

مدل سازی مهاربندها با شمع های درجا و نیلینگ در محاسبه نیروی های برشی دیواره گودبرداری ها

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۱

کد مقاله: ۱۱۸۱۷

محمد مهدی میرزائی سرشت^{۱*}، امیر نادر سراجی^۲

چکیده

در مواردی که امکان ایجاد مهارهای جانبی (کششی) در زیر ساختمان های مجاور ناشی از گودبرداری وجود ندارد و یا در تالاقی با تاسیسات زیر بنایی شهری و مستحذات زیرزمینی (تونل) باشد. هدف از انجام این تحقیق مدل سازی مهاربندها با شمع های درجا و نیلینگ در محاسبه نیروی های برشی دیواره گود برداری ها می باشد. در این تحقیق ابتدا مدل های خود را با نرم افزار plaxis شبیه سازی می کنیم و خاک را در لایه های مختلف و در هر لایه پس از مدل کردن تغییر مکان و ضریب اطمینان دیواره گود را بررسی می کنیم. پس از آن دیواره را با نیل مدل می کنیم و تغییر مکان و ضریب اطمینان را به دست می آوریم. سپس دیواره را با شمع مدل می کنیم و همان موارد را برای مدل شمع نیز به دست می آوریم، در نهایت سیستم های نگهدارنده شمع درجا و نیلینگ را ترکیب می کنیم و مدل ترکیبی از این دو را طراحی می کنیم، در این حالت نیز تغییر مکان و ضریب اطمینان را به دست آوریم، و در انتها جهت صحت سنجی نتایج به دست آمده را با نتایج و مطالعات قبلی مقایسه می کنیم. روش گردآوری، کتابخانه. استفاده از اینترنت در بررسی مقالات و منابع موجود استفاده از مجلات و کتاب های مختلف می باشد. تحلیل ها به وسیله نرم افزار PLAXIS انجام می شود. تحلیل ها با مدل مورکولمب انجام می گیرند میزان تغییر شکل ها و پایداری سازه نگهدارنده در گود برداری های عمیق به روش میخ کوبی و روش ترکیبی میخ کوبی و شمع درجا در عمق ۱۸ متری در شرایط خاک هموزن و در حالت اجرای میخ خاک ها با فواصل ۱ و ۱/۵ و ۲ متری و با شمع های به قطر ۸۰ سانتی متر با فاصله مرکز به مرکز ۶۰ سانتی متر، شمع به قطر ۱۰۰ سانتی متر با فاصله مرکز به مرکز ۸۰ سانتی متر و شمع به قطر ۱۲۰ سانتی متر با فاصله مرکز به مرکز ۱۰۰ سانتی متر و در حالت ترکیب میخ کوبی و شمع انجام گردیده است.

واژگان کلیدی: مدل سازی مهاربندها، شمع های درجا، شمع های نیلینگ، نیروی های برشی، دیواره گودبرداری ها

۱- دانشجوی دانشگاه آزاد همدان رشته عمران ژئوتکنیک (نویسنده مسئول)

mmirzaisrsh@gmail.com

۲- دانشجوی موسسه آموزش عالی عمران توسعه

یکی از روش های متداول در پایداری و حفاظت جداره ها با شرایط متنوع اعم از زمین سخت و سست و نرم استفاده از شمع های درجا می باشد و در برخی موارد علاوه بر ایفای نقش حفاظت جانبی نقش آب بندی را نیز انجام می دهد و همواره در صورت نیاز بار قائم نیز تحمل می کند. مهار بندی جداره ها توسط شمع های درجا در موارد زیر به عنوان گزینه برتر برای سیستم های حفاظت جانبی گود مطرح می باشد. مواردی که امکان اجرای سپر فولادی (کوبیدن و نصب) وجود ندارد و یا سختی و تراکم زمین بیش از حد توان سپر کوبی و با دشواری زیادی مواجه می باشد. در شرایطی که به دلیل وجود آب های زیرزمینی و بالا بودن سطح آن نیاز به آب بند بودن جداره می باشد. در مواردی که امکان ایجاد مهارهای جانبی (کششی) در زیر ساختمان های مجاور ناشی از گودبرداری وجود ندارد و یا در تلاقی با تاسیسات زیر بنایی شهری و مستحذات زیرزمینی (تونل) باشد (Byrne, 2019). در مواقعی که امکان استفاده از سیستم حفاظت گود به عنوان بخشی از سازه اصلی و باربری وجود داشته باشد. گودبرداری اولیه تا عمقی صورت می پذیرد که دیواره گودبرداری شده بتواند در مدت کوتاهی بین ۲۴ تا ۴۸ ساعت پایداری خود را حفظ کند. عمق گودبرداری جهت تأمین کوتاه مدت پایداری در بین ۱ تا ۲ متر است. عرض گود برداری انجام شده حداقل باید به اندازه ای باشد که بتوان ابزارهای لازم را در محل مستقر کرد. عرض مش فولادی در تعیین عرض گود برداری مؤثر است در عین حال خاک برداری در عرض های بزرگ تر از ۱۲ متر موجب افزایش تغییر شکل های افقی می گردد. پانل های خاک برداری یک درمیان برداشت می شوند. چال های مورد نظر با طول، قطر و شیب مشخص اجرا می شوند و امتداد آن ها تقریباً افقی است. میلگردهای فولادی (میخ ها) در چال های پیش حفاری شده کار گذاشته می شوند. میلگردهای به کار رفته شده اغلب تو پر هستند اما می توان از میلگردهای توخالی نیز مطابق به آیین نامه اجرایی وزارت راه آمریکا مربوط به میخکوبی با میلگردهای توخالی نیز استفاده کرد. جهت آنکه راستای میلگردها دقیقاً در امتداد محور استوانه چال های حفر شده باشد از ابزاری به نام مرکز کننده استفاده می شود که باعث می شود میلگرد دقیقاً در وسط گمانه قرار بگیرد و ضخامت دوغاب در اطراف آن یکسان شود (Cheuk, 2021). میلگردها در داخل مرکز کننده ها فرو رفته و سپس در داخل چال جاگذاری می شوند. چنانچه شرایط خوردگی شدید باشد از غلاف های پلاستیکی مخصوصی جهت محافظت از میخ ها استفاده می شود. در همین حال یک لوله دوغاب ریزی به انتهای چال رفته و فضای خالی باقی مانده را از انتها تا ابتدای چال دوغاب ریزی می کند. شیب چال های حفر همان طور که پیش از این نیز گفته شد به مقدار ملایمی در پایین سطح افق قرار دارد. لذا دوغاب با نیروی وزن وارد شده بر آن به خوبی در حفره ها جا می گیرد. به چنین روشی روش دوغاب ریزی ثقلی گفته می شود که جزء روش های متداول در میخکوبی به حساب می رود. پیش از مرحله بعدی، نوارهای زهکشی ژئوکاپوزیتی بر روی سطح گود برداری و به طور تقریبی بین شبکه میخ های بیرون آمده کار گذاشته می شود. نوارهای زهکشی تا قسمت تحتانی گودبرداری ادامه می یابد تا زه آب جمع شده را به پاشنه دیوار هدایت و خارج کند. وقتی گود برداری تا عمق مورد نظر ادامه یافت سیستم میخکوبی شده در تمام سطح دیوار نصب شد و نیز آزمایش های لازم جهت اطمینان از عدم رخداد هر نوع گسیختگی انجام گرفت ممکن است پوشش نهایی و دائمی ساخته شود. همان طور که گفته شد از پوشش دائمی در شرایطی استفاده می شود که از دیوار میخکوبی جهت سیستم پایدارسازی دائمی گود بهره گرفته شده باشد. برای پوشش های دائمی ممکن است از بتن مسلح درجا، شاتکریت مسلح و یا پانل های پیش ساخته استفاده شود. تسلیح فولادی شامل سیستم مش بندی شده از سیم های به هم جوش خورده است (Fang, 2021). طول پانل های شبکه فولادی جوش خورده باید به اندازه ای باشد که هر پانل با پانل کناری تا اندازه ای همپوشانی داشته باشد. در این مرحله لایه نازک بتن شاتکریت بر روی سطح گود پاشیده می شود. بعد از آن یک صفحه (پلیت فولادی) بر روی نوک میخ کار گذاشته می شود. از وشر و مهره های شش گوش برای اتصال میخ به صفحه استفاده می شود. توجه شود که مدت ۷۲ ساعت لازم است تا بتن شاتکریت به مقاومت ۳ روزه با مقدار تقریبی ۱۰/۵ مگاپاسکال برسد و بعد گودبرداری مرحله بعد انجام شود. ویژگی هایی از خاک که روی مقاومت بیرون کشیدگی اثر می گذارند شامل مقاومت، اندازه ذرات، اتساع و درجه اشباع خاک می باشند. یکی از مهم ترین پارامترهای تأثیرگذار بر مقاومت بیرون کشیدگی میخ، خاک اطراف میخ است. برای مثال اگر یک میخ با روش یکسان در رس سیلتی، ماسه و شن ماسه دار نصب شود، ممکن است مقادیر مقاومت بیرون کشیدگی حدود ۴۰-۸۰ کیلو پاسکال، ۱۰۰ کیلو پاسکال و ۲۰۰ کیلو پاسکال حاصل شود. اندازه و شکل ذرات که بستگی به اتساع خاک دارند، به طور عمده روی رفتار بیرون کشیدگی و مقاومت بیرون کشیدگی مؤثرند (Heyman, 2017). برای خاک هایی که دارای ذرات بزرگ تر و یکنواخت تر با اشکال نامنظم هستند، هنگام بیرون کشیدن میخ ذرات چرخیده و تغییر آرایش داده که منجر به اتساع خاک می شود. اگر اتساع خاک محدود شود، افزایش تنش قائم نتیجه می شود که آن نیز منجر به افزایش مقاومت بیرون کشیدگی می شود. به مطالعه تأثیر اتساع روی مقاومت بیرون کشیدگی پرداخت. ظرفیت بیرون کشیدگی میخ یک عامل مهم در تحلیل و طراحی دیوارهای میخکوبی شده است، که به دو عامل اصلی اندازه مجموعه میخ و مقاومت چسبندگی بین خاک و ملات بستگی دارد. از بین این دو عامل اندازه مجموعه میخ با توجه به فرضیات طراحی مشخص بوده ولی به دلیل عدم شناخت کافی در مورد رفتار اندرکنشی بین خاک و ملات در طول میخ نمی توان مقدار دقیقی برای این پارامتر مشخص کرد، و از طرفی یک فرآیند استاندارد آزمایشگاهی خاص نیز برای آن وجود ندارد. بنابراین در مرحله طراحی این پارامتر اغلب توسط مهندس طراح فرض می گردد (با توجه به شرایط میدانی و شرایط خاک) و سپس به وسیله آزمایش بیرون کشیدگی در طی ساخت اصلاح می شود. هدف از انجام این تحقیق مدل سازی مهارندها با شمع های درجا و نیلینگ در محاسبه نیروی های

