان‌های اقتصادی و جانی، خسارات غیر مستقیم زمین لغزش‌ها مانند هدر رفت خاک، افزایش حجم رسوبات در پشت سدها، تغییر اکوسیستم مناطق و از بین رفتن جنگل‌ها، ضرورت بررسی و تحلیل دقیق تر زمین لغزش‌ها را دو چندان می‌کند [۱۷ و ۳]. در شکل ۱-۲ تصاویری از زمین لغزش رخ داده در لاکونچیتا^۴ و السالوادور^۵ نشان داده شده است.



(ب)



(الف)

شکل ۱-۲: وقوع زمین لغزش در الف) لاکونچیتا در سال ۱۹۹۵ و ب) السالوادور در سال ۲۰۰۱

^۴ La Conchita

^۵ El Salvador

سه شرط لازم برای وقوع زمین لغزش عبارتند از :

- ۱- شیب زمین باید به اندازه کافی تند باشد تا توده خاک بتواند بلغزد.
- ۲- در لایه‌های زیرین زمین یک لایه غیر قابل نفوذ یا با نفوذ پذیری کم نسبت به جریان آب وجود داشته باشد و در عین حال مصالح و مواد لایه‌های سطحی زمین از نفوذ پذیری مناسبی نسبت به آب برخوردار باشد.
- ۳- در لایه سطحی زمین، آب به مقدار کافی وجود داشته باشد [۱۸].

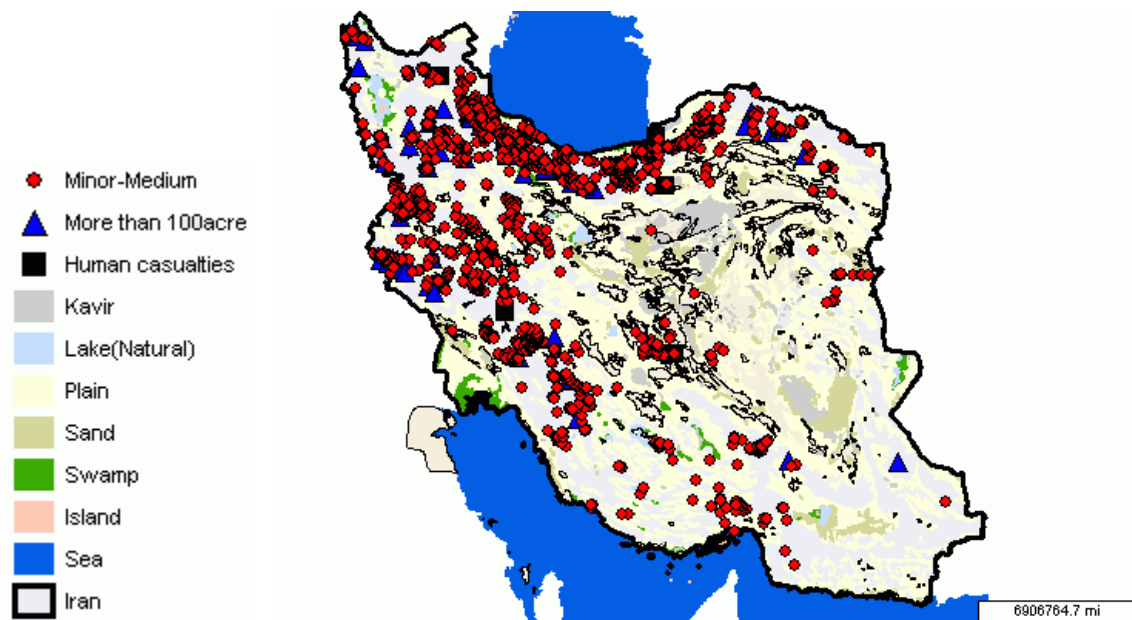
۲-۲ وضعیت زمین لغزش‌ها در ایران

ایران یکی از کشورهای زلزله خیز جهان با شرایط زمین شناسی پیچیده و بارندگی‌های فصلی است. این عوامل در ایجاد خطرات طبیعی شامل زمین لغزش و انواع حرکات توده‌ای که منجر به تلفات جانی و خسارات مالی می‌شود، مؤثر است. به دلیل شرایط خاص زمین شناسی (فعالیت گسل‌ها، سنگ شناسی، سازندهای فرسایش پذیر) آب و هوایی، لرزه خیزی، پوشش گیاهی و همچنین کم توجهی به قابلیت اراضی در مناطق مختلف، سالانه خسارات سنگینی را در اثر وقوع این پدیده تحمیل می‌شود.

