

بررسی تحلیلی و عددی پایداری دامنه شیب‌های ترانشه‌ای (مطالعه موردی: ترانشه مجاور کتابخانه دانشگاه یاسوج)

مقاله علمی - پژوهشی

سیده زهرا حسینی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
مهدی زمانی لنجانی، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
مسعود رابطی مقدم*، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: rabeti@yu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۰۴ - پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۰

صفحه ۱۷۷-۱۸۸

چکیده

تعیین هندسه سطح گسیختگی از تاثیرگذارترین مراحل تعیین دقیق ضریب اطمینان پایداری شیب محسوب می‌شود. در اغلب تحلیل‌ها برای سهولت در محاسبات سطح گسیختگی به صورت خطی یا دایره‌ای فرض می‌گردد که بعضاً با واقعیت انطباق ندارد. پژوهش حاضر با توجه به مشاهده گسیختگی‌هایی در ترانشه مجاور کتابخانه مرکزی دانشگاه یاسوج، به بررسی گسیختگی‌های موضعی در دامنه و تعیین ضریب اطمینان پایداری در این ترانشه به روش تعادل حدی و المان محدود پرداخته است. با نقشه برداری از ترانشه مورد مطالعه و جمع‌آوری اطلاعات ژئوتکنیکی، برای هفت مقطع از این ترانشه، با سطح گسیختگی برداشت شده و سطح گسیختگی دایره‌ای با روش تحلیلی بیشاپ، در نرم‌افزار SLOPE/W و با روش ϕ -c reduction، در نرم‌افزار PLAXIS تحلیل انجام و نتایج با هم مقایسه گردید. روش بیشاپ گوه‌های گسیختگی با سطح دایره‌ای برای این ترانشه پیش‌بینی کرد که با سطح گسیختگی واقعی شکل گرفته مغایرت داشت. از این رو با استفاده از روش درون‌یابی اسپلاین در متلب برای هر مقطع از ترانشه، منحنی و معادله رویه گسیختگی آن به دست آمد که تحلیل پایداری روی این سطوح شرایط واقعی تری از وضعیت پایداری شیب را ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: پایداری شیب، ترانشه، لغزش دامنه، مطالعه تحلیلی، مطالعه موردی

۱- مقدمه

زیادی می‌گردد. این پدیده تحت تاثیر عوامل مختلفی مانند وضعیت توپوگرافی، زمین‌شناسی، وجود جریان‌های سطحی و زیرسطحی، میزان بارش، افزایش فشار آب حفره‌ای، پوشش گیاهی و شرایط لرزه‌خیزی منطقه‌ای قرار دارد. در بعضی مناطق به دلیل خاکبرداری و حفاری دامنه‌ها، تعادل طبیعی شیب دامنه‌ها کاهش می‌یابد که در صورت وجود سایر پدیده‌های مخرب مانند

در صورتی که سطح زمین به صورت شیب‌دار، تحت زاویه‌ای با افق ایستاده باشد، به آن شیروانی خاکی آزاد گفته می‌شود (آفتاب و بهادری، ۱۳۹۵). وقوع ناپایداری در شیروانی‌های خاکی هر ساله سبب وارد آمدن خسارت‌های زیادی به سازه‌ها و تاسیسات زیربنایی مانند ساختمان‌ها، راه‌ها و کانال‌های انتقال آب شده و همچنین موجب تحمیل هزینه‌های مالی و جانی

بارندگی، اثباعت شدن خاک و نشست، احتمال وقوع زمین لغزش افزایش می‌یابد (حسنوی آتشگاه و دیگران، ۱۳۹۴). برای تحلیل پایداری شیروانی، یافتن سطح لغزشی که حداقل ضریب اطمینان را داشته باشد یکی از مراحل مهم محسوب می‌شود. به این سطح، سطح لغزش بحرانی گفته می‌شود که در بسیاری از تحلیل‌ها برای ایجاد سهولت در محاسبات آن را به شکل دایره یا اسپیرال فرض می‌کنند. هنده در نظر گرفته شده برای رویه گسیختگی اهمیت زیادی دارد و هنوز بشر نتوانسته است که هنده واقعی حاکم بر رویه گسیختگی را شناسایی کند. رازقی و آرای (۱۳۸۸) به مطالعه تحلیل پایداری ترانشه‌های مسیرهای دسترسی در محوطه‌ی برج میلاد با استفاده از روش‌های عددی و شبکه‌های مصنوعی (ANNs) پرداختند. نتایج نشان داد که ANNs قابلیت بسیار مناسبی در تخمین ضرایب پایداری ترانشه‌ها در کلیه موارد بررسی شده دارد (رازقی و آرای، ۱۳۸۸). عسگری و همکاران (۱۳۸۹) تحلیل پایداری سه بعدی شیروانی‌ها براساس مکانیسم گسیختگی را مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق به بررسی سه‌بعدی پایداری شیروانی‌ها بر مبنای روش تحلیل حدی مرز بالا براساس مکانیسم گسیختگی چرخشی پرداخته شده است. برای سطح زیرین مکانیسم گسیختگی از یک رویه اسپیرال لگاریتمی استفاده شده و با حل یک معادله دیفرانسیل غیرخطی سطوح جانبی مکانیسم گسیختگی به دست آورده‌اند که با استفاده از آن کمترین ضریب اطمینان پایداری شیروانی‌ها محاسبه گردیده است (عسگری و اورنگ و فاضلی‌نیا، ۱۳۸۹). حشمتی و شکیب‌اراد (۱۳۹۰) تحلیل سه بعدی پایداری شیروانی‌های خاکی به روش کرنش ویسکو پلاستیک را مورد مطالعه قرار دادند. از نتایج این تحقیق این بوده است که همه شیروانی‌هایی که در طبیعت گسیخته می‌شوند از جمله شیروانی‌های طبیعی، شیروانی‌ها با بار عرضی، شیروانی‌ها با بارمترکز یا شیروانی‌های قوسدار در پلان سه‌بعدی هستن (حشمتی و شکیب‌اراد، ۱۳۹۰). توانا (۱۳۹۰) به مطالعه‌ی بهینه‌سازی سطح لغزش سه‌بعدی شیب‌های خاکی با روش بیشترین شیب محلی پرداخت. این الگوریتم یک شیوه بهینه سازی ساده و در عین حال دقیق و کارآمد برای ارائه شکل واقعی تر توده‌های لغزش سه‌بعدی است. سطح گسیختگی پیشنهادی و توده لغزشی حاصل از آن انطباق بسیار زیادی با واقعیت داشته و دربردارنده ضریب اطمینان کمتری نسبت به سطح لغزش کروی است (توانا، ۱۳۹۰). شوریابی (۱۳۹۲)