برشی دیواره گود برداری ها می باشد. نائینی (۱۳۹۹) ضمن بررسی تاثیر پارامترهای مقاومت برشی خاک بر پایداری گودهای مهار شده با شمع های درجا با در نظر گرفتن خاکی با چسبندگی، زاویه اصطکاک و مدول الاستیسیته متفاوت بیان می کنند که با بررسی نتایج به دست آمده از آنالیز گود که در مجاورت دیواره آن سیستم نگهدارنده شمع های درجا اجرا شده است، مشخص گردید که تغییر پارامترهای برشی خاک از جمله چسبندگی بر میزان تغییر شکل های دیواره گود و شمع های درجا و همچنین پایداری و گسیختگی خاک دیواره بسیار تاثیر گذار هستند، ولی تاثیر آن ها همیشه در جهت مثبت نمی باشد. به طور کلی با افزایش میزان چسبندگی و زاویه اصطکاک خاک میزان تغییر شکل های دیوار کمتر شده، اندازه لنگر خمشی مثبت ناشی از نیروی مقاوم وارد بر شمع های نگهدارنده بیشتر و اندازه لنگر خمشی ناشی از نیروی محرک وارد بر شمع ها کاهش می یابد (Juran, 2018). افزایش سختی خاک نیز میزان تغییر شکل های دیواره گود را کاهش می دهد ولی افزایش بیش از حد سختی خاک به دلیل اینکه رفتار خاک را شکننده می کند ممکن است باعث گسیختگی خاک و ریزش دیواره شود. روش میخ کوبی (نیلینگ) و استفاده از شمع های درجا باعث کاهش لنگر خمشی، ناشی از نیروهای برشی و جابجایی ها به طور چشم گیر می شود. گود برداری به هر گونه حفاری و خاک برداری در تراز پایین تر از سطح طبیعی زمین یا در تراز پایین تر از زیر پی ساختمان مجاور اطلاق می شود. پایداری و تحکیم دیواره های گود برداری از اهمیت بالایی برخوردار می باشد. اهمیت و ضرورت از این طرح، بهینه کردن طراحی دیوار و اقتصادی کردن طرح برای مهار گود می باشد.

