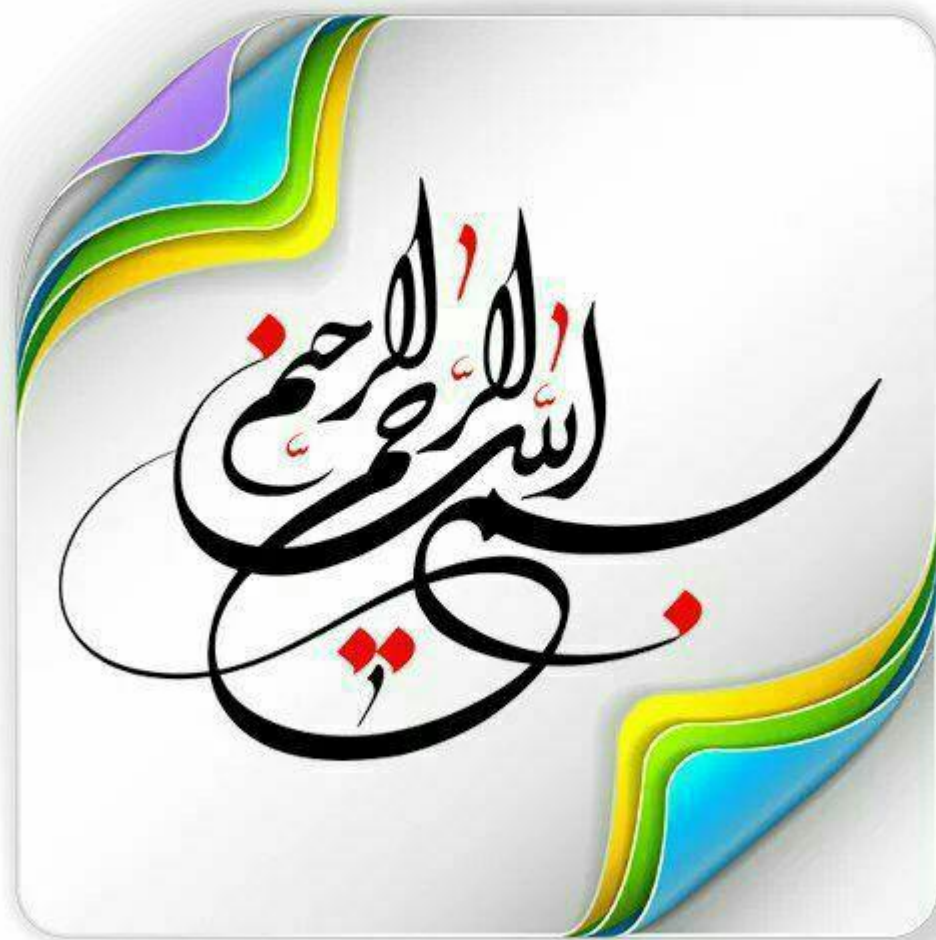






دانشکده عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد ژئوتکنیک

مدل سازی عددی پایداری سازی گود با استفاده از

شمع های فولادی و مهار

دانشجو:

محمد صادق اسماعیل پور

استاد راهنما:

جناب دکتر رضا نادری

دی ۱۴۰۰



مدیریت تحصیلات تکمیلی

باسمه تعالی

فرمهای ارزشیابی پایان نامه کارشناسی ارشد
مربوط به ورودی‌های ۹۴ به بعد

شماره: ۹۱۲ / ۴ =

تاریخ:

۱۴ / ۱۳ / ۹

ویرایش:

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای محمصدق اسماعیل پور با شماره دانشجویی ۹۷۰۲۴۶۴ رشته عمران گرایش ژئوتکنیک تحت عنوان مدل سازی عددی پایداری گودبا استفاده از شمع فولادی و مهار که در تاریخ ۱۴۰۰/۱۰/۲۹ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار شد به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

الف) درجه عالی: نمره ۱۹-۲۰ ☐		ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸/۹۹ - ۱۸ ☐	
ج) درجه خوب: نمره ۱۷/۹۹ - ۱۶ ☒		د) درجه متوسط: نمره ۱۴-۱۵/۹۹ ☐	
ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد ☐			
نوع تحقیق: نظری ☐ عملی ☐			

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	جناب دکتر رضائانی	دانشیار	
۲- استاد راهنمای دوم			
۳- استاد مشاور			
۴- استاد داور اول	جناب دکتر محسن کرامتی	استادیار	
۵- استاد داور دوم	جناب دکتر ابراهیم زمانی	استادیار	
۶- نماینده تحصیلات تکمیلی	جناب دکتر جلیل شفاپی	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تقدیم اثر

مقدس‌ترین واژه‌ها در لغت نامه دلم، پدر و مادرم، والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم چرا که این دو وجود پس از پروردگار مایه هستی‌ام بوده‌اند دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی و زندگی پر از فراز و نشیب آموختند. بارالها تو خود می‌دانی که برای تشکر از زحمات بی دریغ و بی منت پدر و مادرم چقدر دستم خالی است و چقدر واژه‌ها بی بضاعت و بی ارزش، اما تو یاری کن ما را تا بنده‌ی قدرشناسی باشم، قدرشناس پدر و مادرم که در مسیر پرپیچ و خم زندگی، مشعل امید را در شب‌های زندگی‌م به ارمغان آوردند. باشد که توانسته باشم قطره‌ای از دریای بی کران محبت‌هایشان را سپاس گفته باشم.

تشکر و قدردانی

سپاس و ستایش خدای سبحان را که توانایی و بضاعت انجام این پژوهش را به ما عنایت کرد.

بدینوسیله از زحمات و تلاش بی دریغ استاد عالی قدر جناب آقای دکتر نادری که در تهیه این مجموعه با اینجانب همکاری داشته‌اند، تشکر و مراتب سپاس قلبی خود را اعلام نموده و موفقیت ایشان را توأم با صحت و سعادت از خداوند متعال خواهانم.

و نیز از دکتر بذرافشان و دکتر کرامتی که با مشاوره و نظارت دقیق بر پژوهش مرا یاری نمودند، تشکر ویژه دارم، و در پایان از تمامی عزیزانی که در طول انجام این پروژه مرا یاری کرده‌اند کمال تشکر و قدردانی را ابراز می‌نمایم.

تعهد نامه

اینجانب محمد صادق اسماعیل پور دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ژئوتکنیک دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه مدل سازی عددی پایداری گود با استفاده از شمع های فولادی و مهار تحت راهنمایی دکتر رضا نادری متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورداستفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود هست و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود. استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

نیاز به گودبرداری های عمیق در مناطق شهری برای احداث ابنیه ضروری واجتناب ناپذیر است. برداشتن خاک سست سطحی و دسترسی به خاک متراکم زیرین، به خصوص در گودبرداری های با عمق بیشتر تاثیر بسزایی در تغییر نحوه توزیع تنش در لایه های مختلف خاک دارد؛ از همین رو با احداث سازه های نگهدارنده می توان از حرکات غیر ایمن خاک جلوگیری نمود. در محیط های شهری به دلیل محدودیت دسترسی و کوچک بودن ابعاد زمین استفاده از روش شمع و مهار روشی معقول و مناسب است که تا پیش از این بیشتر به صورت دو بعدی و عموماً با نرم افزارهای پلکسیس و فلک مدل سازی می شدند اما با توسعه ی روز افزون رایانه ها، مدل سازی سه بعدی این مسائل بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش به مدل سازی سه بعدی گودبرداری پروژه ی پاژ (واقع در مشهد) به عمق تقریبی ۲۰ متر در نرم افزار آباکوس پرداخته شده است. نتایج نشان می دهد که کاهش طول انکرها تا ۲ متر، می تواند به بهینه شدن سازه از نظر اقتصادی منجر شود. همچنین کاهش ۲ درجه ای در زاویه انکر منجر به کاهش تنش و جابه جایی ها نیز می گردد. همچنین اعمال بارهای دینامیکی غیر خطی همچون زلزله موجب افزایش نیروهای وارد بر گود برداری شده و احتمال تخریب را افزایش می دهد. با افزایش PGA و نیز مدت زمان زلزله به ترتیب جابه جایی حداکثر و تنش حداکثر بر روی جداره بیشتر مورد تأثیر قرار می گیرند.

کلمات کلیدی: مدل سازی عددی؛ آباکوس؛ گودبرداری؛ انکراژ؛ شمع؛ تحلیل عددی

فهرست مطالب

فصل اول: ۱

مقدمه ۱

۱-۱- کلیات ۲

۱-۲- تعریف مسئله ۳

۱-۳- ضرورت تحقیق ۳

۱-۴- نوآوری ۴

۱-۵- سؤال‌های تحقیق ۵

۱-۶- فرضیه‌های تحقیق ۵

۱-۷- فصل‌بندی ۶

فصل دوم: ۷

سازه‌های نگهبان و پیشینه تحقیق ۷

۲-۱- مقدمه ۸

۲-۲ ساخت‌وسازهای زیرزمینی ۸

۲-۳- سازه‌های نگهبان گود ۹

۲-۳-۱- سپرهای فولادی ۱۰

۲-۳-۲- دیوارهای شمعی ۱۱

۲-۳-۲- دیوارهای دیافراگمی ۱۴

۲-۴- سازه‌های نگهبان از نوع شمع ۱۵

۲-۴-۱- محدودیت‌های پایداری سازی به کمک شمع‌ها ۱۶

- ۵-۲ سیستم‌های مهاربندی گود ۱۶
- ۲-۶ سیستم‌های نگهبان گود ترکیبی ۱۹
- ۶-۲ جابه‌جائی در گودبرداری‌ها ۲۱
- ۷-۲ مطالعات پیشین ۲۳

فصل سوم: ۳۷

مدل‌سازی ۳۷

- ۱-۳-۱ مقدمه ۳۸
- ۲-۳ معرفی مشخصات هندسی و مکانیکی ۳۸
- ۳-۳ انتخاب مدل رفتاری و تعیین پارامترهای آن ۴۰
- ۴-۳ کلیات مدل‌سازی ۴۲
- ۵-۳ صحت سنجی ۴۴

فصل چهارم: ۵۳

تحلیل عددی روش شمع و مهار ۵۳

- ۱-۴-۱ مقدمه ۵۴
- ۲-۴-۱ تأثیر طول انکراژ ۵۴
- ۳-۴-۱ تأثیر تغییر در زاویه ۶۰
- ۴-۴-۱ جابه‌جائی گود در برابر ارتعاشات لرزه‌ای ۶۵
- ۴-۴-۱-۱ اعمال شتاب‌نگاشت و مقایسه با نکات آیین‌نامه ۲۸۰۰ ۶۵
- ۴-۴-۲-۱ مفهوم فاصله از گسل ۶۷
- ۴-۴-۳-۱ مدت‌زمان حرکت شدید زمین ۶۸
- ۴-۴-۴-۱ شتاب‌نگاشت‌ها ۶۹
- ۵-۴-۱ نتایج تحلیل دینامیک ۷۲

۶-۴- جمع‌بندی ۷۵

فصل پنجم: ۷۷

نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۷۷

۵-۱ مقدمه ۷۸

۵-۲ نتایج ۷۸

۵-۳ تحقیقات آتی ۸۱

مراجع ۸۲

فهرست جدول‌ها

جدول (۱-۲).	خلاصه‌ای از مزایا و محدودیت‌های استفاده از فضاهای زیرزمینی [۲].....	۱۰
جدول (۲-۲)	مقایسه تغییر مکان جدار گود در روش‌های میخکوبی و شمع-میخ [۹].....	۲۰
جدول (۱-۳)	ویژگی‌های خاک مورد استفاده در صحت سنجی و پژوهش.....	۳۹
جدول (۲-۳)	مشخصات شمع‌های قائم فولادی.....	۴۰
جدول (۳-۳)	مشخصات انکرهای مورد استفاده.....	۴۰
جدول (۴-۳)	کلیات طرح پایدارسازی تیپ ۱.....	۴۵
جدول (۵-۳)	کلیات طرح پایدارسازی تیپ ۲.....	۴۵
جدول (۶-۳)	کلیات طرح پایدارسازی تیپ ۳.....	۴۵
جدول (۷-۳)	کلیات طرح پایدارسازی تیپ ۴.....	۴۶
جدول (۸-۳)	کلیات طرح پایدارسازی تیپ ۵.....	۴۶
جدول (۱-۴)	تیپ بندی خاک توسط آیین‌نامه ۲۸۰۰.....	۶۶
جدول (۲-۴)	زلزله‌های استفاده‌شده در پژوهش حاضر.....	۷۰

فهرست شکل‌ها و نمودارها

شکل (۱-۲)	سپر فولادی اجراشده در محیط‌های شهری.....	۱۱
شکل (۲-۲)	مقطعی از دیوار شمعی ناپیوسته.....	۱۲
شکل (۳-۲)	شمایی از دیوار شمعی سخت-نرم.....	۱۲
شکل (۴-۲)	شماتیکی از دیوار شمعی پیوسته سخت-سخت.....	۱۳
شکل (۵-۲)	تصویری از حفاری گمانه‌ها و اجرای شمع بتنی و فولادی.....	۱۵
شکل (۶-۲)	نمایی از مهار گذاری جانبی گود.....	۱۷
شکل (۷-۲)	نمایی از نحوه کارگذاری مهار جانبی به منظور کاهش تغییر مکان افقی دیوار دیافراگمی ...	۱۸
شکل (۸-۲)	بخش‌های مختلف سیستم انکر در مهار گودبرداری.....	۱۹
شکل (۹-۲)	الف- تغییر شکل محدب یا قاشقی (سمت راست) ب- تغییر شکل مقعر (سمت چپ).....	۲۲
شکل (۱۰-۲)	تغییر شکل نرمالیزه دیواره گود در برابر سختی سیستم_حالت اول [۱۴].....	۲۵
شکل (۱۱-۲)	تغییر شکل نرمالیزه دیوار در برابر سختی سیستم _حالت دوم [۱۴].....	۲۵
شکل (۱۲-۲)	تغییر شکل نرمالیزه دیوار در برابر سختی سیستم _حالت سوم [۱۴].....	۲۶
شکل (۱۳-۲)	جابه‌جائی جانبی دیوار در برابر عمق [۱۵].....	۲۷
شکل (۱۴-۲)	شماتیک ناحیه مؤثر گودبرداری [۱۷].....	۲۹

- شکل (۲-۱۵) دو نوع الگوی نشست خاک پشت گود پیشنهادی هسیه و اوو [۱۷] ۲۹
- شکل (۳-۱) مختصات کلی پروژه موردنظر ۳۹
- شکل (۳-۲) معیار گسیختگی موهر-کلمب در فضای تنش‌های اصلی ۴۱
- شکل (۳-۳) مدل‌سازی دوبعدی انجام شده در محیط پلکسیس ۴۳
- شکل (۳-۴) شماتیک مدل‌سازی دیوار شمع-انکر به صورت سه‌بعدی ۴۴
- شکل (۳-۵) ترازهای ارتفاعی و جانمایی انکرها بر روی شمع هادر ضلع جنوبی ۴۷
- شکل (۳-۶) نقاط پایش جابه‌جایی در راستای عمود بر دیواره گود نسبت به عمق گود ۴۷
- شکل (۳-۷) نتایج تیپ شماره ۲ ۴۸
- شکل (۳-۸) نتایج تیپ شماره ۵ ۴۹
- شکل (۳-۹) نتایج تیپ شماره ۹ ۵۰
- شکل (۳-۱۰) نتایج تیپ شماره ۱۳ ۵۰
- شکل (۴-۱) تنش و جابجائی در مدل اصلی ۵۵
- شکل (۴-۲) تنش و جابجائی در دیواره و انکر مدل با ۳ متر طول انکر کمتر ۵۷
- شکل (۴-۳) تنش در دیواره و انکر مدل با ۳ متر طول انکر بیشتر ۵۷
- شکل (۴-۴) تنش ایجاد شده در انکرهای ردیف پایین در دیواره شمالی به ازای ۳ متر طول انکر بیشتر ۵۸
- شکل (۴-۵) تنش و جابه‌جائی در دیواره و انکر در حالت ۳ درجه رو به پایین ۶۱
- شکل (۴-۶) تنش و جابه‌جائی و انکر در حالت ۳ درجه رو به بالا ۶۲
- شکل (۴-۷) تنش و جابه‌جائی و انکر در حالت ۵ درجه رو به بالا ۶۳
- شکل (۴-۸) حداقل‌های اشاره شده برای انتخاب رکورد زلزله ATC_{63} ۶۸
- شکل (۴-۹) شتاب نگاشت اصلاح شده برای حوزه دور ۷۱
- نمودار (۴-۱) مقایسه تنش ایجاد شده در انکرها به ازای طول‌های مختلف ۵۸
- نمودار (۴-۲) مقایسه تنش ایجاد شده در دیواره شمالی به ازای طول‌های مختلف ۵۹
- نمودار (۴-۳) مقایسه جابه‌جائی ایجاد شده در دیواره شمالی به ازای طول‌های مختلف ۵۹
- نمودار (۴-۴) تغییرات جابه‌جائی در دیواره شمالی در زاویه‌های مختلف انکر ۶۴
- نمودار (۴-۵) تنش حداکثر در انکرها در زاویه‌های مختلف انکر ۶۴
- نمودار (۴-۶) تنش حداکثر در دیواره شمالی در زاویه‌های مختلف انکر ۶۵
- نمودار (۴-۷) تاریخچه زمانی جابه‌جائی لبه‌ی دیواره‌ی شمالی (الف) طبس ب) نورث‌ریج ج) امپریال ولی ۷۲
- نمودار (۴-۸) تاریخچه زمانی جابه‌جائی لبه‌ی بالایی شمع میانی در دیواره‌ی شمالی (الف) طبس ب) نورث‌ریج ج) امپریال ولی ۷۳
- نمودار (۴-۹) تاریخچه زمانی تنش در میانه‌ی بتن دیواره‌ی شمالی (الف) طبس ب) نورث‌ریج ج) امپریال ولی ۷۴

فصل اول:

مقدمه

۱-۱- کلیات

در بسیاری از پروژه‌های ساختمانی به‌خصوص در بخش‌های پر تراکم شهر لازم است که زمین به‌صورتی خاک‌برداری شود که جداره‌های آن قائم اجرا شود. گودبرداری‌های این‌چنینی ممکن است به‌منظور احداث زیرزمین برای پروژه‌ها، ایجاد کانال و ... صورت گیرد. فشار جانبی وارد بر این دیواره‌ها ناشی از رانش خاک بوده و سربارهای احتمالی روی خاک اطراف گود نیز بر میزان فشار خواهد افزود. این سربارها می‌توانند شامل خاک بالاتر از تراز افقی لبه‌ی گود، بار وارد شده از وزن ساختمان مجاور، بارهای ناشی از معابر مجاور مانند مسیر عبور خودروها و... باشند. به‌منظور جلوگیری از ریزش دیواره و پیشگیری از تبعات منفی احتمالی ناشی از این خاک‌برداری، مهندسين سازه‌های موقتی را اجرا می‌کنند که به آن سازه‌های نگهبان می‌گویند. هدف اصلی ایمن‌سازی جداره‌های گود حفظ جان انسان‌های خارج و کارگران داخل گود، حفظ اموال خارج و ماشین‌آلات داخل گود و نیز فراهم آوردن شرایط امن و مطمئن برای اجرای کار در پروژه موردنظر می‌باشد.

طراحی و اجرای سازه‌های نگهبان در مهندسی عمران دارای دامنه‌ی فراوانی است و نیازمند بررسی‌ها و مطالعات دقیق و رعایت ملاحظات ژئوتکنیکی، سازه‌ای، مواد و مصالح، فناوریانه و اجرایی و اقتصادی و اجتماعی است. در نتیجه می‌توان گفت که انتخاب روش مناسب برای حفاری در هر پروژه‌ای بستگی به مجموع شرایط تأثیرگذار دارد و می‌تواند در شرایط مختلف، به‌صورت‌های گوناگونی باشد. از سوی دیگر، تئوری‌ها و روش‌های اجرایی گودبرداری و سازه‌های نگهبان بسیار متنوع بوده و هم مبتنی بر اصول نظری و هم تأثیر گیرنده از شرایط اجرایی است. در میان روش‌های متنوع مورد استفاده در گودبرداری‌ها، استفاده از روش پایدارسازی شمع و مهار هم‌زمان با انکر در محدوده شهری متداول‌تر از سایر روش‌ها بوده است.

۱-۲- تعریف مسئله

در سال‌های اخیر با افزایش جمعیت به‌خصوص در شهرهای بزرگ موضوع احداث سازه‌های دارای گودبرداری بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. نیاز به گودبرداری‌های عمیق در مناطق شهری برای احداث ابنیه ضروری و اجتناب ناپذیر است. برداشتن خاک سست سطحی و دسترسی به خاک متراکم زیرین، به‌خصوص در گودبرداری‌های با عمق بیشتر، تأثیر بسزایی در تغییر نحوه توزیع تنش در لایه‌های مختلف خاک دارد. گودهای شهری می‌توانند باعث انحراف جانبی دیوار و زمین شوند و این امر علاوه بر احتمال خسارت بر خود سازه ممکن است باعث آسیب به ساختمان‌های کناری و تجهیزات درون آن‌ها شود؛ لذا گودبرداری و سازه نگهدارنده به‌عنوان یکی از پر حادثه‌ترین سازه‌ها در مهندسی عمران شناخته می‌شود و عدم دقت در مراحل طراحی، محاسبه و اجرای گودبرداری‌ها می‌تواند خسارات مالی و جانی بسیاری را به بار بیاورد. از سوی دیگر میزان و شکل جابجایی دیوار ناشی از گودبرداری‌های عمیق بستگی به عوامل گوناگون دارد که بایست به آن‌ها پرداخته شود.

۱-۳- ضرورت تحقیق

یکی از مشکلاتی که امروزه در ساخت‌وسازهای شهری مشهود است، موضوع محدودیت در ساخت‌وسازها به دلیل مجاورت با سازه‌های تکمیل قبلی است که ساخت‌وساز را دشوار می‌کند. از سوی به دلیل ارزش بالای ساختمان در محیط‌های شهری و گران یا در دسترس نبود زمین کافی و در نتیجه تمایل مالکین به استفاده حداکثری از مساحت زمین، باعث شده است بسیاری از کارفرمایان بجای گسترش جانبی ساختمان‌ها و اشغال زمین بیشتر، گسترش روبه پایین و احداث در طبقات منفی را مقرون به صرفه بدانند و لذا مسئله حفاظت از گود در حین ساخت

امری مهم است. یکی از روش‌های پایدارسازی گود استفاده از شمع فولادی همراه با انکراژ است. در این روش در پیرامون زمینی که قرار است گودبرداری شود، در فواصل معینی از هم شمع‌ها اجرا می‌شوند و سپس با انکرها مهار می‌گردند.

شمع‌ها فشار جانبی خاک را به‌صورت تیر یکسر گیردار متحمل شده و اجازه تخریب دیوار را نمی‌دهند. مهم‌ترین پارامترهایی که در بحث طراحی و عملکرد شمع‌ها و مهارهای انکر اهمیت دارند عبارت‌اند از: ماکزیمم لنگر وارد بر میانه شمع ناشی از گودبرداری، فاصله مرکز تا مرکز انکراژها و شمع‌ها از یکدیگر، عمق نهایی گودبرداری، جنس خاک پیرامون، حرکت جانبی خاک و... است، که حرکت جانبی یکی از مؤلفه‌های مهمی است که در آیین‌نامه‌ها نیز بدان اشاره زیادی شده است. حرکت جانبی خاک در واقع همان تغییر مکان افقی سازه نگهبان ناشی از فشار محرک وارده بر دیواره‌ی گودبرداری است. در برخی پروژه‌ها از شمع‌ها در گودهای عمیق به‌تنهایی استفاده می‌شود که البته این سازه‌ها معایبی نیز دارند از جمله آن‌ها می‌توان فواصل کم بین شمع‌ها در این نوع طراحی و افزایش قطر شمع رانام برد که سبب افزایش هزینه نهایی در پایدارسازی گود می‌شوند. برای حل موضوع می‌توان با استفاده از سیستم انکراژ (که به دلیل ایجاد مقاومت در پشت گوه خاک، باعث کاهش تغییر شکل‌ها می‌گردد)، هم‌زمان با سیستم شمع استفاده کرد. استفاده از سیستم شمع-مهار با انکر در واقع رفتار کلی خاک مجاور دیوار را به لحاظ توزیع تنش و تغییر شکل ایجاد شده در لبه‌ی گود در انتهای خاک‌برداری تحت تأثیر قرار داده و با ترکیب مناسب شمع و انکر می‌توان سامانه‌ای با عملکرد مناسب و بازدهی بیشتر به دست آورد.

۴-۱- نوآوری

با توجه به اینکه تحقیقات پیشین عموماً به‌صورت دوبعدی مدل‌سازی شده‌اند و همچنین در این مثال‌ها به‌ناچار می‌بایست از انکرهای یکنواخت و شمع‌های یکسان استفاده کرد، لذا مدل‌سازی سه‌بعدی

مسئله می‌تواند کمک زیادی به محققین کند تا با بهینه کردن طراحی، هزینه‌های ساخت‌وساز را کاهش دهند.

از سوی دیگر مدل‌سازی‌های پیشین عموماً با برنامه‌های پلکسیس و فلک دوبعدی انجام می‌شده است و استفاده از نرم‌افزار دقیق مدل‌سازی به نام اباکوس می‌تواند زوایای جدیدی از مدل‌سازی را بازگو کند.

موضوع دیگر بررسی شده در این پژوهش تحلیل دینامیک گودبرداری اجراشده‌ی سه‌بعدی است که تا پیش از این به دلیل هزینه‌ی محاسباتی بالا، کمتر مورد توجه محققین قرار گرفته است؛ این موضوع در خصوص دیوارهای شمع و انکر صدقیت بیشتری نیز دارد.

۱-۵- سؤال‌های تحقیق

در این تحقیق در پی یافتن پاسخ سؤالات زیر هستیم:

- ۱- شمع و انکر مدل‌سازی شده به‌صورت سه‌بعدی با چه فرآیندی جابه‌جائی دیوار و کف گود را تحت بارهای زلزله‌ی طرح در خود توزیع خواهد کرد؟
- ۲- زاویه مناسب به‌کارگیری انکرها چیست و استفاده از انکرهای غیریکنواخت چه تأثیری دارد؟
- ۳- طول انکرها را تا چه مقدار بایست افزایش یا کاهش داد تا طراحی بهینه شود؟

۱-۶- فرضیه‌های تحقیق

در این تحقیق هدف مدل‌سازی عددی پایداری گودی در مشهد واقع در میدان جانباز با استفاده از شمع‌های فولادی و مهار با انکر می‌باشد. اهداف و نتایجی که مدنظر است شامل بررسی تغییر مکان جانبی دیواره گود و بررسی تأثیر استفاده از انکرهای غیریکنواخت در سیستم پایداری است.

مهم‌ترین فرضیه‌های مورد استفاده در این پژوهش به شرح زیر است:

در این پایان نامه، گود و سیستم پایدارکننده گود توسط نرم افزار آباکوس و به صورت ۳ بعدی (کرنش

حجمی) مدل شده است. مدل رفتاری خاک موهر کولمب^۱ برای خاک محیطی در نظر گرفته شده است. همچنین با توجه به اطلاعات به دست آمده از محل پروژه آب زیرزمینی در مدل سازی لحاظ نشده و لذا خاک، خشک در نظر گرفته شده است. همچنین رفتار انکر و شمع و بتن‌های استفاده شده نیز به صورت خطی و با مدل الاستیک فرض گردیده است. زلزله طرح متناسب با نکات آیین نامه ۲۸۰۰ و با فرض حوزه دور در نظر گرفته شده است.