تحقیقی تحت عنوان تعیین سطح سه‌بعدی گسیختگی در شیب‌های رسی همگن و تحلیل سه‌بعدی آن را انجام داد. در این تحقیق هندسه سطح لغزش بیضوی در نظر گرفته شده است. از مقایسه‌ی تحلیل پایداری شیب‌های متعدد با روش‌های بیشاپ ساده شده و جانبوی ساده شده با سطوح لغزش دایره‌ای و بیضوی نشان داد که از تحلیل پایداری شیب با سطح لغزش بیضوی نتایج کمتری نسبت به تحلیل پایداری با سطح لغزش دایره‌ای بدست می‌آید (شوریابی، ۱۳۹۲). سلسنتینو و دانکن (۱۹۸۱) روش ساده ای را برای جستجوی سطح لغزش غیردایره‌ای ارائه کردند که در آن سطوح لغزش از خطوط شکسته تشکیل می‌شود و محل برخورد این خطوط، گره‌ها هستند. در این روش باید تعدادی آزمایش تکراری انجام شود که هر آزمایش با جابجایی یک گره شروع می‌شود. جابجایی هر گره به دو مکان مختلف در طول یک خط انجام می‌گیرد. با انتقال هر گره به دو نقطه جدید، دو سطح لغزش جدید حاصل خواهد شد که برای هر یک ضریب اطمینان جداگانه‌ای محاسبه می‌شود (سلسنتینو و دانکن، ۱۹۸۱).

آرای و تاگی‌یو (۱۹۸۵) با استفاده از روش ریاضی گرادیان مزدوج راه حلی برای تعیین بحرانی‌ترین سطح لغزش غیردایره‌ای پیشنهاد کردند. در این روش ابتدا شیروانی مورد نظر به تعدادی قطعات با عرض کوچک تقسیم می‌شود. برای محاسبه ی ضریب اطمینان در هر مرحله از بهینه سازی از روش جانبو استفاده شده است. همچنین گره‌های ابتدایی و انتهایی سطح لغزش (گره‌های مرزی) تنها می‌توانند در محل تقاطع قطعات ها و مرزهای شیروانی قرارگیرند و گره‌های غیرمرزی تنها می‌توانند در جهت محور عمودی حرکت داشته باشند و مختصات تمام گره‌ها در جهت محور افق همواره ثابت است (آرای و تاگی‌یو، ۱۹۸۵). مک‌کامبی و ویلکینسون (۲۰۰۲) یک الگوریتم ژنتیک ساده برای پیدا کردن حداقل فاکتور اطمینان یک سطح گسیختگی دایره‌ای توسعه دادند. آنها یک برنامه کروموزومی سه‌بعدی حاوی مختصات X و Y مرکز و شعاع دایره سطح لغزش دایره‌ای ارائه کردند (مک‌کامبی و ویلکینسون، ۲۰۰۲). ذوالفقاری و همکاران (۲۰۰۵) الگوریتم ژنتیک ساده جستجوی سطح گسیختگی بحرانی را برای سطح گسیختگی غیردایره‌ای مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق از روش مورگنسترِن_پرایس برای یافتن سطح بحرانی بهره بردند. آنها نتیجه گرفتند که روش الگوریتم ژنتیک ساده می‌تواند برای پیدا کردن سطح گسیختگی غیردایره‌ای با کمترین

گرفته می‌شود و ضرایب اطمینان پایداری محاسبه شده و مقایسه می‌گردد. این تحقیق با توجه به گسیختگی‌هایی که در ترانشه موجود در دانشگاه یاسوج مشاهده شده به بررسی هندسه سطح گسیختگی‌های موضعی در دامنه این ترانشه‌ها و مقایسه آن با نتایج تحلیل‌های عددی و تحلیلی (تعادل حدی) موجود پرداخته است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

محدوده‌ی مورد مطالعه، ترانشه واقع در ضلع شمالی دانشگاه یاسوج حداقل کتابخانه مرکزی و سلف‌سرویس می‌باشد. شکل ۱ موقعیت و شکل ۲ تصویر ترانشه مورد بررسی را نشان می‌دهد.

فاکتور اطمینان خیلی سریع‌تر از روش‌های تصادفی و ساده شده عمل نماید (ذوالفقاری و همکاران، ۲۰۰۵). تاکنون مطالعات زیادی در زمینه پایداری شیروانی‌ها صورت گرفته که هندسه سطح گسیختگی، دایره‌ای در نظر گرفته شده و گسیختگی در دامنه بررسی نشده است. روش‌هایی با رویکردهای متفاوت برای یافتن سطح لغزش غیردایره‌ای بحرانی ارائه شده است. اما، نیاز به مطالعات بیشتر در زمینه پایداری شیروانی‌ها با سطوح گسیختگی به شکل‌هایی که به واقعیت نزدیک‌تر باشد و ضریب اطمینان واقعی‌تری بدست دهد احساس می‌شود.

