دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال نوزدهم، شماره‌ی ۶۸
زمستان ۱۳۹۸، صفحات ۱۳-۱

حامد حق‌کیش[۱]
***سید آرش موسوی قاسمی**[۲]

بررسی اثر گودبرداری بر زمین‌شناسی ساختگاه و تحلیل پایداری پرتال ورودی دستگاه حفار تونل خط ۲ مترو تبریز با استفاده از نرم‌افزار FLAC

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۰۸/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٤/۱۲/۰۲

چکیده

یکی از مهم‌ترین مسائل موجود در احداث پروژه‌های عمرانی، به‌ویژه، پروژه‌های احداث شفت‌های ورودی دستگاه حفاری مکانیزه تونل در مناطق شهری، مطالعه و تامین پایداری شیروانی‌های خاکی مربوط به آن‌هاست. هدف از تحلیل پایداری شیروانی‌ها یافتن ضریب اطمینان مناسب برای تامین پایداری ترانشه‌های ایجاد شده و در عین حال اقتصادی بودن آن می‌باشد. مناسب‌ترین روش در تحلیل چنین مسائلی، مدل‌سازی عددی این شیروانی‌ها و مقایسه نتایج حاصل، با مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی می‌باشد. در این مقاله به کمک روش تفاضلات محدود و با استفاده از نرم‌افزار FLAC2D تحلیل‌های مختلفی بر روی مدل‌های پیشنهادی صورت پذیرفته و گزینه مناسب برای حفاری دیواره‌های شفت ورودی (ترانشه‌ها و برم‌ها) پیشنهاد شده است. همچنین طی آن اثرات خصوصیات مکانیکی خاک (از قبیل چسبندگی، زاویه اصطکاک داخلی، وزن مخصوص خاک، مدول الاستیسیته، ضریب پواسون) و مشخصات هندسی شیب و تاثیر سیستم‌های نگهداری و سطح تراز آب زیرزمینی تحت عنوان آنالیز حساسیت برای یک مدل انتخابی بررسی شده است.

کلید واژه‌ها: شفت، پایداری شیروانی‌ها، مدلسازی، روش تفاضلات محدود، روش تعادل حدی، آنالیز حساسیت.

۱- گروه مهندسی عمران، موسسه آموزش عالی رشدیه تبریز.
*۲- گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز. (نویسنده مسئول).
E- mail: haghkish@roshdiyeh.ac.ir

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

مقدمه

یکی از مهم‌ترین مراحل حفر تونل در محیط‌های شهری، طراحی و احداث محلی مناسب برای مونتاژ و ورود دستگاه حفاری TBM به داخل زمین می‌باشد. انتخاب روش مناسب حفاری شفت و همچنین حفظ پایداری شفت ورودی حین و پس از مونتاژ دستگاه از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. از مهم‌ترین پارامترهای تاثیرگذار بر پایداری سینه کار می‌توان به خصوصیات ژئوتکنیکی خاک همچون چسبندگی، زاویه اصطکاک داخلی، نسبت پواسون و مدول الاستیسیته اشاره نمود. در این مقاله به بررسی تاثیر این پارامترها بر پایداری دیواره‌های شفت ورودی TBM خط ۲ متروی تبریز با استفاده از نرم‌افزار FLAC2D پرداخته خواهد شد. خط ۲ متروی تبریز با روند شرقی–غربی طولانی‌ترین خط شبکه خطوط پنج‌گانه قطار شهری تبریز به شمار می‌آید که دارای طول تقریبی ۲۲ کیلومتر و قطر ۹/٤۸ متری می‌باشد که توسط دستگاه حفاری تمام مقطع فشار تعادلی زمین (EPB) حفاری خواهد گردید. بر اساس نتایج حاصل از مطالعات ژئوتکنیک خط ۲ متروی تبریز، عمده مصالح تشکیل دهنده پرتال ورودی دستگاه حفاری متشکل از خاک‌های ریزدانه در بخش‌های فوقانی و مصالح آبرفتی درشت‌دانه‌تر در بخش‌های زیرین می‌باشد. از آنجایی که عملیات حفاری شفت ورودی دستگاه در منطقه غربی قراملک تبریز شروع شده است، می‌توان نتایج حاصل از مطالعات عددی را با نتایج واقعی موجود مقایسه نموده و راهکارهای مناسبی جهت حفاری شفت‌های ورودی در شرایط مختلف ژئوتکنیکی ارائه نمود.

