

ارزیابی عملکرد و رفتار سنجی سیستم پایدارسازی گود به روش مهار با استرند

محیا رنجبری¹، مهدی مومنی²

1- دانشجوی دکتری ژئوتکنیک، گروه مهندسی عمران، واحد استهبان، دانشگاه آزاد اسلامی، استهبان، ایران.

(نویسنده مسئول m.ranjbari69@gmail.com)

2- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران.

چکیده

در سال های اخیر با توجه به بالا رفتن ارزش اقتصادی زمین، افزایش جمعیت و تامین پارکینگ برای فضاها، گودبرداری های عمیق در مناطق شهری و در مواردی همچون سیستم های حمل و نقل عمومی، ایجاد سازه های عظیم و چند طبقه کاربرد وسیعی پیدا کرده است. چنین گودبرداری هایی می توانند با ایجاد تغییر شکل های نامطلوب در محیط پیرامونی، تاثیرات مخربی بر عملکرد سازه های اطراف داشته باشند. همچنین با توجه به مشکلات اجرایی پیش آمده حین اجرای سیستم پایدارکننده گود و تغییرات اجباری طرح اولیه در بعضی مواضع گود، نیاز به برآورد اثر عملیات گودبرداری بر روی زمین های اطراف امری ضروری می باشد. در این پژوهش، مطالعه و بررسی یک گود عمیق در استان کرمان به عمق 17 متر که در خاک لایه بندی شده ماسه ای سست و با استفاده از سیستم مهار با استرند اجرا شده است و در اثر وجود قنوات و حفرات در بعضی از اضلاع گود، اجرای کامل برخی استرندها در مواضع از قبل پیش بینی شده میسر نگردید، ارائه می گردد. تغییر شکل یکی از دیواره های گود در نرم افزار PLAXIS 2D در حالت طرح اولیه و در غیاب تعدادی از استرندهای طرح اولیه که بعضاً خارج از مواضع طراحی و با دچار تغییر طول حین اجرا شده اند، مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. تغییر شکل های حاصله از تحلیل های عددی با مقادیر برداشت شده از پایش های با نقشه برداری دقیق، مقایسه گردیدند. نتایج حاکی از آن است که قابلیت اعتماد سیستم پایدارسازی گود، در شرایط همچون ساخت (استرندهای مواجه شده با قنوات و حفرات)، در حد قابل قبول و تامین کننده ضرایب ایمنی کافی می باشد.

کلمات کلیدی: گود برداری عمیق، سیستم مهار با استرند، محاسبه تغییر شکل، پایش، PLAXIS.

Performance Evaluation and Behavior Evaluation of Pitting Stabilization System by Strand Containment Method

In recent years, due to the increase in the economic value of land, the increase in population and the provision of parking spaces for spaces, deep excavations in urban areas and in cases such as public transportation systems, the construction of huge and multi-story structures have become widely used. Such excavations can have destructive effects on the performance of the surrounding structures by causing undesirable deformations in the surrounding environment. Also, due to the implementation problems during the implementation of the pit stabilization system and the forced changes of the initial plan in some pit positions, it is necessary to estimate the effect of pitting operations on the surrounding lands. In this study, the study and investigation of a deep pit in Kerman province with a depth of 17 meters that was carried out in loose sand layered soil using a strand containment system and due to the existence of canals and cavities in some sides of the pit, the complete implementation of some strands in the predicted positions was not possible. The deformation of one of the pit walls was analyzed in PLAXIS 2D software in the initial design mode and in the absence of a number of strands of the initial design that were sometimes out of the design positions or underwent a change in length during implementation. The deformations obtained from numerical analyses were compared with the values obtained from accurate mapping observations. The results indicate that the reliability of the pit stabilization system, in conditions such as construction, is at an acceptable level.

Key words: Deep excavation, strand containment system, deformation calculation, monitoring, PLAXIS

1. مقدمه

نیازمند بررسی‌های همه جانبه، دقت و نظارت و در نهایت صرف وقت و هزینه قابل ملاحظه‌ای است تا جان و مال مردم از این طریق به خطر نیفتد [1]. یکی از روش‌های پایدارسازی جدارهای خاکی، استفاده از روش مهار با انکر می‌باشد. انکر پیش تنیده، یک المان سازه‌ای است که در خاک یا سنگ نصب شده و برای انتقال نیروی کششی اعمال شده به خاک استفاده می‌شود. به هنگام گودبرداری، به دلیل تغییرات گسترده سطح تنش، دیواره گود تغییر شکل داده و تغییر شکل‌هایی را به زمین مجاور و ساختمان‌های واقع در آن اعمال می‌کند. مطالعات بسیاری در جهت بررسی این تغییر شکل‌ها و اثرات آن بر