با توجه به اینکه دو سوم از مساحت زمین‌های کشورمان از کوه‌ها و تپه‌ها تشکیل شده است، لذا با داشتن چنین شرایط طبیعی و با علم به اینکه زمین لغزش در مناطق شیبدار به وقوع می‌پیوندد، می‌توان نتیجه گیری کرد که ایران یکی از کشورهای مستعد به زمین لغزش است. توزیع زمین لغزش‌ها در کشور (شکل ۲-۲) نشان می‌دهد که اکثر زمین لغزش‌ها در مناطق حاشیه ارتفاعات البرز و زاگرس قرار دارد [۱۹ و ۳۱].

پدیده زمین لغزش در تاقدیس‌های بزرگ زاگرس نظیر کبیرکوه، اشترانکوه و دنا به تعدد یافت می‌شود. زمین لغزش تاریخی سیمره^۶ که بزرگ ترین زمین لغزش شناخته شده جهان است، در مرز بین استان‌های لرستان و ایلام، در جنوب غربی پل دختر رخ داده است. در این زمین لغزش که بیش از ۱۰۰۰۰ سال قبل رخ داده است، ورقه‌ای از آهک آسماری به طول ۱۵/۵ کیلومتر و حداقل ضخامت ۳۰۰ متر از یال شمال شرقی تاقدیس بزرگ کبیرکوه گسیخته شده و توده لغزشی در بیشینه جابجایی خود ۱۹/۵ کیلومتر به سمت شمال شرقی حرکت نموده و منطقه‌ای به وسعت ۱۷۳ کیلومتر مربع را پوشانده است. توده لغزشی با مسدود کردن مسیر رودخانه سیمرهف کشکان، علاوه بر تغییر مسیر این رودخانه، دریاچه‌هایی در حاشیه غربی و شمال شرقی خود ایجاد نموده است [۲۰ و ۲۱].

⁶ Saidmarreh



شکل ۲-۲: توزیع زمین لغزش‌ها در ایران [۳۰]

