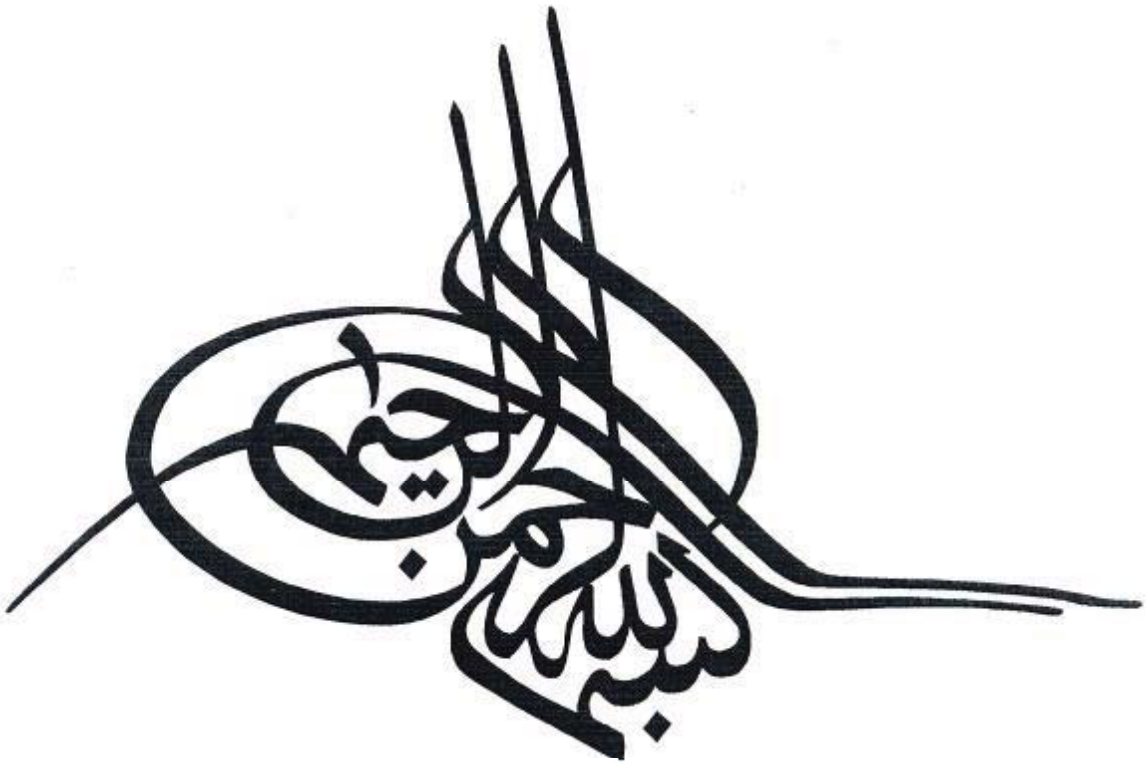

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه یزد
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران

پایان نامه
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
مهندسی عمران-خاک وپی

بررسی پایداری شیبهای خاکی نامحدود در مناطق شهری

اساتید راهنما:
جناب آقای دکتر رضا پورحسینی
جناب آقای پروفسور محمد حسن بازیار

استاد مشاور:
جناب آقای دکتر مهدی فلاح

پژوهش ونگارش:
سید رضا دانشی

شهریور ۱۳۸۸

تقدیم به

تمامی کسانی که مرا در رسیدن

به

موقعیت کنونی ام یاری نموده اند.

قدردانی و تشکر

پیش از هر چیز خدای بی همتا را سپاس می گویم که حس زیبای آموختن را در فطرت من نهاده و بدان حس مرا تا به این مرحله از زندگی رسانیده است. اکنون که با یاری او و تمامی استاید گرامی ام تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی ارشد به پایان رسانده ام امیدوارم که سپاسگزاری من از تمامی آنها جبران اندکی از تلاشهای بی دریغ آن اساتید پر تلاش باشد.

از استاد برجسته مکانیک و دینامیک خاک کشور جناب آقای پروفسور محمد حسن بازیار که علیرغم مشغله زیادشان در دانشگاه علم و صنعت، راهنمایی این پایان نامه را پذیرفته و با نهایت دقت و فراست پیگیر مطالعات اینجانب بودند، بینهایت سپاسگزارم و امیدوارم که خداوند متعال پیشرفت روز افزون را در کارنامه علمی ایشان ثبت نماید.

از جناب آقای دکتر رضا پورحسینی که در تمام مدت تحصیل اینجانب در دانشگاه یزد، علاوه بر راهنمایی نمودن اینجانب در مسیر دانش مکانیک خاک، الگوی اخلاقی و معنوی اینجانب نیز بوده اند هزاران بار سپاسگزارم. چراکه درتمام اوقاتی که به منظور رفع اشکال پایان نامه در خدمتشان بودم را به علت عشق ایشان در آموزش، متوجه گذشت زمان نمی شدم. امیدوارم که این پایان نامه، پایان راهنمایی های ایشان در زندگی من نباشد.

از جناب آقای دکتر مهدی فلاح که گرچه افتخار شاگردی در کلاس درس ایشان را نداشته ام، ولی همان ساعات چندی که به سبب مشاوره در پایان نامه در خدمتشان بودم برایم بسیار ثمر بخش بود، نیز کمال تشکر را دارم.