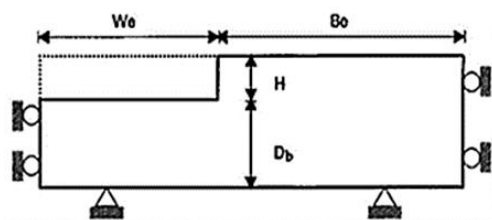
۲- روش تحقیق

در این تحقیق ابتدا مدل های خود را با نرم افزار plaxis شبیه سازی می کنیم و خاک را در لایه های مختلف و در هر لایه پس از مدل کردن تغییر مکان و ضریب اطمینان دیواره گود را بررسی می کنیم. پس از آن دیواره را با نیل مدل می کنیم و تغییر مکان و ضریب اطمینان را به دست می آوریم. سپس دیواره را با شمع مدل می کنیم و همان موارد را برای مدل شمع نیز به دست می آوریم، در نهایت سیستم های نگهدارنده شمع درجا و نیلینگ را ترکیب می کنیم و مدل ترکیبی از این دو را طراحی می کنیم، در این حالت نیز تغییر مکان و ضریب اطمینان را به دست آوریم، و در انتها جهت صحت سنجی نتایج به دست آمده را با نتایج و مطالعات قبلی مقایسه می کنیم. روش گردآوری، کتابخانه. استفاده از اینترنت در بررسی مقالات و منابع موجود استفاده از مجلات و کتاب های مختلف می باشد. تحلیل ها به وسیله نرم افزار PLAXIS ۸ انجام می شود. تحلیل ها با مدل مورکولمب انجام می گیرند. با فرض گودی که عرض آن ۲ برابر ارتفاع است، با توجه به شرایط تقارن، ابعاد مدل و شرایط است و فراتر از این مقادیر اثر بسیار کمی بر تغییر شکل ها دارد. میزان تغییر شکل ها و پایداری سازه نگهدارنده در گود برداری های عمیق به روش میخ کوبی و روش ترکیبی میخ کوبی و شمع درجا در عمق ۱۸ متری در شرایط خاک هموزن و در حالت اجرای میخ خاک ها با فواصل ۱ و ۱/۵ و ۲ متری و با شمع های به قطر ۸۰ سانتی متر با فاصله مرکز به مرکز ۶۰ سانتی متر، شمع به قطر ۱۰۰ سانتی متر با فاصله مرکز به مرکز ۸۰ سانتی متر و شمع به قطر ۱۲۰ سانتی متر با فاصله مرکز به مرکز ۱۰۰ سانتی متر و در حالت ترکیب میخ کوبی و شمع انجام گردیده است. طراحی دیوار شاتکریت و قطر میخ خاک ها و قطر چال به صورت دستی طبق FHWA انجام می شود و نیروی کششی میخ خاک ها باید از میزان مقاومت برشی خاک کمتر باشد. تزریق دوغاب به درون چال به صورت ثقلی انجام می شود. تجزیه و تحلیل در این پژوهش بررسی روش ترکیبی میخ کوبی و شمع درجا و بررسی تأمین پایداری لازم برای گود از طریق ایجاد یک سازه نگهدارنده ترکیبی بهینه است که فاصله و طول میخ خاک ها و شمع درجا و چیدمانی بهینه برای میخ خاک ها و شمع درجا به ما بدهد به نحوی که موجب گسیختگی و تغییر شکل مخرب در دیواره گود نشود.

۳- یافته ها

با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل ۱ در آن $Be=3H$, $We=H$, $Db=H$ است و فراتر از این مقادیر اثر بسیار کمی بر تغییر شکل ها دارد. مقاومت فصل مشترک دوغاب-خاک با استفاده از مشخصات همان لایه خاک با $R_{int}=1$ لحاظ گردیده است. میخ خاک های استفاده شده در طراحی، همگی متشکل از میلگردهای آجدار با مقاومت تسلیم کششی ۴۲۰۰ kg/cm^2 $2420fy=MPa$ است.

طبق توصیه های راهنمای FHWA حداکثر فاصله افقی و قائم میخ خاک ها به ۲،۵ متر و حداقل به ۱ متر محدود شده است. طراحی دیوار شاتکریت و قطر میخ خاک ها و قطر چال به صورت دستی طبق FHWA انجام می شود و نیروی کششی میخ خاک ها باید از میزان مقاومت برشی خاک کمتر باشد. تزریق دوغاب به درون چال به صورت ثقلی انجام می شود.



شکل ۱. مدل و شرایط مرزی

جدول ۱. مشخصات خاک

موهر-کلمب	مدل
زهکشی شده	نوع
20 KN/m^3	وزن واحد خاک
5 KN/m^2	C ثابت چسبندگی
35°	ϕ زاویه اصطکاک داخلی
4000 KN/m^2	E مدول یانگ
۰٫۲	θ ضریب پواسون

جدول ۲. مشخصات میخ خاک با فواصل مختلف

EA برای میخ خاک به فاصله یک متر	$(\text{KN/m}) + 5E/498$
EA برای میخ خاک به فاصله یک و نیم متر	$(\text{KN/m}) + 4E/989$
EA برای میخ خاک به فاصله دو متر	$(\text{KN/m}) + 5E/49$

جدول ۳. مشخصات دیواره شات کریت

برای گود ۱۸ متری
$EA = 2/574 E + 10 (\text{KN/m})$
$EI = 2145 E + 5 (\text{KNm}^2/\text{m})$
$W = 2/4 E + 5 (\text{KN/m/m})$
$\theta = 0.15$

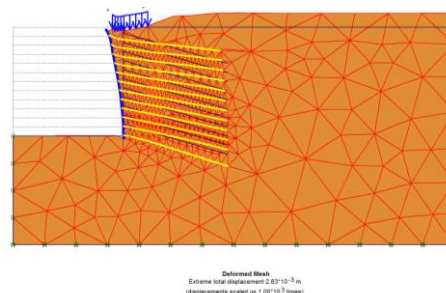
جدول ۴. مشخصات شمع های دیواره

v	W((KN/m/m))	EI((KNm ² /m))	EA(KN/m)	
۰٫۱۵	۱۵	$+5E/578$	$+7E/394$	شمع به قطر ۸۰ سانتی متر به فاصله مرکز به مرکز ۶۰ سانتی متر
۰٫۱۵	۱۳	$+5E/622$	$+7E/103$	شمع به قطر ۱۰۰ سانتی متر به فاصله مرکز به مرکز ۸۰ سانتی متر
۰٫۱۵	۱۷	$+5E/619$	$+7E/806$	شمع به قطر ۱۲۰ سانتی متر به فاصله مرکز به مرکز ۱۰۰ سانتی متر

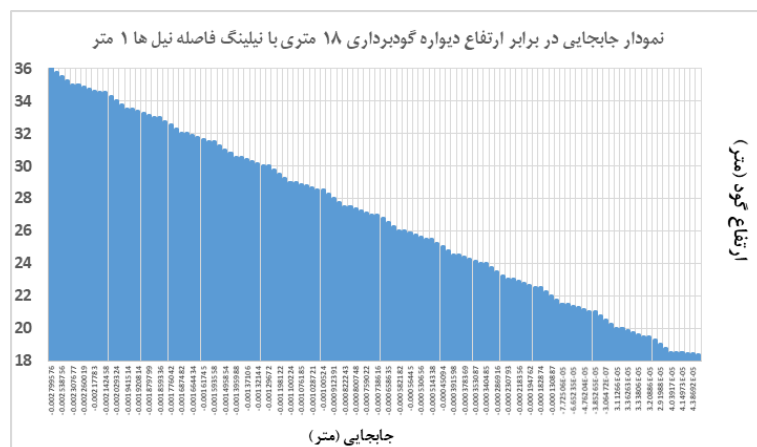
با توجه به نتایج نشان داده شده در جداول ۱ تا ۴ میزان تغییر شکل ها و پایداری سازه نگهبان در گود برداری های عمیق به روش میخ کوبی و روش ترکیبی میخ کوبی و شمع درجا در عمق ۱۸ متری در شرایط خاک هموزن و در حالت اجرای میخ خاک ها با فواصل ۱ و ۱/۵ و ۲ متری و با شمع های به قطر ۸۰ سانتی متر با فاصله مرکز به مرکز ۶۰ سانتی متر، شمع به قطر ۱۰۰ سانتی متر با فاصله مرکز به مرکز ۸۰ سانتی متر و شمع به قطر ۱۲۰ سانتی متر با فاصله مرکز به مرکز ۱۰۰ سانتی متر و در حالت ترکیب میخ کوبی و شمع انجام گردیده است.