۳-۲ بخش‌های یک زمین لغزش

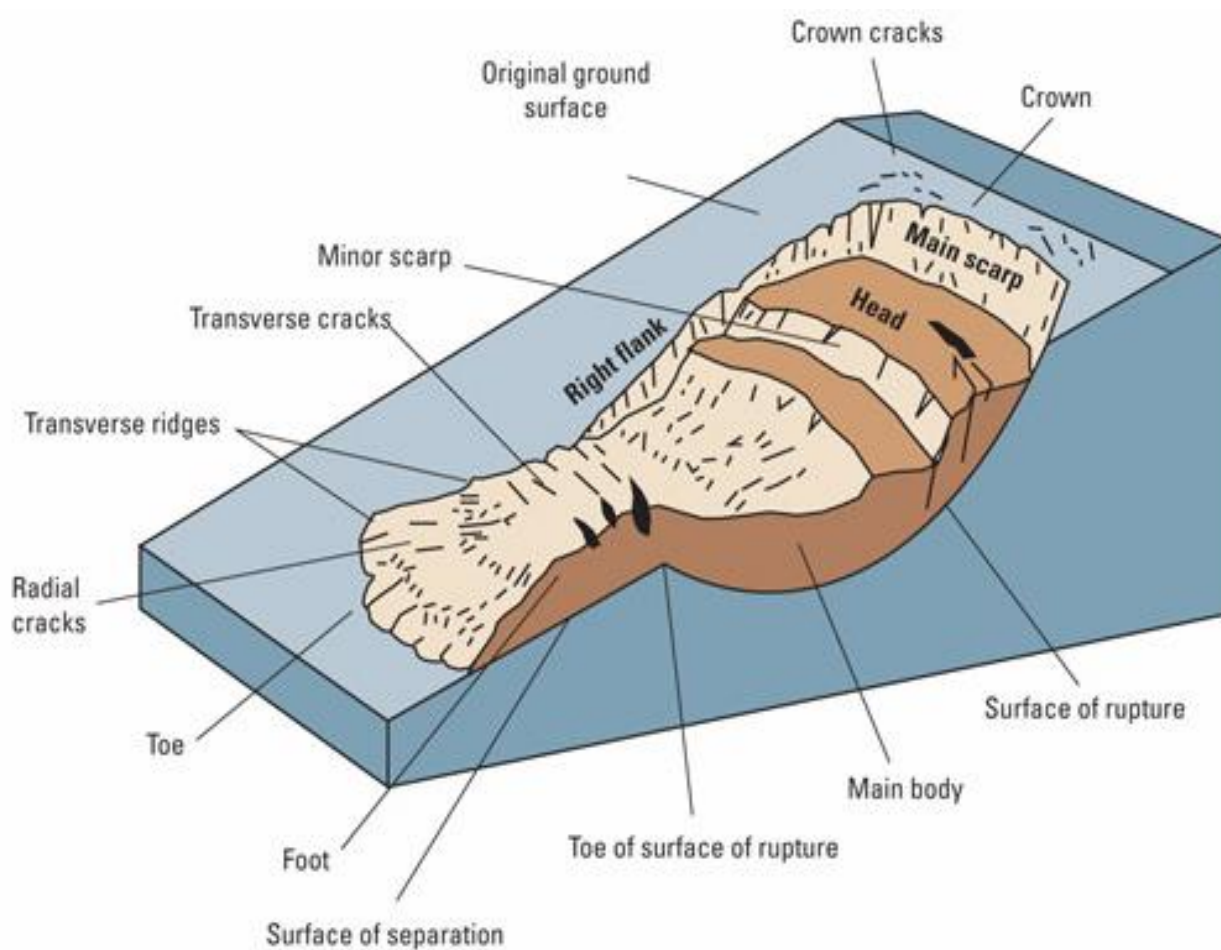
در شکل ۳-۳ تصویر شماتیک یک زمین لغزش و بخش‌های مختلف آن نشان داده شده است [۲۲].
 سطح اولیه زمین (Original ground surface): سطح دامنه که پیش از رخداد زمین لغزش وجود داشته است.
 سطح جدایش (Surface of separation): بخشی از سطح کنونی زمین که توسط پای لغزش پوشیده شده است.
 سطح گسیختگی (Surface of rupture): سطح واقع در زیر توده جابجا شده که حرکت توده مواد در راستای آن صورت می‌پذیرد. این سطح، سطح لغزش و سطح برش نیز گفته می‌شود.
 پنجه (Toe): انحنای لبه توده جابجا شده در پایین ترین سطح را پنجه زمین لغزش می‌نامند.
 پنجه سطح گسیختگی (Toe of Surface of rupture): محل تلاقی پایین ترین سطح صفحه گسیختگی با سطح اولیه زمین است.
 پای لغزش (foot): آن بخش از زمین لغزش است که از محدوده پنجه سطح گسیختگی فراتر رفته و سطح اولیه زمین را می‌پوشاند.
 افتگاه اصلی (Main scarp): سطحی با شیب تند واقع در لبه بالایی زمین لغزش که در اثر جدایش توده جابجا شده از زمین حاصل شده است.
 افتگاه‌های فرعی (Minor scarp): سطوحی با شیب تند در توده جابجا شده که در اثر لغزش‌های موضعی در داخل زمین لغزش اصلی بوجود می‌آیند.

توده اصلی (Main body): بخشی از توده جابجا شده که سطح گسیختگی را در بین افتگاه اصلی و پنجه لغزش پوشانده است.

سر (Head): بالاترین سطح توده جابجا شده در طول سطح تماس بین توده جابجا شده و افتگاه اصلی زمین لغزش می‌باشد.

تاج (Crown): مواد جابجا نشده که در مجاورت بالاترین بخش افتگاه اصلی زمین لغزش قرار دارد.

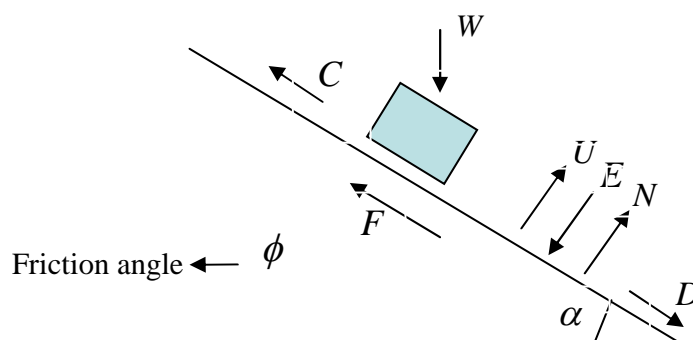
پهلوی لغزش (Flank): مواد جابجا نشده مجاور پهلوه‌های سطح گسیختگی است که یا پهلوی راست و پهلوی چپ نامیده شده و یا با استفاده از جهات جغرافیایی معرفی می‌شود.



