



بررسی روش‌های پایدارسازی در دامنه ناپایدار مسیر جاده‌ها و تعیین مناسب‌ترین روش

مهدی کاوه^۱، رحمان شریفی^۲، محمود نیکخواه شه‌میرزادی^۳

۱- کارشناسی ارشد گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان، سمنان، ایران

پست الکترونیکی: Shb.Kaveh@yahoo.com

۲- استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران، سازمان تات، تهران، ایران

پست الکترونیکی: R.sharifi@Areco.ac.ir

۳- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان، سمنان، ایران

پست الکترونیکی: Nik_khah@yahoo.com

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۱/۲۶، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۸/۳۰

چکیده

بر اساس اثرات منفی فرآیندهای غیرمترقبه بر سازه‌های مهندسی و طرح‌های عمرانی مسئله شناخت، تحقیق و دستیابی به راه حل‌ها و شیوه‌های مناسب جهت مهار و کنترل و کاهش خطرات ناشی از حوادث مذکور، مورد توجه خاص دستگاه‌های اجرایی و مجامع جهانی قرار گرفته است. بسیاری از این پدیده‌های طبیعی همچون زمین لغزش در خیلی از مناطق به صورت بلایای طبیعی ظاهر شده و خسارات جانی و مالی فراوان و بعضاً جبران‌ناپذیری را در پی داشته است، بر همین اساس در پژوهش حاضر با اهداف تعیین پایدارسازی دامنه و تعیین مناسب‌ترین روش پایدارسازی و در قالب نرم افزار *PLAXIS ۲D* موضوع مورد بررسی قرار گرفته و ضریب اطمینان پایدارسازی دامنه‌ها (*FS*) به صورت طبقات آسیب پذیری ناپایدارسازی خیلی زیاد (رده‌ای که *FS* کمتر از یک باشد)، آسیب پذیری ناپایدارسازی زیاد (رده‌ای که *FS* از ۱ بیشتر و از ۱/۲۵ کمتر باشد)، آسیب پذیری ناپایدارسازی متوسط (رده‌ای که *FS* آن بیشتر از ۱/۲۵ و کمتر از ۱/۵ باشد)، آسیب پذیری ناپایدارسازی کم (رده‌ای که *FS* آن بیشتر از ۱/۵ باشد) تقسیم شده است. نتایج نشان داد که پایدارسازی شیروانی‌های خاکی به روش شمع گذاری دارای ضریب اطمینان ۲/۵ بوده که نسبت به شاهد افزایش حدود ۰/۱ داشته است و پایدارسازی شیروانی‌های خاکی با استفاده از انکراژ بیشترین ضریب اطمینان را نشان داده است.

کلمات کلیدی: روش‌های پایدارسازی، دامنه‌های ناپایدار، شیروانی‌های خاکی، حوادث غیرمترقبه، تثبیت دامنه‌های ناپایدار، نرم افزار *PLAXIS ۲D*

۱- مقدمه

گسترش خطوط حمل و نقل و همچنین افزایش و اهمیت یافتن این نوع از وسایل حمل و نقل، نوآوری و بررسی های بیشتری را در این زمینه طلب می کند. از طرفی گسترش استفاده از این سیستم حمل و نقل و اهمیت یافتن پارامترهایی همچون افزایش سرعت و بار محوری و به موازات آن افزایش ضریب ایمنی حرکت و راحتی سفر، تامین بستری مناسب برای عبور خطوط ریلی را الزامی ساخته است. امروزه با توجه به اخباری که مکرراً در مورد تأثیر منفی فرآیندهای فعال بر سازه های مهندسی و طرحهای عمرانی می خوانیم، مسئله شناخت، تحقیق و دستیابی به راه حل ها و شیوه های مناسب جهت مهار و کنترل و کاهش خطرات ناشی از این حوادث، مورد توجه خاص محافل علمی و تحقیقاتی و دستگاه های اجرایی همچنین، مراجع و مجامع جهانی است. بسیاری از این پدیده های طبیعی در جهت مخالف با تمایل بشر در گسترش روز افزون استفاده از زمین عمل نموده و در بسیاری موارد که وجود آن ها نادیده گرفته شده یا سیستم مدیریتی صحیح حاکم نبوده است، به صورت بلایای طبیعی ظاهر گشته اند. از جمله این پدیده ها، زمین لغزش ها یا در اصطلاح فراگیرتر، حرکت دامنه ای می باشند که به نوعی ناپایداری شیروانی ها را به همراه خواهند داشت. به طور ساده این پدیده ها شامل، حرکت مواد تحت تأثیر نیروی ثقل به سمت پایین دامنه می باشند. عوامل متعددی مانند باران های سیل آسا، تنش های ناشی از زلزله و خاکبرداری های مصنوعی در تحریک ناپایداری دامنه ها دخیل می باشند. (رضایی و مرتضوی ۱۳۸۷).

کشور ما ایران با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت زمین ساختی و لرزه خیزی زیاد، شرایط متنوع زمین شناسی و اقلیمی، عمده شرایط طبیعی را برای ایجاد طیف وسیعی از ناپایداری در دامنه ها و به دنبال آن بروز زمین لغزش ها را داراست. (نیک اندیش ۱۳۷۶) لغزش در ایران به عنوان بلایی طبیعی، سالانه خسارات جانی و مالی فراوانی به کشور وارد می سازد. این پدیده هر ساله در اکثر استان های کشور موجب خسارت های حیاتی به شهرها و روستاها، مسیر ها، جاده ها، کارخانه ها و مراکز صنعتی، دریاها و دریاچه ها، جنگل ها و مراتع و بوژه مزارع و مناطق مصنوعی گشته و یا آنها را مورد تهدید قرار می دهد (کمک پناه ۱۳۷۰).

به علت وجود محدودیت ها و همچنین عوامل متفاوتی که در عدم پایداری ترانشه ها، تأثیر گذار است؛ در این مقاله سعی می گردد تا با مدل سازی روش ها متداول و پرکاربردی که در حال حاضر رایج است، برتری و مزایای یک سیستم را مشخص و نسبت به دیگر سیستم ها مورد ارزیابی قرار گیرد.

ولی اله خلیلیان و همکاران، به بررسی عددی رفتار استاتیکی و دینامیکی خاکریزهای راه آهن ساخته شده با ژئوفوم پرداخته اند. در این پژوهش به دو شاخصه تأثیر گذار بر بهره برداری خط ریلی بالاستی اعم از باربری و نشست خاکریز پرداخته شده است. برای این منظور یک مدل سخت شونده از مصالح ژئوفوم در نرم افزار FLAC ۲D ساخته شده است. این مدل تحت بارگذاری استاتیکی و همچنین دینامیکی هارمونیک قرار گرفته است. با توجه به خروجی های بدست آمده از مدل عددی، با استفاده از رگرسیون چند متغیره، رابطه ای تحلیلی میان نشست استاتیکی و دینامیکی با پارامترهای شکل پذیری، چسبندگی بستر، پارامترهای شکل پذیری ژئوفوم، ارتفاع خاکریز و بار محوری قطار بر قرار شده است و در بخش پایانی با توجه به محدودیت موجود در نشست کلی خاکریز راه آهن، دامنه مجاز بکارگیری این مصالح در خاکریز استخراج شده است.

مریم سرابی و همکاران، در پژوهشی به ارائه گراف های طراحی به منظور به کارگیری ستون های سنگی جهت تثبیت خاکریز راه آهن متکی بر بستر رسی نرم پرداخته اند. در این پژوهش تلاش گردیده تا با استفاده از روش اجزاء محدود و نرم افزار PLAXIS ۲D، مناسبترین شیب پایداری خاکریز با پارامترهای هندسی ستون سنگی و مقاومت زهکشی نشده ی بستر محاسبه گردد. در بخش بعدی این پژوهش کیفیت شیب خاکریز و چیدمان ستون ها در شرایط اعمال زلزله به صورت شبه استاتیکی بررسی شده است و در پایان با استفاده از رابطه های تحلیلی استخراج شده، گراف های طراحی ستون های سنگی زیر خاکریز ارائه شده است.