همچنین بر خود لازم میدانم که ازجناب آقای دکتر کاظم برخورداری که تدریس استادانه ایشان در درس مهندسی پی پیشرفته مرا هر چه بیشتر به مهندسی ژئوتکنیک علاقه مند نمود تشکر نمایم. همچنین تلاش بیشائبه ایشان در فراهم آوردن نرم افزار ها و منابع علمی به روز برای دانشجویان را نمیتوان فقط در قالب کلماتی چند قدردانی نمود ولی امیدوارم که تقدیر اینجانب ذره ای از زحمات دلسوزانه ایشان را جبران نماید.

همچنین ارادت و تشکر خود را نسبت به سایر اساتید دوره کارشناسی و کارشناسی ارشد از جمله، دکتر محمود قضاوی، دکتر حمید مهرنهاد، دکتر محمد فاتحی و دکتر مهینی و سایر اساتید که هر کدام به نحوی در شکل گیری شخصیت علمی و عملی اینجانب سهیم بوده اند، بیان می کنم و امیدوارم که خداوند متعال هر روز بیش از گذشته به ایشان توفیق عطا نماید.

در پایان از آقایان پروفسور Picarelli و دکتر Comegna که مقالات خود را در اختیار من گذاشتند و پاسخگوی سوالات من از طریق پست الکترونیشان بودند، قدردانی می کنم.

امیدوارم که همیشه به یاد خدا و اساتید گرامیم باشم و نکات سرشاری که از با آنها بودن فراگرفته ام را بر آویزه گوش داشته باشم و تنها در راهی قدم گزارم که خدایم از حرکت من در آن راه خشنود باشد.

سید رضا دانشی

شهریور ۱۳۸۸

چکیده:

در مناطق شهری انسان عامل ایجاد عوامل متعدد ناپایدار کننده شیبهای خاکی از قبیل خاکبرداری، اعمال سربار های گوناگون و .... ، می باشد. بررسی تأثیر عوامل مذکور بر پایداری موضعی و کلی شیب خاکی نامحدود حائز اهمیت است. در این تحقیق صحت کارکرد نرم افزار ABAQUS با مدل سازی گل لغز Masseria Marino ،که طی دو دهه اخیر مورد مطالعه محققین ایتالیایی بوده است، و مقایسه نتایج مدل شیب نامحدود در نرم افزار، با نتایج در محل و نتایج نرم افزار Plaxis بررسی شده است. اثرات افزایش مراحل خاکبرداری، افزایش زاویه خاکریزِ روی شیب، اثر خاکبرداری در حضور لایه خاکی ضعیف تر نسبت به لایه خاک فوقانی شیب و اثر زاویه اتساع خاک شیب در مدل موهر کولومب و ضریب الاستیسیته مصالح خاکریز بر رفتار شیب بررسی شده است. با مطالعات پارامتریک بر روی عوامل مذکور مشاهده می شود که در صورت کاهش مقاومت خاک شیب، با افزایش مراحل خاکبرداری می توان از شکل گیری کرنش های خمیری و گسیختگی موضعی جدار خاکبرداری پیشگیری نمود. حضور لایه خاکی ضعیف تر در بستر شیب بر توزیع تنشها و کرنش های خمیری در هنگام خاکبرداری تأثیر گذار است. با افزایش ضخامت لایه ضعیف و کاهش مقاومت آن، از پایداری کلی شیب در مقابل لغزش نامحدود کاسته شده و گسترش کرنشهای خمیری در جهت تشکیل سطح لغزش موازی سطح شیب بیشتر می شود. محل تنشهای بیشینه و گسیختگی لغزشی شیب وابسته به ضخامت لایه ضعیف تر و مقاومت آن است. سربار ناشی از ایجاد خاکریز در صورت گستردگی بیشتر سطح آن (افزایش زاویه وجه جانبی) اثر کمتری بر ناپایداری شیب دارد. افزایش حجم خاک شیب در هنگام برش (افزایش زاویه اتساع) و افزایش مدول الاستیسیته مصالح خاکریز از عوامل بهبود پایداری شیب هستند.

کلید واژه ها: پایداری شیب خاکی نامحدود، مناطق شهری، تحلیل عددی، خاکبرداری، سربار، لایه خاکی ضعیف تر، مدل موهر کولومب

فصل اول

مقدمه ای بر شیبهای خاکی و بیان مسأله

۱-۱- مقدمه

همراه با پیشرفت علم مکانیک خاک در چند دهه اخیر مکانیک پایداری شیب های خاکی[۱] نیز دستخوش نوآوری و پیشرفت های قابل ملاحظه بوده است. شاخه پایداری شیب های خاکی از زیرمجموعه های گسترده علم مکانیک خاک است که تمام مفاهیم اساسی و پایه این علم در آن خودنمایی می کند. پایداری شیب های خاکی همراه با شکل گیری علم مکانیک خاک ظهور نمود و زیربنای آن علم زمین شناسی است. بعد از ظهور به تدریج پایه مکانیکی و محاسباتی به خود گرفت به گونه ای که امروز بدون محاسبات و مدل سازی های ریاضی همراه با مطالعات زمین شناسی بررسی پایداری شیب های خاکی عملاً غیر ممکن است. همانند سایر شاخه های علم مکانیک خاک، مقوله پایداری شیب های خاکی نیز درگیر دو نوع بارگذاری استاتیکی و دینامیکی است که این شرایط ما را متوجه بررسی پایداری شیب ها در دو حالت بارگذاری استاتیکی و دینامیکی می نماید.