شکل ۲-۳: بخش‌های یک زمین لغزش [۲۲]

۴-۲ نیروهای مؤثر در وقوع لغزش

شکل ۴-۲ نیروهای مؤثر در وقوع زمین لغزش را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲: نیروهای مؤثر در وقوع زمین لغزش [۲۴]

W نیروی گرانی با دو مؤلفه D و N است که N تنش عمودی سطح لغزشی است و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$N = W \cos \alpha - U \quad (1-2)$$

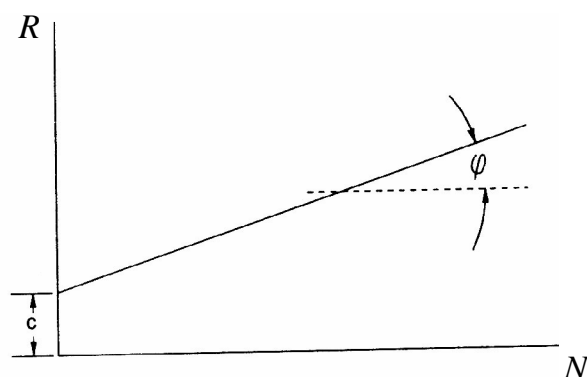
در این رابطه U نیروی ناشی از فشار آب منفذی و به عبارت دیگر فشار آب موجود در حفرات خالی بین دانه‌های ذرات خاک است. وقتی که رطوبت خاک به شرایط اشباع نزدیک است یا حجم فضای خالی خاک در اثر بارگذاری کاهش می‌یابد، فشار آب منفذی ایجاد می‌گردد. این موضوع به واسطه خاصیت تراکم ناپذیری آب است. اعمال بار عمودی، تنش نرمال را به مقدار فشار آب حفره‌ای کاهش می‌دهد. سطح آب زیر زمینی نیز باعث ایجاد فشار آب منفذی در سنگ‌ها و خاک‌های اشباع می‌شود. افزایش فشار آب منفذی ممکن است باعث ایجاد گسیختگی در شیب‌ها شده و کاهش آن سبب فرو نشست در خاک‌های رسی می‌شود. در واقع بالا آمدن سطوح ایستایی آب و افزایش فشار آن در اغلب گسیختگی‌های دامنه‌ای مؤثر بوده و اکثر زمین لغزش‌ها نیز در خلال باران‌های شدید حادث می‌شود. D نیروی برشی است که رابطه آن به صورت زیر است:

$$D = W \sin \alpha \quad (2-2)$$

نیروهای برشی که در جهت لغزش عمل می‌کنند بر اثر گرانش زمین و فشار آب موجود در منافذ خاک و سنگ ایجاد می‌شوند. درزه‌های کششی یا شکاف‌های باز واقع در بالای یک سطح لغزش می‌توانند حاوی آب باشند و فشار آب درزه‌ای افقی را وارد نمایند و در مجموع به نیروی برشی افزوده می‌شوند. C نیروی چسبندگی بین ذرات ناشی از وجود ذرات ریزدانه در خاک است و بر اثر اتصالات بین دانه‌ای ایجاد می‌شود که در رس‌ها دارای بیشترین مقدار بوده و در ماسه‌های خالص نزدیک به صفر است. نیروی چسبندگی در عرض صفحه لغزش است و به تنش عمودی اعمال شده به خاک وابسته

نیست. ذرات و اجزای تشکیل دهنده خاک، بدون نیروی چسبندگی نمی‌توانند به طور پیوسته در کنار هم باقی بمانند مگر آنکه متراکم گردند.

ϕ زاویه اصطکاک ایستایی ناشی از زبری ساختمانی ذرات است که مقدار آن در ماسه بیشتر از رس می‌باشد و مقاومت اصطکاکی خاک را در مقابل گسیختگی برشی نشان می‌دهد. هر کدام از مصالح خاک زاویه شیب (α) تعادل مخصوص به خود دارد. مثلاً رسها در زاویه بیش از ۱۰ درجه ناپایدار بوده که تقریباً $\frac{1}{2}$ مقدار ϕ می‌باشد. دامنه‌ها معمولاً در جهت شکستگی اصلی با شیب بیش از ϕ دچار تخریب می‌شوند. با نقطه یابی تنش عمودی بر روی محور طولی و مقاومت برشی روی محور عرضی، یک خط مستقیم بدست می‌آید که زاویه آن، زاویه اصطکاک ایستایی نامیده می‌شود.