۱-۷- فصل بندی

این پژوهش در ۵ فصل ارائه می گردد که مطالب آن به شرح زیر است:

فصل اول به بیان اهداف، ضرورت، نوآوری‌ها و فرضیات انجام پژوهش می پردازد. در فصل دوم علاوه بر بررسی انواع گودبرداری‌های شهری، پیشینه تحقیقات انجام شده در زمینه گودبرداری و پایدارسازی گود توسط روش انکر و شمع بیان شده دارد و کلیاتی از آن‌ها، موارد کاربرد، آشنایی با مراحل اجرایی مطرح می گردد.

فصل سوم نرم افزار آباکوس نحوه مدل سازی به اختصار شرح داده می شود و سپس پروژه اجرا شده در مشهد به نام «پاژ» صحت سنجی شده است. در فصل چهارم نتایج تحلیل‌های عددی انجام شده، ارائه گردیده و به بررسی و تحلیل آن‌ها پرداخته می شود. فصل پنجم نتایج بررسی‌های انجام شده در فصل چهارم جمع بندی گردیده و پیشنهادهایی برای مطالعات آینده ارائه شده است.

^۱ Mohr-Coulomb

فصل دوم:

سازه‌های نگهبان و پیشینه تحقیق

۲-۱- مقدمه

انسان‌ها در چندهزار سال زندگی خود بر روی زمین، همواره نگاهی ویژه به زیر زمین و دل کوه‌ها داشته‌اند و از آنجاکه این مکان‌ها را امن می‌پنداشته‌اند، هرگاه در مقابل عوامل محیطی همچون سرما و باران احساس خطر کرده‌اند؛ به زیر سطح زمین و چاله‌های حفر شده در دل زمین و کوه‌ها پناه برده‌اند. با گسترش علم و افزایش ساخت‌وسازها هنوز هم از علاقه‌ی بشر به زمین و فضاهای در دسترسشان کاسته نشده است. در این فصل ابتدا به ضرورت استفاده از سازه‌های زیرزمینی پرداخته شده است و سپس با ذکر انواع روش‌های حفاظت از حفاری‌ها، انواع شمع‌های مورد استفاده در گودبرداری شرح داده خواهد شد. در ادامه ضمن تشریح روش اجرای دیوارهای ترکیبی از شمع و انکر، به بررسی پژوهش‌های پیشین پیرامون اثرات پارامترهای طراحی متنوع بر رفتار این دیوارها و جابه‌جایی خاک نواحی اطراف گود پرداخته خواهد شد.

۲-۲ ساخت‌وسازهای زیرزمینی

سازه‌های زیرزمینی به دلایل متعددی از جمله موضوع به حداقل رساندن معضلات زیست‌محیطی، نیاز به صرفه‌جویی در مصرف انرژی، توسعه‌ی سیستم حمل‌ونقل شهری، افزایش خدمات عمومی و در برخی از موارد محافظت از مناظر شهری و میراث فرهنگی ایجاد شده‌اند. از جمله دلایل افزایش تمایل به استفاده از فضاهای زیرزمینی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف) شرایط توپوگرافی منطقه مانند نیاز به احداث مسیرهای ارتباطی در نواحی کوهستانی یا نیاز به

عبور از زیر رودخانه‌ها.

ب) صرفه‌جویی در مصرف انرژی به کمک استفاده از دما و رطوبت ثابت در فضاهای زیرزمینی.

ج) محافظت در مقابل سوانح طبیعی از جمله سرمای شدید، طوفان و سیل.

د) مقاومت بالاتر خاک‌های زیرزمینی در مقابل زلزله.

ه) ایمنی بیشتر به دلیل محدودیت نقاط دسترسی و قابلیت کنترل آن‌ها.

و) حفظ محیط‌زیست و محافظت از شرایط طبیعی، پوشش گیاهی و سکونتگاه حیوانات.

ز) کاهش هزینه‌های اجرای فضاهای زیرزمینی با توسعه روش‌های طراحی و ساخت.

ی) کاهش تأثیرات نامطلوب ظاهری [۱].

مزایای فضاهای زیرزمینی تنها به این موارد ختم نشده و لذا علیرغم محدودیت‌های استفاده از فضاهای زیرزمینی؛ کاربرد این سازه‌ها رو به افزایش است. خلاصه‌ای از مزایا و محدودیت‌های استفاده از فضاهای زیرزمینی در جدول (۱-۲) آورده شده است [۲].

۲-۳- سازه‌های نگهبان گود

استفاده و به کارگیری فضاهای زیرزمینی نیازمند حفاری‌های زیرزمینی است. ایجاد فضایی خالی در زیرزمین سبب جابجایی‌های غیر ایمن توده خاک خواهد شد و نواحی اطراف حفاری را با احتمال تخریب همراه کرد؛ لذا بایست با احداث سازه‌های نگهبان از حرکات غیر

ایمن خاک در گودبرداری‌ها جلوگیری نمود. در ادامه به سامانه‌های متنوع حفاظت از گود پرداخته شده است.

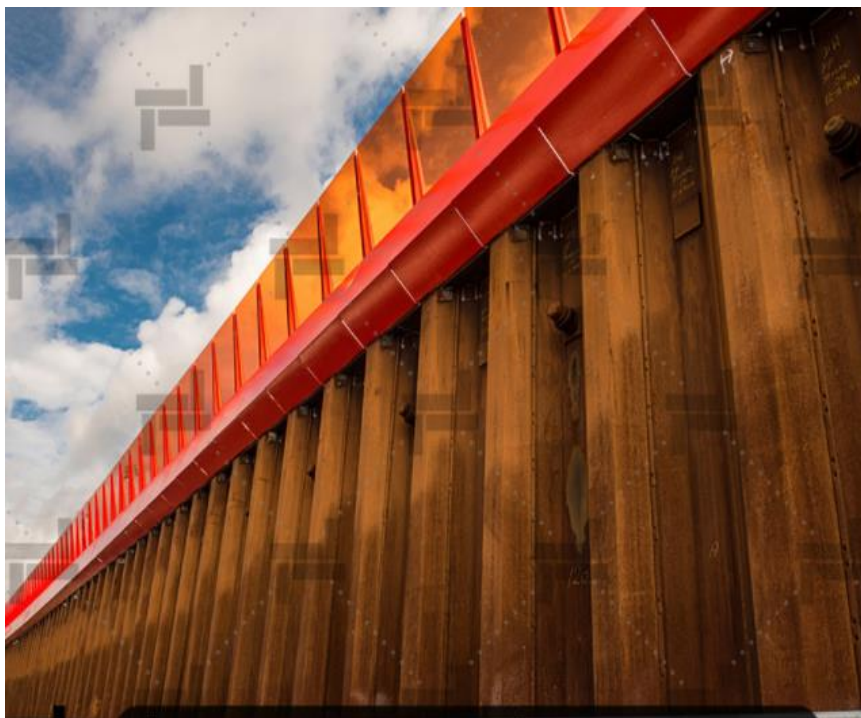
جدول (۱-۲). خلاصه‌ای از مزایا و محدودیت‌های استفاده از فضاهاى زیرزمینی [۲]

محدودیت‌ها	مزایا	جنبه‌ها
- افزایش هزینه‌های ساخت در محل احداث - نقاط ارتباطی با سطح همچون دهانه تونل‌ها	- ایجاد بافت پیوسته شهری - صرفه‌جویی در کاربری ثانویه زمین (ترافیک، پارکینگ) برای کاربرد تفریحی، مسکن و محل کار - استفاده از سنگ‌بستر در گرمایش و سرمایش	اقتصادی
معضلات ارتباط با سطح زمین در زمین‌های نرم	بهینه بودن ساخت‌وساز در زمین‌های سخت	فنی
معضلات هماهنگی و ایجاد ارتباط با دیگر شبکه‌های حمل‌ونقل سطحی	- احداث تقاطع خیابان‌ها و مسیرهای جدید شهری - بهبود ایمنی شهری	کارکردی
- کنترل محدود - سختی بودن جهت‌یابی زیرزمینی	افزایش کیفیت زندگی با انتقال خیابان‌ها و مسیرهای حمل‌ونقل به زیرزمین	اجتماعی
- از بین رفتن منابع آب زیرزمینی شوند - معضلات یافتن موقعیت‌های مناسب جهت ایجاد رمپ‌ها و دیگر نقاط اتصالی	- حفظ مناظر طبیعی و مناطق شهری - تأثیرگذاری بر شرایط طبیعی و ظاهری مناطق - حفاظت از محیط‌زیست و مناطق ارزشمند میراث فرهنگی	محیط‌زیستی

۲-۳-۱- سپرهای فولادی

سپرهای نوعی دیوار نگهبان هستند که عموماً با ضربه زدن‌های متوالی به درون خاک رانده می‌شوند و سپس به هم قفل شده و یکپارچه می‌گردند. از مزایای این روش سهولت در کوبش خصوصاً در خاک‌های سست، نصب و بیرون کشیدن آن‌ها بعد از تمام کار، استفاده مجدد از

مصالص در سایر پروژه‌ها و نیاز کمتر به المان‌های افقی و مایل است. البته این روش معایبی نیز دارد که از جمله می‌توان به هزینه بالای تأمین مصالح، محدودیت اجرا در محیط‌های شهری به دلیل وجود تأسیسات زیر بنایی شهری (مانند شبکه آب شهری و امکان آسیب‌رسانی به آن‌ها) و ایجاد لرزش و صدای ناشی از کوبیدن سپرها اشاره کرد. همچنین کوبیدن سپرها در زمین‌های سنگی، یا زمین‌های با خاک سخت، شن و ماسه درشت‌دانه به‌سختی، شدنی است و ممکن است باعث لهیدگی و اعوجاج سپر و افزایش هزینه‌های جانبی نیز بگردد [۳].



شکل (۱-۲) سپر فولادی اجراشده در محیط‌های شهری

۲-۳-۲- دیوارهای شمعی

این نوع از شمع‌ها در واقع ردیفی از شمع‌های منفرد هستند که در کنار یکدیگر به خوبی اجرا شده‌اند تا در مقابل بارهای جانبی مقاومت کنند. این دیوارها به سه روش که متعاقباً شرح داده خواهد شد احداث

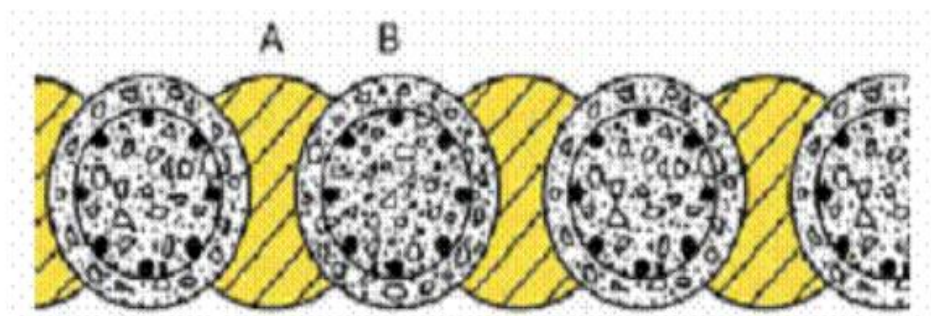
می گردند.



شکل (۲-۲) مقطعی از دیوار شمعی ناپیوسته

دیوار شمعی پیوسته سخت-نرم

در این روش بین شمعی‌های ساخته شده از بتن مسلح، از شمعی‌هایی با بتن پلاستیکی استفاده می‌گردد. روش اجرا به این ترتیب است که ابتدا شمعی‌هایی با بتن پلاستیک مانند شمعی‌های با نام اختصاری A در شکل (۳-۲) یک‌درمیان حفاری و اجرا شده و سپس با رعایت همپوشانی، شمعی‌های اصلی و سازه‌ای یا همان شمعی‌های با نام اختصاری B اجرا می‌گردد. شکل (۳-۲) نمایی از مراحل ساخت این روش را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۲) شمایی از دیوار شمعی سخت-نرم

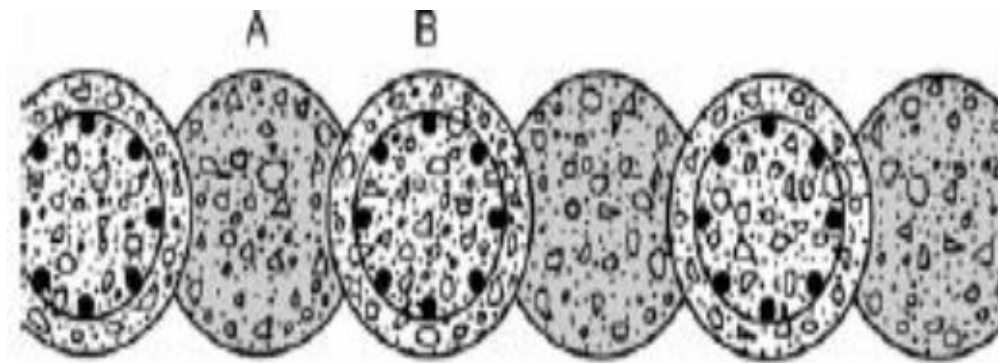
کاربرد این روش بیشتر می‌تواند در دیواری که توده خاک از چسبندگی کمی برخوردار بوده مدنظر طراح باشد و یا زمانی که غالب مصالح خاک سیلت دار بوده و به علاوه عملکرد آب‌بندی دیوار نگهبان مدنظر باشد می‌توان از این روش بهره برد.

دیوار شمعی ناپیوسته

در مواردی که توده خاک دارای چسبندگی زیاد بوده و سطح آب‌های زیرزمینی خیلی بالا نباشد، می‌توان از شمع‌های درجاریز ناپیوسته و بافاصله تعیین شده استفاده کرد. در این روش پایداری در برابر نیروهای جانبی مطرح نبوده و نیاز به آب‌بندی نیست. این روش در پایداری‌های کوتاه‌مدت کارایی بسیار خوبی داشته ولی در عین حال ممکن است در اثر مرور زمان دچار هوازدگی شود و تغییر پارامترهای خاک بین شمع‌ها به وجود بیاید و در پی آن ریزش خاک بین شمع‌ها را شاهد باشیم.

دیوار شمعی پیوسته سخت-سخت

این روش مشابه روش قبلی بوده با این تفاوت که در اجرای شمع‌های مرحله نخست شمع‌های با نام اختصاری A در شکل (۲-۴) اجرا شده و سپس از بتن معمول به‌جای بتن پلاستیک استفاده می‌گردد.



شکل (۲-۴) شماتیکی از دیوار شمعی پیوسته سخت-سخت

این نوع دیوارها برای عمق‌های بیشتر در قیاس با دو روش قبلی استفاده می‌گردد و پس از اتمام کار یک جدارهای کاملاً بتنی حاصل می‌گردد که در مقابل بارهای جانبی مقاومت زیادی را از خود نشان می‌دهد.

۲-۳-۲- دیوارهای دیافراگمی

دیوار دیافراگمی نوعی متداول از دیوارهای نگهبان هستند که به صورت پیوسته اجرا شده و لذا هم در مقابل بارهای جانبی مقاومت بالایی دارد و هم آب‌بندی خوبی را ایجاد خواهند کرد. این دیوارها از آنجاکه به صورت دائمی اجرا می‌شوند لذا بایست طراحی آنها مناسب کاربری دائمی باشد و پس از پایان حفاری نیز عملکرد سازه‌ای خود را حفظ کنند. این دیوارها نخستین بار در ایتالیا و در اوایل دهه ۱۹۵۰ میلادی استفاده شده اما با گسترش ماشین‌آلات ساخت این دیوارهای مقاوم، روزبه‌روز در حال توسعه هستند [۴].

مهم‌ترین نکات در استفاده از دیوارهای دیافراگمی به شرح زیر است:

- سرعت اجرای کار بسیار زیادی را به همراه دارند.
- درجه ایمنی کار را به حد مطلوبی بالا می‌برند.
- دیوار دیافراگمی در اغلب موارد هم به جای سازه نگهبان گود رفتار می‌کند و هم در حین بهره‌برداری از آن به عنوان دیوار حائل استفاده شده و نیاز به اجرای دیوار مجزا در پروژه نخواهد بود.
- دیوار دیافراگمی برای حفاری‌ها و گودهای با طول زیاد عملکرد بسیار خوبی از خود نشان می‌دهند. محدودیت‌های استفاده از دیوارهای دیافراگمی نیز به صورت کلی به شرح زیر است:
- در احجام کم، هزینه اجرای کار را افزایش می‌دهند.
- در این روش، دستگاه‌های حفاری مربوطه به فضای کار بسیار زیادی نیاز خواهد داشت و در صورتی که از نظر فضای دو طرف دیواره محدودیت وجود داشته باشد مانند محیط‌های پر تراکم شهری، اجرای کار تا حدودی زیادی ناممکن خواهد شد.

- در این روش به دستگاه‌های حفاری ویژه‌ای نیاز است.

- در این روش به نیروهای با تخصص بالا برای کار با دستگاه‌های موردنظر و سایر موارد نیاز است [۵].

۲-۴- سازه‌های نگهبان از نوع شمع

سازه‌های نگهبان از نوع شمع‌های متداول از جمله دویل فولادی، تا حدودی شبیه سازه‌های نگهبان خرابایی و یا استرات‌ها و مهار متقابل عمل کرده ولی با این تفاوت که، فقط از عضو قائم استفاده می‌کنند. در این روش، در اطراف خاکی که قرار است گودبرداری شود شمع‌هایی بافاصله‌های تعیین شده توسط طراح اجرا می‌شوند. این شمع‌ها عموماً به‌صورت طره‌ای بوده و بخشی از آن پس از اتمام عمق گود ادامه یافته به وسیله خاک گیردار می‌شوند. این شمع‌ها می‌توانند از انواع مختلف مصالح سازه‌ای ساخته شود که متداول‌ترین آن‌ها فولاد، بتن و چوب است. در خصوص نوع بتنی، این شمع‌ها را می‌توان هم به‌صورت پیش‌ساخته و هم به‌صورت درجاریز اجرا کرد. انواع پیش‌ساخته شمع‌های فولادی و چوبی و بتنی را با استفاده از شمع کوب به درون خاک می‌کوبند. پس از اجرای شمع‌ها، عملیات گودبرداری را اجرا می‌کنند. شکل (۲-۵) نحوه اجرای شمع‌های فولادی و بتنی را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۵) تصویری از حفاری گمانه‌ها و اجرای شمع بتنی و فولادی

۲-۴-۱- محدودیت‌های پایداری سازی به کمک شمع‌ها

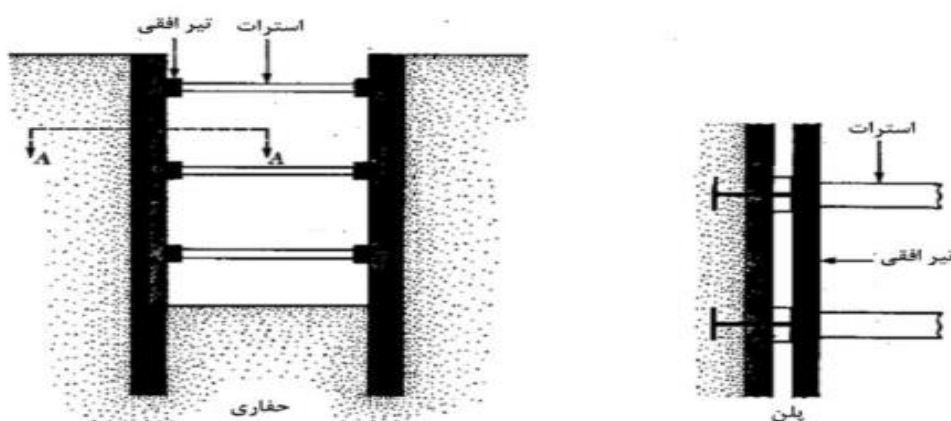
- از مزایای روش اجرای شمع جهت پایداری‌سازی گودبرداری‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:
- سرعت عملیات اجرایی بسیار زیاد است.
 - سیستم به هیچ‌وجه دست و پاگیر نخواهد شد و فضای اشغال‌شده‌ی داخل گود کم است.
 - در احجام زیاد کار، هزینه و زمان اجرای عملیات به میزان بسیار زیادی کاهش می‌یابد.
 - گاهی اوقات می‌توان از شمع‌ها به عنوان سازه‌ای نگهدارنده (نظیر دیوار حائل) یا بخشی از آن نیز استفاده کرد.
 - این روش در گودهای با عمق تا حدود ۵ متر، معمولاً اقتصادی است.
 - همچنین معایب و محدودیت‌های روش اجرای شمع را می‌توان از جمله به صورت زیر نام برد:
 - در صورتی که ارتفاع گودبرداری زیاد باشد، هم باید فواصل بین شمع‌ها از یکدیگر را کم کرده و هم باید از مقاطع سازه‌ای قوی‌تری برای اجرای کار استفاده کرد.
 - روش اجرای شمع، در گودهای با عمق زیاد، معمولاً اقتصادی نیست و به تعداد بیشتری پروفیل و نیز به پروفیل‌های قوی‌تر نیاز است.

۲-۵ سیستم‌های مهاربندی گود

- به منظور کاهش جابه‌جایی‌های سازه نگهدارنده یا جداره گود عموماً از سیستم‌های مهاربندی گود استفاده می‌گردد. در ادامه به متداول‌ترین روش‌های مهار گود پرداخته شده است.

۲-۵-۱ مهاربند

در چرخه حفاری یک پروژه برای جلوگیری از تغییر شکل‌های بزرگ ایجاد شده در دیوار نگهبان از مهار جانبی استفاده می‌گردد. این مهارها از دو عضو اصلی استرات و تیر افقی تشکیل یافته‌اند. در شکل (۲-۶) استرات و تیر افقی نشان داده شده‌اند [۶].



شکل (۲-۶) نمایی از مهار گذاری جانبی گود

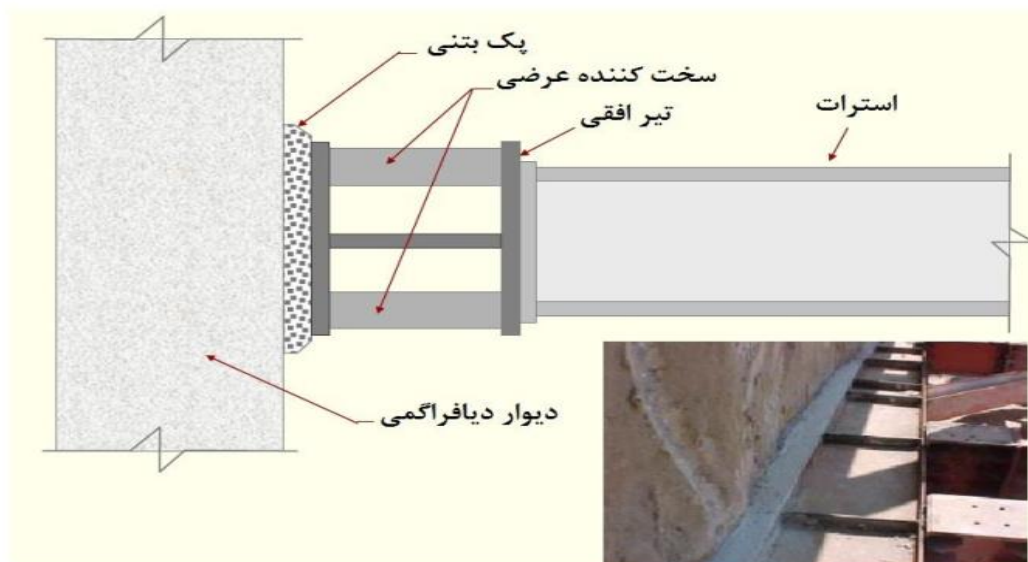
استرات‌های متداول از جنس فولاد یا بتن بوده و در موارد کم از سایر مصالح استفاده می‌شود. استرات‌های فولادی را می‌توان به هر اندازه برش داد و به کارگیری مجدد آن‌ها نیز مقدور است و همچنین با داشتن وزن کمتر بیشتر مورد توجه طراحان قرار می‌گیرد. روند کارگذاری مهار فولادی جانبی به شرح زیر است [۷]:

- خاک‌برداری تا محل نصب استرات.
- اجرای بتن مگر در محل قرارگیری تیر افقی.
- قرار دادن تیر افقی و نصب استرات.

- اتصال استرات به تیر افقی.

- ادامه حفاری.

در شکل (۷-۲) برشی از قسمت‌های مختلف کارگذاری مهار جانبی مشخص شده است.



شکل (۷-۲) نمایی از نحوه کارگذاری مهار جانبی به منظور کاهش تغییر مکان افقی دیوار دیافراگمی

میل مهار

میل مهارها جهت کنترل فشار جانبی خاک سازه نگهبان را به خاک پشت گود متصل می‌کنند. این

مهارها که درون خاک فرو می‌روند از سه بخش تشکیل شده‌اند.

- قسمت گیردار: برای تحمل بار.

- قسمت آزاد: منتقل کننده بار به انتهای مهار.

- قسمت سر مهار: منتقل کننده نیروی مهار به سازه نگهبان.

همان‌طور که در شکل (۸-۲) پیداست، مراحل گودبرداری با میل مهار نشان داده شده است.

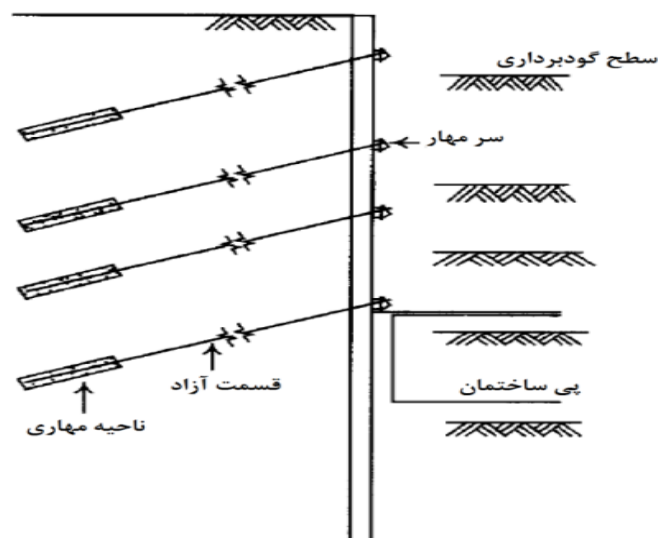
- اجرای مرحله اول گودبرداری.

- ایجاد گمانه برای میل مهار.

- قرار دادن میله و تزریق دوغاب.

- پیش بارگذاری میل مهار.

- تکرار چرخه مهار گذاری تا عمق نهایی گود ساخت پی.



شکل (۸-۲) بخش‌های مختلف سیستم انکر در مهار گودبرداری

۶-۲ سیستم‌های نگهبان گود ترکیبی

سیستم‌های ترکیبی بدین‌صورت است که با اجرای هم‌زمان دو روش محافظت از

گودبرداری، در پی یافتن روش‌های بهینه و کم‌هزینه برای پایدارسازی حفاری هستند.

میخکوبی-میل مهار

پژوهشگران مختلفی تاکنون، روش ترکیبی میخکوبی-انکر را به عنوان روشی جهت پایدارسازی دیواره گودبرداری مورد بررسی قرار داده اند [۸].