از عوامل انسانی مؤثر در ناپایداریها در شیب و به دنبال آن وقوع زمین لغزش می توان به اثر جاده سازی به عنوان یکی از عوامل تخریب اشاره نمود (کلارستاقی، ۲۰۰۲) در این خصوص، لارسن و پارکس (۱۹۹۷) طی پژوهشی در منطقه جنگلی به بررسی ارتباط مکانی ناپایداری شیروانی با جاده ها پرداختند و به این نتیجه رسیدند که جاده سازی تأثیر ناپایداری را ۵ تا ۸ درصد بیش تر می کند.

همچنین سا و مازاری (۱۹۹۶) در هند به بررسی نقش عوامل انسانی در وقوع ناپایداری شیب ها پرداختند و به این نتیجه رسیدند که وقوع ناپایداری با عواملی مانند جاده سازی، رشد توریسم و افزایش فشار جمعیت، افزایش می یابد. سرکار و کانگو (۲۰۰۳) طی پژوهشی در منطقه هیمالیا با استفاده از RS, GIS به این نتیجه رسیدند که وقوع ناپایداری در دامنه با برخی از عوامل زمینی مانند جاده سازی، تراکم زهکشی و گسل در ارتباط می باشد. عوامل متعددی مانند باران های سیل آسا، تنش های ناشی از زلزله و خاکبرداری های مصنوعی در تحریک ناپایداری دامنه ها دخیل می باشند (رضایی و همکاران ۱۳۸۷). همچنین طی پژوهشی نتایج نشان داد که جاده سازی در دامنه های با شیب تندتر (بیش از ۱۵ درصد) باعث کاهش پایداری دامنه ها می شود. (فعله گری و همکاران ۱۳۹۱).

طی تحقیق و بررسی انجام شده بر روی لغزش دشتگان و تحلیل خطر آن بر بزرگراه قزوین - رشت به این نتیجه رسیدند که شرایط ذاتی زمین مانند جنس، بافت مواد، جهت ناپیوستگی ها، آب، شیب، گسل و شکل دامنه ها، دخالت انسانی و حفر ترانشه برای راهسازی، نقش غیرقابل انکاری در ناپایداری دامنه داشته است.

هر چقدر که از مرکز جاده فاصله گرفته می شود تراکم ناپایداری ها کاهش می یابد که این موضوع نیز بیانگر این است که جاده سازی با وقوع لغزش در دامنه ارتباط مستقیم دارد. (کلارستاقی، احمدی ۱۳۸۵)

سرکار و کانگو (۲۰۰۳) نیز به نتایج مشابه با این تحقیق ولی در فاصله ۱۵۰ متر از مرکز جاده در منطقه دارجیلینگ هیمالیا که منطقه ای با پتانسیل وقوع زمین لغزش بسیار بالا و شناخته شده در دنیا می باشد دست یافتند. همچنین سا و مازاری (۱۹۹۶) نیز به توسعه شبکه جاده ای به عنوان عاملی در جهت افزایش وقوع زمین لغزش ها اشاره داشتند.

۲- مواد و روش ها

به طور کلی از نظر مبانی نظری حرکت توده ای از مواد تشکیل دهنده زمین، از یک شیب به سمت پایین را زمین لغزش یا ناپایداری شیب می نامند که به صورت حرکت لایه های رسوبی غیر متراکم و متراکم بر روی سطح شیب دار ناپایدار شده اند. عامل حرکت توده رسوبی، نیروی جاذبه، زلزله، جاده سازی، باران یا فشار منفذی سیالات، سبک سازی پایین دست توده و بسیاری عوامل دیگر است. حرکت نزولی در رانش زمین ممکن است بسیار کند رخ دهد (تنها چند میلی متر در سال) یا با سرعت بسیار بروز کند و تأثیرات مصیبت باری برجای بگذارد. رانش زمین حتی می تواند در بستر دریا و زیر آب رخ دهد و امواج جزر و مدی به وجود آورد که باعث تخریب در مناطق ساحلی شود. این رانش ها را رانش زمین زیر دریایی می گویند. رانش زمین ممکن است به علت زلزله، فعالیت آتشفشانی، تغییرات آب های زیرزمینی، به هم خوردن یا تغییر شیب زمین رخ دهد.

روش های پایدارسازی برای دامنه های ناپایدار با شکست های مختلف صفحه ای، گوه ای، دایره ای، براساس شرایط ناپایداری می تواند یک و یا تلفیقی از روش های زیر باشد.

۱-۲: روش های مختلف پایدارسازی شیب های خاکی

روش های مختلف پایدارسازی زمین لغزش ها بر اساس کاهش نیروهای محرک و افزایش نیروهای مقاوم صورت می گیرد. در ادامه مبانی نظری تحقیق حاضر تعدادی از شیوه های پایدارسازی شیروانی های خاکی چون روش اصلاح هندسی شیب اصلاح هندسی شیب ها، انکراژ، نیلینگ، شمع، ژئوسینتتیک، دیافراگمی، سپرکوبی، زهکشی، حفرچاه زهکش، استفاده از پوشش گیاهی، به طور خلاصه مورد بررسی قرار گرفته است. (ویتکه و همکاران، ۱۹۶۵)

الف. روش اصلاح هندسی شیب اصلاح هندسی شیب ها

به منظور کاهش نیروهای محرک یا افزایش نیروهای مقاوم، روشی است که به طور متداول جهت افزایش ضریب پایداری دامنه ها و تثبیت زمین لغزش ها به کار می رود.

یک روش خاکبرداری در پنجه جهت ایجاد زمینه تداوم لغزش تا زمان رسیدن به پایداری است. این روش، روشی ساده و اولیه مبتنی بر برداشت مصالح لغزشی و تحریک مکرر لغزش تا زمان کاهش شیب کلی توده لغزشی و رسیدن به پایداری می باشد. بعضی مواقع ممکن

است حجم خاکبرداری قابل ملاحظه ای برای رسیدن به وضعیت پایدار لازم گردد. روش دیگر برداشت و جایگزینی مصالح لغزشی، به وسیله مصالح دارای قابلیت زهکشی مناسب است. این روش تنها برای لغزش های نسبتاً کوچک کاربرد دارد. در این شیوه، اطمینان از پایداری قسمت تاج در هنگام برداشت مصالح لغزشی حائز اهمیت است. افزایش وزن پنجه به طریق خاکریزی که معمولاً به وسیله ایجاد سکوه های خاکی صورت می گیرد و ممکن است در ترکیب با سازه های وزنی دیگر مانند گابیون و دیواره های خاکی مسلح مورد استفاده قرار گیرد. در این روش نیز تعیین محل صحیح خاکریز و همچنین زهکشی مناسب آن بسیار حائز اهمیت است.

ب. انکراژ

انکر المان پیش تنیده ای است که در خاک اجرا می گردد و نیروی کششی مشخصی را توسط رشته های استرند و یا میلگرد فولادی در ناحیه باند خود به توده خاک و در خارج از گوه لغزش منتقل می نماید. تفاوت استفاده از انکر با میخکوبی در خاک در این است که در انکر قبل از هر گونه حرکت توده، نیروی پیش تنیدگی بزرگی وجود دارد که باعث کاهش تغییر شکل می گردد ولی در میخکوبی نیروی پیش تنیدگی بزرگی به المان نیل اعمال نمی شود و حرکت توده خاک موجب ایجاد نیرو در دیوار می گردد لذا در مواردی که کنترل تغییر شکل اهمیت زیادی دارد استفاده از انکر جهت پایداری توصیه می گردد. انکرها معمولاً جهت پایداری شیب ها، کنترل لغزش ها و ممانعت از ایجاد لغزش های بیشتر استفاده می گردند. لیکن کاربردهای دیگری مانند مقابله با بلند شدگی (Uplift) سازه های مستغرق را نیز دارا می باشد.