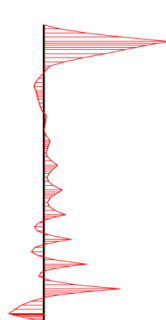
شکل ۳. جابجایی کلی دیواره گودبرداری پس از اعمال بار و گودبرداری ۱۸ متری (2.83×10^{-3} متر حداکثر جابجایی)



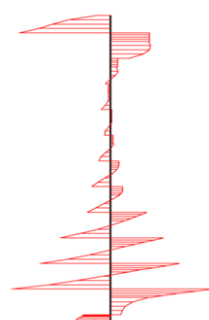
شکل ۲. تغییر شکل مدل پس از اجرای گودبرداری و گودبرداری ۱۸ متری



نمودار ۱. نمودار جایابی در برابر ارتفاع دیواره گودبرداری ۱۸ متری با نیلینگ



شکل ۲. لنگر خمشی جداره گودبرداری پس از اتمام نیلینگ

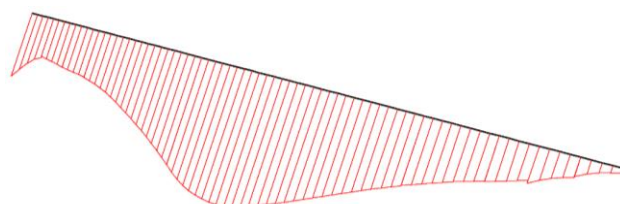


شکل ۳. نیروی برشی جداره گودبرداری پس از اتمام نیلینگ

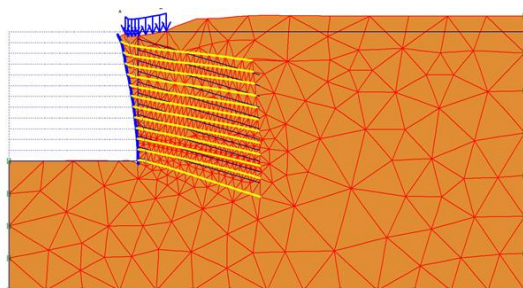


شکل ۴. جایابی افقی دیواره گودبرداری پس از اعمال بار و گودبرداری ۱۸ متری (2.8×10^{-3} متر حداکثر جایابی)

با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل های ۲ تا ۷ و نمودار ۱ مشخصات بار وارده ۱۰ کیلونیوتن بر مترمربع (معادل ۱ تن بر مترمربع)، ارتفاع گود ۱۸ متر، طول نیلینگ ها ۱۸ متر، فاصله نیلینگ ها ۱ متر، میلگرد شماره ۳۲، قطر سوراخ حفر شده جهت گروت‌ریزی ۱۰ سانتی متر، ضخامت شاتکریت ۱۰ سانتی متر می‌باشد.



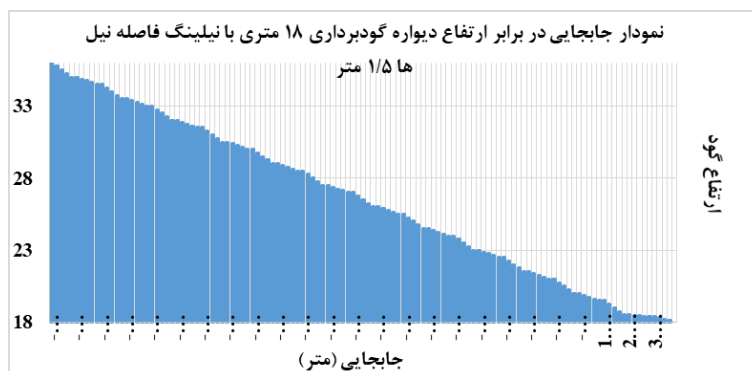
شکل ۵. نیروی محوری بالاترین شمع پس از اعمال بار و گودبرداری ۱۸ متری ($3/89$ کیلونیوتن بر متر)



شکل ۶. تغییر شکل مدل پس از اجرای گودبرداری و گودبرداری ۱۸ متری



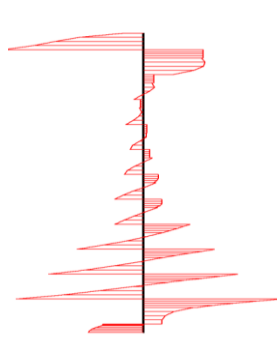
شکل ۷. جایابی کلی دیواره گودبرداری پس از اعمال بار و گودبرداری ۱۸ متری (2.86×10^{-3} متر حداکثر جایابی)



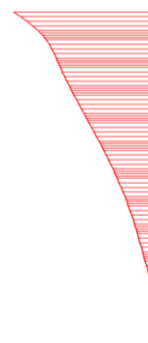
نمودار ۲. نمودار جابجایی در برابر ارتفاع دیواره گودبرداری ۱۸ متری با نیلینگ



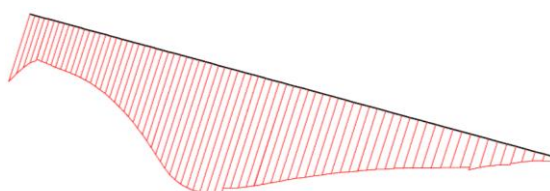
شکل ۱۲. لنگر خمشی جداره گودبرداری پس از اتمام نیلینگ



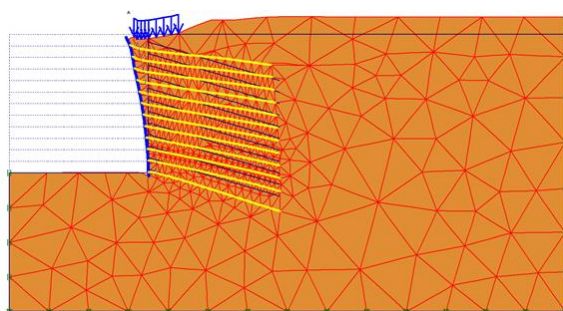
شکل ۱۱. نیروی برشی جداره گودبرداری پس از اتمام نیلینگ



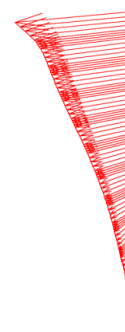
شکل ۱۰. جابجایی افقی دیواره گودبرداری پس از اعمال بار و گودبرداری ۱۸ متری (2.8×10^{-3} متر حداکثر جابجایی) با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل ۱۳ تا ۱۸ و نمودار ۲ بار وارده ۱۰ کیلو نیوتن بر مترمربع (معادل ۱ تن بر مترمربع)، ارتفاع گود ۱۸ متر، طول نیلینگ ها ۱۸ متر، فاصله نیلینگ ها ۱/۵ متر، میلگرد شماره ۳۲، قطر سوراخ حفر شده جهت گروت ریزی ۱۰ سانتی متر، ضخامت شاتکریت ۱۰ سانتی متر می باشد.



