



University Of Qom

Numerical Study of Deep Excavation Deformations by Iranian Top-Down Method (Case Study: Niayesh Parking)

Parham Tirzan¹ , Ali Ghanbari² 

1. Corresponding author, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran. E-mail: Parham.tz78@gmail.com
2. Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran. E-mail: ghanbari@khu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 06 Apr 2023
Revised 25 Jul 2023
Accepted 13 Aug 2023

Keywords:
Deep Excavation,
Diaphragm wall
top-down method,
Iranian top-down
method,
Ground Settlement,
Deformation of the pit
wall.

ABSTRACT

One of the novel methods for stabilization of deep excavations is the use of top-down method. In this method, while reducing the execution time and controlling the deformation of the excavation wall, the necessary conditions for constructing structures in limited spaces or crowded urban areas are provided. In this paper, the Iranian top-down method is introduced. In order to evaluate this method, horizontal and vertical deformation of Iranian top-down is compared with diaphragm wall top-down method and nailing method. Diaphragm wall top-down with a wall thickness of 0.45 m, Iranian top - dawn with two different wall thicknesses of 0.45 and 0.65 m and Nailed pile wall method with 0.45m thick wall, is studied numerically by using the finite element software MIDAS GTS NX. Niayesh parking lot in Tehran with a depth of 29 m is select for the case study. The results of this research show that Iranian top-down has a 20 - 25 percent lower horizontal deformation than the diaphragm wall top-down. Nailing method has three to four times more deformation compared to both types of top-downs and their difference increases by increasing the depth of excavation. The greater thickness of the wall in Iranian top-down has a negligible impact on the deformations and the effect can be ignored. Also, in Iranian top-down the ground surface settlement is 10 - 15 percent less than diaphragm wall top-down. The new method mentioned here shows that the construction of the diaphragm wall in a few steps can lead to reduction of deformations.

Cite this article: Tirzan, Parham., & Ghanbari, Ali. (2023). Numerical study of Deep Excavation Deformations by Iranian Top-Down Method (Case study: Niayesh parking). *Civil Infrastructure Researches*, 9(2), 95-110. <https://doi.org/10.22091/cer.2023.9294.1471>





مطالعه عددی تغییر شکل‌های گودبرداری عمیق به روش ساخت از بالا ایرانی (مطالعه موردی پارکینگ نیایش)

پرهام تیرزان^۱، علی قنبری^۲

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: Parham.tz78@gmail.com

۲. استاد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: ghanbari@khu.ac.ir

چکیده

یکی از روش‌های نوین پایدارسازی گودهای عمیق، استفاده از روش ساخت از بالا است. در این روش ضمن کاهش زمان اجرا و کنترل تغییر شکل دیواره گود، شرایط لازم برای احداث سازه در فضاهای محدود و پرتردد شهری فراهم می‌شود. در این مقاله، روش نوین ساخت از بالا ایرانی معرفی شده است. به منظور ارزیابی این روش، تغییر شکل‌های افقی و قائم حاصل از روش ساخت از بالا ایرانی، با روش ساخت از بالا دیوار دیافراگمی و روش میخکوبی مقایسه می‌شود. روش ساخت از بالا دیوار دیافراگمی با ضخامت دیوار ۰/۴۵ متر، روش ساخت از بالا ایرانی با دو ضخامت متفاوت دیوار ۰/۴۵ و ۰/۶۵ متر و روش میخکوبی در ترکیب با دیوار ۰/۴۵ متر، با استفاده از نرم‌افزار المان محدود MIDAS GTS NX مورد مطالعه عددی قرار گرفته است. به عنوان مطالعه موردی پروژه پارکینگ طبقاتی نیایش در تهران با عمق گود ۲۹ متر انتخاب شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که روش ساخت از بالا ایرانی در مقایسه با روش ساخت از بالا دیوار دیافراگمی ۲۰ الی ۲۵ درصد، تغییر شکل افقی کمتری دارد. روش میخکوبی سه تا چهار برابر، تغییر شکل بیشتری نسبت به هر دو نوع روش ساخت از بالا دارد و با افزایش عمق گود تفاوت آن‌ها بیشتر می‌شود. ضخامت بیشتر دیوار در روش ساخت از بالا ایرانی تأثیر ناچیزی بر روی تغییر شکل‌ها دارد و اثر آن را می‌توان نادیده گرفت. همچنین در روش ساخت از بالا ایرانی ۱۰ الی ۱۵ درصد نشست سطح زمین کمتر از روش ساخت از بالا دیوار دیافراگمی است. روش نوین بیان شده نشان می‌دهد که ساخت دیوار دیافراگم به صورت چندمرحله‌ای، می‌تواند کاهش تغییر شکل‌ها را در پی داشته باشد.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۱۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۲

کلیدواژه‌ها:

گودبرداری عمیق، روش ساخت از بالا دیوار دیافراگمی، روش ساخت از بالا ایرانی، نشست زمین، تغییر شکل دیواره گود.

استناد: تیرزان، پرهام؛ و قنبری، علی. (۱۴۰۲). مطالعه عددی تغییر شکل‌های گودبرداری عمیق به روش ساخت از بالا ایرانی (مطالعه موردی

پارکینگ نیایش). پژوهش‌های زیرساخت‌های عمرانی، ۲۹(۲)، ۹۵-۱۱۰. <https://doi.org/10.22091/cer.2023.9294.1471>



۱- مقدمه

ساخت از بالا، حداکثر تغییرشکل دیوار در حدود ۰/۰۶ تا ۰/۲۷ درصد عمق گود و حداکثر نشست ستون‌ها ۰/۰۹- تا ۰/۰۴ درصد عمق گود است [۹]. از سویی دیگر از معایب این روش می‌توان به زمان‌بر بودن عملیات عمل‌آوری بتن دال و دشوار بودن حفاری در زیر دال‌ها اشاره کرد که در حین اجرا با پیچیدگی‌هایی همراه است [۱۰].

با توجه به اهمیت موضوع گفته شده، محققین و مهندسين در سال‌های اخیر به دنبال بهبود روش کلاسیک ساخت از بالا، با اعمال اصلاحاتی در مراحل حفاری و پایدارسازی هستند. عواملی نظیر زمان، هزینه و عدم سهولت اجرا در روش کلاسیک، موجب شده است تا محققین همواره به دنبال تکنیک‌های جدید و اصلاح روش‌های موجود باشند [۱۱]. از تکنیک‌های انجام شده برای بهبود روش بالا به پایین می‌توان به اجرای روش نیمه بالا به پایین اشاره کرد، این روش نوین به دلیل اجرای دو سقف در هر مرحله، بازدهی ساخت را افزایش می‌دهد [۱۲]. تکنیک نوین دیگر، اجرای دیوار دیافراگم گیردار درپا است، زیرا جابه‌جایی افقی، لنگر خمشی و نشست سطحی کمتری در مقایسه با دیوار دیافراگم آزاد درپا دارد [۱۳]. شمع‌های اجرا شده در روش ساخت از بالا تا قبل از اجرای پی، بارهای سازه را تحمل می‌کنند. هیراکاوا^۲ و همکاران نشان دادند ۶۷ درصد از بار سازه به شمع‌ها وارد می‌شود [۱۴]. همچنین نسبت اشتراک بار شمع روش ساخت از بالا، حدود ۱۲/۴ تا ۲۷/۹ درصد در هر شمع است که با پیشرفت ساخت‌وساز تغییر می‌کند و هرچه شمع نزدیک‌تر به مرکز پی باشد، بار سازه بیشتری نسبت به شمع در گوشه و کنار پی وارد می‌شود [۱۵].

این روش در ایران متناسب با تجهیزات و نیروی متخصص موجود بومی‌سازی شده است و تغییراتی در روند ساخت‌وساز آن اعمال شده است. مهندسين ایرانی با توجه به ظرفیت‌های موجود ساخت‌وساز در داخل کشور،

با توسعه ساخت‌وسازهای زیرزمینی و استفاده از فضای زیرزمین، حفاری‌های عمیق در مناطق شهری و تأثیرات محیطی آن‌ها در حال افزایش است که به یکی از معضلات کلان شهرها تبدیل شده است. حفاری عمیق منجر به تغییرات تنش و در نتیجه تغییرشکل زمین‌های مجاور می‌شود [۱]. حفاری در مجاورت ساختمان‌ها یا تأسیسات زیرزمینی، نیازمند استفاده از یک روش پایدارسازی کارآمد برای کنترل محدوده تغییرشکل‌ها در مراحل حفاری می‌باشد. یکی از روش‌های نوین پایدارسازی گودهای عمیق، استفاده از روش ساخت از بالا است. روش ساخت از بالا به طور قابل توجهی احتمال واردشدن خسارت به سازه‌های همجوار که به تغییرشکل‌ها و حرکت خاک حساسند را از بین می‌برد. به علت ساخت تدریجی سازه و جایگزینی آن با خاک برداشته شده، میزان نشست سازه و تغییرشکل‌ها کاهش می‌یابد [۲]. این روش علاوه بر صرفه اقتصادی، سرعت عملکرد چشمگیری نسبت به دیگر روش‌ها دارد، زیرا همزمان با اجرای طبقات پایین، امکان ساخت روسازه نیز فراهم می‌شود [۳]. گودبرداری و اجرای سازه با روش ساخت از بالا، یک روش مناسب برای ساخت ایستگاه‌های مترو و زیرزمین‌های عمیق است که با استفاده از تکنولوژی دیوارهای دیافراگمی و شمع‌ها اجرا می‌شود [۴]. روش ساخت از بالا زمان ساخت را به طور قابل توجهی نسبت به روش پایین به بالا کاهش می‌دهد، اما در مقابل هزینه‌های بیشتری نسبت به روش پایین به بالا دارد [۵]. این روش بار ستون منفرد را کاهش می‌دهد و در به حداقل رساندن نشست غیریکنواخت و جابه‌جایی افقی ستون‌ها و شمع‌ها مؤثر است [۶ و ۷]. به‌طور کلی، در این روش حداکثر جابه‌جایی گود در میانه‌های دیوار ایجاد می‌شود [۸]. گویی^۱ و همکاران نشان دادند در روش

