

اندازه‌گیری میدانی و مطالعه تحلیلی تغییر بار میل‌مهار در گودبرداری با گذشت زمان

هادی حسینی^۱، علی فاخر^{۲*}

۱. کارشناسی ارشد مهندسی ژئوتکنیک، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

۲. استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

*afakher@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۹

چکیده

در سال‌های اخیر در شهرهای بزرگ از جمله تهران تعداد زیادی گود وجود دارد که به دلیل مشکلاتی رها شدند. همچنین در برخی از گودبرداری لازم است تا برای طولانی مدت طراحی شوند ولی مبانی طراحی طولانی مدت در آن‌ها رعایت نشده است. پایدارسازی بیشتر این گودها به وسیله میل‌مهاری یا انکرها انجام شده است. مشاهدات و اندازه‌گیری‌های طولانی مدت برخی از این گودها نشان می‌دهد که با گذشت زمان نیروی قفل‌شدگی میل‌مهاری کاهش می‌یابد و خطراتی را به دنبال دارد. مطالعه رفتار دراز مدت میل‌مهار در گودبرداری‌های مهار شده با میل‌مهار برای بررسی پایداری گودهایی که اجرای آن‌ها طولانی می‌شود یا به مدت طولانی رها می‌شوند ضروری است. در این مطالعه از داده‌های میدانی در رابطه با رفتار بلند مدت یک گود در شهر تهران استفاده و مدلسازی عددی بر اساس این مطالعه موردی انجام شده است. درستی آزمایشی و واسنجی مدل عددی بر اساس اندازه‌گیری‌های میدانی انجام شده است. همچنین در این مقاله سعی شده است بر اساس نتایج مدل عددی، رابطه‌ای برای پیش‌بینی بار میل‌مهار در طولانی مدت در خاک درشت دانه دارای چسبندگی پیشنهاد شود. در ادامه به مطالعه متغیرهای موثر بر رفتار طولانی مدت بار میل‌مهاری تعبیه شده در گود پرداخته شده است. این متغیرها شامل مشخصات خاک، عمق گود و مقدار سربار همسایه گود است. نتایج این مقاله افزون بر ارائه رابطه برای پیش‌بینی بار میل‌مهار، شامل معرفی متغیرهای حاکم بر رفتار طولانی مدت است.

واژگان کلیدی: گودبرداری، میل‌مهار، رفتار طولانی مدت، مدلسازی عددی، خزش.

۱- مقدمه

ناپذیر است. یکی از روش‌های متداول پایدارسازی و جلوگیری از ریزش گودبرداری‌ها به ویژه در مناطق شهری استفاده از میل‌مهار^۱ است. واژه میل‌مهار و انکر مترادف هستند و در فضای حرفه‌ای و دانشگاهی بیشتر از کلمه انکر استفاده شده است. اجزای اصلی یک میل‌مهار مطابق شکل (۱) عبارت است از:

۱-۱- تعریف مسئله

با گسترش شهرها، فضا برای ساخت و ساز کاهش می‌یابد و به دنبال آن بلند مرتبه سازی و گسترش عمودی شهرها اتفاق می‌افتد. از این رو نیاز به گودبرداری در این ساخت و سازها اجتناب

۱. Anchor

۳-۱- مروری بر تحقیقات قبلی

بیشتر تحقیقات انجام شده در خصوص رفتار بلند مدت میل‌مهاری در خاک‌های ریزدانه اشاره شده است که در اینجا به برخی از آنها [2-9] به صورت خلاصه در جدول (۱) اشاره می‌شود.

۲- مراحل انجام پژوهش ارائه شده در این مقاله

۲-۱- اندازه‌گیری میدانی

در این مقاله برای مطالعه رفتار بلندمدت از داده‌های اندازه‌گیری طولانی مدت در یک پروژه واقعی استفاده شده است. این اندازه‌گیری برای گود بیمارستان آتیه غرب به عمق حدودی ۴۲ متر انجام شده است که در شهرک غرب در تهران واقع شده است. خاک محل این گود از نوع درشت‌دانه دارای چسبندگی است و بر اساس مشاهدات و مقادیر متغیرهای آن، در نقشه پراکندگی آبرفت‌های مختلف تهران از نوع B است. [10] این خاک به عنوان سازند آبرفتی ناهمگن تهران شناخته شده است و در بعضی نواحی دارای بافتی شناور بوده که توسط پرکننده ضعیف تا متوسط رسی و سیلتی به هم متصل شده‌اند و در بعضی نواحی در کنار هم به صورت قفل و بست قرار گرفته‌اند. این خاک به دلیل داشتن درشت‌دانه زاویه اصطکاک داخلی بالایی دارد و مقداری نیز چسبندگی دارد که با افزایش عمق افزایش می‌یابد. تصویری از گود این مطالعه موردی در شکل (۲) نشان داده شده است.

شکل ۱. اجزای تشکیل دهنده میل‌مهاری [۱]

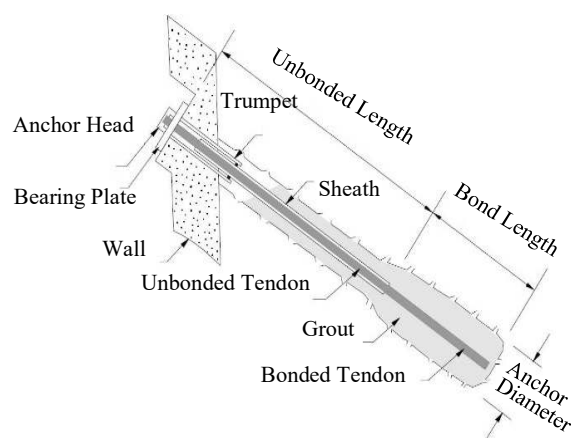


fig. 1. Components of an anchor

(الف) بخش مهاری؛ (ب) طول آزاد^۲ (بدون پیوند)؛ و (ج) طول پیوند.^۳ [1]

در بخش مهاری، میل‌مهاری به دیوار یا سازه نگهدارنده مهاری می‌شود. در اثر اعمال نیرو به میل‌مهاری، طول بدون پیوند آن آزادانه کشش الاستیک خواهد داشت و نیرو به طول پیوند منتقل و در این طول از میل‌مهاری، از طریق تماس مستقیم این طول با دوجاب نیرو به زمین منتقل می‌شود. [1]

رفتار طولانی مدت سیستم پایدارسازی میل‌مهاری در خاک‌های مختلف به خصوص در خاک درشت‌دانه چسبنده در این مقاله مد نظر است. به طور کلی خزش در مواد مختلف عبارت است از افزایش تدریجی تغییر شکل این مواد در طول زمان که تحت بار ثابت قرار دارند. با توجه به این که خاک‌ها طبیعت دانه‌ای دارند، رفتار وابسته به زمان یا خزشی آنها مهم است.

مسئله اصلی در تحقیق حاضر بررسی تغییرات نیروی میل‌مهاری در یک گودبرداری در خاک درشت‌دانه چسبنده با گذشت زمان و وابستگی آن به متغیرهای مختلف است. البته به طور کلی داده‌های اندازه‌گیری شده محلی برای این خاک‌ها خیلی کم است.

۲-۱- ضرورت انجام تحقیق

مطالعات بین‌المللی چندانی در خصوص خزش و رفتار طولانی مدت خاک‌های درشت‌دانه انجام نشده است. در تحقیق ارائه شده در این مقاله سعی شده است با در نظر گرفتن نکات به دست آمده از تحقیقات گذشته و کمبودهای آنها به مطالعه رفتار طولانی مدت میل‌مهاری در گودبرداری‌ها پرداخته شود. نتایج این تحقیقات می‌تواند برای هر گودبرداری که به مدت طولانی استفاده می‌شود به کار رود. طولانی شدن مدت بهره‌برداری از یک گود می‌تواند به دلیل کاربری تعریف شده برای آن یا به سبب وقفه طولانی مدت در اجرای سازه باشد.