پیشینه پژوهش

هدف از تحلیل پایداری شیروانی‌ها یافتن ضریب اطمینان مناسب برای تامین پایداری ترانشه‌های ایجاد شده و در عین حال اقتصادی بودن آن می‌باشد. مناسب‌ترین روش در تحلیل چنین مسائلی، مدل‌سازی عددی این شیروانی‌ها و مقایسه نتایج حاصل، با مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی می‌باشد. نرم‌افزار FLAC یک برنامه تفاضل محدود است که برای محاسبات مهندسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این برنامه رفتار سازه‌هایی را که در آن خاک، سنگ و یا سایر مصالحی که ممکن است بعد از حد تسلیم به حالت پلاستیک برسند به خوبی مدل‌سازی می‌کند. نرم‌افزار FLAC در اصل برای مهندسین ژئوتکنیک و معدن طراحی شده است، با این حال این برنامه با توجه به توانایی‌ها و قابلیت‌های گسترده‌ای که دارد می‌تواند برای حل مسائل پیچیده مکانیکی در رشته‌های دیگر مهندسی نیز استفاده شود. مدل‌های رفتاری متنوعی که در این برنامه تعریف شده است به مهندسین اجازه می‌دهد که مسائل مختلفی را تحت تحلیل‌های غیرخطی مدل‌سازی و تحلیل کنند.

مبانی نظری

در این تحلیل نیز از این نرم‌افزار برای تحلیل پایداری شیروانی‌های شفت ورودی TBM استفاده شده است. با استفاده از این نرم‌افزار می‌توان تاثیر پارامترهای مکانیکی خاک بر روی پایداری ترانشه‌ها و روش‌های بهینه در حفاری ترانشه‌ها و نیز انتخاب روش مناسب جهت پایدارسازی ترانشه‌ها را پیشنهاد و از لحاظ اقتصادی نیز هزینه‌ها را برآورد نمود.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

از جمله قابلیت‌های شایان توجه نرم‌افزار FLAC2D می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف) ایجاد المان‌های واسطه[3]:

مدل‌سازی صفحاتی که در امتدا آن‌ها هم‌پوشانی و یا جدایش اتفاق افتاده

مدل‌سازی حالات کرنش صفحه‌ای

تنش صفحه‌ای و تقارن محوری

مدل‌سازی حالات دارای آب زیرزمینی

مدل‌سازی نگهداری‌ها (مانند بتن‌ریزی دیواره راه‌ها و تونل‌ها، راک‌بولت، شمع و غیره....)

ب) توانایی در آنالیز دینامیکی مواد، دربرداشتن حالات ویسکوالاستیک و ویسکوپلاستیک (خزش)

ج) قابلیت مدل‌سازی حالات وابسته به دمای مواد

د) قابلیت افزودن حالات اضافه شده توسط کاربر، در محیط c^{++}

محدوده مورد مطالعه

ایستگاه $A_{2\text{-}1}$ واقع در میدان ماشین‌سازی تبریز با توجه به وجود سازه‌های مختلف و تراکم شهری در این محدوده، به عنوان مطالعه موردی به‌منظور مدل‌سازی عددی انتخاب گردیده است. این ایستگاه اولین ایستگاه خط دو قطار شهری تبریز در غرب تبریز بوده و در محدوده قراملک واقع گردیده است. ایستگاه مذکور به طول ۱۲۲ متر، عرض ۲۶ متر و ارتفاع ۲٤ متر در ۳ طبقه ساخته می‌شود که ارتفاع هر طبقه ۸ متر است.

مواد و روش‌ها

آنالیز حساسیت

در واقع بررسی تغییر فاکتور اطمینان مدل با توجه به تغییر خصوصیات مکانیکی خاک‌ها (از قبیل چسبندگی، زاویه اصطکاک داخلی، وزن مخصوص، مدول الاستیسیته، ضریب پواسون) نسبت به یک لایه واحد می‌باشد.(Hock, Rock Engineering, 2001). همچنین این آنالیز می‌تواند بررسی تغییر خصوصیات ساپورت‌ها را در برداشته باشد. به‌عنوان مثال برای مدل میخکوبی شده می‌توان با کم یا زیاد کردن تعداد نیل‌ها و یا کم و زیاد کردن زاویه قرارگیری آن‌ها و یا افزایش یا کاهش طول و قطر نیل‌ها این آنالیز را انجام داد.

بررسی و تحلیل پایداری توسط نرم‌افزار

مکانیزم استفاده:

برای ایجاد یک شبیه‌سازی واقع‌گرایانه در نرم‌افزار باید سه گام اساسی در فرآیند مدل‌سازی انجام گیرد:

3- Interface

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

ایجاد یک شبکه تفاضل محدود

اعمال مدل رفتاری و خصوصیات مصالح

اعمال شرایط مرزی و اولیه

روش بررسی آنالیز حساسیت

در این تحقیق روش آنالیز حساسیت با در نظرگرفتن ۲ لایه از لایه‌های خاک به‌صورت یک لایه واحد، و ثابت نگهداشتن مقادیر پارامترهای ژئوتکنیکی لایه زیرین در مدل می‌باشد. برای به‌دست آوردن لایه واحد بالایی از فرمول‌های زیر برای هر یک از پارامترها استفاده می‌کنیم:

