

تحلیل پایداری و ارائه الگوی گودبرداری در آبرفت دانه ریز جنوب تهران

جواد ایمان زاده^{*}، بهمن بهلولی^۱، اکبر چشمی^۱، فرهاد نبی زاده^۲

^۱ دانشکده زمین شناسی دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۲ هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، چالوس، ایران

*مسئول مکاتبات - آدرس الکترونیکی: jimanzadeh@khayam.ut.ac.ir

(دریافت: ۸۸/۱/۲۳؛ پذیرش: ۸۸/۹/۴)

چکیده

مطالعات زمین شناسی و زمین شناسی مهندسی زیادی بر روی آبرفت های تهران با دیدگاه بررسی ویژگی های مهندسی این آبرفت ها و وضعیت سیمان تاسیون در آنها انجام شده، ولی در این مطالعات کمتر به پدیده هایی نظیر گودبرداری که بطور مداوم در آبرفت تهران برای پروژه های مختلف انجام می گردد، پرداخته شده است. در این تحقیق سعی شده با توجه به گسترش آبرفت های ریز دانه در جنوب تهران به مطالعه الگوی پایداری گود در قسمتی از این رسوبات در جنوب تهران پرداخته شود. بدین منظور با توجه به برداشت های صحرایی و آزمایشگاهی پارامترهای مهندسی بخشی از این آبرفت ها که در محدوده مطالعه مذکور تعریف شده، تعیین و با استفاده از روش مورگنسترن - پرایس که بر پایه فلسفه تعادل حدی بنا شده است، با بهره گیری از نرم افزار GeoStudio تحلیل گود انجام شده است. براساس نتایج تحلیل ها منطقه مورد مطالعه از لحاظ پایداری گود به ۳ ناحیه مجزای D1، D2 و D3 تقسیم گردیده است. نمودار تغییرات شیب گودبرداری با عمق برای سه ناحیه مشخص شده ارائه گردیده است. بر این اساس در ناحیه D1 بدلیل کمتر بودن میزان ماسه امکان گودبرداری با دیوار قائم تا عمق بیشتری نسبت به دو ناحیه دیگر وجود دارد. هر چند عمق گودبرداری با دیوار قائم در ناحیه D2 و D3 برابر است ولی در صورت نیاز به گودبرداری در اعماق بیشتر بدلیل وجود لندهای ماسه در ناحیه D3 لازم است گودبرداری با شیب کمتری نسبت به ناحیه D2 انجام شود.

واژه های کلیدی: پایداری گود، GeoSlope، آبرفت تهران.

مقدمه

بخشی از این آبرفت ها را از نظر پایداری گود مورد ارزیابی و تحلیل قرار دهد. بدین منظور ابتدا توضیحی در خصوص روش های مختلف تحلیل گود ارائه شده و بعد از آن با بیان زمین شناسی آبرفت های تهران به بررسی ویژگی های ژئوتکنیکی بخشی از آبرفت های ریزدانه جنوب تهران که در این تحقیق تهیه شده پرداخته شده است. با توجه به ویژگی های ژئوتکنیکی این بخش از آبرفت ها و بکارگیری یکی از روش های تحلیل گود، این بخش آبرفت های ریزدانه تهران از نقطه نظر گودبرداری طبقه بندی شده است. لازم به ذکر است که با توجه به محدودیت های موجود از داده های پروژه ای خطی که بصورت شرقی-غربی و به طول نزدیک به ۵ کیلومتر در منطقه اجرا شده، استفاده شده است. بنابراین تحلیل ها مختص این مسیر بوده و برای تعمیم آن به کل آبرفت D نیاز به بررسی های بیشتر می باشد.

روش تحلیل گود

تحلیل پایداری شیروانی ها قدیمی ترین نوع تحلیل های عددی در مهندسی ژئوتکنیک می باشد. ایده تقسیم توده لغزشی به قطعات، در اوایل قرن بیستم ارائه گردید. در سال ۱۹۱۶ پترسون تحلیل پایداری

امروزه با گسترش روز افزون شهرنشینی، هر روز نیاز بشر به ساختن ابنیه فنی افزایش می یابد. بنابراین داشتن الگو و برداشت صحیح از پایداری گودبرداری ها و دامنه ها برای ساخت و سازهای جدید فاکتور مهمی در توسعه مهندسی محدوده شهرها می باشد. شهر تهران یکی از کلان شهرهایی است که ساخت و سازهای فراوانی در آن صورت می گیرد. با توجه به این که رسوبات جنوب تهران بصورت دانه ریز بوده و گستره وسیعی را شامل می شود، نیاز به تحلیل پایداری گودبرداری ها در این محدوده احساس می گردد. لازم به ذکر است که مطالعات فراوانی بر روی آبرفت های تهران توسط افرادی چون فاخر (Fakher et al, 2007)، اصغری (۱۳۸۰)، اصغری (2003)، جعفری و اصغری (۱۳۸۱)، چشمی (۱۳۸۵)، چشمی و همکاران (۱۳۸۷)، مهاجر ایرانلو (۱۳۸۲) و دیگر محققان انجام شده که هر یک از آنها این آبرفت را از جنبه ای مورد مطالعه قرار داده اند ولی هیچ یک از نظر پایداری گود این آبرفت ها را مورد ارزیابی قرار نداده اند. در این مقاله تلاش شده است تا با استفاده از یکسری داده ها و بکارگیری نرم افزار مناسب

روش بهتری برای تحلیل می‌باشد. مزایا و معایب هر روش به تفصیل در منابع مختلف اشاره شده است.

جدول ۱- تفاوت‌های موجود در برخی از روش‌های تحلیل پایداری (اقتباس از کتاب راهنمای نرم افزار GeoStudio).