۳. Bond Length

۱. Anchorage

۲. Unbond Length

جدول ۱ خلاصه‌ای از مرور تحقیقات گذشته

Researcher (year)	Soil type	Result
Ludwig (1984) [2]	Cohesive soil	Negligible creep rate at low load and increase creep at high load.
Mohamed and Hanna (1985) [3]	Sand	Creep reduction with increased injection pressure during anchor bonding length.
Gurinsky (2002) [4]	Clay	Development of a mathematical model for the behavior of anchors over the time.
Montero et al (2020) [5]	Clay with silt	Development of analytical model of soil-structure interaction creep behavior in anchor; 11% reduction in initial anchor load in 1 year.
Mirzaee (2009) [6]	Clay (south of Tehran)	Predicting long-term displacements in Burger model more than actual values.
Azami (2017) [7]	Clay (south of Tehran)	35% to 45% reduction of anchor displacement due to increase in overburden pressure.
Mahouti (2018) [8]	Marl (Tabriz)	Matching the results of numerical modeling with the results of real experiments; 20% reduction in anchor load during six months
Koohestani (2021) [9]	Sand	Increase in instantaneous and creep displacements due to increasing the distance between the nails or increasing the depth of the excavation or the presence of surcharge in its vicinity.

مقطع مورد نظر از این پروژه نیز در شکل (۳) نشان داده شده است. برای پایدارسازی این گود از شمع‌های بتنی با قطر یک متر، نیل‌های به قطر ۲۸ و ۴۰ میلی‌متر و میل‌مهارهای ۵ رشته‌ای و ۶ رشته‌ای استفاده شده است. طول و عمق نیل‌ها و میل‌مهارهای به کار رفته در این گود به ترتیب به شرح جداول (۲ و ۳) است.

شکل ۳. مقطع مورد نظر گود پروژه بیمارستان آتیه غرب تهران

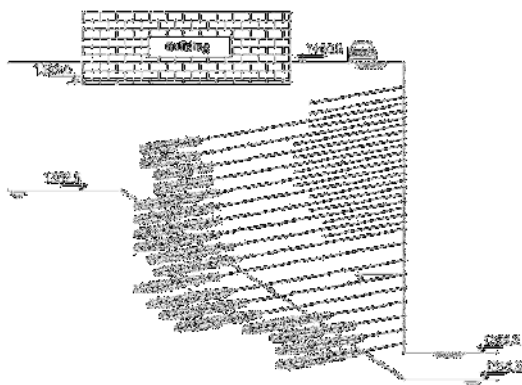


fig. 3. Section of the excavation of Atiye Gharb Hospital in Tehran

جدول ۲. مشخصات نیل‌های تعبیه شده در گود بیمارستان آتیه غرب

Nail NO.	Depth (m)	Diameter (m)	Length (m)
1	3.4	28	14
2	4.9	28	14
3	6.9	28	14
4	8.9	28	16
5	10.9	28	16
6	12.9	40	16
7	14.9	40	16
8	16.9	40	14
9	18.9	40	14
10	20.9	40	12
11	22.9	40	12

Table 2. Specifications of the embedded nails in the excavation of Atiye Gharb Hospital

جدول ۳. مشخصات میل‌مهارهای تعبیه شده در گود بیمارستان آتیه غرب

Anchor NO.	Depth (m)	Type	Total Length (m)	Bond Length (m)
1	5.9	5 Strands	38	8
2	7.9	5 Strands	38	8
3	9.9	5 Strands	36	8
4	11.9	5 Strands	36	8
5	13.9	6 Strands	39	12
6	15.9	6 Strands	39	12
7	17.9	6 Strands	39	12
8	19.9	6 Strands	38	12
9	21.9	6 Strands	36	12
10	23.9	6 Strands	35	12
11	25.9	6 Strands	38	12
12	28.4	6 Strands	36	12
13	30.4	6 Strands	34	12

Table 1. Summary of literature review

شکل ۲. گود بیمارستان آتیه غرب تهران به عمق ۴۲ متر

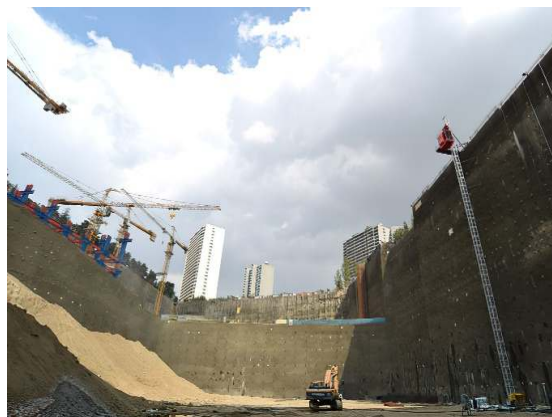


Fig. 2. Excavation of Atiye Gharb Hospital in Tehran

شکل ۴. هندسه مدل عددی

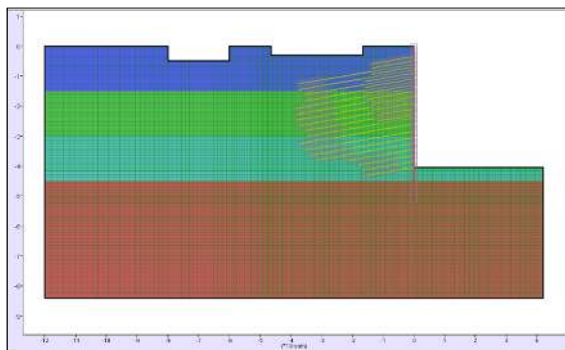


Fig. 4. Geometry of numerical model

۲-۲-۲-۲-۲ مدل‌سازی رفتار مستقل از زمان

در این پژوهش از مدل رفتاری سخت شونده پلاستیک^۲ برای مدل‌سازی رفتار مستقل از زمان خاک در مدل‌سازی عددی استفاده شده است. این مدل رفتاری یک مدل ترکیبی سخت شونده برشی و حجمی است که در سال ۱۹۹۹ توسط سانچز و همکاران فرمول‌بندی شده است [13]. پارامترهای مورد نیاز خاک برای تعریف مدل رفتاری سخت شونده پلاستیک در نرم‌افزار طبق سیستم واحد استاندارد به شرح جدول (۴) است.

متغیرهای این مدل با استفاده از آزمایش‌های داخل آزمایشگاهی معمولی یا آزمایش‌های درجا، می‌تواند به دست آید. به عنوان نمونه می‌توان مطابق راهنمای نرم‌افزار FLAC 2D [11] از آزمایش‌های سه محوری که شامل بارگذاری نمونه و به دنبال آن باربرداری و بارگذاری مجدد آن است متغیرها را به دست آورد.

در این مقاله مدل‌سازی گودبرداری و پایداری آن مطابق واقعیت به صورت مرحله به مرحله انجام شده است. در مرحله اول شمع نگهبان و در مراحل بعدی خاکبرداری و نصب میخ و میل‌مهار در هر مرحله مدل شده است. هر مرحله از مدل‌سازی، خاکبرداری بین ۱/۵ تا ۲/۵ متر را شامل شده است. مطابق نقشه‌های اجرایی پروژه در انتهای گودبرداری سطح آب زیرزمینی در عمق ۴۵/۶ متر قرار دارد.

14	32.4	6 Strands	32	12
15	34.4	6 Strands	22	12
16	36.4	6 Strands	18	12
17	38.4	6 Strands	17	12
18	40.4	6 Strands	17	12

Table 3. Specifications of the embedded anchors in the excavation of Atiye Gharb Hospital

۲-۲-۲-۲-۲ مدل‌سازی عددی

در این پژوهش برای مدل‌سازی عددی گود از نرم‌افزار FLAC 2D نسخه ۸٫۱ استفاده شده است. این نرم‌افزار یک برنامه رایانه‌ای تفاضل محدود صریح^۱ است که برای انجام محاسبات مکانیک مهندسی به کار می‌رود. [11] در تحقیق حاضر رفتار خزشی طولانی مدت خاک و میل‌مهار در مدل‌سازی عددی وارد شده است.

برای مدل‌سازی عددی رفتار خزشی لازم است ابتدا مدل‌سازی با فرض رفتار مستقل از زمان انجام گیرد و سپس رفتار خزشی یا تابع زمان به آن اضافه شود. بنابراین هر دو نوع مدل‌سازی به ترتیب در این پژوهش انجام شده است.