امروزه به دلیل توسعه روزافزون شهرها، افزایش جمعیت و به تبع آن کمبود و قیمت قابل توجه زمین، نیاز به ساخت ساختمان‌های بلند مرتبه در شهرها افزایش یافته است. در اغلب موارد برای فعالیت‌های ساختمانی و عمرانی نیاز به گودبرداری و حفر ترانشه‌های قائم خواهد بود، که در نقاط پر تراکم شهری با مشکلات متعددی همراه است. از این رو موضوع گودبرداری، طراحی و اجرای سازه‌های نگهدارنده نیاز به مطالعات و بررسی‌های دقیق بر پایه شرایط محیطی، روش اجرا، شرایط همجواری‌ها و هندسه گودبرداری دارد. گودبرداری اصولاً جزء کارهای پیچیده و بسیار خطرناک مهندسی، به ویژه در گودهای با عمق زیاد، می‌باشد که

طریق مقایسه نتایج حاصل از مدل سازی های اولیه (مرحله اول) در نرم افزار *Plaxis 2D* با نتایج مدل سازی گود اجرا شده (مرحله دوم) در نرم افزار *Plaxis 2D* و تغییر شکل های حاصل از نقشه برداری دیواره گود بعد از اتمام عملیات سیستم پایدارساز، قابلیت اعتماد سیستم پایدارسازی این گود مورد ارزیابی قرار گرفت. تغییر شکل های حاصله از نقشه برداری دقیق، مقایسه گردیدند. نتایج حاکی از آن است که قابلیت اعتماد سیستم پایدارسازی گود حتی با عدم عملکرد استرندهای مواجه شده با قنوات و حفرات، در حد قابل قبول و تامین ضرایب ایمنی کافی می باشد

2. مشخصات محدوده طرح و مطالعات ژئوتکنیک

گود ساختمان تجاری مورد مطالعه واقع در شهر کرمان، شهر سیرجان، میدان انقلاب می باشد (شکل 1). مساحت گود حدوداً 780 مترمربع و عمق آن 17 متر می باشد. اضلاع شمالی، جنوبی و غربی گود در مجاورت معابر عمومی و ضلع شرقی در مجاورت ساختمان اداری قرار گرفته اند. جهت جلوگیری از هر گونه تغییر شکل غیر استاندارد و آسیب به ساختمان مجاور گود، تارگت هایی جهت پایش گود در نظر گرفته شده است. پروژه دارای شش طبقه پارکینگ و اسکلت فلزی می باشد. موقعیت زمین پروژه در شکل 1 و پلان پروژه در شکل 2 نشان داده شده است.



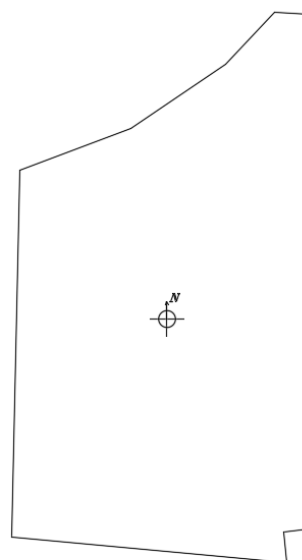
سازه های مجاور گود انجام شده است. از جمله این تحقیقات می توان به مطالعات انجام شده توسط بوسکاردینگ و کوردینگ (1989) [2] اشاره کرد. بر اساس مطالعات محققین مذکور وقتی که ساختمان به علت گودبرداری تغییر شکل می دهد، علاوه بر نشست قائم تغییر شکل های افقی هم به وجود می آیند که ترکیب این دو تغییر شکل منجر به ایجاد آسیب در سازه می شود. آن ها اهمیت کرنش افقی را در آغاز خرابی ها نشان دادند. همچنین بر اساس مطالعات چنگ و لئو و یو (2005) عواملی نظیر اندازه فونداسیون ساختمان مجاور گود، طول لبه گودبرداری و شکل منحنی تغییر شکل بر نحوه عملکرد سازه مجاور گود در حین عملیات گودبرداری تاثیر گذار است [3].