روش	نوع معادلات	تعادل گشتاور moment	تعادل نیرو force	نیروی بین قطعه ای نرمال (E)	نیروی بین قطعه ای برشی (X)
فلینوس		✓	-	-	-
بیشاب اصلاح شده		✓	-	✓	-
جانبو اصلاح شده		-	✓	✓	-
اسپنسر		✓	✓	✓	✓
مورگنسترن - پرایس		✓	✓	✓	✓

موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی آبرفت‌های تهران

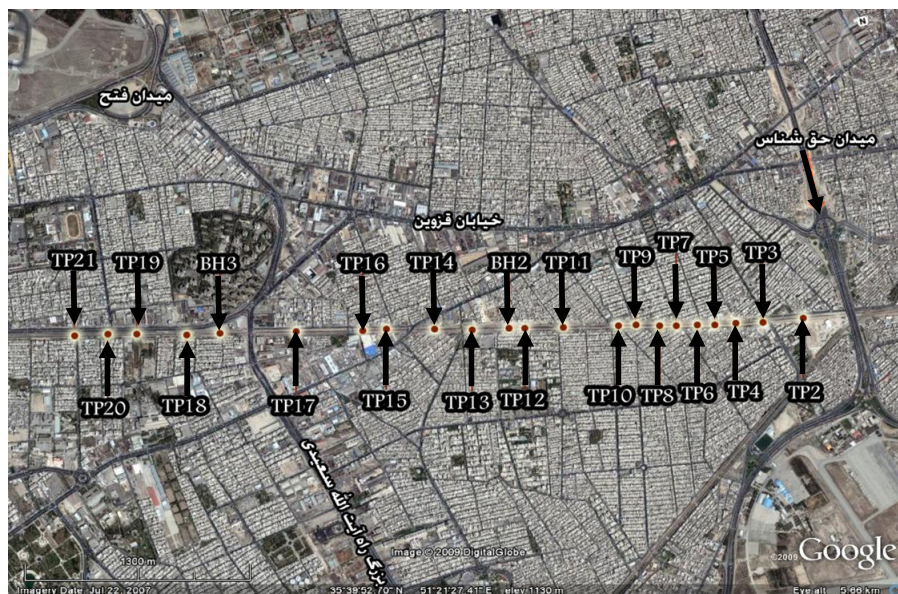
تحقیق حاضر در قسمت جنوب غربی شهر تهران انجام شده است. در شکل ۱ عکس هوایی شهر تهران به همراه منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. آرایش گمانه‌هایی که از نتایج آنها در این مقاله استفاده شده در این شکل نشان داده شده است.

گستره تهران در کوهپایه‌ی جنوبی از کوه‌های البرز مرکزی قرار گرفته است. دشت تهران دشتی است با شیب از شمال به جنوب که به وسیله بلندی‌ها و فرونشست‌های شرقی - غربی به بخش‌های گوناگون تقسیم می‌شود. این بخش‌ها از شمال به جنوب عبارت‌اند از: بلندی البرز، چین‌های کناری البرز، گستره کوهپایه‌ای تهران و دشت تهران. نهشته‌های پوشاننده تهران آبرفت‌های جوانی هستند که حاصل فعالیت‌های رودخانه‌ها و سیلاب‌هایی می‌باشند که از کوه‌های البرز نشأت می‌گیرند (بربریان و همکاران ۱۳۶۴).

استیبرگ کوای (Stigberg Quay) در گوتنبرگ سوئد را (در حالی که سطح لغزش چرخشی بود و توده لغزنده به دو قطعه تقسیم شده بود) ارائه داد (نقل از Hardy 2003). در طول چند دهه بعد، فلینیوس (Fellenius 1936) روش معمولی قطعه یا همان روش سوئدی را معرفی کرد. در اواسط دهه ۵۰، جانبو (Janbu 1954) و بیشاب (Bishop, 1955) این روش را توسعه دادند. با ظهور و ورود کامپیوتر در دهه ۱۹۶۰ این امکان برای محققان مهیا شد که روش‌هایی که ذاتاً دارای فرآیندهای تکرار شونده و طبیعتاً از لحاظ ریاضیاتی پیچیده تر بودند را به کار بگیرند که در همین راستا روش‌هایی نظیر مورگنسترن - پرایس (Morgenstern & Price 1965) و اسپنسر (Spencer 1967) ارائه شدند. در زمینه تحلیل پایداری مطالعات فراوان دیگری نیز صورت پذیرفته است که بطور مثال می‌توان به بررسی محدودیت‌های تعادل حدی توسط هاردی (Hardy 2003) اشاره داشت.

تکنیک‌های خیلی زیادی برای روش قطعه در طول سال‌ها ارائه گردید که اساس همگی آنها یکی می‌باشد. تفاوت این روش‌ها در استفاده از معادلات استاتیکی و نحوه حل آنهاست. به عنوان مثال نیروهای بین قطعات و چگونگی روابط مابین نیروهای عمودی و برشی بین قطعات را در نظر می‌گیرند. تفاوت برخی از این روش‌ها بطور خلاصه در جدول ۱ نشان داده شده است.

همانطور که در جدول ۱ دیده می‌شود، هر یک از روش‌ها معادلات استاتیکی مختلفی را برای تحلیل استفاده می‌کنند. در این بین، روش‌های اسپنسر و مورگنسترن - پرایس هر دو تعادل گشتاور و تعادل نیرو و همچنین نیروهای بین قطعه‌ای را برای تحلیل استفاده می‌کنند. بنابراین این دو روش به واقعیت نزدیک‌تر می‌باشند. از بین دو روش مذکور مورگنسترن - پرایس با توجه به استفاده از توابع اختیاری،



شکل ۱- محل قرار گیری چاهک‌ها در روی نقشه تهران.

ماسه و ۲/۳۰ درصد ذرات بزرگتر از ماسه در نمونه‌های مورد آزمایش گزارش شده است. در شکل ۲ نمونه‌ای از منحنی دانه‌بندی مصالح این منطقه ارائه شده است.

از دیگر آزمایش‌های آزمایشگاهی انجام شده در این تحقیق، آزمایش سه محوری است. نمونه‌ای از نتایج این آزمایش در شکل ۳ ارائه شده است. این آزمایش بر روی نمونه دست‌نخورده اخذ شده از چاهک شماره TP14، عمق ۸ متری انجام شده است. با توجه به شیب پوش موهر و از آنجا که در حین انجام آزمایش فشار آب منفذی اندازه‌گیری شده مقدار C و ϕ در شرایط زهکشی شده و زهکشی نشده تعیین، که در شکل مذکور ارائه شده است.