²- Hirakawa

¹- Gui

جنس بتنی پیش ساخته بوده و مساحت زمین ۴۶۸۰ متر مربع با ظرفیت پارکینگ ۱۲۷۸ عدد است. در شکل ۱، موقعیت پارکینگ نشان داده شده است. همچنین عمق مدفون این پروژه بین ۲۸ الی ۳۳ متر می‌باشد. در شکل ۲، نمای جنوبی سایت و پلان ستون‌گذاری پروژه مشخص شده است. منطقه مورد مطالعه در کوهپایه‌های جنوبی رشته کوه البرز قرار دارد و از لحاظ موقعیت جغرافیایی در قسمت شمالی تهران واقع است [۱۸].



شکل ۱- موقعیت پارکینگ طبقاتی نیایش [۱۸]

۲-۱- آزمایش‌های صحرایی و آزمایشگاهی

براساس مشاهدات حفاری در گمانه‌های پارکینگ نیایش، سطح آب زیرزمینی سراسری در عمق بیش از ۸۰ متر قرار دارد. برای مطالعات ژئوتکنیک این طرح، حفاری گمانه‌های ماشینی به‌روش دورانی و به صورت مغزه‌گیری ممتد به وسیله مهندسین مشاور پژوهش عمران راهوار انجام شده است. شکل ۳، موقعیت چاهک‌ها و گمانه‌های حفاری شده در محدوده این طرح را نشان می‌دهد. در گمانه‌ها به منظور بررسی وضعیت لایه‌ها و مقاومت زمین، آزمایش‌های ضربه و نفوذ استاندارد، نفوذپذیری صحرایی، پرسیومتری و تعیین سرعت موج برشی انجام شده است و در چاهک‌ها نیز آزمایش‌های بارگذاری صفحه و برش درجا انجام گرفته است [۱۹].

استفاده از این روش به شیوه بومی شده را آغاز کردند. در روش بومی، دیوار به صورت مرحله به مرحله ساخته می‌شود [۱۶]. برخوردی و اصغرزاده نشان دادند روش ساخت از بالا دیوار دیافراگمی ارزان‌تر از روش ساخت از بالا ایرانی و هر دو روش نشست سطحی و جابه‌جایی افقی در حد مجاز دارند و روش ساخت از بالا دیوار دیافراگمی در سطح بالای آب زیرزمینی عملکرد بهتری دارد [۱۷].

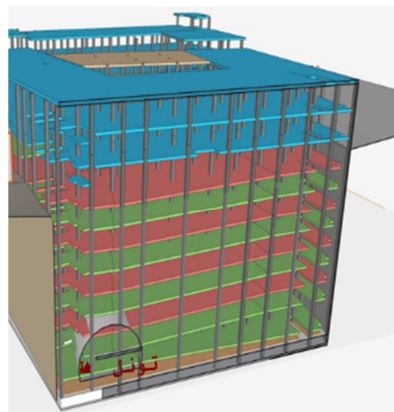
با این حال برای روش ساخت از بالا ایرانی تاکنون تحقیقات گسترده‌ای صورت نگرفته است و ابهاماتی از قبیل توزیع دقیق فشار جانبی، تغییر مکان‌ها و همچنین احتمال بحرانی بودن شرایط در حین ساخت‌وساز وجود دارد. به همین منظور در این تحقیق، روش نوین ساخت از بالا ایرانی به صورت ترکیب دیوار چندمرحله‌ای و دیوار دیافراگم معرفی شده است. با توجه به اهمیت کاهش نشست و جابه‌جایی گودبرداری‌های عمیق، تغییر شکل‌های روش ابداعی ساخت از بالا ایرانی، روش ساخت از بالا دیوار دیافراگمی و روش مرسوم میخکوبی، مورد مطالعه عددی قرار گرفته است. به عنوان مطالعه موردی پروژه پارکینگ طبقاتی نیایش در شهر تهران جهت تحلیل انتخاب شده است.

۲- معرفی پارکینگ طبقاتی نیایش

پروژه پارکینگ طبقاتی نیایش در مجاورت پردیس سینمایی ملت در شهر تهران که عملیات اجرایی آن از سال ۱۳۹۵ شروع شد، یکی از پروژه‌های شاخص در زمینه به‌کارگیری روش ساخت از بالا است. کارفرما پروژه شهرداری تهران معاونت فنی و عمرانی و مشاور کارفرما شرکت مهندسین مشاور پژوهش عمران راهوار می‌باشد. سازه پارکینگ نیایش شامل ۱۱ طبقه متشکل از نه طبقه پارکینگ در زیرزمین و دو طبقه تجاری در تراز مثبت است. ورودی‌های این پروژه از پردیس سینمایی ملت و بزرگراه‌های کردستان و هاشمی رفسنجانی در طبقات مختلف سازه واقع شده است. ستون‌های این پروژه از

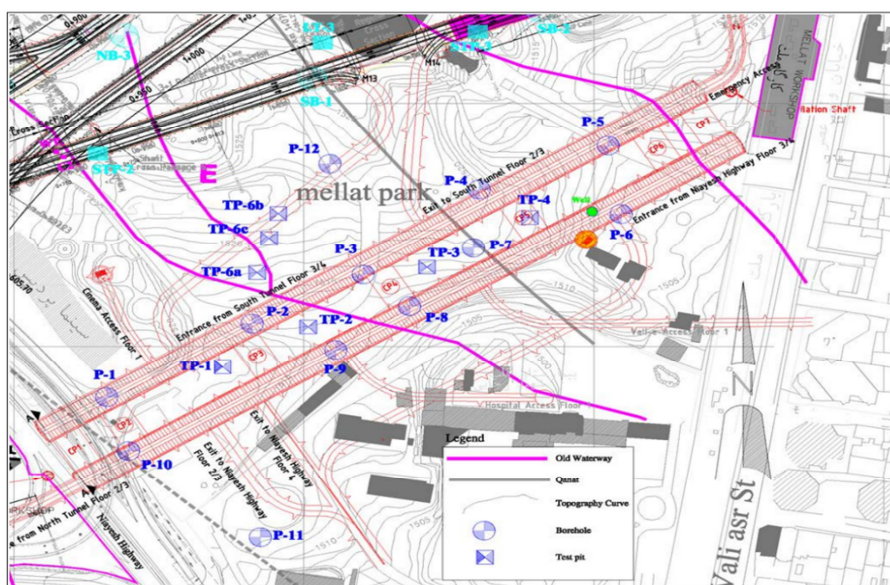


(ب)

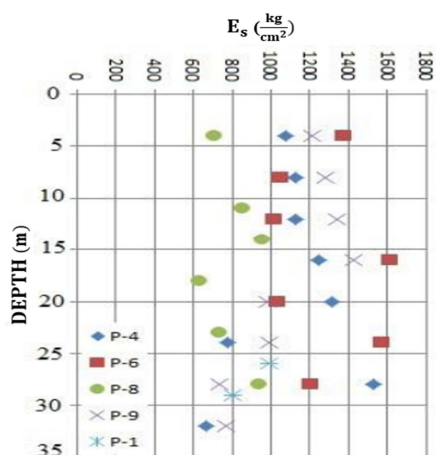


(الف)

شکل ۲- (الف) نمای جنوبی سایت و (ب) پلان ستون گذاری پروژه [۱۸]



شکل ۳- پلان موقعیت چاهک و گمانه‌های حفاری شده [۱۹]



شکل ۴- تغییرات مدول الاستیسیته پرسویمتری نسبت نسبت به عمق در گمانه‌ها [۱۹].

همچنین با توجه به آزمایش‌های برش درجا و برش مستقیم، چسبندگی خاک بین ۰/۱ تا ۰/۴ کیلوگرم بر

در شکل ۴، تغییرات مدول تغییرشکل با عمق، حاصل از آزمایش پرسویمتر در گمانه‌ها نشان داده شده است. نتایج آزمایش‌های پرسویمتری نشان می‌دهد که مدول تغییرشکل خاک‌ها متغیر بوده و در محدوده ۶۰۰ تا ۱۶۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع قرار دارد. در هر یک از آزمایش‌های بارگذاری صفحه یک مرحله باربرداری نیز انجام گرفته است. نتایج آزمایش‌های بارگذاری صفحه در جدول ۱ نشان داده شده است. پارامتر مدول الاستیسیته با توجه به آزمایش‌های پرسویمتر و بارگذاری صفحه برآورد شده است. براساس نتایج آزمایش‌های انجام شده، مدول عکس‌العمل بستر در محدوده ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم بر سانتی‌مترمکعب می‌باشد.

متوسط تا زیاد همراه با لایه‌های میانی ریزدانه است و طبقه‌بندی یونیفاید خاک اغلب GC و SC می‌باشد.