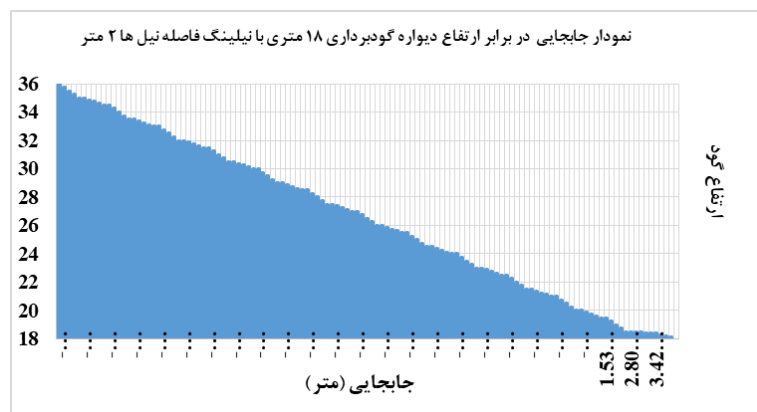
شکل ۱۳. نیروی محوری بالاترین شمع پس از اعمال بار و گودبرداری ۱۸ متری ($3/34$ کیلو نیوتن بر متر)



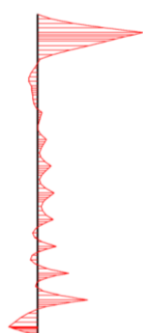
شکل ۱۴. تغییر شکل مدل پس از اجرای گودبرداری و گودبرداری ۱۸ متری



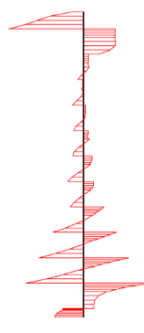
شکل ۱۵. جابجایی کلی دیواره گودبرداری پس از اعمال بار و گودبرداری ۱۸ متری (2.91×10^{-3} متر حداکثر جابجایی)



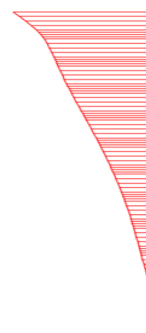
نمودار ۳. نمودار جابجایی در برابر ارتفاع دیواره گودبرداری ۱۸ متری با نیلینگ



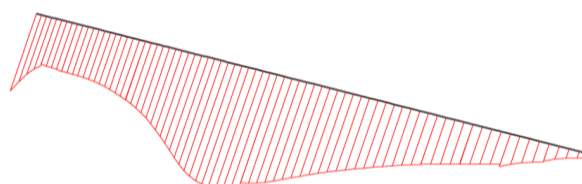
شکل ۱۸. لنگر خمشی جداره گودبرداری پس از اتمام نیلینگ



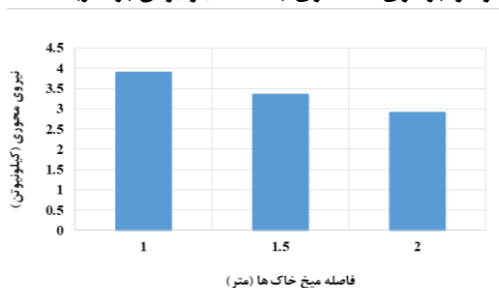
شکل ۱۷. نیروی برشی جداره گودبرداری پس از اتمام نیلینگ



شکل ۱۶. جابجایی افقی دیواره گودبرداری پس از اعمال بار و گودبرداری ۱۸ متری 2.88×10^{-3} متر حداکثر جابجایی



شکل ۱۹. نیروی محوری بالاترین شمع پس از اعمال بار و گودبرداری ۱۸ متری (۲/۸۹ کیلونیوتن بر متر)



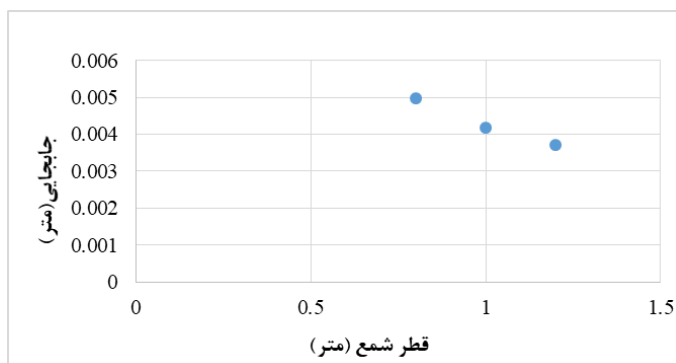
نمودار ۵. نمودار تغییرات نیروی محوری بالاترین میخ خاک با توجه به فاصله میخ خاک ها



نمودار ۴. نمودار تغییرات جابجایی دیواره گودبرداری نسبت به فاصله میخ خاک ها

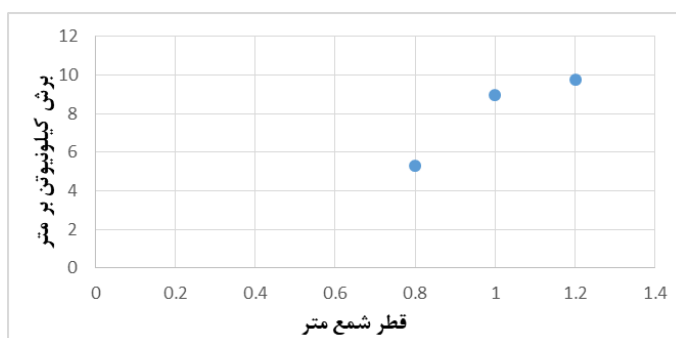
با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل های ۱۴ تا ۱۹ و نمودارهای ۳ تا ۵ بار وارده ۱۰ کیلونیوتن بر مترمربع (معادل ۱ تن بر مترمربع)، ارتفاع گود ۱۸ متر، طول نیلینگ ها ۱۸ متر، فاصله نیلینگ ها ۲ متر، میلگرد شماره ۳۲، قطر سوراخ حفر شده جهت گروت ریزی ۱۰ سانتی متر، ضخامت شاتکریت ۱۰ سانتی متر می باشد. با افزایش فاصله میخ خاک ها از ۱ متر تا ۲ متر جابجایی

حداکثر دیواره گودبرداری ۳ درصد افزایش می‌یابد. از طرف دیگر همان‌طور که از نمودار ۵ مشخص است با افزایش فاصل میخ خاک‌ها از ۱ متر به ۲ متر نیروی محوری بالاترین میخ خاک تا ۳۴ درصد کاهش یافته است.



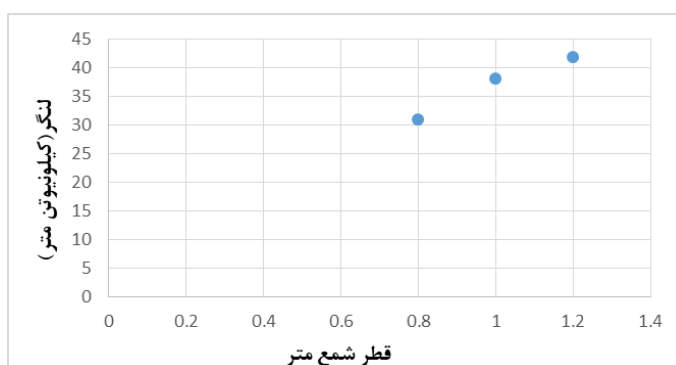
نمودار ۶. تغییرات جابجایی دیواره گودبرداری نسبت به قطر شمع برای گودبرداری به عمق ۱۵ متر

با توجه به نتایج نشان داده شده در نمودار ۶ با افزایش قطر شمع از ۸۰ به ۱۲۰ سانتی متر مقدار جابجایی دیواره گودبرداری تا ۳۵ درصد کاهش می‌یابد. که البته با توجه به ریزش دیواره خاک در حالت استفاده از شمع‌های به قطر ۸۰ سانتی متر و با فاصله مرکز به مرکز ۶۰ سانتی متر، تغییرات جابجایی دیواره گودبرداری ۱۵ متری جهت مقایسه ارائه گردیده است.