در تحقیق حاضر گسیختگی در دامنه‌ی شیب‌های ترانشه‌ای با روش‌های تحلیلی و عددی مورد بررسی قرار گرفته و هندسه رویه گسیختگی به دو صورت دایره‌ای و غیردایره‌ای در نظر



شکل ۱. عکس ماهواره‌ای از منطقه مورد مطالعه (مرجع: گوگل ارث)



شکل ۲. ترانشه محوطه دانشگاه یاسوج

۲-۲-اطلاعات ژئوتکنیکی ترانشه

با استفاده از مطالعات انجام شده و بررسی‌های میدانی، خاک محدوده ترانشه درشت دانه همگن می‌باشد. خلاصه نتایج آزمایش‌های انجام شده توسط جمالی‌آرند (۱۳۹۰) روی نمونه‌های حاصله از گمانه مورد نظر در جدول ۱ آمده است.

در یکی از تحقیقات ژئوتکنیکی در محدوده دانشگاه که توسط جمالی‌آرند (۱۳۹۰) انجام شده است در محل شیروانی مورد تحقیق با حفرگمانه جنس مصالح مشخص شده است. در این تحقیق از اطلاعات موجود در این گمانه استفاده شده است.

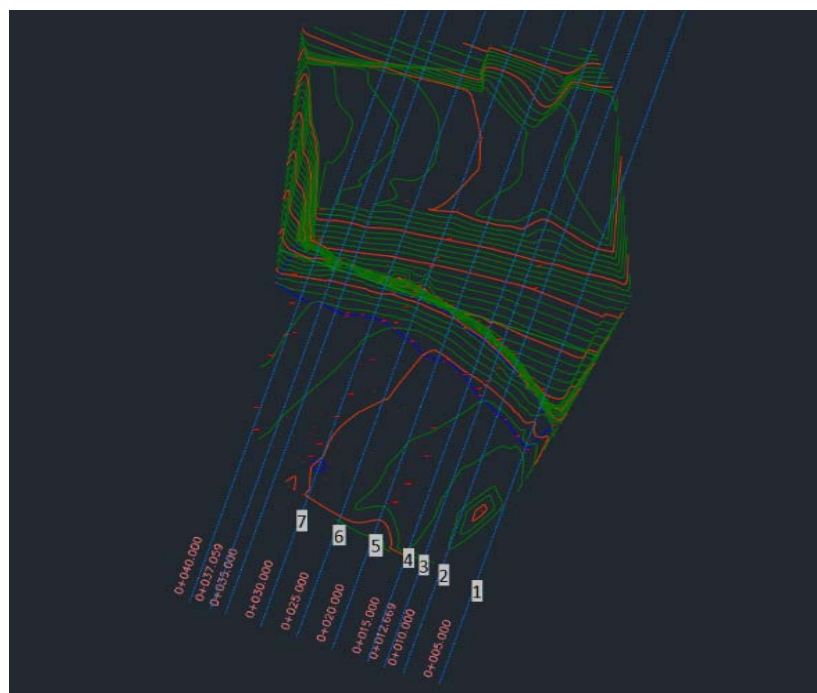
جدول ۱. نتایج آزمایش‌های صحرایی و آزمایشگاهی گمانه در محدوده ترانشه مورد مطالعه (جمالی‌آرند، ۱۳۹۰)

عمق	جنس خاک لایه	c_u (kg/cm^2)	ϕ_u (deg)	c' (kg/cm^2)	ϕ' (deg)	ω_{sat} (%)	γ_d (g/cm^3)
۰-۲	شن رس‌دار همراه با ماسه به رنگ قهوه‌ای روشن			۰.۰۰	۳۷	۱۱.۴	۱.۸۵
۲-۱۰	شن ماسه‌دار همراه با رس به رنگ کرم			۰.۰۰	۳۸	۱۰.۵	۱.۶۰
پایان عملیات حفاری (با آب زیرزمینی برخورد نشده است)							

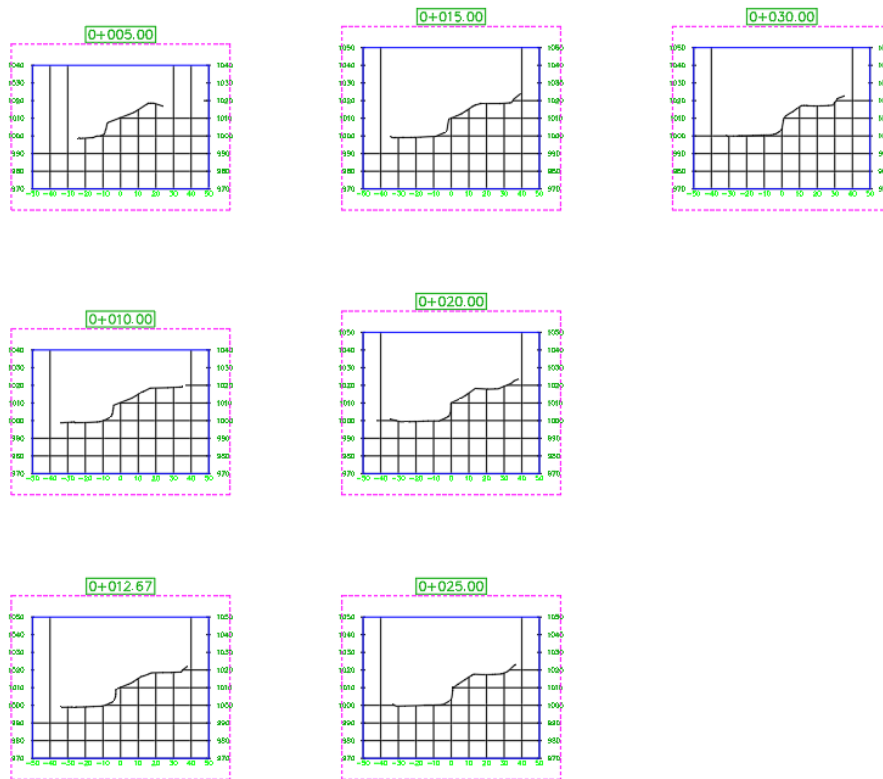
۳-۲-اطلاعات هندسی و رویه گسیخته شده ترانشه

گسیخته شده مقطع ترانشه در هفت موقعیت به دست آمد. پلان مقاطع و هندسه آنها به ترتیب در اشکال ۳ و ۴ نشان داده شده است.

