مطالعه آزمایشگاهی رفتار میل مهارها در دیوارهای حایل انعطاف پذیر

مجید خانجانی[1]؛ حمید رضا صبا* [2]؛ سید حمید لاجوردی [3]؛ سید محمد میرحسینی [4]؛ احسان اله ضیغمی[5]

چکیده

در اجرای اکثر سازه‌های عمرانی بخصوص زیرزمینی، خاکبرداری‌هایی با عمق زیاد مورد نیاز است. بنابراین برای اجرای چنین سازه‌هایی نیاز به گودبرداری‌هایی با شیب قائم می‌باشد. استفاده از دیوارهای حایل انعطاف پذیر به عنوان یکی از راههای پایدار سازی گودهای قائم می‌باشد. در این مقاله تاثیر میزان انعطاف پذیری و عمق گیرداری دیوار و تعداد میل مهار در دیوار حایل بر میزان جابجایی افقی دیوار بررسی شده است. در این راستا ۱۲ آزمایش در حالت استاتیکی برای دیوار هایی با سه نسبت بدون بعد ضخامت به ارتفاع دیوار ، عمق مختلف گیرداری دیوار (۰,۰۵ H و ۰,۱۵ H) و تعداد مختلف میل مهاری جانبی افقی (۱ و ۲ عدد) انجام شده است. جنس میل مهار ها از ورق فولادی با پوشش گالوانیزه با طول و پهنای به ترتیب ۰,۵۶ و ۰.۰۰۷ متر می‌باشد که توسط ورقی به ابعاد ۰,۱۵ × ۰,۱۵ متر به دیوار حایل متصل شده است. خاک مورد استفاده رس و میزان سربار کناری وارد بر دیوار ۱۰ kN/m است. نتایج این مطالعه نشان از آن دارد که تغییرات پارامترهایی نظیر تعداد میل مهار ، میزان عمق گیرداری و نسبت ضخامت به ارتفاع دیوار (میزان انعطاف پذیری) تاثیر بسزایی در مقدار جابجایی افقی دیوار گذاشته است. از بین این پارامترها نسبت ضخامت به ارتفاع دیوار به عنوان مهمترین پارامتر شناخته شد.

کلمات کلیدی

دیوار حایل انعطاف پذیر، میل مهار، عمق گیرداری، ضخامت دیوار، مطالعات آزمایشگاهی

Experimental study of the behavior of pleasing inhibitors in flexible retaining walls

Majid Khanjani[1], Hamid Reza Saba[2], Seyed Hamid Lajevardi[3], Seyed Mohammad Mirhosseini [4], Ehsanollah Zeighami[5]

ABSTRACT

In most constructional structures, especially underground structures, excavations at high depths are required. In areas of city and special places due to work space constraints, it is not possible to carry out an authorized slope. Therefore, for the execution of such structures, there is a need for vertical excavations. For this purpose, flexible walls are used which are the criterion of the present research. In the present research, after testing the laboratory, it is necessary to perform validation tests in order to ensure that the tests are carried out and after the adaptation of the results to the experiments are carried out. In this study, 12 experiments are based on static studies in situations where the walls have different thicknesses of 1, 1.5 and 3 mm, as well as different grips of 40 and 120 mm, and the number of rows of different lateral restraints. The results of this research show that with increasing wall thickness from 1 mm to 3 mm, which has a three-fold increase in thickness, in the discussion of the lateral displacement of the wall, something about 2.4% decrease in the lateral displacement of the thickness 1 mm to 3 mm. By comparing the walls with different grips, the best performance is related to the wall, which has more grip and number of bars, and more wall thickness. The greater the wall thickness, the rigidity and hardness of the wall, and the lateral wall change is reduced

KEYWORDS

Flexible retaining wall, restraint, grip depth, wall thickness, laboratory studies.

[1] دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران، m.khanjani93@iau-arak.ac.ir.

[2] استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تفرش، تفرش، ایران، hr.saba@tafreshu.ac.ir.

[3] استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران، Sh-lajevardi@iau-arak.ac.ir.

[4] استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران، m-mirhoseini@iau-arak.ac.ir.

[5] استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران، e-zeighami@iau-arak.ac.ir.