۲-۲-۲-۱-۲ هندسه، شرایط مرزی و شبکه بندی مدل

انتخاب هندسه مناسب اولین گام در مدل‌سازی عددی است. در این مقاله ابعاد مدل بر اساس فرضیات تحقیقات گذشته [12] و معیارهایی همچون عدم تاثیر شرایط مرزی بر روی نتایج تحلیل و زمان تحلیل انتخاب شده است. ابعاد مدل در پشت دیوار گود ۳ برابر و در جلوی دیوار گود ۱ برابر عمق گود در نظر گرفته شده است. همچنین بخش زیرین کف گود نیز تا یک برابر عمق گود مدل‌سازی شده است. در تعریف شرایط مرزی، در مرزهای جانبی از جابه‌جایی افقی و در مرز تحتانی از جابه‌جایی در هر دو جهت افقی و قائم (کاملاً صلب) جلوگیری شده است. به منظور افزایش دقت نتایج مدل‌سازی عددی ابعاد المان‌های خاک در شبکه‌بندی مدل کوچکتر و در ابعاد ۵۰ در ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. برای کاهش زمان تحلیل، ابعاد المان‌ها در شبکه‌بندی با فاصله گرفتن از دیوار گود افزایش داده شده است. به طوری که در بیشترین فاصله نسبت به دیوار گود ابعاد المان در حدود ۲ در ۲ متر در نظر گرفته شده است. هندسه مدل عددی تعریف شده در شکل (۴) نشان داده شده است.

^۲ Plastic Hardening

^۱ Explicit Finite Difference

جدول ۴. پارامترهای مدل رفتاری سخت شونده پلاستیک در مدلسازی عددی

Soil layer NO.	1	2	3	4
Depth (m)	$0 < H < 15$	$15 < H < 30$	$30 < H < 45$	$45 < H$
Mass density, ρ (kg / m^3)	2000	2000	2000	2000
Secant stiffness, E_{50}^{ref} (Pa)	1.0×10^8	1.5×10^8	1.7×10^8	2.0×10^8
Tangent stiffness, E_{oed}^{ref} (Pa)	1.0×10^8	1.5×10^8	1.7×10^8	2.0×10^8
Unloading-reloading stiffness E_{ur}^{ref} (Pa)	3.0×10^8	4.5×10^8	5.1×10^8	6.0×10^8
Friction angle, ϕ (Degrees)	36	33	34	34
Dilation angle, ψ (Degrees)	6	3	4	4
Cohesion, c (Pa)	30000	35000	40000	45000
Power, m	0.5	0.5	0.5	0.5
Poisson's ratio, ν	0.3	0.3	0.3	0.3
Tension limit, σ' (Pa)	41291	53895	59302	66715
Reference pressure, P_{ref} (Pa)	100000	100000	100000	100000
Normal consolidation coefficient, K_{nc}	0.412	0.455	0.441	0.441

Table 4. Parameters of Plastic Hardening model used in numerical modeling

Soldier Pile	Radius	1 m
	Spacing	4 m
	Young's modulus	2×10^{10} Pa
Interface	Normal stiffness k_n	1.75×10^7 Pa/m
	Shear stiffness k_s	3.5×10^7 Pa/m
	Cohesion	23300
	Friction angle	24.4°
	Dilation angle	0°

Table 5. Parameters used for numerical modelling

جدول ۶. مشخصات فنی نیل و میل مهار در پروژه بیمارستان آتیه غرب

Data	Parameters	Values
Nail	Type	Bar (AIII)
	Radius	0.028, 0.040 m
	Bond Diameter	0.11 m
	Yield Strength	420×10^6 Pa
	Water to Cement ratio	0.5
Anchor	Type	Strand
	Area of each Strand	143×10^{-6} m ²
	Bond Diameter	0.11 m
	Yield Strength	1860×10^6 Pa
	Capacity of each Strand	150×10^3 N
	Prestress Force for each Strand	150×10^3 N
	Water to Cement ratio	0.5

در مدل عددی شاتکریت به ضخامت ۱۵ سانتی متر و شمع نگهبان به قطر ۱ متر مدلسازی شده است. پارامترهای استفاده شده برای مدلسازی شاتکریت، شمع نگهبان و سطح مشترک شمع و خاک به شرح جدول (۵) است. محاسبه هر یک از این پارامترها مطابق توصیه‌های راهنمای نرم‌افزار FLAC 2D [11] انجام شده است.

مشخصات اجرایی و فنی نیل و میل مهار به کار رفته در این پروژه به صورت جدول (۶) است. برای مدلسازی میخ‌ها و میل مهارها از المان کابل در نرم‌افزار استفاده شده است. در محاسبه متغیرهای سطح مقطع، ضریب ارتجاعی و مقاومت جاری‌شدگی کششی این المان‌ها ویژگیهای دوغاب اعمال نشده و بر اساس عنصر مسلح کننده محاسبه شده است. مقادیر اختصاص یافته برای انواع میخ‌ها و میل مهارها به تفکیک به صورت جدول (۷) است.

جدول ۵. پارامترهای مورد استفاده برای مدلسازی عددی

Data	Parameters	Values
Shotcrete	Area	0.15 m ²
	Mom. inertia	0.00028125 m ⁴
	Thickness	0.15 m
	Young's modulus	2×10^{10} Pa
	Poisson's Ratio	0.15

۲-۳- مدلسازی رفتار خزشی

در این پژوهش پس از مدلسازی کامل گودبرداری مطابق بخش قبل، رفتار خزشی با استفاده از مدل رفتاری ویسکوپلاستیک^۱ برگر^۲ تعریف و مدلسازی شده است. مدل رفتاری ویسکوپلاستیک برگر در نرم‌افزار FLAC به صورت رفتار انحرافی ویسکوالاستوپلاستیک و رفتار حجمی الاستوپلاستیک تعریف شده است. [11] ساده‌ترین روش برای استخراج پارامترهای برگر از طریق آزمایش تک محوری نمونه‌های استوانه‌ای در دوره‌های طولانی است. در این آزمایش نیاز به تنش ثابت و دما و رطوبت ثابت در کل مدت زمان آزمایش است. در مرجع [15] می‌توان چگونگی تعیین متغیرهای مدل برگر با استفاده از آزمایش تک محوری خزشی را مشاهده کرد.

در این مقاله از روش تحلیل برگشتی برای به دست آوردن متغیرهای این مدل رفتاری استفاده شده است. در این روش پارامترهای مدل رفتاری برگر با استفاده از تعیین مقادیری که خروجی بار میل‌مهار در مدل عددی و خروجی ثبت شده از مقادیر نیروسنج‌ها^۳ را برای ورودی مشابه هماهنگی بهینه قرار می‌دهد، تخمین زده شده است. مقایسه نتایج به دست آمده از نیروسنج‌ها و بار میل‌مهار پیش‌بینی شده توسط مدلسازی عددی در بخش بعد ارائه می‌شود. پارامترهای چهارگانه مدل خزشی برگر به دست آمده در جدول (۹) نشان داده شده است. همچنین در مدلسازی عددی گام زمانی خزش با توجه به محدودیت‌های اشاره شده در راهنمای نرم‌افزار FLAC 2D [11] یک روز در نظر گرفته شده است.