رابطه (۱) $$\frac{C_1 \times H_1 + C_2 \times H_2}{H_1 + H_2}$$

رابطه (۲) $$\frac{E_1 \times H_1 + E_2 \times H_2}{H_1 + H_2}$$

رابطه (۳) $$\frac{\nu_1 \times H_1 + \nu_2 \times H_2}{H_1 + H_2}$$

رابطه (٤) $$\frac{\varphi_1 \times H_1 + \varphi_2 \times H_2}{H_1 + H_2}$$

رابطه (۵) $$\frac{\gamma_1 \times H_1 + \gamma_2 \times H_2}{H_1 + H_2}$$

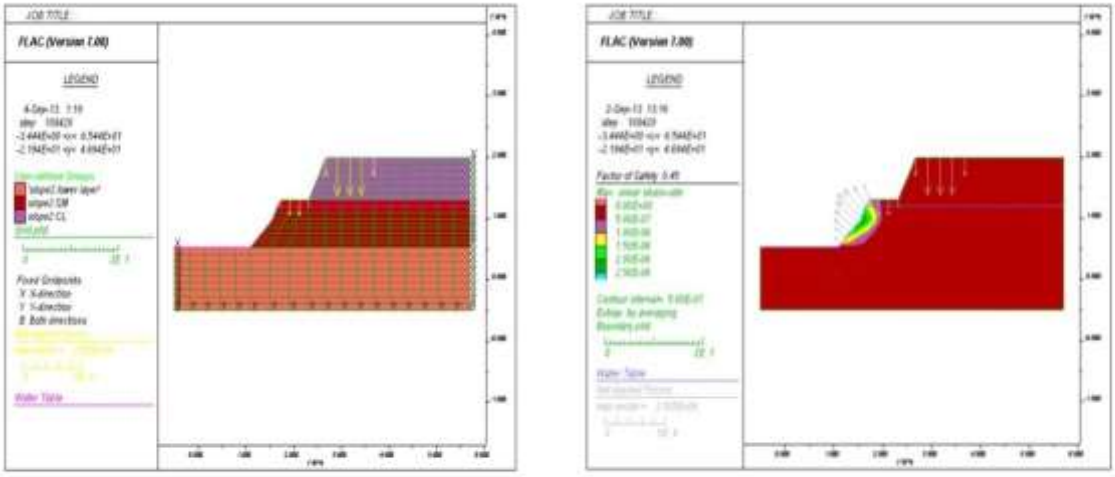
سپس با تغییر مقدار پارامترها و مقایسه نتایج آن (فاکتور ایمنی) با نتایج لایه واحد به‌دست آمده و به نمودار کشیدن نتایج، آنالیز حساسیت را انجام می‌دهیم.

یافته‌ها و بحث

مدل‌سازی

از مدل‌های پیشنهادی برای خاک‌برداری و حفاری شیروانی‌های شفت ورودی TBM می‌باشد با توجه به میزان فاکتور اطمینان آن بدون ساپورت، مقداری برابر ۰/٤۵ را می‌دهد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