Casagrande (۱۹۳۷) بیان می کند که در حالت بارگذاری استاتیکی با توجه به دخالت زمان، دو نوع پایداری بلند مدت[۲] و کوتاه مدت[۳] پیش روی مهندسان ژئوتکنیک است.

سطح زمین یک قسمتی از سیستم دینامیکی است که به طور پیش‌رونده و گاه اتفاقی در معرض فعالیتهای وابسته به زمین‌شناسی[۴]، ساختارشناسی زمین[۵] و آب و هواشناسی قرار دارد [۲۵].

زمین لغزشها[۶] (ناپایداری شیبهای نامحدود و گاه محدود) بر رفتار مواد زمین در مقیاسهای مختلف تأثیرگذار هستند.

۱-ساختار بسیار ریز[۷] ← مربوط به ذرات خاک و آرایش آنها و پیوندهای بین آنها

---

۱ Slope Stability
۲ Long-term
۳ Short-term
۴ Geeology
۵ Geomorphology
۶ Landslide
۷ Micro

۲-ساختار ریز[۱] ← مربوط به اندازه نمونه‌های آزمایشگاهی (سانتیمتر تا دسیمتر)

۳-ساختار درشت[۲] ← مربوط به اندازه اکثر کارهای مهندسی (متر یا دهها متر) و عموماً توسط صفحات بستر، شکافها و ناهمگنی‌های عمده مشخص می‌شود.

۴-ساختار بسیار درشت[۳] ← مشخصه تعدادی از مسائل مهندسی (دهها متر تا کیلومتر) که شامل گسلها، چینها و سایر خصوصیات زمین‌شناسی می‌شود.

فهم خوب حرکات شیبها تنها با تلاش مشترک زمین‌شناس، زمین ساختار شناس[۴] و مهندس ژئوتکنیک و هیدرولوژی امکانپذیر است.

از آنجا که وقوع گسیختگی شیبهای خاکی در مناطق مختلف دنیا هر ساله خسارات مالی و جانی قابل توجه به بار می آورد، بررسی پایداری شیبهای خاکی به منظور اتخاذ تدابیر پیشگیرانه از اهمیت بسزایی برخوردار است [۶].

۱-۲- معرفی فصول

در ادامه این فصل مقدمات بررسی پایداری شیبها شامل شرایط بارگذاری شیب ها، انواع شیبها و تعریف شیب نامحدود، شرایط آب زیر زمینی، مشخص سازی ژئوتکنیکی حرکت شیبها و در نهایت مسأله مورد بررسی در تحقیق حاضر، تشریح شده است.

در فصل دوم عوامل ناپایداری شیبهای خاکی توضیح داده شده است.

فصل سوم به بررسی روشهای تحلیل شیب ها و تاریخچه آنها اختصاص داده شده است.

با توجه به اهمیت نرم افزار ABAQUS و استفاده رو به گسترش آن در زمینه ژئوتکنیک، فصل چهارم به بررسی کلیات نرم افزار و امکانات آن در زمینه مهندسی ژئوتکنیک می پردازد.

تأیید صحت کارکرد نرم افزار و کلیات و جرئیات مدلسازی شیب نامحدود به منظور انجام مطالعات پارامتریک، نیز در ادامه فصل چهارم آمده است.

---

[۱] Meso
[۲] Macro
[۳] Mega
[۴] Geomorphologist

مطالعات پارامتریک بر روی مشخصات مقاومتی خاک شیب، هندسه خاکریز و مراحل خاکبرداری در فصل پنجم ارائه شده است.

و بالاخره در فصل ششم نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات را خواهیم داشت.

۱-۳- شرایط بارگذاری شیب ها

می توان شرایط بارگذاری که برای شیب های خاکی پیش می آید را به شرح زیر به پنج دسته کلی تقسیم نمود [۱۶]:

۱- پایداری در پایان ساخت

۲- پایداری دراز مدت

۳- افت سریع (ناگهانی) آب[۱]

۴- زلزله

۵- تحکیم نسبی و ساخت مرحله ای[۲]

از انواع دیگر بارگذاری می توان به بارهای سربار مثل بارهای عملیاتی[۳] (عبور ماشین آلات سنگین) یا بارهای ساختمانی (ساختمان های بلند) اشاره نمود.

اغلب بارهای ناشی از وسایل نقلیه و ساختمان های چند طبقه در مقایسه با وزن خود خاک شیب (در شیبهای با ارتفاع زیاد) قابل اغماض هستند. البته اگر تأثیر این نوع بار ها بر پایداری شیب روشن نباشد باید برای این بارها شیب را تحلیل نمود.

برای بالا دست شیب های سدها و شیب های دیگر که سطح آب مجاور بر پایداری آنها مؤثر است، معمولاً پائین ترین سطح آب بدترین شرایط را ایجاد می کند. در مواردیکه شیب ها از مواد با مشخصه های متفاوت تشکیل شده اند، ممکن است ضریب ایمنی شیب در بالادست کمترین

[۱] Rapid Drawdown
[۲] Staged Construction
[۳] Operational Loads

باشد در صورتیکه سطح آب در ارتفاعی بین بالا و پاشنه شیب است. بحرانی ترین سطح آب در چنین مواردی باید با آزمون و خطا[1] به دست آید.