برای بررسی تأثیر محل قرارگیری بهینه ی میل مهار، جداره ی گودبرداری به سه ناحیه فوقانی، میانی و زیرین تقسیم شد. با توجه به نتایج پژوهش عددی قرارگیری میل مهار در ناحیه فوقانی جهت کاهش تغییر مکان جدار مؤثرتر است. در روش ترکیبی میخکوبی-مهار به صورت تقریبی هزینه تسلیح جدار با میخ ۱.۷ برابر بیشتر از جدار مهارشده با سیستم ترکیبی است. استفاده از سیستم ترکیبی میخکوبی-مهار علاوه بر صرفه اقتصادی خوب، سرعت اجرا را نیز بالا می برد.

شمع-میخکوبی

ترکیب دو روش اجرای شمع نگهبان و استفاده از میخکوبی به منظور بهبود عملکرد سیستم محافظ در گودبرداری های معمول، توسط محققین به روش عددی صورت پذیرفت [۹]. نتایج پژوهش مذکور برای اعماق گود مختلف در جدول (۲-۲) ارائه گشته است. بر اساس پژوهش مذکور تغییر مکان جداره گود در سیستم ترکیبی نسبت به هرکدام از روش های میخکوبی و شمع به میزان قابل توجهی کاهش میابد.

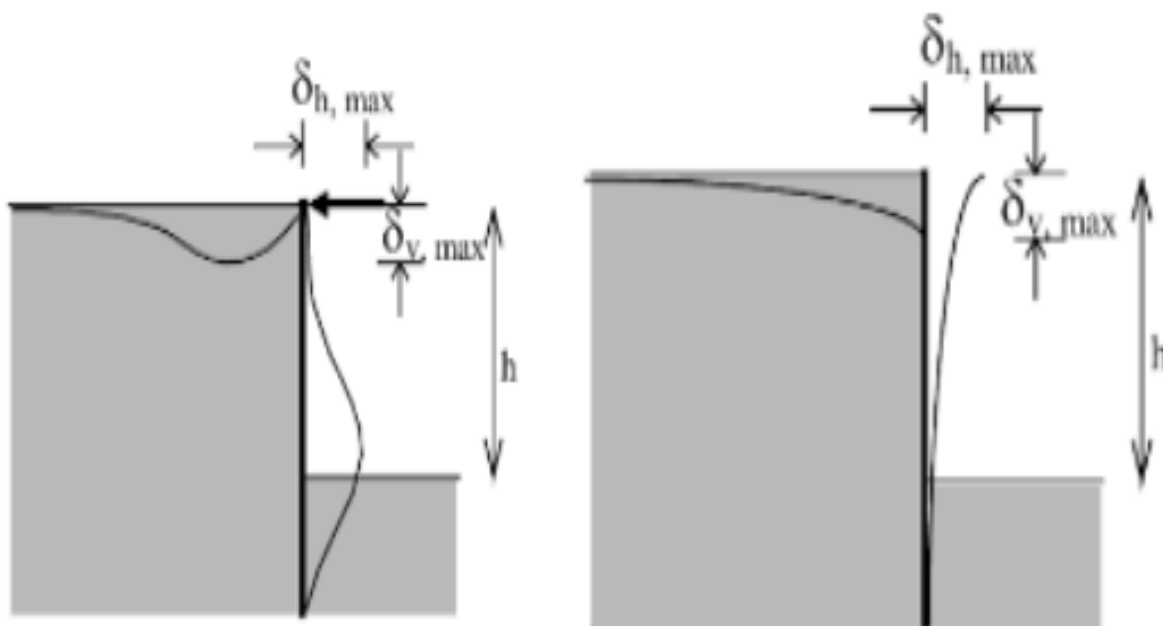
جدول (۲-۲) مقایسه تغییر مکان جدار گود در روش های میخکوبی و شمع-میخ [۹].

عمق		۱۰ متر		۱۵ متر		۲۰ متر	
نوع سیستم		میخ کوبی	شمع-میخ کوبی	میخ کوبی	شمع-میخ کوبی	میخ کوبی	شمع-میخ کوبی
حداکثر تغییر مکان افقی		۱۴.۵۵	۹.۱۲	۳۶.۲۶	۲۷.۹ ی	۸۶.۶۸	۶۷.۳۱

۲-۶- جابه‌جائی در گودبرداری‌ها

دیوارهای نگه‌دارنده‌ی گودها بر اساس نوع تکیه‌گاهی که دارند معمولاً به دودسته دیوارهای طره‌ای و مهارشده طبقه‌بندی می‌شوند. با افزایش ارتفاع گود به‌وسیله‌ی دیوارهای طره‌ای، جابه‌جائی خاک و دیوار با شیب تندی افزایش می‌یابد، به همین دلیل دیوار را در یک یا چند ارتفاع مختلف و به‌وسیله‌ی قیده‌های فشاری گیردار می‌کنند تا با این کار طول نفوذ دیوار در داخل خاک کمتر شود. دیوارهای مهارشده معمولاً بر اثر معیار ناپایداری‌های کلی، شکست دورانی، شکست خمشی و یا گسیختگی کلی اجزای مهارکننده ناپایدار خواهند شد. اما شکست یک سیستم نگه‌دارنده گود در گودبرداری‌های عمیق الزاماً به معنی فروریختن سازه نگهبان به داخل گود نخواهد بود، بلکه مدل‌های دیگری از شکست مثل به وجود آمدن جابه‌جائی‌های بیش‌ازاندازه در خاک و دیوار نگه‌دارنده آن رخ خواهد داد. این جابه‌جائی‌های زیاد می‌تواند به دلیل تخمین خوش‌بینانه مؤلفه‌های خاک، دقت ناکافی در انتخاب نوع سیستم نگه‌دارنده در گودبرداری با عدم توجه به شرایط منحصربه‌فرد پروژه (عمق گودبرداری، نوع و پروفیل خاک، شرایط سربار و...) و یا ایجاد تغییرات پیش‌بینی‌نشده بعدی مثل شرایط محیطی سخت همچون سطح آب‌های زیرزمینی بالا و یا بارگذاری زیاد ناشی از ساخت‌وسازهای صنعتی جدید، کیفیت بد اجرای سازه‌ی نگهبان، یا حتی موارد مثل ناهم‌هنگی بین مهندسین طراح و مجری پروژه باشد. شکل (۲-۹) تصویر شماتیک از دیوارهای طره‌ای و دیوارهای مهارشده را نمایش می‌دهد [۱۰].

به‌طور کلی همان‌طور که در شکل (۲-۹) نیز مشاهده می‌شود دو حالت برای تغییر شکل برای گودبرداری‌های عمیق محتمل است.



شکل (۹-۲) الف- تغییر شکل محدب یا قاشقی (سمت راست) ب- تغییر شکل مقعر (سمت چپ)

در حالت الف) پروفیل جابه‌جائی لبه‌ی گود مقعر که در آن الگوی تغییر شکل دیوار به‌صورت مقعر (شکم دادن) بوده و ماکزیمم جابه‌جائی دیوار در نزدیکی تراز حفاری پیش‌بینی خواهد شد. در این حالت الگوی نشست خاک به شکل قاشقی شده و حداکثر نشست در خاک را با کمی فاصله از دیوار گود می‌توان مشاهده کرد. در حالت ب) نیز پروفیل جابه‌جائی لبه‌ی گود محدب شده که در آن الگوی تغییر شکل دیوار به شکل طره‌ای بوده و در نهایت نشست خاک پشت دیوار به‌صورت سهمی رخ می‌دهد؛ در وضعیت دوم حداکثر نشست خاک بدون فاصله و پشت دیوار گود روی می‌دهد. مطابق شکل ۹-۲ (سمت چپ) اگر دیوار در نزدیکی سطح زمین مهاربندی خوبی داشته باشد و بخش کوچکی از جابه‌جائی لبه‌ی گود در مرحله ابتدایی حفاری نسبت به سایر مراحل روی دهد و یا زمانی که به‌وسیله نصب مهار در هر مرحله از حفاری، جابه‌جائی به تراز پایین‌تر منتقل شود، آنگاه الگوی تغییر شکل مقعر، احتمال رخداد بیشتری دارد. از سوی دیگر همان‌طور که در شکل ۹-۲ (سمت راست) مشاهده می‌شود، چنانچه به دلیل نبود مهار و یا به دلیل سختی کم مهارها در ترازهای بالای گودبرداری بخش بزرگی از جابه‌جائی دیوار در

مرحله اول حفاری رخ داده باشد و میزان نسبتاً کمی از آن در مراحل بعدی حفاری روی بدهد، آنگاه پروفیل تغییر شکل محدب ایجاد خواهد شد [۱۱].

۲-۷- مطالعات پیشین

گلدبرگ در سال ۱۹۷۶ میلادی رابطه‌ی بین نشست پشت دیوار گود و نیز جابه‌جائی لبه‌ی گود را نشان داد. او پس از بررسی‌های خود بیان داشت که در اغلب موارد میزان نشست‌های خاک پشت دیواره‌ی موردنظر در خاک‌های ماسه‌ای و رس‌های سخت کمتر از ۰.۵٪ ارتفاع حفاری شده خواهد بود و این در حالی است که برای رس‌های نرم انتظار مقادیر تا بیش از ۱٪ ارتفاع حفاری را خواهیم داشت. البته به‌جز دیواره‌های دیافراگمی با مهارهای پیش‌تنیده که در آن‌ها این روند متغیر است [۱۲].

کایا و اوغلو در سال ۱۹۹۲ میلادی به بررسی خاک‌های دانه‌ای پرداخته و نتایج حاصل از تحلیل تعادل حدی و همچنین المان محدود دیواره‌های مهارشده خود را در خاک دانه‌ای با یکدیگر مقایسه نمودند [۱۳]. در این پژوهش اثر عواملی چون عمق حفاری شده و تأثیر نقطه اثر مهار بر عمق نفوذ و نیز لنگر خمشی حداکثر دیوار و نیروی محوری میله مهار بررسی شد. در تحلیل تعادل حدی ایشان روش پای مفصلی (تکیه‌گاه آزاد در زمین) و همچنین برای انجام تحلیل عددی نرم‌افزارهای رایانه‌ای جهت مدل‌سازی، استفاده گردید. نتایج حاصل از این مطالعات نشان می‌دهد:

به ازای یک نقطه‌ی اثر مشخص برای هر مهار، با افزایش عمق حفاری شده، افزایش مقادیر عمق نفوذ، هم نیروی محوری مهار بیشتر شده و هم لنگر خمشی حداکثر در هر دو روش افزایش می‌یابد. در همه موارد فوق، مقادیر به‌دست‌آمده از روش تعادل حدی قدری بیشتر از نتایج حاصل از روش المان محدود بوده و از سوی دیگر به ازای یک عمق حفاری معین، در هر دو روش هر قدر مهار در تراز پایین‌تری واقع شده باشد آنگاه نیروی مهار بیشتر می‌شود، در عین حال عمق نفوذ و لنگر خمشی حداکثر دیوار کاهش

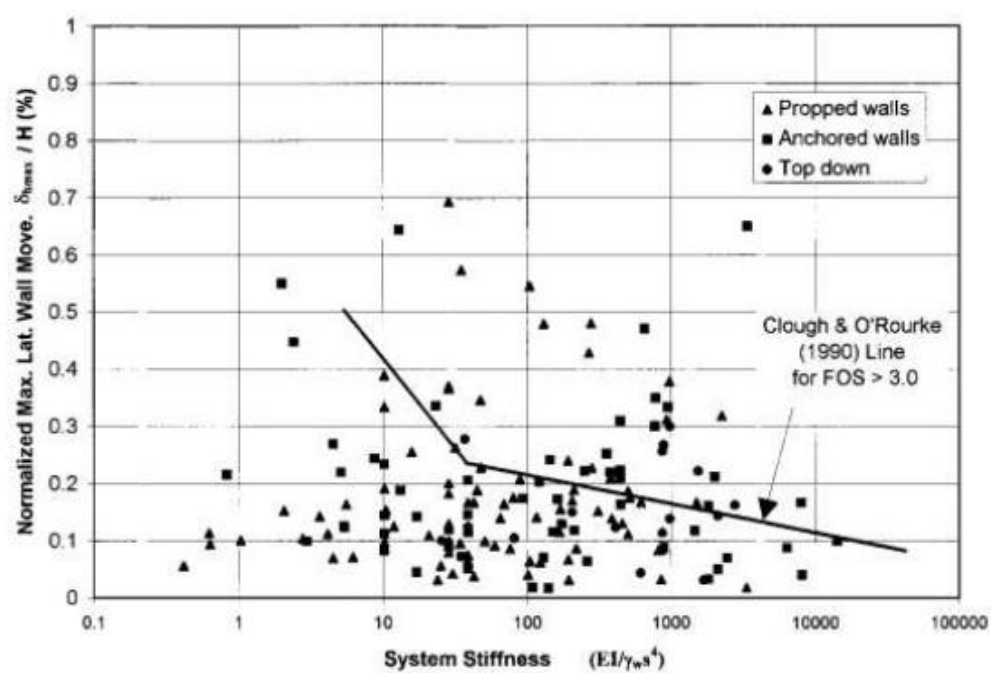
می‌یابد در این وضعیت نیز تحلیل تعادل حدی نتایج بیشتری را در مقایسه با روش عددی ارائه می‌دهد. آن‌ها بیان داشتند که روش تعادل حدی در دیوارهای مهارشده‌ی انعطاف‌پذیر، نتایج محافظه‌کارانه‌تری می‌دهد.

لانگ و همکارانش در سال ۲۰۰۱ میلادی به بررسی ۳۰۰ پروژه گودبرداری عمیق اجراشده در مناطق مختلف پرداخته و لذا با ایجاد یک پایگاه داده وسیع از آن‌ها به بررسی تغییر شکل‌های ناشی از گودبرداری‌های مذکور پرداختند. تمرکز مطالعات لانگ بیشتر متمرکز به بررسی‌هایش با روش‌های تجربی متداول نظیر "کلف و اورک" است. در ادامه بخشی از نتایج مقایسه‌ی تغییر شکل‌های ایجادشده در گودبرداری‌های با ارتفاع زیاد با روش‌های تجربی کلف و اورک آورده شده است:

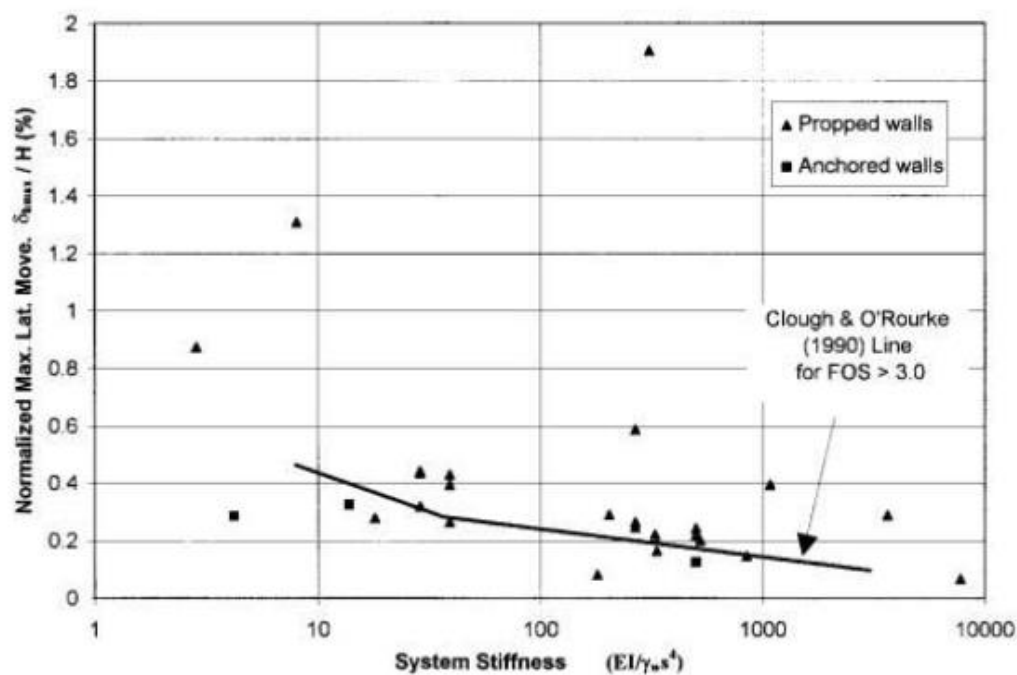
وضعیت اول: در پروژه‌هایی که در تراز حفاری خاک‌های سخت و متوسط باشد و همچنین یک لایه نرم با ضخامت کمتر از ۰.۶ عمق حفاری در پشت دیوار وجود داشته باشد، آنگاه مقادیر ماکزیمم تغییر مکان‌های افقی دیوار تا حدودی کمتر از مقدار ارائه‌شده توسط کلف و اورک است.

وضعیت دوم: در پروژه‌هایی با خاک‌هایی مشابه وضعیت اول که ضخامت لایه نرم پشت دیوار بیشتر از ۰.۶ عمق حفاری باشد و ضریب اطمینان در برابر بالازدگی کف بزرگ‌تر از ۳ باشد آنگاه نتایج نزدیک به مقادیر ارائه‌شده توسط کلف و اورک خواهد بود.

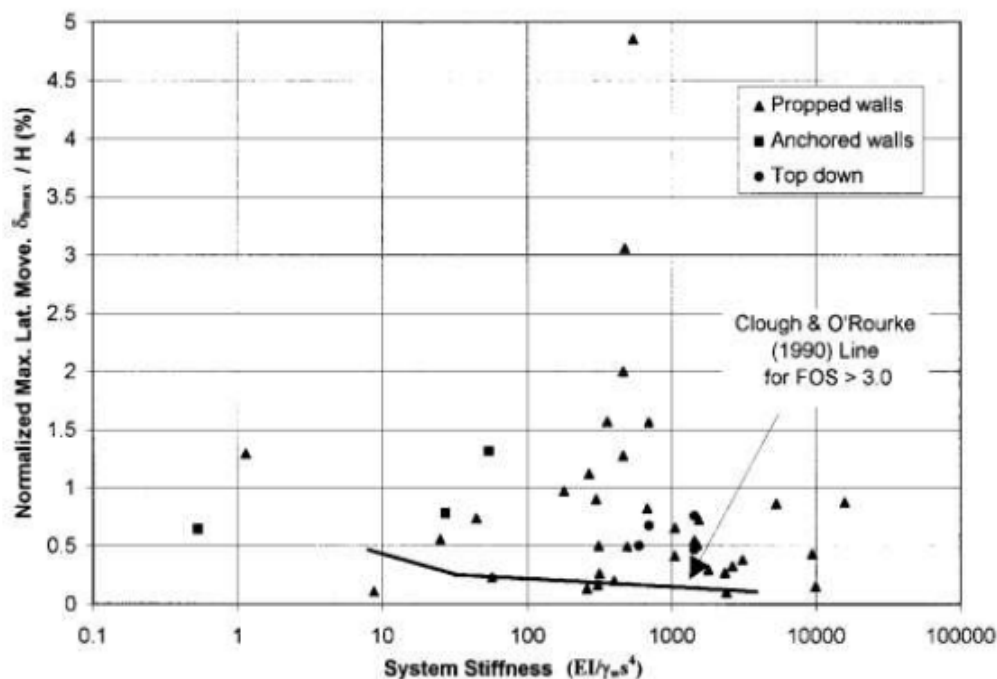
وضعیت سوم: در پروژه‌هایی با خاک نرم که در آن‌ها ضخامت لایه نرم پشت دیوار بیشتر از ۰.۶ عمق حفاری باشد و ضرایب اطمینان در برابر بالازدگی کف کمتر از ۳ باشد، نتایج کلف و اورک تغییر مکان‌هایی دست پایین و کمتر از مقادیر واقعی به دست می‌دهند [۱۴].



شکل (۱۰-۲) تغییر شکل نرمالیزه دیواره گود در برابر سختی سیستم_حالت اول [۱۴]



شکل (۱۱-۲) تغییر شکل نرمالیزه دیوار در برابر سختی سیستم_حالت دوم [۱۴]

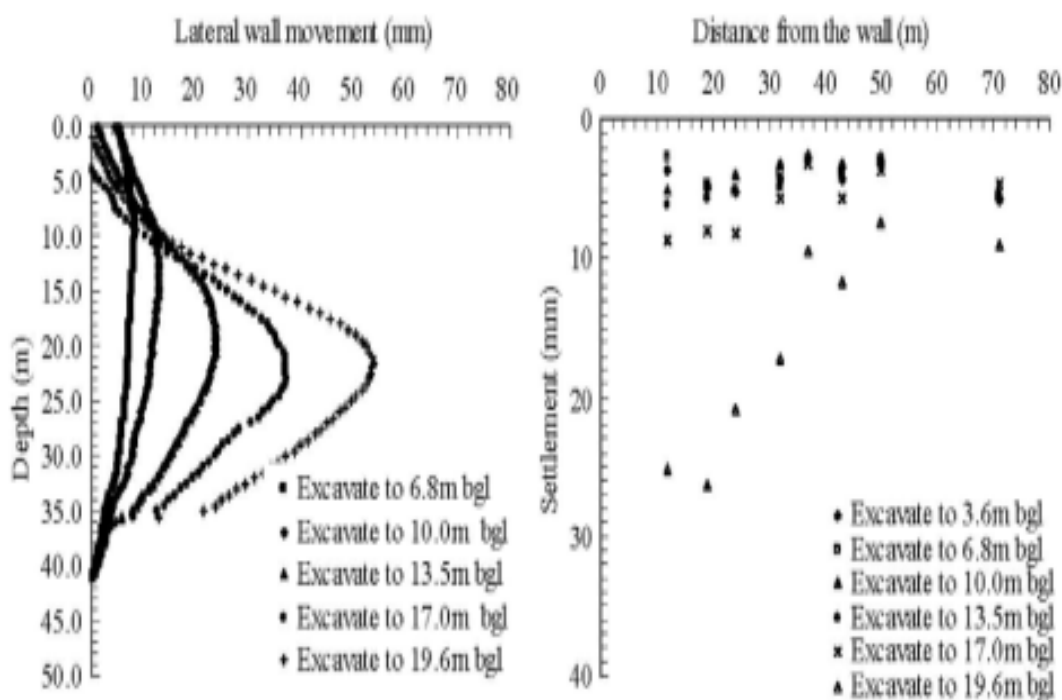


شکل (۲-۱۲) تغییر شکل نرمالیزه دیوار در برابر سختی سیستم - حالت سوم [۱۴]

لانگ علاوه بر این اعلام داشت که تغییر شکل‌های ایجاد شده در گودبرداری‌های با ارتفاع زیاد که در خاک‌های غیر چسبنده و یا خاک‌های رسی سخت قرار دارند، تقریباً از سختی دیوار و نوع مهارها مستقل خواهد بود. لذا او چنین نتیجه گرفت که پارامتر سختی سیستم بیشتر در گودبرداری خاک‌های رسی نرم با ضریب اطمینان پائین در برابر بالازدگی کف تأثیر بسزایی در مقادیر تغییر شکل‌ها خواهد داشت [۱۴].

بنسون در تحقیقات خود که در سال ۲۰۰۸ میلادی بررسی شده است، بیان داشت که تاکنون چندین مطالعه از حرکات زمین ناشی از گودبرداری در خاک رس به چاپ رسیده است اما در عین حال تعداد کمی مطالعه در زمینه گودبرداری در ماسه ثبت شده است. در مقاله بنسون، یک مطالعه موردی از گودبرداری در خاک ماسه انجام شده و رفتار زمین در اثر گودبرداری بررسی گردیده است. ایشان بیان داشت که روش‌های عددی را می‌توان از موفق‌ترین ابزار برای پیش‌بینی حرکات ناشی از گودبرداری عمیق دانست، اما انتخاب مدل‌های ساختاری مناسب با گودبرداری و تعریف پارامترهای مربوط به خاک

امری دشوار است. بررسی و مرور مطالب نشان می‌دهد که سختی خاک بحرانی‌ترین مؤلفه است. در نتیجه، در تحلیل از مدل الاستیک-پلاستیک کامل به‌منظور تعریف مؤلفه‌هایی که باید برای گودبرداری در خاک ماسه مورد استفاده قرار گیرد، استفاده شد. در این مقاله در مورد اثرات خزش و اندرکنش خاک-دیوار نیز مطالبی عنوان شده است. برای این کار از داده‌های ثبت‌شده در یک گودبرداری در خاک ماسه‌ای استفاده شده است. این گودبرداری در ایستگاه ۱۶ در خط نارنجی از سیستم حمل‌ونقل سریع کائوسیونگ در واشنگتن انتخاب شده است. ایستگاه ۱۶ در مرکز شهر کائوسیونگ قرار دارد. عمق و عرض گودبرداری ۱۹.۶ در ۲۱.۷ متر است و گودبرداری توسط حائل به ضخامت یک متر حفظ شده است و عمق دیوار دیافراگمی بتن تقویت‌شده ۳۶ متر است. سطح آب زیرزمینی مشاهده‌شده تقریباً ۳.۵ متر زیر سطح بود. نتایج حاصل از تحقیقات وی در شکل (۱) نشان داده شده است [۱۵].



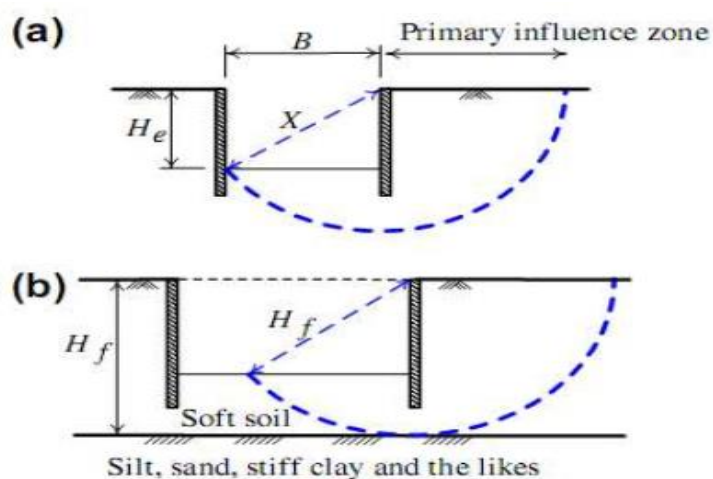
شکل (۲-۱۳) جابه‌جائی جانبی دیوار در برابر عمق [۱۵]

کاتبی و همکاران در سال ۱۳۹۳ هجری شمسی به بررسی سہ بعدی تأثیرات گودبرداری عمیق بر تونل‌های کم‌عمق پرداخته است که از قبل در مجاورت منطقه شهری مورد بررسی بوده است. ایشان با استفاده از نرم‌افزار تفاضل محدود، فلک نسخه‌ی سہ بعدی پرداخته شده است. مدل مورد مطالعه ایشان و همکاران شامل یک تونل سپری از قبل موجود در محل مورد نظر بوده است. در این مطالعه حفاری به صورت یک باره انجام شده و بار دیگر یک گودبرداری مهار شده با سیستم مهاری شامل دیوار دیافراگمی و شبکه مهارهای فولادی، که در ۵ مرحله حفر می‌شود، مقایسه شده است. نتایج نشان دادند که با تغییر هر کدام از این مؤلفه‌ها تغییرات زیادی در اثر گودبرداری بر تونل موجود به وجود آمده است؛ از جمله ایجاد تورم در قسمت زیرین تونل و تغییرات در نیروهای ایجاد شده در پوشش تونل. به طور خلاصه می‌توان این گونه بیان کرد: با تغییر موقعیت گود-تونل در پلان، بیشترین تورم حاصل، در وضعیت قرارگیری تونل در زیر بخش‌های مرکزی گود ایجاد می‌شود. اما با فاصله گرفتن تونل از مرکز گود هم‌زمان با کاهش مقدار تورم حداکثر، میزان حداکثر لنگر خمشی محیطی ایجاد شده در تونل افزایش زیادی می‌یابد. با تغییر مدول الاستیک خاک مشخص شد که هر چه خاک سخت‌تر باشد، تحریکات کمتری از طریق توده خاک به تونل منتقل خواهد شد و مقدار تورم و اضافه تلاش‌های داخلی ایجاد شده کاهش خواهند یافت. از سوی دیگر با کاهش شعاع تونل و ثابت ماندن عمق مرکز تونل، هم‌زمان با جابجایی کلی تقریباً ثابت، به علت کاهش ظرفیت هندسی مقطع تونل، لنگر خمشی افزایش پیدا می‌کند [۱۶].