جدول ۲- نتایج آزمایش برش درجا [۱۹]

چاهک	Tp-1	Tp-2	Tp-3	Tp-4
عمق (m)	۱۸/۵	۱۶/۵	۱۵	۲۰/۰
نوع خاک	GW	GW	GP-GM	GW
c (kg/cm ²)	۰/۴	۰/۳۸	۰/۲۷	۰/۴۷
ϕ (°)	۳۹/۷	۳۹/۵	۳۸/۴	۴۰/۵

با توجه به نتایج آزمایش‌های آزمایشگاهی و صحرایی انجام شده، مشخصات کلی لایه‌بندی خاک پروژه در جدول ۴ نشان داده شده است [۱۹].

سانتی‌مترمربع و زاویه اصطکاک خاک درشت‌دانه ۳۲ تا ۳۸ درجه و خاک ریزدانه ۲۲ تا ۲۴ درجه است. نتایج مربوط به آزمایش برش درجا و برش مستقیم به ترتیب در جدول ۲ و ۳ نشان داده شده است [۱۹].

جدول ۱- نتایج آزمایش‌های بارگذاری صفحه [۱۹]

چاهک	Tp-1	Tp-2	Tp-3	Tp-4
عمق (m)	۱۸/۳	۱۶/۵	۱۶	۲۰/۰
$K_{s(D=0.45\text{ m})}$ (kg/cm ³)	۲۶/۰	۱۸/۷	۳۰/۰	۲۰/۰
E (kg/cm ²)	۸۱۰	۵۸۲	۹۳۵	۶۲۴
$E_{\text{reloading}}$ (kg/cm ²)	۴۱۷۰	۲۸۶۵	۴۶۵۰	۳۱۲۰

به‌طور کلی، زمین‌شناسی خاک پروژه شامل لایه‌های ماسه‌ای و شنی قله سنگ‌دار با سیمان‌تاسیون

جدول ۳- نتایج آزمایش برش مستقیم [۱۹]

گمانه	عمق (m)	نوع خاک	γ (g/cm ³)	c (kg/cm ²)	ϕ (°)
P-1	۱۳-۱۴	SM	۱/۷۷	۰/۰۴	۳۵/۵
P-1	۳۶-۳۷	CL	۱/۷۷	۰/۱۵	۲۲/۳
P-1	۴۸-۴۹	SC	۱/۹۴	۰/۱۲	۳۴/۲
P-2	۲۹-۳۰	CL	۱/۷۵	۰/۱۳	۲۰/۳
P-3	۱۳-۱۴	SC	۱/۸۲	۰/۰۹	۳۱/۷
P-3	۳۳-۳۴	CL	۱/۷۶	۰/۵۱	۱۹/۲
P-4	۹-۲۳	GC	۱۸	۰/۰۴	۳۹/۳
P-4	۳۲-۳۳	CL	۱/۷۴	۰/۵۳	۱۸/۵

جدول ۴- خصوصیات لایه‌های خاکی پارکینگ نیایش [۱۹]

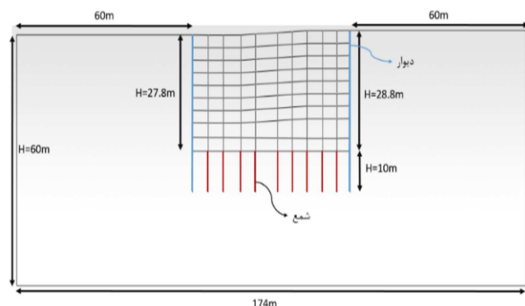
نوع خاک	عمق (m)	γ (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ (°)	ψ (deg)	مدل رفتاری	نسبت پواسون	E_s (kPa)	نوع تحلیل
Filling material	۰-۲	۱۷/۱۰	۵	۲۴	۰	خاک سخت‌شونده	۰/۳۲	۱۰۰۰۰	زهکشی شده
GW-GC	۲-۱۲	۱۹/۰۰	۱۲	۳۷/۱۰	۷/۱	خاک سخت‌شونده	۰/۳۰	۹۵۰۰۰	زهکشی شده
GC-GM	۱۲-۲۰	۱۹/۵۰	۱۵	۳۸	۸	خاک سخت‌شونده	۰/۳۰	۱۰۰۰۰۰	زهکشی شده
SC-GC	۲۰-۳۰	۱۸/۸۰	۱۷	۳۴	۴	خاک سخت‌شونده	۰/۳۱	۸۰۰۰۰	زهکشی شده
SC-CL	۳۰-۴۰	۱۸/۰۰	۳۰	۲۳/۳۰	۰	خاک سخت‌شونده	۰/۳۶	۶۲۵۰۰	زهکشی شده
SC	۴۰-۶۰	۱۸/۵۰	۲۰	۳۳	۳	خاک سخت‌شونده	۰/۳۲	۷۴۰۰۰	زهکشی شده

۳- مدل رفتاری خاک

نوع مسئله از نوع گودبرداری است. از بین مدل‌های رفتاری موجود در MIDAS GTS NX مدل رفتاری خاک سخت‌شونده انتخاب شده است، زیرا این مدل توانایی مدل‌سازی سخت‌شوندگی ایزوتروپیک را دارد و

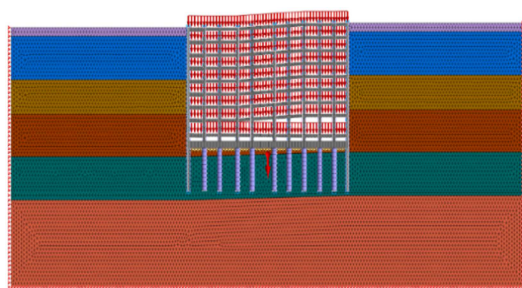
در این پژوهش، مدل‌سازی بر روی خاک دانهای انجام شده است و شرایط بارگذاری به صورت استاتیکی و

دوبعدی سقف‌ها مدل نمی‌شود. به همین منظور، برای در نظرگیری اثر سقف بتنی، بار ۱ تن بر مترمربع لحاظ شده است و در نهایت بار خطی ۵۵ کیلونیوتن بر متر بر اساس سطح بارگیر بر روی تیرها اعمال می‌شود.



شکل ۵- ابعاد مدل در نظر گرفته شده

مش‌بندی و مدل ساخته شده در شکل ۶ مشخص شده است. تحلیل دوبعدی در شرایط کرنش صفحه‌ای می‌باشد و برای مقاطع سازه بتنی از المان یک‌بعدی Beam استفاده شده است. همچنین برای شمع‌ها، ستون‌ها و تیرها فاصله درون صفحه‌ای ۶/۵ متر لحاظ شده است. مشخصات بتن و دیوار مدل شده در جدول ۵ نشان داده شده است.



شکل ۶- مش‌بندی و مدل ساخته شده

جدول ۵- مشخصات سازه‌ای

مصالح	بتن	دیوار
نوع مدل	الاستیک	الاستیک
نسبت پواسون	۰/۲	۰/۲
وزن مخصوص (kN/m ³)	۲۵	۲۵
مدول الاستیسیته (GPa)	۲۴/۷۵	۲۶/۱

به منظور بررسی تغییرشکل‌ها، دیوار وجه غربی در نظر گرفته شده است و در ادامه، چهار حالت پایدارساز گود به جهت مقایسه با هم معرفی می‌شوند.

بخش الاستیک آن غیرخطی می‌باشد. همچنین بعد از تسلیم برخلاف مدل الاستیک پرفکت پلاستیک مدول صفر نمی‌شود. هر دو سخت‌شوندگی فشاری و سخت‌شوندگی برشی در این مدل قابل استفاده است. در تعیین ضریب اطمینان پایداری دقت خوبی دارد و در تحلیل تغییرشکل‌های گودبرداری عمیق، نسبت به مدل مورکولمب عملکرد بهتری دارد [۲۰]. پارامترهای مدل رفتاری خاک سخت‌شونده شامل $E_{oed}^{ref}=E_{50}^{ref}=E_s$ و $E_{ur}^{ref}=3E_{50}^{ref}$ است. همچنین فشار مرجع ۱۰۰ کیلونیوتن بر مترمربع و پارامتر m و R_f به ترتیب برابر با ۰/۹ و ۰/۵ در نظر گرفته شده است.

۴- تحلیل عددی

در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار المان محدود MIDAS GTS NX پروژه پارکینگ طبقاتی نیایش از لحاظ جابه‌جایی دیواره گود و تغییرشکل قائم زمین مجاور گود مورد بررسی قرار گرفته است. به همین منظور، روش ساخت از بالا ایرانی با روش ساخت از بالا دیوار دیافراگمی و روش میخکوبی مقایسه شده است.