امروزه تحلیل های عددی اهمیت زیادی در پروژه های ژئوتکنیکی دارند. به کمک مدل سازی های عددی می توان تغییر شکل های قائم و افقی دیواره گود را بررسی کرد و نرم افزار *Plaxis* به عنوان یک ابزار کارآمد در این زمینه شناخته شده و تا کنون مطالعات زیادی در رابطه با مدل سازی عددی دیواره های گود با این نرم افزار *Plaxis* انجام شده است [4, 5, 6]. با توجه به این که اغلب در کارهای اجرایی، اختلافاتی بین طرح اولیه و سازه اجرا شده ایجاد می شود و این اختلافات می تواند منجر به تغییر در ضرایب اطمینان اولیه لحاظ شده در طراحی گردد، بدین منظور در این مقاله سعی شده است با یک مطالعه موردی پیرامون پایدارسازی یک گود با عمق 17 متر به روش سیستم مهار با انکر در شهر سیرجان - کرمان تغییر در ضرایب ایمنی و قابلیت اعتماد بررسی گردد.

در این گود با توجه به عدم عملکرد مناسب تعدادی از استرندهای اجرا شده در ضلع غربی به دلیل وجود موانعی همچون حفرات و قنوات مشاهده شده حین حفاری که در دفترچه مطالعات ژئوتکنیک به آن ها اشاره ای نشده بود، تغییراتی در طرح اولیه گود در این ضلع ایجاد شد. لذا از

ردیف	وزن مخصوص طبیعی خاک ($\frac{gr}{cm^3}$)	زاویه اصطکاک داخلی ($degree$)	چسبندگی ($\frac{kg}{cm^2}$)	مدول الاستیسیته ($\frac{kg}{cm^2}$)
1	1/70-1/85	21-25	0/01-0/1	-300 200

شکل 1. موقعیت پروژه در نقشه گوگل ارث



شکل 2. پلان پروژه

3. معرفی کلی روش پایدارسازی گود مورد مطالعه و طرح سیستم پایش

یکی از روش‌های پایدارسازی جدارهای خاکی، استفاده از روش مهارى با انکر می‌باشد. انکر پیش تنیده، یک المان سازه‌ای است که در خاک یا سنگ نصب شده و برای انتقال نیروی کششی اعمال شده به خاک استفاده می‌شود. انکرها در حفرة‌های از پیش حفاری شده که با دوغاب پر شده‌اند قرار دارند. مصالح خود انکر می‌تواند از نوع میلگرد و یا رشته‌ای (*Strand*) باشد. اجرای انکر به صورت مرحله‌ای از بالا به پایین می‌باشد و بسته به مدت زمان پایدارسازی به دو نوع موقت یا دائمی تقسیم بندی می‌شوند. سیستم مهار با انکر به منظور ایجاد پایداری داخلی جدار در مقابل حالات مختلف گسیختگی خارجی و تامین سرویس پذیری به کار می‌رود، بنابراین در طراحی‌های جدارهای مهارى بایستی به کاهش تغییر مکان جدار و همچنین بسیج شدن نیروها در مقابل بارهای خارجی توسط انکر توجه نمود. انکرها بایستی نیروهای وارده به جدار مانند فشارهای جانبی خاک، آب و بارهای خارجی را جبران نمایند. بدین منظور نیروهای پیش تنیدگی انکر از طریق قسمت غیرمهارى انکر به قسمت مهارى انکر که در پشت منطقه فعال خاک قرار دارد انتقال داده می‌شود.

در مطالعات ژئوتکنیک صحرایی و آزمایشگاهی خاک محل پروژه عموماً به صورت SM شناسایی شده اند [7]. جدول 1 پارامترهای ژئوتکنیکی متوسط خاک محل پروژه را نشان می‌دهد.