به موازات آزمایش‌های آزمایشگاهی، آزمایش‌های برجا برای تعیین پارامترهای مهندسی خاک منطقه انجام شده که نتایج آنها در جداول شماره ۳ و ۴ ارائه شده است.

تهیه پروفیل زمین‌شناسی و زمین‌شناسی مهندسی

با توجه به آزمایش‌های دانه‌بندی و منحنی‌های بدست آمده در اعماق و گمانه‌های مختلف، پروفیل زمین‌شناسی منطقه تهیه شد (شکل ۴). بر اساس پروفیل زمین‌شناسی و با در نظر گرفتن نتایج بدست آمده از آزمایش‌های آزمایشگاهی و صحرایی، پارامترهای مهندسی به پروفیل زمین‌شناسی اضافه شده و پروفیل زمین‌شناسی مهندسی منطقه پیشنهاد شده است. این پروفیل در شکل ۵ ارائه شده است. منطقه مورد مطالعه از نقطه نظر پارامترهای مهندسی خاک به ۷ ناحیه تقسیم شده است. پارامترهای مهندسی این نواحی در جدول ۵ نشان داده شده‌اند.

ربین نهشته‌های تهران را به چهار بخش بنام سازند های A, B, C و D تقسیم کرده است (Rieben 1966). نهشته‌های A قدیمی‌ترین و D جوانترین محسوب می‌شوند. مطالعه حاضر در بخش D این آبرفت‌ها است که این بخش از جوان‌ترین نهشته‌های رودخانه‌ای یا سیلابی بوده و در بستر رودخانه‌ها، مسیل‌ها، پادگانه‌های آبرفتی و مخروط‌های جوان برجای گذاشته شده است. بطور کلی رسوبات D در جنوب تهران از رسوبات دانه ریز (رس و سیلت) تشکیل شده است. تحقیق حاضر به مطالعه پایداری گود در بخشی از این آبرفت‌ها می‌پردازد.

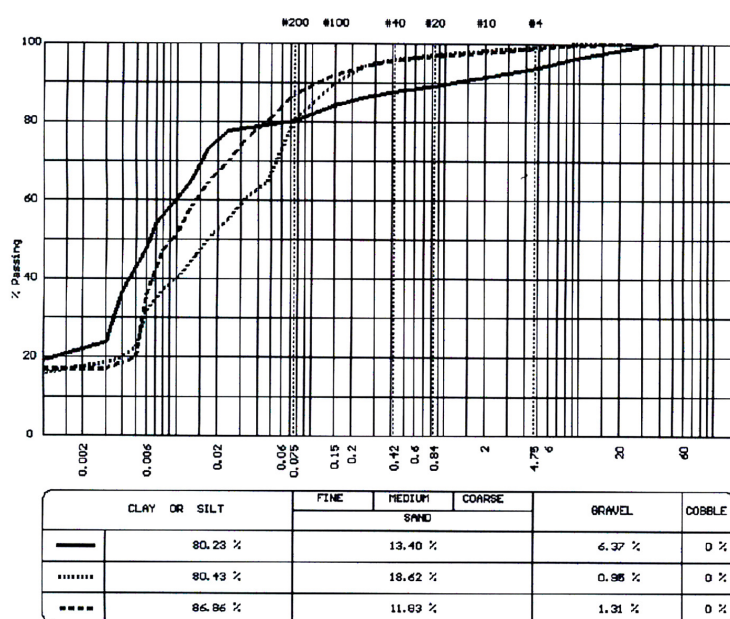
آزمایش‌های آزمایشگاهی و برجا

در این تحقیق آزمایش‌های مختلفی اعم از آزمایشگاهی و برجا به منظور بدست آوردن پارامترهای مهندسی خاک مورد مطالعه انجام گرفته است که در جدول ۲ ارائه شده است.

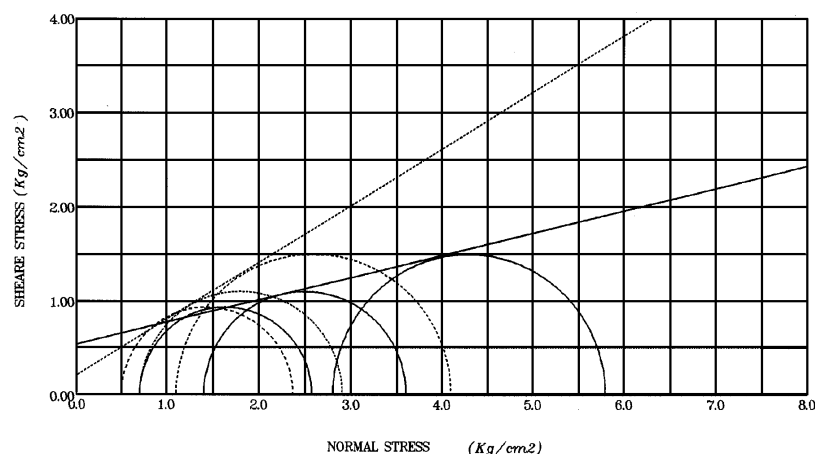
جدول شماره ۲- لیست آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق

نام آزمایش	نوع آزمایش		تعداد آزمایش‌های انجام شده
	آزمایشگاهی	صحرایی (برجا)	
آزمایش سه محوری CU	✓	-	۳۵
آزمایش تک محوری	✓	-	۱۱
آزمایش برش مستقیم	✓	-	۴۰
آزمایش دانه بندی	✓	-	۱۳۲
آزمایش SPT	-	✓	۲
آزمایش دانسیته در محل	-	✓	۱۴۸

با توجه به آزمایش‌های دانه‌بندی عمده خاک این منطقه رس و رس سیلتی می‌باشد. ۷۸/۷ درصد ذرات در حد رس و سیلت، ۱۹ درصد



شکل ۲- منحنی دانه بندی در سه نمونه که از محل چاهک TP16 برداشته شده است (موسسه مهندسی مشاور ساحل ۱۳۸۷).