سازه مورد نظر شامل نه طبقه زیرزمین با عمق گود حدود ۲۹ متر می‌باشد. قاب انتخاب شده شامل نه ردیف شمع و ستون با قطر شمع ۱/۷۵ و طول ۱۰ متر است. مقطع ستون‌ها شامل ابعاد $۰/۷۵ \times ۰/۷۵$ ، $۰/۶۵ \times ۰/۶۵$ ، $۰/۵۵ \times ۰/۵۵$ متر می‌باشد و مقطع تیرها شامل ابعاد $۰/۶۵ \times ۰/۵۵$ و $۰/۸۰ \times ۰/۵۵$ متر است. همچنین در مرحله آخر گودبرداری پی گسترده با ضخامت ۱/۵ متر مدل شده است. برای تأمین شرایط مرزی مناسب، ابعاد مدل در جهت افق از لبه دو طرف گود به مقدار ۶۰ متر و ارتفاع مدل ۶۰ متر در نظر گرفته شده است. در شکل ۵، ابعاد مدل نشان داده شده است. برای مش‌بندی مدل از مش مثلثی با فاصله ۱ متر استفاده شده است. در مجموع ۲۵۶۹۴ المان و ۱۳۸۴۳ گره در نظر گرفته شده است. مرزهای کناری در راستای افق و مرز پایین در هر دو راستا افق و قائم بسته شده است. با توجه به تحلیل

نمی‌باشد. در این روش، دیوار به صورت چندمرحله‌ای ساخته می‌شود. روش ابداعی این پژوهش، ترکیب اجرای دیوار دیافراگم و دیوار چندمرحله‌ای است. در این مطالعه، دو ضخامت متفاوت دیوار برای روش ساخت از بالا ایرانی در نظر گرفته شده است. حالت اول دیوار ۰/۴۵ متری به صورت کامل و دیوار ۰/۲ متری به صورت چندمرحله‌ای اجرا می‌شود. حالت دوم، دیوار ۰/۲۵ متری کامل و دیوار ۰/۲ متری به صورت چندمرحله‌ای ساخته می‌شود. ضخامت دیوار در حالت دوم با روش ساخت از بالا دیوار دیافراگمی برابر است، با این تفاوت که بخشی از آن به صورت چندمرحله‌ای ساخته می‌شود. در شکل ۷-ب، مراحل اجرای روش ساخت از بالا ایرانی نشان داده شده است. در هر مرحله گودبرداری دو ردیف تیر با فواصل ۶ متری در پنج مرحله اجرا می‌شود. مراحل گودبرداری اجرای روش ساخت از بالا دیوار دیافراگمی نیز به همین شکل است.

۳-۴- روش میخکوبی ترکیب با دیوار (NPWM)

در این تحقیق، روش میخکوبی (NPWM^۵) برای مقایسه با روش ساخت از بالا انتخاب شده است. در گودهای عمیق از روش‌های مرسوم برای پایدارسازی روش میخکوبی است. ۱۴ ردیف نیل با فاصله قائم ۲ متر، فاصله درون صفحه‌ای ۱/۵ متر، طول ۱۵ متر و زاویه ۱۵ درجه با قطر میلگرد ۳۲ میلی‌متر در ترکیب با دیوار ۰/۴۵ متری در نظر گرفته شده است. قطر باند ۰/۱ متر است و برای نیل‌ها از المان یک‌بعدی Embedded Truss استفاده شده است. در شکل ۸، مدل ساخته شده و در جدول ۶ مشخصات سازه‌ای این روش نشان داده شده است. مراحل مدل‌سازی در پنج مرحله مشابه روش ساخت از بالا می‌باشد.

۴-۱- روش ساخت از بالا دیوار دیافراگمی (DWTM)

حالت اول، در نظرگیری روش کلاسیک اجرای ساخت از بالا است که به ساخت از بالا دیوار دیافراگمی معروف می‌باشد. در این روش، دیوار دیافراگمی (DWTM^۳) ابتدا قبل از گودبرداری ساخته می‌شود و در مراحل بعدی، شمع و ستون و در نهایت تیرها به دیوار دیافراگمی به صورت مرحله‌ای متصل می‌شود. روش ساخت از بالا دیوار دیافراگمی روشی است که در جهان مخصوصاً کشورهای شرق آسیا از جمله چین و کره جنوبی معروف است، زیرا این روش در خاک‌های ریزدانه و سست عملکرد خوبی دارد. در این تحقیق از دیوار با ضخامت ۰/۴۵ متر استفاده شده است. در شکل ۷-الف، مراحل اجرای روش ساخت از بالا دیوار دیافراگمی نشان داده شده است. همچنین به دلیل تماس دیوار با خاک، ضریب فصل مشترک ۰/۸ بین آن‌ها در نظر گرفته شده است.

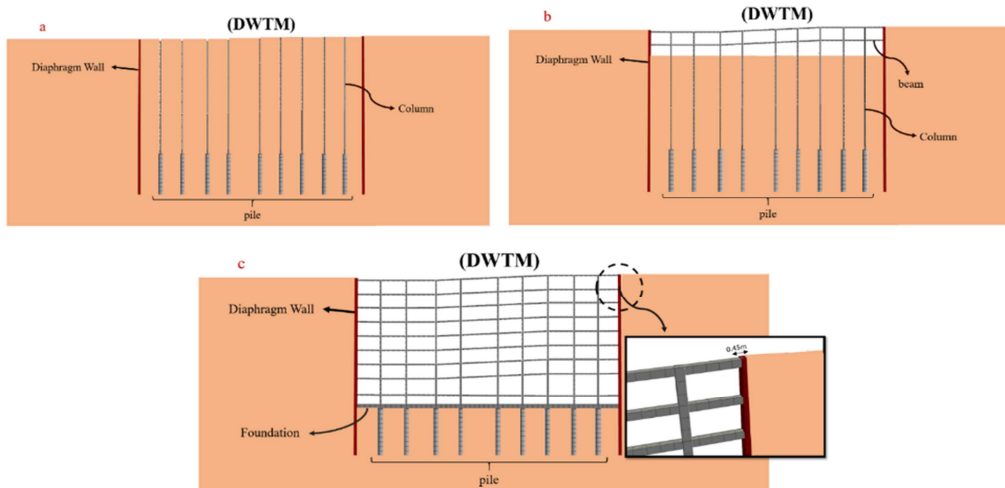
۴-۲- روش ساخت از بالا ایرانی (ITM)

روش ساخت از بالا ایرانی (ITM^۴) یکی از تکنیک‌های اجرایی روش ساخت از بالا است. با توجه به دشواری‌های اجرای دیوار دیافراگمی در خاک‌های سخت استفاده از روش ساخت از بالا دیوار دیافراگمی در پروژه‌های داخلی متداول نشده است. در ایران مخصوصاً شهر تهران که خاک محکم دارد و سطح آب زیرزمینی پایین است، روش ساخت از بالا ایرانی نسبت به روش ساخت از بالا دیوار دیافراگمی عملکرد بهتر و مقرون به صرفه‌تری دارد. در روش بومی از ظرفیت پایداری خاک بین ستون‌های پیرامونی در هر مرحله خاکبرداری و پیش از اجرای دیوار استفاده می‌شود. به همین دلیل روش ساخت از بالا ایرانی در خاک‌های با مدول الاستیسیته بالا می‌تواند کاربردی باشد و در خاک‌های سست مناسب

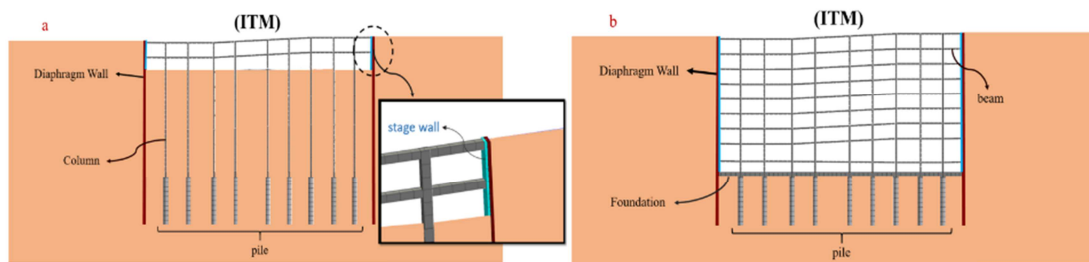
^۳- Diaphragm wall top-down method

^۴- Iranian top-down method

^۵- Nailed pile wall method



(الف)



(ب)

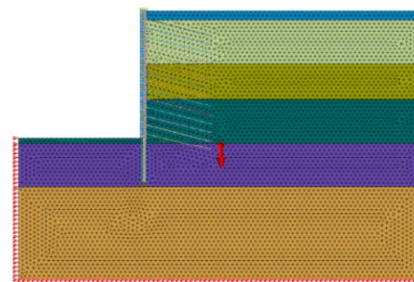
شکل ۷- مراحل اجرای روش ساخت از بالا (الف) دیوار دیافراگمی و (ب) ایرانی

جدول ۶- مشخصات سازه‌های روش میخکوبی

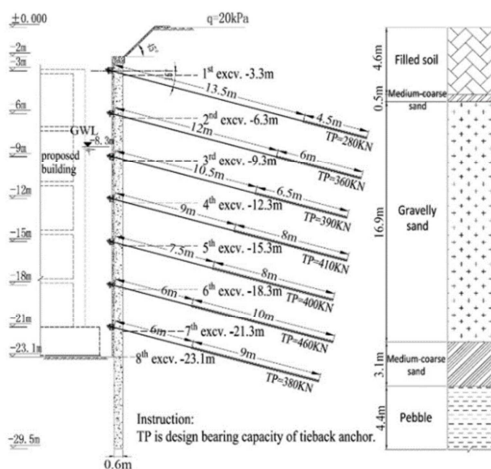
مصلح	نیل	دیوار	دوغاب سیمان
نوع مدل	الاستیک	الاستیک	الاستیک
نسبت پواسون	۰/۳	۰/۲	۰/۱۵
وزن مخصوص (kN/m ³)	۷۸	۲۵	۲۴
مدول الاستیسیته (GPa)	۲۱۰	۲۶/۱	۱۵

۵- صحت‌سنجی

به منظور اطمینان از عملکرد مدل و در جهت صحت‌سنجی نرم‌افزار، از نتایج مطالعات ژانویه و همکاران استفاده شده است. این محققین تغییر شکل دیواره گودی در شهر شنیانگ چین که به روش انکراژ اجرا شده بود را مورد بررسی میدانی و عددی قرار دادند [۲۱]. مطابق شکل ۹ گود مورد بررسی در خاک ماسه‌ای به وسیله دیوار شمعی با انکر پایدار شده است.