شکل ۲-۵: نمودار مقاومت برشی بر حسب تنش عمودی. زاویه این نمودار با راستای افق، زاویه اصطکاک ایستایی نامیده می‌شود [۲۳].

F نیروی مقاومت اصطکاکی بر روی صفحه لغزشی است و به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$F = N \tan \phi \quad (۳-۲)$$

R نیروی مقاومت در برابر برش است که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$R = C + (W \cos \alpha - U) \tan \phi \quad (۴-۲)$$

این رابطه برای اولین بار در سال ۱۷۷۳ توسط کولمب^۷ پیشنهاد شده است. دانسیته، رطوبت و نسبت ذرات ریزدانه عواملی هستند که روی مقاومت برشی خاک اثر می‌گذارند. دانسیته ذرات نسبت تخلخل را در خاک تحت تأثیر قرار می‌دهد. خاک دارای دانسیته کم نسبت به همان خاک با دانسیته زیاد دارای مقاومت کمتری است. تراکم بیشتر نسبت تخلخل را کاهش داده و موجب می‌شود که تداخل ذرات خاک نسبت به هم بیشتر شود. تداخل ذرات خاک به طور مؤثری زاویه اصطکاک داخلی را افزایش می‌دهد. سایر مفاهیم فیزیکی ذرات خاک از قبیل شکل، زبری سطوح، و توزیع اندازه دانه نیز روی تداخل یا قفل‌شدگی ذرات خاک تأثیر خواهند گذاشت. چسبندگی

⁷ Coulomb

خاک و مقاومت اصطکاکی نیروهای مقاوم در برابر نیروی رانش هستند. مقاومت اصطکاکی، تنش عمودی و نیروی برشی همگی تابع توده لغزشی بوده و با افزایش ارتفاع شیب، افزایش می‌یابند. چسبندگی تابعی از سطح تماس بوده و مستقل از ارتفاع است و در نتیجه تأثیر نسبی کمتری بر دامنه‌های مرتفع دارد [۲۵، ۲۶ و ۲۷].

۲-۵ طبقه بندی زمین لغزش‌ها

طبقه بندی زمین لغزش‌ها، نوع حرکت و پتانسیل مخرب آنها را نشان می‌دهد. طبقه بندی‌های متفاوتی برای زمین لغزش ارائه شده است که اغلب بر اساس مکانیسم حرکت (افتان، سیلان، واژگونی، لغزش، گسترش)، نوع مواد (سنگ، واریزه، خاک) و درجه شکستگی توده جابجا شده بیان می‌شود. از جمله می‌توان به طبقه بندی‌های انجام شده توسط Varnes (۱۹۷۸)، Hutchinson (۱۹۸۸)، Crozier (۱۹۸۹)، Cruden و Varnes (۱۹۹۶)، Dikau (۱۹۹۶) اشاره نمود [۲۸]. در این بخش طبقه بندی ارائه شده توسط Cruden و Varnes بیان می‌شود که در جداول ۲-۱ تا ۳-۲ نشان داده شده است [۲۹].

جدول ۲-۱: طبقه بندی زمین لغزش‌ها بر اساس سرعت حرکت [۲۹]

Velocity class	Description	Velocity (mm/sec)	Typical Velocity	Human response
7	Extremely rapid	$>5 \times 10^3$	$> 5 \text{ m/sec}$	Nil
6	Very rapid	$<5 \times 10^3$ $>5 \times 10^1$	$<5 \text{ m/sec}$ $> 3 \text{ m/min}$	Nil
5	Rapid	$<5 \times 10^1$ $>5 \times 10^{-1}$	$< 3 \text{ m/min}$ $>1.8 \text{ m/hr}$	Evacuation
4	Moderate	$<5 \times 10^{-1}$ $>5 \times 10^{-3}$	$<1.8 \text{ m/hr}$ $>13 \text{ m/month}$	Evacuation
3	Slow	$<5 \times 10^{-3}$ $>5 \times 10^{-5}$	$<13 \text{ m/month}$ $>1.6 \text{ m/year}$	Maintenance
2	Very slow	$<5 \times 10^{-5}$ $>5 \times 10^{-7}$	$<1.6 \text{ m/year}$ $>16 \text{ m/year}$	Maintenance
1	Extremely slow	$<5 \times 10^{-7}$	$< 16 \text{ m/year}$	Nil