ج. نیلینگ

نیلینگ یا میخکوبی روشی است که در آن خاک به صورت درجا و با قرار گیری المان های مقاوم فلزی تسلیح می گردد. از آنجاییکه میخ ها پیش کشیده نمی شوند به آنها المان های مقاوم گفته می شود. وقتی ترانشه تمایل به حرکت به سمت جلو دارد میخ ها با عملکرد کششی وارد عمل می شوند. میخکوبی معمولاً در پایداری شیب ها، دیوارهای حائل و همچنین در گود برداری ها استفاده می گردد.

د. روش ترکیبی انکراژ، نیلینگ و شمع

روش ترکیبی استفاده از روش انکراژ، نیلینگ با شمع های فلزی یا بتنی معمولاً جهت پایداری دیوارهای گودهای با عمق زیاد و حساسیت تغییر شکلی بالا استفاده می گردد. در این روش پایداری، ستون های فلزی و یا شمع های بتنی در فواصل مشخصی پیرامون گود اجرا گردیده و سپس المان های انکر یا نیل همزمان با خاکبرداری و به صورت مرحله ای از بالا به پایین نصب می گردند. استفاده از این روش در کنترل هرچه بیشتر تغییر شکل های ناشی از گودبرداری و برای عبور از لایه های سست و حفرات احتمالی موجود، کاربرد موثری دارد.

ه. پایداری سازی خاک با استفاده از ژئوسنتتیک

یکی از روش های تسلیح خاک استفاده از ژئوسنتتیک ها شامل ژئوگرید ها و ژئوتکستایل ها در خاک می باشد. ژئوسنتتیک ها با عملکرد کششی خود موجب پایداری سازی ساختار خاک می گردند. ژئوسنتتیک ها عموماً در کوله پل ها، پایداری شیب ها و همچنین در نگهداری خاک پشت دیوارهای حائل و رمپ پل ها استفاده می گردند.

و. دیوار دیافراگمی

دیوار دیافراگمی دیوار مسلح بتنی است که به صورت درجا اجرا می گردد. دیوار دیافراگمی مشکلات گودبرداری های عمیق در حضور سطح آب زیر زمینی بالا و خاک ریزدانه و پایداری فونداسیون سازه در مجاورت گود را کاهش می دهد. دیوار دیافراگمی به کمک یک ترانشه با ضخامت کم در خاک حفاری می گردد و پایداری ترانشه ایجاد شده به صورت موقت توسط دوغاب بنتونیت حفظ می گردد تا بتن به کمک لوله ترمی جایگزین شود. ضخامت این نوع دیوارها به طور معمول بین ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ میلیمتر متغیر است و بسته به تجهیزات حفاری تا عمق ۵۰ متر نیز قابل اجرا می باشد.

ز. سپر کوبی

دیوارهای سپری روش مناسبی برای مقابله با فشار جانبی آب یا خاک می باشد. سپری ها با کوبش مقاطع پیش ساخته فلزی یا بتنی در خاک اجرا می گردند. در برخی انواع خاک می توان از ارتعاش جهت رانش سپری به داخل خاک به جای کوبش استفاده نمود. دیوار سپری با اتصال مقاطع سپری ها به یکدیگر به صورت متوالی اجرا می گردد. دیوارهای سپری مقاومت سازه ای را با تجهیز مقاومت مقطع خود تامین می کنند.

ح. روش زهکشی

زهکشی بدنه توده های لغزنده فقط به منظور خارج ساختن آب اضافی از رده خاک است. به طور کلی زهکشی خاک به دو طریق امکان پذیر است اول زهکشی سطحی و دیگری زهکشی زیر سطحی (عمقی) (اورهو و همکاران، ۲۰۱۲)

۱- زهکشی سطحی

منظور از این نوع زهکشی، انتقال آب اضافی از سطوح خاک است. این آبها در اثر بارندگی یا آبیاری زمین های اطراف جمع می شوند و چون با سرعت لازم در خاک نفوذ نمی کند، در سطح زمین جاری می شوند.

کانال های زهکشی به منظور جمع آوری آب باران و هدایت آنها به خارج از توده لغزنده احداث می گردند. برای طراحی شبکه کانال های زهکشی در توده لغزنده باید بررسی های دقیق از منطقه توپوگرافی زمین لغزش به عمل آید و نقشه توپوگرافی با مقیاس مناسب از محدوده زمین لغزش تهیه گردد به طوریکه بتوان آب داخل کانال را با شیب مناسبی به چاه تخلیه و یا به نهر زهکشی هدایت نمود.

۲- زهکشی زیرزمینی (عملی)

زهکشی اکثر خاکها از طریق زهکش های سفالی و لوله های مشبک و دارای شیار که در زیر خاک کار گذاشته می شود، صورت می گیرد. در شرایطی که خاک محل ریزدانه بوده و قابلیت زهکشی و عبور آب را نداشته باشد و بخصوص در مناطق دارای شیب که وجود آب احتمال ریزش را افزایش می دهد، لازم است با تعیبه لوله های زهکش در فواصل مناسب خاک زهکشی گردد.

در نهایت براساس روش های پایداری و با بهره گیری از ضریب پایداری (FS) که حاصل تقسیم مجموع نیروهای مقاوم در برابر حرکت دامنه به مجموع نیروهای محرک بوده مناطق به صورت طبقات آسیب پذیری ناپایداری خیلی زیاد (رده ای که FS کمتر از یک باشد)، آسیب پذیری ناپایداری زیاد (رده ای که FS از ۱ بیشتر و از ۱/۲۵ کمتر باشد)، آسیب پذیری ناپایداری متوسط (رده ای که FS آن بیشتر از ۱/۲۵ و کمتر از ۱/۵ باشد)، آسیب پذیری ناپایداری کم (رده ای که FS آن بیشتر از ۱/۵ باشد) مورد بررسی قرار می گیرند.

۲-۲- روش تجزیه و تحلیل اطلاعات

در بحث روش شناسی پژوهش حاضر باجمع آوری اطلاعات نمونه از قبیل زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی خاک با توجه به اطلاعات موجود محلی و یا توسط دستگاه سه محوری و یا برش مستقیم صورت می گیرد و تجزیه و تحلیل، ارزیابی نتایج، مقایسه پارامترها و همچنین پاسخ به سوال های تحقیق توسط مدل نرم افزاری FLAC یا PLAXIS قابل بررسی بوده و تجزیه و تحلیل داده ها و نتایج به صورت آمار توصیفی نظیر جداول و نمودار قابل ارائه خواهد بود.

۳- مدل سازی، بحث و نتیجه گیری

در حالت کلی و به بیانی ساده به توده های خاکی که نسبت به سطح افق سطحی شیب دار داشته باشند شیروانی خاکی گفته می شود. همچنین اگر سطح زمین با راستای افقی زاویه ای غیر از صفر بسازد، به این سطح شیب دار یک شیروانی خاکی (Slope Soil) گفته می شود. شیروانی های خاکی می توانند در اثر نیروهای طبیعی ناشی از باد، آب، برف و غیره ایجاد شده باشند و یا توسط انسان ساخته شوند. شیب های ایجاد شده در وجوه کانال ها، سدها، بندها، و جاده ها نمونه هایی از شیب های خاکی مصنوعی می باشند. در بررسی شیروانی های خاکی تحلیل پایداری آن ها حائز اهمیت بوده و مورد توجه مهندسان ژئوتکنیک (شاخه ای از مهندسی عمران است که به بررسی رفتار مهندسی مصالح زمین و مخاطرات محتمل در رابطه با احداث ابنیه می پردازد) است.

