****

مجله علمی – پژوهشی

مهندسی عمران مدرس

دوره بیست و دوم، شماره6، سال1401

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

**هادی حسینی1، علی فاخر2\***

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

2. استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

[**\*afakher@ut.ac.ir**](mailto:*afakher@ut.ac.ir)

**تاریخ دریافت: 29/08/1401 تاریخ پذیرش: 23/09/1401**

**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 طولانی‌مدت در آن‌ها رعایت نشده است. پایدارسازی بیشتر این گودها به وسیله میل‌مهارها یا انکرها انجام شده است. مشاهدات و اندازه‌گیری‌های طولانی مدت برخی از این گودها نشان می‌دهد که با گذشت زمان نیروی قفل‌شدگی میل‌مهارها 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 داده‌هاي ميداني در رابطه با رفتار بلند مدت يك گود در شهر تهران استفاده و مدلسازي عددي بر اساس اين مطالعه موردي انجام شده است. درستی‌آزمایی و واسنجی مدل عددی بر اساس اندازه گیری‌‌های 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 میل‌مهارهای 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.

# مقدمه

## تعریف مسئله

با گشترش 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 ناپذیر است. یکی از روش‌های متداول پایدارسازی و جلوگیری از ریزش گودبرداری‌ها به ویژه در مناطق شهری استفاده از میل‌مهار[[1]](#footnote-1) 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 (1) عبارت است از: (الف) بخش مهاری[[2]](#footnote-2)؛ (ب) طول آزاد[[3]](#footnote-3) (بدون پیوند)؛ و (ج) طول پیوند.[[4]](#footnote-4) [1]

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

رفتار طولانی مدت سیستم پایدارسازی میل‌مهار در خاک‌های مختلف به خصوص در خاک درشت دانه چسبنده در این مقاله مد نظر است. به طور کلی خزش در مواد مختلف عبارت است از افزایش تدریجی تغییرشکل 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 میل‌مهارها در یک گودبرداری در خاک درشت دانه 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.

## ضرورت انجام تحقیق

مطالعات بین المللی چندانی در خصوص خزش و رفتار طولانی مدت خاک‌‌های درشت دانه انجام نشده است. در تحقیق ارائه شده در این مقاله سعی شده است با در نظرگرفتن نكات به دست آمده از تحقيقات گذشته و كمبودهاي آنها به مطالعه رفتار طولاني مدت میل‌مهار در گودبرداري‌ها پرداخته شود. نتایج این تحقیقات می‌تواند برای هر گودبرداری که به مدت طولانی استفاده می‌شود به کار رود. طولانی شدن مدت بهره برداری از یک گود می‌تواند به دلیل کاربری تعریف شده برای آن یا به سبب وقفه طولانی مدت در اجرای سازه باشد.

## مروری بر تحقیقات قبلی

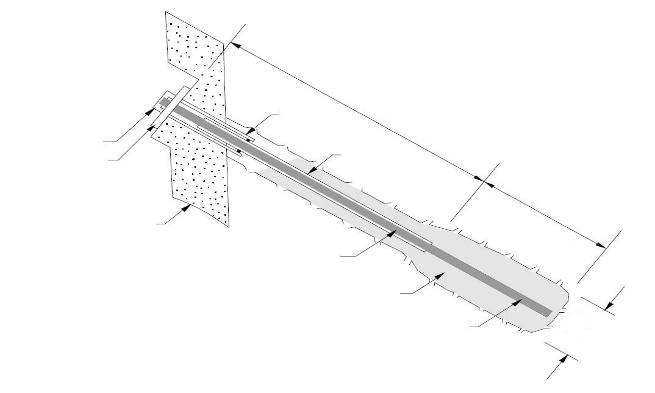
بیشتر تحقیقات انجام شده در خصوص رفتار بلند مدت میل‌مهار در خاک‌‌های ریزدانه اشاره شده است که در اینجا به برخی از آنها [2-9] به صورت خلاصه در‌ جدول (1) اشاره می‌شود.