جدول ۲-۲: طبقه بندی حرکت‌های شیب [۲۹]

Type of movement	Type of material		
	Bedrock	Engineering soils	
		Predominantly coarse	Predominantly fine
Fall	Rock fall	Debris fall	Earth fall
Topple	Rock topple	Debris topple	Earth topple
Slide	Rock slide	Debris slide	Earth slide
Spread	Rock spread	Debris spread	Earth spread
Flow	Rock flow	Debris flow	Earth

جدول ۲-۳: طبقه بندی زمین لغزشها بر اساس الف) فعالیت و ب) مشخصات حرکت اولیه [۲۹]

(الف)

State	Distribution	Style
Active	Advancing	Complex
Reactivated	Retrogressive	Composite
Suspended	Widening	Multiple
Inactive	Enlarging	Successive
Dormant	Confined	Single
Abandoned	Diminishing	
Stabilised	Moving	
Relict		

(ب)

Rate	Water content	Material	Type
Extremely rapid	Dry	Rock	Fall
Very rapid	Moist	Soil	Topple
Rapid	Wet	Earth	Slide
Moderate	Very wet	Debris	Spread
Slow			Flow
Very slow			
Extremely slow			

بطور کلی، یک توده زمین لغزشی از خاک، سنگ یا هر دو تشکیل شده است. اگر مواد توده بیشتر حاوی ذرات در حد ماسه یا ریزتر باشد، تحت عنوان خاک (earth) و اگر از ذرات درشت تر تشکیل شده باشند تحت نام واریزه دسته بندی می شود. نوع حرکت، ساز و کار داخلی واقعی جابجایی توده زمین لغزش را توصیف می کند که شامل افتان، واژگونی، لغزش، گسترش و جریان است [۲۲، ۳۰ و ۳۱].

۲-۵-۱ افتانها

به حرکت مواد دامنه به صورت سقوط آزاد، جهشی و یا ترکیبی از آنها افتان اطلاق می شود (شکل ۲-۶). در واقع افتان سقوط توده های سنگ یا خاک است و پارامتری به نام سطح لغزش در آنها وجود ندارد. سقوط خاک اغلب زمانی اتفاق می افتد که یک لایه یا توده حساس به فرسایش در زیر یک ماده مقاوم در برابر فرسایش قرار بگیرد و شرط لازم برای سقوط توده های سنگ، وجود سنگ هایی با حداقل یک یا دو دسته درزه و نیز شیب زیاد سطوح گسیختگی است.



(ب)



(الف)

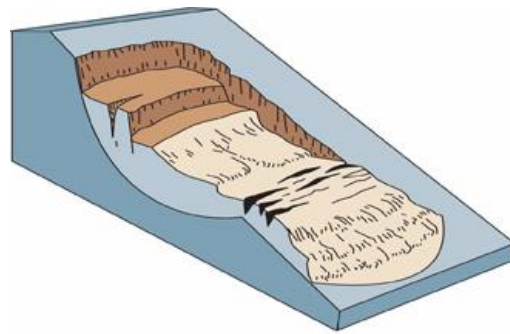
شکل ۲-۶: الف) نمایی شماتیک از سنگ افت و ب) یک سنگ افت که در نزدیکی دره کلیرکریک، کلرادو آمریکا در سال ۲۰۰۵ رخ داده است [۲۲].

۲-۵-۲ لغزش‌های چرخشی

در لغزش‌های چرخشی یا دایره‌ای سطح گسیختگی نسبتاً دورانی و چرخشی است و حرکت در روی یک سطح دایره‌ای و یا نزدیک به دایره به وقوع می‌پیوندد (شکل ۲-۷). حرکات تقریباً دورانی در این نوع لغزش حول محوری موازی با شیب دامنه رخ می‌دهد و گسیختگی در راستای سطوح منحنی و قاشقی شکل که حداکثر تنش برشی را اعمال می‌کنند، صورت می‌گیرد. توده جابجا شده در شرایطی ممکن است به صورت توده‌ای نسبتاً منسجم، در طول سطح گسیختگی با دگرشکلی درونی اندک حرکت کند.



(ب)



(الف)

شکل ۲-۷: الف) نمایی شماتیک از لغزش دورانی و ب) تصویری از لغزش دورانی که در ابتدای جاده فشم رخ داده است [۳۶].