$C = 0.54 \text{ Kg/cm}^2$	$C' = 0.21 \text{ Kg/cm}^2$
$\phi = 13.3 \text{ DEGREE}$	$\phi' = 31.0 \text{ DEGREE}$

شکل ۳- نمونه ای از آزمایش سه محوری انجام گرفته در این تحقیق (موسسه مهندسی مشاور ساحل ۱۳۸۷).

جدول ۳- نتایج مربوط به آزمایش دانسیته در محل برای برخی از چاهک ها

شماره چاهک	عمق (m)	دانسیته خشک (gr/cm^3)	درصد رطوبت (%)
TP2	۴	۱/۴۸	۱۷/۷۰
	۶	۱/۵۱	۱۶/۴۶
	۸	۱/۵۰	۱۸/۸۹
TP14	۷	۱/۶۴	۲۰/۳۹
	۹	۱/۷۳	۱۷/۹۹
	۱۱	۱/۶۴	۲۱/۱۷
TP19	۳	۱/۷۴	۱۴/۴۱
	۵	۱/۷۴	۱۶/۲۷
	۷	۱/۶۳	۱۶/۸۸

جدول ۴- نتایج مربوط به آزمایش SPT در گمانه BH2

شماره آزمایش	عمق (m)	N_{SPT}	N_{Ave}	N_{COR}	$C_U (\text{Kg/cm}^2)$
1	2	20	19	9.5~10	0.61
2	4	18			
3	6	12			
4	8	15			
5	10	16			
6	12	13	14.2~14	7	0.42
7	14	16			
8	16	13			
9	18	14			

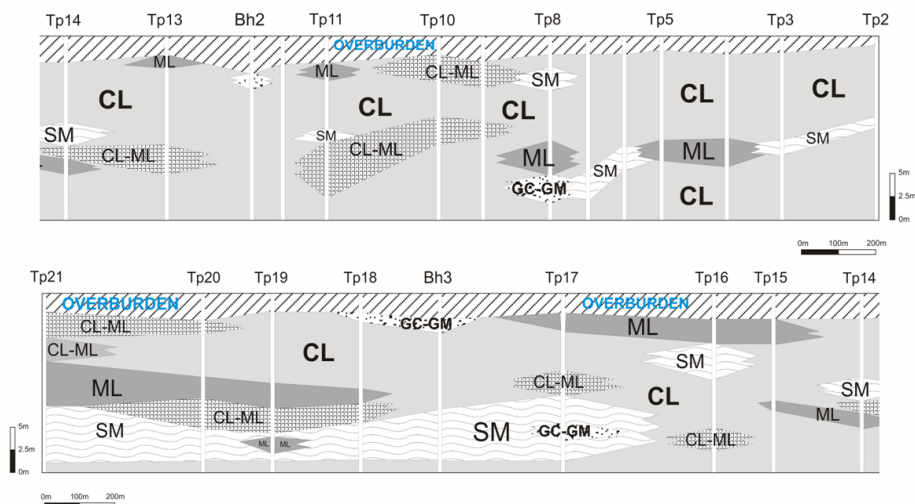
N_{SPT} = عدد SPT N_{Ave} = میانگین عدد SPT N_{COR} = عدد SPT تصحیح شده برای منطقه C_U = مقاومت برشی زهکشی نشده

تحلیل پایداری

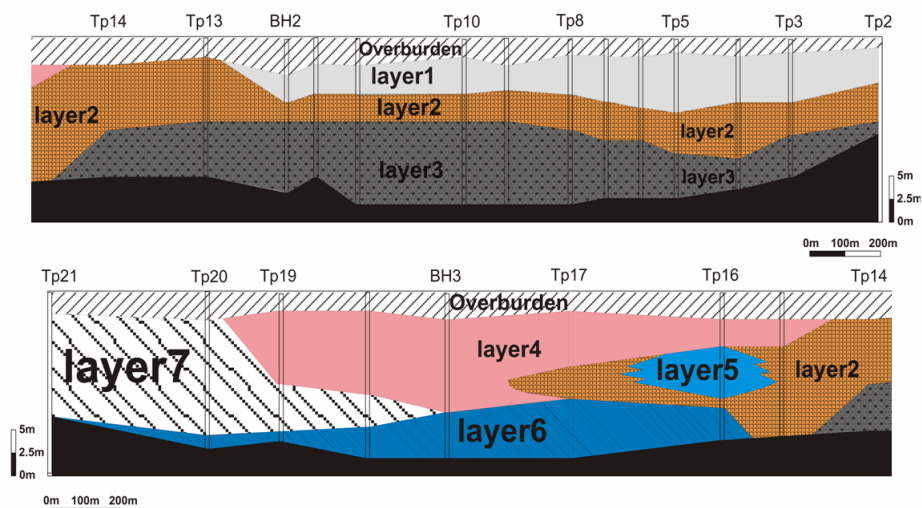
تحلیل خاصی به کار می‌روند. در پژوهش حاضر از بخش SLOPE/W این نرم‌افزار استفاده شده است. پارامترهای مورد نیاز برای تحلیل در نرم‌افزار عبارت‌اند از:

- وزن مخصوص خشک خاک (برای بالای سطح آب زیرزمینی)،
- زاویه اصطکاک داخلی (برای شرایط زهکشی شده)،

نرم افزار GeoStudio که به GeoOffice نیز معروف است یکی از متداول‌ترین و کاربردی‌ترین نرم‌افزارها در زمینه مدل‌سازی تحلیل پایداری دامنه‌ها و گودبرداری‌ها در مهندسی ژئوتکنیک می‌باشد. این نرم افزار شامل ۷ بخش است که هر یک از آنها برای مدل‌سازی و



شکل ۴- پروفیل زمین شناسی منطقه. از چاهک شماره Tp2 تا چاهک Tp14 و از چاهک شماره Tp14 تا چاهک Tp21. همانطور که در شکل دیده میشود، منطقه اکثراً از رس تشکیل یافته است. ذرات درشت تر از رس بصورت عدسی ها و لایه هایی در بین این رس ها قرار دارند.