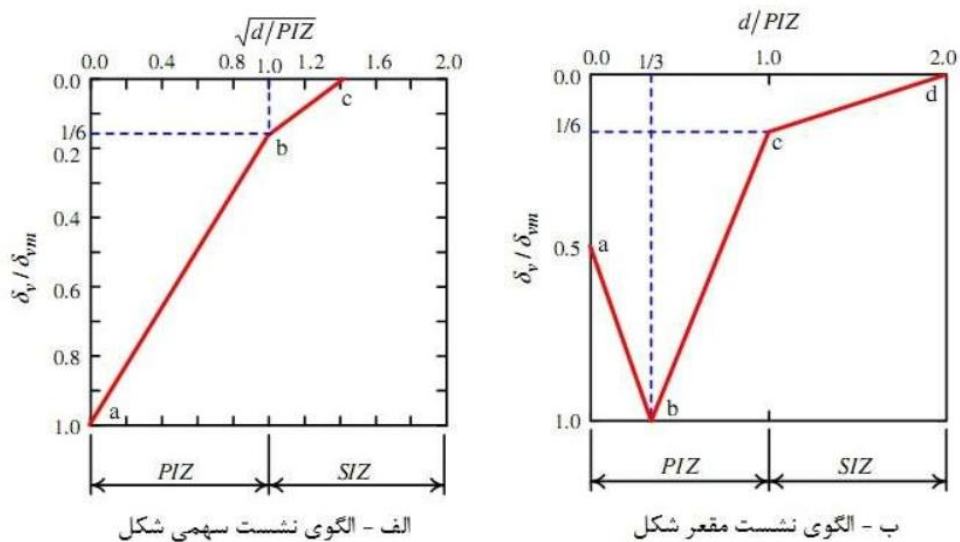
هسیه و اوو در سال ۲۰۱۱ میلادی بر پایه انجام یک سری مطالعات، تحقیقات پیشین خود در زمینه نشست‌های ناشی از گودبرداری‌های عمیق را توسعه داده و ناحیه تحت تأثیر آن را اصلاح کردند. آن‌ها بیان کردند که مؤلفه‌هایی نظیر عمق گودبرداری، عرض گودبرداری و نیز لایه خاک رس نرم در زیر تراز

حفاری، تأثیر بسزایی بر ناحیه تحت تأثیر گودبرداری خواهد گذاشت [۱۷]. آن‌ها با مقایسه نتایج حاصل از مطالعات

خود با ۱۰ مورد گودبرداری عمیق اجرا شده در خاک نرم شانگهای به بررسی‌های خود اعتبار بیشتری بخشیدند.



شکل (۲-۱۴) شماتیک ناحیه مؤثر گودبرداری [۱۷]



شکل (۲-۱۵) دو نوع الگوی نشست خاک پشت گود پیشنهادی هسیه و اوو [۱۷]

همان‌گونه که در شکل (۲-۳۵) مشاهده می‌شود نمودارهای پیشنهادی هسیه و اوو برای پیش‌بینی الگوی نشست ناشی از حفاری، (در قیاس با مطالعات قبلی) دستخوش تغییراتی گردیده است. به‌عنوان مثال در الگوی نشست مقعر شکل نیز، حداکثر نشست در فاصله‌ای برابر نصف عمق گود رخ می‌داد اما در نمودارهای جدید این فاصله به ۰.۳۳ عمق گودبرداری کاهش یافته است. آن‌ها همچنین بر پایه بررسی‌های خود به نتایج زیر دست یافتند [۱۷].

الف) ناحیه تحت تأثیر گودبرداری تحت تأثیر مؤلفه‌هایی چون عرض و عمق گودبرداری و لایه خاک نرم رس در زیر تراز حفاری دارد و ارتباطی با نوع نشست (سهمی یا مقعر شکل) ندارد.

ب) میزان نشست در مرز بین ناحیه تحت تأثیر نشست اولیه و ثانویه در هر دو نوع از نشست سهمی و مقعر برابر با ۱.۶۶ حداکثر نشست خواهد بود. اما نکته‌ای که باید به آن توجه داشت این است که نمودارهای ارائه شده توسط هسیه و اوو، تنها شکل پروفیل نشست را تعیین می‌کنند و توانایی محاسبه مقدار حداکثر نشست حاصل از گودبرداری را ندارند.

کلف و اورک در سال ۱۹۹۸ میلادی بر اساس بررسی تعداد زیادی از بررسی‌ها و ضمن تمرکز بر دیوارهای سپری، همچنین شمع‌های پشت‌بنددار و دیوارهای دیافراگمی، اقدام به بررسی و مطالعه نتایج پک و گلدبرگ کردند. آن‌ها شرایطی همچون ساخت غیرمعمول و نیز مواردی که عملیات مهار گذاری در آن‌ها با تأخیر صورت گرفته بود را در بررسی‌ها دخیل نکردند. کلف و اورک با در نظر داشتن وجود مهار و تعداد آن در ارتفاع دیوار، پیشنهاد دادند که جابه‌جایی‌های دیوار می‌تواند به دو صورت تغییر شکل طره‌ای و تغییر شکل در عمق بروز یابد [۱۸].

دومان و همکاران در سال ۲۰۱۵ میلادی یک شیب ساخت و ساز جاده ای بین شهری در منطقه غرب

دریای سیاه را مورد مطالعه قرار دادند و رفتار تثبیت شمع‌ها با و بدون مهار بررسی شد. در این خصوص تجزیه و تحلیل پایداری شیب با استفاده از روش FEM همراه با کاهش مقاومت انجام می‌شود و ضریب ایمنی تعیین می‌شود. سه روش برای پایداری شیب تا به امروز تدوین و ارزیابی شده است که عبارت‌اند از:

۱- تثبیت شده با شمع ۲- تثبیت شده با شمع و مهار ۳- تثبیت و پایداری شیب با تغییر زاویه شیب. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که:

۱- وجود مناطق سست در لایه‌های سنگی، افتتاح جاده‌های خدماتی جهت انجام تحقیقات خاک و افزایش رسوبات فصلی منجر به کاهش مقاومت و ایجاد حرکات خاک در منطقه مورد بررسی شده است.

۲- استفاده از شمع‌ها برای تثبیت شیب حداکثر جابجایی خاک را از ۰.۵ به ۰.۲ متر کاهش می‌دهد و ضریب ایمنی را اندکی از ۱.۰۷ به ۱.۶ افزایش می‌دهد. در این منطقه حرکات خاک با استفاده از شمع ۳ برابر کاهش پیدا می‌کند، اما گشتاور خمشی بالاتر و نیروهای برشی باعث می‌شود استفاده از شمع‌های بدون مهار غیرقابل استفاده باشد.

۳- شمع‌های تثبیت کننده شیب با و بدون مهار در مکان ارزیابی شدند: یکی در فاصله ۱۵ متری و دیگری ۲۰ متری از جاده که نتایج تغییرات چشمگیری نشان نمی‌دهد، بنابراین فاصله ۲۰ متری به دلیل افزایش اندازه عناصر ساخت سازه و هزینه‌های ساخت و ساز ناکارآمد است [۱۹].

عبداللهی و همکاران در سال ۱۳۹۷ هجری شمسی با ساخت یک مدل آزمایشگاهی در خاک ماسه‌ای، رفتار مهار گودبرداری به روش سیستم ترکیبی شمع و انکراژ به ویژه نحوه اعمال پیش تنیدگی انکر و رفتار گودبرداری‌های عمیق در مجاورت ساختمان (با اعمال سربار معادل) بررسی کردند. مدل فیزیکی

شامل یک جعبه فیزیکی به عنوان محیط گود به طول ۲ متر، عرض و ارتفاع ۱ مترمی باشد. همچنین جعبه فوق دارای فضای کافی برای بارگذاری سازه به عنوان سربار موجود در مجاورت محل گودبرداری است. به منظور مدل سازی شمع های سازه نگهبان از تعدادی لوله از جنس پلی پروپیلن استفاده شده است. در آزمایش های انجام شده، سه پارامتر تأثیرگذار بر رفتار دیوار شامل فاصله مرکز به مرکز شمع های سازه نگهبان، وجود سربار در مجاورت گودبرداری و نیز گیرداری انتهای شمع های سازه نگهبان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج کل آزمایش ها در این پژوهش حاکی از آن است که نسبت بیشینه تغییر مکان جانبی دیوار به عمق گودبرداری در محدوده ۰.۱۴۵٪ الی ۰.۵۱٪ قرار دارد. همچنین نسبت بیشینه نشست سطح زمین به عمق گودبرداری در محدوده ۰.۱۱٪ الی ۰.۷۶٪ اندازه گیری شده است [۲۰].

محمدپور و همکاران در سال ۱۳۹۶ هجری شمسی از روش تحلیل مبتنی بر مراحل ساخت^۱ با استفاده از نرم افزار المان محدود پلکسیس دو بعدی بهره برده است و برای این کار با در نظر گرفتن المان های مربوط به شمع، در نهایت تأثیر تغییر در المان های مربوط به انکراژ بر میزان جابجایی و نشست دیواره و نیز بالای گود را بررسی کرده است. ایشان در ادامه با ثابت در نظر گرفتن المان های مربوط به انکراژ اقدام به بررسی تأثیر تغییر در المان های مربوط به شمع بر جابجایی و نشست نهایی کرده و دیواره بالای گود را مورد بررسی قرار داده است. با بررسی مدل های مختلف، مدل بهینه به گونه ای در نظر گرفته شده است که برای زاویه انکرها، زاویه ۱۵ درجه لحاظ شود و برای نیروی کششی انکراژها نیروی کششی ۴۵۰ تا ۵۰۰ کیلو نیوتن بر متر مدنظر باشد، برای طول درگیر انکر نیز مقدار ۱۲ متر، شعاع شمع ۰.۵ متر، فاصله مرکز به مرکز شمع ها از یکدیگر ۳ متر و عمق درگیر ۰.۴ عمق گود بوده است تا در نهایت این حالت به عنوان حالت بهینه باشد. با بررسی حالت بهینه و مدل اجرا شده در محل پروژه مشخص شد که در گودبرداری مفروض حداکثر جابه جایی و نشست در هردو حالت تقریباً یکسان است [۲۱].

^۱ staged contraction

شیائوبای و همکاران در سال ۲۰۱۹ میلادی نیز اثر سیستم مهارسازی ترکیبی PILE+STEEL SUPPORT+ANCHOR را از طریق آزمون‌های میدانی و شبیه‌سازی عددی المان محدود در شرایط لایه خاک‌سنگی در منطقه چنگدائو چین بررسی کردند. هدف اصلی این مقاله درک بهتر سیستم مهارسازی PILE+STEEL SUPPORT +ANCHOR برای پایداری خاک است. در تحقیق ایشان ابتدا تغییر شکل پی واقع در کنار گودبرداری توسط یک شیب‌سنج و یک تراز دیجیتال اندازه‌گیری می‌شود سپس مقدار اندازه‌گیری شده با مقدار شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار پلکسیس دو بعدی مقایسه می‌شود. در مرحله دوم عوامل اصلی مؤثر بر تغییر شکل و ثبات پی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج مقایسه شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد تغییر شکل به دست آمده از شبیه‌سازی شده اندکی کوچک‌تر از مقادیر مشاهده شده در این زمینه است اما می‌توان از این نرم‌افزار به‌طور منطقی برای طراحی و ساخت گودبرداری‌ها و پی‌های عمیق در زیر لایه‌های سنگ و خاک استفاده کرد. حداکثر تغییر شکل در قسمت بالای پایه با سیستم مهار $\text{pile} + \text{one steel support} + \text{two anchor}$ یافت شد. نتایج نشان داد که استفاده از انکر پیش‌تنیده در کاهش جابجایی‌های افقی سیستم مورد بررسی، مؤثر بوده است [۲۲].

یوهوانگ و همکاران در سال ۲۰۲۰ میلادی یک مدل عددی از شیب تقویت‌شده توسط سیستم شمع-مهار را به روش المان محدود بررسی کردند. در این پژوهش از روش المان محدود برای بررسی پاسخ دینامیکی استفاده می‌شود و آنالیز بلوک لغزشی نیومارک جهت ثبات شیب در نظر گرفته شد. نتایج ارزیابی عملکرد نشان می‌دهد که سیستم شمع-مهار مزایای زیادی از جمله کاهش تغییر شکل شیب، توزیع نیروی داخلی مناسب‌تر و همچنین افزایش پایداری شیب دارد. در این مدل چهار طرح برای ارزیابی عملکرد سازه‌های تقویتی مختلف شیب در نظر گرفته شده است. ۱- شیب بدون سازه نگهبان ۲- شیب مهارشده با شمع ۳- شیب مهارشده با انکر؛ ۴- شیب مهارشده با شمع-مهار

برای آنالیز این پژوهش نیز از نرم‌افزار المان محدود ژئواستودیو استفاده شده است. برای بررسی پاسخ

دینامیکی روش المان محدود و همچنین ارزیابی لرزه‌ای از روش تحلیلی بلوک لغزشی نیومارک استفاده شده است. با مقایسه چهار نوع سازه‌ی مسلح شده نتایجی به شرح زیر توسط ایشان ارائه گردید:

۱- با استفاده از تحلیل المان محدود دینامیکی، پاسخ دینامیکی با دقت محاسبه شد. همچنین، مشخص شده است که تغییر شکل شیب و نیروهای داخلی مواد تقویت‌کننده مانند گشتار خمشی شمع، نیروی برشی و کششی انکر را می‌توان به دست آورد.

۲- از بین چهار نوع سیستم مورد بررسی روش شمع-مهار مزایای بیشتری در قیاس با سایر سیستم‌ها داشته است؛ ازجمله کاهش تغییر شکل شیب، توزیع مناسب‌تر نیروهای داخلی و همچنین افزایش پایداری شیب است.

۳- ضریب ایمنی و جابجایی دائمی ناشی از آنالیز بلوک لغزشی نیومارک تعبیه‌شده، در تحلیل به روش المان محدود می‌توان به‌طور مؤثر ثبات شیب را در اثر بار لرزه‌ای ارزیابی کرد، که این یک نکته مهم در هنگام طراحی مهار شیب فراهم می‌کند [۲۳].

یوهوانگ و همکاران در سال ۲۰۲۰ میلادی با استفاده از آزمایش سانتریفیوژ با بزرگای $50g$ یک شیب مهارشده را مورد بررسی و ارزیابی قرار دادند. این آزمایش از نیروی گریز از مرکز برای مدل‌سازی گرانش استفاده کرده است به‌طوری‌که می‌توان وزن شیب مهارشده توسط سیستم شمع-مهار را افزایش داده تا مدل‌سازی تنش‌های واقعی تحمیل‌شده هنگام زلزله افزایش پیدا کند. در هنگام آزمایش، استفاده از سنگ و خاک محلی برای افزایش دقت در نتایج در نظر گرفته شده است. هدف از این آزمایش مطالعه پاسخ لرزه‌ای شیب و سازه است که پایه و اساس طراحی این نوع سازه‌هاست. نتایج این پژوهش‌ها نشان می‌دهد که سازه‌های مهارشده با استفاده از سیستم شمع-مهار در مقایسه با سازه‌های معمولی، عملکرد بهتری در برابر زلزله دارند و می‌توانند به کاهش خسارت‌های ناشی از زلزله کمک کنند.

لرزه‌ای جابه‌جائی‌های بیشتری مشاهده می‌شود. طیف فوریه در این وضعیت نشان می‌دهد که سطح شیب، موج لرزه‌ای را در باند فرکانسی ۵ تا ۶ هرتز، فیلتر می‌کند.

۲- برای کاهش خرابی مهار در هنگام وقوع زلزله مهار باید به‌اندازه کافی محکم شود تا در برابر تنش بیش‌ازحد مقاومت کند. اقداماتی که می‌تواند برای افزایش مقاومت مهار مورد استفاده قرار می‌گیرد شامل افزایش ناحیه و طول مقطع مهار و بهبود استحکام بین میله‌های فولادی و ملات مهار است.

-آزمایش‌های سانتریفیوژ با استفاده از یک مدل شیب مهارشده توسط سازه شمع-مهار برای ساختن میدان تنش لرزه‌ای یک زلزله واقعی انجام شد و دقت مناسبی را در قیاس با نتایج واقعی نشان داده است [۲۴].

فصل سوم:

مدل سازی

۳-۱- مقدمه

در این فصل، روش علمی تحقیق که متناسب با موضوع آن برگزیده شده است شرح داده می‌شود که شامل توضیحات مختصری در مورد نرم‌افزار مورد استفاده در این پایان‌نامه و موارد مورد نظر جهت تکمیل مدل‌سازی هست. همچنین روش انجام کار نیز به صورت مختصر تشریح شده است و در نهایت صحت سنجی انجام شده و مقایسه نتایج حاصل از برنامه آباکوس با نتایج ارائه شده در پروژه‌ی پاژ نیز بیان گردیده است.

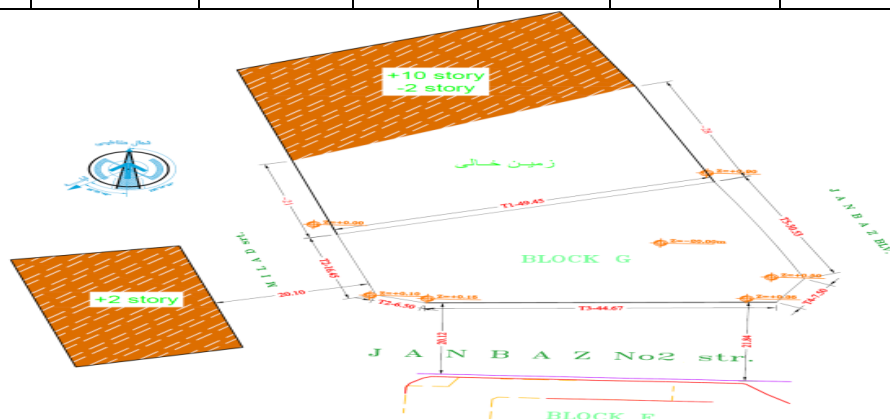
۳-۲ معرفی مشخصات هندسی و مکانیکی

در این پژوهش از ویژگی‌های مشابه با پروژه طرح و ساخت پارکینگ زیر سطحی طرح توسعه مجموعه پاژ واقع در مشهد مقدس در محدوده‌ی میدان جانباز، استفاده شده است. در این پژوهش بعد از صحت سنجی نتایج مدل‌سازی دو بعدی طراح و سپس شبیه‌سازی سه بعدی پروژه‌ی پاژ به بررسی سایر پارامترها پرداخته شده است. ویژگی‌های خاک مورد استفاده در عمق‌های مختلف در جدول (۳-۱) بیان شده است. در پروژه پاژ از 20 IPE به عنوان شمع‌های فولادی استفاده شده است که ویژگی‌های آن در جدول (۳-۲) بیان گردیده است. همچنین جدول (۳-۳) نیز مختصات انکرهای ۵ رشته‌ای به کاررفته در پژوهش را نشان می‌دهد. در پیوست یک تصاویر مربوط به لاگ حفاری و شکل دیوارها بیان شده است. شکل (۳-۱) نیز پلان کلی پروژه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در تصویر (۳-۱) قابل مشاهده است پروژه به ۵ بخش با نام‌های T_1 تا T_5 تقسیم گردیده است که در ادامه به صحت‌سنجی آن‌ها پرداخته خواهد شد. همان‌طور که در جدول‌های (۳-۲) و (۳-۳) مشخص است، جنس شمع‌ها و انکرهای به کار رفته در تمامی پروژه ثابت بوده و این انکرها ۵ رشته‌ای دارای فواصل افقی و سطح مقطع یکسان هستند. شمع‌ها نیز دارای فواصل افقی ۳ متری بوده و سطح مقطع نیز در تمامی دیوارها ثابت بوده است. تصاویر

مربوط به انکرهای اجرا شده در پیوست (۱) قابل مشاهده است.

جدول (۱-۳) ویژگی‌های خاک مورد استفاده در صحت سنجی و پژوهش

عمق لایه (m)	نوع خاک (استاندارد USCS)	وزن مخصوص (g/cm ^۳)	درصد رطوبت (%)	عدد SPT (N)	زاویه اصطکاک (درجه)	چسبندگی (kg/cm ^۲)	مدول الاستیسیته (kg/cm ^۲)
۱-۰	Fill	-	-	-	-	-	-
۴-۱	ML&CL-ML	۱.۷۸	۸	۳۵	۲۸.۱	۰.۰۹	۲۵۰
۸-۴	ML&SM	۱.۸۳	۱۰	۴۱	۳۰.۶	۰.۰۹	۲۸۰
۱۴-۸	SM&GM	۱.۸۲	۸	۴۶	۳۱.۸	۰.۰۷	۳۰۰
۲۲-۱۴	SM	۱.۹	۶.۵	۵۰<	۳۲.۲	۰.۰۸	۴۰۰
۳۰-۲۲	ML&SM	۱.۸۸	۷	۵۰<	۲۹.۵	۰.۱۲	۵۰۰
۴۵-۳۰	SM	۱.۸۰	۱۰	۵۰<	۲۹.۷	۰.۱۰	۶۵۰
۶۰-۴۵	SM&CL-ML	۱.۹۳	۱۲	۵۰<	-	-	۸۰۰



شکل (۱-۳) مختصات کلی پروژه موردنظر

جدول (۲-۳) مشخصات شمع‌های قائم فولادی

EI (KN.m ² /m)	EA (KN/m)	ممان اینرسی (cm ⁴)	سطح مقطع (cm ²)	فاصل افقی شمع ها (m)	E (KN/m ²)
۲۵۹۰	۳/۸۰×۱۰ ^۵	۳۸۸۰	۵۷	۳	۲×۱۰ ^۸

جدول (۳-۳) مشخصات انکرهای مورد استفاده

Design Load (KN)	EA (KN/m)	سطح مقطع (m ²)	فاصل افقی انکرها (m)	تعداد رشته	E (KN/m ²)
۷۸۰	۴/۶۷×۱۰ ^۴	۷×۱۰ ^{-۴}	۳	۵	۲×۱۰ ^۸

۳-۳- انتخاب مدل رفتاری و تعیین پارامترهای آن

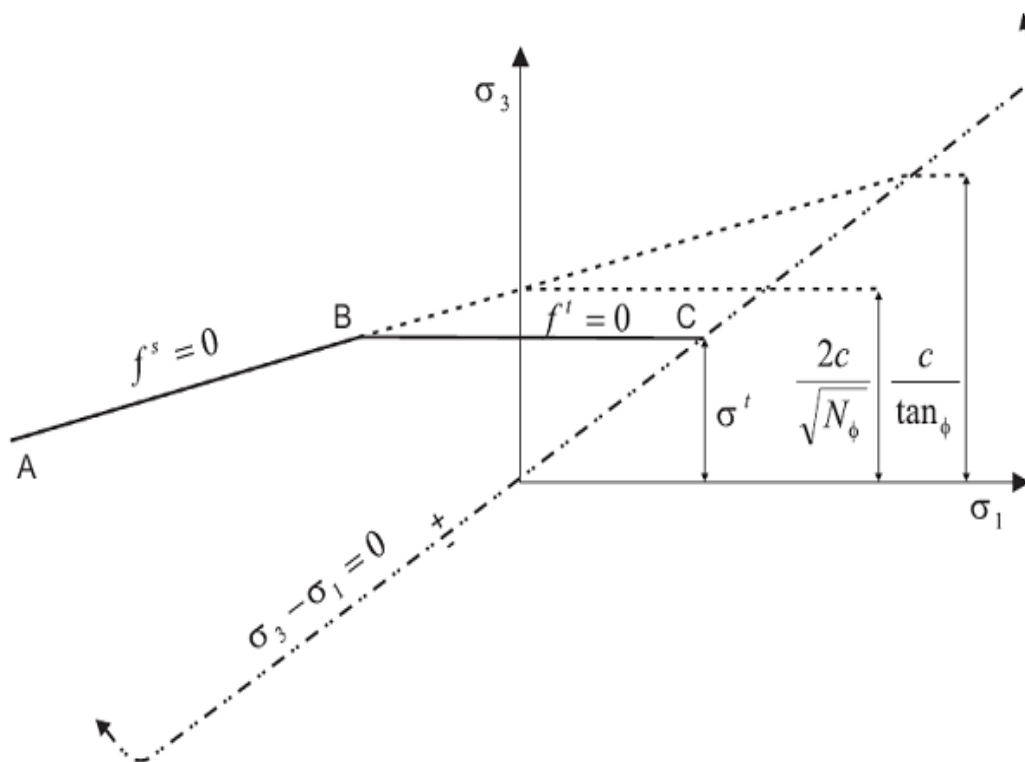
مدل‌های رفتاری مختلفی برای بیان ویژگی‌های مواد در نرم‌افزارهای مختلف از جمله آباکوس تا به امروز ارائه شده است. این مدل‌ها بسته به مقدار اهمیتی که برای هریکی از جنبه‌های رفتاری قائل می‌شوند، قدری با دیگر روش‌ها متفاوت می‌باشند. به‌طور کلی مدلی که ویژگی‌های بیشتری از خاک را در نظر بگیرد طبیعتاً پیچیده‌تر نیز هست. برای بیان رفتار مواد متفاوت و گاهی یک نوع ماده خمیری، معادلات رفتاری مختلفی تا به امروز ارائه شده است.

نرم‌افزار المان محدود آباکوس در کتابخانه‌ی خود شامل طیف وسیعی از مدل‌های رفتاری و المان‌ها است. بسیاری از این المان‌ها هندسه‌ای دارند که کاملاً از روی مختصات گره‌های آن‌ها تعیین نمی‌شود. یکی از مدل‌های رفتاری پرکاربرد در نرم‌افزار آباکوس مدل معروف و شناخته شده موهرکولمب است. این

روش یک مدل الاستوپلاستیک کامل است. در این پژوهش از مدل رفتاری خطی الاستیک برای بتن و فولاد استفاده شده است و نیز مدل رفتاری غیرخطی موهر-کولمب به خاک‌ها اختصاص داده شده است. معیار اصلی در این مدل رفتاری به صورت ارتباط خطی بین تنش برشی و تنش عمودی که بر روی صفحه‌ی قانون شکست اصطکاکی است که به صورت رابطه (۱-۳) ارائه می‌گردد:

$$\tau = c + \sigma_n \cdot \tan \varphi \quad (1-3)$$

در این رابطه τ تنش برشی، c چسبندگی، φ زاویه اصطکاک داخلی خاک است. شکل معیار گسیختگی موهر-کولمب در فضای تنش‌های اصلی در شکل (۲-۳) مشاهده می‌شود.