۱- مقدمه

امروزه در اجرای اکثر سازه‌های عمرانی به لحاظ اهمیت زیاد پروژه گودبرداری‌هایی با عمق زیاد مورد نیاز است. از جمله روش‌های پایداری گودها استفاده از دیوارهای حایل است که دارای انواع صلب و انعطاف پذیر هستند. در مناطقی که امکان اجرای گود برداری با شیب مجاز میسر نمی‌باشد، نیاز به خاکبرداری با شیب قائم است. برای این منظور جهت مهار اینگونه خاکبرداری‌ها به عنوان یکی از راهکارها، استفاده از دیوارهای حایل انعطاف پذیر مهار شده (دیافراگم بتنی) که نوعی از دیوارهای حایل انعطاف پذیر محسوب می‌شوند توصیه می شود. اجرای دیوارهای حایل صلب به خاطر ملاحظات فنی و اقتصادی در گودبرداری‌های عمیق کار مناسبی نمی‌باشد[۲۳و۱]. دیوارهای حایل انعطاف پذیر مهار شده، سازه‌های نگهبانی جهت نگهداری از دیوارهای خاکبرداری شده موقت و یا دائمی می‌باشند. اگر چه تکنیک های ساخت چنین سازه هایی به سرعت توسعه یافته است، اما رفتار پیچیده سازه، مهاربند و اندرکنش خاک با این اعضاء، به طور کامل قابل درک نمی‌باشد. در سال های گذشته ، دیوار حایل دیافراگم بتنی یک راه حل سازنده برای سازه های زیر زمینی در شهرهای مناطق شلوغ بوده است[۷-۲و۱۶]. مطالعه پارامتریک در فرآیندهای ساخت و ساز دیوارهای حایل انعطاف پذیر نشان می‌دهد که دیوار دیافراگم بتنی مهار شده، نوع جدیدی از دیوارهای انعطاف پذیر است که به منظور بهبود آب بندی و مشکلات ناشی از نشت که در پروژه هایی از جمله سد سازی، راهسازی و شهرسازی مورد استفاده قرار می‌گیرد[۲۲]. پایدار نگهداشتن خاک اطراف گود توسط دیوار دیافراگم بتنی و مطالعه بر روی رفتار آن از دیرباز مورد مطالعه قرار گرفته است. در روش پایداری خاک برای بهبود عملکرد اینگونه از دیوارها از مهاربندهای جانبی استفاده شده است. علاوه بر تاثیر استفاده از میل مهار ها برای پایداری دیوار، ارتفاع دیوار یکی از عوامل موثر بر حرکت جانبی دیوار می‌باشد که کم و زیاد شدن فشارهای جانبی خاک در هنگام اجرا دیوار، می‌تواند بر تغییر مکان جانبی دیوار تاثیرگذار باشد.[۱۷و۸]. مطالعه بر روی رفتار داخلی دیوار حایل بتنی مهار شده و تجزیه و تحلیل این رفتار تحت اثر سربار وارد بر خاک مجاور دیوار در اعماق مختلف زمین، همواره جزء مطالعات اینگونه از دیوارها می‌باشد. بررسی اثر سختی بر روی رفتار دیوارهای حایل انعطاف پذیر بخصوص دیافراگم های بتنی مهار شده از پارامترهای تاثیر گذار در جابجایی آنها است. در بحث انعطاف پذیری و صلبیت دیوار، انعطاف پذیری دیوار نقش مهمی در کاهش فشار جانبی بر دیوار حایل دارد. هر قدر انعطاف پذیری دیوار بیشتر شود تغییر مکان جانبی دیوار بیشتر شده و رانش خاک وارد بر دیوار نیز بیشتر می‌شود. حداکثر رانش فعال خاک بین ۰,۴ تا ۰,۶ (که H ارتفاع دیوار می باشد) بسته به نوع انعطاف پذیری دیوار متفاوت است [۹و ۱۰و۱۴]. اثرات خاک رس در تحلیل رفتار دیوار حایل دیافراگم بتنی در گذشته مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. با این حال، شناخت کافی از رفتار این نوع خاک و خواص مهندسی خاک رس نظیر تراکم و اثرات آن بر سازه های مجاور گود از اهمیت بالایی برخوردار است. به همین منظور هر چه خاک رس سست تر باشد فشار وارد بر دیوار افزایش یافته و باعث ریزش دیوار می‌شود [۲۱ و ۱۱]. مطالعه آزمایشگاهی استاتیکی در جابجایی افقی دیوارهای حایل انعطاف پذیر از پارامترهایی است که توسط محققین زیادی مورد مطالعه قرار گرفته است. که از جمله این تحقیقات این است که جابجایی افقی دیوار به طور مستقیم با زاویه خاکریز سطح پشت دیوار، انعطاف پذیری دیوار و جنس خاک پشت دیوار وابسته است. فشار فعال خاک بر دیوار حایل، منجر به جابجایی افقی بیشتر دیوار می‌شود. برای این منظور با مدل کردن دیوار حایل در مقیاس کوچک آزمایشگاهی در جعبه ورقه های نازک و استفاده از گیج های اندازه گیری و کرنش سنج ها که با اعمال بار بر خاک متمرکز می‌باشد، پی به بررسی تغییر شکل دیوار حایل برده شده است[۱۲ و ۱۹ و ۲۰]. بررسی فرآیند تغییر شکل دیوار های حایل انعطاف پذیر و پی بردن به میزان تغییر شکل سازه تحت بارهای وارده از اولویت هایی است که محققین پیشین به آن پرداخته‌اند. این محققین در تحقیقات خود با بهره گیری از سنسورهایی که در راستای حرکت یک دیوار حایل انعطاف پذیر در فواصل مشخصه در نظر گرفته می‌شود به میزان تغییر شکل و جابجایی سازه پی برده‌اند. با مطالعه هر کدام از سنسورهای متصل به دیوار، این حالت مطرح شده است که در نقاط نزدیک به سطح در بالای دیوار، بیشترین جابجایی ها بر روی دیوار اتفاق افتاده است فشار فعال خاک در بالای دیوار سبب بیشتر شدن منحنی سطوح شکست شده است. با افزایش اصطکاک بین خاک و دیوار منحنی سطح شکست خاک کاهش یافته است. هر چه نقاط نزدیک به سطح در بالای دیوار را بتوان بیشتر مهار نمود به نسبت، کاهش بیشتری در منحنی سطح شکست برای دیوار مشاهده شده است[۱۳و۱۵و۱۸] .