شکل ۵- پروفیل زمین شناسی مهندسی از چاهک Tp2 تا چاهک Tp14. پروفیل زمین شناسی مهندسی از چاهک TP14 تا TP21

جدول ۵- پارامترهای مهندسی خاک مورد مطالعه در پروفیل زمین شناسی مهندسی

شماره لایه	طبقه بندی یونیفاید	درصد رطوبت (%)	$d\gamma$ (KN/m^3)	$sat\gamma$ (KN/m^3)	C (KPa)	ϕ (درجه)	C_u (KPa)
۱	CL-ML	۱۶/۹	۱۶/۲	۱۸/۹	۲۴	۲۹	۲۹
۲	CL	۱۷/۰	۱۶/۸	۱۹/۶	۴۲	۳۰	۵۲
۳	CL	۱۹/۵	۱۷/۴	۲۰/۸	۳۸	۲۴	۴۶
۴	CL-ML	۱۸/۱	۱۷/۲	۲۰/۳	۲۰	۳۳	۲۶
۵	SM	۲۰/۴	۱۶/۹	۲۰/۴	۱۴	۲۵	۱۹
۶	SM-ML	۱۲/۷	۱۹/۱	۲۱/۵	۱۷	۳۲	۲۱
۷	CL-ML	۱۴/۸	۱۸/۰	۲۰/۶	۲۷	۲۳	۳۳

$C =$ چسبندگی $\phi =$ زاویه اصطکاک داخلی در شرایط زهکشی شده $d\gamma =$ وزن مخصوص خشک $C_u =$ مقاومت برشی زهکشی نشده $\gamma =$ وزن مخصوص اشباع sat

همانطور که در شکل دیده می‌شود، در این خروجی عمق گودبرداری ۱۲ متر و دیواره‌ای با شیب ۶۰ درجه بوده است. در این مقطع همچنین ۳ لایه مهندسی برگرفته از پروفیل زمین‌شناسی مشهود است که در مقطع TP5 مورد تحلیل قرار گرفته است. تحلیل پایداری طولانی مدت گودبرداری‌ها با استفاده از پروفیل زمین‌شناسی مهندسی منطقه که قبلاً تهیه شده بود، انجام شد. برای دقت بیشتر تحلیل‌ها، مقاطع مورد نظر در نزدیکی یا منطبق بر محل چاهک‌ها انتخاب شد تا ضخامت لایه‌ها بصورت دقیق در نرم‌افزار وارد شود. تحلیل‌ها در طول ۲۲ گمانه و چاهک در اعماق مختلفی از گودبرداری‌های احتمالی انجام شد.

با توجه به اینکه هدف از این تحلیل‌ها بدست آوردن شیب پایدار در اعماق مختلف بود، تا در صورت امکان بتوان الگویی برای پایداری گودها در محدوده مورد نظر ارائه نمود، با در نظر گرفتن ضریب اطمینان ۱/۵ (بعنوان حداقل ضریب اطمینانی که در اکثر منابع برای شیب‌ها و گودبرداری‌ها در نظر گرفته می‌شود) تحلیل‌ها انجام گردیده است. در این تحلیل‌ها با احتساب شیب ۹۰ درجه و بصورت قائم در هر مرحله عمق گودبرداری ۱ متر افزایش یافته و متناسب با آن ضریب اطمینان محاسبه شده است. با مواجه شدن به نقاطی که با شیب قائم ضریب اطمینان کمتر از ۱/۵ را داده، اقدام به کاهش شیب نمود. بنحویکه ضریب اطمینان ثابت بماند. در هر مرحله ۵ درجه شیب کاهش یافته است که بر این اساس، تمامی مقاطع در نظر گرفته شده در پروفیل زمین‌شناسی مهندسی منطقه مورد مطالعه در اعماق مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. تحلیل‌ها در هر مقطع از سطح زمین تا عمق ۱۲ متری انجام شده است. لازم به ذکر است که در تمامی تحلیل‌ها از خاک دستی یا همان Overburden صرف نظر شده است. جدول شماره ۶ نتایج حاصل از این تحلیل‌ها را در مقاطع و عمق‌های مختلف نشان می‌دهد.

همانطور که در بالا اشاره شد، در جاهایی که ضریب اطمینان کمتر از ۱/۵ بوده، به روش آزمون و خطا تحلیل‌ها در شیب‌های مختلف انجام شده است تا در بیشترین شیب ممکن، ضریب اطمینان مورد نظر تامین شود. در نهایت جدول ۶ برای ضریب اطمینان ۱/۵ ارائه شده است. با بررسی جدول ۶ می‌توان در محدوده مورد مطالعه ۳ ناحیه تشخیص داد. این نواحی بخاطر اینکه در آبرفت D تهران قرار دارند با اسامی D1 (ناحیه ۱)، D2 (ناحیه ۲) و D3 (ناحیه ۳) در شکل ۷ مشخص شده‌اند.

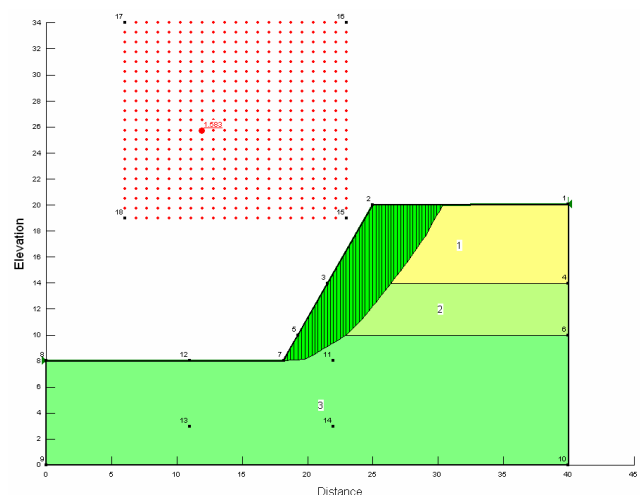
در شکل ۸ دیواره‌ای پایدار با عمق تقریبی ۶ متر و شیب در حدود ۸۰ درجه در ناحیه D1 می‌باشد.