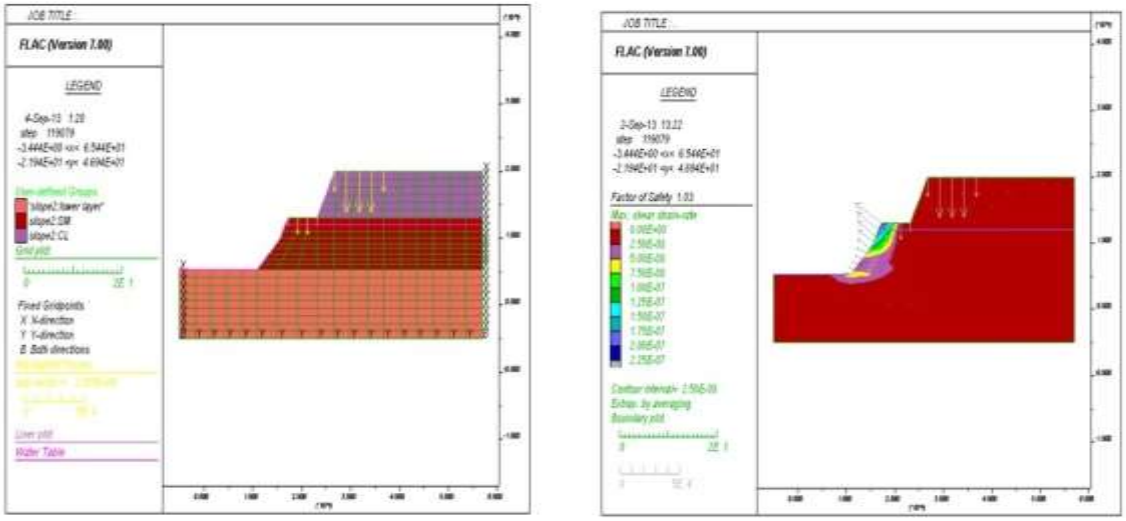


شکل ۱: مش‌بندی و پلات مدل بدون ساپورت

Figure 1: Mesh and plot of supportless Model

مدل با شاتکریت

با توجه به نتایج فاکتور اطمینان پایین به‌دست آمده برای مدل در حالت بدون ساپورت مدل مورد نظر با یک لایه شاتکریت به ضخامت ۱۵ سانتی‌متر بررسی می‌شود که نتایج حاصل، نشان از افزایش میزان فاکتور اطمینان تا ۱/۰۳ را می‌دهد و پایداری بخشی از سطح لغزش شیروانی را مطابق پلات ایجاد شده جبران می‌کند.



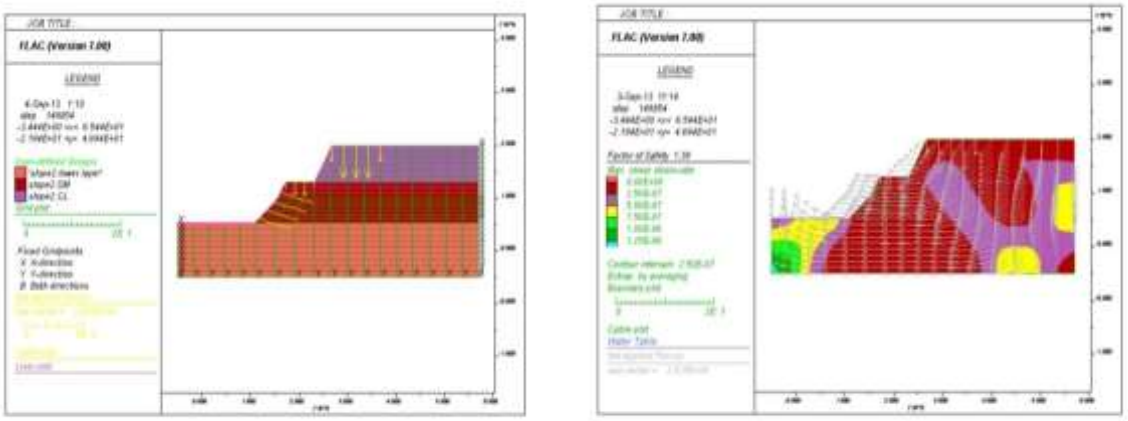
شکل ۲: مش‌بندی وپلات مدل با شاتکریت

Figure 2: Mesh and plot of supported Model

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

مدل با شاتکریت و نیل

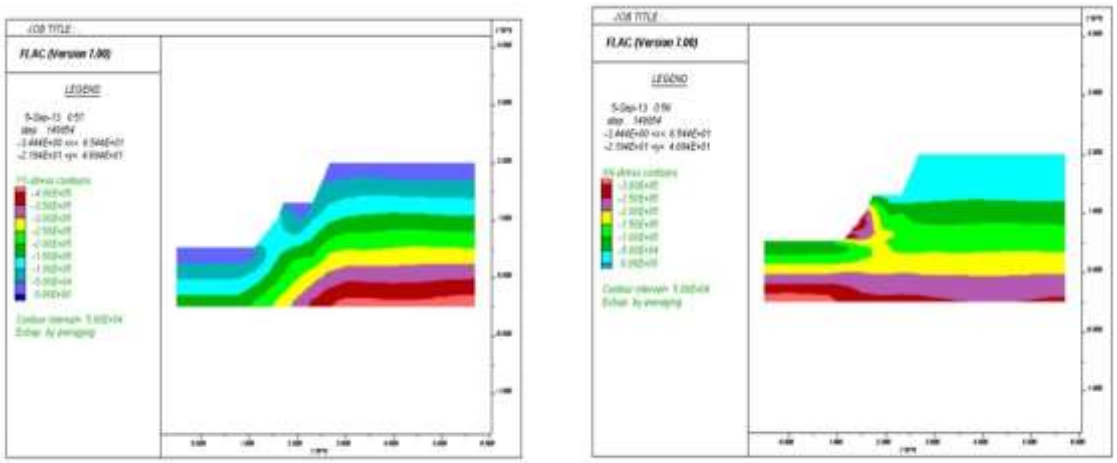
در این مدل برای افزایش میزان فاکتور ایمنی از نیل‌های ۷ متری با زوایای ۱۵درجه نسبت به سطح افق و به فواصل ۱/۵ متر از هم استفاده شده که میزان فاکتور ایمنی را تا ۱/۳۹ افزایش می‌دهد و شکل پلات حاصل از آن گویای رفع لغزش در مدل و پایداری شیروانی می‌باشد.