جدول 1- پارامترهای ژئوتکنیکی خاک محل پروژه

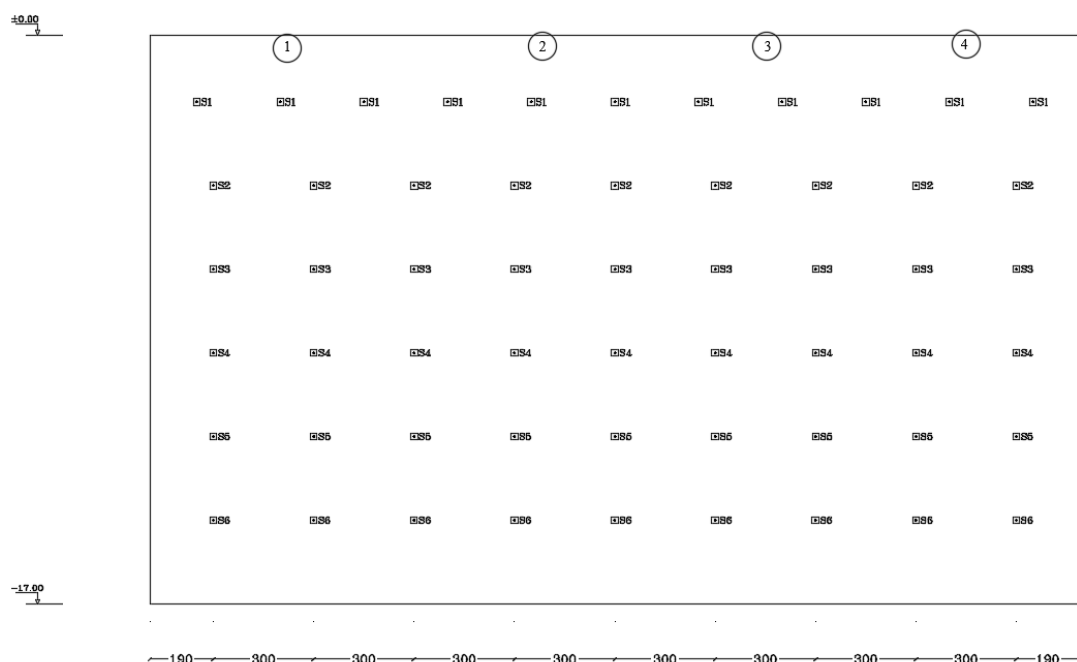
مهارهای مورد استفاده در پروژه، تشکیل شده از استرندهای 10/6 اینچ از جنس فولاد پرمقاومت (Grade180) با حداقل مقاومت نهایی کششی $f_u=1860Mpa$ مطابق استاندارد ASTM A416 می باشد. سطح مقطع خالص هر رشته استرندها 140 میلیمتر مربع می باشد. مقاومت نهایی در نظر گرفته شده در هر رشته استرندها مورد استفاده 26 تن می باشد. در تحلیل تغییر شکل، نیروی قفل شدگی مهارها برابر 66٪ مقاومت نهایی لحاظ شده است. در مدل سازی از سختی خمشی مهارها صرف نظر و سختی محوری مهار نیز بر اساس تعداد رشته های استرندها و مدول الاستیک فولاد و فاصله افقی مهارها محاسبه شده است. در این پروژه به منظور کنترل وضعیت گود، علاوه بر پایش های چشمی، با نصب تارگتهایی بر روی دیواره گود و قرائت میزان جابجایی این تارگتها در فواصل زمانی مناسب با دوربین های نقشه برداری، وضعیت تغییر شکل ایجاد شده حین و پس از اتمام گودبرداری کنترل گردید. محل نصب تارگت ها بر روی دیواره ضلع غربی وفق دستورالعمل های موجود مطابق شکل 4 طراحی و اجرا گردید.



شکل 3. نمایی از پایدارسازی دیواره غربی گود

در روش انکراژ، حفاری به صورت مرحله به مرحله از بالا به پایین گود اجرا می شود. در هر مرحله به کمک دستگاه های حفاری ویژه، چاهک های افقی یا مایل در بدنه دیواره گود حفر می شود، سپس درون این چاهک ها کابل پیش تنیدگی قرار می گیرد و با تزریق بتن در انتهای چاهک ها، این کابل ها کاملاً در خاک مهار می شود. سپس کابل های مزبور به کمک جک های ویژه کشیده شده و انتهای بیرون آمده کابل ها بر روی سطح دیواره گود مهار می شود. این کار موجب آن می شود که نیروی نیروی پیش تنیدگی موجود در کابل خاک را فشرده سازد و در عین حال کل نیروی رانش خاک در دیواره گود به خاک های داخل بدنه دیواره منتقل شده و خاک بدنه انتهایی به عنوان سازه نگهبان عمل کرده و رانش خاک بدنه مجاور گود را تحمل کند. عمق گودبرداری در هر مرحله بستگی به نوع خاک و فاصله بین چاهک ها دارد و معمولاً بین 2 تا 3 متر می باشد [8].

به منظور پایدارسازی دیواره های گود سمگا با در نظر گرفتن تمامی شرایط (موقعیت قرارگیری و عمق گود، خصوصیات خاک محل پروژه، محدودیت زمانی) از سیستم مهار با استرندها (رشته 4) استفاده شده است. با توجه به یکسان بودن عمق و سربار موجود در اضلاع شمالی، جنوبی و غربی گود 6 ردیف استرندها 4 رشته ای با فواصل افقی 3 متر، طول بین 18 الی 20 متر و زاویه 10 الی 15 درجه نسبت به افق (شکل 3) و در ضلع شرقی (ضلع بحرانی گود) با عمق و سربار متفاوت با بقیه اضلاع، 5 ردیف استرندها 4 رشته ای با فواصل افقی 2/5 متر، طول بین 14 الی 18 متر و زاویه 10 الی 15 درجه نسبت به افق (شکل 4) اجرا شده است [9].