۱-۳: ضریب ایمنی در پایداری شیروانی ها

پایداری یک شیروانی خاکی به عوامل متعددی مثل لایه بندی خاک، آب زیرزمینی، مقاومت برشی خاک و غیره بستگی دارد. برای تعریف پایداری شیروانی های خاکی از ضریب اطمینان مربوط به آن استفاده می شود. می دانیم که ضریب اطمینان در برابر گسیختگی برشی در امتداد یک صفحه دلخواه، از حاصل تقسیم F (مقاومت برشی در امتداد آن صفحه) بر d (تنش برشی بسیج شده در امتداد صفحه مورد نظر) بدست آمد. ضریب اطمینان پایداری شیروانی خاکی به صورت معادله زیر تعیین می گردد که در آن FS ضریب اطمینان کلی شیروانی خاکی در امتداد سطح لغزش بوده و f مقاومت برشی خاک در این سطح است. d نیز تنش برشی بسیج شده خاک در امتداد سطح مورد نظر است و در واقع حداقل تنش برشی مقاومی است که به ازای آن شیروانی ما پایدار می ماند.

$$FS = \frac{\tau f}{\tau d}$$

در این رابطه:

تو f همان τ_{Max} است که در نهایت توان خاک را برای مقابله با لغزش در سطح مورد نظر نشان می دهد. این مطلب بیانگر آن است که تو d درصدی از تو f بوده و تمام توان خاک برای مقابله با لغزش نیست. از این رو می توان نتیجه گرفت که به هنگام بسیج شده تو d تنها بخشی از زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی خاک بسیج می شوند که آن ها را زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی بسیج شده خاک نامیده و در حالت کلی منظور از ضریب اطمینان شیروانی، ضریب اطمینان کلی می باشد.

برای محاسبه ضریب اطمینان شیروانی در برابر لغزش انتقالی بایستی از رابطه تعادل نیروها استفاده کرد. حال اگر به هنگام لغزش شیروانی، دوران خاک حول یک نقطه (محور) مدنظر باشد، در آن صورت برای محاسبه ضریب اطمینان شیروانی در برابر لغزش دورانی از رابطه تعادل لنگرها کمک می گیریم.

اگر ضریب اطمینان شیروانی از یک کمتر باشد شیروانی ناپایدار و اگر از یک بیشتر شود، شیروانی پایدار خواهد بود. در حالی که $FS=1$ است، شیروانی در آستانه لغزش قرار دارد. همچنین برای تامین پایداری شیروانی های خاکی در عمل، FS بزرگتر و مساوی ۱,۵ در نظر گرفته می شود. شیروانی های خاکی را در حالت کلی به دو دسته تقسیم می کنیم:

شیروانی های خاکی نامحدود: دسته اول شامل شیب های خاکی نامحدود است با این ویژگی که طول آن ها در مقایسه با ارتفاع شان زیاد است (در عمل اگر طول شیروانی تقریباً از ۱۰ برابر ارتفاع آن بیشتر باشد، می توان شیروانی را نامحدود در نظر گرفت).

شیروانی های خاکی محدود: دسته دوم شیب های خاکی محدود می باشد که دارای طول محدود و ارتفاع مشخصی است.

۲-۳: نحوه مدل سازی

مدلسازی در نرم افزار PLAXIS در چندین مرحله انجام می گردد که هر مرحله شامل چندین بخش مجزا می باشد که نسبت به سلیقه طراح متفاوت می باشد. مراحل طراحی در نرم افزار PLAXIS شامل ایجاد مدل اولیه، اختصاص مصالح، اختصاص شرایط مرزی، تعیین سطح تراز آب های زیرزمینی، مشبندی و در نهایت انجام محاسبات می باشد. این نرم افزار نرم افزار کاربردی برای مهندسی ژئوتکنیک بوده و انجام محاسبات آن به طور سریع انجام می گردد. لازم به ذکر است که انجام مدل های مشابه در نرم افزار های دیگر زمان بیشتر و سختی بیشتری را در پی دارد.

جدول (۱) . مشخصات خاک

پارامتر	مدل رفتاری	وزن مخصوص	ضریب چسبندگی	زاویه اصطکاک داخلی	مدول الاستیک
		KN/m ³	KN/m ²	Degree	KN/m ³
لایه اول	موهر کلمب	۱۵	۵	۲۰	۱۰۰۰
لایه دوم	موهر کلمب	۱۸	۱۰	۲۵	۲۰۰۰

جدول (۲) . مشخصات شمع

پارامتر	مدل رفتاری	وزن واحد	مدول محوری	مدول خمشی	قطر شمع
		KN/m/m	KN/m	KN.m ² /m	m
شمع	الاستیک	۲	۲۰۰۰۰۰۰	۸۰۰۰	۰٫۲۱۹

جدول (۳) . مشخصات دیوار بتنی

پارامتر	مدل رفتاری	وزن واحد	مدول محوری	مدول خمشی	قطر شمع
		KN/m/m	KN/m	KN.m ² /m	m
دیوار	الاستیک	۸	۲۰۰۰۰۰۰	۱۶۷۰۰۰۰	۱

جدول (۴) . مشخصات انکر

مدل مصالح	مدول محوری	حداکثر ظرفیت کششی	فاصل بن انکرها در بعد سوم
	KN/m	KN/m	m
انکر	۲۱۰۰۰۰	۳۶۷	۱

جدول (۵) . مشخصات ژئوگرید

مدل مصالح	مدول محوری	حداکثر ظرفیت کششی
	KN/m	KN/m
ژئوگرید	۲۱۰۰۰۰	۳۶۷

در نرم افزار PLAXIS می توانیم تمامی مشخصات فوق را با استفاده از Material Sets تعریف نمائیم. در شکل ۱ به نحوه وارد کردن این مشخصات به صورت شماتیک اشاره خواهد شد.

Mohr-Coulomb - Soil 1

General Parameters Interfaces

<p>Stiffness</p> <p>E_{ref} : 1000.000 kN/m²</p> <p>ν (nu) : 0.000</p>	<p>Strength</p> <p>c_{ref} : 5.000 kN/m²</p> <p>ϕ (phi) : 20.000 °</p> <p>ψ (psi) : 0.000 °</p>
<p>Alternatives</p> <p>G_{ref} : 500.000 kN/m²</p> <p>E_{oed} : 1000.000 kN/m²</p>	<p>Velocities</p> <p>V_s : 18.070 m/s</p> <p>V_p : 25.560 m/s</p>

Advanced...

SoilTest Next OK Cancel

Mohr-Coulomb - Soil 1

General Parameters Interfaces

<p>Material set</p> <p>Identification: Soil 1</p> <p>Material model: Mohr-Coulomb</p> <p>Material type: Drained</p>	<p>General properties</p> <p>γ_{unsat} : 15.000 kN/m³</p> <p>γ_{sat} : 15.000 kN/m³</p>
<p>Comments</p>	<p>Permeability</p> <p>k_x : 0.000 m/day</p> <p>k_y : 0.000 m/day</p>

Advanced...

SoilTest Next OK Cancel

شکل (۱). نحوه معرفی مشخصات لایه خاکی اول به نرم افزار PLAXIS

Mohr-Coulomb - Soil 2

General Parameters Interfaces

Stiffness	Strength
E_{ref} : 2000.000 kN/m ²	C_{ref} : 10.000 kN/m ²
ν (nu) : 0.000	ϕ (phi) : 25.000 °
	ψ (psi) : 0.000 °
Alternatives	Velocities
G_{ref} : 1000.000 kN/m ²	V_s : 23.330 m/s
E_{oed} : 2000.000 kN/m ²	V_p : 33.000 m/s

Advanced...