با توجه به تاثیر میزان انعطاف پذیری دیوار بر تغییر مکان جانبی دیوار مطالعه در این خصوص ضروری به نظر می‌رسد. لذا در این مقاله ۱۲ مدل دیوار کوچک مقیاس در شرایط مختلف عمق گیرداری و تسلیح مورد مطالعه قرار گرفته است. در این بررسی ها علاوه بر اثر میزان انعطاف پذیری دیوار بر تغییر مکان جانبی آن، تاثیر میزان عمق گیرداری و استفاده از تعداد میل مهار جانبی مختلف بر عملکرد دیوار

ارزیابی شده و نتایج حاصله مورد بحث و مقایسه قرار گرفته‌اند.

۲-مصالح، ابزار و چگونگی انجام آزمایش

۲-۱ خاک مورد استفاده

خاک مورد استفاده در این مقاله یک نوع خاک رسی می‌باشد که بر اساس سیستم طبقه بندی یونیفاید CL نامیده می‌شود. شکل ۱ منحنی دانه بندی این خاک را نشان می‌دهد. این خاک دارای وزن مخصوص در حالت سست برابر kg/m^3 ۱۱۷۸/۵۷ و در حالت متراکم برابر kg/m^3 ۱۳۷۵ بوده و چگالی ویژه آن برابر ۲/۸ می‌باشد.

شکل ۱: منحنی دانه بندی خاک مورد استفاده

۲-۲ میل مهار

در این مطالعه به منظور مهار دیوار حائل از ۱ و ۲ عدد میل مهار استفاده شده است. انتخاب عرض و طول میل مهار طبق مقاله استیفو در سال ۱۹۸۸ انجام شده است[۲۴]. جنس میل مهارها از ورق فولادی با پوشش گالوانیزه مقاوم در برابر خوردگی و دارای حداکثر مقاومت کششی ۱۲۰ مگا پاسکال می باشد. این میل مهار دارای ابعادی به طول ۰/۵۶ متر و پهنا ۰/۰۰۷ متر و ضخامت ۰/۰۰۱ میلیمتر می‌باشد. این میل مهار توسط ورقی به ابعاد ۰/۱۵×۰/۱۵ متر به بدنه دیوار حایل با جوش متصل شده است.