# مراحل انجام پژوهش ارائه شده در این مقاله

## اندازه گیری میدانی

در این مقاله برای مطالعه رفتار بلندمدت از داده‌های اندازه‌گیری طولانی مدت در یک پروژه واقعی استفاده شده است. این اندازه گیری برای گود بیمارستان آتیه غرب به عمق حدودی 42 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 داراي بافتی شناور بوده که توسط پر کننده 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 درشت دانه زاویه اصطکاک داخلی بالایی دارد و مقداری نیز چسنبدگی دارد که با افزایش عمق افزایش می‌یابد. تصویری از گود این مطالعه موردی در شکل (2) نشان داده شده است.

* + - 1. .اجزای تشکیل دهنده میل‌مهار [1]



Wall

Anchor Head

Bearing Plate

Trumpet

Sheath

Unbonded Tendon

Grout

Bonded Tendon

Anchor Diameter

Bond Length

Unbonded Length

**fig. 1.** Components of an anchor

* + - * 1. خلاصه‌ای از مرور تحقیقات گذشته

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

. Summary of literature review

* + - 1. .گود بیمارستان آتیه غرب تهران به عمق 42 متر



Fig. 2. Excavation of Atiyeh Gharb Hospital in Tehran

مقطع مورد نظر از این پروژه نیز در شکل (3) نشان داده شده است. برای پایدارسازی این گود از شمع‌های بتنی با قطر یک متر، نیل‌های به قطر 28 و 40 میلی‌متر و میل‌مهارهای 5 رشته‌ای و 6 رشته‌ای استفاده شده است. طول و عمق نیل‌ها و میل‌مهارهای به کار رفته در این گود به ترتیب به شرح جداول (2 و 3) است.‌‌

* + - 1. .مقطع مورد نظر گود پروژه بیمارستان آتیه غرب تهران



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

* + - * 1. .مشخصات نیل‌های تعبیه شده در گود بیمارستان آتیه غرب

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

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

* + - * 1. .مشخصات میل‌مهارهای تعبیه شده در گود بیمارستان آتیه غرب

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Bond Length (m) | Total Length (m) | Type | Depth (m) | Anchor NO. |
| 8 | 38 | 5 Strands | 5.9 | 1 |
| 8 | 38 | 5 Strands | 7.9 | 2 |
| 8 | 36 | 5 Strands | 9.9 | 3 |
| 8 | 36 | 5 Strands | 11.9 | 4 |
| 12 | 39 | 6 Strands | 13.9 | 5 |
| 12 | 39 | 6 Strands | 15.9 | 6 |
| 12 | 39 | 6 Strands | 17.9 | 7 |
| 12 | 38 | 6 Strands | 19.9 | 8 |
| 12 | 36 | 6 Strands | 21.9 | 9 |
| 12 | 35 | 6 Strands | 23.9 | 10 |
| 12 | 38 | 6 Strands | 25.9 | 11 |
| 12 | 36 | 6 Strands | 28.4 | 12 |
| 12 | 34 | 6 Strands | 30.4 | 13 |
| 12 | 32 | 6 Strands | 32.4 | 14 |
| 12 | 22 | 6 Strands | 34.4 | 15 |
| 12 | 18 | 6 Strands | 36.4 | 16 |
| 12 | 17 | 6 Strands | 38.4 | 17 |
| 12 | 17 | 6 Strands | 40.4 | 18 |

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

## مدلسازی عددی

در این پژوهش برای مدلسازی عددی گود از نرم‌افزار FLAC 2D نسخه 8.1 استفاده شده است. این نرم‌افزار یک برنامه رایانه‌ای تفاضل محدود صریح[[5]](#footnote-5) 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.

### 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 3 برابر و در جلوی دیوار گود 1 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 (کاملا صلب) جلوگیری شده است. به منظور افزایش دقت نتایج مدلسازی عددی ابعاد المان‌های خاک در شبکه‌بندی مدل کوچکتر و در ابعاد 50 در 50 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 2 در 2 متر در نظر گرفته شده است. هندسه مدل عددي تعريف شده در شکل (4) نشان داده شده است.