SoilTest Next OK Cancel

Mohr-Coulomb - Soil 2

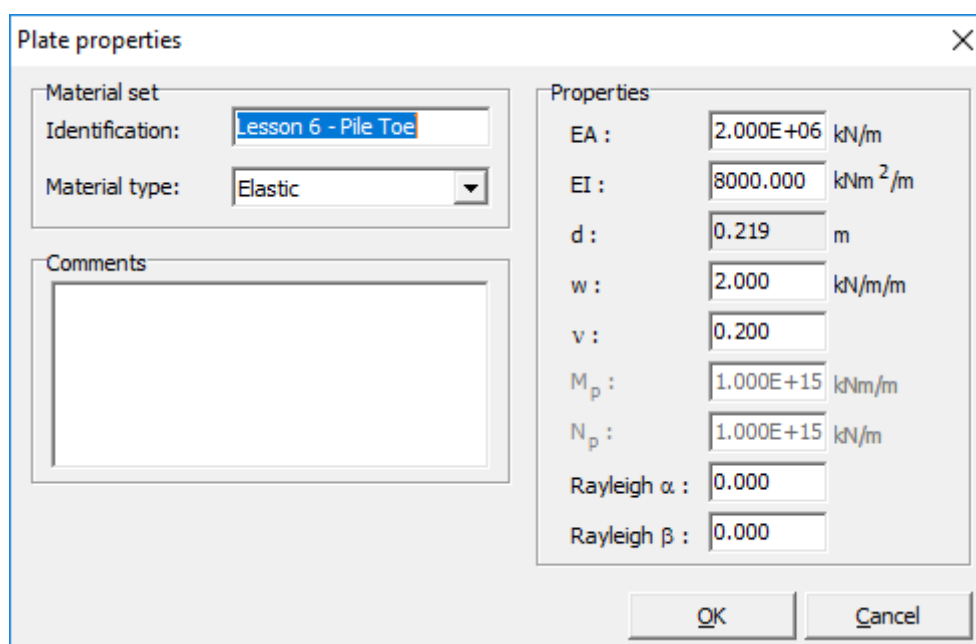
General Parameters Interfaces

Material set	General properties
Identification: Soil 2	γ_{unsat} : 18.000 kN/m ³
Material model: Mohr-Coulomb	γ_{sat} : 18.000 kN/m ³
Material type: Drained	
Comments	Permeability
	k_x : 0.000 m/day
	k_y : 0.000 m/day

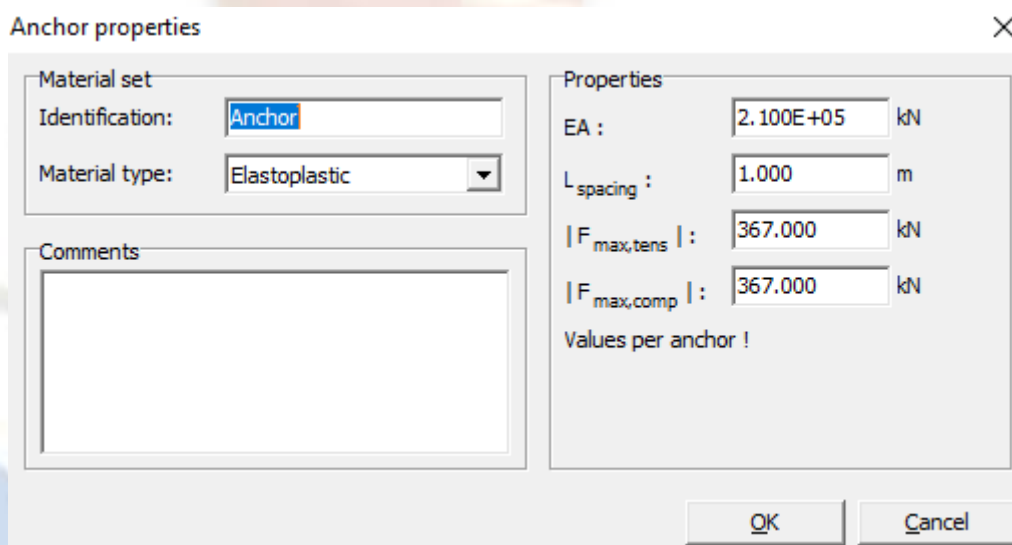
Advanced...

SoilTest Next OK Cancel

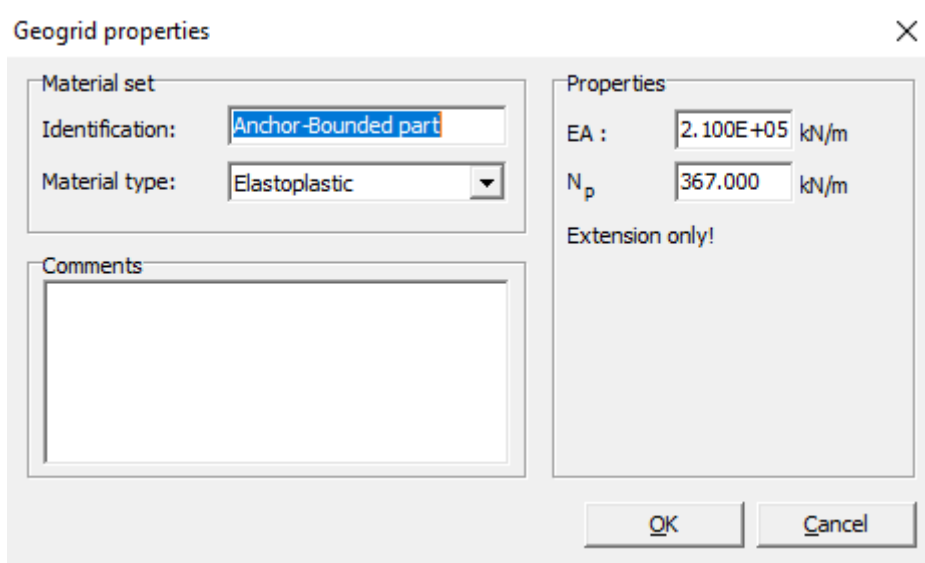
شکل (۲) . نحوه معرفی مشخصات لایه خاکی دوم به نرم افزار PLAXIS



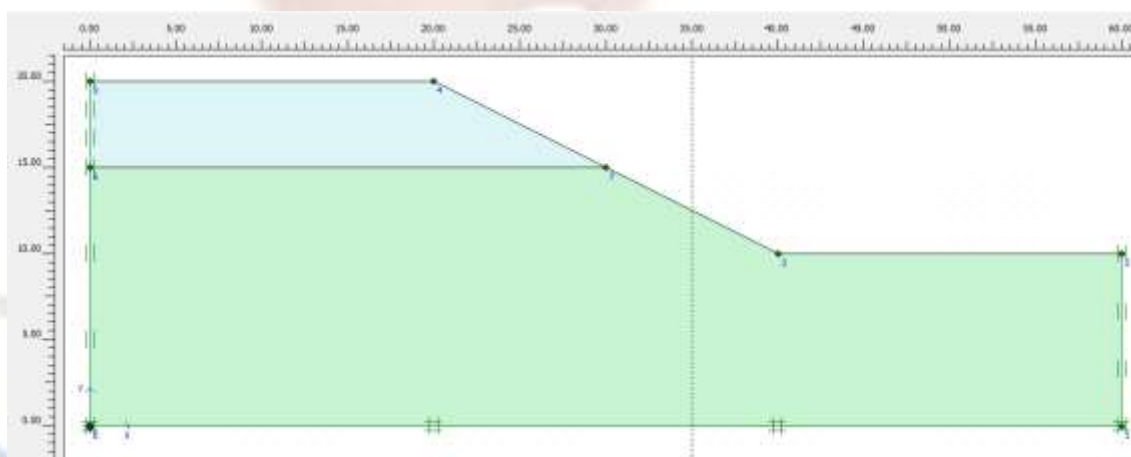
شکل (۳) . نحوه معرفی مشخصات شمع به نرم افزار PLAXIS