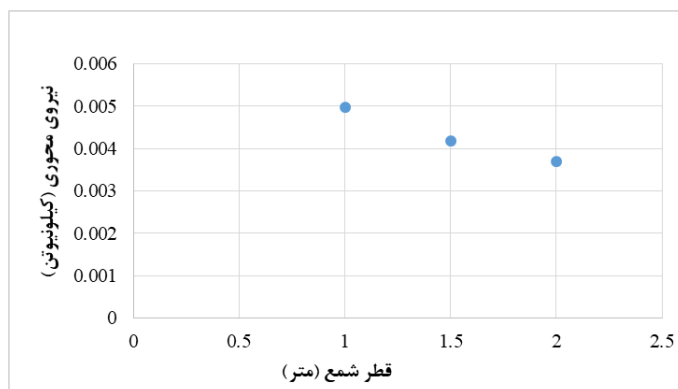
نمودار ۷. تغییرات جابجایی دیواره گودبرداری نسبت به قطر شمع برای گودبرداری به عمق ۱۵ متر

با توجه به نتایج نشان داده شده در نمودار ۷ نیروی برشی در دیواره گودبرداری بر حسب کیلونیوتن بر متر در مقابل قطر شمع می‌باشد. همان‌گونه که از نمودار مشخص است نیروی برشی با افزایش قطر شمع افزایش می‌یابد.



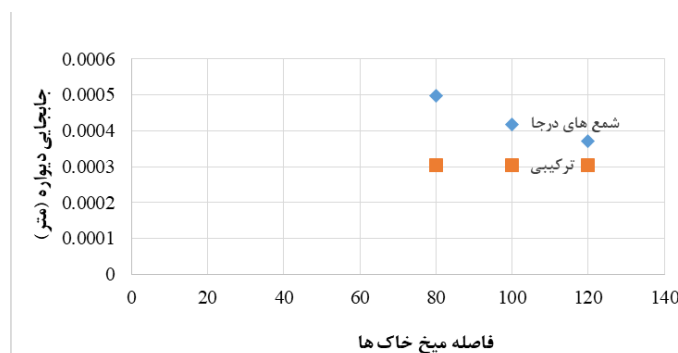
نمودار ۸. نمودار تغییرات لنگر در برابر قطر شمع

با توجه به نتایج نشان داده شده در نمودار ۸ تغییرات لنگر خمشی در برابر قطر شمع می‌باشد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش قطر شمع، لنگر خمشی افزایش پیدا کرده است.



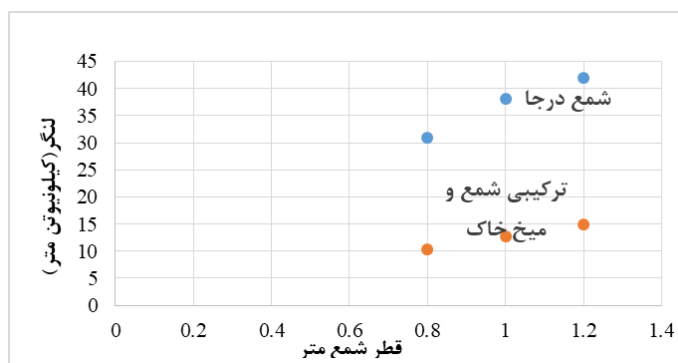
نمودار ۹. نمودار تغییرات جابجایی جداره گود برای شمع های با قطر مختلف

با توجه به نتایج نشان داده شده در نمودار ۹ با افزایش قطر شمع تا حدی جابجایی حداکثر دیواره گودبرداری کاهش می یابد، که این مقدار در حالت ترکیبی حدود ۱ درصد می باشد.



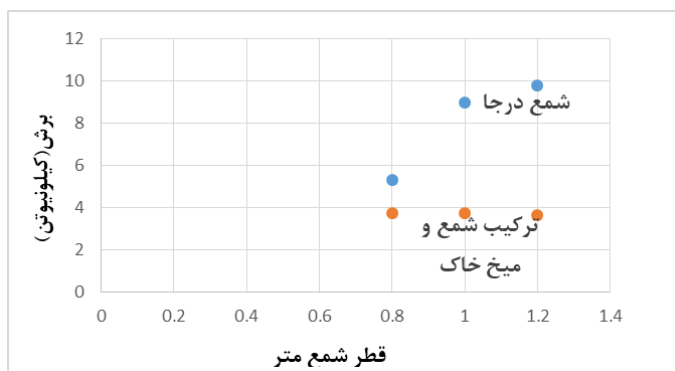
نمودار ۱۰. نمودار تغییرات جابجایی در حالت شمع درجا مجزا و ترکیب با میخ خاک

با توجه به نتایج نشان داده شده در نمودار ۱۰ مقایسه تغییرات جابجایی دیواره گودبرداری در حالت استفاده از میخ خاک و شمع های درجا به صورت مجزا و در حالت ترکیبی می باشد. همان طور که مشاهده می شود جابجایی دیواره شمعی با قطر ۸۰ سانتی متر از ۴/۹۷ میلیمتر به ۳/۰۵ کاهش پیدا کرده، جابجایی دیواره شمعی با قطر ۱۰۰ سانتی متر از ۴/۱۸ میلی متر به ۳/۰۴ کاهش پیدا کرده و جابجایی دیواره شمعی با قطر ۱۲۰ سانتی متر از ۳/۷ میلیمتر به ۳/۰۳ کاهش پیدا کرده است. که این موضوع نشان دهنده کارایی روش ترکیبی میخ خاک با شمع های درجا می باشد.



نمودار ۱۱. نمودار تغییرات لنگر خمشی در حالت شمع درجا مجزا و ترکیب با میخ خاک

با توجه به نتایج نشان داده شده در نمودار ۱۱ ترکیب شمع و میخ خاک تا حد زیادی لنگر های خمشی دیواره گودبرداری را کاهش داده است.



نمودار ۱۲. نمودار تغییرات نیروی برشی در برابر قطر شمع در حالت ترکیبی و شمع در جای تنها

با توجه به نتایج نشان داده شده در نمودار ۱۲ ترکیب شمع و میخ خاک نیروی برشی را تا حدود ۳۰۰ درصد کاهش داده است.