* + - 1. . هندسه مدل عددی

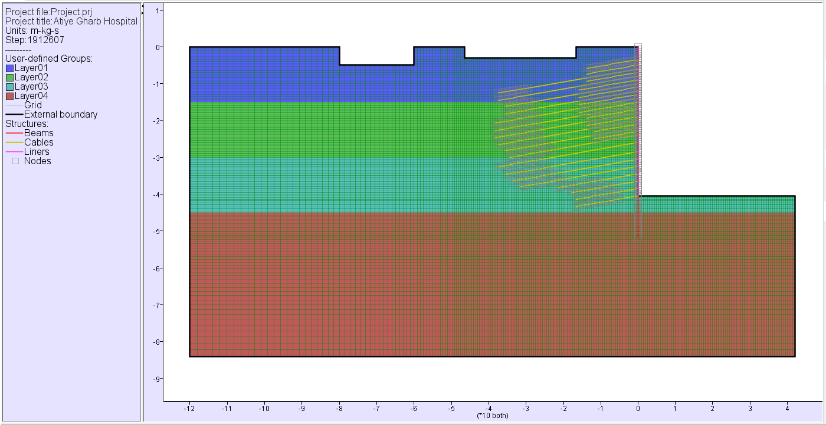


Fig. 4. Geometry of numerical model

### مدلسازی رفتار مستقل از زمان

در این پژوهش از مدل رفتاری سخت شونده پلاستیک[[6]](#footnote-6) 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 1999 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 (4) 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 پایدارسازی 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 5/1 تا 5/2 متر را شامل شده است. مطابق نقشه‌های اجرایی پروژه در انتهای گودبرداری سطح آب زیرزمینی در عمق 6/45 متر قرار دارد.

* + - * 1. .پارامترهای مدل رفتاری سخت شونده پلاستیک در مدلسازی عددی

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 4 | 3 | 2 | 1 | Soil layer NO. |
|  |  |  |  | Depth (m) |
| 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | Mass density, () |
|  |  |  |  | Secant stiffness,(Pa) |
|  |  |  |  | Tangent stiffness,(Pa) |
|  |  |  |  | Unloading-reloading stiffness(Pa) |
| 34 | 34 | 33 | 36 | Friction angle,(Degrees) |
| 4 | 4 | 3 | 6 | Dilation angle,(Degrees) |
| 45000 | 40000 | 35000 | 30000 | Cohesion,(Pa) |
| 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | Power, |
| 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | Poisson’s ratio, |
| 66715 | 59302 | 53895 | 41291 | Tension limit,(Pa) |
| 100000 | 100000 | 100000 | 100000 | Reference pressure,(Pa) |
| 0.441 | 0.441 | 0.455 | 0.412 | Normal consolidation coefficient, |

.Parameters of Plastic Hardening model used in numerical modeling

در مدل عددی شاتکریت به ضخامت 15 سانتی‌متر و شمع نگهبان به قطر 1 متر مدلسازی شده است. پارامترهای استفاده شده برای مدلسازی شاتکریت، شمع نگهبان و سطح مشترک شمع و خاک به شرح جدول (5) است. محاسبه هر یک از این پارامترها مطابق توصیه‌های راهنمای نرم‌افزار FLAC 2D [11] انجام شده است.

مشخصات اجرایی و فنی نیل و میل‌مهار به کار رفته در این پروژه به صورت جدول (6) است. برای مدلسازی میخ‌ها و میل‌مهارها 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 انوع میخ‌ها و میل‌مهارها به تفکیک به صورت جدول (7) است.

* + - * 1. .پارامترهای مورد استفاده برای مدلسازی عددی

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Values | Parameters | Data |
| 0.15 | Area | Shotcrete |
| 0.00028125 | Mom. inertia |  |
| 0.15 m | Thickness |  |
| Pa | Young’s modulus |  |
| 0.15 | Poisson’s Ratio |  |
| 1 m | Radius | Soldier Pile |
| 4 m | Spacing |  |
| Pa | Young’s modulus |  |
| Pa/m | Normal stiffness | Interface |
| Pa/m | Shear stiffness |  |
| 23300 | Cohesion |  |
| 24.4 | Friction angle |  |
| 0 | Dilation angle |  |

.Parameters used for numerical modelling

* + - * 1. . مشخصات فنی نیل و میل‌مهار در پروژه بیمارستان آتیه غرب

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Values | Parameters | Data |
| Bar (AIII) | Type | Nail |
| 0.028, 0.040 m | Radius |  |
| 0.11 m | Bond Diameter |  |
| Pa | Yield Strength |  |
| 0.5 | Water to Cement ratio |  |
| Strand | Type | Anchor |
| m2 | Area of each Strand |  |
| 0.11 m | Bond Diameter |  |
| Pa | Yield Strength |  |
| N | Capacity of each Strand |  |
| N | Prestress Force for each Strand |  |
| 0.5 | Water to Cement ratio |  |