جدول ۹. پارامترهای مدل خزشی ویسکوپلاستیک برگر

Depth(m)	$0 < H < 30$	$30 < H$
Maxwell shear modulus (Pa)	3.7×10^9	5×10^9
Maxwell viscosity (Pa.day)	2×10^8	7×10^8
Kelvin shear modulus (Pa)	1×10^9	1×10^{10}
Kelvin viscosity (Pa.day)	9×10^7	2.5×10^8

Table 9. Parameters of Berger creep viscoplastic model

Table 6. Specification of nails and anchors in Atiye Gharb Hospital project

جدول ۷. پارامترهای مورد استفاده برای مدلسازی نیل و میل‌مهار

Data	Parameters	Values
Nail Φ28	Radius	0.028 m
	Spacing	2 m
	Young's modulus	2×10^{11} Pa
	Exposed perimeter	0.3456 m
	Tensile yield strength	258615 N
Nail Φ40	Radius	0.040 m
	Spacing	1, 2 m
	Young's modulus	2×10^{11} Pa
	Exposed perimeter	0.3456 m
	Tensile yield strength	527787 N
Anchor 5 strands	Area	0.000715 m^2
	Spacing	2 m
	Young's modulus	2×10^{11} Pa
	Tensile yield strength	1329900 N
Anchor 6 strands	Area	0.000858 m^2
	Spacing	2 m
	Young's modulus	2×10^{11} Pa
	Tensile yield strength	1595880 N

Table 7. Parameters used for anchors and nails modelling

در محاسبه و تعیین سایر متغیرهای میخ و میل‌مهار که ناشی از تماس عضو مسلح کننده با دوغاب است، از توصیه‌های راهنمای نرم‌افزار FLAC 2D استفاده نشده است. زیرا چگونگی تعیین متغیرها در این راهنما بر اساس محیط سنگی است و در این مقاله که در محیط خاکی است کارایی ندارد. در این مقاله متغیرها بر اساس پژوهش یگانه و همکاران [14] محاسبه شده است. با توجه به محل قرار گیری میخ‌ها و میل‌مهارها در لایه بندی خاک مقادیر اتخاذ شده برای این متغیرها به شرح جدول (۸) است.

جدول ۸. پارامترهای مورد استفاده در مدلسازی طول پیوندی نیل و میل‌مهار

Soil Layer NO.	1	2	3
Stiffness of the grout, K_{bond} (N/m ²)	3.37×10^8	5.06×10^8	5.73×10^8
Cohesive strength of the grout, S_{bond} (N/m)	10906.17	12723.86	14541.55
Frictional resistance of the grout (degrees)	36	33	34

Table 8. Parameters used for bond length of anchors and nails modelling

^۳ Loadcell

^۱ Viscoplastic

^۲ Burger

شکل ۷. بار ثبت شده توسط نیروسنج S21-7 و پیش‌بینی شده توسط مدل‌سازی عددی در میل مهار یازدهم

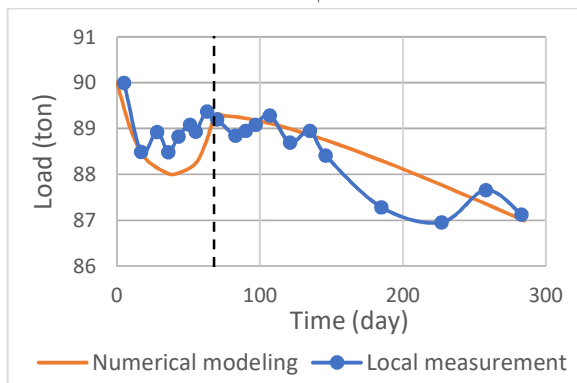


Fig. 7. Load recorded by loadcell S21-7 and predicted by numerical modeling in eleventh anchor

۴- تحلیل داده‌ها و بحث

در این بخش داده‌های بدست آمده از تحلیل عددی در دو بخش (الف) تحلیل نیروی میل مهار با گذشت زمان و (ب) جستجوی متغیرهای حاکم بر رفتار طولانی مدت ارائه و بحث شده است.

۴-۱- تحلیل نیروی میل مهار با گذشت زمان

۴-۱-۱- روند تغییر نیروی میل مهارها با گذشت زمان

در جدول (۱۰) مشخصات میل مهارها و میزان درصد کاهش بار در آن‌ها در مراحل مختلف بر اساس مدل‌سازی عددی نشان داده شده است. در این جدول، میل مهار بر تعداد رشته‌ها و طول به سه دسته تقسیم‌بندی شده است. در این جدول میزان کاهش بار در سه بازه زمانی ابتدای گودبرداری تا انتهای آن، ابتدای گودبرداری تا یک سال پس از آن و انتهای گودبرداری تا یک سال پس از پایان آن محاسبه شده است. برای هر دسته میزان کاهش بار تقریباً نزدیک به هم است. دسته آخر در این جدول که شامل میل مهارهای شش رشته‌ای پانزدهم تا هجدهم است به دلیل قرار گرفتن در ترازهای آخر و طول کم، مقدار کاهش بار بیشتری در طول یک سال نسبت به میل مهارهای دیگر دارند.

بر اساس مقایسه مقادیر کاهش بار ذکر شده در جدول (۱۰)، می‌توان نتیجه گرفت در بین میل مهارهای یکسان از لحاظ طول و تعداد رشته‌ها، میل مهارهای نزدیک به سطح زمین و تعبیه شده در اعماق کمتر میزان کاهش بار بیشتری از خود نشان می‌دهند. برای مثال در مقایسه میل مهارهای شش رشته‌ای هشتم و دوازدهم

۳- درستی آزمایشی و کالیبراسیون مدل عددی

برای درستی آزمایشی نتایج مدل عددی در این پژوهش از مقایسه نیروی میل مهار با اندازه‌گیری میدانی در پروژه دیوار میخ‌کوبی شده تگزاس [12] استفاده شد. جزئیات مقایسه توسط مولف اول مقاله حاضر در مرجع [16] آمده است. مقایسه نتایج مدل‌سازی و اندازه‌گیری‌های میدانی در پروژه تگزاس نشان داد که تقریباً هماهنگی خوبی بین روند و مقدار نتایج وجود دارد. اضافه می‌شود که در گود بیمارستان آتیه غرب، روی دو میل مهار نیروسنج مطابق شکل (۵) نصب شده و بار موجود در این میل مهارها مورد پایش قرار گرفته است. اندازه‌گیری‌ها مطابق اشکال (۶ و ۷) در زمان گودبرداری و پس از پایان گودبرداری (زمان خزشی) انجام گرفته و ثبت شده است. در شکل‌های ۶ و ۷ خط چین سیاه مربوط به زمان پایان گودبرداری است.

شکل ۵. نیروسنج نصب شده روی میل مهار

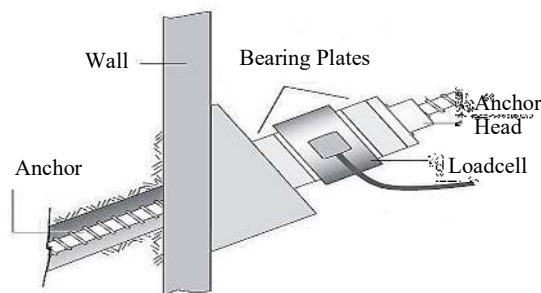


Fig. 5. A loadcell installed on the anchor

شکل ۶. بار ثبت شده توسط نیروسنج S13-7 و پیش‌بینی شده توسط مدل‌سازی عددی در میل مهار ششم

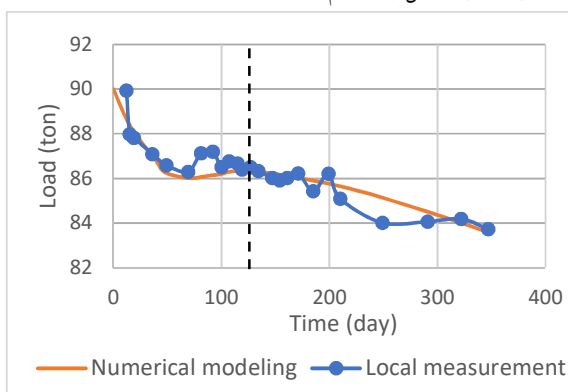


Fig. 6. Load recorded by loadcell S13-7 and predicted by numerical modeling in sixth anchor

۴-۱-۲- رابطه تغییر نیروی میل‌مهاری در طول زمان

در شکل (۸) نمودار تغییرات نیروی موجود در میل‌مهاریا بر حسب زمان در طول مراحل گودبرداری و یک سال پس از آن نشان داده است. در این شکل زمان پایان مراحل ساخت و گودبرداری با خط‌چین رنگ سیاه مشخص شده است. در این نمودار و بررسی‌های بعدی، چهار میل‌مهاری قرار گرفته شده در ترازهای پایین گود که طول کمتری نسبت به سایر میل‌مهاریا دارند در نظر گرفته نشده است. زیرا روند و مقدار کاهش بار در آنها متفاوت با روند سایر انکرها است و نمی‌توان رفتاری یکسان با سایر میل‌مهاریا شش رشته‌ای پیش‌بینی کرد.