شکل (۴) . نحوه معرفی مشخصات انکر به نرم افزار PLAXIS

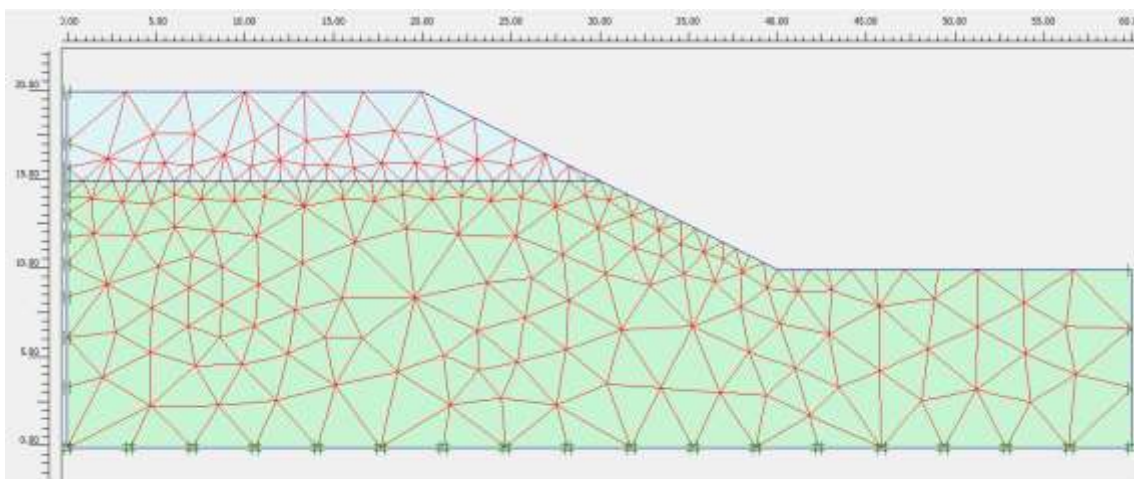


شکل (۵) . نحوه معرفی مشخصات ژئوگرید به نرم افزار PLAXIS

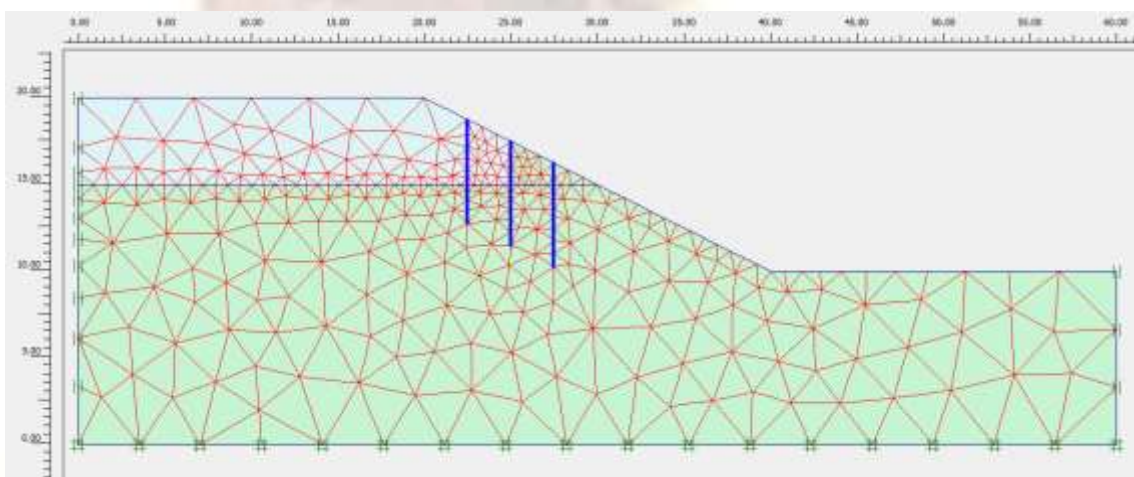


شکل (۶) . نمای کلی از شیروانی خاکی

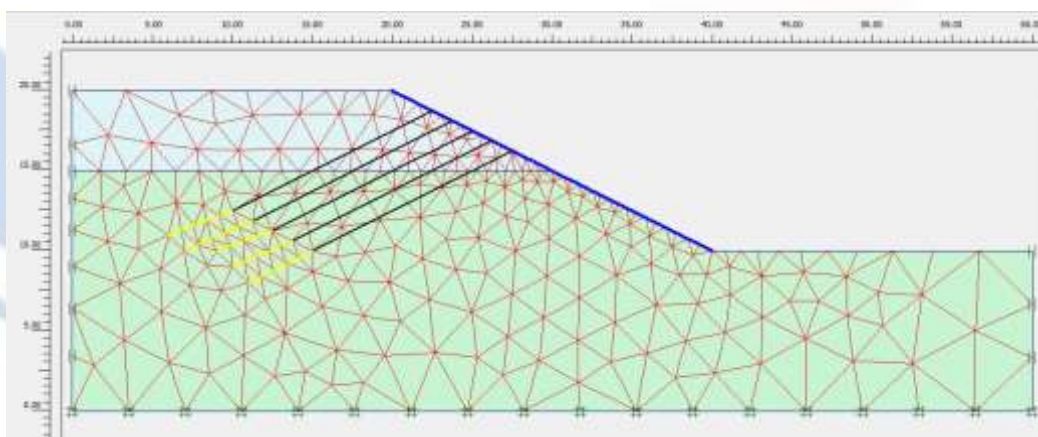
جهت دقت هر چه بهتر مدل های طراحی شده از مش بندی استفاده شده است و شکل شماره ۷ نشان دهنده مش بندی های ایجاد شده در مدل می باشد.



شکل (۷) . مش بندی انجام شده در شیروانی خاکی (مدل اول)



شکل (۸) . مش بندی انجام شده در پایدارسازی شیروانی خاکی به روش شمع گذاری (مدل دوم)

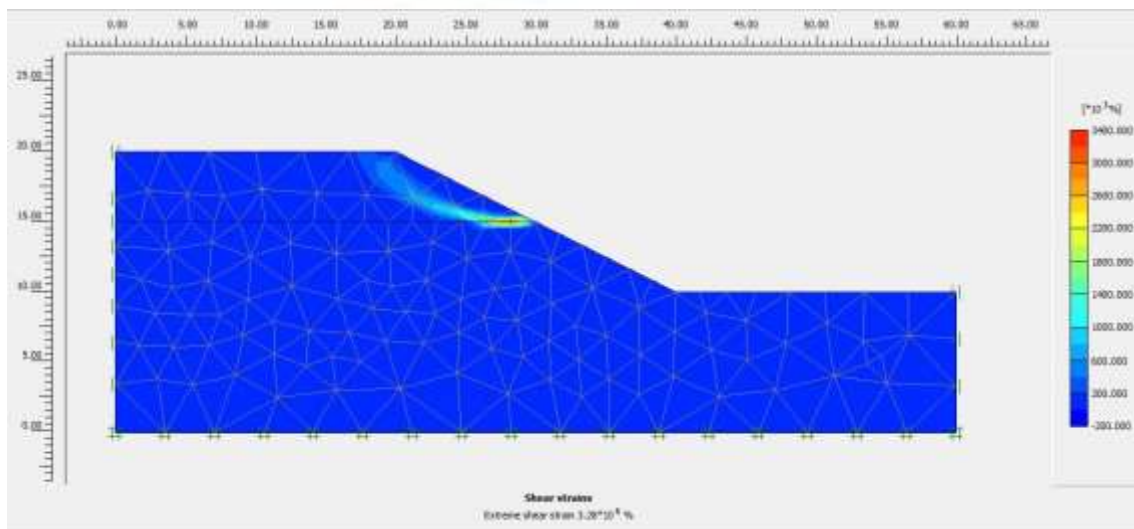


شکل (۹) . مش بندی انجام شده در پایدارسازی شیروانی خاکی به روش انکراژ (مدل سوم)

جهت درک بهتر تغییرات ایجاد شده تغییرات مشبندی در ادامه ارائه خواهند شد. مش های تولید شده در مدل ها ، مش مثلثی مناسبی می باشد. جهت انجام مشبندی از گزینه Generate mesh در نرم افزار استفاده می گردد که در صورتی که در یکی از محیط ها و یا المان ها مصالح تعریف نشده باشد، مش بندی صورت نخواهد گرفت.

۳-۳. آنالیز داده ها

پس از انجام مش بندی به مرحله تعیین شرایط اولیه می رسیم . با توجه به این که در این مدل قصد بررسی تنش های حاصل از آب های زیرزمینی را نداریم لذا با گذر از آن تنها تنش موثر (ناشی از وزن خاک) در این مرحله به دست خواهد آمد.