۴- نتایج

مشخصات بار وارده ۱۰ کیلو نیوتن بر مترمربع (معادل ۱ تن بر مترمربع)، ارتفاع گود ۱۸ متر، طول نیلینگ ها ۱۸ متر، فاصله نیلینگ ها ۱ متر، میلگرد شماره ۳۲، قطر سوراخ حفر شده جهت گروت ریزی ۱۰ سانتی متر، ضخامت شاتکریت ۱۰ سانتی متر می باشد. بار وارده ۱۰ کیلو نیوتن بر مترمربع (معادل ۱ تن بر مترمربع)، ارتفاع گود ۱۸ متر، طول نیلینگ ها ۱۸ متر، فاصله نیلینگ ها ۱/۵ متر، میلگرد شماره ۳۲، قطر سوراخ حفر شده جهت گروت ریزی ۱۰ سانتی متر، ضخامت شاتکریت ۱۰ سانتی متر می باشد. بار وارده ۱۰ کیلو نیوتن بر مترمربع (معادل ۱ تن بر مترمربع)، ارتفاع گود ۱۸ متر، طول نیلینگ ها ۱۸ متر، فاصله نیلینگ ها ۲ متر، میلگرد شماره ۳۲، قطر سوراخ حفر شده جهت گروت ریزی ۱۰ سانتی متر، ضخامت شاتکریت ۱۰ سانتی متر می باشد. با افزایش فاصله میخ خاک ها از ۱ متر تا ۲ متر جابجایی حداکثر دیواره گودبرداری ۳ درصد افزایش می یابد. با افزایش فاصل میخ خاک ها از ۱ متر به ۲ متر نیروی محوری بالاترین میخ خاک تا ۳۴ درصد کاهش یافته است. با افزایش قطر شمع از ۸۰ به ۱۲۰ سانتی متر مقدار جابجایی دیواره گودبرداری تا ۳۵ درصد کاهش می یابد. که البته با توجه به ریزش دیواره خاک در حالت استفاده از شمع های به قطر ۸۰ سانتی متر و با فاصله مرکز به مرکز ۶۰ سانتی متر، تغییرات جابجایی دیواره گود برای گودبرداری ۱۵ متری جهت مقایسه ارائه گردیده است. نیروی برشی در دیواره گودبرداری بر حسب کیلو نیوتن بر متر در مقابل قطر شمع می باشد. همان گونه که از نمودار مشخص است نیروی برشی با افزایش قطر شمع افزایش می یابد. تغییرات لنگر خمشی در برابر قطر شمع می باشد. همان گونه که مشاهده می شود با افزایش قطر شمع، لنگر خمشی افزایش پیدا کرده است. با افزایش قطر شمع تا حدی جابجایی حداکثر دیواره گودبرداری کاهش می یابد، که این مقدار در حالت ترکیبی حدود ۱ درصد می باشد. مقایسه تغییرات جابجایی دیواره گودبرداری در حالت استفاده از میخ خاک و شمع های درجا به صورت مجزا و در حالت ترکیبی می باشد. همان طور که مشاهده می شود جابجایی دیواره شمعی با قطر ۸۰ سانتی متر از ۴/۹۷ میلی متر به ۳/۰۵ کاهش پیدا کرده، جابجایی دیواره شمعی با قطر ۱۰۰ سانتی متر از ۴/۱۸ میلی متر به ۳/۰۴ کاهش پیدا کرده و جابجایی دیواره شمعی با قطر ۱۲۰ سانتی متر از ۳/۷ میلی متر به ۳/۰۳ کاهش پیدا کرده است. که این موضوع نشان دهنده کارایی روش ترکیبی میخ خاک با شمع های درجا می باشد. ترکیب شمع و میخ خاک تا حد زیادی لنگر های خمشی دیواره گودبرداری را کاهش داده است. با توجه به نتایج نشان داده شده در نمودار ۱۲ ترکیب شمع و میخ خاک نیروی برشی را تا حدود ۳۰۰ درصد کاهش داده است.

۵- نتیجه گیری

ایران کشوری در حال توسعه است که با افزایش جمعیت، ساخت و ساز در نواحی درون شهری رو به افزایش می باشد و از طرفی با توجه به تراکم شهرها، ساخت و ساز در زیر سطح زمین و به تبع آن گودبرداری برای احداث ساختمان ها، پارکینگ های طبقاتی و سیستم های حمل و نقل زیرزمینی از اهمیت بیشتری برخوردار گشته است. در این تحقیق ابتدا مدل های خود را با نرم افزار plaxis شبیه سازی می کنیم و خاک را در لایه های مختلف و در هر لایه پس از مدل کردن تغییر مکان و ضریب اطمینان دیواره گود را بررسی می کنیم. پس از آن دیواره را با نیل مدل می کنیم و تغییر مکان و ضریب اطمینان را به دست می آوریم. سپس دیواره را با شمع مدل می کنیم و همان موارد را برای مدل شمع نیز به دست می آوریم، در نهایت سیستم های نگهدارنده شمع درجا و نیلینگ را ترکیب می کنیم و مدل ترکیبی از این دو را طراحی می کنیم، در این حالت نیز تغییر مکان و ضریب اطمینان را به دست آوریم، و در انتها جهت صحت سنجی نتایج به دست آمده را با نتایج و مطالعات قبلی مقایسه می کنیم. روش گردآوری، کتابخانه، استفاده از اینترنت در بررسی مقالات و منابع موجود استفاده از مجلات و کتاب های مختلف می باشد. تحلیل ها به وسیله نرم افزار PLAXIS 8.6 انجام می شود. تحلیل ها با مدل مورکولمب انجام می گیرند میزان تغییر شکل ها و پایداری سازه نگهدارنده