در طول خزش یک سال، میل‌مهاری تعبیه شده در عمق ۱۹/۹ متر میزان کاهش بار ۹/۰۲ درصد و میل‌مهاری تعبیه شده در عمق ۲۸/۴ متر میزان کاهش بار ۳/۶۵ درصد رخ می‌دهد.

همچنین در بین میل‌مهاریا یکسان از لحاظ تعداد رشته استرند و قرار گرفته در اعماق نزدیک به هم، یعنی هر چه طول کل میل‌مهاری کمتر باشد میزان کاهش بار بیشتر خواهد بود. برای نشان دادن این موضوع می‌توان میل‌مهاری سیزدهم با طول کل ۳۴ متر و چهاردهم با طول کل ۳۲ متر که نزدیک به هم اجرا شدند را مثال زد. در میل‌مهاری سیزدهم ۴/۵۵ درصد و در میل‌مهاری چهاردهم ۶/۸۷ درصد کاهش بار در طول خزش یک سال رخ می‌دهد.

جدول ۱۰. مشخصات و میزان کاهش بار میل‌مهاریا در طول مراحل مختلف

Anchor NO.	Number of Strands	Total Length (m)	Anchor load reduction from beginning of excavation to its end (%)	Anchor load reduction during one year of creep (%)	Anchor load reduction at from beginning of excavation to one year after its end (%)
1	5	38	2.47	9.82	12.04
2		38	2.85	8.16	10.78
3		36	3.61	7.58	10.92
4		36	3.99	7.62	11.30
5	6	39	4.16	6.36	10.25
6		39	4.14	5.77	9.68
7		39	4.11	6.18	10.04
8		38	4.23	9.02	12.87
9		36	3.89	8.24	11.81
10		35	2.63	10.35	12.71
11		38	0.79	4.49	5.25
12		36	0.09	3.65	3.74
13		34	-0.88	4.55	3.71
14		32	-2.12	6.87	4.90
15	6	22	1.40	8.94	10.21
16		18	6.81	16.92	22.58
17		17	6.28	21.46	39.26
18		17	0.0	21.77	21.77

Table 10. Characteristics and amount of load reduction of anchors during different stages

شکل ۸. نیروی تمام میل مهارها بر حسب زمان در طول گودبرداری و یک سال پس از پایان گودبرداری

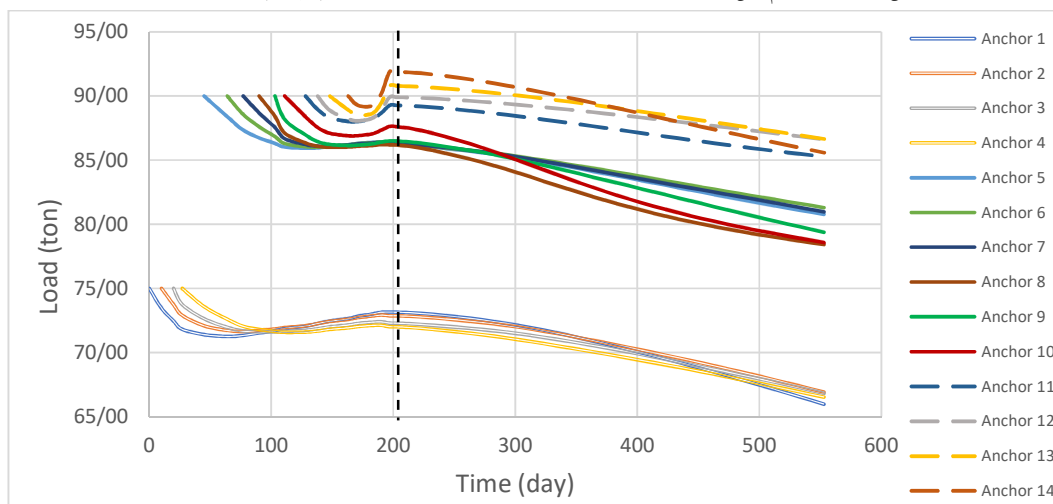


Fig. 8. The force of all the anchors versus to the time during excavation and one year after the end of excavation

$$F = \gamma_{soil} h_{bond} L_{total} \left[-(2.54 \times 10^{-8})t^2 - (7.75 \times 10^{-6})t + 0.1313 - \frac{h_{bond}}{232.9} \right] \quad (2)$$

ب) میل مهارهای شش رشته‌ای:

$$F = \gamma_{soil} h_{bond} L_{total} \left[-(3.05 \times 10^{-8})t^2 - (7.62 \times 10^{-6})t + 0.0724 - \frac{h_{bond}}{993.5} \right] \quad (3)$$

شکل ۹. نمودار رابطه (۱) بر حسب زمان در میل مهارهای پنج رشته‌ای

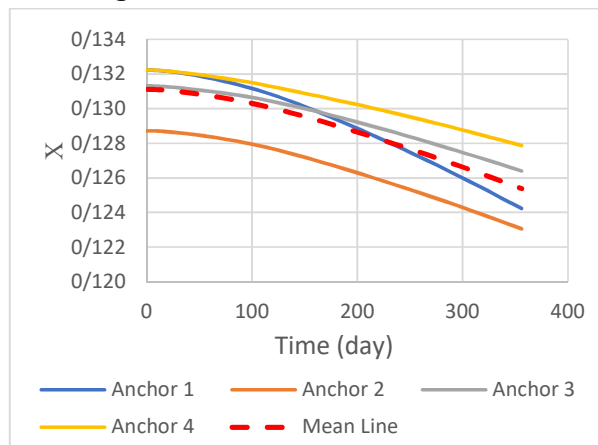


Fig. 9. The graph of relation (1) versus to the time in 5 strands anchors

همان‌گونه که شکل (۸) مشاهده شد منحنی تغییرات نیروی میل مهار برای میل مهارهای مختلف بسیار متفاوت است. با سعی و خطا متغیری جدید به نام X مطابق رابطه (۱) تعریف شد.

$$X = \frac{F}{\gamma_{soil} h_{bond} L_{total}} + \frac{h_{bond}}{A} \quad (1)$$

در این رابطه F نیروی موجود در میل مهار، γ_{soil} وزن مخصوص خاک، h_{bond} عمق نقطه میانی طول پیوند میل مهار، L_{total} طول کلی میل مهار و A عددی ثابت و مجزا برای میل مهارهای پنج رشته‌ای و شش رشته‌ای است. مقدار پارامتر ثابت A برای میل مهارهای پنج رشته‌ای برابر $232/9$ و برای میل مهارهای شش رشته‌ای برابر $993/5$ است. نمودار میل مهارهای نشان داده شده در هر یک از شکل‌های ۹ و ۱۰ بر اساس تعداد رشته‌ها تفکیک شده است. چنانچه متغیر X بر حسب زمان مطابق شکل‌های ۹ و ۱۰ به ترتیب برای میل مهارهای ۵ رشته‌ای و ۶ رشته‌ای ترسیم شود آنگاه ارتباط ساده‌ای مطابق روابط (۲ و ۳) برای هر میل مهار بر حسب تناژ آن به دست می‌آید.

نیروی موجود در هر میل مهار در طول خزش یک سال بر اساس متغیر X در رابطه (۱) و معادله منحنی میانگینی که در هر گروه در شکل‌های ۹ و ۱۰ رسم شده است تعیین شده است. روابط آن برای هر گروه به تفکیک به صورت زیر است:

الف) میل مهارهای پنج رشته‌ای

درجه افزایش و کاهش نسبت به زاویه اصطکاک اولیه به دست آمد.

بررسی این نتایج نشان می‌دهد که با افزایش زاویه اصطکاک داخلی خاک، در طول مراحل گودبرداری و همچنین پس از پایان گودبرداری و در طول زمان خزش، میزان کاهش بار در میل‌مهاری افزایش می‌یابد.

برای نمونه با افزایش ۱۲ درجه‌ای زاویه اصطکاک داخلی خاک، میزان کاهش بار میل‌مهار ششم از ابتدای گودبرداری تا ۲۱۶ روز پس از پایان آن ۲۹٪ و در زمان خزشی ۰/۶۵٪ افزایش می‌یابد.