برای مدل‌سازی و تحلیل پایداری شیب، تعیین هندسه دقیق شیروانی و رویه ترانشه ضروری است. در این بخش با انجام عملیات نقشه‌برداری در شیروانی موردنظر با استفاده از دوربین دیجیتال، ارتفاع، شیب بالادست، دامنه شیروانی و هندسه سطح



شکل ۳. پلان ترانشه و مقاطع نقشه‌برداری شده



شکل ۴. مقاطع ترانشه

۳- انتخاب نرم افزار

پس از تعیین دقیق صورت مسئله که شامل هندسه شیب، رویه گسیخته شده ترانشه و پارامترهای مقاومتی خاک می باشد، آنالیز پایداری ترانشه و تعیین ضریب اطمینان پایداری از اهمیت خاصی برخوردار است. در راستای انجام پژوهش پس از بررسی مقالات مرتبط و نرم افزارهای موجود، از نرم افزار SLOPE/W و PLAXIS برای تحلیل پایداری و بدست آوردن ضرایب اطمینان پایداری مقاطع ترانشه استفاده شد. برای تحلیل پایداری این شیب گسیختگی ها به دامنه محدود می شود. با فرض هندسه دایره ای برای سطح گسیختگی، با استفاده از نرم افزار تحلیل ها انجام می شود. همچنین با در نظر گرفتن هندسه واقعی رویه گسیختگی، تحلیل پایداری شیب مورد نظر انجام می گیرد.

۴- تحلیل پایداری مقاطع ترانشه با نرم افزار

GEOSLOPE

با استفاده از اطلاعات اولیه بدست آمده از مقاطع مختلف ترانشه از جمله هندسه مقاطع، رویه ترانشه و خصوصیات ژئوتکنیکی خاک، کار مدلسازی و تحلیل پایداری استاتیکی هر مقطع در نرم افزار SLOPE/W انجام می شود. مشخصات ژئوتکنیکی خاک که برای تحلیل در نرم افزار SLOPE/W مورد استفاده قرار گرفته به شرح جدول ۲ می باشد.

برای تحلیل مقاطع در SLOPE/W از روش بیشاپ ساده شده استفاده شده است. در این بخش تمامی تحلیل ها بر اساس پارامترهای برشی موثر خاک و در حالت زهکشی شده انجام می شود. هفت مقطع ترانشه در دو حالت که در جدول ۳ آمده است در SLOPE/W مدل سازی و بررسی شد.

جدول ۲. مشخصات ژئوتکنیکی خاک ترانشه

چسبندگی (کیلوگرم بر پاسکال)	زاویه اصطکاک داخلی-درجه	وزن واحد حجم خاک (کیلونیوتن بر متر مکعب)
۶	۳۹	۱۹/۶

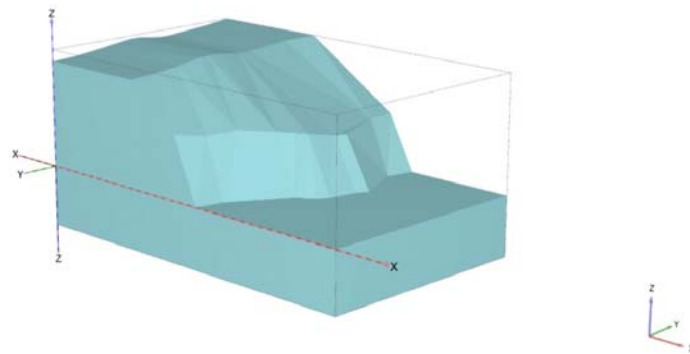
جدول ۳. حالت‌های مدل‌سازی در نرم‌افزار Slope/w

تحلیل مقاطع در سطح گسیخته شده واقعی	حالت اول
تحلیل مقاطع با سطح گسیختگی دایره‌ای	حالت دوم

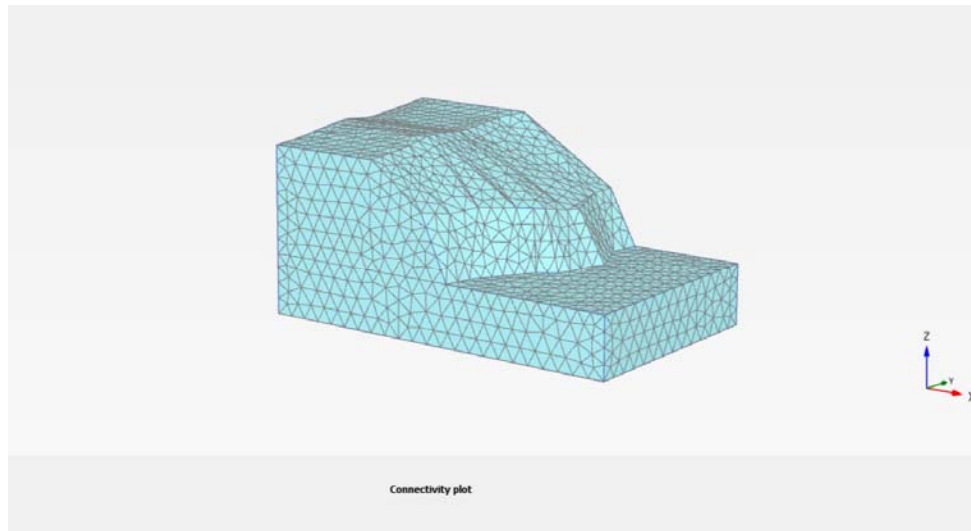
تحلیل پایداری ترانشه در PLAXIS 3D

پایداری انجام گرفت و گوه گسیختگی سه‌بعدی و ضریب اطمینان به دست آمد. شکل ۵ هندسه مدل شده و شکل ۶ مش‌بندی را نشان می‌دهد.