۱-۴- انواع شیب های خاکی و تعریف شیب نامحدود

همانطور که برای تقسیم بندی به گروه های مختلف نیازمند عاملی برای جداسازی گروه ها هستیم در شناسایی شیب ها و تقسیم آنها باید به دنبال عاملی باشیم که بر مبنای آن انواع شیب را از هم تشخیص دهیم. یکی از معروفترین این عامل ها در تقسیم بندی شیب ها محل صفحه لغزش است.

عامل ناپایداری شیب، ناشی از لغزش توده ای از خاک شیب بر روی توده ای دیگر از خاک محل شیب و یا سنگ بستر شیب است.

با توجه به اینکه لغزش در عمل سه بعدی است از اینرو لغزش بر روی صفحه ای که صفحه لغزش نامیده می شود رخ می دهد. چنانچه این صفحه شیب را قطع کند (در پای شیب، دامنه شیب و ...) شیب از نوع محدود[2] می باشد و چنانچه این صفحه در امتداد شیب باشد شیب از نوع نامحدود[3] است.

یکی از عوامل مهم تأثیرگذار بر شکل گیری این نوع سطح لغزش تاریخچه تشکیل لایه های خاکی محل شیب است. به عبارت دیگر قرارگیری لایه ای سخت بر روی لایه ای نرم (از لحاظ مشخصات مقاومتی خاک) و یا لایه ای نرم بر روی سنگ بستر[4] به گونه ای که هر دو در امتداد شیب هستند عاملی مهم در لغزش شیب های نامحدود می باشد.

شیب نامحدود (یا به عبارت بهتر لغزش موازی با امتداد شیب در حالت ناپایداری) عموماً در دامنه مناطق مجاور ناهمواریها و یا در دامنه کوه ها وجود دارد. از آنجا که امروزه شهرهایی کوچک و بزرگ در کوهپایه ها ساخته شده اند و رو به گسترش نیز هستند بررسی پایداری چنین

[1] Trial and Error
[2] Finite
[3] Infinite
[4] Bedrock

شیبهایی که نشیمنگاه تأسیسات شهری و ساختمان ها و برج های مسکونی ، اداری و تجاری هستند حائز اهمیت ویژه است.

در مناطق شهری پایداری شیب های نامحدود تحت تأثیر عوامل مختلفی است که می توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- بارهای ترافیکی ناشی از عبور وسایط نقلیه سبک و سنگین

۲- افزایش فشار حفره ای ناشی از نفوذ آبهای فاضلاب از طریق چاه های جذبی

۳- حفاریها و خاکبرداریهای قابل ملاحظه در امتداد شیب

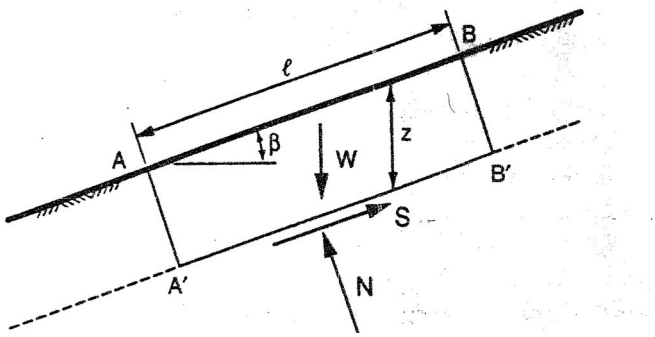
۴- سربارهای قابل ملاحظه بر روی شیب

۵- شکستگی لایه های سست موازی امتداد شیب در اثر نفوذ آب درون شیب و ...

۶- گسترش ناحیه برشی[۱] (ناحیه خمیری) در شیب از بستر صلب به سمت سطح شیب. قابل ذکر است که عامل ششم خود از شرایط مختلف تأثیرپذیر است.

شیب های خاکی نامحدود عموماً از توده چند متری خاک بر روی یک بستر سنگی تشکیل شده اند. خاک شیب ممکن است از یک جنس (تک لایه) و یا از لایه های مختلف با خواص متفاوت تشکیل شده باشد. عموماً در خاک با افزایش عمق میزان چگالی خاک، افزایش می یابد که شیب های خاکی نیز از این قاعده مستثنی نیستند.

شمای کلی یک شیب نامحدود در شکل ۱-۱ آمده است.