شکل ۳: مش‌بندی و پلات مدل با شاتکریت و نیل

Figure 3: Mesh and plot of model with shotcrete and nail

مدل‌سازی تنش در جهت XX ,YY در مدل سوم با در نظر گرفتن شاتکریت و نیل



شکل ٤: پلات تنش‌ها در مدل

Figure 4: Plot of stresses in the model

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ۱- نتایج مدل‌سازی

Table 1- Modeling results

مدل	فاکتور ایمنی			
	خشک	مرطوب	شاتکریت۱۵سانتی	شاتکریت با نیل۷ متری و زاویه۱۵درجه
۱	۱/۵	۰/۵۲	۱/۱	۱/۳۲
۲	۱/۲٦	۰/٤	۰/۸۹	۱/۳۹
۳	۱/٤۳	۰/٤٥	۱/۰۳	۱/۳۹

نتایج پارامترهای آنالیز حساسیت برای مدل انتخابی

با توجه به روش انجام آنالیز حساسیت برای لایه‌های خاک نتایج به‌دست آمده از آن مطابق جدول زیر ارائه می‌شود.

جدول ۲- نتایج آنالیز حساسیت

Table 2- Sensitivity analysis results

۲۱٤٦٦	چسبندگی لایه مشترک (پاسکال)
۲۷۱۸۳۳۳۳	مدول الاستیسیته لایه مشترک (پاسکال)
۰/۳٥	ضریب پواسون لایه مشترک
۲٥°	زاویه اصطکاک داخلی لایه مشترک (درجه)
۱۷۱٤	وزن مخصوص خشک لایه مشترک (کیلوگرم بر متر مکعب)

بررسی تاثیر خصوصیات خاک بر فاکتور اطمینان (آنالیز حساسیت)

(Gueno Consulting Engineering, Construction Works of Metro Tunnels and Stations, 2011) [In Persian]

(Gueno Consulting Engineering, Review of Design and Construction of Tehran Metro Line 4, 2013) [In Persian]

بررسی تاثیر خصوصیت چسبندگی خاک بر روی فاکتور اطمینان

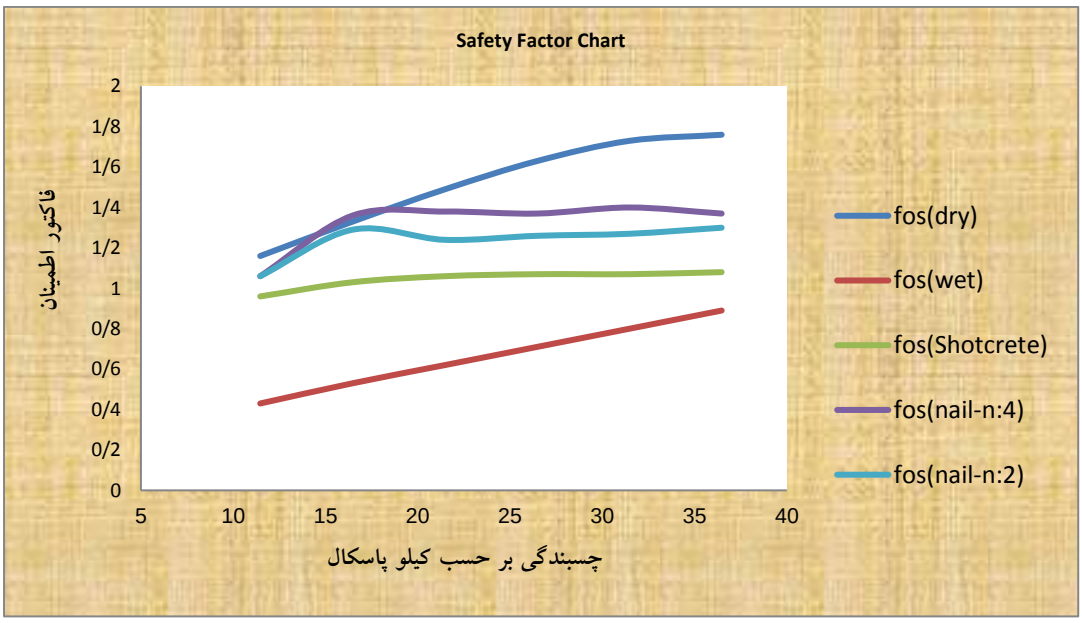
مطابق با تحلیل‌های انجام شده در نرم‌افزار FLAC2D نتایج خروجی برای تغییرات چسبندگی به‌صورت جدول و نمودار زیر می‌باشد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ۳- تغییرات فاکتور اطمینان نسبت به چسبندگی خاک