شکل 4. چیدمان نقاط انتخابی جهت پایش گود در ضلع غربی

4. مدل سازی عددی

تغییر صلبیت آن در مقادیر کرنش های مختلف، مدول های متفاوتی برای آن قابل تعریف است. به همین دلیل استفاده از مدل هایی که خواص غیرخطی قبل از شکست و همچنین تغییرات سختی خاک را در نظر می گیرند، می تواند پیش بینی دقیق تری از جابه جایی ها داشته باشد. یکی از مسایل مهم در مهندسی ژئوتکنیک تفاوت میان مدول اندازه گیری شده در آزمایشگاه و مقادیر حاصل از تحلیل های برگشتی است و یکی از مهمترین دستاوردهای مهندسی ژئوتکنیک در سی سال اخیر توجیه ویژگی های اساسی صلبیت خاک است. در دهه های اخیر مدل های رفتاری زیادی برای خاک توسعه داده شده اند که اغلب، پیچیدگی این مدل ها و تعداد زیاد پارامترهایشان، بازدارنده استفاده آنها در کدهای محاسباتی شده و سودمندی آنها را در مقاصد عملی کاهش داده است. در عمل، از میان مدل های رفتاری موجود، مدلی

امروزه تحلیل های عددی اهمیت زیادی در پروژه های ژئوتکنیکی دارند و به طور گسترده ای جایگزین روش های تجربی شده اند. هر چند از روش های تجربی نیز برای کنترل نتایج تحلیل های عددی استفاده می شود. به کمک مدل سازی های عددی می توان تغییر شکل های قائم وافقی دیواره گود را بررسی کرد. یکی از اساسی ترین مراحل تحلیل های عددی برای توصیف رفتار مکانیکی خاک، انتخاب مدل رفتاری مناسب است. انتخاب یک مدل مناسب تابع شرایط متفاوتی است اما موضوع اصلی نوع تحلیلی است که کاربر قصد انجام آن را دارد و نیز دقت صحت سنجی و مقادیر پیش بینی با مدل و نیز اطلاعات در دسترس خاک است [10].

یکی از مشکل ترین پارامترها برای تخمین به منظور توصیف رفتار مکانیکی خاک، مدول تغییر شکل خاک است که به واسطه رفتار غیرخطی خاک در منحنی تنش-کرنش و

که علاوه بر سهولت در تعیین پارامترهای مواد نتایج واقعی - تری به دست می‌دهد، بیشتر در مدل‌سازی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد [11].

به این ترتیب برای مدل‌سازی گودهای شهری و با توجه به ماهیت خاک شهر سیرجان، استفاده از مدل رفتاری خاک سخت شونده (*HS*) پیشنهاد می‌شود که در این تحقیق تغییر شکل دیواره گود با استفاده از این مدل ارائه شده است.

4-1. مدل رفتاری خاک سخت شونده

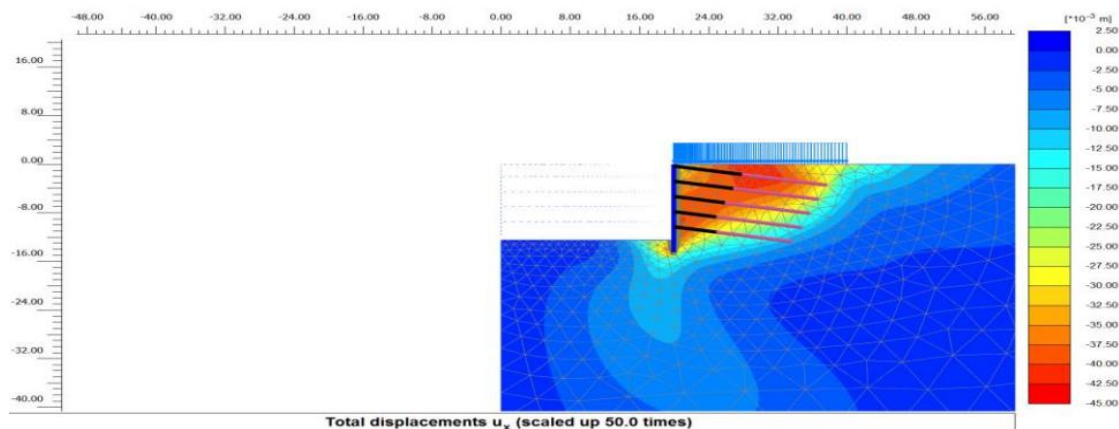
مدل رفتاری *HS* یکی از مدل‌هایی است که بر مبنای مکانیک خاک حالت بحرانی توسعه داده شده و شامل دو حالت استاندارد و کرنش‌های کوچک است. در مدل *HS*، کرنش کلی بر اساس مقدار تنش وابسته به سختی محاسبه می‌شود که مقدار آن در بارگذاری و باربرداری متفاوت بوده و فرض بر این است که شرایط ایزوتروپیک بر توده خاک حاکم است [12]. از مدل *HS* میتوان برای بررسی رفتار سیلت‌های رسی، خاک‌های شنی و ماسه‌ای و خاک‌های رسی با نسبت پیش‌تحکیمی پایین استفاده کرد. بیشترین کاربرد مدل *HS* در مواردی است که بحث باربرداری و بارگذاری مجدد در خاک مطرح است مانند رفتار خاک در گودبرداری‌ها و تونل‌ها.