ب) تاثیر چسبندگی خاک بر تغییرات نیروی میل‌مهار در درازمدت قابل توجه بود اشکال (۱۳ و ۱۴). این نتایج برای تغییرات چسبندگی به اندازه حداکثر ۲۰ کیلوپاسکال افزایش و کاهش نسبت به چسبندگی اولیه به دست آمد.

بررسی این نتایج و مقایسه مقادیر آن نشان می‌دهد که با افزایش چسبندگی، در طول مراحل گودبرداری میزان کاهش بار میل‌مهاری کاهش ولی پس از پایان گودبرداری و در طول زمان خزش با افزایش چسبندگی خاک میزان کاهش بار در میل‌مهاری افزایش می‌یابد.

برای نمونه با افزایش ۴۰ کیلوپاسکالی چسبندگی، میزان کاهش بار میل‌مهار یازدهم از ابتدای گودبرداری تا ۲۱۶ روز پس از پایان آن تقریباً ثابت و در زمان خزشی ۰/۵٪ افزایش می‌یابد.

شکل ۱۱ مقادیر کاهش نیروی میل‌مهار ششم در زمان‌های مختلف

برحسب زوایای اصطکاک مختلف خاک

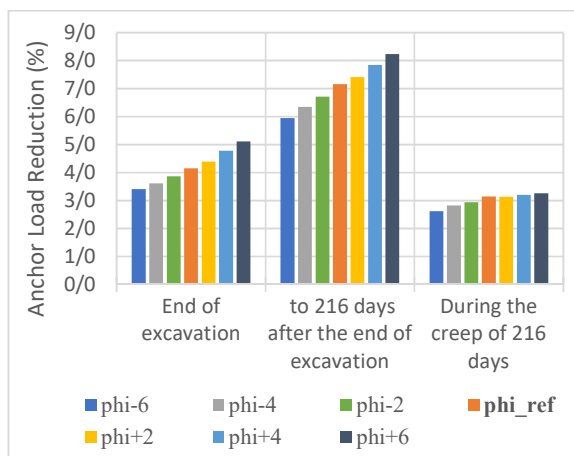


Fig. 11. Sixth anchor force reduction values at different times according to different soil friction angles

شکل ۱۰. نمودار رابطه (۱) بر حسب زمان در میل‌مهاری شش رشته‌ای

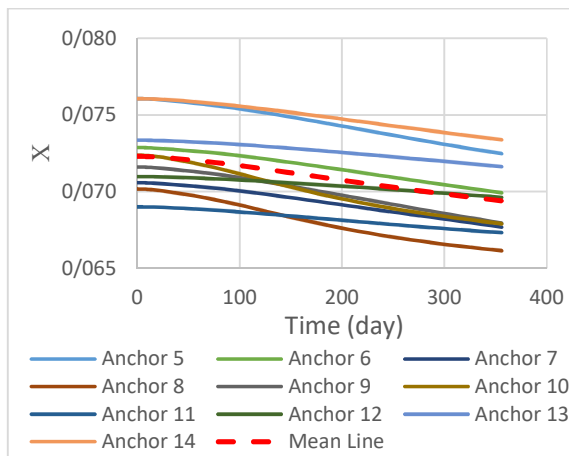


Fig. 10. The graph of relation (1) versus to the time in 6 strands anchors

در این روابط γ_{soil} بر حسب تن بر متر مکعب، h_{bond} و L_{total} بر حسب متر و t یعنی زمان بر حسب روز است. در نتیجه مقدار نیرو به دست آمده از روابط بالا بر حسب تن است.

نیروهای محاسبه شده توسط این روابط برای هر یک از میل‌مهاری پروژه مقدار کمی اختلاف با نیروهای پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار دارد. بیشترین خطای نیروی محاسبه شده توسط روابط (۲ و ۳) برابر با ۱۰/۴۹ درصد است. البته این مقدار خطا در میل‌مهار چهاردهم رخ می‌دهد و سایر میل‌مهاری خطای خیلی کمتری دارند. در طول خزش یک سال روابط (۲ و ۳) نیروی میل‌مهاری گروه پنج رشته‌ای را با مقدار خطای میانگین ۱/۹ درصد و گروه شش رشته‌ای را با مقدار خطای میانگین ۴/۶ درصد پیش‌بینی می‌کند.

۴-۲- جستجوی متغیرهای حاکم بر رفتار طولانی مدت

برای جستجوی متغیرهای حاکم بر رفتار طولانی مدت میل‌مهاری از نتایج مدلسازی عددی و تحلیل حساسیت استفاده شده است. متغیرهای مورد بررسی شامل مشخصات خاک، عمق نهایی گود و مقدار سربار بود. همچنین تحلیل حساسیت روی مشخصات خاک در قسمت‌های تغییرات زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی خاک انجام شد. مشاهدات این بخش از تحقیق به شرح زیر است:

الف) تاثیر زاویه اصطکاک داخلی خاک بر تغییرات نیروی میل‌مهار در طولانی مدت قابل توجه بود اشکال (۱۱ و ۱۲). این نتایج برای تغییرات زاویه اصطکاک خاک به اندازه حداکثر ۶

۴-۲-۱- تاثیر عمق نهایی گودبرداری

برای بررسی تاثیر عمق نهایی گودبرداری بر نتایج، پنج تحلیل با اعماق نهایی گود ۱۰/۹، ۱۶/۹، ۲۲/۹، ۲۹/۴ و ۳۵/۴ متر انجام شد. در این تحلیل‌ها تغییری در طول و محل میخ و میل مهارها ایجاد نشده و فقط میخ و میل مهارهایی که تا عمق نهایی گود وجود دارند، اجرا و مدلسازی شده است. همچنین تحلیل خزشی نیز تا مدت زمان یک سال پس از پایان مراحل گودبرداری انجام شده است. نتایج تغییرات نیروی میل مهارهای ردیف اول، ششم و یازدهم قرار گرفته به ترتیب در اعماق ۵/۹، ۱۵/۹ و ۲۵/۹ متر برای این تحلیل‌ها در اثر تغییر عمق نهایی گودبرداری در شکل ۱۵، ۱۶ و ۱۷ مشاهده شده است. همچنین در این شکل منظور از پارامتر H ارتفاع نهایی گود است و واحد آن بر حسب متر است.

شکل ۱۵. کاهش نیروی میل مهار اول در زمان‌های مختلف بر حسب اعماق نهایی مختلف گودبرداری

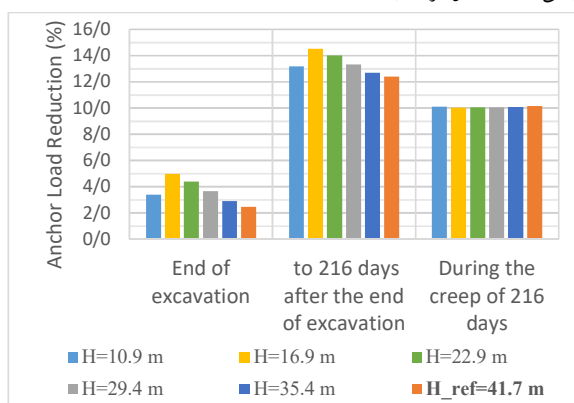


Fig. 14. Reduction of the first anchor force at different times according to different final excavation depths

شکل ۱۶. کاهش نیروی میل مهار ششم در زمان‌های مختلف بر حسب اعماق نهایی مختلف گودبرداری

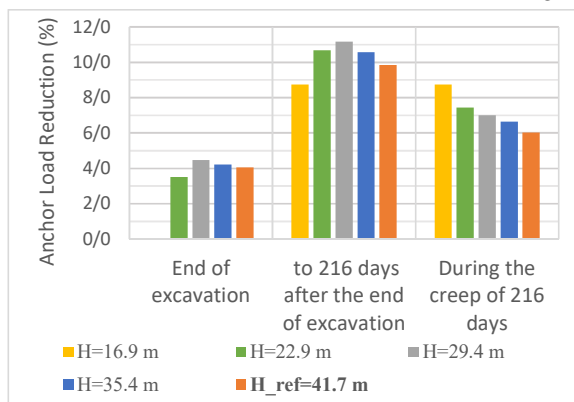


Fig. 16. Reduction of the sixth anchor force at different times according to different final excavation depths