Table 3- Changes in the reliability factor for soil adhesion

چسبندگی (Pa)	فاکتور ایمنی (FOS)				
	خشک	مرطوب	شاتکریت	شاتکریت + نیل۷ متری	شاتکریت+ نیل۷ متری
				٤ عدد	۲ عدد
۱۱٤٦٦	۱/۱٦	۰/٤۳	۰/۹٦	۱/۰٦	۱/۰٦
۱٦٤٦٦	۱/۳۳	۰/۵۳	۱/۰۳	۱/۳٦	۱/۲۹
۲۱٤٦٦	۱/٤۹	۰/٦۲	۱/۰٦	۱/۳۸	۱/۲٤
۲٦٤٦٦	۱/٦۳	۰/۷۱	۱/۰۷	۱/۳۷	۱/۲٦
۳۱٤٦٦	۱/۷۳	۰/۸	۱/۰۷	۱/٤	۱/۲۷
۳٦٤٦٦	۱/۷٦	۰/۸۹	۱/۰۸	۱/۳۷	۱/۳



شکل ۵: نمودار تغییرات فاکتور اطمینان نسبت به چسبندگی

Figure 5: Chart of changes in the reliability factor

نتیجه حاصل از جداول و نمودارهای فوق نشان می‌دهد تمامی منحنی‌ها نشانگر افزایش فاکتور اطمینان در مقابل افزایش چسبندگی می‌باشد.

بررسی تاثیر خصوصیت زاویه اصطکاک داخلی خاک بر میزان فاکتور اطمینان

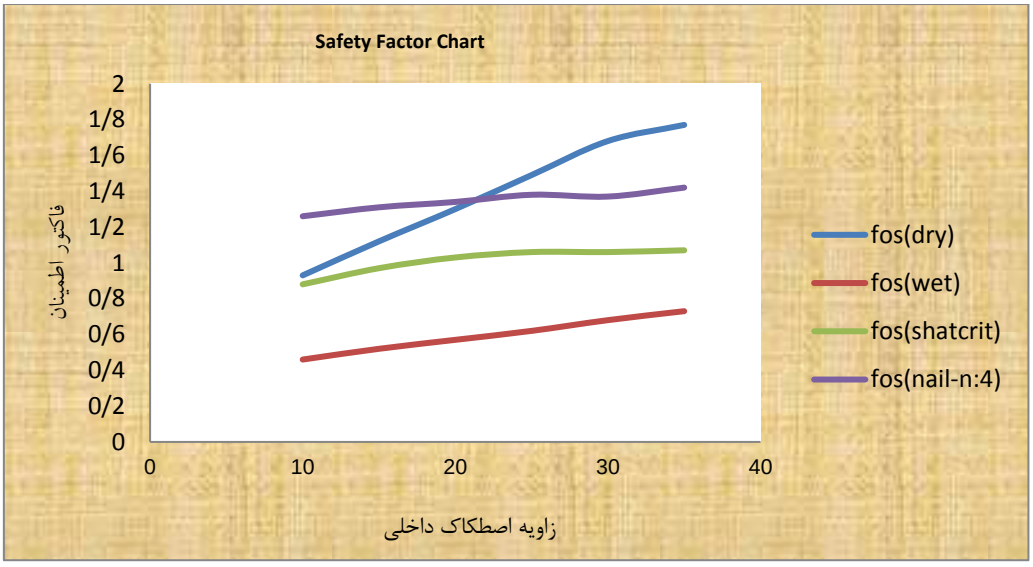
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

مطابق با تحلیل‌های انجام شده در نرم‌افزار FLAC2D نتایج خروجی برای تغییرات زاویه اصطکاک داخلی خاک به صورت جدول و نمودار زیر می‌باشد:

جدول ٤- تغییرات فاکتور اطمینان نسبت به زاویه اصطکاک داخلی

Table 4- Changes in the confidence factor relative to the internal friction angle

زاویه اصطکاک داخلی (درجه)	فاکتور ایمنی (Fos)				
	خشک	مرطوب	شاتکریت	شاتکریت + نیل۷ متری	شاتکریت + نیل۷ متری
				٤ عدد	۲عدد
۱۰	۰/۹۳	۰/٤٦	۰/۸۸	۱/۲٦	۰/۸۸
۱۵	۱/۱۲	۰/۵۲	۰/۹۷	۱/۳۱	۱/۱۷
۲۰	۱/۳	۰/۵۷	۱/۰۳	۱/۳٤	۱/۲۱
۲۵	۱/٤۹	۰/٦۲	۱/۰٦	۱/۳۸	۱/۲٤
۳۰	۱/٦۸	۰/٦۸	۱/۰٦	۱/۳۷	۱/۲۷
۳۵	۱/۷۷	۰/۷۳	۱/۰۷	۱/٤۲	۱/۲۹



شکل ٦: نمودار تغییرات فاکتور اطمینان نسبت به زاویه اصطکاک داخلی

Figure 6: Chart of changes in the confidence factor in terms of internal friction

مطابق با نتایج حاصل از جدول و نمودارها میزان فاکتور اطمینان با افزایش زاویه اصطکاک داخلی در ٤ حالت یعنی در حالت خشک، در حالت مرطوب در حالتی که از شاتکریت استفاده شده و در حالتی که از نیل و شاتکریت استفاده

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

شده است، در حال افزایش می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت که با افزایش زاویه اصطکاک داخلی خاک میزان فاکتور اطمینان افزایش پیدا می‌کند (Kliche, 1999).