شکل ۸- مدل سازی روش میخکوبی در ترکیب با دیوار

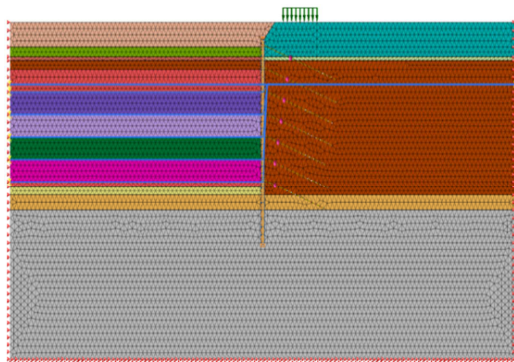


شکل ۹- شماتیک دیوار شمعی با انکر [۲۱]

6- Zhao

جدول ۷- مشخصات سازه‌ای انکر و دیوار [۲۱]

دیوار	انکر	مصالح
الاستیک	الاستیک	نوع مدل
۰/۲	۰/۳	نسبت پواسون
۲۵	۷۸	وزن مخصوص (kN/m ³)
۳۰	۲۱۰	مدول الاستیسیته (GPa)

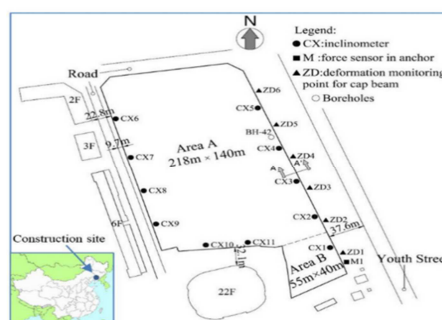


شکل ۱۱- مدل ترسیم شده در نرم افزار Midax GTS NX

خصوصیات مربوط به لایه‌های خاکی در جدول ۸ آورده شده است. پارامتر مدول الاستیسیته مربوط به سطح لایه است و برای خاک دانه‌ای در هر متر، ده درصد مدول افزایش می‌یابد [۲۳ و ۲۴]. در مرحله اول المان خاک به تنهایی مورد تحلیل قرار می‌گیرد و تنش‌های برجا بر مدل اعمال می‌شود. مرحله بعد دیوار ساخته می‌شود و گودبرداری مرحله به مرحله با کاهش سطح آب زیرزمینی و نصب مرحله‌ای انکرها اجرا می‌شود. در مدل‌سازی از تحلیل تنش و ساخت مرحله‌ای برای ارزیابی تغییرشکل‌های ناشی از گودبرداری استفاده شده است.

در شکل ۱۲، می‌توان مقایسه تغییرشکل‌های ایجاد شده در نرم‌افزار Midax GTS NX، با مطالعه ژائو و همکاران را مشاهده کرد. با توجه به نتایج تحلیل، تغییرشکل هر چهار نمودار به صورت شکم‌دادگی در میانه گود است. اما نتایج حاکی از روند خوب تغییرشکل در مدل رفتاری خاک سخت‌شونده است. همچنین تغییرشکل مدل عددی انجام شده، در میانه گود نسبت به تغییرشکل مدل عددی این محققین نتایج بهتری دارد. با توجه به محدودیت ابزارگذاری در انتهای دیوار، این محققین فرض کرده‌اند تغییرشکل افقی در انتهای دیوار

دیوار شمعی شامل شمعه‌های حفاری شده مسلح با فاصله ۱/۱ متری از یکدیگر، قطر ۰/۶ و طول ۲۷ متری می‌باشد. همچنین هفت ردیف انکر با فاصله عمودی ۳ متر به پشت دوخته شده است. فاصله درون صفحه‌ای انکرها ۲/۲ متر برای ردیف‌های دو و سه و برای ردیف‌های دیگر ۱/۱ متر می‌باشد. محققان یاد شده از نرم‌افزار پلکسیس دو و سه‌بعدی استفاده کردند و برای مدل‌سازی خاک محل پروژه از مدل رفتاری خاک سخت‌شونده و از مدل الاستیک خطی برای مدل‌سازی اجزای سازه‌ای استفاده کردند. در شکل ۱۰، پلان سایت و ابزارگذاری نشان داده شده است. سطح آب زیرزمینی در عمق ۸/۳ متر قرار داشت. این پروژه با حداکثر عمق گود ۲۳/۱ متر اجرا شده بود [۲۱].



شکل ۱۰- پلان سایت و ابزارگذاری [۲۱]

برای خاک از المان دوبعدی، کرنش مسطح و انکرها از المان Embedded Truss استفاده شده است. شمعه پروژه به یک دیوار با ضخامت ۰/۴ متر معادل شده است و از المان Beam جهت مدل‌سازی آن استفاده شده است [۲۲]. ضریب فصل مشترک بین دیوار دیافراگمی و خاک ۰/۹ فرض شده است. قطر انکرها به تعداد هفت استرند معادل ۰/۳۵ متر می‌باشد. در فاصله دو تا ۱۰ متری از لبه گود بار ۲۰ کیلونیوتن بر متر در نظر گرفته شده است و پس از آن شرایط مرزی اعمال می‌شود. مرزهای افقی در راستای X و مرز پایین در هر دو جهت X و Y بسته شده است. در جدول ۷، مشخصات مربوط به انکر و دیوار نشان داده شده است. همچنین شکل ۱۱ مدل ترسیم شده در نرم‌افزار MIDAS GTS NX را نشان می‌دهد.

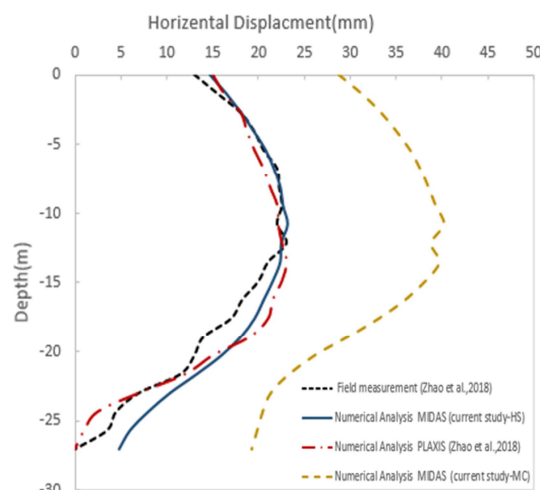
صفر است، اما مقدار کمی تغییر شکل وجود دارد که در مدل عددی انجام شده نشان داده شده است.

جدول ۸- خصوصیات لایه‌های خاکی [۲۱]

نوع خاک	عمق (m)	γ (kN/m^3)	γ_{sat} (kN/m^3)	c (kPa)	ϕ ($^\circ$)	ψ (deg)	مدل رفتاری	نسبت پواسون	E_{50}^{ref} (kPa)	نوع تحلیل
Filled soil	۴/۶	۱۶/۶۶	-	۵	۱۰	صفر	خاک سخت‌شونده	۰/۲۵	۶۰۰۰۰	زهکشی شده
Medium-coarse sand	۰/۵	۱۹/۱۱	-	۱۰	۳۰	صفر	خاک سخت‌شونده	۰/۲	۷۲۰۰۰	زهکشی شده
Gravelly sand	۱۶/۹	۱۹/۶۰	۲۲	۱۰	۳۶/۴	۶/۴	خاک سخت‌شونده	۰/۲	۱۲۰۰۰۰	زهکشی شده
Medium-coarse sand	۳/۱	۱۹/۱۱	۲۱/۵	۱۰	۳۳/۴	۳/۴	خاک سخت‌شونده	۰/۲	۱۰۸۰۰۰	زهکشی شده
Pebble	۱۹/۹	۲۰/۵۸	۲۲	۱	۳۷/۸	۷/۸	خاک سخت‌شونده	۰/۲	۱۶۰۰۰۰	زهکشی شده

پروفیل‌های تغییر شکل نشان می‌دهد که شرایط مرزی در نظر گرفته شده جهت تحلیل تغییر شکل‌ها مناسب است. با توجه به اهمیت جابه‌جایی دیواره گود، در شکل ۱۴ مقایسه‌ای بین نمودارهای تغییر شکل افقی چهار حالت پایداری انجام شده است. در آخرین مرحله گودبرداری چهار حالت پایدار ساز، دیواره گود شکم‌دادگی دارد و حداکثر تغییر شکل دیوار در میانه گود ایجاد می‌شود. روش ساخت از بالا در مقایسه با روش میخکوبی تغییر شکل کمتری دارد و روشی ایمن‌تر محسوب می‌شود. همچنین در انتهای دیوار روش میخکوبی جابه‌جایی‌های به مراتب بیشتری دارد.