شکل ۱۲. مقادیر کاهش نیروی میل مهار یازدهم در زمان‌های مختلف بر حسب زوایای اصطکاک مختلف خاک

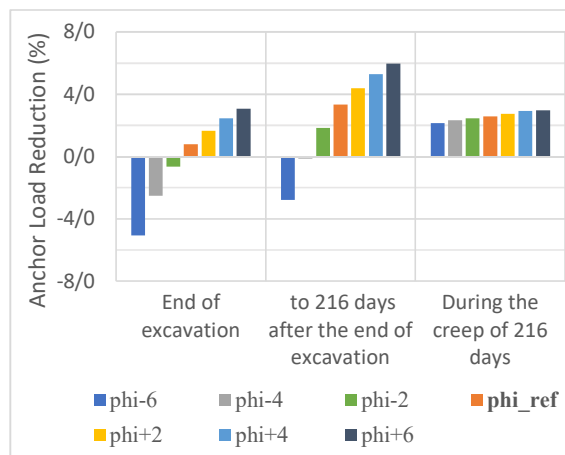


Fig. 12. Eleventh anchor force reduction values at different times according to different soil friction angles

شکل ۱۳. مقادیر کاهش نیروی میل مهار ششم در زمان‌های مختلف بر حسب چسبندگی‌های مختلف خاک

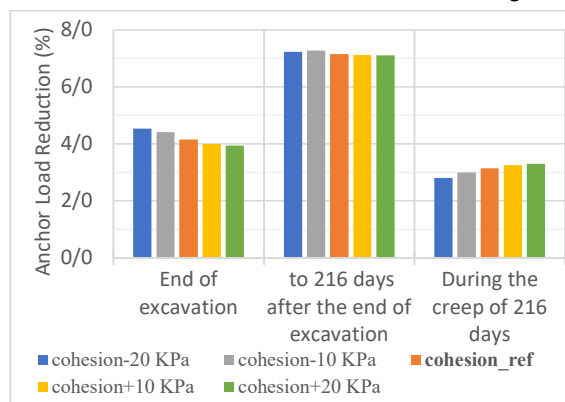


Fig. 13. Sixth anchor force reduction values at different times according to different soil cohesion

شکل ۱۴. مقادیر کاهش نیروی میل مهار یازدهم در زمان‌های مختلف بر حسب چسبندگی‌های مختلف خاک

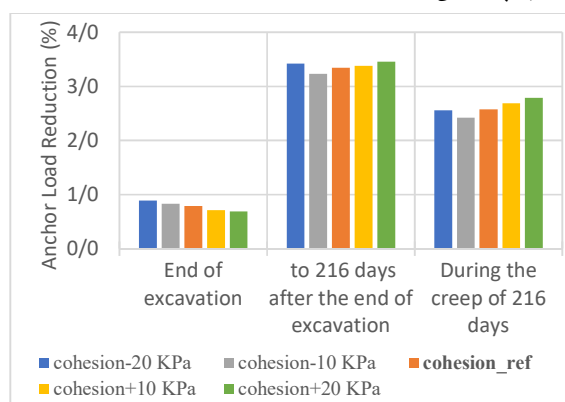


Fig. 14. Eleventh anchor force reduction values at different times according to different soil cohesion

پایان گودبرداری و در طول خزش کاهش یافته است. البته این مقدار کاهش در طول خزش مقدار بسیار کوچکی است. برای نمونه با افزایش ۱۳۰ کیلوپاسکالی مقدار سربار، میزان کاهش بار میل‌مه‌ار ششم از ابتدای گودبرداری تا ۲۱۶ روز پس از پایان آن ۱/۱٪ و در زمان خزشی ۳۳٪ کاهش می‌یابد. شکل ۱۸. مقادیر کاهش نیروی میل‌مه‌ار ششم در زمان‌های مختلف بر حسب مقادیر مختلف سربار همسایه

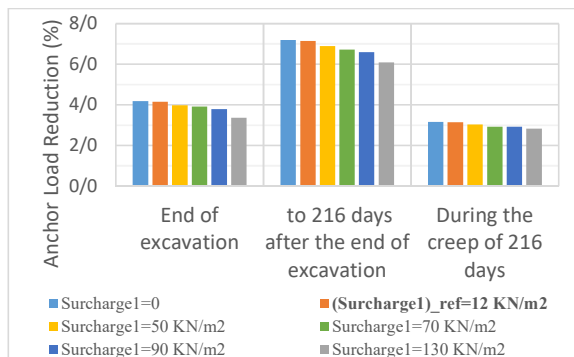


Fig. 18. Reduction of the sixth anchor force at different times according to different surcharge

شکل ۱۹. مقادیر کاهش نیروی میل‌مه‌ار یازدهم در زمان‌های مختلف بر حسب مقادیر مختلف سربار همسایه

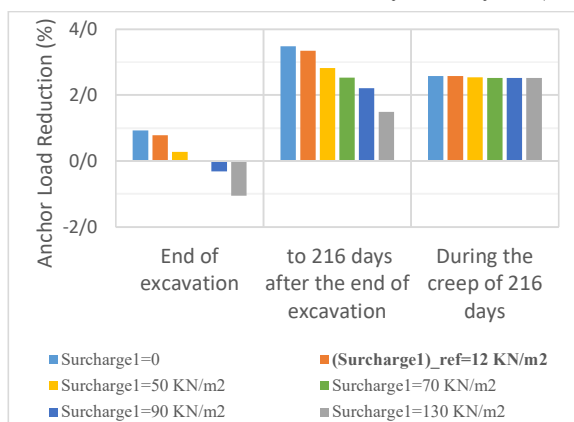


Fig. 19. Reduction of the eleventh anchor force at different times according to different surcharge

۵- نتیجه‌گیری

- در بین میل‌مه‌ارهای یکسان از لحاظ طول و تعداد رشته‌ها، میزان کاهش بیشتری در میل‌مه‌ارهای نزدیک به سطح زمین با گذشت زمان مشاهده شده است.
- در بین میل‌مه‌ارهای یکسان از لحاظ تعداد رشته استرند در اعماق مشابه، هر چه طول آنها کمتر باشد میزان کاهش بار بیشتر است.

شکل ۱۷. کاهش نیروی میل‌مه‌ار یازدهم در زمان‌های مختلف بر حسب اعماق نهایی مختلف گودبرداری

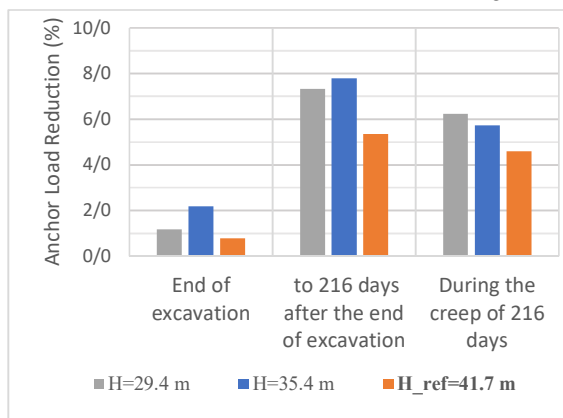


Fig. 17. Reduction of the eleventh anchor force at different times according to different final excavation depths

بر اساس این نتایج با افزایش عمق نهایی گود، میزان کاهش بار در میل‌مه‌ارها هم در طول مراحل گودبرداری و هم پس از پایان گودبرداری و در طول خزش کاهش یافته است. البته در نتایج بار میل‌مه‌ارهای مورد بررسی، کم‌ترین عمقی که میل‌مه‌ار مورد بررسی آخرین ردیف میل‌مه‌ار اجرا شده است نتیجه با نتایج عمق‌های دیگر کمی متفاوت است و میزان کاهش بار میل‌مه‌ار در این حالت در طول مراحل گودبرداری کمتر از حالت‌های دیگر است. همچنین تغییر عمق نهایی گود تاثیری بر میزان کاهش بار میل‌مه‌ار ردیف اول و نزدیک به سطح زمین ندارد و میزان کاهش بار میل‌مه‌ار در ردیف‌های بالا تقریباً ثابت است.