.Specification of nails and anchors in Atiye Gharb Hospital project

* + - * 1. .پارامترهای مورد استفاده برای مدلسازی نیل و میل‌مهار

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Values | Parameters | Data |
| 0.028 m | Radius | Nail |
| 2 m | Spacing |  |
| Pa | Young’s modulus |  |
| 0.3456 m | Exposed perimeter |  |
| 258615 N | Tensile yield strength |  |
| 0.040 m | Radius | Nail |
| 1 , 2 m | Spacing |  |
| Pa | Young’s modulus |  |
| 0.3456 m | Exposed perimeter |  |
| 527787 N | Tensile yield strength |  |
| 0.000715 | Area | Anchor 5 strands |
| 2 m | Spacing |  |
| Pa | Young’s modulus |  |
| 1329900 N | Tensile yield strength |  |
| 0.000858 | Area | Anchor 6 strands |
| 2 m | Spacing |  |
| Pa | Young’s modulus |  |
| 1595880 N | Tensile yield strength |  |

.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. زيرا 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 (8) است.

* + - * 1. .پارامترهای مورد استفاده در مدلسازی طول پیوندی نیل و میل‌مهار

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  |  | Soil Layer NO. |
|  |  |  | Stiffness of the grout, Kbond (N/m2) |
| 14541.55 | 12723.86 | 10906.17 | Cohesive strength of the grout, Sbond (N/m) |
| 34 | 33 | 36 | Frictional resistance of the grout (degrees) |

.Parameters used for bond length of anchors and nails modelling

### مدلساری رفتار خزشی

در این پژوهش پس از مدلسازی کامل گودبرداری مطابق بخش قبل، رفتار خزشی با استفاده از مدل رفتاری ویسکوپلاستیک[[7]](#footnote-7) برگر[[8]](#footnote-8) 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 كه خروجی بار میل‌مهار در مدل عددی و خروجی ثبت شده از مقادیر نیروسنج‌ها[[9]](#footnote-9) را برای ورودی مشابه هماهنگی بهینه قرار می‌دهد، تخمین زده شده است. مقایسه نتایج به دست آمده از نیروسنج‌ها و بار میل‌مهار پیش‌ بینی شده توسط مدلسازی عددی در بخش بعد ارائه می‌شود. پارامترهای چهارگانه مدل خزشی برگر به دست آمده در جدول (9) 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.

* + - * 1. . پارامترهای مدل خزشی ویسکوپلاستیک برگر

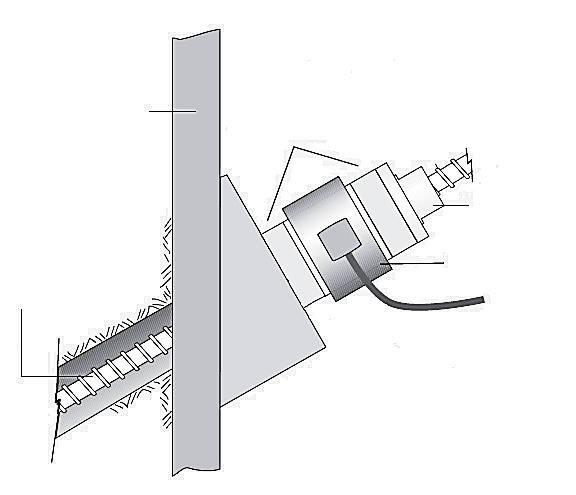
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | Depth(m) |
|  |  | Maxwell shear modulus (Pa) |
|  |  | Maxwell viscosity (Pa.day) |
|  |  | Kelvin shear modulus (Pa) |
|  |  | Kelvin viscosity (Pa.day) |

.Parameters of Berger creep viscoplastic model

# درستی‌آزمایی و کالیبراسیون مدل عددی

برای درستی‌آزمایی نتایج مدل عددی در این پژوهش از مقایسه نیروی میل‌مهار با اندازه گیری 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 تقریبا هماهنگی خوبی بین روند و مقدار نتایج وجود دارد. اضافه می‌شود که در گود بیمارستان آتیه غرب، روی دو میل‌مهار نیروسنج مطابق شکل (5) نصب شده و بار موجود در این میل‌مهارها مورد پایش قرار گرفته است. اندازه‌گیری‌ها مطابق اشکال (6 و 7) در زمان گودبرداری و پس از پایان گودبرداری (زمان خزشی) انجام گرفته و ثبت شده است. در شکل‌های 6 و 7 خط چین سیاه مربوط به زمان پایان گودبرداری است.