در این مدل مشابه مدل موهر-کولمب حالت تنش حدی با استفاده از پارامترهای چسبندگی، زاویه اصطکاک داخلی و زاویه اتساع بیان می‌شود ولی وضعیت خاک پیش از گسیختگی به وسیله سه پارامتر مدول بارگذاری سه محوره (اندیس 50 به معنی مدول سکانت در نصف مقاومت نهایی

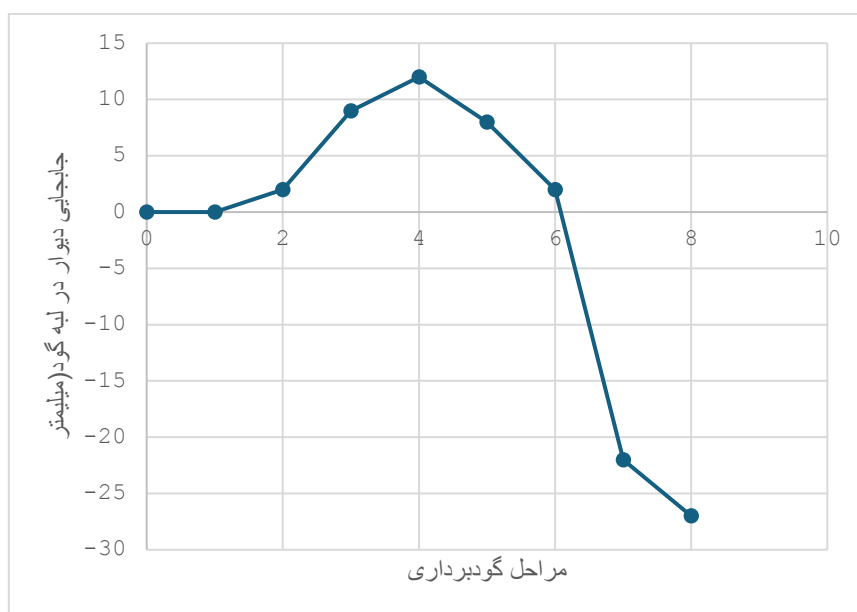
است)، مدول باربرداری (شیب خط مماس بر منحنی بارگذاری - باربرداری مجدد) و مدول ادئومتری (مدول مماسی در مرحله اولیه بارگذاری تحکیمی یا بخش الاستیک منحنی) توصیف می‌شود [13].

4-2. مدل‌سازی گود (مرحله اول) در نرم افزار *Plaxis 2D*

در مرحله اول از مدل رفتاری خاک سخت شونده (*HS*) استفاده شد. شکل 5 تغییر شکل‌های افقی دیواره گود (ضلع غربی) و شکل 6 نمودار جابجایی تاج گود (نقطه پایش گود، نقطه 1) در هر مرحله از گودبرداری را نشان می‌دهد.