هندسه کلی ترانشه را بر اساس نقاط برداشت شده از نقشه‌برداری به صورت سه‌بعدی در نرم‌افزار مدل شد. سپس با اختصاص دادن مصالح و مش‌بندی مدل به صورت Fine، تحلیل



شکل ۵. مدل‌سازی ترانشه در PLAXIS 3D



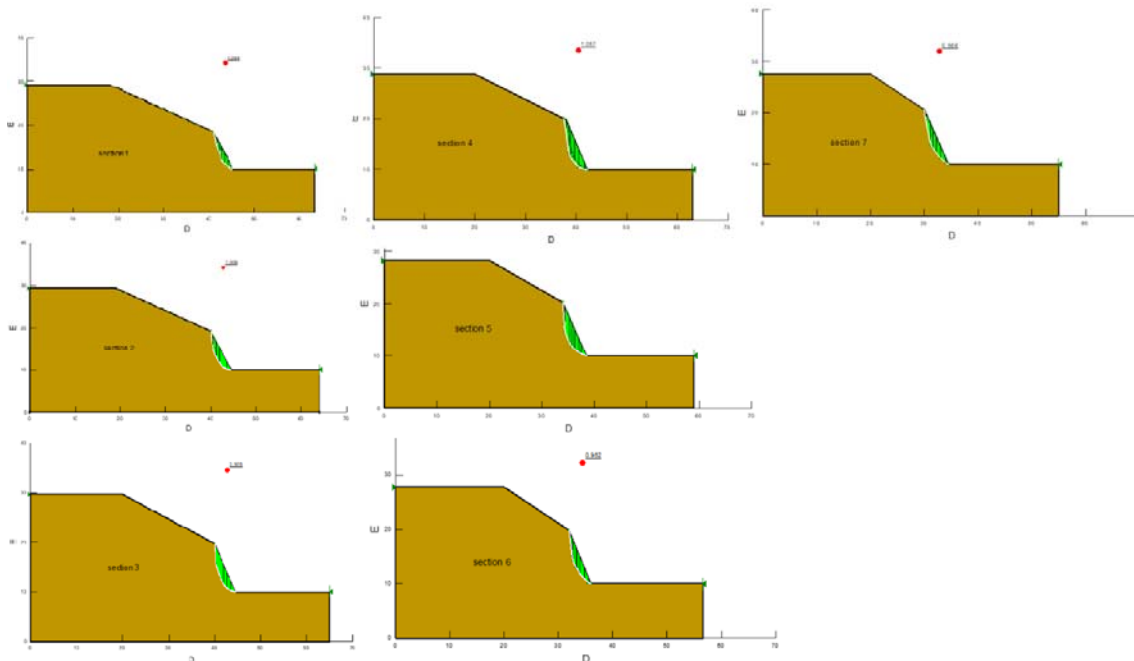
شکل ۶. مش‌بندی در PLAXIS 3D

یافته‌ها

نتایج حاصل شده از تحلیل مقاطع ترانشه در سطح گسیختگی واقعی در GEOSLOPE

بحرانی ترانشه با ضریب اطمینان حداقل می‌باشد و باید روی همین سطح گسیخته شده باشد. در واقعیت به این شکل گسیختگی رخ داده و خاک‌های روی این سطح ریزش پیدا کرده است. دامنه ترانشه در این حالت در آستانه پایداری است و انتظار گسیختگی چندانی در آینده نمی‌رود.

برای همه مقاطع ضریب اطمینان تقریباً ۱ بدست آمده که نشان می‌دهد با این سطح در آستانه پایداری هستند. مقاطع تحلیل شده در شکل ۷ و ضرایب اطمینان در سطح گسیخته شده برای همه مقاطع در جدول ۴ آمده است. با تحلیل سطوح موازی ولی عقب‌تر نسبت به این سطوح، ضرایب اطمینان بالاتر از ۱ حاصل شد. بنابراین می‌توان گفت سطح موجود، سطح گسیختگی



شکل ۷. مقاطع تحلیل شده در Geoslope با سطح گسیختگی واقعی

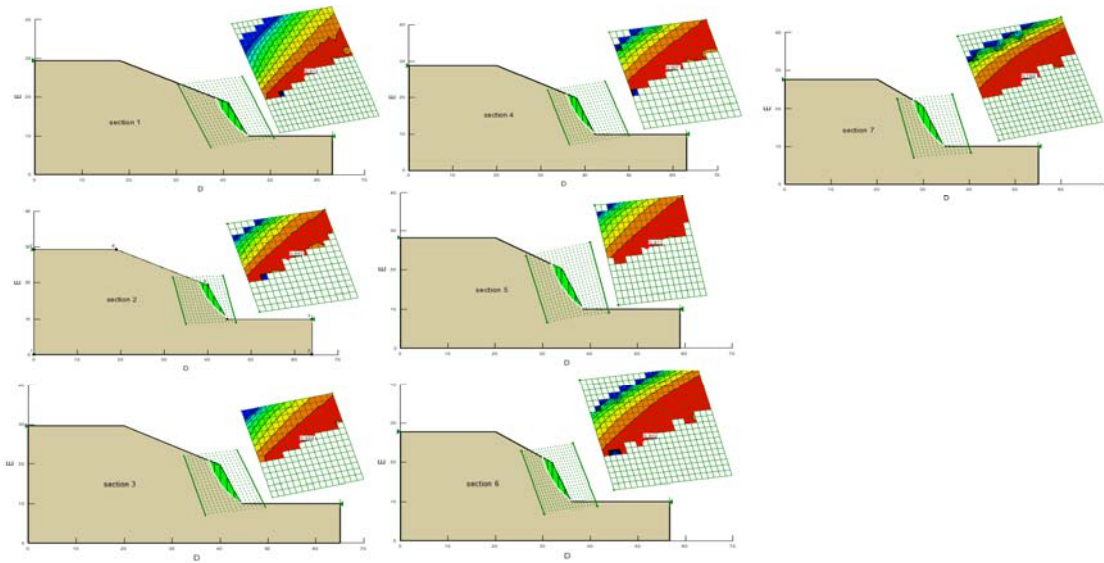
جدول ۴. ضریب اطمینان مقاطع در سطح گسیخته شده

Section مقطع	1	2	3	4	5	6	7
FS در سطح گسیخته شده	۱,۰۴۴	۱	۰,۹۷	۰,۹۷۶	۰,۹۸	۰,۹۶۲	۰,۹۶۶

نتایج حاصل شده از تحلیل پایداری مقاطع ترانشه با سطح گسیختگی دایره‌ای (روش بیشاپ) در Geoslope

نشده است. شکل ۸ نتایج تحلیل مقاطع را نشان می‌دهد. ضریب اطمینان در سطح گسیختگی واقعی ۱ بدست آمد که بیانگر آستانه پایداری است. همانطور که ضرایب اطمینان و هندسه سطح و گوه گسیختگی نشان داد، روش بیشاپ پیش‌بینی دقیقی از هندسه سطح گسیختگی و ضریب اطمینان برای این ترانشه ارائه نداده است.