* + - 1. . نیروسنج نصب شده روی میل‌مهار



Wall

Anchor

Bearing Plates

Loadcell

Anchor Head

Fig. 5. A loadcell installed on the anchor

* + - 1. .بار ثبت شده توسط نیروسنج S13-7 و پیش‌بینی شده توسط مدلسازی عددی در میل‌مهار ششم

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

* + - 1. .بار ثبت شده توسط نیروسنج S21-7 و پیش‌بینی شده توسط مدلسازی عددی در میل‌مهار یازدهم

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

# تحلیل داده‌‌ها و بحث

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

## تحلیل نیروی میل‌مهار با گذشت زمان

### روند تغییر نیروی میل‌مهارها با گذشت زمان

در جدول (10) مشخصات میل‌مهارها و میزان درصد کاهش بار در آن‌ها در مراحل مختلف بر اساس مدلسازی عددی نشان داده شده است. در این جدول، میل‌مهار 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 تقریبا نزدیک به هم است. دسته آخر در این جدول که شامل میل‌مهارهای 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 میل‌مهارهای دیگر دارند.

بر اساس مقایسه مقادیر کاهش بار ذکر شده در جدول (10)، می‌توان نتیجه گرفت در بین میل‌مهارهای یکسان از لحاظ طول و تعداد رشته‌ها، میل‌مهارهای نزدیک به سطح زمین و تعبیه شده در اعماق کمتر میزان کاهش بار بیشتری از خود نشان می‌دهند. برای مثال در مقایسه میل‌مهارهای شش رشته‌ای هشتم و دوازدهم در طول خزش یک سال، میل‌مهار تعبیه شده در عمق 9/19 متر میزان کاهش بار 02/9 درصد و میل‌مهار تعبیه شده در عمق 4/28 متر میزان کاهش بار 65/3 درصد رخ می‌دهد.

همچنین در بین میل‌مهارهای یکسان از لحاظ تعداد رشته استرند و قرار گرفته در اعماق نزدیک به هم، یعنی هر چه طول کل میل‌مهار کمتر باشد میزان کاهش بار بیشتر خواهد بود. برای نشان دادن این موضوع می‌توان میل‌مهار سیزدهم با طول کل 34 متر و چهاردهم با طول کل 32 متر که نزدیک به هم اجرا شدند را مثال زد. در میل‌مهار سیزدهم 55/4 درصد و در میل‌مهار چهاردهم 87/6 درصد کاهش بار در طول خزش یک سال رخ می‌دهد.

### رابطه تغییر نیروی میل‌مهار در طول زمان

در شکل (8) نمودار تغییرات نیروی موجود در میل‌مهارها 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 میل‌مهار قرار گرفته شده در تراز‌های پایین گود که طول کمتری نسبت به سایر میل‌مهارها دارند در نظر گرفته نشده است. زیرا روند و مقدار كاهش بار در آنها متفاوت با روند ساير انكرها است و نمي‌توان رفتاري يكسان با سایر میل‌مهارهای شش رشته‌ای پیش‌بینی کرد.

* + - * 1. . مشخصات و میزان کاهش بار میل‌مهارها در طول مراحل مختلف

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

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

* + - 1. . نيروي تمام میل‌مهارها 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

همان‌گونه که شکل (8) مشاهده شد منحنی تغییرات نیروی میل‌مهار برای میل‌مهارهای مختلف بسیار متفاوت است. با سعی و خطا متغیری جدید به نام X مطابق رابطه (1) تعریف شد.