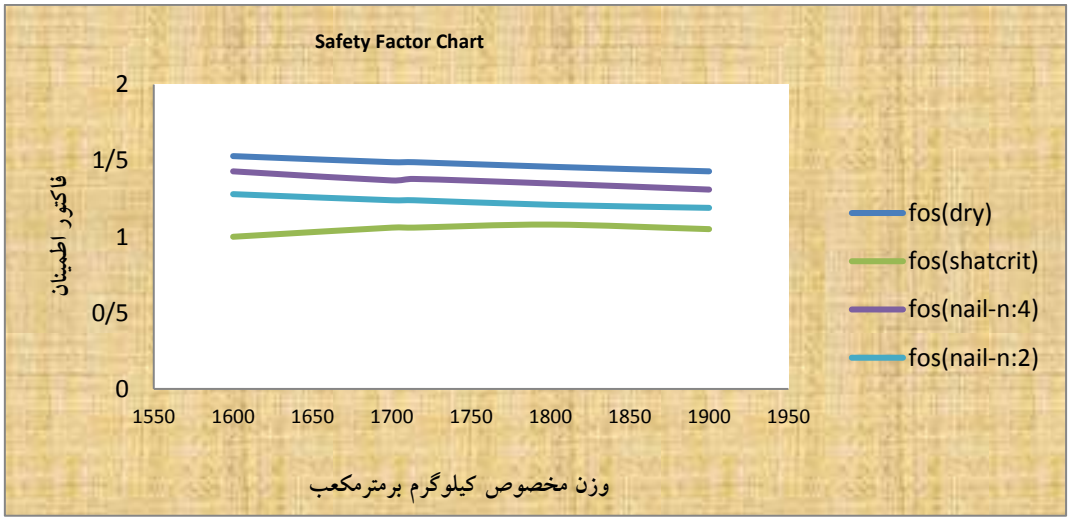
بررسی تاثیر خصوصیت وزن مخصوص خاک بر میزان فاکتور اطمینان

مطابق با تحلیل‌های انجام شده در نرم‌افزار FLAC2D نتایج خروجی برای تغییرات وزن مخصوص خاک به‌صورت جدول و نمودار زیر می‌باشد:

جدول ۵- تغییرات فاکتور اطمینان نسبت به وزن مخصوص

Table 5- Changes in the confidence factor relative to specific gravity

وزن مخصوص (کیلوگرم بر متر مکعب)	فاکتور ایمنی (Fos)				
	شاتکریت+ نیل ۷ متر ۲ عدد	شاتکریت + نیل ۷ متری ٤ عدد	شاتکریت	مرطوب	خشک
۱۶۰۰	۱/۲۸	۱/٤۳	۱	۰/٥٤	۱/٥۳
۱۷۰۰	۱/۲٤	۱/۳۷	۱/۰٦	۰/٦۱	۱/٤۹
۱۷۱٤	۱/۲٤	۱/۳۸	۱/۰٦	۰/٦۲	۱/٤۹
۱۸۰۰	۱/۲۱	۱/۳٥	۱/۰۸	۰/٦۸	۱/٤٦
۱۹۰۰	۱/۱۹	۱/۳۱	۱/۰٥	۰/۷٤	۱/٤۳



شکل ۷: نمودار تغییرات فاکتور اطمینان نسبت به وزن مخصوص خاک

Figure 7: Graph of the factor of confidence in the specific gravity of the soil

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

نتایج حاصل از نرم‌افزار که در جدول ذکر شده و همچنین بررسی شکل نمودار گویای این مطلب می‌باشد که با افزایش وزن مخصوص میزان فاکتور اطمینان در حال کاهش است (Hock, 1981).