ضریب اطمینان پایداری که از روش بیشاپ (سطح گسیختگی دایره‌ای) برای مقاطع بدست آمد ۰,۷۸ تا ۰,۹۱ می‌باشد (جدول ۵). این ضرایب کمتر از ۱ و نشانگر ناپایداری روی این سطوح می‌باشد. روش بیشاپ ترانشه را ناپایدار می‌داند و خاک‌های روی این سطوح باید دچار گسیختگی شده باشد، در صورتی که در واقعیت مطابق گوه گسیختگی بیشاپ گسیخته



شکل ۸. مقاطع تحلیل شده در Geoslope با روش بیشاپ

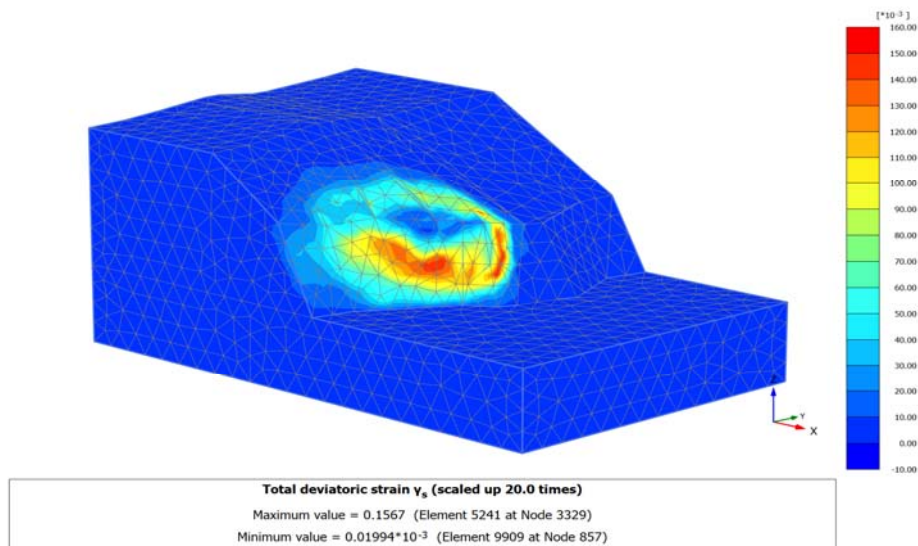
جدول ۵. ضرایب اطمینان تحلیل پایداری با روش بیشاپ (سطح گسیختگی دایره‌ای)

Section مقطع	1	2	3	4	5	6	7
روش بیشاپ FS	۰٫۹۱	۰٫۸۹	۰٫۸۵	۰٫۸۲	۰٫۸۱	۰٫۷۹	۰٫۷۸

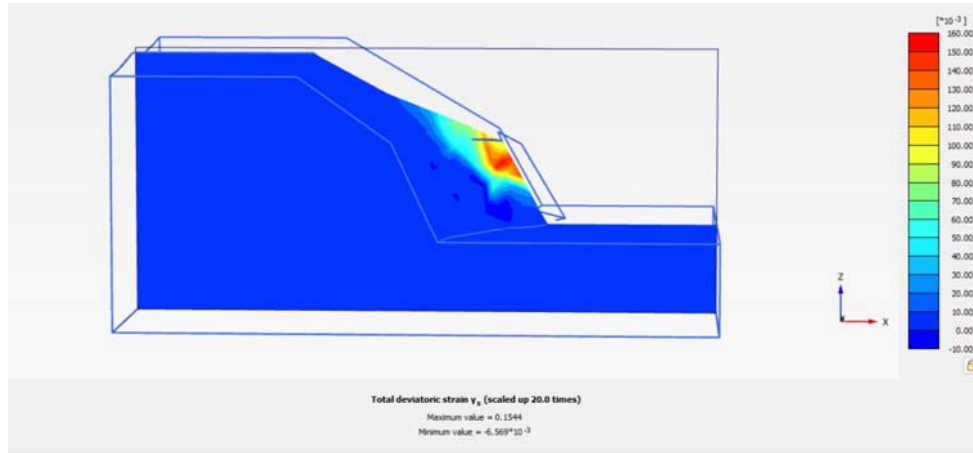
نتایج تحلیل پایداری ترانشه در نرم‌افزار PLAXIS 3D

از مدل تحلیل شده در شکل ۱۰ آمده است. همانطور که مشخص است این گوه گسیختگی بزرگتر از گسیختگی واقعی است که در ترانشه رخ داده و هندسه این گسیختگی کاملاً با سطح و گوه گسیختگی واقعی ترانشه متفاوت است.