|  |  |
| --- | --- |
| (1) |  |

در این رابطه F نیروی موجود در میل‌مهار،  وزن مخصوص خاک، hbond عمق نقطه میانی طول پیوند میل‌مهار، Ltotal طول کلی میل‌مهار و A عددی ثابت و مجزا برای میل‌مهارهای پنج رشته‌ای و شش رشته‌ای است. مقدار پارامتر ثابت A برای میل‌مهارهای پنج رشته‌ای برابر 9/232 و برای میل‌مهارهای شش رشته‌ای برابر 5/993 است. نمودار میل‌مهارهای نشان داده شده در هر یک از شكل‌هاي 9 و 10 بر اساس تعداد رشته‌ها تفكيك شده است. چنانچه متغیر X بر حسب زمان مطابق شكل‌هاي (9 و 10) به ترتیب برای میل‌مهارهای 5 رشته‌ای و 6 رشته‌ای ترسیم شود آنگاه ارتباط ساده‌ای مطابق روابط (2 و 3) برای هر میل‌مهار بر حسب تناژ آن به دست می‌آید.

نیروی موجود در هر میل‌مهار در طول خزش یک سال بر اساس متغیر X در رابطه (1) و معادله منحنی میانگینی که در هر گروه در شکل‌های (9 و 10) رسم شده است تعیین شده است. روابط آن برای هر گروه به تفکیک به صورت زیر است:.

الف) میل‌مهارهای پنج رشته‌ای

|  |  |
| --- | --- |
| (2) |  |

ب) میل‌مهارهای شش رشته‌ای:

|  |  |
| --- | --- |
| (3) |  |

* + - 1. . نمودار رابطه (1) بر حسب زمان در میل‌مهارهای پنج رشته‌ای

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

* + - 1. . نمودار رابطه (1) بر حسب زمان در میل‌مهارهای شش رشته‌ای

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

در این روابط  بر حسب تن بر متر مکعب، hbond و Ltotal 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 میل‌مهارهای پروژه مقدار کمی اختلاف با نیروهای پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار دارد. بیشترین خطای نیروی محاسبه شده توسط روابط (2 و 3) برابر با 49/10 درصد است. البته این مقدار خطا در میل‌مهار چهاردهم رخ می‌دهد و سایر میل‌مهارها خطای خیلی کمتری دارند. در طول خزش یک سال روابط (2 و 3) نیروی میل‌مهارهای گروه پنج رشته‌ای را با مقدار خطای میانگین 9/1 درصد و گروه شش رشته‌ای را با مقدار خطای میانگین 6/4 درصد پیش‌بینی می‌کند.

## جستجوی متغیرهای حاکم بر رفتار طولانی مدت

برای جستجوی متغیر‌‌های حاکم بر رفتار طولانی مدت میل‌مهارها 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 (11 و 12). این نتایج برای تغییرات زاویه اصطکاک خاک به اندازه حداکثر 6 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 میل‌مهارها افزایش می‌یابد.

برای نمونه با افزایش 12 درجه‌ای زاویه اصطکاک داخلی خاک، میزان کاهش بار میل‌مهار ششم از ابتدای گودبرداری تا 216 روز پس از پایان آن 29/2% و در زمان خزشی 65/0% افزایش می‌یابد.

ب) تاثیر چسبندگی خاک بر تغییرات نیروی میل‌مهار در درازمدت قابل توجه بود اشکال (13 و 14). این نتایج برای تغییرات چسبندگی به اندازه حداکثر 20 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 میل‌مهارها کاهش ولی پس از پایان گودبرداری و در طول زمان خزش با افزایش چسبندگی خاک میزان کاهش بار در میل‌مهارها افزایش می‌یابد.

برای نمونه با افزایش 40 کیلوپاسکالی چسبندگی، میزان کاهش بار میل‌مهار یازدهم از ابتدای گودبرداری تا 216 روز پس از پایان آن تقریبا ثابت و در زمان خزشی 5/0% افزایش می‌یابد.