شکل ۱-۱ شیب نامحدود و سطح لغزش مسطح[۱۶]

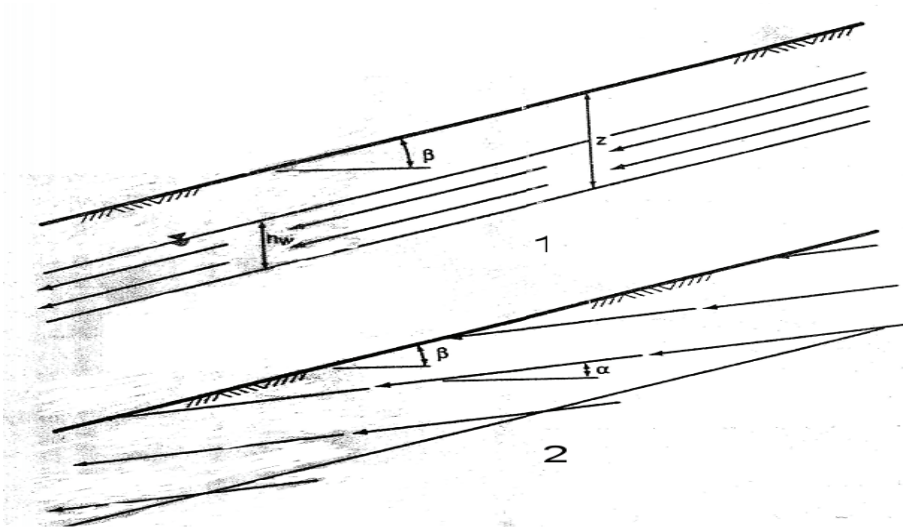
[۱] Shear Zone

۱-۴-۱- آب زیر زمینی در شیب نامحدود

یکی از عوامل مهم تأثیر گذار بر پایداری شیب شرایط آب زیر زمینی است. اثر آب بر پایداری شیب را می توان با در نظر گرفتن شیب تحت درجات مختلف غوطه وری (اشباع بودن) و همچنین افت سطح آب بررسی کرد [۲۴]. به طور کلی طبق شکل ۱-۲ دو حالت کلی برای آب زیرزمینی در شیب نامحدود وجود دارد:

۱) سطح آب موازی سطح شیب باشد

۲) سطح آب وجه شیب را قطع کند.



شکل ۱-۲ حالات مختلف سطح آب زیر زمینی در شیب نامحدود[۱۶]

۱-۴-۲- سطح لغزش در شیب نامحدود

همانطور که قبلاً نیزاشاره شد در شیب های نامحدود برخلاف شیب های محدود سطح لغزشی از پیش تعریف شده و این سطح ممکن است در اثر ضعف تماس موجود بین بستر سخت و لایه خاک باشد. کاهش درگیری المان های مرزی[۱]، افزایش صیقلی بودن تماس، نفوذ آب در سطح

[۱] Boundary Elements

تماس و ... از عوامل ایجاد چنین سطح لغزشی هستند. در عمل ممکن است تشکیل سطح لغزش کاملاً موازی سطح شیب پدیده ای ایده آل و غیرعملی باشد ولی در محاسبات تئوری با پذیرفتن خطاهایی این سطح لغزش موازی سطح شیب در نظر گرفته می شود.

با فرض نمودن سطح لغزش موازی با امتداد شیب حل مسأله پایداری شیب نامحدود و مدلسای اجزاء محدود آن ساده تر و از لحاظ مهندسی معقول تر خواهد بود. پارامترهای مقاومتی خاک و سنگ بستر در محل سطح لغزش (یا همان سطح تماس[۱]) بر پایداری شیب بسیار تأثیر گذارند. این پارامترها که بر حسب چسبندگی[۲] و اصطکاک[۳] بیان می شود تابع جنس خاک و جنس سنگ بستر و شرایط فیزیکی و مکانیکی و مهندسی قرارگیری لایه خاکی روی بستر سنگی می باشد. مؤلفه چسبندگی با C و مؤلفه اصطکاک با φ بیان می گردد. C که چسبندگی سطح تماس نام دارد، از جنس تنش است و به صورت نیرو بر سطح بیان می شود. φ نیز که از جنس زاویه اصطکاک داخلی است بر حسب درجه بیان می شود.

خواص خاک تشکیل دهنده شیب تابع عوامل بسیاری است از جمله دانه بندی خاک ترکیبات شیمایی ذرات خاک، میزان رطوبت، فشار بیش تحکیمی، تاریخچه زمین شناسی و غیره . در واقعیت با توجه به اینکه خاکها در مراحل مختلف بر روی هم انباشته و یا رسوب می گردند، ممکن است همگنی[۴] آنها (یکسان بودن خواص در نقاط مختلف) ازلحاظ عملی حاصل نشود ولی در تحقیق حاضر خواص خاک در نقاط مختلف توده آن یکسان فرض می شود یعنی خاک شیب همگن[۵] است. علاوه بر این خاک را همسانگرد[۶] نیز فرض می کنیم، یعنی اینکه در یک نقطه از خاک خواص در جهت های مختلف یکسان در نظر گرفته می شود.

---

۱ Contact Surface
۲ Cohesion
۳ Friction
۴ Homogeneity
۵ Homogeneous
۶ Isotropic

۱-۵- حرکت شیب و مشخص سازی[۱] ژئوتکنیکی آن

حرکت یک شیب مشخصه ای از ناپایداری آن شیب می باشد. از اینرو شناخت مبانی حرکت شیب، بررسی ناپایداری شیب خاکی را برای مهندس ژئوتکنیک تسهیل می کند. در این قسمت اصول حرکت شیبها در چهار چوب مشخص سازی ژئوتکنیکی آن تشریح می شود.