با مدلسازی هندسه سه‌بعدی ترانشه در PLAXIS 3D و تحلیل پایداری آن، ضریب اطمینان مقدار ۰٫۹ بدست آمد. این ضریب کمتر از ۱ و نشان‌دهنده ناپایداری در گوه بدست آمده می‌باشد. شکل ۹ تحلیل انجام شده را نشان می‌دهد. مقطع عرضی



شکل ۹. تحلیل سه‌بعدی ترانشه در PLAXIS 3D

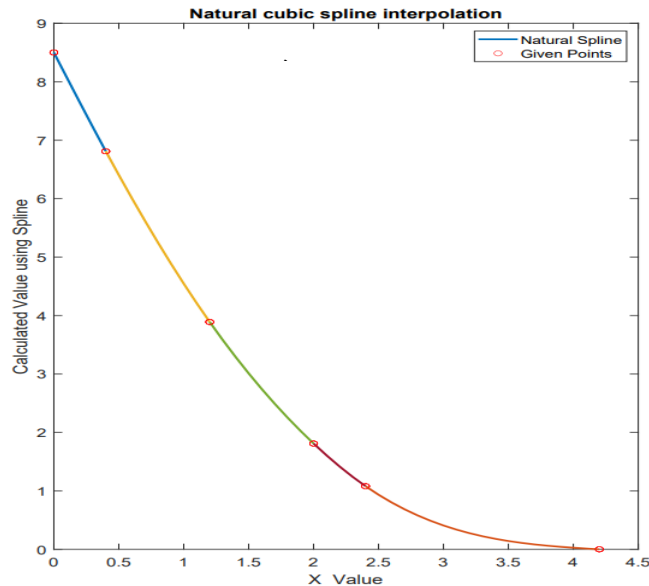


شکل ۱۰. مقطع عرضی از تحلیل ترائشه در PLAXIS 3D

تعیین معادله سطح گسیختگی با روش درونیابی اسپلاین

سطح مدل کرده تغییرات ناگهانی وجود ندارد. در معادلات درجه دوم و سوم این انحناها به حداقل خود رسیده و در نتیجه یک سطح نسبتاً همواری بدست می‌آید. در این روش یک چندجمله‌ای از نقاط عبور داده می‌شود و به این ترتیب مقادیر نامعلوم با استفاده از این چندجمله‌ای مشخص می‌شوند. ضرایب این چندجمله‌ای از روی نقاط معلوم مشخص می‌شود. منحنی و معادله مربوط به یکی از مقاطع را با استفاده از این روش در نرم‌افزار متلب به دست آمده که در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

برای پیدا کردن منحنی یکپارچه و پیوسته برای رویه گسیختگی، نقاط در نرم‌افزار متلب وارد شده و با کدنویسی در محیط متلب از روش درونیابی اسپلاین برای هر مقطع از ترائشه، منحنی و معادله رویه گسیختگی آن به دست می‌آید. اسپلاین در ریاضیات یک تابع هموار چند ضابطه‌ای - چند جمله‌ای است. در مسائل درونیابی، منظور از درونیابی اسپلاین، پیدا کردن چندجمله‌ای درونیاب است. برای درونیابی بر اساس مدل اسپلاین از چندجمله‌ای‌ها استفاده می‌شود و از برازش یک تابع چندجمله‌ای بر اساس داده‌های برداشت شده، مقادیر نامعلوم تخمین زده می‌شوند. ویژگی اساسی اسپلاین این است که در



شکل ۱۱. منحنی اسپلاین سطح گسیختگی مقطع یک

$$\begin{aligned}
 &0.12x^3+0.2872x^2-4.3591x+8.5 & 0 < x < 0.4 \\
 &+0.12x^3+0.43x^2-4.0717x+6.81 & 0.4 < x < 1.2 \\
 &-0.0373x^3+0.7192x^2-3.1515x+3.89 & 1.2 < x < 2 \\
 &-0.028x^3+0.6297x^2-2.0724x+1.81 & 2 < x < 2.4 \\
 &-0.028x^3+0.5961x^2-1.5821x+1.08 & 2.4 < x < 4.2
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

۵- نتیجه گیری

هدف از این پژوهش، تحلیل سطح گسیختگی در دامنه ترانشه، مقایسه ضریب اطمینان حاصل از مدل سازی سطح گسیختگی دایره ای با سطح گسیختگی واقعی در دامنه ترانشه ها بوده و مهم ترین نتایج پژوهش در ادامه آمده است. با برداشت های نقشه برداری که در ترانشه مورد تحقیق انجام شد، مشخص شد که هندسه سطح گسیختگی در دامنه این ترانشه، به صورت منحنی غیر دایره ای می باشد. با تحلیل ترانشه مورد تحقیق در نرم افزار GEOSLOPE با سطح گسیختگی برداشت شده از نقشه برداری، ضرایب اطمینان ۱ بدست آمد که نشان دهنده آستانه پایداری ترانشه روی این سطوح می باشد و با تحلیل سطوح موازی این سطوح گسیختگی، ضرایب اطمینان بزرگتر از ۱ حاصل شد. بنابراین می توان گفت سطوحی که با نقشه برداری بدست آمده، همان سطح گسیختگی بحرانی ترانشه بوده است.

ضریب اطمینان واقعی می باشد را ارائه داد، در صورتی که دامنه این شیب با ضریب اطمینان ۱ در آستانه پایداری می باشد. با تحلیل مدل سه بعدی ترانشه در PLAXIS 3D، ضریب اطمینان ۰/۹ حاصل شد. گوه گسیختگی که با این تحلیل بدست آمد با گسیختگی رخ داده در ترانشه متفاوت است. ترانشه در سطح گسیختگی بحرانی واقعی مقداری نزدیک به ۱ دارد و در آستانه پایداری است. نتایج تحلیل سه بعدی در نرم افزار عددی PLAXIS 3D نیز با گسیختگی و ضریب اطمینان واقعی ترانشه مطابقت ندارد.

سطح گسیختگی که در دامنه شیب پژوهش حاضر رخ داده است با مدل های عددی و تحلیلی انطباق نداشت. از این رو، برای پیدا کردن منحنی یکپارچه و پیوسته برای رویه گسیختگی، نقاط سطح گسیختگی در نرم افزار متلب وارد شده و با کدنویسی در محیط متلب از روش درون یابی اسپلاین برای هر مقطع از ترانشه، منحنی و معادله رویه گسیختگی آن به دست آمد که تحلیل پایداری روی این سطوح مقدار واقعی تری از وضعیت پایداری شیب را ارائه می دهد.