در گودب رداری های عمیق به روش میخ کوبی و روش ترکیبی میخ کوبی و شمع درجا در عمق ۱۸ متری در شرایط خاک هموزن و در حالت اجرای میخ خاک ها با فواصل ۱ و ۱/۵ و ۲ متری و با شمع های به قطر ۸۰ سانتی متر با فاصله مرکز به مرکز ۶۰ سانتی متر، شمع به قطر ۱۰۰ سانتی متر با فاصله مرکز به مرکز ۸۰ سانتی متر و شمع به قطر ۱۲۰ سانتی متر با فاصله مرکز به مرکز ۱۰۰ سانتی متر و در حالت ترکیب میخ کوبی و شمع انجام گردیده است. تجزیه و تحلیل در این پژوهش بررسی روش ترکیبی میخ کوبی و شمع درجا و بررسی تأمین پایداری لازم برای گود از طریق ایجاد یک سازه نگهبان ترکیبی بهینه است که فاصله و طول میخ خاک ها و شمع درجا و چیدمانی بهینه برای میخ خاک ها و شمع درجا به ما بدهد به نحوی که موجب گسیختگی و تغییر شکل مخرب در دیواره گود نشود. با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل ۱ در آن $Be=3H$, $We=H$, $Db=H$ است و فراتر از این مقادیر اثر بسیار کمی بر تغییر شکل ها دارد. مقاومت فصل مشترک دوغاب-خاک با استفاده از مشخصات همان لایه خاک با $R_{int}=1$ لحاظ گردیده است. میخ خاک های استفاده شده در طراحی، همگی متشکل از میلگردهای آجدار با مقاومت تسلیم کششی $420f_y = MPa$ kg/cm^2 است. طبق توصیه های راهنمای FHWA حداکثر فاصله افقی و قائم میخ خاک ها به ۲،۵ متر و حداقل به ۱ متر محدود شده است. طراحی دیوار شاتکریت و قطر میخ خاک ها و قطر چال به صورت دستی طبق FHWA انجام می شود و نیروی کششی میخ خاک ها باید از میزان مقاومت برشی خاک کمتر باشد. تزریق دوغاب به درون چال به صورت ثقلی انجام می شود. با توجه به نتایج نشان داده شده در جداول ۴ تا ۶ میزان تغییر شکل ها و پایداری سازه نگهبان در گود برداری های عمیق به روش میخ کوبی و روش ترکیبی میخ کوبی و شمع درجا در عمق ۱۸ متری در شرایط خاک هموزن و در حالت اجرای میخ خاک ها با فواصل ۱ و ۱/۵ و ۲ متری و با شمع های به قطر ۸۰ سانتی متر با فاصله مرکز به مرکز ۶۰ سانتی متر، شمع به قطر ۱۰۰ سانتی متر با فاصله مرکز به مرکز ۸۰ سانتی متر و شمع به قطر ۱۲۰ سانتی متر با فاصله مرکز به مرکز ۱۰۰ سانتی متر و در حالت ترکیب میخ کوبی و شمع انجام گردیده است. با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل های ۲ تا ۷ و نمودار ۱ مشخصات بار وارده ۱۰ کیلونیوتن بر مترمربع (معادل ۱ تن بر مترمربع)، ارتفاع گود ۱۸ متر، طول نیلینگ ها ۱۸ متر، فاصله نیلینگ ها ۱ متر، میلگرد شماره ۳۲، قطر سوراخ حفر شده جهت گروت ریزی ۱۰ سانتی متر، ضخامت شاتکریت ۱۰ سانتی متر می باشد. با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل ۸ تا ۱۳ و نمودار ۲ بار وارده ۱۰ کیلونیوتن بر مترمربع (معادل ۱ تن بر مترمربع)، ارتفاع گود ۱۸ متر، طول نیلینگ ها ۱۸ متر، فاصله نیلینگ ها ۱/۵ متر، میلگرد شماره ۳۲، قطر سوراخ حفر شده جهت گروت ریزی ۱۰ سانتی متر، ضخامت شاتکریت ۱۰ سانتی متر می باشد. با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل های ۱۴ تا ۱۹ و نمودارهای ۳ تا ۵ بار وارده ۱۰ کیلونیوتن بر مترمربع (معادل ۱ تن بر مترمربع)، ارتفاع گود ۱۸ متر، طول نیلینگ ها ۱۸ متر، فاصله نیلینگ ها ۲ متر، میلگرد شماره ۳۲، قطر سوراخ حفر شده جهت گروت ریزی ۱۰ سانتی متر، ضخامت شاتکریت ۱۰ سانتی متر می باشد. با افزایش فاصله میخ خاک ها از ۱ متر تا ۲ متر جابجایی حداکثر دیواره گودبرداری ۳ درصد افزایش می یابد. از طرف دیگر همان طور که از نمودار ۵ مشخص است با افزایش فاصل میخ خاک ها از ۱ متر به ۲ متر نیروی محوری بالاترین میخ خاک تا ۳۴ درصد کاهش یافته است. با توجه به نتایج نشان داده شده در نمودار ۶ با افزایش قطر شمع از ۸۰ به ۱۲۰ سانتی متر مقدار جابجایی دیواره گودبرداری تا ۳۵ درصد کاهش می یابد. که البته با توجه به ریزش دیواره خاک در حالت استفاده از شمع های به قطر ۸۰ سانتی متر و با فاصله مرکز به مرکز ۶۰ سانتی متر، تغییرات جابجایی دیواره گود برای گودبرداری ۱۵ متری جهت مقایسه ارائه گردیده است. با توجه به نتایج نشان داده شده در نمودار ۷ نیروی برشی در دیواره گودبرداری بر حسب کیلونیوتن بر متر در مقابل قطر شمع می باشد. همان گونه که از نمودار مشخص است نیروی برشی با افزایش قطر شمع افزایش می یابد. با توجه به نتایج نشان داده شده در نمودار ۸ تغییرات لنگر خمشی در برابر قطر شمع می باشد. همان گونه که مشاهده می شود با افزایش قطر شمع، لنگر خمشی افزایش پیدا کرده است. با توجه به نتایج نشان داده شده در نمودار ۹ با افزایش قطر شمع تا حدی جابجایی حداکثر دیواره گودبرداری کاهش می یابد، که این مقدار در حالت ترکیبی حدود ۱ درصد می باشد. با توجه به نتایج نشان داده شده در نمودار ۱۰ مقایسه تغییرات جابجایی دیواره گودبرداری در حالت استفاده از میخ خاک و شمع های درجا به صورت مجزا و در حالت ترکیبی می باشد. همان طور که مشاهده می شود جابجایی دیواره شمعی با قطر ۸۰ سانتی متر از ۴/۹۷ میلیمتر به ۳/۰۵ کاهش پیدا کرده، جابجایی دیواره شمعی با قطر ۱۰۰ سانتی متر از ۴/۱۸ میلی متر به ۳/۰۴ کاهش پیدا کرده و جابجایی دیواره شمعی با قطر ۱۲۰ سانتی متر از ۳/۷ میلیمتر به ۳/۰۳ کاهش پیدا کرده است. که این موضوع نشان دهنده کارایی روش ترکیبی میخ خاک با شمع های درجا می باشد. با توجه به نتایج نشان داده شده در نمودار ۱۱ ترکیب شمع و میخ خاک تا حد زیادی لنگر های خمشی دیواره گودبرداری را کاهش داده است. با توجه به نتایج نشان داده شده در نمودار ۱۲ ترکیب شمع و میخ خاک نیروی برشی را تا حدود ۳۰۰ درصد کاهش داده است.

۵-۱- پیشنهادها

- بررسی اثر سربار و فاصله آن از دیواره گود در سازه های ترکیبی استفاده از شمع های درجا
- بررسی سیستم ترکیبی در خاک چندلایه و مقایسه با حالت خاک یک لایه
- بررسی پارامترهای خاک رسی و ماسه ای مسلح شده در سیستم ترکیبی

1. Byrne, R.J., Cotton, D., Porterfield, J., Wolschlag, C., And Ueblacker, G. (2019) Manual For Design and Construction Monitorin Soil Nail Walls”, Report FHWA-SA-96-69R, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
2. Cheuk, C. Y., Ng, C. W. W., & Sun, H. W. (2021). Numerical experiments of soil nails in loose fill slopes subjected to rainfall infiltration effects. *Computers and Geotechnics*, 32(4), 290-303.
3. Fang, Hsai-Yang., (2021). *Foundation engineering handbook*, 2th ed. New Delhi. CBS.
4. Heyman, L. and Boersma, F (2017).. Bending moments in the piles due to lateral earth pressure. *Proc 5th ICSMFE, Paris, Vol.2*, p.425-429.
5. Juran, I (2018) Reinforced soil systems application in retaining structures.” *Geotechnical Engineering, Vol.16*.pp. 39-82.
6. Leung, Y., Klar, A., and Soga, K. (2019). "Theoretical Study on Pile Length Optimization of Pile Groups and Piled Rafts." *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000206, 319-330.
7. Taghavi, A., Muraleetharan, K., Miller, G., and Cerato, A. (2021). "Centrifuge Modeling of Laterally Loaded Pile Groups in Improved Soft Clay." *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* , 04015099.