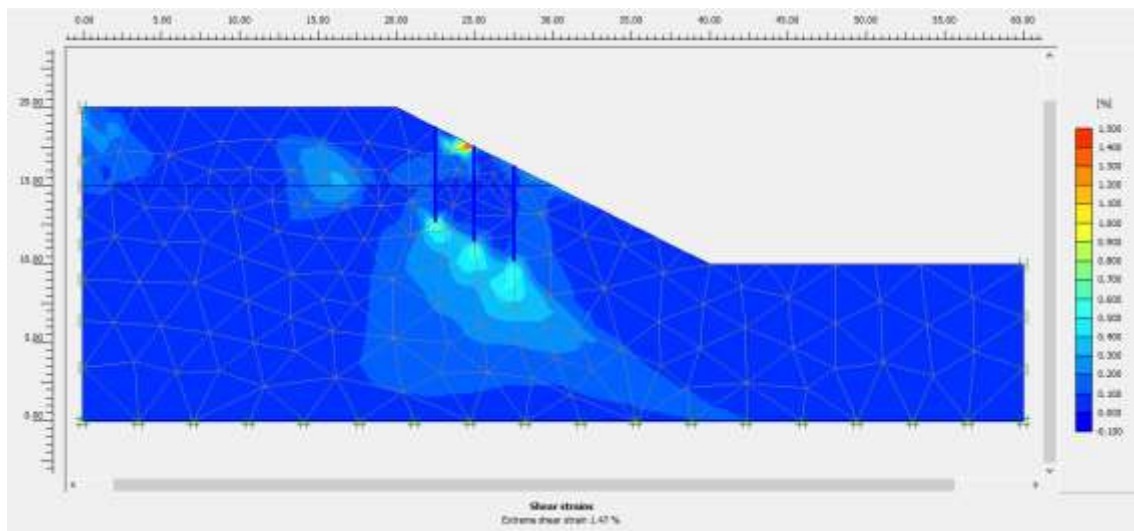


شکل (۱۰) . مکانیزم گسیختگی مدل اول

Calculation information					
Multipliers		Additional Info		Step Info	
Step Info		Step		109 of 109	
Plastic STEP		Extrapolation factor		2.000	
		Relative stiffness		0.000	
Multipliers		Incremental multipliers		Total multipliers	
Prescribed displacements	Mdisp:	0.000	Σ-Mdisp:	1.000	
Load system A	MloadA:	0.000	Σ-MloadA:	1.000	
Load system B	MloadB:	0.000	Σ-MloadB:	1.000	
Soil weight	Mweight:	0.000	Σ-Mweight:	1.000	
Acceleration	Maccel:	0.000	Σ-Maccel:	0.000	
Strength reduction factor	Msf:	0.000	Σ-Msf:	1.537	
Time	Increment:	0.000	End time:	0.000	
Dynamic time	Increment:	0.000	End time:	0.000	

شکل (۱۱) . ضریب اطمینان مدل اول

همانطور که در شکل ۱۱ مشاهده می نمائید ضریب اطمینان مدل اول برابر ۱,۵۳۷ می باشد. با توجه به این که این مقدار از ۱,۵ بزرگتر است پس این شیروانی در حالت عادی در استانه پایداری قرار دارد.



شکل (۱۲) . مکانیزم گسیختگی مدل دوم

Calculation information

Multipliers | Additional Info | Step Info

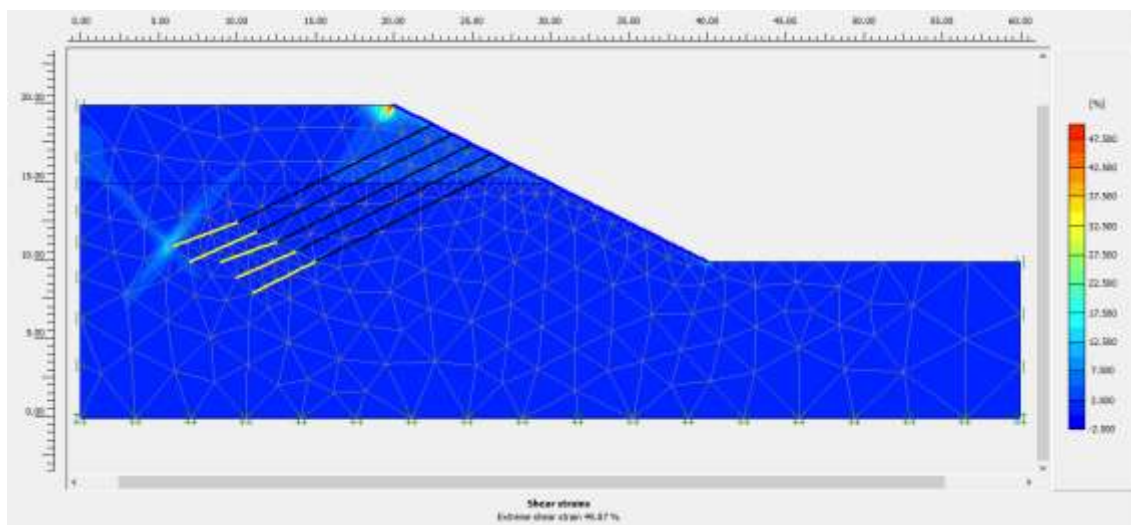
Step Info			
Step	112 of 112	Extrapolation factor	2.000
Plastic STEP		Relative stiffness	0.000

	Incremental multipliers		Total multipliers	
Prescribed displacements	Mdisp:	0.000	Σ -Mdisp:	1.000
Load system A	MloadA:	0.000	Σ -MloadA:	1.000
Load system B	MloadB:	0.000	Σ -MloadB:	1.000
Soil weight	Mweight:	0.000	Σ -Mweight:	1.000
Acceleration	Maccel:	0.000	Σ -Maccel:	0.000
Strength reduction factor	Msf:	0.000	Σ -Msf:	1.713
Time	Increment:	0.000	End time:	0.000
Dynamic time	Increment:	0.000	End time:	0.000

Print OK

شکل (۱۳) . ضریب اطمینان مدل دوم

همانطور که در شکل فوق مشاهده می نمائید ضریب اطمینان مدل اول برابر ۱,۷۱۳ می باشد. با توجه به اینکه این مقدار از ۱,۵ بزرگتر است پس این شیروانی در حالت پایداری سازی به روش شمع گذاری کاملاً پایدار است.



شکل (۱۴) . مکانیزم گسیختگی مدل سوم

Calculation information

Multipliers | Additional Info | Step Info

Step Info			
Step	118 of 118	Extrapolation factor	1.000
Plastic STEP		Relative stiffness	0.000

	Incremental multipliers		Total multipliers	
Prescribed displacements	Mdisp:	0.000	Σ-Mdisp:	1.000
Load system A	MloadA:	0.000	Σ-MloadA:	1.000
Load system B	MloadB:	0.000	Σ-MloadB:	1.000
Soil weight	Mweight:	0.000	Σ-Mweight:	1.000
Acceleration	Maccel:	0.000	Σ-Maccel:	0.000
Strength reduction factor	Msf:	0.000	Σ-Msf:	2.501
Time	Increment:	0.000	End time:	0.000
Dynamic time	Increment:	0.000	End time:	0.000