نتیجه‌گیری

امروزه با توجه به افزایش تنگناهای متاثر از روابط دیپلماتیک کشورهای متعدد جهان، محدودیت منابع مالی و سرمایه انسانی متبحر، احساس نیاز جدی و بیش از پیش به مدیریت هوشمند ابرپروژه‌های عمرانی در مقیاس کلان، مسیر پژوهش‌های بنیادین و کاربردی زیرساخت‌های مهندسی را با سرعت و شتابی فزاینده، به سمت دگرش‌های بهبودیافته و تدقیق حداکثری نتایج پیمایش مسیر در فاز مطالعات میدانی و طراحی سوق می‌دهد. لیکن در سازه‌های زیرزمینی سامانه‌های قطار شهری نیز علیرغم کلیه بهینه‌سازی‌های انجام‌یافته، احتمال رویارویی با برخی از پدیده‌های پیش‌بینی-نشده در فاز ساخت بر هیچ‌یک از ارکان پروژه، نه‌تنها پوشیده نیست، بلکه ملحوظ داشتن این سناریوهای تهدید به عنوان پارامترهای عدم قطعیت و متعاقبا ارائه راهکارها و تمهیدات پیشگیری و کاهش اثرات ناشی از رخداد، از ملزومات سیستم‌های مدیریتی کارآمد محسوب می‌شود که تنوع منحصر به پارامترهای ساختگاهی هر پروژه، مانع اتخاذ تصمیمی واحد و تعمیم‌پذیر برای کلیه پروژه‌ها می‌باشد. لذا آنچه در این عرصه، مغفول بوده و ارائه طریق برای آن، تحولی شگرف خواهد بود، بررسی و ارزیابی این تاثیرپذیری جبران‌ناپذیر فنی، اقتصادی، حقوقی، اجتماعی، زیست‌محیطی و... برونسپاری‌های غیربهینه است که اهمیت مضاعف و کتمان‌ناپذیر تنسیق پارامترهای ساختگاهی را آشکار و در رده تحقیقات صنعتی اولویت‌دار کلاسه‌بندی می‌نماید. بدیهی است با تعدد و تعمیق دستاوردهای پژوهشگران این وادی، کاهش بهای تمام شده، کاهش زمان اجرا، تنویر صحت دعاوی و ادعاهای حقوقی ارکان پروژه و ذینفعان آن، کاهش آلایندگی زیست محیطی و سایر نتایج مورد انتظار منطبق با چهارچوب‌های مطالعات مهندسی و مدیریت ارزش، قابل دستیابی خواهد بود که در این پژوهش (به عنوان تحقیق پایلوت این زمینه)، تمرکز عمده بر روی پارامترهای ساختگاهی با ماهیت ژئوتکنیکی خواهد بود.

در این مدل‌سازی به دلیل حجم کم خاک‌برداری و سرعت در اجرا خاک‌برداری و سیستم نیل‌گذاری و نیز با توجه به نتایج حاصل از تحلیل مدل با نرم‌افزار FLAC2D که مقادیر فاکتور اطمینان بیش‌تری درحالت (مرطوب و با شاتکریت) نسبت به سایر مدل‌ها را دارد، این گزینه خاک‌برداری، برتری بیش‌تری نسبت مدل‌های دیگر خواهد داشت و گزینه مناسب برای اجرای عملیات حفاری و خاک‌برداری خواهد بود.

(Haeri, 1363) (Pardisan Sazeh, 1390) [In Persian] (Pardisan Sazeh, 1391) [In Persian]

مدل مورد نظر با این نوع سیستم ساپورت مطابقت دارد و می‌توان در شرایط عملیاتی این نوع سیستم نگهداری را انتخاب و استفاده نمود.

(Haeri, 1363) (Pardisan Sazeh, 1390) [In Persian] (Pardisan Sazeh, 1391) [In Persian]

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

از بررسی تاثیر خصوصیات خاک بر فاکتور اطمینان در آنالیز حساسیت مشخص شد که:

فاکتور اطمینان با افزایش مقدار چسبندگی افزایش پیدا می‌کند.

فاکتور اطمینان با افزایش زاویه اصطکاک داخلی درحال افزایش می‌باشد.

فاکتور اطمینان با افزایش وزن مخصوص در حال کاهش می‌باشد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

References

- Hock, E., (2001), "Rock engineering", Hock Consulting Engineering, Vancouver.
- Gueno Consulting Engineering, (2011), "Construction works of metro tunnels and stations", Fadak Isatis: Tehran. [In Persian].
- Gueno Consulting Engineering, (2013), "Review of design and construction of Tehran metro line 4", Fadak Isatis, Tehran. [In Persian].
- Kliche, C. A., (1999), "Rock slope stability", Society of Mining, Metallurgy and Exploration. (SME), London.
- Hock, E., Bray, J. W., (1984), "Rock slope engineering", E & FN spon, London.
- Asgari, S., (2000), "Three-dimensional analysis of the stability of homogeneous and heterogeneous roofs in static and dynamic states by the method of limit analysis", Ph.D. thesis, faculty of engineering, University of Tehran. [In Persian].
- Haeri, S. M., (1984), "Applied principles of soil barriers", Civil engineering and resources engineering group pub: Tehran. [In Persian].
- Pardisan sazeh consulting engineers, (2013), "Ehsan station of Shiraz urban railway", Pardisan Sazeh: Shiraz. [In Persian].
- Pardisan sazeh consulting engineers, (2012), "Design report (temporary structure) of Ghadir station, Shiraz urban railway", Pardisan Sazeh: Shiraz. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]