سیستم طبقه بندی حرکت شیب که توسط Varnes (۱۹۷۸) و Hutchinson (۱۹۸۸) بیان شده است، عمدتاً بر مبنای ساختار شناسی زمین است و توجه کمتری به مکانیزم(های) حرکت شیب، نوع ماده، مراحل حرکت و نرخ حرکت دارد. سیستم Varnes (۱۹۷۸) انواع حرکت را به سقوط[۲]، واژگونی[۳]، لغزش[۴] و جریان[۵] تقسیم می کند و مواد را به سنگ بستر، خاک و شن(خاکهای دانه درشت) و خاک (خاکهای دانه ریز) تقسیم می کند [۱۲]. Hutchinson (۱۹۸۸) سیستم Varnes را با به کارگیری اطلاعاتی در مورد رفتار پس گسیختگی چندین زمین لغزش گسترش داد. این اطلاعات عبارت بودند از رابطه بین تراکم رسوبها و نوع جریان، دانه بندی مواد، نرخ حرکت و فاصله طی شده بعد از گسیختگی. با نگرش تدریجی به روشهای ارزیابی زمین لغزشها بر مبنای احتمال خطر[۶] مشخص شد که سیستمهای موجود که بر مبنای ساختار شناسی زمین بودند جوابگوی احتمال خطر نیستند. Leroueil (۲۰۰۱) بیان می کند که او و همکارانش از اواخر ۱۹۸۰ کار خود را برای ایجاد سیستم حرفه ای در زمینه پایداری شیب شروع کرده اند که نتیجه آن سیستم مشخص سازی ژئوتکنیکی است که توسط Leroueil و همکارانش (۱۹۹۶) (بعد از Vaunet و همکاران ۱۹۹۴) بیان شد. قبل از تشریح سیستم مشخص سازی ژئوتکنیکی حرکت شیب ذکر جملاتی از Leroueil (۲۰۰۱) منتشر شده در مقاله او خالی از لطف نیست:

---

[۱] Characterization
[۲] Fall
[۳] Topple
[۴] Slide
[۵] Flow
[۶] Risk

" .... ما به سرعت پی بردیم که مسأله شامل گستره وسیعی از مواد تشکیل دهنده سطح زمین[1] (مواد) و انواع زیادی از حرکت شیب تحت شرایط آب و هوایی مختلف می باشد از اینرو مسأله پیچیده است و توسط قوانین و پارامترهایی که با فاز حرکت و نوع مواد کنترل می شوند، که اطلاعات مربوط به آنها بسیار پراکنده است و راه حلهای مسایل مربوط به شیب ها اغلب بر مبنای مطالعات محلی و موضعی است. "

یک نکته مهم دیگر قابل بررسی که در چندین مقالات و سخنرانیها به آن اشاره شده است نیاز به هماهنگی اصول زمین شناسی در مطالعه زمین لغزشهاست. Fell و همکاران (۲۰۰۰) هنگامیکه به مسایل اولویت دار در زمینه تحقیق و گسترش علم زمین لغزش اشاره می کند تاکید به " نیاز بسیار طاقت فرسا برای هماهنگ کردن زمین شناسی، ساختار شناسی زمین و مهندسی ژئوتکنیک در مطالعات " می کند.

Leroueil (۲۰۰۱) در بیان Rankine خود ذکر می کند که:

".... حرکات شیب پاسخ های مکانیکی خاک یا سنگ به تغییرات در هندسه، شرایط مرزی، فشار حفره ای یا پارامترهای مقاومت همراه با گذشت زمان است. از اینرو باید این حرکات را از دیدگاه مکانیکی و ژئوتکنیکی بررسی کرد. در حقیقت فهم درست حرکات شیب تنها با تلاش مشترک زمین شناس، زمین ساختار شناس و مهندس ژئوتکنیک امکان پذیر است. از آنجاکه آب یک عامل مهم و اصلی در رفتار شیب است همکاری هیدرولوژیست و هیدروژئولوژیست نیز مهم است. "

از اینرو حرکات شیب را باید به عنوان یک محدوده چند ضابطه ای در نظر بگیریم که در آن نقش مهندس ژئوتکنیک این است که رفتار خاک را در این موضوع درک کند و سعی در کاهش اثرات اقتصادی و اجتماعی حرکات شیب داشته باشد. سیستم مشخص سازی ژئوتکنیکی حرکت شیب همچنانکه توسط Leroueil و همکاران (۱۹۹۶) بیان شده است، یکپارچه سازی انواع حرکت، انواع مواد و انواع فاز حرکت به صورت یک ماتریس سه بعدی است.

[1] Geomaterial

Leroueil و همکاران (۱۹۹۶) لازم دانستند که انواع موادی را که در سیستمهای قبلی استفاده شده بود را گسترش دهند تا بتوانند مشخصات مکانیکی خاک و سنگها که می دانیم در رفتار تغییر شکل تحت شرایط مرزی اعمالی (مثل تأثیر بیش تحکیم یافتگی، ساختار خاک و ناپیوستگیهای آن در رفتار تغیر شکل شیب ها و خاکبرداری ها در خاکهای رسی) تأثیر دارند را اعمال کنند. در بخش بعدی این تقسیم مواد ذکر می شود. برای هر المان فعال در ماتریس یک برگ مشخصه وجود دارد که حاوی اطلاعاتی است که بر حرکت شیب، علائم حرکت شیب و عواقب حرکت شیب تأثیر گذارند و یا آنها را کنترل می کنند. مبنای مشخص سازی فهم مکانیزم های شامل و مکانیک تغییر شکل است.