حداکثر تغییر شکل دیواره گود برای روش ساخت از بالا دیوار دیافراگمی ۱۵/۱ میلی‌متر، روش ساخت از بالا ایرانی با ضخامت دیوار ۰/۴۵ و ۰/۶۵ متر به ترتیب ۱۲/۴ و ۱۱/۱ میلی‌متر و برای روش میخکوبی ۴۷/۹ میلی‌متر است. نتایج نشان می‌دهد روش میخکوبی سه تا چهار برابر تغییر شکل بیشتری نسبت به هر دو نوع روش ساخت از بالا دارد. روش ساخت از بالا ایرانی با ضخامت دیوار ۰/۴۵ متر، نسبت به روش ساخت از بالا دیوار دیافراگمی با ضخامت ۰/۴۵ متر، ۲۰ الی ۲۵ درصد تغییر شکل افقی کمتری دارد.

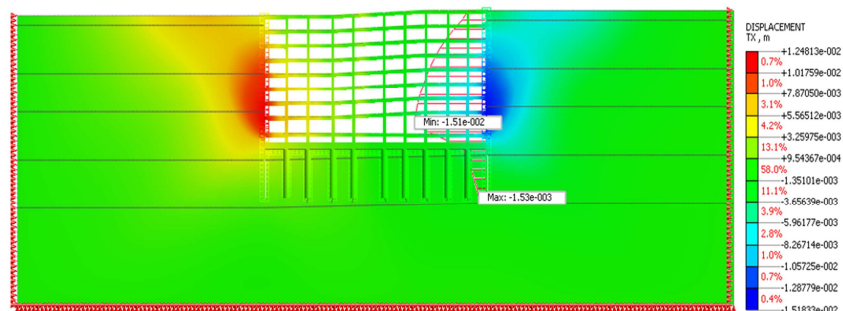


شکل ۱۲- مقایسه نتایج مدل‌سازی Midas GTS NX با مقادیر اندازه‌گیری میدانی و عددی ژائو و همکاران

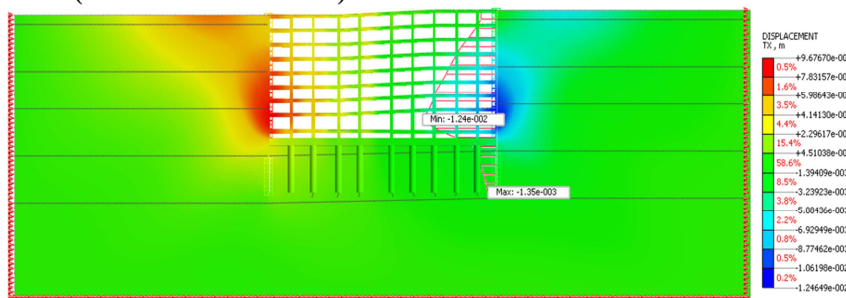
۶- نتایج و بحث

هنگام گودبرداری به دلیل آزاد شدن تنش، دیواره گود تغییر شکل افقی می‌دهد و تغییر شکل‌هایی را به زمین و سازه‌های مجاور ایجاد می‌کند. پروفیل‌های جابه‌جایی گود، نقش به‌سزایی در عملکرد پایداری گود دارند. با توجه به اهمیت کاهش تغییر شکل‌ها، در این تحقیق برای چهار حالت پایداری ذکر شده، پروفیل‌های تغییر شکل افقی مرحله آخر گودبرداری در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

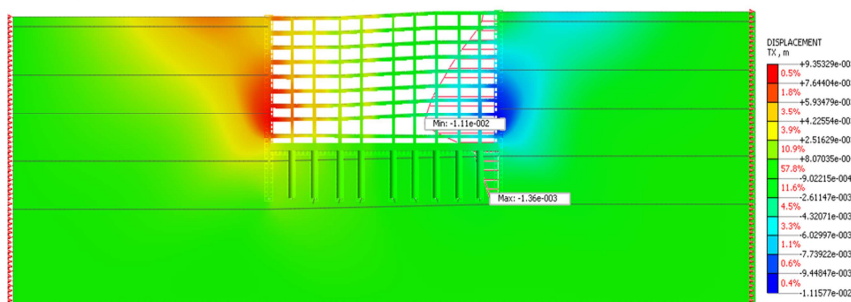
DWTM (Wall thickness 0.45 m)



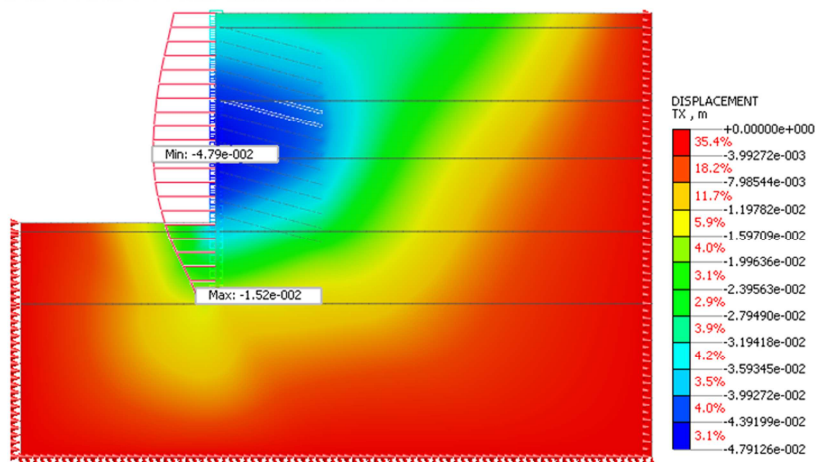
ITM (Wall thickness 0.45 m)



ITM (Wall thickness 0.65 m)



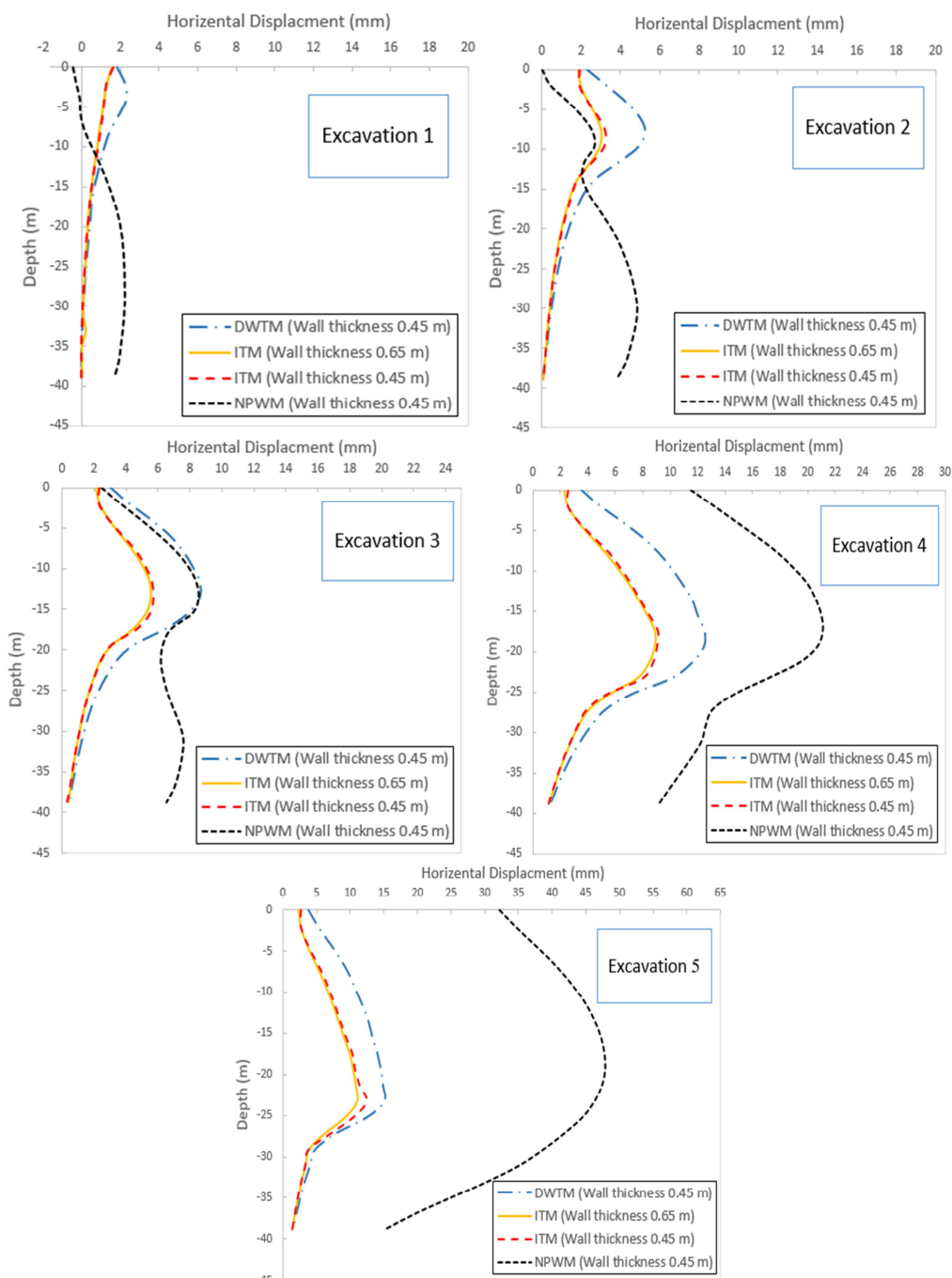
NPWM (Wall thickness 0.45 m)



شکل ۱۳- پروفیل‌های تغییرشکل افقی مرحله آخر گودبرداری برای چهار حالت پایداری

روش ساخت از بالا ایرانی با ضخامت دیوار ۰/۴۵ متر، تغییرشکل آن‌ها تفاوت بسیار اندکی با هم دارند. تفاوت جابه‌جایی دیواره گود، در نهایت باعث تغییرشکل زمین مجاور می‌شود.