شکل 5. تغییر شکل افقی دیواره گود در ضلع غربی



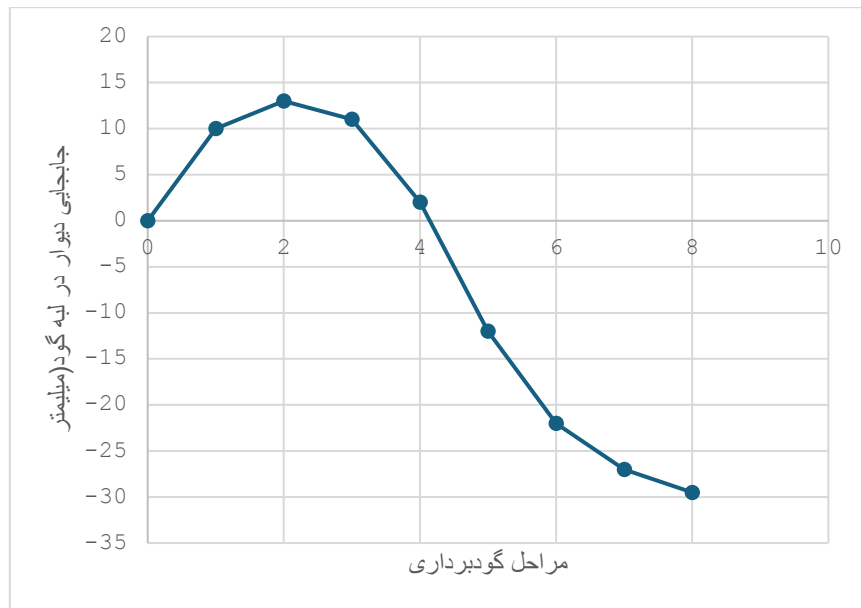
شکل 6. نمودار تغییر شکل افقی تاج دیواره گود در ضلع غربی

3-4. مدل سازی گود (مرحله دوم) در نرم

افزار Plaxis2D

جابجایی نقطه 1 در نرم افزار Plaxis 2D در شکل 7 نشان داده شده است ساخته شده در نرم افزار اجزای محدود در این مطالعه را نشان می دهد.

به دلیل برخورد با حفرات و قنوات در ضلع غربی و به دنبال آن عدم عملکرد مناسب تعدادی از استرندهای این ضلع، وضعیت نهایی گود با استفاده از مدل خاک سخت شونده (HS) در نرم افزار Plaxis2D مدل سازی شد نمودار

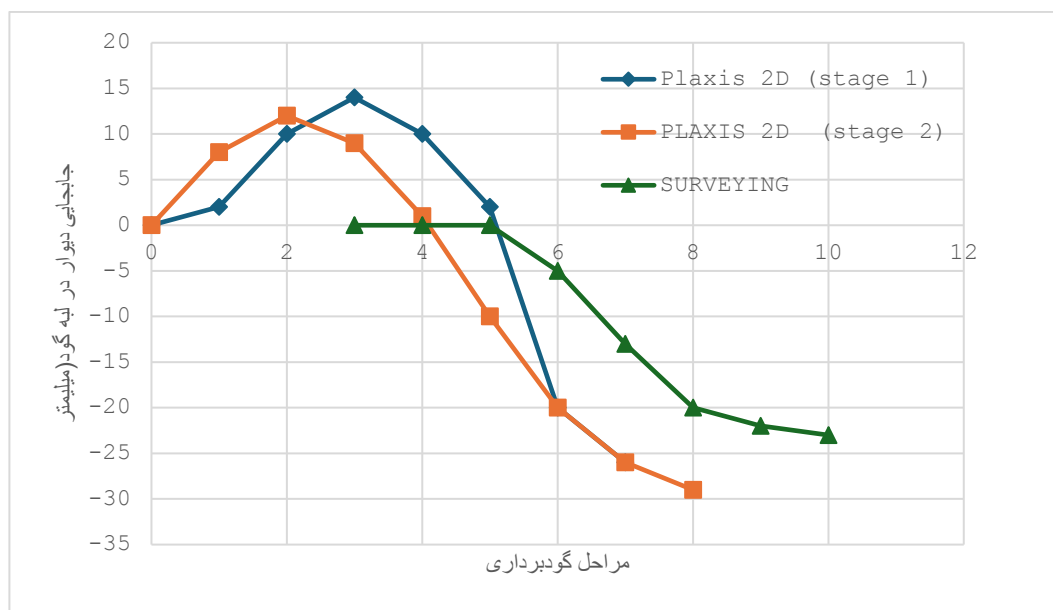


شکل 7. نمودار تغییر شکل نقطه 1 در ضلع غربی

5. تحلیل نتایج

در این پروژه، با توجه به یکسان بودن شرایط از جمله جنس خاک (فرض همگن بودن)، سربار موجود در ضلع غربی و پذیرش شرایط کرنش صفحه ای، در مرحله اول یک مقطع از این ضلع در نرم افزار Plaxis 2D مدل سازی شد. طرح و اجرای سیستم پایدار سازی بر اساس نتایج این تحلیل صورت پذیرفت. اما در زمان اجرای سیستم پایدار کننده گود و با برخورد به حفرات و قنوات

در ضلع غربی و عدم عملکرد تعدادی از استرندهای این ضلع، و تغییر طول و فاصله های اولیه، شرایط در مقاطع مختلف ضلع غربی تغییر یافت. لذا به منظور کنترل تغییر شکل ها، سیستم پایدار کننده گود در نرم افزار Plaxis 2D مدل سازی و نتایج تغییر شکل های افقی (نقطه 1) حاصل از نرم افزار Plaxis 2D، و نقشه برداری دقیق در شکل 8 نشان داده شده اند.