پایدار بودن دیواره گود در این عکس نشان از کارآمد بودن روش و

- چسبندگی (برای تحلیل پایداری طولانی مدت گودبرداری‌ها)
- وزن مخصوص اشباع خاک (برای زیر سطح آب زیرزمینی) و
- مقاومت برشی زهکشی نشده (برای تحلیل پایداری طولانی مدت گودبرداری‌ها)

۱- تحلیل پایداری طولانی مدت گودها

در اینجا از پارامترهای وزن مخصوص خشک خاک (برای بالای سطح آب زیرزمینی)، زاویه اصطکاک داخلی (برای شرایط زهکشی شده) و چسبندگی (برای پایداری‌های طولانی مدت گودبرداری‌ها) در تحلیل استفاده شده است. در این قسمت با توجه به مزایای روش مورگنسترن - پرایس، از این روش برای تحلیل‌ها استفاده شده است. لازم به ذکر است که با توجه به این که روش مورد استفاده توابع مختلفی را برای تحلیل بکار می‌برد، در تحلیل‌های حاضر از تابع نیمه سینوسی این روش استفاده شده است. به دلیل اینکه، این روش تمامی نیروهای موثر در باریکه یا قطعه را در نظر می‌گیرد و تحلیل خود را بر اساس هر دو تعادل گشتاور و نیرو انجام می‌دهد، نتایج آن از اعتبار بیشتری برخوردارند. در تمامی این تحلیل‌ها سطح لغزش به ۵۰ قطعه یا باریکه تقسیم شده است. در تحلیل‌های حاضر گزینه بهینه‌سازی سطح لغزش یا Optimize در طول تحلیل‌ها فعال بوده است. اجرای نرم افزار طوری تنظیم شده است که از بین حدود ۴۸۵۱ سطح لغزش احتمالی، سطح لغزشی که کمترین ضریب اطمینان را داشت، انتخاب می‌کند. با فعال کردن گزینه Optimize، در روی سطح لغزش مزبور ۲۰۰۰ نقطه انتخاب شد و به تبع آن در روی هر نقطه انتخابی بیضوی در نظر گرفته می‌شود. نقطه مزبور در داخل بیضوی آنقدر جابجا می‌شود تا در نهایت نقطه‌ای که کمترین ضریب اطمینان را بدست می‌دهد، انتخاب شود. نمونه‌ای از خروجی نرم‌افزار در شکل ۶ نشان داده شده است.

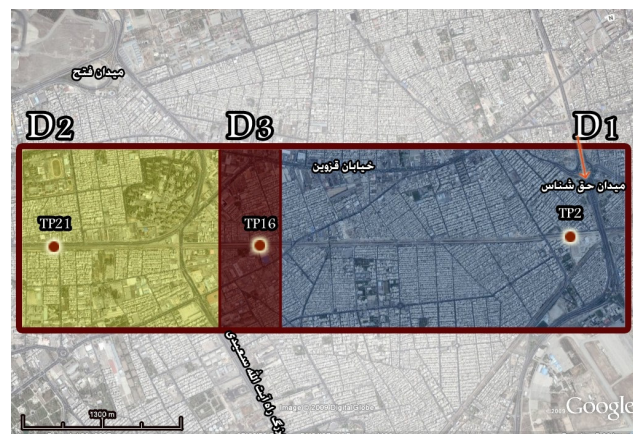


شکل ۶- خروجی نرم افزار برای گودبرداری با عمق ۱۲ متر و شیب ۶۰ درجه (واحد براساس متر).

پارامترهای مهندسی انتخاب شده می‌باشد.

بحرانی‌ترین شرایط ممکن است، در نظر گرفته شده است. در تحلیل کوتاه مدت شیب گودبرداری ثابت فرض شده و تغییرات ضریب اطمینان با افزایش عمق بررسی شده است.

در این مرحله از تحلیل، بحرانی‌ترین شرایط یعنی هنگامی که سطح آب زیرزمینی در سطح زمین قرار داشته باشد، در نظر گرفته شده و داده‌های ورودی شامل وزن مخصوص اشباع و مقاومت برشی زهکشی نشده می‌باشد. زاویه اصطکاک داخلی در شرایط کوتاه مدت و بحرانی صفر در نظر گرفته شده است. از روش مورگنسترن-پرایس و تابع نیمه سینوسی استفاده شده و گزینه Optimize در طول تحلیل‌ها مشابه حالت تحلیل طولان مدت فعال بوده است. جدول ۷ نتایج حاصل از این تحلیل‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به داده‌های این جدول مشخص می‌گردد که سه ناحیه تشخیص داده شده در تحلیل پایداری طولانی مدت در تحلیل کوتاه مدت نیز مشهود بوده و ضریب اطمینان نزدیک به هم در داخل این نواحی مشاهده می‌شود، بطوری که بعنوان مثال ناحیه D1 تا عمق حدود ۵-۴ متری ضریب اطمینان بالای ۱/۵ را با دیواره ۹۰ درجه نشان می‌دهد، حال آنکه نواحی D2 و D3 ضریب اطمینان بالای ۱/۵ را با دیواره ۹۰ درجه برای عمق ۳ متری نشان می‌دهند.



شکل ۷- تعیین نواحی پایداری D1، D2 و D3 در روی نقشه تهران

الگوی گودبرداری این ۳ ناحیه بصورت سه نمودار در شکل ۹ نشان داده شد. در این نمودارها، بازا ضریب اطمینان ۱/۵، تغییرات شیب در مقابل عمق برای سه ناحیه رسم شده است. همانطور که در نمودارها مشاهده می‌شود، در هر ۳ ناحیه تا عمق ۴ متری، شیب گودبرداری برای تامین پایداری مورد نظر ۹۰ درجه می‌باشد.