۴-۲-۲- تاثیر سربار همسایه گود

برای بررسی تاثیر مقدار سربار همسایه بر نتایج انجام شده، مقدار سربار همسایه که در واقع بار خیابان است تغییر داده شده است. سربار همسایه از لبه گود تا فاصله ۱۶/۵ متری از لبه گود قرار دارد. برای بررسی تاثیر مقدار سربار همسایه پنج تحلیل با مقادیر صفر، ۵۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۳۰ کیلونیوتن بر متر مربع انجام شده است. نتایج نیروی موجود در میل‌مه‌ارهای ردیف ششم و یازدهم برای این تحلیل‌ها به ترتیب در شکل‌های (۱۸ و ۱۹) مشاهده شده است.

بر اساس نتایج با افزایش مقدار سربار همسایه، میزان کاهش بار در میل‌مه‌ارها هم در طول مراحل گودبرداری و هم پس از

- an anchored wall in creep soils. *International Journal of Geomechanics*, 20(4), p.04020027.
- [6] Mirzaee S., 2009. Time effects in numerical analysis of excavation in urban areas. Bu-Ali Sina University (in persian).
- [7] Azami R., 2017. Experimental Study of Soil Creep in Excavation Anchors. Tarbiat Modares University (in persian).
- [8] Mahouti, A.A. and Katebi, H., 2018. Pullout P erformance of Grouted Anchors in Tabriz Marl by Full-Scale Tests. *Sharif Journal of Civil Engineering*, 34(2.2), pp.133-142. (in persian).
- [9] Bolouri Bazaz, J., Koohestani Asbagh Soo, S. and Abdollahi, M., 2021. Experimental study of time-dependent deformation of the wall deformation Nailing during excavation operations. *Scientific Quarterly Journal of Iranian Association of Engineering Geology*, 14(2), pp.59-77 (in persian).
- [10] Cheshomi, A., Ramezannejad Elyerdi, S.R. and Fakher, A., 2018. Development of Tehran alluvium classification based on geological characteristics and geotechnical parameters. *Scientific Quarterly Journal of Iranian Association of Engineering Geology*, 11(1), pp.65-79 (in persian).
- [11] Itasca, 2019. Fast lagrangian analysis of continua (FLAC). Minneapolis: Minnesota.
- [12] Sanchez, M., Briaud, J.L., Hurlebaus, S., Kharanaghi, M.M. and Bi, G., 2017. Creep behavior of soil nail walls in high plasticity index (PI) soils: technical report (No. FHWA/TX-15/0-6784-1). Texas A&M Transportation Institute.
- [13] Schanz, T., Vermeer, P.A. and Bonnier, P.G., 2019. The hardening soil model: formulation and verification. In *Beyond 2000 in computational geotechnics* (pp. 281-296). Routledge.
- [14] Yeganeh, N., Akhtarpour, A. and Bolouri Bazaz, J., 2015. Parameters Determination of Soil-Anchor Interaction for Numerical Modelling According to Field Data. *Modares Civil Engineering journal*, 15(4), pp.105-116 (in persian).
- [15] Goodman, R.E., 1989. Introduction to rock mechanics. New York: Wiley, Vol. 2, pp. 221-388.
- [16] Hosseini, H., 2021. A Study of Anchor Load Reduction Over Time in Anchored Excavations in Tehran. MS Thesis. University of Tehran (in persian).
- ۳- روابط (۲ و ۳) که در مقاله ذکر شده است می توانند به خوبی نیروی موجود در میل مهارها را در طول زمان چند سال پیش بینی کنند. این روابط به تفکیک برای میل مهارهای پنج رشته ای و شش رشته ای بیان شده است.
- ۴- با افزایش زاویه اصطکاک داخلی یا افزایش چسبندگی خاک، بار میل مهارها بر اثر خزش بیشتر کاهش پیدا می کند.
- ۵- با افزایش عمق گود، بار میل مهارها در اثر خزش کمتر کاهش یافته است. البته به طور کلی تاثیر عمق گود در کاهش نیروی میل مهار برای میل مهارهای ردیف اول بسیار ناچیز است ولی برای میل مهارهای پایین تاثیر کمی دارد.
- ۶- افزایش مقدار سربار باعث افزایش تنش همه جانبه و سختی خاک های دانه ای می شود. در نتیجه این پدیده، مقدار خزش با افزایش سربار کاهش می یابد و تغییر بار کمتری در میل مهار مشاهده می شود.
- ۷-
۶- **تشکر و قدردانی**
در اینجا لازم است از مدیریت شرکت بسپاری ایرانیان و کارشناسان پروژه گودبرداری بیمارستان آتیه غرب در رابطه با اندازه گیری های میدانی تشکر شود. همچنین از مشاوره آقای دکتر اسمعیل قلی زاده در مدلسازی عددی قدردانی می شود.
- ۷- **مراجع**
- [1] Sabatini, P.J., Pass, D.G. and Bachus, R.C., 1999. Ground anchors and anchored systems (No. FHWA-IF-99-015). United States. Federal Highway Administration. Office of Bridge Technology.
- [2] Ludwig, H., 1984. Short-term and long-term behavior of tiebacks anchored in clay.
- [3] Mohamed, M.K. and Hanna, T.H., 1985. Pressure-injected anchors in sand: load and creep behaviour. *Canadian Geotechnical Journal*, 22(4), pp.456-465.
- [4] Gurinsky, M.A., 2002. Long-term strength of prestressed ground anchors in creep-sensitive soils. In *Deep Foundations 2002: An International Perspective on Theory, Design, Construction, and Performance*, pp. 37-52.
- [5] Montero-Cubillo, N.S., Galindo-Aires, R.A., Serrano-González, A., Olalla-Marañón, C. and Simic-Sureda, F.D., 2020. Analytical model of

Field Measurement and Analytical Study of Anchor Load Change in Excavation over Time

Hadi Hosseini¹, Ali Fakher²

1- M.Sc. of Geotechnical Eng., Faculty of Civil Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

2- Professor, Faculty of Civil Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract

In many construction projects, it is necessary to excavate the land so that its walls are vertical or close to vertical. The exerted lateral pressure on these walls is due to the movement of the soil behind them. In order to prevent the collapse of the walls of an excavated site and its associated consequences, temporary or permanent structures are utilized, which is called stabilization. Excavations are secured for various reasons. For example, they may be stabilized to protect personnel entering and working in the excavation or to protect buildings or municipal services adjacent to excavation. Over the past years, there has been a large number of excavations in metropolises, including Tehran, which were abandoned owing to some problems. Furthermore, while some excavations need to be designed for a long time, long-term design basics are not observed during such processes. Stabilization of most of these excavations is done using anchors. In this method, after placing and implementing the anchors, they are prestressed by applying force. Field observations and long-term surveys of these excavations show that in some cases, locking force of anchors decreases, which tends to be hazardous. Therefore, it is very important to know the long-term behavior of anchors in excavations to investigate the stability of these constructions that are prolonged or abandoned for a long time. In this study, field data of the long-term behavior of an excavation in Tehran was used and numerical modeling was done based on this case study. Field measurements were employed to Verify and calibrate the numerical. Moreover, relationships based on the results of the numerical model were proposed to predict the anchor load in the long term in cohesive coarse-grained soil. The proposed relationships predict well the anchors load at one year after the end of excavation. These relationships are separated to three categories of five strands anchors, six strands anchors and six strands anchors with short length. Then, the variables affecting the long-term behavior of the anchor loads embedded in the excavation have been studied. These variables include soil properties, depth of the excavation and neighbor surcharge of the excavation. The results of the present study, not only presents a relationship for anchor load prediction, but also introduces variables that affect long-term behavior of anchor. The parametric study shows that with the increase of the angle of internal friction or the increase of soil cohesion, anchors' load attenuates over the time. Also, by increasing the depth of the excavation or increasing the neighbor surcharge of the excavation, the load of the anchors decreases less over time. It is worth mentioning that the impact of excavation depth occurs mostly in the lower anchors and does not affect the anchors of the first row and close to the ground. Studies showed that anchors close to the earth surface have a greater rate of load reduction over time among anchors with the same length and number of strands. Also, among the same anchors, those with shorter length experience more load reduction over time.

Keywords: Excavation, Anchor, Long-term behavior, Numerical modeling, Creep