از دیدگاه ارزیابی احتمال خطر[۱] سیستم مشخص سازی چهار چوبی است که در آن مولفه ها (مثلاً مخاطره[۲]، احتمال گسیختگی و عواقب گسیختگی) را می توان تحلیل و ارزیابی کرد. این سیستم امکان قضاوت آگاهانه در مورد استعداد رخداد زمین لغزش و عواقب آن شامل انواع و محل ابزارهای نمایشگر، سیستمهای اخطار و حدود ممکن عملیات بهسازی را به ما می دهد.

۱-۵-۱- مشخص سازی پاسخ شیب

در مشخص سازی ژئوتکنیکی، پاسخ شیب با توجه به نوع ماده، نوع حرکت و فاز حرکت طبقه بندی می شود. انواع مواد به ده دسته اصلی تقسیم می شوند: سنگ سخت دست نخورده، سنگ سخت شکاف دار، تشکیلات با ساختار پیچیده، رس های سفت، رس های پس یخچالی، سیلتها و ماسه های ریز، آوارها و مواد درشت، خاکهای رمبنده (ماسه بادی و ....) و خاکهای غیر اشباع دیگر(خاکهای برجا) [۱۷].

[۱] Risk Assessment
[۲] Hazard

انواع حرکت طبق ساختار شناسی زمین، پیشنهاد شده توسط Creden و همکاران (۱۹۹۴) و Cruden و Varnes (۱۹۹۶) به پنج نوع: سقوط، واژگونی، لغزش، گسترش جانبی و جریان تقسیم می شود.

حرکت نیز به چهار فاز(مرحله) تقسیم می شود:

۱. مرحله پیش گسیختگی[۱] ← شامل تمام تغییر شکل روندهایی که به گسیختگی منجر می‌شود. این مرحله عمدتاً توسط تغییرشکلهای ناشی از تغییرات تنش- خزش و گسیختگی پیش‌رونده کنترل می‌شود.
۲. شروع گسیختگی که به وسیله شکل‌گیری سطح برش پیوسته در تمام طول توده خاک مشخص می‌شود.
۳. مرحله پس گسیختگی[۲] (بعد از گسیختگی) که شامل حرکت خاک مشمول لغزش از شروع گسیختگی تا زمانی که عملاً متوقف می‌شود، می‌باشد. این مرحله عموماً به وسیله افزایش نرخ جابجایی که با کاهش پیوسته (تدریجی) سرعت لغزش همراه است، مشخص می‌شود.
۴. مرحله دوباره فعال شدن[۳]: که خاک دوباره در طول یکی یا چندین سطح برش موجود حرکت می‌کند.

این تقسیم بندی توسط یک ماتریس سه بعدی طبق شکل ۱-۳ بیان می شود. هر المان از این ماتریس متناظر با یک الگوی پاسخ شیب است و در ارتباط با یک گروه از فاکتورهای آمادگی، شروع(یا تشدید) و یا آشکار سازی است.

هدف از مشخص سازی ژئوتکنیکی، تعریف دسته عوامل مرتبط با هر المان ماتریس است. این روش شامل گامهای زیر است:

[۱] Pre-Failure
[۲] Post-Failure
[۳] Reactivation

۱. تعریف مکانیزم کنترل کننده فاز حرکت: مثلاً فاز پیش گسیختگی عموماً توسط خـزش[۱] و گسیختگی پیش رونده[۲] مشخص می شود.

۲. تعریف متغیرهای کنترل کننده مکانیزم: مثلاً خزش در مرحله پیش گسیختگی با سطح تنشهای مؤثر، کرنش تجمعی و نرخ زمان یا کرنش کنترل می شود.

۳. تعریف عوامل مرتبط با متغیرهای کنترل:

- عوامل آمادگی شرایط اولیه یا مرزی هستند که بر مقادیر متغیرهای محلی تأثیر دارند. مثلاً سطح تنش از ارتفاع و زاویه شیب و عمق سطح آب زیر زمینی متأثر است. کرنش تجمعی نیز بیانگر عمر شیب است.
- عوامل آشکار سازی شواهدی از وجود مکانیزم محلی هستند. مثلاً خزش توسط شکاف هایی در تاج سراشیب، پهن ترک ها در دامنه شیب و ترک های نواری در پاشنه شیب مشخص می شود.

۴. تخمین عواقب عملکرد مکانیزم: مثلاً خزش ممکن است باعث شروع گسیختگی شود اگر حالت تنش بالای مرز مقاومت در تغییر شکلهای زیاد باشد.