نتایج نشان دهنده عملکرد بهتر روش ساخت از بالا ایرانی از لحاظ تغییرشکل افقی است. با توجه به نمودارها، کمترین تغییرشکل افقی مربوط به روش ساخت از بالا ایرانی با ضخامت دیوار ۰/۶۵ متر است. اما در مقایسه با

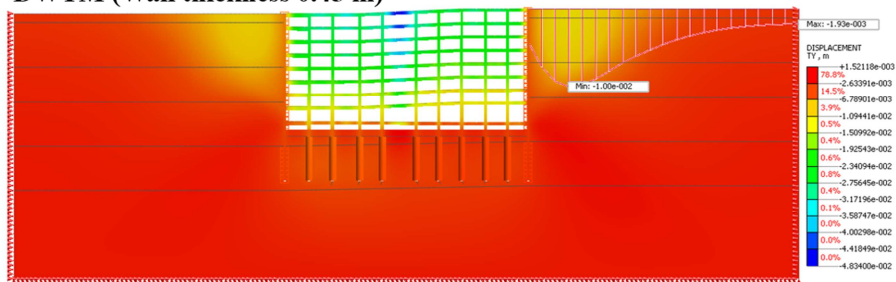


شکل ۱۴- نمودارهای تغییر شکل افقی چهار حالت پایداری در مراحل گودبرداری

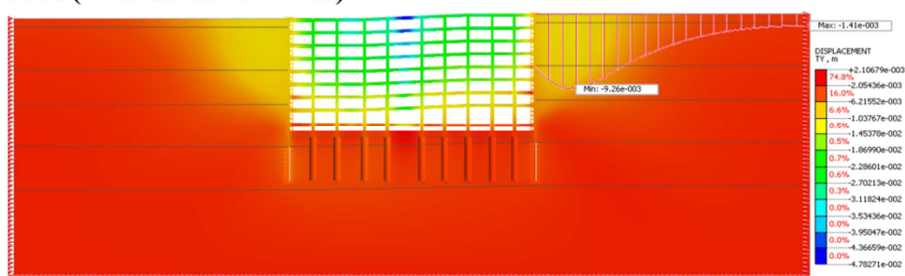
است. نتایج نشان می‌دهد حداکثر تغییر شکل قائم، مربوط به روش میخکوبی با $۳۲/۶$ میلی‌متر است و برای روش ساخت از بالا دیوار دیافراگمی ۱۰ میلی‌متر و روش ساخت از بالا ایرانی با ضخامت دیوار $۰/۴۵$ و $۰/۶۵$ متر، به ترتیب $۹/۲۶$ و $۸/۴۱$ میلی‌متر می‌باشد. نتایج حاکی از آن است که نشست سطح زمین در روش میخکوبی، سه تا چهار برابر بیشتر از روش ساخت از بالا است و محدوده خاک بیشتری را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

گودبرداری در محیط شهری، تغییر شکل‌های قائم را به زمین‌های اطراف تحمیل می‌کند که برای ساختمان‌های مجاور بسیار حائز اهمیت است. مخصوصاً اگر سازه مجاور بافت تاریخی داشته باشد تا حد امکان باید تغییر شکل‌های آن محدود شود. نشست زمین مجاور گود یکی از مهمترین عوامل برای ارزیابی میزان خسارت گودبرداری به سازه مجاور است. در شکل ۱۵ پروفیل‌های نشست زمین برای چهار حالت پایداری نشان داده شده

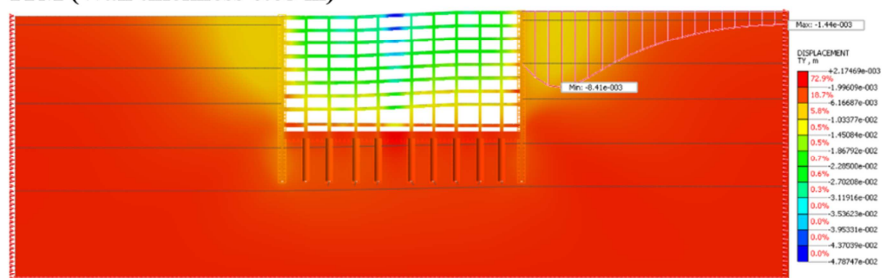
DWTM (Wall thickness 0.45 m)



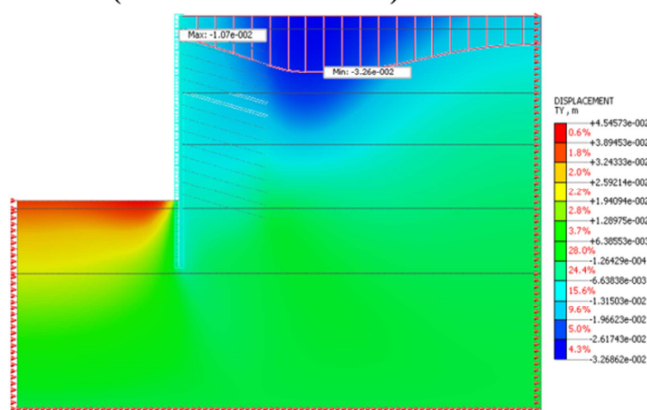
ITM (Wall thickness 0.45 m)



ITM (Wall thickness 0.65 m)



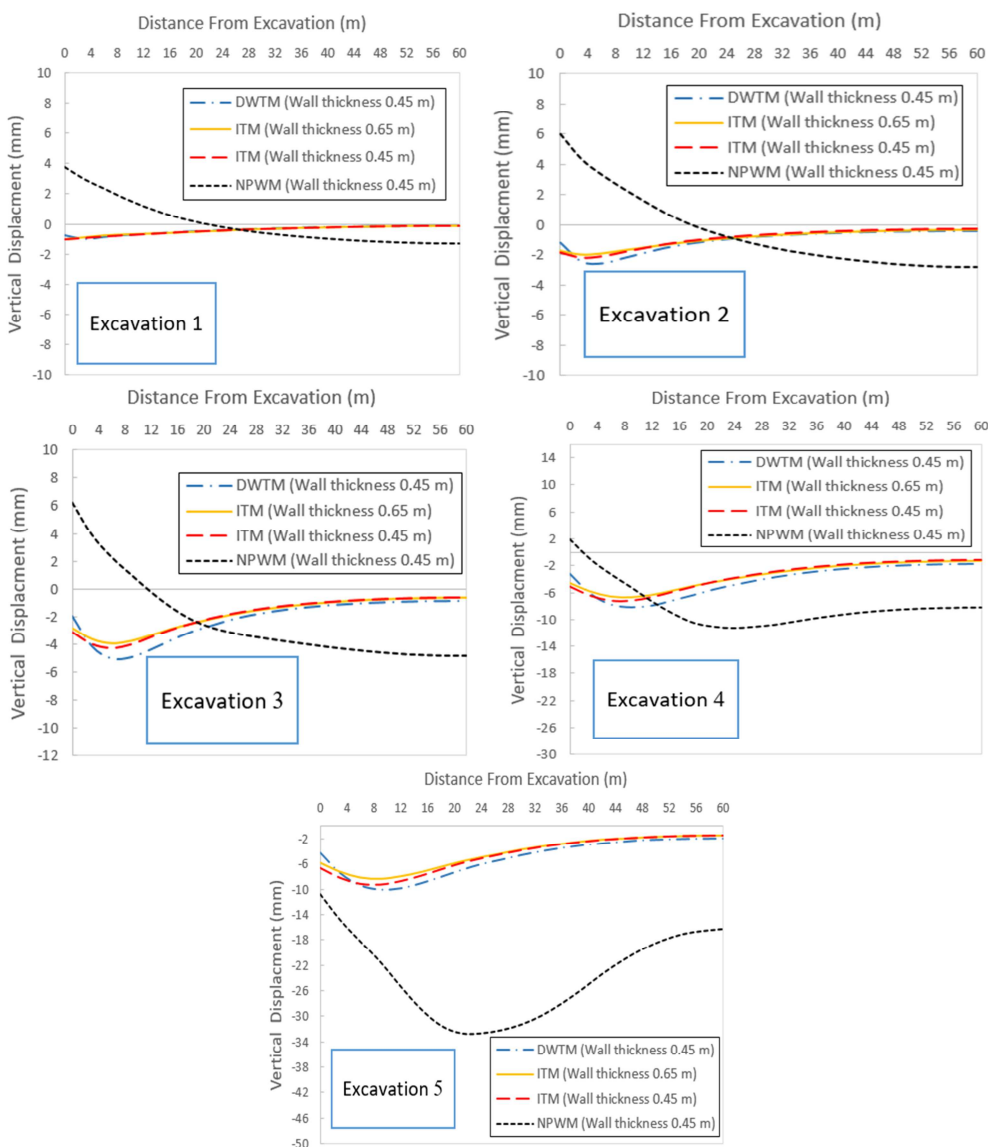
NPWM (Wall thickness 0.45 m)



شکل ۱۵- پروفیل‌های تغییرشکل قائم مرحله آخر گودبرداری برای چهار حالت پایداری

حالی که در روش ساخت از بالا این اتفاق نمی‌افتد. در هر دو روش ساخت از بالا حداکثر نشست زمین در فاصله ۴ تا ۸ متری از لبه گود ایجاد می‌شود. همچنین روش ساخت از بالا ایرانی ۱۰ الی ۱۵ درصد نشست کمتری در سطح زمین نسبت به روش ساخت از بالا دیوار دیافراگمی دارد.