تحلیل ترانشه با روش بیشاپ در نرم افزار GEOSLOPE که یک نرم افزار تحلیلی می باشد و سطح گسیختگی را دایره ای در نظر می گیرد، ضریب اطمینان پایداری در دامنه ترانشه را به درستی پیش بینی نمی کند. این روش گوه های گسیختگی متفاوت و ناپایدار با ضرایب اطمینان ۰/۷۸ تا ۰/۹۱ که حدود ۰/۲ کمتر از

تحلیل ترانشه با روش بیشاپ در نرم افزار GEOSLOPE که یک نرم افزار تحلیلی می باشد و سطح گسیختگی را دایره ای در نظر می گیرد، ضریب اطمینان پایداری در دامنه ترانشه را به درستی پیش بینی نمی کند. این روش گوه های گسیختگی متفاوت و ناپایدار با ضرایب اطمینان ۰/۷۸ تا ۰/۹۱ که حدود ۰/۲ کمتر از

۶- فهرست علائم

c	چسبندگی خاک
ϕ	اصطکاک داخلی خاک
γ	وزن مخصوص خاک
γ_d	چگالی خشک خاک
ω_{sat}	رطوبت اشباع خاک
ϕ'	زاویه اصطکاک داخلی زهکشی شده ی خاک
c'	چسبندگی زهکشی شده ی داخلی خاک
ϕ_{II}	زاویه اصطکاک زهکشی نشده ی داخلی
c_{II}	چسبندگی زهکشی نشده ی داخلی خاک

۷- مراجع

- area using numerical methods and artificial neural, *Journal of Engineering Geology*, 3(2). (In Persian)
- H. Tavana, (2011). Optimising the three-dimensional slip surface of soil slopes with the method of maximum local slope. *Faculty of Civil Engineering Sandon University*, (In Persian)
- K. Arai, K. Tagyo, (1985). Determination of Non-Circular Slip Surface Giving the Minimum Factor of Safety in Slope Stability Analysis. *Soils and Found.* Tokyo, 25(1): 43-51.
- M. Hosnavi Atashgah, E. Amiri, A.R. Hosseinian, (2015). The effect of water level changes and soil cohesion on the stability of the soil slope after digging the water channel trench (case study: ChAI00S water transfer channel). Research Conference in Civil Engineering, *Architecture and Urban Planning and Sustainable Environment*, (In Persian)
- P. McCombie, P. Wilkinson. (2002). The use of the simple genetic algorithm in finding the critical factor of safety in slope stability analysis. *Comput Geotech*, 29:699-714.
- T.B. Celestino, J.M. Duncan, (1981). Simplified Search for Non-Circular Slip Surfaces, Proceedings, 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm, A.A. Balkema, Rotterdam, Holland, Vol. 3, 391-394.
- A R. Zolfaghari, C. Andrew, F. Paul McCombie. (2005). Simple genetic algorithm search for critical non-circular failure surface in slope stability analysis. *Compute and Geotechnics*, 32:139-152
- A. Shoryabi, (2013). Determining the three-dimensional slip surface. Department of Civil Engineering, *Technical and Engineering Faculty of Yasuj University*, (In Persian)
- A.A. Heshmati, S. Shakibarad, (2011). Three-dimensional stability analysis of earth and slopes by viscoplastic strain method with elastoplastic model. *The 6th International Congress of Civil Engineering*, (In Persian)
- A.A. Jamali, (2011). 3D numerical analysis of static and dynamic stability of important slopes of Yasuj University. Department of Civil Engineering, *Technical and Engineering Faculty of Yasuj University*, (In Persian)
- F.A. Askari, F. Orang, M. fazelinia, (2010). Three-dimensional stability analysis of slopes based on rotational failure mechanism, *Journal of Civil Engineering and Mapping of Technical Faculty*, 44, 83-91. (In Persian)
- GH. Aftab, H. Bahadori, (2016). Sensitivity analysis of mountain road trench stability under the influence of various factors. *The First Conference of Art and Industry in Building, Architecture and Urban Planning*, (2016). (In Persian)
- H.R. Razeghi, A. Aghaie Araie, (2016). Analysing the stability of access rd trenches in millard tower

Analytical and Numerical Study of the Stability of Trench Slopes (Case Study: The Trench Adjacent to the Yasouj University Library)

*Seyedeh Zahra Hosseini, M.Sc., Student, Department of Civil Engineering,
Faculty of Engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran.*

*Mahdi Zamani Lenjani, Assistant Professor, Department of Civil Engineering,
Faculty of Engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran.*

*Masoud Rabeti Moghadam, Assistant Professor, Department of Civil Engineering,
Faculty of Engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran.*

E-mail: rabeti@yu.ac.ir

Received: August 2024- Accepted: December 2024

ABSTRACT

Determining the geometry of the rupture surface is considered to be one of the most effective steps to accurately determine the safety factor of slope stability. In most of the analysis, for ease of calculations, the rupture surface is assumed to be linear or circular, which sometimes does not correspond to reality. According to the observation of ruptures in the trench adjacent to the central library of Yasouj University, the present research has investigated local ruptures in the domain. By surveying the studied trench and collecting geotechnical information, for seven sections of this trench, with the rupture surface and circular surface with Bishop's method, in the SLOPE/W and with the ϕ -c reduction method was analyzed in PLAXIS software and results were compared. Bishop's method predicted rupture wedges with a circular surface for trench, which was contrary to actual rupture surface formed. By analyzing the trench in PLAXIS 3D, the rupture wedge was obtained in a way different from reality with safety factor less than 1. Based on the analysis, it was found that analytical and numerical models were not able to correctly predict the geometry of the rupture surface and the safety factor. The rupture surface occurred in the current slope did not conform to the numerical and analytical models. Therefore, by using the spline interpolation method in MATLAB for each section of the trench, the curve and the equation of its failure procedure were obtained, which stability analysis on these surfaces provides more realistic of slope stability safety factor.

Keywords: Slope Stability, Trench, Face Sliding, Analytical Study, Case Study