۲- تحلیل پایداری کوتاه مدت گودها

در این بخش تحلیل پایداری کوتاه مدت یا حین حفاری که منطبق با

جدول ۶- نتایج تحلیل پایداری در اعماق و شیب های مختلف گودبرداری (ضریب اطمینان ۱/۵ است)

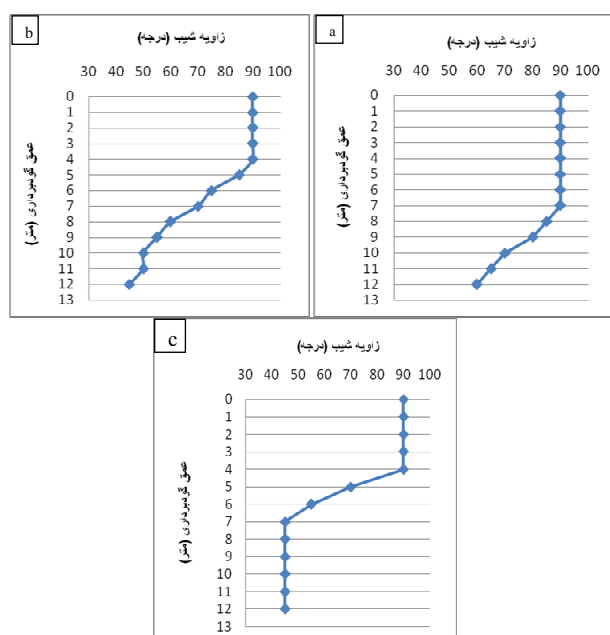
عمق ترانشه	3m	4m	5m	6m	7m	8m	9m	10m	11m	12m
TP2	90	90	90	90	90	90	80	75	65	60
TP3	90	90	90	90	90	90	80	75	65	60
TP4	90	90	90	90	90	90	80	75	65	60
TP5	90	90	90	90	90	85	80	75	65	60
TP6	90	90	90	90	90	90	80	75	65	60
TP7	90	90	90	90	90	90	80	75	65	60
TP8	90	90	90	90	90	90	80	75	65	60
TP9	90	90	90	90	90	85	80	70	65	65
TP10	90	90	90	90	90	85	80	70	65	65
TP11	90	90	90	90	90	85	80	70	65	65
TP12	90	90	90	90	90	85	80	70	65	65
BH2	90	90	90	90	90	85	80	70	65	65
TP13	90	90	90	90	90	90	85	75	70	65
TP14	90	90	90	90	90	90	85	75	70	65
TP15	90	90	90	90	90	90	80	75	70	65
TP16	90	90	70	55	45	45	45	45	45	45
TP17	90	90	85	75	75	75	70	70	65	60
BH3	90	90	85	75	70	60	55	55	50	50
TP18	90	90	85	75	70	60	55	50	50	45
TP19	90	90	85	75	70	60	55	50	50	45
TP20	90	90	90	80	70	60	50	50	45	45
TP21	90	90	90	80	70	60	50	50	45	45

جدول ۷- ضریب اطمینان های بدست آمده برای تحلیل پایداری کوتاه مدت (شیب ۹۰ درجه و نوع تعادل گشتاور)

مقطع	3m	4m	5m	6m	7m	8m	9m	10m	11m	12m	عمق گود برداری
TP2	2.08	1.57	1.5	1.49	1.21	1.09	0.91	0.9	0.87	0.78	
TP3	2.08	1.57	1.31	1.16	1.12	1	0.94	0.87	0.76	0.71	
TP4	2.08	1.57	1.31	1.16	1.12	1	0.94	0.87	0.76	0.71	
TP5	2.08	1.57	1.31	1.03	1.01	0.96	0.87	0.86	0.8	0.71	
TP6	2.08	1.57	1.31	1.16	1.12	1	0.94	0.87	0.76	0.71	
TP7	2.08	1.57	1.31	1.16	1.12	1	0.94	0.87	0.76	0.71	
TP8	2.08	1.57	1.5	1.49	1.21	1.09	0.91	0.9	0.87	0.78	
TP9	2.08	1.96	1.74	1.43	1.25	1.13	1.01	0.88	0.83	0.73	
TP10	2.08	1.57	1.5	1.49	1.21	1.09	0.91	0.9	0.87	0.78	
TP11	2.08	1.96	1.74	1.43	1.25	1.13	1.01	0.88	0.83	0.73	
TP12	2.08	1.96	1.74	1.43	1.25	1.13	1.01	0.88	0.83	0.73	
BH2	2.08	2	1.74	1.43	1.25	1.13	1.01	0.88	0.83	0.73	
TP13	3.55	2.78	2.23	1.85	1.59	1.18	1.15	1.04	0.94	0.9	
TP14	3.55	2.78	2.23	1.85	1.59	1.18	1.15	1.04	0.94	0.9	
TP15	1.76	1.71	1.45	1.3	1.2	1.06	0.99	0.91	0.83	0.76	
TP16	1.76	1.2	0.92	0.71	0.62	0.6	0.6	0.56	0.49	0.44	
TP17	1.76	1.31	1.06	0.88	0.84	0.84	0.82	0.75	0.66	0.58	
BH3	1.76	1.31	1.06	0.88	0.74	0.65	0.65	0.58	0.53	0.51	
TP18	1.76	1.31	1.06	0.88	0.74	0.65	0.65	0.58	0.53	0.52	
TP19	1.76	1.31	1.06	0.88	0.74	0.65	0.65	0.58	0.52	0.51	
TP20	2.17	1.64	1.35	1.11	0.94	0.87	0.77	0.65	0.6	0.55	
TP21	2.17	1.64	1.35	1.11	0.94	0.87	0.77	0.65	0.6	0.55	



شکل ۸- دیواره ای پایدار با عمق تقریبی ۶ متر و شیب در حدود ۸۰ درجه در ناحیه D₁ (ایمان زاده، ۱۳۸۸).