در شکل ۱۶، نمودارهای تغییرشکل زمین مجاور گود، برای چهار حالت پایداری آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد حداکثر نشست زمین برای روش میخکوبی در فاصله دورتری از لبه گود نسبت به روش ساخت از بالا اتفاق می‌افتد. روش میخکوبی در برخی از مراحل، خاک تا فاصله ۲۰ متری از لبه گود دارای بالازدگی می‌شود، در



شکل ۱۶- نمودارهای تغییر شکل قائم چهار حالت پایداری در مراحل گودبرداری

۷- نتیجه گیری

۲- روش ساخت از بالا ایرانی در مقایسه با روش ساخت از بالا دیوار دیافراگمی ۲۰ الی ۲۵ درصد تغییر شکل افقی کمتری دارد. با این حال هر دو روش دارای تغییر شکل‌های کمتری در مقایسه با میخکوبی هستند.

۳- حداکثر تغییر شکل افقی روش ساخت از بالا در میانه‌های گود به صورت شکم‌دادگی دیوار ایجاد می‌شود. اما در روش میخکوبی موقعیت حداکثر تغییر شکل متغیر بوده و در برخی از مراحل، انتهای دیوار تغییر شکل بیشتری دارد.

در این پژوهش، روش نوین ساخت از بالا ایرانی معرفی شد، به منظور ارزیابی این روش از جهت تغییر شکل‌های افقی و قائم با روش ساخت از بالا دیوار دیافراگمی و روش میخکوبی مقایسه شد. نتایج تحلیل‌ها در ادامه ارائه می‌شود.

۱- روش میخکوبی سه تا چهار برابر تغییر شکل بیشتری نسبت به هر دو نوع روش ساخت از بالا دارد و با افزایش عمق گود تفاوت آن‌ها بیشتر می‌شود.

۶- حداکثر نشست زمین برای روش میخکوبی در فاصله دورتری از لبه گود نسبت به روش ساخت از بالا اتفاق می‌افتد. همچنین در روش میخکوبی در برخی از مراحل خاک تا فاصله ۲۰ متری از لبه گود دارای بالازدگی می‌شود، در حالی که در روش ساخت از بالا این اتفاق نمی‌افتد.

۷- روش نوین بیان شده نشان می‌دهد که ساخت دیوار دیافراگم به صورت چندمرحله‌ای، می‌تواند کاهش تغییرشکل‌ها را در پی داشته باشد.

۴- مقایسه نتایج روش ساخت از بالا ایرانی با دو ضخامت دیوار ۰/۴۵ و ۰/۶۵ متر نشان می‌دهد که ضخامت بیشتر دیوار تأثیر ناچیزی بر روی تغییرشکل‌ها دارد و اثر آن را می‌توان نادیده گرفت.

۵- روش ساخت از بالا ایرانی ۱۰ الی ۱۵ درصد نشست کمتری در سطح زمین نسبت به روش ساخت از بالا دیوار دیافراگمی دارد.

References

- [1] Long, M. (2001). Database for retaining wall and ground movements due to deep excavation. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127, 203-224. doi: 10.1061/(ASCE)1090-0241(2001)127:3(203)
- [2] Tan, Y., & Li, M. (2011). Measured performance of a 26 m deep top-down excavation in downtown Shanghai. *Canadian Geotechnical Journal*, 48(5), 704-719. doi:10.1139/t10-100
- [3] Jamsawang, P., Voottipruex, P., Tanseng, P., Jongpradist, P., & Bergado, D. T. (2019). Effectiveness of deep cement mixing walls with top-down construction for deep excavations in soft clay: case study and 3D simulation. *Acta Geotechnica*, 14(1), 225-246. doi: 10.1007/s11440-018-0660-7
- [4] Tuan, B., & Tam, N. (2018). Semi top-down method combined with earth-bank, an effective method for basement construction. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 143(1), 012047. doi: 10.1088/1755-1315/143/1/012047
- [5] Maaruf, A., & Oleynik, P. (2021). Determining the optimal construction method for basements using the Analytic Hierarchy Process. In *E3S Web of Conferences*, 258, 09043. doi:10.1051/e3sconf/202125809043
- [6] Ren, Q., Zhao, Q., Liu, W., Yang, S., Li, S., Yang, J., & Peng, F. (2016). Design and top-down construction at the Nanjing Youth Olympic Center, China. In *proceedings of the institution of Civil Engineers*, 169, 65-70. doi:10.1680/jcien.15.00045
- [7] Ji, x., Ni, p., Zhao, W., & Yu, H. (2019). Top-down excavation of an underpass linking two large scale basements in sandy soil. *Arabian Journal of Geosciences*, 12, 314. doi:10.1007/s12517-019-4493-y
- [8] Parsa-Pajouh, A., Azari, B., Mirlatifi, S., Buys, H., & Cullen, I. (2021). Numerical Analysis of a Top-Down Constructed Deep Basement with Diaphragm Walls in Barangaroo, Sydney-A Case Study. *ISSMGE International Journal of Geoengineering Case Histories*, 7(1), 95-112. doi: 10.4417/IJGCH-07-01-05
- [9] Gui, Y., Zhao, Z., Qin, X., & Wang, J. (2020). Study on deformation law of deep foundation pit with the top-down method and its influence on adjacent subway tunnel. *Advances in Civil Engineering*, 2020, 1-15. doi:10.1155/2020/8852336
- [10] Ramees Ali, M., & Rajasekaran, C. (2019). Performance of Deep Excavation for an Underground Metro Station Constructed by Top-Down Method-A Case Study. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 25, 611-618.
- [11] Li, M. G., Chen, J. J., Xu, A. J., Xia, X. H., & Wang, J. H. (2014). Case study of innovative top-down construction method with channel-type excavation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(5), 05014003. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000828
- [12] Huang, Z. H., Zhao, X. S., Chen, J. J., & Wang, J. H. (2014). Numerical analysis and field monitoring on deformation of the semi-Top-Down excavation in Shanghai. In *New frontiers in geotechnical engineering*, 198-207. doi: 10.1061/9780784413456.021
- [13] Zhu, Y., Sun, F., Liu, M., Liu, Q., Li, X., & Ge, G. (2022). Numerical simulation study on construction effect of top-down construction method of suspended diaphragm wall for deep and large foundation pit in complex stratum. *Advances in Civil Engineering*, 2022. doi:10.1155/2022/8201726
- [14] Hirakawa, K., Hamada, J., & Yamashita, K. (2016). Settlement behavior of piled raft foundation supporting a 300 m tall building in Japan constructed by top-down method. *Japanese Geotechnical Society Special Publication*, 2, 166-169. doi:10.3208/jgssp.ESD-21
- [15] Kim, D., Jeong, S., Jung, G., & Park, J. (2018). Load-sharing ratio of prebored and precast pile in top-down method construction process. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 27(10), e1472. doi: 10.1002/tal.1472

- [16] Fakher, A., Razavi, S. A. R., Shahidi khah, M. (2022). *Excavation and implementation of structure using top-down method*. Soroush Danesh Publications. [In Persian]
- [17] Barkhori, M., & Asgarzadeh, H. (2021). Analysis and Design of a Complex Underground Structure with Economic Comparison of Top-Down and Diaphragm Wall Construction Methods. *Indian Geotech J*, 51, 1234-1248. doi:10.1007/s40098-021-00512-z
- [18] Pazhoohesh Omran Rahvar. (2014). *Calculation book of multi-story parking and Niayesh Commercial Complex project*, 79 pages. [In Persian]
- [19] Mehraji, F., Asghari koljahi, E., & Ghanbari, A. (2012). Geotechnical engineering and geotechnical studies of Tehran underground parking melat with emphasis on soil deformation modulus. *Masters's Thesis*, Engineering Geology, Faculty of Basic Sciences-Department of Geology, Islamic Azad University, Research Sciences Unit. [In Persian]
- [20] Rostamy, F., & Ghanbari, A. (2019). Numerical study of deep excavation by top-down method and deformation analysis, *Geotechnical Civil Engineering Group, Master's Thesis*, Kharazmi University of Tehran. [In Persian]
- [21] Zhao, W., Han, J., Chen, Y., Jia, P., Li, S., Li, Y., & Zhao, Z. (2018). A numerical study on the influence of anchorage failure for a deep excavation retained by anchored pile walls. *Advances in Mechanical Engineering*, 10(2), 1-17. doi: 10.1177/1687814018756775
- [22] Ghanbari, A., & Shabani, M. (2019). *Excavation Engineering Principles*. Amirkabir University of Tehran. [In Persian]
- [23] Malekzadeh, Z. (2014). "Evaluation of static and dynamic elasticity modulus and establishing their comparative relationship with depth changes. *8th National Specialized Geological Conference of Payame Noor University*. [In Persian]
- [24] Decourt. L, (1995). "Load-deflection prediction for laterally loaded piles based on N.SPT values, proceedings", *9th pan-American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*.