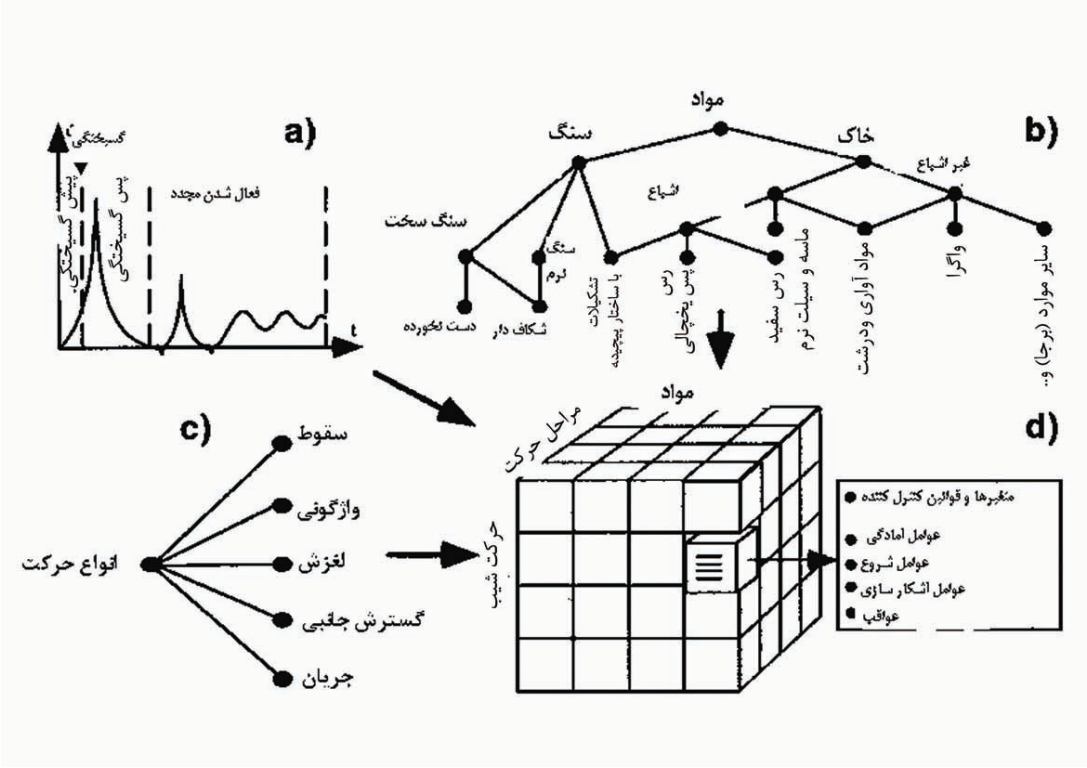
یک مثال تقسیم بندی برای فاز فعال شدن مجدد یک لغزش در رس سفت در جدول ۱-۱ آمده است.

۱-۵-۲- ارتباط با رفتار محلی[۳] خاک

چهار گامی که در بخش قبل ذکر شد را می توان با کمک ملاحظات رفتار محلی ماده انجام داد، با این فرض که یک چهار چوب عمومی و ساده منطقی وجود دارد که رفتار مکانیکی بیشتر

[۱] Creep
[۲] Progressive Failure
[۳] Local Behaviour

مواد ژئوتکنیکی را در بر گیرد. چنین قالب هایی را می توان در مدلهایی که بر مبنای مفاهیم گسیختگی و حالت بحرانی[1] هستند پیدا کرد.



شکل ۱-۳- شماتیک مشخص سازی ژئوتکنیکی حرکت شیب a)انواع فاز حرکت b)انواع مواد c)انواع حرکت d)برگه مشخصه [۱۷].

اولین بار این مفهوم برای خاکهای رسی قالب گیری شده[2] (Roscoe و همکاران، ۱۹۵۸؛ Schofiel و Wroth، ۱۹۶۸؛ Roscoe و Burland، ۱۹۶۸) بیان شد. سپس این مفاهیم برای گستره وسیعی از رسهای پس یخچالی[3] (Tavenas و همکاران،۱۹۸۷؛ Diaz-Rodriguez و همکاران،۱۹۹۲) رسهای دوران سوم[4](رسهای سفت) (Burland ۱۹۹۰)، تشکیلات با ساختار پیچیده (Olivares و همکاران،۱۹۹۳)، سنگهای ضعیف (Leroueil و Vaughan،۱۹۹۰؛Gens و

[1] Critical
[2] Remoulded
[3] Post-Glacial
[4] Tertiary Clays

Nova،۱۹۹۳) و مواد رمبنده[۱] غیر اشباع (Alonso و همکاران،۱۹۹۰؛ Maatouk و همکاران،۱۹۹۵) بیان شدند.

جدول ۱-۱-نمونه ای از برگه مشخصه[۲] در مرحله فعال شدن مجدد و حرکت لغزشی رس سفت [۱۷].

حرکت:لغزش مرحله(فاز) حرکت: فعال شدن مجدد ماده: رس سفت
قوانین و پارامترهای کنترل: • مقاومت برشی پسماند : $\tau_f = \sigma'_n \tan\varphi'_n$ • نرخ جابجایی یا لغزش: $v = A(\tau/\tau_{fr})^n$
عوامل آمادگی: • سطوح برشی از پیش موجود • ذرات خاکی که می توانند مجدداً جهت گیری کنند.
عوامل شروع یا تشدید: • افزایش در فشار حفره ای در مجاورت سطوح برش • افزایش در تنشها به وسیله ۱: فرسایش در پاشنه شیب ۲: بارگذاری در بالادست شیب • بارگذاری لرزه ای
عوامل آشکار سازی: • جابجایی های محلی در مقاطع عمودی
عواقب حرکت: • نرخ جابجایی عموماً خیلی آهسته • اقدامات بهسازی را تنها در بعضی موارد می توان انجام داد.

[۱] Collapsible
[۲] Characterisation Sheet