شکل (۲-۳) معیار گسیختگی موهر-کولمب در فضای تنش‌های اصلی [۲۷]

برای استفاده از این مدل به سه پارامتر نیاز داریم:

- زاویه اصطکاک

- چسبندگی خاک

- زاویه ی اتساع

۳-۴- کلیات مدل سازی

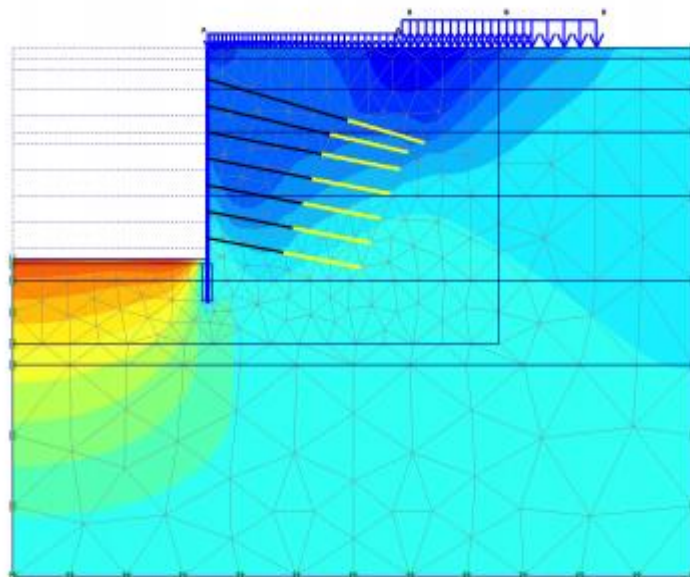
در این مطالعه برنامه ۱ جزء محدود آباکوس نسخه ۲۰۱۶، جهت مدل سازی سیستم خاک و شمع و انکر به صورت سه بعدی استفاده شده است. ویژگی های مورد استفاده در این پژوهش منطبق بر پروژه پاژ واقع در شهر مشهد مقدس بوده است. شکل (۳-۳) مدل سازی دوبعدی انجام شده در پروژه پاژ به کمک نرم افزار پلکسیس را نشان می دهد که به هدف بررسی میزان تغییر شکل های افقی و قائم لبه دیوار و کف گود انجام شده است. شکل (۴-۳) شماتیک کلی دیوار و انکرهای به کاررفته در پشت آن را در مدل سازی سه بعدی انجام شده به کمک آباکوس نشان می دهد. همان طور که در شکل (۴-۳) مشخص است، ردیف اول و دوم انکرها با زاویه بیشتر (به ترتیب ۱۵ و ۱۲ درجه نسبت به افق) اجرا شده و سایر ردیف ها زاویه کمتری نسبت به افق (۱۰ درجه) دارند. این امر در مدل سازی سه بعدی نیز مدنظر بوده است. همچنین در مدل دوبعدی فواصل انکرها و شمع ها در داخل صفحه نیز ۳ متر در نظر گرفته شده که این امر در مدل سازی سه بعدی نیز رعایت گردیده است.

باتوجه به اینکه بتن، خاک و انکر مدل سازی شده مصالحی شکل پذیر تلقی می گردند و از آنجا که با فرض ثابت بودن حجم مصالح تغییر شکل زیادی رامتصور نمی شویم، لذا ساخت مدل با المان سه بعدی هشت گره ای با متد انتگرال گیری کاهش یافته (C^3D^8R) برای مدل سازی المان های بتن، خاک

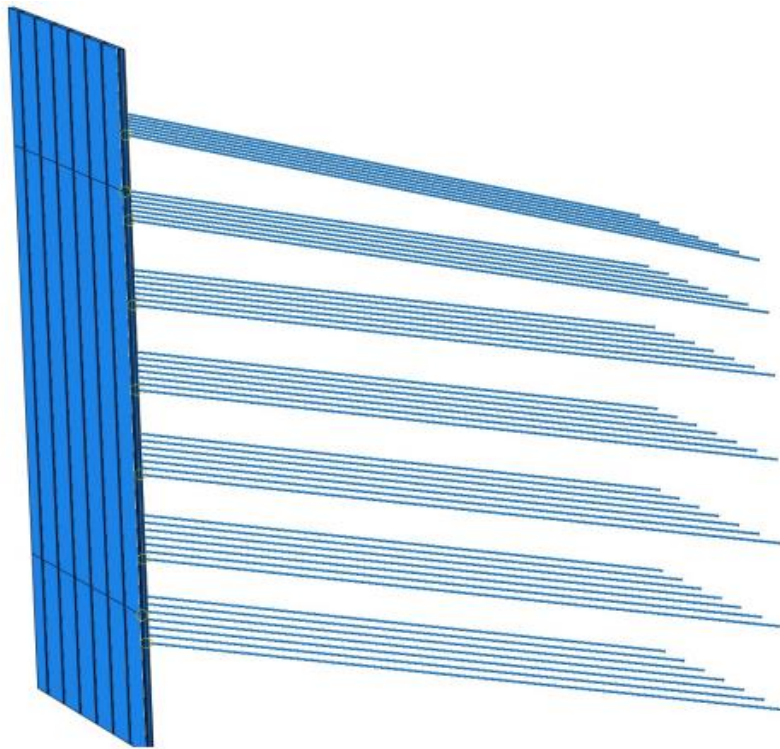
وانکرگزینه ای مناسب بوده و از این المان برای بتن، خاک وانکر استفاده شده است. برای شمع از المان پوسته ای ۴ وجهی با انتگرال کاهش یافته (S4r) استفاده شده است.

برای اینکه شرایط مرزی به درستی اعمال شود بین پای گیردار دیوار و خاک از اندرکنشی اصطکاکی استفاده شده است، همچنین سطح پشت دیوار نیز با اندرکنشی تماسی به خاک متصل شده است. برای این کار سطح بتن به عنوان master و سطح خاک slave می باشد. معمولاً سطح master سطح باسختی بیشتر در نظر گرفته می شود. بدین ترتیب چسبندگی بین دیوار و خاک نیز تامین شده و برای نیروهای زیاد امکان جدایی وجود دارد.

برای چسبندگی بین خاک، انکرو بتن طول باند در هر انکر در خاک مدفون شده باقید embedded استفاده شده است. همچنین ابتدا و انتها اعضای انکر نیز باقید tie به ترتیب به دیوار و خاک دوخته شده است تا عمل این المان متفاوت از nail باشد. واحد های بکاررفته در نرم افزار متر، کیلوگرم و ثانیه می باشد.



شکل (۳-۳) مدل سازی دوبعدی انجام شده در محیط پلکسیس



شکل (۳-۴) شماتیک مدل سازی دیوار شمع-انکر به صورت سه بعدی

۳-۵ صحت سنجی

پس از بررسی مدل سازی انجام شده در یک دیواره، این بار می بایست کل پروژه به همراه بارگذاری های اطراف را مدل سازی کرده و نتایج را با مطالعات ابزار دقیق انجام شده صحت سنجی کرد. برای این کار هر شش ضلع زمین، به همراه زاویه های دقیق مدل سازی شده است. همچنین انکراژها نیز به صورت دقیق مدل سازی شده و طول آنها همراه با زاویه نسبت به افق به صورت دقیق شبیه سازی گردیده است. سربارهای جانبی شامل بار تقریبی خیابان و سازه ی ۱۲ طبقه مجاور و نیز گودبرداری های موقت اطراف گود موردنظر نیز در مدل، شبیه سازی شده اند. جدول های (۳-۴) تا (۳-۸) ویژگی انکرهای به کار رفته در تیپ های مختلف دیوار را نشان می دهد.

جدول (۴-۳) کلیات طرح پایدارسازی تیپ ۱

ردیف	زاویه مهار (درجه)	طول مهار (متر)	تعداد رشته	فاصله افقی مهارها (متر)	طول باند (متر)
۱	۱۰	۲۲	۵	۳	۸
۲	۱۰	۲۲	۵	۳	۸
۳	۱۰	۲۰	۵	۳	۸
۴	۱۰	۱۹	۵	۳	۸
۵	۱۰	۱۸	۵	۳	۸
۶	۱۰	۱۷	۵	۳	۸
۷	۱۰	۱۶	۵	۳	۸

جدول (۵-۳) کلیات طرح پایدارسازی تیپ ۲

ردیف	زاویه مهار (درجه)	طول مهار (متر)	تعداد رشته	فاصله افقی مهارها (متر)	طول باند (متر)
۱	۱۵	۲۳	۵	۳	۸
۲	۱۲	۲۱	۵	۳	۸
۳	۱۰	۲۰	۵	۳	۸
۴	۱۰	۱۹	۵	۳	۸
۵	۱۰	۱۸	۵	۳	۸
۶	۱۰	۱۷	۵	۳	۸
۷	۱۰	۱۶	۵	۳	۸

جدول (۶-۳) کلیات طرح پایدارسازی تیپ ۳

ردیف	زاویه مهار (درجه)	طول مهار (متر)	تعداد رشته	فاصله افقی مهارها (متر)	طول باند (متر)
۱	۱۵	۲۲	۵	۳	۸
۲	۱۲	۲۲	۵	۳	۸
۳	۱۰	۲۰	۵	۳	۸
۴	۱۰	۱۹	۵	۳	۸
۵	۱۰	۱۸	۵	۳	۸
۶	۱۰	۱۷	۵	۳	۸
۷	۱۰	۱۶	۵	۳	۸

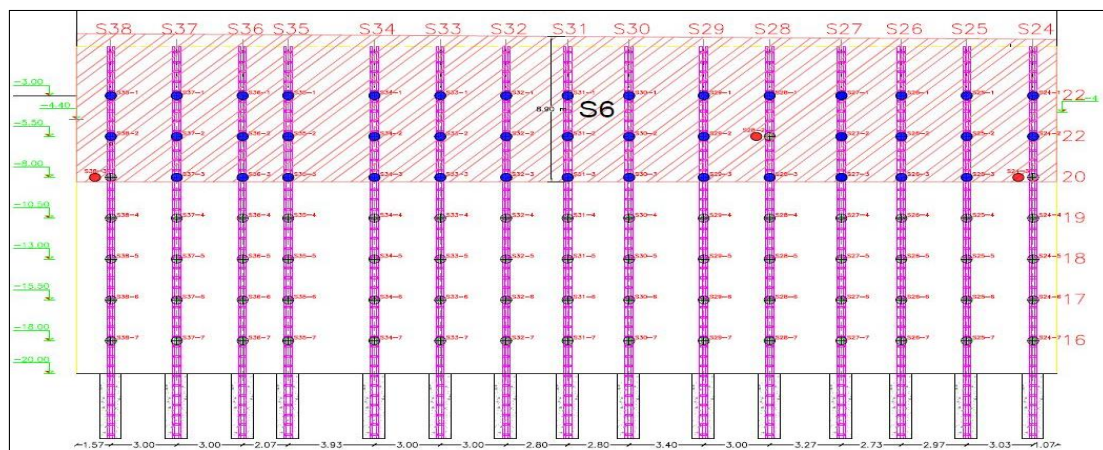
جدول (۷-۳) کلیات طرح پایدارسازی تیپ ۴

ردیف	زاویه مهار (درجه)	طول مهار (متر)	تعداد رشته	فاصله افقی مهارها (متر)	طول باند (متر)
۱	۱۵	۲۳	۵	۳	۸
۲	۱۲	۲۱	۵	۳	۸
۳	۱۰	۲۰	۵	۳	۸
۴	۱۰	۱۹	۵	۳	۸
۵	۱۰	۱۸	۵	۳	۸
۶	۱۰	۱۷	۵	۳	۸
۷	۱۰	۱۶	۵	۳	۸

جدول (۸-۳) کلیات طرح پایدارسازی تیپ ۵

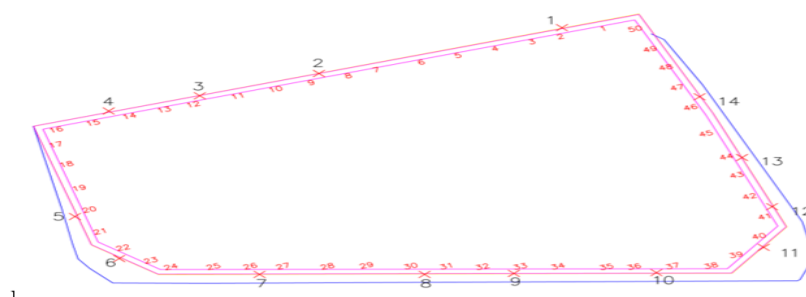
ردیف	زاویه مهار (درجه)	طول مهار (متر)	تعداد رشته	فاصله افقی مهارها (متر)	طول باند (متر)
۱	۱۵	۲۳	۵	۳	۸
۲	۱۲	۲۱	۵	۳	۸
۳	۱۰	۲۰	۵	۳	۸
۴	۱۰	۱۹	۵	۳	۸
۵	۱۰	۱۸	۵	۳	۸
۶	۱۰	۱۷	۵	۳	۸
۷	۱۰	۱۶	۵	۳	۸

همان‌طور که از بررسی جدول‌های (۴-۳) تا (۸-۳) مشخص است، طراح در پروژه‌ی پاژ از ۵ تیپ مختلف از دیوارها، طرح‌های جداگانه‌ای را ارائه کرده است تا ضمن کاهش هزینه‌ها به بهینه شدن طرح نهایی کمک کرده باشد. وجه تشابه ۵ تیپ مورد استفاده این است که تمامی آن‌ها طول باند ۸ متری داشته در ۷ ردیف با فواصل افقی ۳ متر و با استفاده از انکرهای ۵ رشته‌ای ایجاد شده‌اند و با افزایش عمق گود ضمن کاهش طول انکر، زاویه آن‌ها نیز کاهش یافته و از ردیف ۳ به بعد همگی دارای زاویه‌ی اجرای ۱۰ درصد هستند. شکل (۵-۳) نمای اجرای شمع و نقاط انکر گذاری در صفحه‌ی دیوار را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۵) ترازهای ارتفاعی و جانمایی انکرها بر روی شمع ها در ضلع جنوبی

بنا بر اعلام مجری طرح، با توجه به کمبود قرائت نتایج و خطای دستگاه که برابر ۴/۵ میلی‌متر است. از سوی دیگر مدت زمان بین آغاز برداشتها تا پایان برداشتها ۱۸۴ روز زمان برده است. بنابراین تحلیل‌های سه‌بعدی نیز برای مدت زمان ۱۸۴ روز تنظیم گردیده است. در شکل (۳-۶) نقاط موردنظر مجری برای پایش نتایج قابل مشاهده است. این نقاط غالباً در وسط ارتفاع دیوار قرار داشته است و بنابراین ملاک مقایسه نیز نقاط مشابه بر روی مدل‌سازی بوده است. در ادامه نتایج مربوط به پایش هفتگی پروژه و نیز مقادیر محاسباتی در نرم‌افزار آباکوس برای نقاط شماره ۲، ۵، ۸ و ۱۳ که تقریباً در میانه‌ی اضلاع هر یک از دیواره‌ها واقع شده‌اند، نشان داده شده است.



شکل (۳-۶) نقاط پایش جابه‌جایی در راستای عمود بر دیواره گود نسبت به عمق گود

الف) ضلع شمال

تیپ‌های ۱ تا ۴ در شکل (۳-۶) مربوط به ضلع شمال پروژه است که از این بین نقطه پایش شماره دو

مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج پایش هفتگی نقاط تیپ ۲ که مربوط به وسط دیواره است و نیز نتایج

مربوط جابه‌جائی در فاصله ۲ ماه، ۴ ماه و ۶ ماه از آغاز پایش‌ها در شکل (۳-۷) نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل (۳-۷) مشخص است، جابه‌جائی میانه‌ی دیواره در پایش ۲ ماه ۰.۰۰۲۱ متر،

در پایش ۴ ماه ۰.۰۰۹۴ متر و در پایش ۶ ماه ۰.۰۱۴۴ متر بوده است. این مقادیر در نرم‌افزار آباکوس به

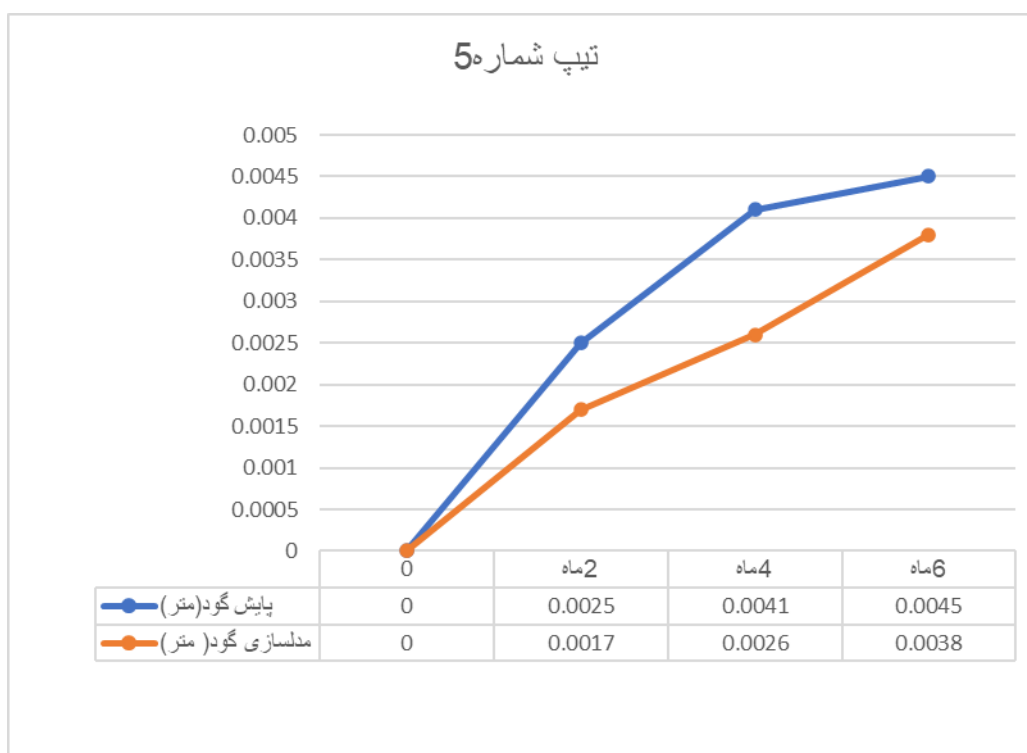
ترتیب برابر با ۰.۰۰۳۶، ۰.۰۰۹۲ و ۰.۰۱۲۲ متر محاسبه شده است.



شکل (۳-۷) نتایج تیپ شماره ۲

ب) ضلع غربی

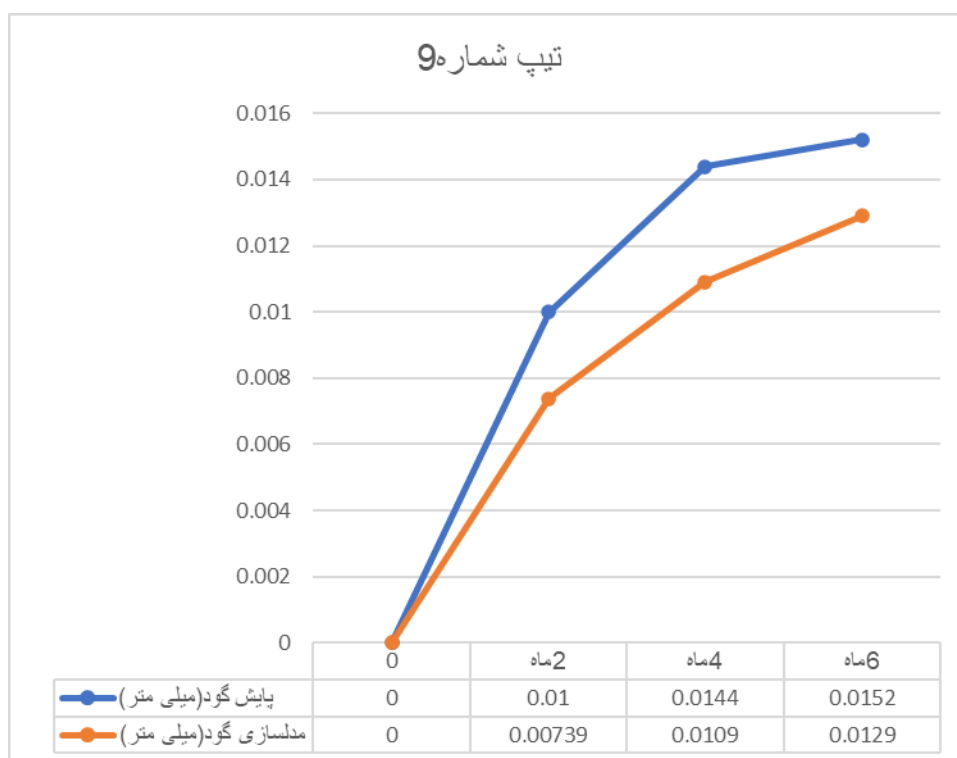
تیپ‌های ۵ و ۶ در شکل (۳-۶) مربوط به ضلع غربی پروژه است که از این بین نقطه پایش شماره ۵ مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج پایش هفتگی نقاط تیپ ۵ که مربوط به وسط دیواره است و نیز نتایج مربوط جابه‌جائی در فاصله ۲ ماه، ۴ ماه و ۶ ماه از آغاز پایش‌ها در شکل (۳-۸) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (۳-۸) مشخص است، جابه‌جائی میانه‌ی دیواره در پایش ۲ ماه ۰.۰۰۲۵ متر، در پایش ۴ ماه ۰.۰۰۴۱ متر و در پایش ۶ ماه ۰.۰۰۴۵ متر بوده است. این مقادیر در نرم افزار آباکوس به ترتیب برابر با ۰.۰۰۱۷، ۰.۰۰۲۶ و ۰.۰۰۳۸ متر محاسبه شده است.



شکل (۳-۸) نتایج تیپ شماره ۵

ج) ضلع جنوبی

تیپ‌های ۷ الی ۱۱ در شکل (۳-۶) مربوط به ضلع جنوبی پروژه است که از این بین نقطه پایش شماره ۹ مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج پایش هفتگی نقاط تیپ ۹ که مربوط به وسط دیواره است و نیز نتایج مربوط جابه‌جائی در فاصله ۲ ماه، ۴ ماه و ۶ ماه از آغاز پایش‌ها در شکل (۳-۹) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (۳-۹) مشخص است، جابه‌جائی میانه‌ی دیواره در پایش ۲ ماه ۰.۰۱ متر، در پایش ۴ ماه ۰.۰۱۴۴ متر و در پایش ۶ ماه ۰.۰۱۵۲ متر بوده است. این مقادیر در نرم افزار آباکوس به ترتیب برابر با ۰.۰۰۷۳۹، ۰.۰۱۰۹، و ۰.۰۱۲۹ متر محاسبه شده است.



شکل (۳-۹) نتایج تیپ شماره ۹

د) ضلع شرقی

تیپ‌های ۱۲ الی ۱۴ در شکل (۳-۶) مربوط به ضلع شرقی پروژه است که از این بین نقطه پایش شماره ۱۳ مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج پایش هفتگی نقاط تیپ ۱۳ که مربوط به وسط دیواره است و نیز نتایج مربوط جابه‌جائی در فاصله ۲ ماه، ۴ ماه و ۶ ماه از آغاز پایش‌ها در شکل (۳-۱۰) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (۳-۱۰) مشخص است، جابه‌جائی میانه‌ی دیواره در پایش ۲ ماه -0.00046 متر، در پایش ۴ ماه -0.0007 متر و در پایش ۶ ماه -0.00073 متر بوده است. این مقادیر در نرم افزار آباکوس به ترتیب برابر با -0.00015 ، -0.000459 و -0.00067 متر محاسبه شده است.



شکل (۳-۱۰) نتایج تیپ شماره ۱۳

۵-۳- جمع بندی

مطابق نمودار تیپ‌ها که توسط مجری ارائه گردیده است نشان می‌دهد: از زمانی که گودبرداری به عمق نهایی خود (۲۰ متر) رسیده است جابجایی دیواره گود تقریباً ثابت بوده و هیچ روند افزایشی مشاهده نمی‌شود. همچنین مقدار حداکثر جابجایی دیواره گود ۰.۰۱۵۲ متر است که در محدوده مجاز می‌باشد. نتایج محاسبه شده در آباکوس نیز همین مقادیر را نشان می‌دهد به طوری که در دیواره جنوبی در پایش ۴ ماه تنها اختلاف ۲۰٪ راشاه هستیم و در سایر ماه‌ها نتایج از انطباق مناسبی برخوردار و همگرایی مناسبی دارند. اختلاف نتایج در دیواره شمالی نیز در ۴ ماه و ۶ ماه بسیار نزدیک بوده اما در ۲ ماه شاهد جابه‌جائی بیشتر در نتایج پایش واقعی هستیم به طوری که در زمان ۲ ماه تنها ۲۰٪ اختلاف را شاهد هستیم. در دیوار غربی روند جابجایی تشابه خوبی دارد و همگرایی مناسبی به وجود آمده. در دیواره‌ی شرقی نیز در هر دو مدل مقدار اندکی جابه‌جائی به سمت خارج گود مشاهده شده است که به دلیل سربار کم در این بخش از سازه و نیز تأثیر دوخته شدن انکر به داخل خاک می‌باشد.

همان‌طور که از مطالب ارائه شده در بخش‌های قبل مشخص است، مدل‌سازی سه‌بعدی دارای جزئیات بیشتر اما دقت بالاتری بوده و جوانب بیشتری از مدل را در نظر خواهد گرفت. در این فصل ضمن بیان نحوه مدل‌سازی دیوار و شمع و انکر در آباکوس به مقایسه نتایج پلکسیس دوبعدی و آباکوس سه‌بعدی و همچنین شبیه‌سازی سه‌بعدی کامل تمامی اضلاع گود و مقایسه با نتایج پایش اجرایی پروژه پرداخته شد. در ادامه و در فصل چهارم تأثیر تغییر در زوایای انکر و نیز استفاده از انکرهای غیریکنواخت در عمق و همچنین تأثیر دیوار و شمع‌های با ابعاد مختلف مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در فصل چهارم همچنین، تأثیر وجود و عدم وجود بار و دیوار پایدارسازی شده در سایر اضلاع گودبرداری بر روی تنش و جابه‌جائی دیوار مورد نظر نیز بررسی خواهد شد.

فصل چهارم:

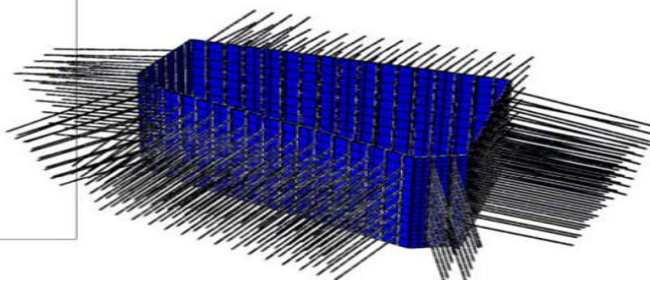
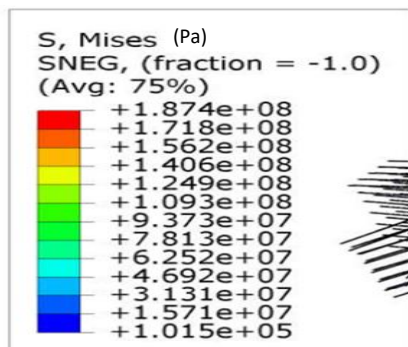
تحلیل عددی روش شمع و مهار

۴-۱ مقدمه

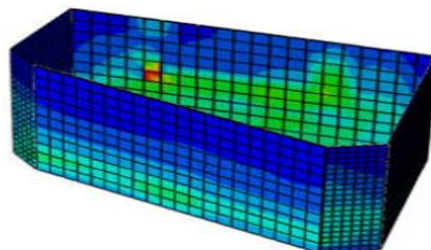
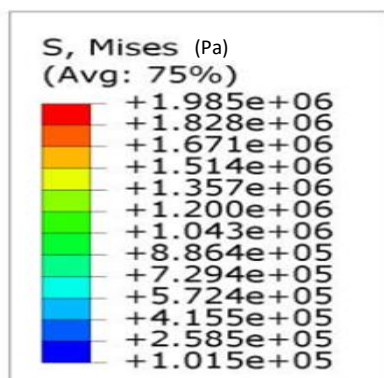
در فصل قبل به بررسی سه‌بعدی گودبرداری به روش انکر و شمع پرداخته شد و برای این کار گودبرداری انجام شده در پروژه پاژ مشهد در نرم‌افزار مدل‌سازی گردید. در این فصل ابتدا به حساسیت سنجی گود موردنظر پرداخته و تأثیر طول انکراژ و زاویه آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه نیز سازه در برابر بارهای زلزله بررسی شده و تأثیر شدت زلزله بر حداکثر جابه‌جائی و تنش وارد بر دیوارها و انکرها مورد بررسی قرار گرفته است.