* + - 1. .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

* + - 1. .مقادیر کاهش نیروی میل‌مهار یازدهم در زمان‌های مختلف برحسب زوایای اصطکاک مختلف خاک

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

* + - 1. .مقادیر کاهش نیروی میل‌مهار ششم در زمان‌های مختلف برحسب چسبندگی‌های مختلف خاک

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

* + - 1. مقادیر کاهش نیروی میل‌مهار یازدهم در زمان‌های مختلف برحسب چسبندگی‌های مختلف خاک

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

### تاثیر عمق نهایی گودبرداری

برای بررسی تاثیر عمق نهایی گودبرداری بر نتایج، پنج تحلیل با اعماق نهایی گود 9/10، 9/16، 9/22، 4/29 و 4/35 متر انجام شد. در این تحلیل‌ها تغییری در طول و محل ميخ و میل‌مهارها ایجاد نشده و فقط ميخ و میل‌مهارهایی 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 میل‌مهارهای ردیف اول، ششم و یازدهم قرار گرفته به ترتیب در اعماق 9/5، 9/15 و 9/25 متر برای این تحلیل‌ها در اثر تغییر عمق نهايي گودبرداري در شکل 15، 16 و 17 مشاهده شده است. همچنین در این شكل‌ منظور از پارامتر H ارتفاع نهایی گود است و واحد آن بر حسب متر است.

* + - 1. . کاهش نیروی میل‌مهار 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

* + - 1. کاهش نیروی میل‌مهار 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

* + - 1. .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، کم ترین 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 تقریبا ثابت است.

### 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 5/16 متری از لبه گود قرار دارد. برای بررسی تاثیر مقدار سربار همسایه پنج تحلیل با مقادیر صفر، 50، 70، 90 و 130 کیلونیوتن بر متر مربع انجام شده است. نتایج نیروی موجود در میل‌مهارهای ردیف ششم و یازدهم برای این تحلیل‌ها به ترتیب در شکل‌های (18 و 19) 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 پایان گودبرداری و در طول خزش کاهش یافته است. البته این مقدار کاهش در طول خزش مقدار بسیار کوچکی است.

برای نمونه با افزایش 130 کیلوپاسکالی مقدار سربار، میزان کاهش بار میل‌مهار ششم از ابتدای گودبرداری تا 216 روز پس از پایان آن 1/1% و در زمان خزشی 33/0% کاهش می‌یابد.

* + - 1. . 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

* + - 1. . 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

# نتیجه­گیری

1. 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.
2. در بین میل‌مهارهای یکسان از لحاظ تعداد رشته استرند در اعماق مشابه، هر چه طول آنها کمتر باشد میزان کاهش بار بیشتر است.
3. روابط (2 و 3) که در مقاله ذکر شده است می‌توانند به خوبی نیروی موجود در میل‌مهارها را در طول زمان چند سال پیش بینی کنند. این روابط به تفکیک برای میل‌مهارهای پنج رشته‌ای و شش رشته‌ای بیان شده است.
4. با افزایش زاویه اصطکاک داخلی یا افزایش چسبندگی خاک، بار میل‌مهارها بر اثر خزش بیشتر کاهش پیدا می‌کند.
5. با افزایش عمق گود، بار میل‌مهارها در اثر خزش کمتر کاهش یافته است. البته به طور کلی تاثیر عمق گود در کاهش نیروی میل‌مهار برای میل‌مهارهای ردیف اول بسیار ناچیز است ولی برای میل‌مهارهای پایین تاثیر کمی دارد.
6. افزایش مقدار سربار باعث افزایش تنش همه جانبه و سختی خاک‌هاي دانه‌اي می­شود. در نتیجه این پدیده، مقدار خزش با افزايش سربار كاهش مي‌يابد و تغيير بار كمتري در میل‌مهار مشاهده مي‌شود.

# تشکر و قدردانی

در اینجا لازم است از مدیریت شرکت بسپارپی ایرانیان و کارشناسان پروژه گودبرداری بیمارستان آتیه غرب در رابطه با اندازه‌گیری‌‌های میدانی تشکر شود. همچنین از مشاوره آقای دکتر اسمعیل قلی‌زاده در مدلسازی عددی قدردانی می‌شود.

# 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 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 P‌e‌r‌f‌o‌r‌m‌a‌n‌c‌e 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).

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

.

1. . Anchor [↑](#footnote-ref-1)
2. . Anchorage [↑](#footnote-ref-2)
3. . Unbond Length [↑](#footnote-ref-3)
4. .Bond Length [↑](#footnote-ref-4)
5. Explicit Finite Difference [↑](#footnote-ref-5)
6. Plastic Hardening [↑](#footnote-ref-6)
7. Viscoplastic [↑](#footnote-ref-7)
8. Burger [↑](#footnote-ref-8)
9. Loadcell [↑](#footnote-ref-9)