شکل ۹- نمودار الگوی گودبرداری در ناحیه D₁ (شکل a)،
در ناحیه D₂ (شکل b)، و در ناحیه D₃ (شکل c)

ثابت می‌ماند. لازم به ذکر است که در تمامی موارد تحلیل‌ها، گودبرداری‌های احتمالی با عمق کمتر از ۴ متری با شیب دیواره ۹۰ درجه پایدار می‌باشند. نتایج و ضرایب اطمینان بدست آمده از تحلیل پایداری کوتاه مدت (حین حفاری) گودبرداری‌ها در بحرانی‌ترین شرایط نیز تقسیم بندی فوق را نشان می‌دهد. بطوری که اگر به نتایج حاصل از این مرحله دقت شود، مشاهده می‌شود که ناحیه D1 تا عمق حدود ۴-۵ متری ضریب اطمینان بالای ۱/۵ را با دیواره ۹۰ درجه نشان می‌دهد، حال آنکه نواحی D2 و D3 ضریب اطمینان بالای ۱/۵ را با دیواره ۹۰ درجه برای عمق ۳ متری نشان می‌دهند. لازم به ذکر است که از نتایج پایداری کوتاه مدت می‌توان در طراحی حایل‌ها و سازه‌های نگهبان استفاده شود.

البته ذکر این نکته ضروری است که در منطقه مورد مطالعه در هیچیک از چاهک‌ها و گمانه‌ها سطح آب زیرزمینی مشاهده نشده، بنابراین بخش مربوط به پایداری کوتاه مدت یا حین حفاری به منظور تکمیل تحقیق حاضر انجام گرفته است.

نتیجه گیری

در این منطقه از آبرفت ریزدانه جنوب تهران تنوعی از پایداری دیواره گود مشاهده می‌شود. با توجه به تحلیل پایداری طولانی مدت، محدوده مورد مطالعه به سه ناحیه با سه حالت پایداری مختلف قابل تقسیم است. در ناحیه ۳ بدلیل حضور لایه ماسه‌ای (SM) که در عمق ۳ الی ۷ متری دیده شده کمترین مقدار ضریب اطمینان را برای پایداری گود نشان داده شده است، بعد از عمق ۷ متر (جایی که لایه ماسه‌ای تمام می‌شود) شیب لازم برای تامین ضریب اطمینان ۱/۵ تا عمق ۱۲ متری

منابع:

- اصغری ا. ۱۳۸۰: تاثیر سیمانی شدن بر روی مقاومت برشی و پارامترهای تغییر شکل خاک‌های دانه درشت با اشاره به آبرفت تهران، رساله دکتری، بخش زمین شناسی دانشکده علوم دانشگاه تربیت مدرس. ۲۵۲ صفحه.
- ایمان زاده ج. ۱۳۸۸: زمین شناسی مهندسی آبرفت‌های جنوب تهران و ارزیابی پایداری گود در آنها، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران. دانشکده زمین شناسی. ۹۹ صفحه.
- بربریان م.، قریشی م.، ارژنگ ا.، مهاجر اشجعی ا. ۱۳۶۴: پژوهش و بررسی ژرف نو زمین ساخت و خطر زمینلرزه، گسلش در گستره تهران و پیرامون، گزارش شماره ۵۶ سازمان زمین شناسی کشور.
- جعفری م.، اصغری ا. ۱۳۸۱: گزارش مطالعات تکمیلی ریز پهنه بندی لرزه ای جنوب تهران، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۱۲۶.
- چشمی ا. ۱۳۸۵: مطالعه خواص مکانیکی آبرفت تهران براساس آزمون‌های معمول و ابزار ساده مکانیکی، رساله دکتری، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت مدرس. ۲۳۶ صفحه.
- چشمی ا.، فاخر ع.، خامه چیان م. ۱۳۸۷: زمین شناسی آبرفت‌های تهران و ارزیابی طبقه بندی ریبین جهت مطالعات زمین شناسی مهندسی، مجله علوم دانشگاه تهران ۳۴: ۱۵-۱.
- موسسه مهندسين مشاور ساحل ۱. ۱۳۸۷: خدمات مهندسی پروژه انتقال خط راه آهن تهران-تبریز به زیر زمین در منطقه ۱۷ تهران، گزارش نهایی چاهکهای مرحله اول.
- موسسه مهندسين مشاور ساحل ۲. ۱۳۸۷: خدمات مهندسی پروژه انتقال خط راه آهن تهران-تبریز به زیر زمین در منطقه ۱۷ تهران، گزارش نهایی چاهکهای مرحله دوم.
- مهاجر ایروانلو ر. ۱۳۸۲: خاک برداری مهار شده در خاک تهران، رساله کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران. ۱۱۴ صفحه.
- Asghari E., Toll D. G., Haeri M. 2003: Triaxial behavior of cemented gravely sand, Tehran alluvium. *Journal of Geotechnical Engineering*. **21**: 1-28.
- Bishop A.W. 1955: The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slope. *Geotechnique*. **10**: 129-150.
- Fakher A., Cheshomi A., Khamechian M. 2007: The addition of geotechnical properties to a geological classification of coarse-grained alluvium in a pediment zone. *Quarterly journal of engineering geology and hydrogeology*. **40**: 163-174.
- Fellenius W. 1936: Calculation of the Stability of Earth Dams. *Proceedings of the Second Congress of large Dams*. **4**: 445-463.
- GeoStudio T. 2004: 2D limit equilibrium slope stability for soil and rock slopes, GEO-SLOPE International Ltd. 491 p.
- Hardy R.M. 2003: The limits of limit equilibrium analyses. *Canadian Geotechnical Journal*. **40**: 643-660.
- Janbu N. 1954: Application of Composite Slip Surface for Stability Analysis. In *Proceedings of the European Conference on the Stability of Earth Slopes*, Stockholm. **3**: 39-43.

- Morgenstern N. R., Price V. E. 1965: The Analysis of the Stability of General Slip Surface. *Geotechnique*. **15**: 79-93.
- Rieben E. H. 1966: Geologocal observation on Alluvium Deposits in northern Iran, Report No. 9, Geological Organization of Iran, 39 P.
- Spencer E. 1967: A Method of Analysis of Embankments assuming Parallel Interslice Forces. *Geotechnique*. **17**: 11-26.