۴-۲ تأثیر طول انکراژ

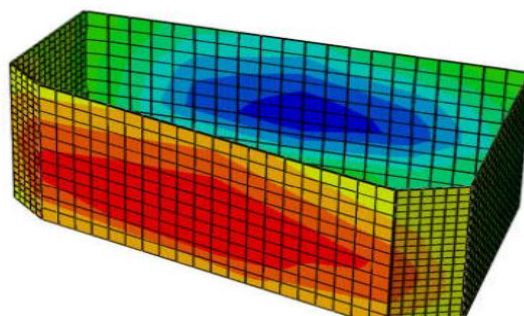
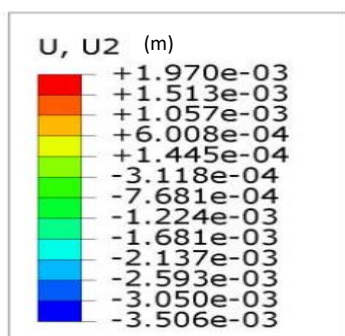
در این بخش به بررسی تأثیر طول انکرها پرداخته شده است. همان‌طور که از مشاهده جدول‌های (۳-۴) تا (۳-۸) مشخص است، دیوارهای مختلف سازه که مشتمل بر ۶ دیواره هستند، از انکرهایی با طول‌های متفاوت تشکیل شده‌اند. طول این دیوارها بین ۱۶ تا ۲۳ متر متغیر بوده و در هر یک از دیوارها با افزایش عمق، طول انکر نیز کاهش یافته است به طوری که انکرهای ۲۲ و ۲۳ متری در بالاترین ارتفاع و نزدیک به سطح و انکرهای ۱۶ و ۱۷ متری در پایین‌ترین ارتفاع و نزدیک به کف گود، اجرا شده‌اند. این موضوع در شکل (۳-۱۵) و شکل (۳-۱۶) قابل مشاهده است. برای بررسی تأثیر طول انکرها با ثابت در نظر گرفتن سایر خروجی‌ها، طول انکرها یک بار به طول ۱ تا ۳ متر افزایش داشته و بار دیگر بین ۱ تا ۳ متر کاهش داشته است؛ این میزان افزایش و کاهش در تمامی انکرها و تمامی دیواره‌ها به صورت هم‌زمان لحاظ شده است. شکل (۴-۱) تا (۴-۳) جابه‌جائی مربوط به حالت عادی و بیشترین طول و کمترین طول انکر را در دیواره‌های شمالی و انکرها نشان می‌دهد. همان‌طور که در تصویر (۴-۴) دیده می‌شود مقدار حداکثر تنش در انکرهای ردیف پایین رخ داده است که مطابق طراحی طول کمتری را داشته‌اند.



الف



ب

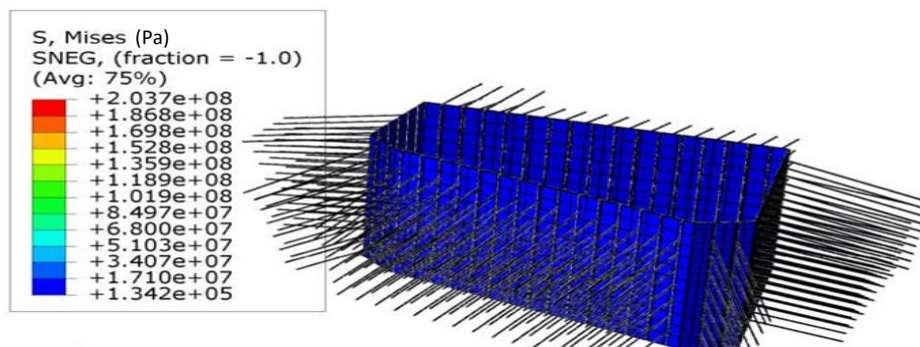


ج

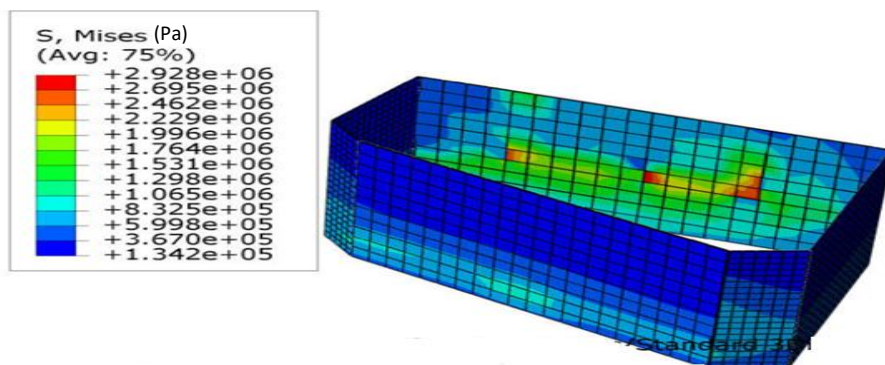
د

شکل (۴-۱) تنش و جابه‌جایی در مدل اصلی الف) تنش در آنکر ب) تنش در دیوار بتنی ج) جابه‌جایی در دیوار

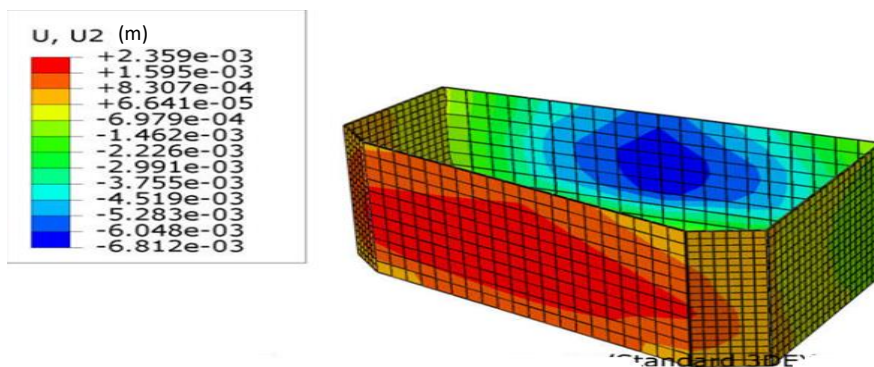
همان‌طور که در شکل (۴-۱) مشاهده می‌شود، تنش حداکثر با معیار ون مایزس در شبیه‌سازی کامل و سه‌بعدی پروژه پاژ، در انکر و دیوار بتنی به ترتیب به ۱۸۸ و ۱۹۸ مگاپاسکال رسیده است و بخش اعظمی از فشار وارده از سوی سربار سازه‌های مجاور و توده‌ی خاک به انکرها وارد شده است و دیوارها از وضعیت خوبی برخوردار هستند. با توجه به اینکه در جدول (۳-۳) مقدار بار طراحی انکرها ۷۸۰ کیلو نیوتن می‌باشد، لذا سازه از وضعیت خوبی در حالت استاتیک خود برخوردار است. همچنین مقدار حداکثر جابه‌جائی در کل مدل به ۳.۵ میلی‌متر رسیده است که با توجه به معیارهای طراحی، در روش انکر-شمع این مقدار مناسب می‌باشد. در ادامه و در شکل (۴-۲) با کاهش طول هر یک از انکرها به مقدار ۳ متر، به بررسی تنش‌ها و جابه‌جائی‌ها پرداخته شده است.



الف



ب

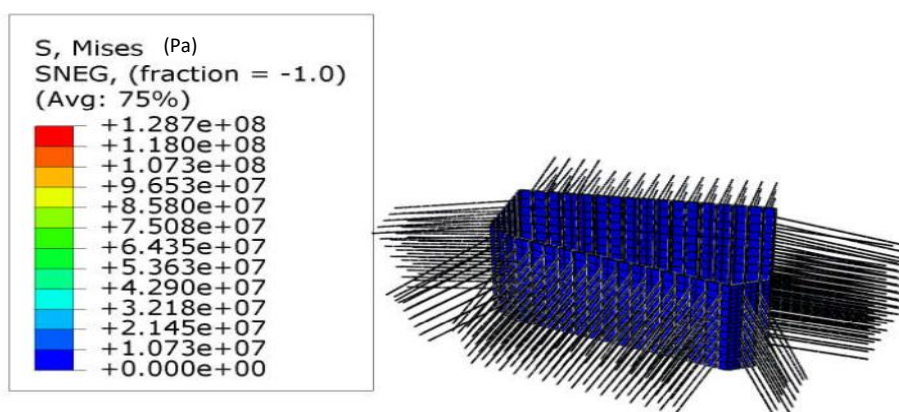


ج

شکل (۲-۴) تنش و جابه‌جائی در دیواره و انکر مدل با ۳ متر طول انکر کمتر

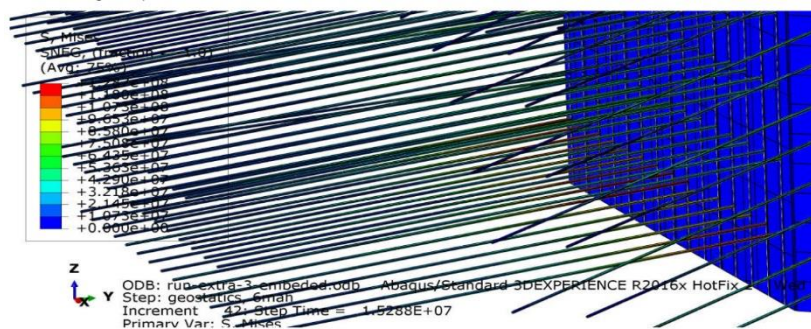
الف) تنش در انکر ب) تنش در دیواربتنی ج) جابجائی در دیوار

همان‌طور که از بررسی شکل (۲-۴) مشخص است، با کاهش طول انکرها در تمامی دیوارها و در تمامی عمق‌ها، با در نظر داشتن معیار ون مایزس تنش حداکثر در انکرها و دیوار به ترتیب به ۲۰۳ مگاپاسکال و ۲۰۹ مگاپاسکال رسیده است که در قیاس با حالت نرمال، افزایش نسبی دارد. در این حالت حداکثر جابجایی در کل مدل به مقدار ۶.۸ میلی‌متر رسیده است. در ادامه به شبیه‌سازی گود پرداخته شده و این بار طول تمامی انکرها در تمامی دیوارها سه متر نسبت به حالت نرمال افزایش یافته است. شکل (۳-۴) تنش حداکثر ایجاد شده در حالت سوم را نشان داده است.



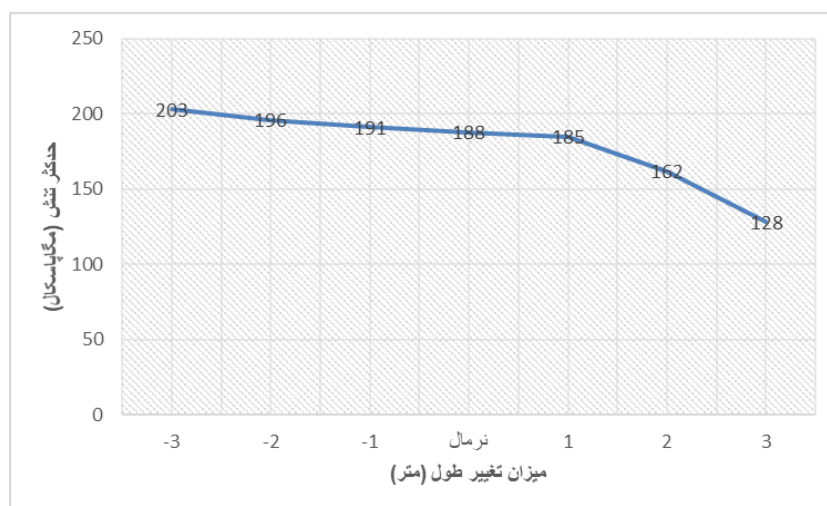
شکل (۳-۴) تنش در دیواره و انکر مدل با ۳ متر طول انکر بیشتر

همان‌طور که از شکل (۳-۴) مشخص است، در این حالت نیز تنش و جابه‌جائی در قیاس با حالت نرمال کاهش یافته است. در این حالت انکرها و دیوارها به ترتیب مقدار حداکثر تنش ۱۲۸ و ۲۰۴ مگاپاسال را تجربه کرده و حداکثر جابجایی در کل مدل به مقدار ۳.۱ میلی‌متر رسیده است. در شکل (۴-۴) نیز نمای نزدیکی از تنش‌ها در انکرهای ردیف پایین نشان داده شده است.

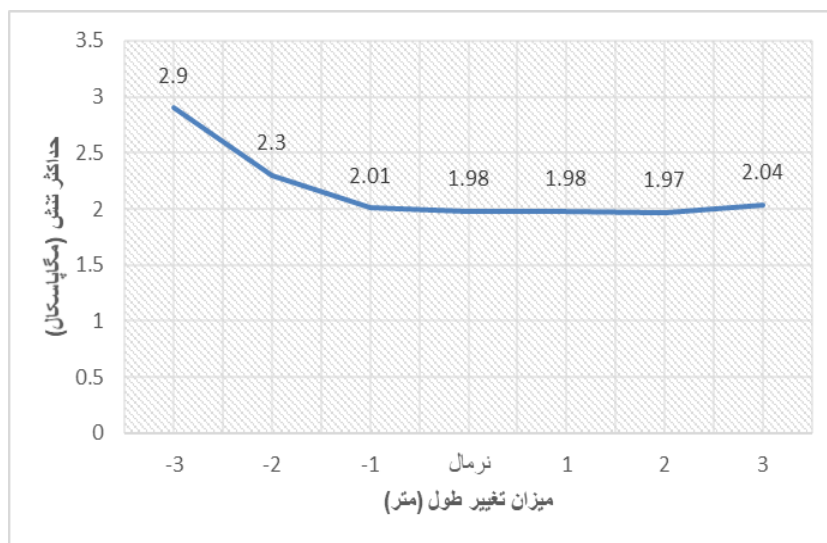


شکل (۴-۴) تنش ایجاد شده در انکرهای ردیف پایین در دیواره شمالی به ازای ۳ متر طول بیشتر

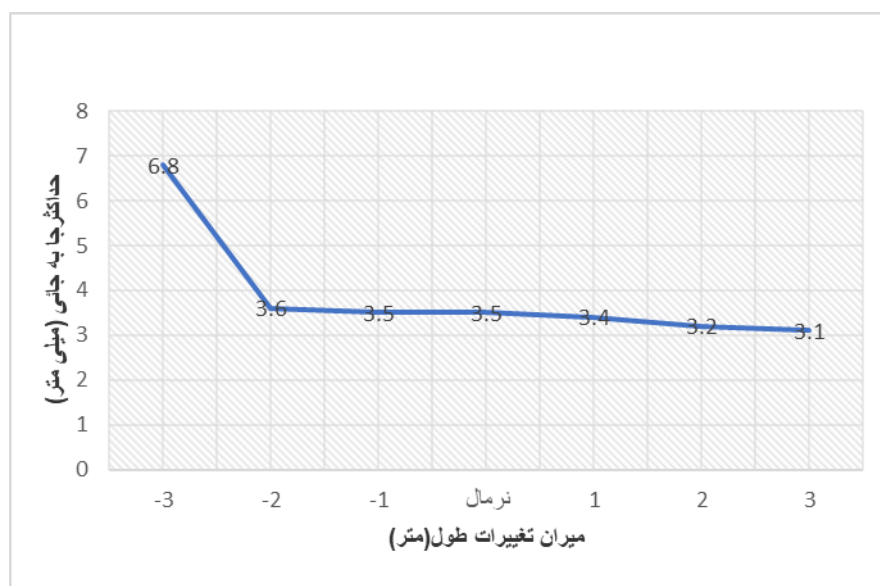
همان‌طور که در تصویر (۴-۴) مشاهده می‌شود، بیشترین تنش در انکرهای ردیف پایین رخ داده و انکرهای بالایی نسبت تنش کمتری را تجربه کرده‌اند. در ادامه و در نمودارهای (۴-۱) تا (۴-۳) به ترتیب روند تغییرات تنش در انکر و دیوار و همچنین جابه‌جائی در دیوار نشان داده شده است.



نمودار (۴-۱) مقایسه تنش ایجاد شده در انکرها به ازای طول‌های مختلف



نمودار (۲-۴) مقایسه تنش ایجاد شده در دیواره شمالی به ازای طول‌های مختلف

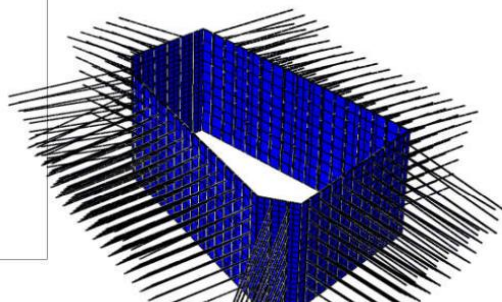
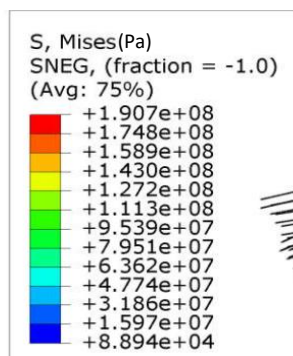


نمودار (۳-۴) مقایسه جابه‌جایی ایجاد شده در دیواره شمالی به ازای طول‌های مختلف

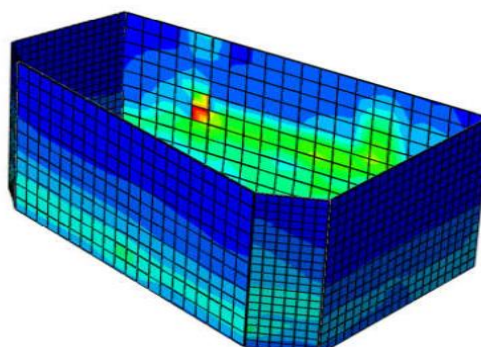
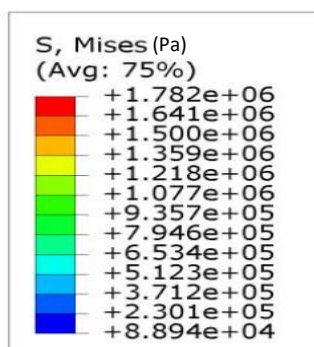
همان‌طور که از بررسی نمودارهای (۱-۴) تا (۴-۴) مشاهده می‌شود، افزایش طول گرچه باعث کاهش تنش و جابه‌جایی شده اما با توجه به مناسب بودن طول فعلی نیازی به این افزایش طول در این پروژه احساس نمی‌شود و از سویی بدون در نظر گرفتن طراحی دینامیکی، برای داشتن یک طراحی استاتیکی بهینه می‌توان کاهش طول تا ۲ متر را نیز مدنظر قرار داد.

۴-۳ تأثیر تغییر در زاویه

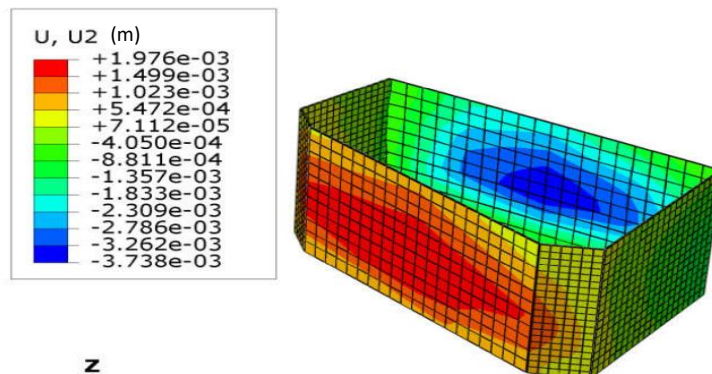
در این بخش زاویه‌های مختلف انکر بررسی شده است. برای این کار ابتدا زاویه تمامی انکرها ۱ الی ۵ درجه رو به بالا و پایین مدل‌سازی شده است. با توجه به کاهش تنش‌ها در اثر کاهش زاویه‌ی اولیه لذا روند فوق ادامه پیدا کرده است. نتایج نشان می‌دهد بهینه‌ترین حالت زمانی است که زاویه انکرها ۳ درجه کاهش پیدا کند. در این حالت تنش جداره کاهش یافته اما تنش وارد بر انکرها قدری افزایش یافته است. جابه‌جایی نیز در این حالت حدود ۰.۶٪ کاهش یافته است. افزایش زاویه نیز در تمامی حالت باعث بیشتر شدن تنش وارد بر انکرها شده است.



الف



ب

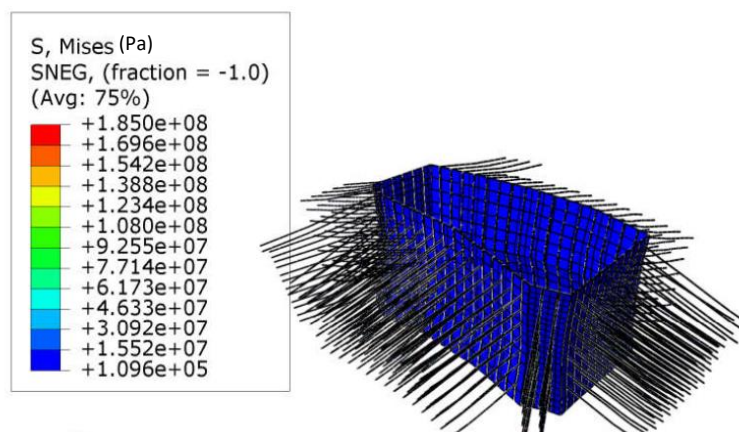


ج

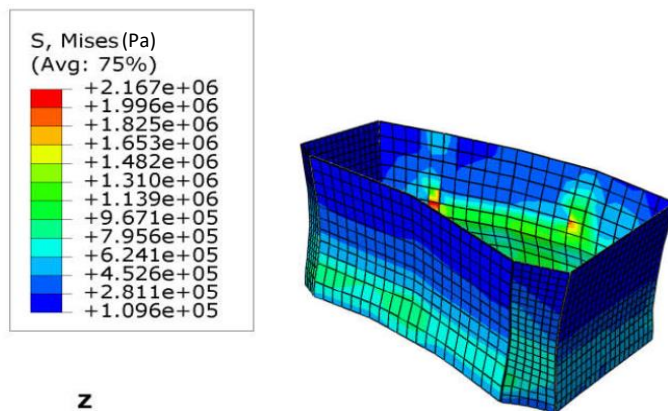
شکل (۴-۵) تنش و جابه جایی در دیواره و انکر در حالت ۳ درجه رو به پایین

الف) تنش در انکر ب) تنش در دیواربتنی ج) جابجایی در دیوار

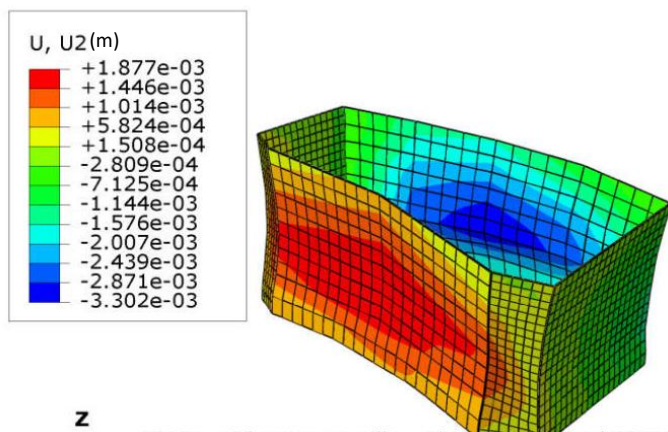
همان طور که در شکل (۴-۵) مشخص است، تنش حداکثر در کل مدل در انکر و دیوار با افزایش ۳ درجه در زاویه انکرها به ترتیب به ۱۹۰ و ۱.۸۸ مگاپاسکال رسیده و جابه جایی نیز به ۳.۷۳ میلی متر رسیده است. این وضعیت در مقایسه با حالت نرمال از افزایش تنش و جابه جایی خبر می دهد. در ادامه تصاویر مربوط به حالت ۳ درجه رو به بالا نشان داده می شود. در این حالت انکرهای ۲۲ درجه، به صورت ۱۹ درجه اجرا شده و به همین ترتیب سایر انکرها نیز نسبت به افق ۳ درجه کاهش زاویه دارند. تصاویر زیر تنش و جابه جایی را با بزرگنمایی ۱۰۰۰ برابری نشان داده اند.



الف



ب

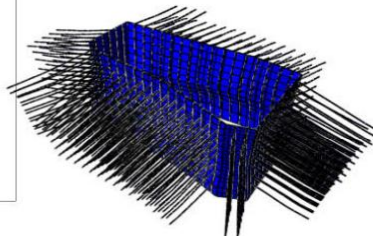
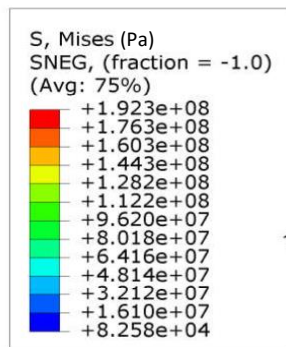


ج

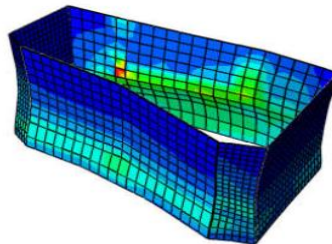
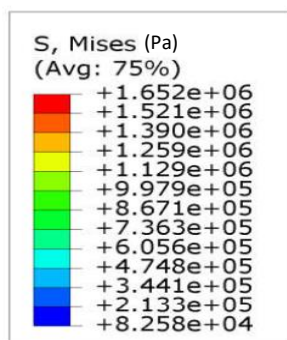
شکل (۴-۶) تنش و جابه جایی و انحر در حالت ۳ درجه رو به بالا

الف) تنش در انکر ب) تنش در دیوار بتنی ج) جابجایی در دیوار

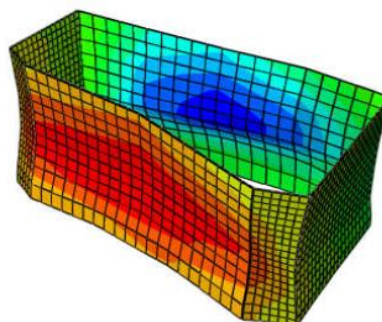
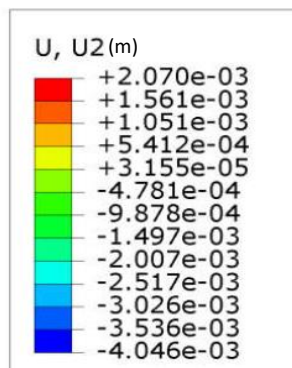
همان طور که در شکل (۴-۶) مشخص است، با کاهش زاویه، تنش‌ها جابه‌جایی‌ها دستخوش تغییر شده است؛ در این حالت با توجه به اینکه نتایج تنش و جابه جایی کمتری را نسبت به حالت اولیه نشان داده است، لذا زاویه ۴ و ۵ درجه نیز بررسی می‌شود. در این حالت مجدد تنش‌ها بیشتر شده و این نشان می‌دهد که زاویه بهینه تا ۳ درجه کمتر از زاویه طراحی شده است. در شکل (۴-۷) حالت ۵ درجه رو به بالا نشان داده شده است.