شکل 8. نتایج تغییر شکل های افقی (نقطه 1) حاصل از نرم افزار Plaxis 2D، و نقشه برداری دقیق

گسترده‌ای استفاده می‌شود. نرم افزار *Plaxis 2D* در شرایط کرنش صفحه‌ای پاسخ‌های مناسبی ارائه می‌نماید. عدم ایجاد شرایط کرنش صفحه‌ای در عمل می‌تواند ناشی از وجود ناهنجاری‌های زیرسطحی ناشناخته در فاز مطالعات ژئوتکنیک باشد. نتایج حاصل از تحلیل‌های دوبعدی با نرم افزار *Plaxis 2D* برای گود مورد مطالعه ارائه گردید. نتایج حاصله از این تحلیل‌ها در نقطه پایش شده از گود به روش نقشه برداری دقیق (نقطه 1) با نتایج پایش نقشه برداری آن نقطه انطباق قابل قبولی را نشان داده و طرح و اجرای سیستم پایدارساز گود از قابلیت اعتماد کافی برخوردار است.

همانطور که شکل 8 نشان می‌دهد، نتایج تغییر شکل افقی نقطه 1 در ضلع بحرانی گود در نرم افزار *Plaxis 2D* در حد مجاز آیین نامه‌ای می‌باشد. نقشه برداری دقیق دیواره گود، مقادیر جابجایی‌هایی حاصله از تحلیل‌های اجزا محدود را تصدیق می‌نماید. اختلاف جزئی بین نتایج ناشی از تحلیل‌ها با نقشه برداری ریشه در برخی ناهمگنی‌های جزیی لایه‌های خاک دارد.

6. جمع بندی و نتیجه‌گیری

تحلیل‌های عددی مبتنی بر روش اجزاء محدود در نرم افزارهایی همچون *Plaxis 2D* برای بررسی پایداری دیواره‌های گود در سیستم‌های مختلف پایدارساز به طور

مراجع

1. سازمان نظام مهندسی ساختمان استان تهران (1398)، "پیش نویس نظام نامه گودبرداری و سازه نگهبان".
2. Boscardin, M.D. and Cording, E.G. (1989), "Building Response to Excavation-Induced Settlement, *Journal of Geotechnical Engineering*," Vol. 115, No.1 January, pp 1-21.
3. Ou, C. Y., Liao, J. T., & Cheng, W. L. (2000), "Building response and ground movements induced by a deep excavation. *Geotechnique*, 50(3), 209-220.
4. Nhu, H. V., Duong, B. V., Vo, T. A., & Pham, K. T, (2020), "Using numerical modeling method for design and constructive controlling of excavation wall in Madison Building, Ho Chi Minh city", *Journal of Mining and Earth Sciences*, 61(03), 19-27.
5. Dinakar, K. N., & Prasad, S. K, (2014), "Behaviour of tie back sheet pile wall for deep excavation using plaxis," *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(6), 97-103.
6. Rutherford, C. J., Biscontin, G., Koutsoftas, D., & Briaud, J. L, (2006), "Numerical modeling of deep soil mixing excavation support," *In GeoCongress 2006: Geotechnical Engineering in the Information Technology Age* (pp. 1-5).

7. اداره کل آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان کرمان (1399)، "مطالعات ژئوتکنیک پروژه تجاری- اداری سیرجان".

8. Publication FHWA-IF-99-015 (1999), "Ground Anchors and Anchored Systems," Federal Highway Administration, Washington D.C.

9. شرکت مهندسين مشاور زيماراز پارس (1399)، "دفترچه طراحی سيستم پايدارسازی گود پروژه تجاری- اداری سيرجان".

10. Gulvanessian, H., Calgaro, J. A., & Holický, M. (2002), "Designer's guide to EN 1990: eurocode: basis of structural design," Thomas Telford.

11. کامکار، ف. وحسینی، م. (1397)، "بررسی کارایی مدل‌های رفتاری متدوال خاک در پیش‌بینی نشست سطح زمین ناشی از حفر تونل در خاک‌های درشت دانه به روش اجزاء محدود، دوره سوم، شماره 2، تابستان 1397، صفحه 35 تا 52.

12. Obrzud, R. F. (2010), "On the use of the Hardening Soil Small Strain model in geotechnical practice," Numerics in Geotechnics and Structures, 16, 1-17.

13. PLAXIS 2D, manual, V.20.0.0119 Finite element for soil analyses (Version 20.0.0119)