Print OK

شکل (۱۵) . ضریب اطمینان مدل دوم

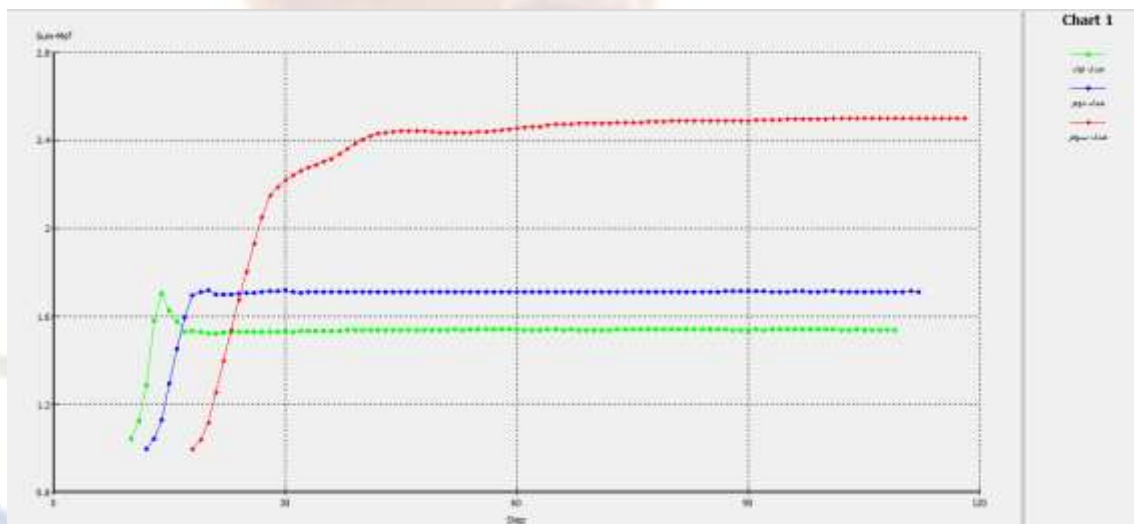
همانطور که در شکل فوق مشاهده می نمائید ضریب اطمینان مدل اول برابر ۲,۵۰۱ می باشد. با توجه به اینکه این مقدار از ۱,۵ بزرگتر است پس این شیروانی در حالت پایدارسازی به روش انکراژ در پایدارترین حالت نسبت به مدل های قبلی بررسی شده در این تحقیق قرار دارد.

۴-۳ . خروجی ها

بعد از انجام آنالیز برای هر یک از مدل ها به مرحله خروجی یا همان Output می‌رسیم. در نرم افزار پلکسیس ، در قسمت خروجی‌ها می‌توان کلیه‌ی تنش‌ها ، کرنش‌ها و جابجایی‌های به وجود آمده در اثر آنالیز سازه را به دست آورد. همچنین می‌توان دیاگرام آزاد نیروهای وارد شده بر المان های سازه ای مثلا دیوارها را محاسبه کرد. همچنین با استفاده از آیتم Curve می‌توان کلیه نمودار های مربوط به خروجی‌های ذکر شده را نیز رسم کرد. برای درک بهتر تغییرات ایجاد شده در هر قسمت از سازه می‌توان در مرحله آنالیز نقاطی را که مد نظر هستند انتخاب و نام گذاری کنیم. در این پژوهش تعداد معدودی نقطه در مرحله آنالیز در هر مدل در نظر گرفته‌ایم، نقطه A در قسمت فوقانی لایه اول ، جهت اخذ نمودار انتخاب گردیده است.

۴ . نتایج

براساس آن چه که از بخش مبانی نظری ، مواد و روش ها و بحث و نتیجه گیری پژوهش حاضر به صورت نتایج توصیفی قابل استخراج بوده و بیان شد در قالب نرم افزار نیز با توجه به مطالب ذکر شده و آنالیزهای انجام شده برای هر مدل ، نتایج کمی استخراج شده که در نمودارهای زیر به ترتیب نشان داده شده است.



شکل (۱۶) . مقایسه نمودارهای ضریب اطمینان در سه مدل

لازم به توضیح است که شکل فوق سه نمودار مدل های مورد بررسی در این تحقیق را بیان می کند که :

- نمودار اول مربوط به ضریب اطمینان شیروانی خاکی بدون پایدارسازی است و همانطور که مشاهده می نمائید حدودا برابر ۱,۵ می باشد.
- نمودار دوم مربوط به ضریب اطمینان شیروانی خاکی پایدارشده به روش شمع گذاری است و همانطور که مشاهده می نمائید حدودا برابر ۱,۷ می باشد.
- نمودار سوم مربوط به ضریب اطمینان شیروانی خاکی پایدارشده به روش شمع گذاری است و همانطور که مشاهده می نمائید حدودا برابر ۲,۵ می باشد.

همانطور که از بحث پیرامون خروجی های نرم افزار برداشت شده است در می یابیم پایداری سازی شیروانی خاکی به روش انکراژ دارای بیشترین ضریب اطمینان و در نتیجه قابل اطمینان ترین روش می باشد لذا توصیه می شود در شیروانی حساس به ویژه در کنار جاده ها و مسیرهای پرتردد از روش انکراژ برای پایداری سازی شیروانی خاکی استفاده نمایید.

۵- تشکر و قدردانی

لازم است از مسئولین محترم دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان به ویژه همکاران سایت کتابخانه و مرکز خدمات علمی و کامپیوتری و همچنین از کلیه اساتید ارجمند گروه مهندسی عمران دانشگاه فوق که در اجرا و تدوین پژوهش حاضر از هیچ کوشش و تلاشی دریغ نداشتند، تشکر و قدردانی ویژه ای نماییم و امیدواریم که مقاله حاضر بتواند گوشه ای از زحمات این عزیزان را پوشش دهد.

فهرست منابع

الف-فارسی:

۱. حسن احمدی، عطاءالله کلارستاقی، محمود حبیب نژاد (۱۳۸۵)، مطالعه وقوع زمین لغزش ها در ارتباط با تغییر کاربری اراضی و جاده سازی مطالعه موردی حوزه آبخیز تجن، ساری، شماره ۶۲
۲. علی کمک پناه (۱۳۷۰)، مجموعه مقالات اولین کارگاه تخصصی راهبردهای کاهش خسارات زمین لغزه، چاپ اول
۳. محسن فلعه گری، علی طالبی، یاسر کیااشکوریان (۱۳۹۱)، بررسی اثر جاده سازی در وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل پایداری دامنه SLOP FLAC، پژوهش های حفاظت آب و خاک، شماره ۱: ۱۲ ص
۴. محسن رضائی، علی قربانی، علی محمد نور محمدی، سید رضا حسین زاده (۱۳۸۷)، بررسی عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش با استفاده از GIS و RS (مطالعه: موردی سد دوستی)، نشریه هیدروژئومورفولوژی، دوره اول، شماره چهارم، ص ۲۱ تا ۳۸
۵. نیک اندیش، میر صانعی (۱۳۷۶)، مدیریت خطر زمین لغزش، دومین سمینار زمین لغزه و کاهش خسارتهای آن، SLHR_۰۲_۱۸_۰۰_۲۴ ص

ب-انگلیسی:

۱. Ataollah Kelarestaghi, Hassan Ahmadi, Iran Landslide susceptibility analysis with a bivariate approach and GIS in Northern, Arabian Journal of Geosciences ۲ (۱), ۹۵-۱۰۱, ۲۰۰۲
۲. Matthew C Larsen, John E Parks (۱۹۹۷), The association of roads and mass-wasting in a forested montane environment, Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Group ۲۲ (۹), ۸۳۵-۸۴۸

۳. MP Sah, RK Mazari (۱۹۹۶),
Anthropogenically accelerated mass movement, Kulu Valley, Himachal Pradesh, Geomorphology ۲۶
(۱-۳), ۱۲۳-۱۳۸

۴. S Sarkar, DP Kanungo, PKS Chauhan; ۲۰۰۳, Landslide disaster, current Science ۸۷ (۲), ۱۳۴-۱۳۷

۵. Urho M Kujala, Benjamin Waller, Anna Ogonowska-Slodownik, Manuel Vitor, Johan Lambeck,
Daniel Daly, Ari Heinonen

Effect of therapeutic aquatic exercise on symptoms and function associated with lower limb, ۲۰۱۲;
, ۱۳۹۵-۱۳۸۳, (۱۰) ۹۴ Physical therapy, analysis-eview with metaosteoarthritis: systematic r