الف



ب

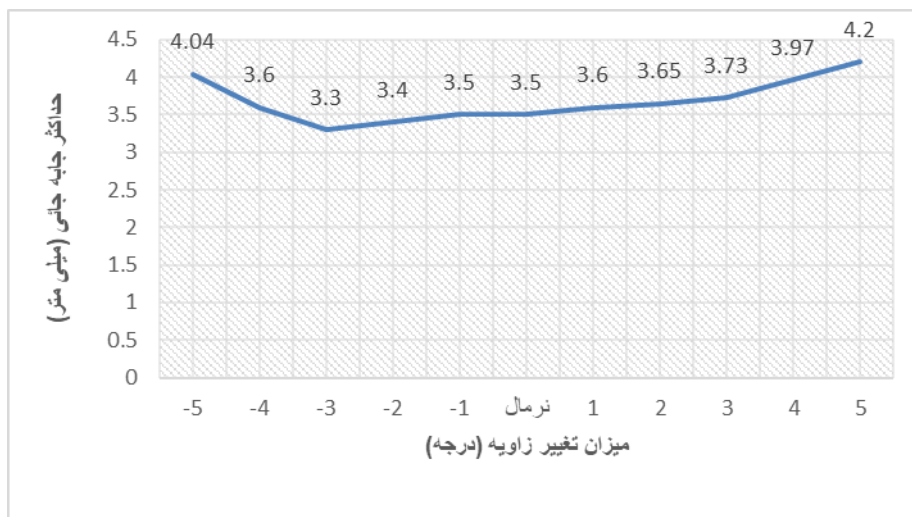


ج

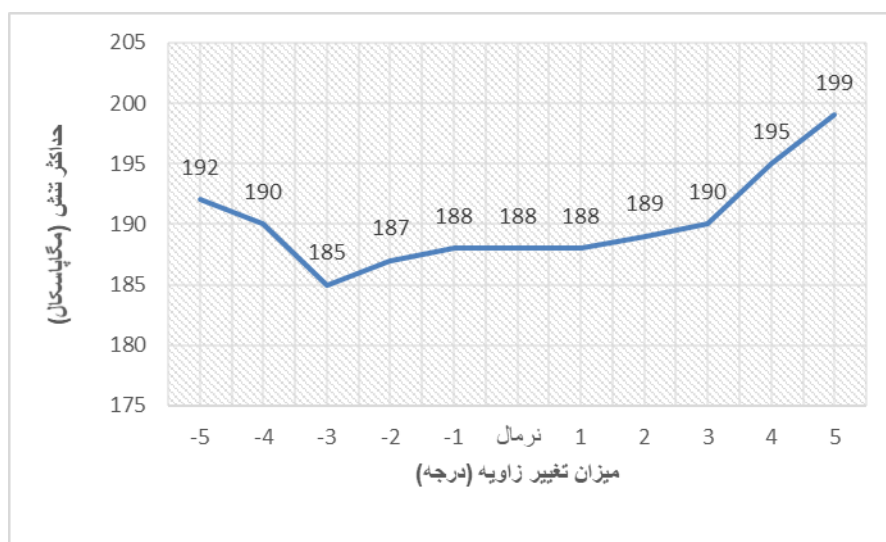
شکل (۷-۴) تنش و جابه جایی و انکر در حالت ۵ درجه رو به بالا

الف)تنش درانکر ب)تنش دردیواربتنی ج)جابجایی دردیوار

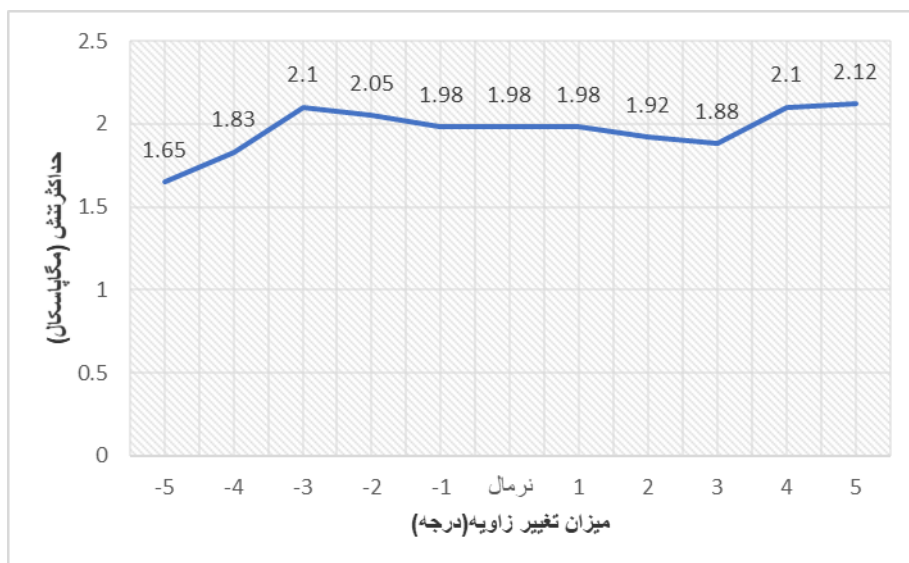
همان‌طور که در شکل (۷-۴) مشخص است، این حالت از افزایش تنش در انکر و دیوار و نیز عدم تغییر در جابه‌جائی حداکثر خبر می‌دهد. نمودار (۴-۴) تا (۶-۴) روند جابه‌جائی و تنش در دیوار و انکر را برای زاویه‌های مختلف نشان می‌دهد.



نمودار (۴-۴) تغییرات جابه‌جائی در دیواره شمالی در زاویه‌های مختلف انکر



نمودار (۵-۴) تنش حداکثر در انکرها در زاویه‌های مختلف انکر



نمودار (۴-۶) تنش حداکثر در دیواره شمالی در زاویه‌های مختلف انکر

همان‌طور که از بررسی نمودارهای (۴-۴) تا (۴-۶) مشاهده می‌شود، کاهش زاویه انکرها تا ۲ الی ۳ درجه منجر به کاهش تنش وارد بر انکر و افزایش اندکی در دیواره شده و جابه‌جائی حداکثر را قدری کاهش می‌دهد. اما افزایش زاویه یا کاهش بیشتر از ۳ درجه مناسب نبوده و به افزایش تنش‌ها و کاهش ضریب اطمینان منجر می‌شود.

۴-۴ جابه‌جائی گود در برابر ارتعاشات لرزه‌ای

بعد از بررسی تأثیر زاویه انکر و نیز تأثیر افزایش یا کاهش طول آن بر روی جابه‌جائی‌های لبه گود، این بار به بررسی گودبرداری تحت سه زمین‌لرزه پرداخته شده است.

۴-۴-۱ اصلاح و اعمال شتاب‌نگاشت و مقایسه با نکات آیین‌نامه ۲۸۰۰

حرکت زمین در تعیین اثر زلزله بر ساختمان‌ها رامی‌توان مستقیماً با منظور نمودن تغییرات شتاب در

طول زمان و در تحلیل دینامیکی به دست آورد. تحلیل‌های تاریخچه زمانی خطی یا غیرخطی با استفاده از شتابنگاشت انجام می‌پذیرند. بر اساس بند ۲-۵-۳ استاندارد ۲۸۰۰ [۲۵]، شتابنگاشت‌هایی که در تعیین اثر حرکت زمین مورد استفاده قرار می‌گیرند باید تا حد امکان نمایانگر حرکت واقعی زمین در محل احداث بنا و در هنگام وقوع زلزله باشند. برای نیل به این منظور از پارامتر متوسط سرعت موج برشی در لایه‌های مختلف تا عمق ۳۰ متری از تراز پایه (Vs) استفاده می‌گردد تا سرعت موج برشی در محدود خاک موردنظر قرار گیرد. جدول (۴-۱) جزئیات مربوطه از آیین‌نامه ۲۸۰۰ در ادامه نشان داده شده است.

جدول (۴-۱) تیپ بندی خاک توسط آیین‌نامه ۲۸۰۰ [۲۵]

نوع زمین	توصیف لایه بندی زمین	پارامترها		
		$\bar{C}_s (kPa)$	$\bar{N}_{1(60)}$	$\bar{v}_s (m/s)$
I	سنگ و شبه سنگ، شامل سنگ‌های آذرین، دگرگونی و رسوبی و خاک‌های سیمانه بسیار محکم با حداکثر ۵ متر مصالح ضعیف‌تر تا سطح زمین	-	-	> 750
II	خاک خیلی متراکم یا سنگ سست، شامل شن و ماسه خیلی متراکم، رس بسیار سخت با ضخامت بیشتر از ۳۰ متر که مشخصات مکانیکی آن با افزایش عمق به تدریج بهبود یابد. سنگ‌های آذرین و رسوبی سست، مانند توف و یا سنگ متورق و یا کاملاً هوازده	> 250	> 50	$375 - 750$
III	خاک متراکم تا متوسط، شامل شن و ماسه متراکم تا متوسط یا رس‌های سخت با ضخامت بیشتر از ۳۰ متر	$70 - 250$	$15 - 50$	$175 - 375$
IV	خاک متوسط تا نرم، لایه‌های خاک غیر چسبنده یا با کمی خاک چسبنده با تراکم متوسط تا کم، لایه‌های خاک کاملاً چسبنده نرم تا محکم.	< 70	< 15	< 175

۴-۴-۲- مفهوم فاصله از گسل

فاصله از گسل معمولاً به چهار صورت است که شامل دور از حوزه^۱، نزدیک به حوزه^۲، نزدیک گسل^۳، نزدیک کانون^۴، است. منابع مختلف عملاً بین Near Fault و Near Source تفاوتی قائل نشده‌اند و در محدوده‌های یاد شده اجتناب از احداث بنا به ویژه در سازه‌های با اهمیت بسیار زیاد اکیداً توصیه شده است به طوری که در پهنه‌های گسل‌های اصلی و با جابجایی عمده، احداث ساختمان با اهمیت بسیار زیاد ممنوع می‌باشد؛ بنابراین شتاب نگاشت‌ها با توجه به فاصله‌ای که از گسل ثبت شده‌اند به دو دسته‌ی نزدیک به حوزه مدنظر و دور از حوزه مدنظر تقسیم می‌شوند. در ترجمه مراجع واژه حوزه و گسل را به گسل ترجمه نموده و دور از حوزه را دور از گسل ترجمه نموده‌اند که منظور همان حوزه می‌باشد که در این مطالعه با واژه حوزه نام برده شده است. فاصله از حوزه گسل موضوع بسیار مهمی در انتخاب شتاب‌نگاشت است چرا که می‌تواند پاسخ‌های بسیار متفاوتی بر روی سازه داشته باشد در اینکه فاصله از حوزه چقدر باید باشد تا دور از حوزه یا نزدیک به حوزه تشخیص داده شود مراجع نظرات متفاوتی را مطرح نموده‌اند همچون Fema^{۱۹۵} [۲۶] آمده است. در Fema^{۱۹۵} فاصله از گسلش را مبنای دور و نزدیکی از حوزه گذارده است و در مرجع دوم فاصله از گسل. لذا با بررسی مراجع فوق می‌توان نتیجه گرفت که معمولاً چنانچه شتاب نگاشتی توسط ایستگاهی ثبت شود که فاصله آن ایستگاه از گسل کمتر از ۱۰ کیلومتر باشد با قاطعیت به آن شتاب نگاشت نزدیک به گسل می‌گویند؛ و فاصله بیش از ۲۰ کیلومتر از گسل را به عنوان حوزه‌های دور از حوزه محسوب می‌نماییم. فواصل ۱۰ تا ۲۰ را می‌توان بر اساس شکل رکورد و مؤلفه قائم زلزله بررسی و در رده دور یا نزدیک حوزه قرارداد.

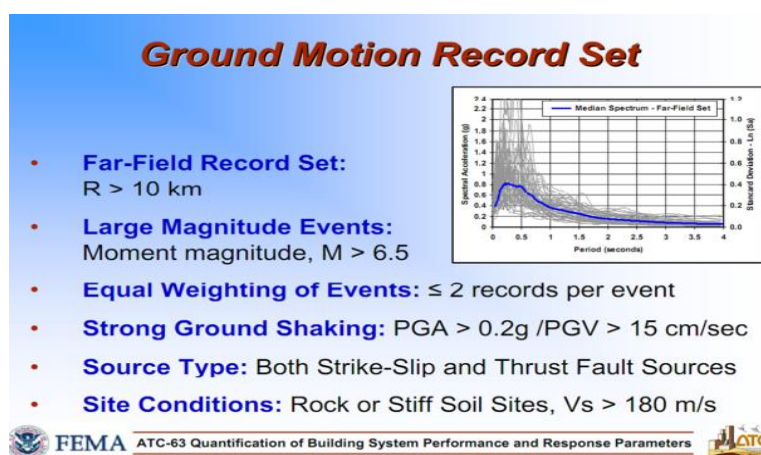
Far Filed^۱

Near Filed^۲

Near Fault^۳

Near Source^۴

در این پژوهش فواصل بین ۲۰ تا ۵۰ کیلومتر ملاک "حوزه دور از گسل" در نظر گرفته شده است. شتاب نگاشت های نزدیک حوزه معمولاً دارای زمان جنبش کوچکتری بوده و مؤلفه قائم بسیار بزرگی دارند در صورتی که شتاب نگاشت های دور از حوزه دارای زمان جنبش بزرگتری بوده و مؤلفه قائم آنها معمولاً ناچیز است. شتاب نگاشت های نزدیک حوزه دارای شتابهای زیاد و با محتوای فرکانسی بالا نسبت به زلزله های دور از حوزه می باشد. شتاب نگاشت های نزدیک حوزه دارای یک پالس در ابتدای رکورد خود هستند. شکل (۴-۸) حداقل های اشاره شده برای انتخاب رکورد زلزله ATC^{۶۳} را نشان می دهد.



شکل (۴-۸) حداقل های اشاره شده برای انتخاب رکورد زلزله ATC^{۶۳}

۴-۳- مدت زمان حرکت شدید زمین

مدت زمان حرکت شدید زمین^۱ در شتاب نگاشت ها حداقل برابر ۱۰ ثانیه یا سه برابر زمان تناوب اصلی سازه، هر کدام که بیشتر است، باشند. برای مثال در یک ساختمان ۲۰ طبقه زمان تناوب مود اول سازه ۲.۰۴۷ ثانیه می باشد و می بایست شتاب نگاشت هایی انتخاب شوند که زمان حرکت شدید زمین را

^۱ Strong Ground Motion

مطابق بند ۲-۵-۳-۲ استاندارد ۲۸۰۰ ارضا نماید که برای این گود ۲۰ متری با فرض پیود برابر با ۲ ثانیه خواهیم داشت:

$$\text{Max} = (1-4) \text{ زمان مؤثر } s = 10 = (2 \times 3, 10)$$

لذا می‌بایست شتاب نگاشت‌هایی با زمان مؤثر بیش از ۱۰ ثانیه انتخاب گردند. مدت زمان حرکت شدید زمین از دو روش قابل استخراج می‌باشد. در این پژوهش مدت زمان ۳ زلزله با توجه به اصلاحات انجام شده بین ۳۹ تا ۴۲.۵ ثانیه در نظر گرفته شده است.

۴-۴-۴ شتاب‌نگاشت‌ها

در تحلیل تاریخچه زمانی نیاز داریم تا شتاب نگاشت‌های زلزله را به مدل سازه در نرم افزار اعمال کرده و نحوه پاسخ سازه به این شتاب نگاشت‌ها را در طول مدت زمان زلزله مورد بررسی قرار دهیم. با توجه به اینکه ماهیت زلزله در مناطق مختلف متفاوت بوده و حتی در یک منطقه مشخص نیز زلزله‌های با ماهیت کاملاً متفاوت از هم رخ داده‌اند، لذا می‌توان گفت که ویژگی‌های شتاب نگاشت هر زلزله منحصر به فرد بوده و در زلزله‌های دیگر تکرار نخواهد شد.

ازاین رو برای تحلیل یک سازه ناچار به استفاده از زوج شتاب‌نگاشت‌های مختلف که در گذشته رخ داده‌اند هستیم. این شتاب نگاشت‌ها باید تا حد امکان دارای شرایط ژئوتکنیکی و ماهیتی مشابه محل احداث سازه باشند.

انتخاب شتاب نگاشت تأثیر بسیار مهمی در مراحل بعدی تحلیل خواهد گذاشت، لذا انتخاب شتاب نگاشت‌های مناسب در جهت انجام یک تحلیل دقیق و نزدیک به واقعیت بسیار دارای اهمیت می‌باشد و بایست و دارای ویژگی‌های زیر باشند:

۱- شتاب نگاشت های مورد نظر باید تا حد امکان ویژگی های مشابه با زلزله محتمل در ساخت گاه داشته باشند.

۲- ساختگاه مربوط به هر شتاب نگاشت انتخابی تا حد امکان به لحاظ ویژگی های زمین شناسی، تکتونیکی، لرزه شناسی و لایه های خاک، با زمین محل احداث ساختمان شباهت داشته باشد.

۳- حداقل ۳ زوج شتاب نگاشت در تحلیل تاریخچه زمانی استفاده شود.

۴- هرچه تعداد زوج شتاب نگاشت ها بیشتر باشد، نتایج منطقی تر خواهند بود.

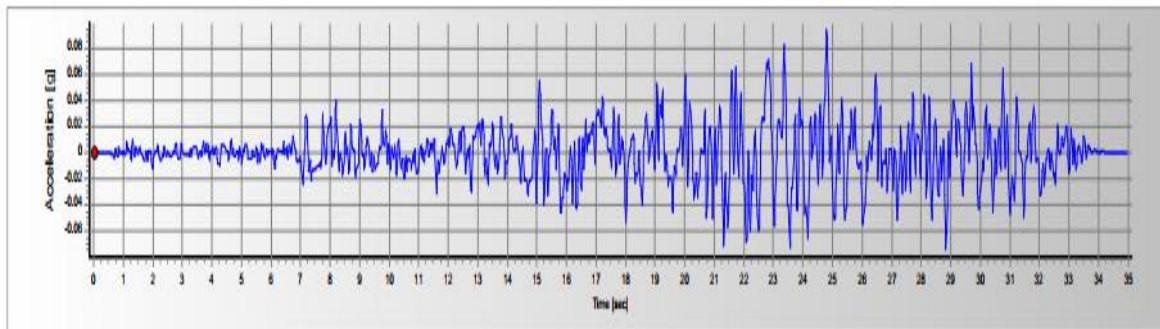
۵- در مواردی که تعداد موردنیاز از زوج شتاب نگاشت مناسب ثبت شده در دسترس نباشد، از شتاب نگاشت های مصنوعی مناسب برای تکمیل تعداد شتاب نگاشت ها می توان استفاده نمود.

۶- مدت زمان حرکت شدید زلزله در شتاب نگاشت ها باید حداقل برابر با سه برابر زمان تناوب اصلی سازه یا ۱۰ ثانیه، هرکدام بیشتر است، شود.

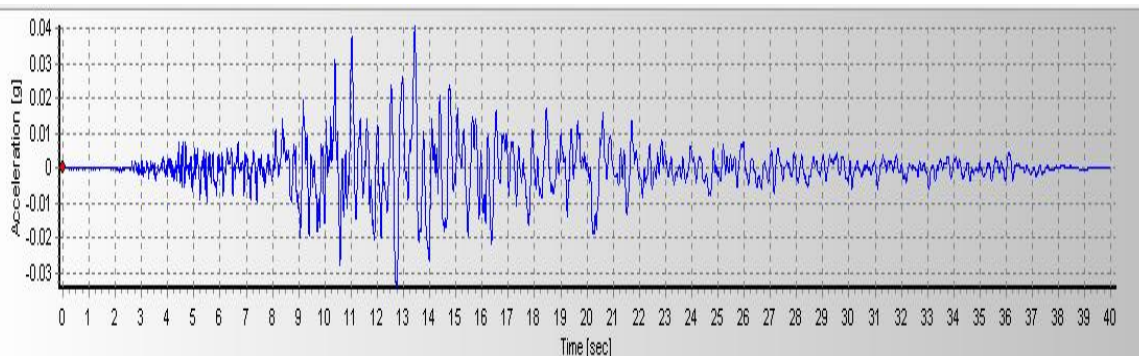
از سه زلزله مطابق جدول (۲-۴) استفاده شده است که تمامی شرایط مورد نیاز در آیین نامه ۲۸۰۰ را ارضا می کند. در شکل (۴-۹) شتاب نگاشت زلزله های حاضر نشان داده شده است.

جدول (۲-۴) زلزله های استفاده شده در پژوهش حاضر

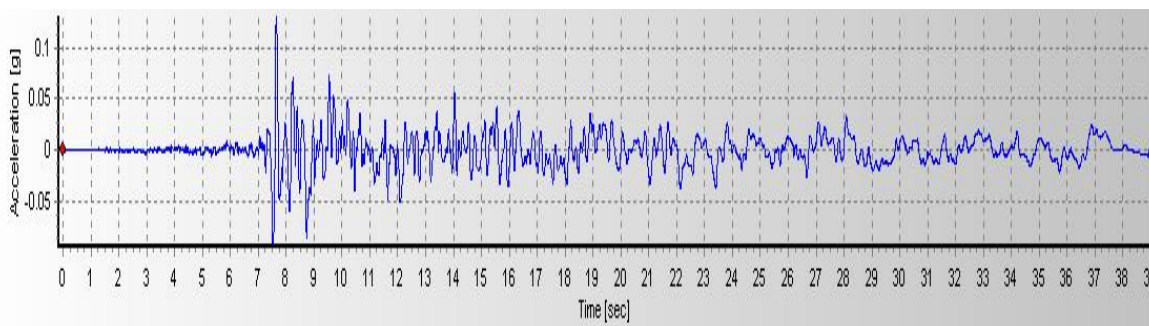
مدت زمان زلزله (ثانیه)	حداکثر شتاب (g) PGA	محل وقوع	بزرگای زلزله (Mw)	تاریخ وقوع	رکوردهای زلزله
۳۸.۹	۰.۳۱۷	El Centro	۶.۹۵	۱۹۷۹/۱۰/۱۶	Valley ^{۲۶۲} Imperial
۳۵	۰.۳۲۴	TABAS	۶.۱۸	۱۹۷۸/۰۹/۱۶	Tabas ^{۱۳۹}
۴۲.۵	۰.۳	ARLETA	۶.۶۹	۱۹۹۴/۰۹/۱۷	Northridge ^{۱۲۳۱}



الف



ب



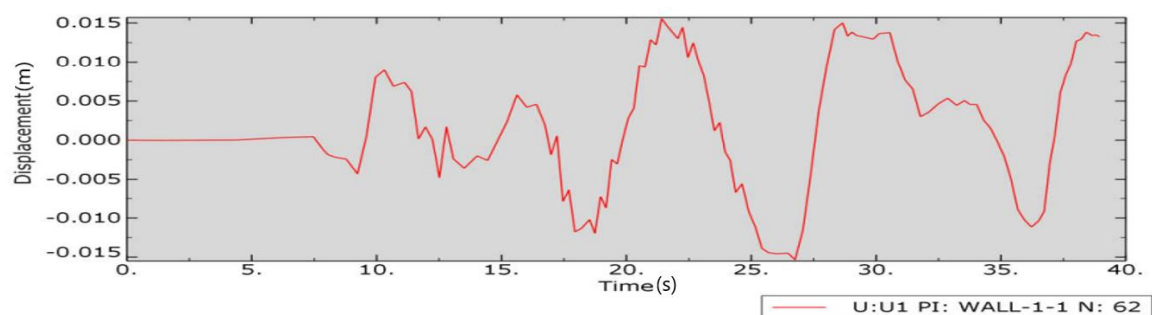
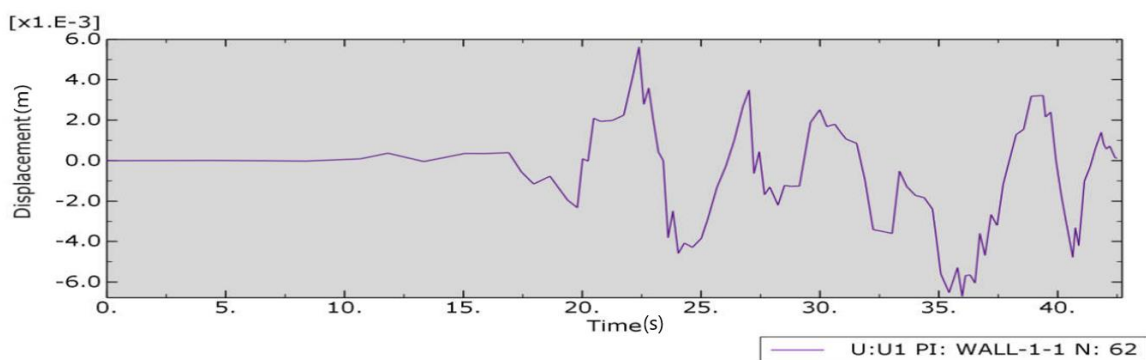
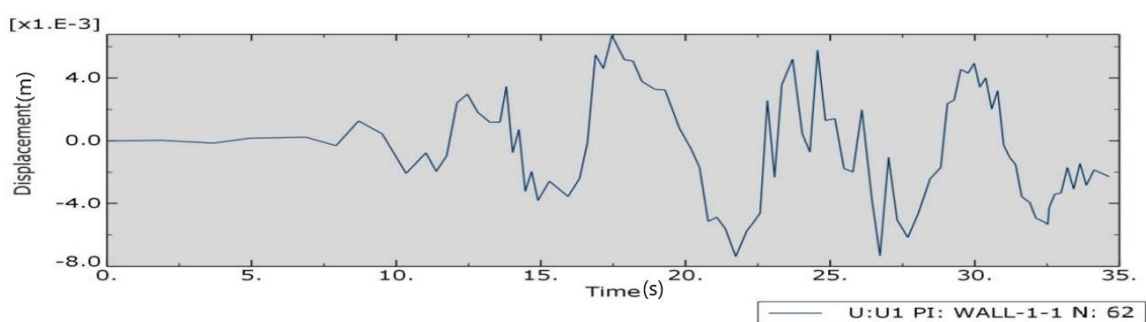
ج

شکل (۹-۴) شتاب نگاشت اصلاح شده برای حوزه دور الف) طبس ب) نورث ریج ج) ایمپریال ولی

همان طور که در شکل (۹-۴) مشخص است، انتهای تمامی زلزله‌ها به شتاب صفر رسیده است و زمان زلزله نیز در تمامی حالت‌ها بیشتر از ۱۰ ثانیه و با حدود ۴۰ ثانیه بوده تا حداقل‌های آیین‌نامه ای را رعایت کرده باشد. در ادامه به تحلیل دینامیک پرداخته شده است.

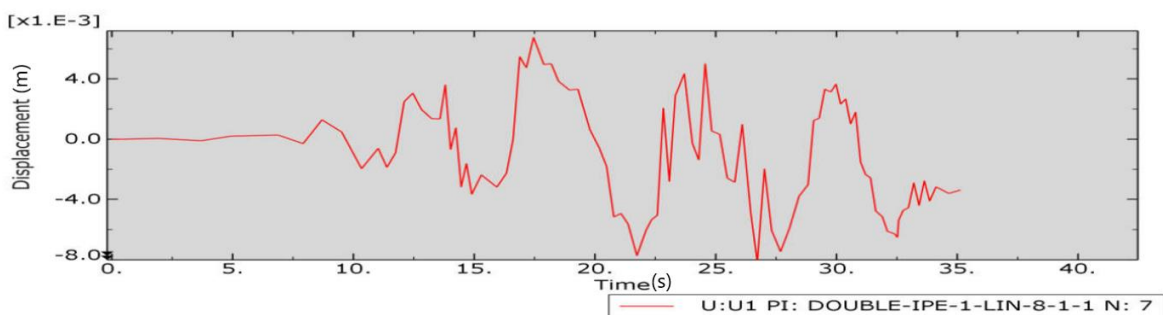
۵-۴ نتایج تحلیل دینامیک

در این بخش به مقایسه روند تغییرات تاریخچه زمانی جابه‌جائی راستای ۱ (عمود بر دیواره) در لبه‌ی دیوار شمالی پرداخته شده است. جابه‌جائی لبه‌ی بالایی شمع میانی در دیواره شمالی نیز بررسی و در انتها تنش در میانه‌ی دیوار تحت سه زلزله طبس، امپریال ولی و نورث‌ریج مقایسه شده است. نمودار (۷-۴) روند تغییرات جابه‌جائی در لبه‌ی دیوار را نشان داده شده است.

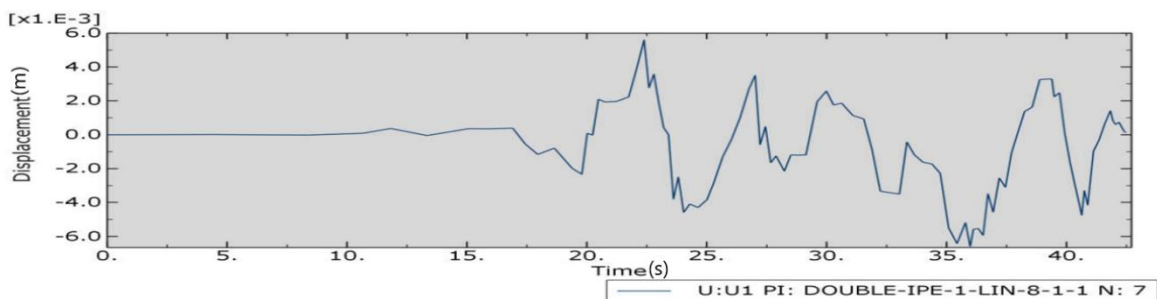


نمودار (۷-۴) تاریخچه زمانی جابه‌جائی لبه‌ی دیواره‌ی شمالی (الف) طبس (ب) نورث‌ریج (ج) امپریال ولی

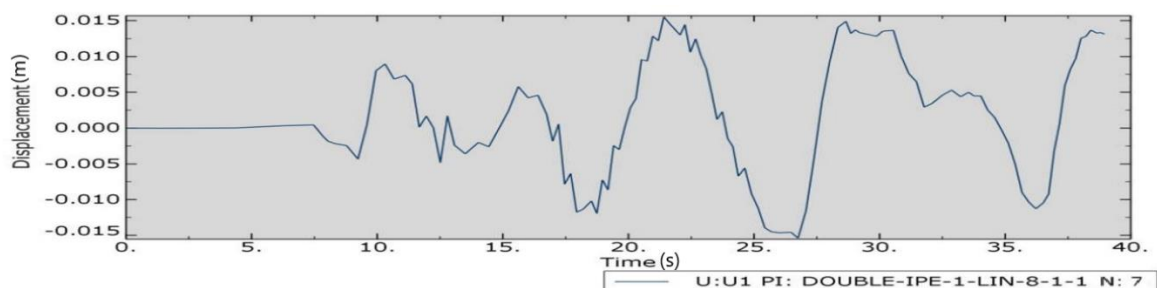
همان گونه که از بررسی نمودار (۸-۴) مشخص است تاریخچه زمانی زلزله‌های مختلف با یکدیگر متفاوت بوده اما به صورت یک روند کلی می‌توان گفت که با افزایش شتاب و رسیدن به مقدار PGA، میزان تنش و جابه‌جائی در نقاط مختلف افزایش و سپس با کاهش شتاب حداکثر، این مقدار کاهش می‌یابد. در سه شتاب نگاشت طبس، امپریال ولی و نورث‌ریج مقدار جابه‌جائی حداکثر به ترتیب به ۸، ۶ و ۱۵ میلی‌متر رسیده است. در ادامه و در نمودار (۹-۴) تاریخچه زمان تغییرات در لبه‌ی بالایی شمع میانی بررسی شده است.



الف



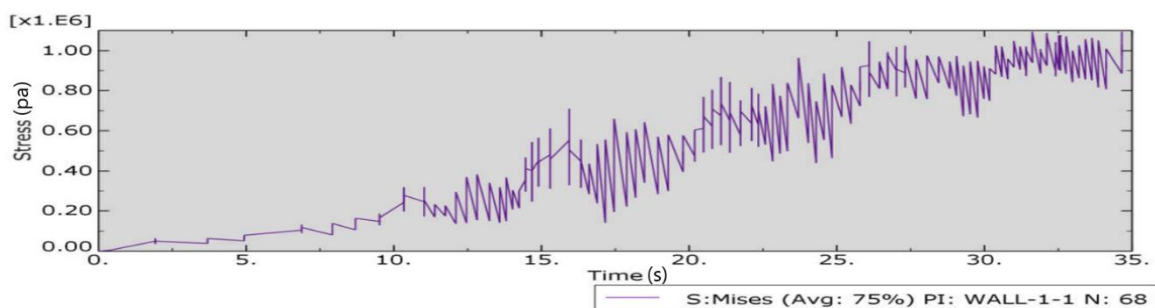
ب



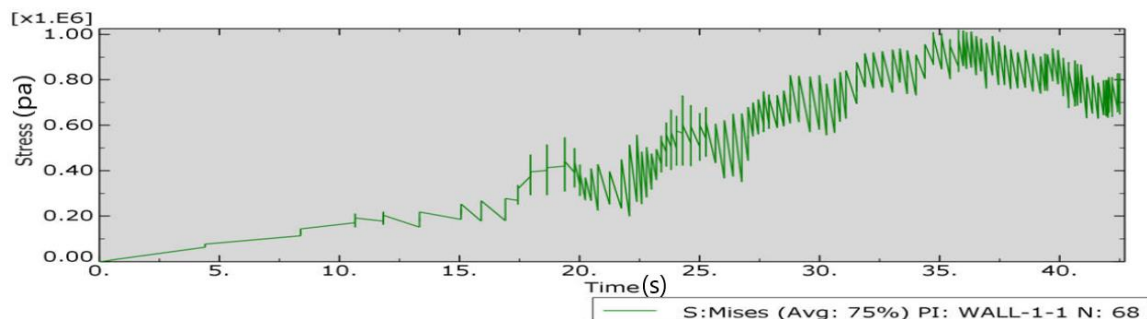
ج

نمودار (۸-۴) تاریخچه زمانی جابه‌جائی لبه‌ی بالایی شمع میانی در دیواره‌ی شمالی (الف) طبس (ب) نورث‌ریج (ج) امپریال ولی

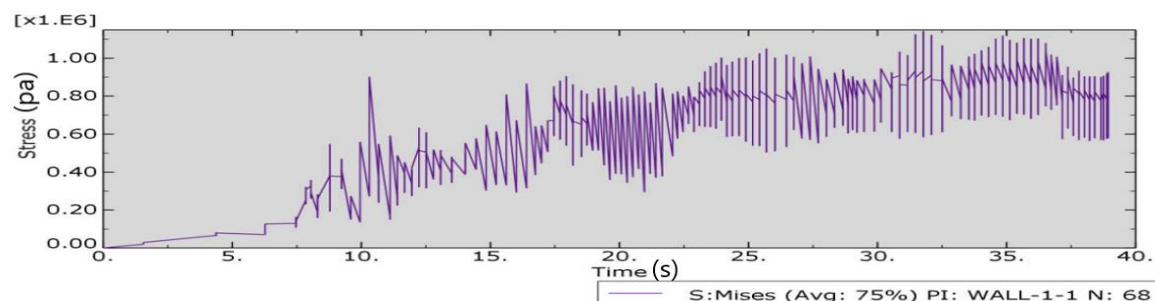
همان‌طور که از بررسی تاریخچه زمان تغییرات در لبه‌ی بالایی شمع میانی در شکل (۴-۸) مشخص است، در شمع‌ها نیز روند کلی مشابه با دیوار است و در سه شتاب نگاشت طبس، امپریال ولی و نورث‌ریچ مقدار جابه‌جائی حداکثر به ترتیب به ۸، ۶ و ۱۵ میلی‌متر رسیده است. دلیل این شباهت در نتایج، اجرای پیوسته دیوار و شمع و رفتار اندرکنشی بین آن‌ها است. در ادامه تنش در میانه دیواره‌ی شمالی مورد بررسی قرار گرفته است. در این بخش معیار ون مایزس برای مقایسه تنش‌ها استفاده شده است.



الف



ب



ج

نمودار (۴-۹) تاریخچه زمانی تنش در میانه‌ی بتن دیواره‌ی شمالی الف) طبس ب) نورث‌ریچ ج) امپریال ولی

همان‌طور که از نمودار (۴-۹) مشخص است، تنش در این نقطه نوسانات زیادی داشته اما در عین حال از یک سیر صعودی متناظر با افزایش شتاب زلزله پیروی می‌کند. در این نمودارها بر خلاف آنچه در جابه‌جائی رخ داده و با تغییر در جهت بارهای وارده از جانب زلزله، مقدار جابه‌جائی مدام تغییر کرده و در دو جهت مثبت و منفی تغییر جهت داده است؛ اما در بحث تنش شرایط به‌قدری متفاوت بوده و تنش‌ها فرصت تخلیه را پیدا نکرده و در نتیجه با گذشت زمان تنش مدام افزایش یافته است؛ ادامه دادن تحلیل برای زمان‌های بعد از اتمام زلزله به تخلیه این تنش‌ها منجر شده و تنها بخشی از آن‌ها در بتن باقی می‌ماند.

۴-۶- جمع‌بندی

در این فصل به بررسی تأثیر افزایش طول انکر و نیز تغییر در زاویه انکر بر میزان تنش و جابه‌جائی حداکثر دیواره‌ی گود پرداخته شد و در ادامه گودبرداری موردنظر تحت نیروهای زلزله قرار گرفت نتایج نشان داد که افزایش طول تأثیر زیادی بر بهینه شدن سازه نداشته و کاهش طول تا ۲ متر نیز می‌تواند به بهینه شدن سازه از نظر اقتصادی منجر شود. همچنین کاهش ۲ درجه‌ای در زاویه انکر منجر به کاهش تنش و جابه‌جائی‌ها شده است. اعمال بارهای دینامیکی غیر خطی همچون زلزله موجب افزایش نیروهای وارد بر گودبرداری شده احتمال تخریب را افزایش می‌دهد. با افزایش PGA و نیز مدت زمان زلزله به ترتیب جابه‌جائی حداکثر و تنش حداکثر بر روی جداره بیشتر مورد تأثیر قرار می‌گیرند. در فصل بعد مهم‌ترین نتایج حاصل از مدل‌سازی‌ها بیان شده است.

فصل پنجم:

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱ مقدمه

در این پژوهش در ابتدا به شبیه‌سازی دوبعدی یک دیواره از گودبرداری پروژه پاژ پرداخته شده و سپس مدل‌سازی سه‌بعدی و صحت سنجی نتایج پایش دیواره در دستور کار قرار گرفته است. در ادامه ضمن بررسی تأثیر طول انکرها و تأثیر زاویه قرارگیری آن‌ها در دل خاک، به تحلیل سازه‌ی سه‌بعدی تحت زلزله‌های طبس، امپریال ولی و نورث‌ریچ پرداخته شده است.

۵-۲ نتایج

آنچه مشخص است، با تغییر در پارامترهای خاک و نیز تغییر در نیروهای وارده، گوه گسیختگی پشت گودها نیز تغییر کرده و بنابراین در هر شرایطی ممکن است طول و زاویه‌ی خاصی از انکرها پاسخ مناسب‌تری را به نیاز طراح بدهد. از سوی دیگر محتوای فرکانسی، فاصله از گسل، مدت زمان اوج زلزله و برخی از مشخصات دیگر نیز در پاسخ دینامیکی سازه در برابر زلزله‌ی موردنظر تأثیر می‌گذارد. با در نظر داشتن موارد فوق، مهم‌ترین نتایج حاصل از این پژوهش عبارت‌اند از:

الف) نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که مدل‌سازی انجام شده با نتایج برداشت شده از محل اجرای پروژه انطباق خوبی دارد.

ب) افزایش طول انکرها تا ۲ متر تأثیر زیادی بر تنش‌های حداکثر وارد در انکرها نداشته و مقدار حداکثر تنش از ۱۸۸ مگاپاسکال تا ۱۶۲ مگاپاسکال کاهش داشته و این مقدار معادل ۱۴٪ از تنش حداکثر است. اما با افزایش طول انکرها تا میزان ۳ متر تنش‌ها تا ۱۲۸ مگاپاسکال کاهش پیدا کرده است که این مقدار معادل ۳۲٪ از کل تنش می‌باشد. دلیل این موضوع را می‌توان در کاهش تمرکز تنش موجود در انکرها، کوتاه‌رديف‌های پایین دانست. به طوری‌که

دو ردیف آخر انکرها که دارای طول کوتاه‌تری نیز هستند، کاهش تنش را تجربه کرده و بر روی نتایج تأثیرگذار بوده‌اند.

پ) کاهش طول انکر تا میزان ۳ متر تأثیر زیادی بر افزایش تنش‌ها نداشته و به ترتیب ۲٪، ۴٪ و ۸٪ تنش حداکثر را افزایش داده‌اند. از آنجا که ظرفیت انکرها به صورت تقریبی ۴۰۰ مگاپاسکال است و با در نظر گرفتن ضریب اطمینان ۲ برای گسیختگی انکرها لذا می‌توان کاهش طول انکرها را جهت اقتصادی‌تر کردن طرح مدنظر داشت.

ت) افزایش طول انکر تأثیری بر روی مقدار تنش بتن جداره‌ی دیوار نداشته است. همچنین کاهش طول انکر تا ۲ متر نیز تأثیر ناچیزی بر روی جداره داشته اما با کاهش ۳ متری در طول انکرها، تنش حداکثر تا ۴۶٪ بیشتر شده است.

ث) افزایش طول انکر تا ۳ متر به کاهش ۱۱٪ در مقدار جابه‌جائی حداکثر در دیواره‌ی شمالی پروژه (دیوار بحرانی‌تر در قیاس با ۵ وجه دیگر) منجر شده است. کاهش طول انکر نیز موجب تغییر الگوی جابه‌جائی شده و علاوه بر لبه‌ی گود بخش‌های میانی نیز به سمت داخل کشیده شده‌اند اما مقدار حداکثر جابه‌جائی افزایش زیادی نداشته است.

ج) افزایش زاویه انکرها نسبت به افق، موجب افزایش جابه‌جائی حداکثر در دیواره‌ی شمالی پروژه شده است که این موضوع از کاهش ۳ درجه به بعد نمود بیشتری پیدا می‌کند؛ همچنین کاهش زاویه نسبت به افق تا ۳ درجه می‌تواند به کاهش جابه‌جائی منجر شود به‌طوری‌که مقدار حداکثر از ۳.۵ به ۳.۳ میلی‌متر برسد اما با کاهش مجدد زاویه، مقدار جابه‌جائی بیشتر شده و به نظر می‌رسد زاویه بهینه ۳ درجه کمتر از مقدار فعلی باشد.

چ) افزایش زاویه منجر به بیشتر شدن تنش وارد بر انکرها شده به طوری که افزایش ۵ درجه‌ای تنش را تا ۶٪ افزایش داده است. در این بخش کاهش زاویه تا ۳ درجه منجر به کاهش تنش وارد به انکر حداکثر تا مقدار ۲٪ داشته و سپس تنش وارد بر جداره افزایش می‌یابد.

ح) تغییر در زاویه انکرها تأثیری بر تنش حداکثر جداره نداشته که دلیل آن را می‌توان در افزایش تنش وارد بر انکر در این حالت یافت؛ در این حالت تنش وارد بر انکرها بیشتر شده و به دلیل زاویه تقریباً افقی، انتقال تنش به جداره کاهش یافته و لذا مقدار حداکثر کمتر شده است.

خ) تاریخچه زمانی زلزله‌های مختلف با یکدیگر متفاوت بوده اما به صورت یک روند کلی با افزایش شتاب، میزان تنش و جابه‌جائی در نقاط مختلف افزایش و کاهش می‌یابد. در عین حال جابه‌جائی حداکثر در حین زلزله برای شتاب‌نگاشت‌های طبس، نورث‌ریچ و امپریال ولی به ترتیب برابر با ۴ میلی‌متر، ۶ میلی‌متر و ۱۵ میلی‌متر بوده است که از مقدار به دست آمده از تحلیل استاتیک بلندمدت (تحلیل ۶ ماهه) بیشتر است. این دیواره بر اثر بارهای وارده در مدت تحلیل ۶ ماه تنها ۳ میلی‌متر جابه‌جائی داشته است که با اضافه شدن مقادیر فوق هرچند ممکن است دچار تخریب‌های جزئی شود اما خرابی کلی در این دیواره به‌عنوان بحرانی‌ترین دیوار مورد انتظار نمی‌باشد. همچنین زلزله امپریال ولی با داشتن بیشینه شتاب زلزله و نیز بزرگای بیشتر در قیاس با دو زلزله‌ی دیگر، جابه‌جائی بیشتری را نیز موجب شده و لذا می‌توان افزایش شتاب بیشینه یا همان PGA را متناسب با میزان جابه‌جائی ماندگار در سازه دانست.

د) میزان جابه‌جائی شمع و دیواره در نقاط متناظر با هم، کاملاً برابر بوده و این به دلیل مدل‌سازی یکپارچه شمع و دیواره بوده و به توجه به اینکه شمع درون دیواره‌ی بتنی مدفون شده است لذا همان تغییراتی که در شمع رخ می‌دهد دیواره نیز پذیرفته و بالعکس سختی شمع به کاهش جابه‌جائی دیواره کمک کرده است.

ذ) هرچه از شروع زلزله می‌گذارد تنش وارد بر جداره بیشتر شده اما این مقادیر به قدری نیست که بتن را دچار تخریب یا گسیختگی موضعی یا کلی کند. در مجموع می‌توان بیان داشت که در اثر زلزله‌هایی متناظر با آیین‌نامه ۲۸۰۰ این گودبرداری پایداری کلی خود را حفظ نموده ولی با افزایش شدت زلزله مثلاً در مورد زلزله امپریال ولی، جابه‌جائی‌ها به حدی زیاد شده که می‌تواند بندهایی از آیین‌نامه مبنی بر حداکثر تغییر شکل مجاز در لبه‌ی گود را تحت تأثیر خود قرار دهد.

۳-۵ تحقیقات آتی

جهت تکمیل بحث حاضر پیشنهاد می‌شود سایر محققین به بررسی موارد زیر اقدام کنند:

الف) مدل‌سازی سه‌بعدی گودهای واقع در محیط اشباع و نیمه اشباع مقایسه گردد

ب) مقایسه مدل‌های دوبعدی و سه‌بعدی در گودبرداری‌های با روش‌های مختلف انجام گردد.

ج) تحلیل دینامیکی گودبرداری حاضر تحت زلزله‌های حوزه نزدیک انجام گردد.

د) مدل‌های رفتاری مختلف در گودبرداری‌های سه‌بعدی مقایسه گردد.

ه) استفاده از ژئوسنتتیک‌ها در کاهش جابه‌جائی‌های ناشی از زلزله در گودبرداری‌های سه‌بعدی بررسی گردد.

و) بررسی اندرکنش خاک وسازه با دیوار انجام گردد.

مراجع

- ۱ Sterling, R. L. and Godard, J.-P. (۲۰۰۰). Geoengineering Considerations In The Optimum Use Of Underground Space. an International Conference on Geotechnical and Geological Engineering. Melbourne, Australia, International Society for Rock Mechanics. ۱: ۷۰۸-۷۲۰
- ۲ Rönkä, K., Ritola, J. and Rauhala, K. (۱۹۹۸). "Underground space in land-use planning." Tunnelling and Underground Space Technology ۱۳(۱): ۳۹-۴۹.
- ۳ Ergun, M. U. (۲۰۰۸). "Deep Excavations." The Electronic Journal of Geotechnical Engineering, Bouquet ۸
- ۴ Ou, C. Y. (۲۰۰۶). Deep Excavation: Theory and Practice. London, Taylor & Francis
- ۵ پزشکی، علی (۱۳۹۲) روش‌های پایدارسازی دیواره‌های محل گودبرداری "نشریه فنی تخصصی سازمان نظام‌مهندسی ساختمان استان اصفهان
- ۶ Nemati, K. M. (۲۰۰۷). "Temporary structures, excavations and excavation supports." University of Washington. Available from: courses.washington.edu/cm۴۲۰/Lesson۵.pdf
- ۷ Macnab, A. (۲۰۰۲). Earth retention systems handbook, McGraw Hill Professional
- ۸ حداد، عبدالحسین، کریمی فرزقی، بهنام. (۱۳۹۰) بهینه سازی جدارهای خاکبرداریشده با استفاده از سیستم انکر. ششمین کنگره ملی مهندسی عمران. سمنان، ایران
- ۹ صادقی فاضل، امیر هوشنگ، حداد، عبدالحسین. (۴۰۲۱۰) مقایسه عددی عملکرد دیواره‌های میخکوبی شده و سیستم ترکیبی ایران، مشهد. میخکوبی و شمع نگهبان در گودبرداریه‌های عمیق. نهمین کنگره ملی مهندسی عمران
- ۱۰ Reul, O., & Gebreselassie, B. (۲۰۰۶). Excavations and foundations in soft soils. Springer Science & Business Media.
- ۱۱ Leung, E. H., & Ng, C. W. (۲۰۰۷). Wall and ground movements associated with deep excavations supported by cast in situ wall in mixed ground conditions. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, ۱۳۳(۲), ۱۲۹-۱۴۳.
- ۱۲ Goldberg, D. T.; Jaworsky, W. E., and Gordon, M. D. (۱۹۷۶). "Lateral Support Systems and Underpinning". Federal Highway Administration, vol ۱-۳.
- ۱۳ Cetinkaya, N. N., Durgunoglu, H. T. (۱۹۹۲). "Comparison of classical methods with the finite element method in the analysis of tie back sheet pile walls in granular soils". Teknik dergi, Vol.۳, No.۲, ۴۸۱-۴۹۰.
- ۱۴ Long, M. (۲۰۰۱). Database for retaining wall and ground movements due to deep excavations. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ۱۲۷(۳), ۲۰۳-۲۲۴

۱۵ Bin-Chen Benson Hsiung, " A case study on the behaviour of a deep excavation in sand", Computer and geotechnics Journal, ۲۰۰۸.

۱۶ مرادی. غ، «تحلیل سه بعدی تأثیرات گودبرداری عمیق در مجاورت تونلهای کم عمق شهری»، پایان نامه کارشناسی ارشد خاک و پی، استاد راهنما: دکتر هوشنگ کاتبی، دانشگاه تبریز، ۱۳۹۳.

۱۷ Ou, C. Y.; Hsieh, P. G. (۲۰۱۱). "A simplified method for predicting ground settlement profiles induced by excavation in soft clay". Computers and geotechnics, ۳۸, ۹۸۷-۹۹۷

۱۸ Clough, G. W., Smith, E. M., & Sweeney, B. P. (۱۹۸۹). Movement control of excavation support systems by iterative design. In Foundation engineering: current principles and practices (pp. ۸۶۹-۸۸۴). ASCE.

۱۹ Omer F. Usluogullari, Ahmet Temujin, Ezra S. Doman. (۲۰۱۵). Comparison of slope stabilization methods by three-dimensional finite element analysis. *Natural Hazards*, 81(2), 1027-1050. doi:۱۰,۱۰۰۷/s۱۱۰۶۹-۰۰۱۵-۲۱۱۸

۲۰ عبدالحی، م.، بلوری بزاز، ج. (۱۳۹۷) مطالعه آزمایشگاهی گودبرداری به روش ترکیبی شمع و انکراژ، نشریه مهندسی عمران فردوسی
۲۱ محمدپور، ج.، مشرفی فر، م.، موسوی، ع. (۱۳۹۶) تحلیل پایداری گود با استفاده از ترکیب، شمع بتنی و انکراژ (مطالعه موردی در تهران)

۲۲ Xiao-yu Bai, Xiao-yu Chen, and Ming-yi Zhang. (۲۰۱۹). "PILE - STEEL SUPPORT - ANCHOR" SYSTEM FOR FOUNDATION IN ROCK-SOIL LAYER. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. DOI ۱۰,۱۰۰۷/s۱۱۲۰۴-۰۰۱۹-۰۹۵۵۹-w

۲۳ Yu Huang, Xi Xu, Weiwei Mao. (۲۰۲۰). Numerical performance assessment of slope reinforcement using a pile-anchor structure under seismic loading. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*.

۲۴ Yu Huang, Xi Xu, Weiwei Mao. (۲۰۲۰). Centrifuge modeling of seismic response and failure mode of a slope reinforced by a pile-anchor structure. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*.

۲۵ آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) ویرایش چهارم

۲۶ *Quantification of Building Seismic Performance Factors (Fema P ۶۹۵)*. ۲۰۰۹

۲۷ *Manual*, A. U. (۲۰۱۶). *Abaqus User Manual*. Abaqus

Abstract

The need for deep excavations in urban areas to construct buildings is essential and inevitable. Removal of loose surface soil and access to dense soil in lower levels, especially in deep excavations, significantly impact the soil stress distribution; Therefore, with the construction of earth retaining structures, non-safe movements of soil can be prevented. In urban environments, due to the low availability and small dimensions of lands, the use of a pile-anchor-wall method is a reasonable and suitable method, which generally had been modeled in two-dimensional in most cases. Meanwhile, with the development of computers, three-dimensional modeling of these structures is available. This study investigates the 3D modeling of the “Pazh” project with an approximate depth of 10 meters located in Mashhad city. The results show that reducing the length of anchors up to 5 meters can lead to the optimization of the structure economically. Also, a 5-degree reduction in anchor angle reduces stress and displacement. It has been observed that applying nonlinear dynamic loads such as earthquakes will increase the stresses on the excavation wall and anchors, increasing the probability of excavation damages. With increasing PGA and duration of an earthquake, maximum displacement and maximum pressure are raised on the wall and piles.

Keywords: Abaqus, Excavation, Anchorage, Candle, Numerical Analysis



Shahrood University of
Technology

Faculty of civil engineering

M.Sc. Thesis in geotechnical engineering

۳D Numerical modeling of stabilization of an excavation using steel piles and anchors

By

Mohamadsadegh esmaeilpour

Supervisor:

Dr. reza naderi

January ۲۰۲۲