۲-۳ دستگاه آزمایش

در مدل سازی دیوار حائل بتنی دیافراگمی با توجه به ضخامت بسیار کم در مقایسه با ارتفاع و طول دیوار، امکان استفاده از مصالح بتنی تقریبا منتفی می‌باشد. در این راستا با توجه به اینکه رفتار ورق فولادی و دیافراگم های مهار شده بتنی بلحاظ انعطاف پذیری، تا حدود زیادی مشابه یکدیگر می‌باشد، از ورق فولادی جهت مدلسازی آزمایشگاهی استفاده شده است[۲۵]. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود دستگاه آزمایش دارای ابعادی به طول ۱ متر و عرض ۰/۷ متر و ارتفاع ۰/۸ متر می‌باشد که از ورق فولادی گالوانیزه ساخته شده است. سه دیوار قائم دستگاه آزمایش با ضخامت ۰/۷ میلیمتر ثابت بوده و بوسیله جوش سراسری به هم متصل شده اند. تنها یکی از دیوارها که دارای ضخامت‌های مختلفی برابر با ۱ ، ۱/۵ و ۳ میلیمتر بوده قابل جابجایی می‌باشد. همچنین شرایطی فراهم شده تا بتوان اثر گیرداری دیوار حائل را درمحدوده توصیه شده ۰٫۰۵ تا ۰٫۱۵ که با توجه به ارتفاع دیوار (۰/۸ متر) برابر با ۰/۰۴ و ۰/۱۲ متر است بررسی کرد. ابعاد دیوار مخصوصا ارتفاع آن یک عامل مهم کنترل کننده در مقایسه با یک نمونه واقعی است. هر چه ارتفاع جعبه بیشتر باشد نتایج به واقعیت نزدیکتر است. انتخاب ابعاد دستگاه آزمایش، بر مبنای تحقیقات پیشین می‌باشد [۲۴ و ۲۵ و ۲۶].

شکل۲: دستگاه آزمایش

۲-۳-۱ سیستم اعمال نیرو

برای اعمال نیرو قائم از یک جک دستی با ظرفیت ۴۹ کیلو نیوتن استفاده شده است (شکل ۲). این جک، نیرو را به صفحه ای به ابعاد ۰/۶۹×۰/۱۵ متر و ضخامت ۰/۰۱ متر وارد می‌کند. نیرو در فاصله ۰/۱۲۵ متر از دیوار و در محدوده گوه گسیختگی رانکین قرار دارد[۲۶].

۲-۳-۲ سیستم اندازه گیری

در این آزمایشات از یک نیرو سنج با ظرفیت ۳۰ کیلو نیوتن و دقت ۰/۰۱ میلیمتر استفاده شده است. همچنین از ۴ جابجایی سنج با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر و جابجایی ۰/۰۱ متر که در ارتفاع های ۰/۱۵، ۰/۳۵، ۰/۵۵، ۰/۷۵ متر به ترتیب از پایین دیوار قرار گرفته‌اند استفاده شده است (شکل ۲).

۲-۴ برنامه انجام آزمایشات

به منظور انجام این تحقیق ۱۲ عدد آزمایش مطابق جدول ۱ انجام شده است. در این آزمایشات مقدار سربار (۱۰ کیلو نیوتن بر متر) و وزن مخصوص خاک رس (kg/m^3 ۱۳۷۵) ثابت در نظر گرفته شده‌اند. متغیرهای آزمایشات عبارتند از:

- ضخامت دیوار(۱ و ۱/۵ و ۳ میلی‌متر)
- عمق گیرداری (۴۰ و ۱۲۰ میلی‌متر)
- تعداد میل مهار (۱ و ۲)

جدول ۱: برنامه انجام آزمایشات

۲-۵ صحت سنجی

استیفو در سال ۱۹۸۸ به انجام مطالعه آزمایشگاهی بررسی تغییر مکان دیوار حایل گیردار تحت فشار جانبی خاک پرداخته است. دستگاه ساخته شده دارای ابعاد ۱/۵×۱/۵×۱/۵ متر است دیوار دستگاه بوسیله میل مهار هایی به فواصل ۰/۱۲ متر از یکدیگر به دیوار مهار شده اند. پهنا و ضخامت هر کدام از میل مهارها به ترتیب ۷ و ۰/۹۵ میلی‌متر می‌باشد. این مهارها توسط صفحاتی با ابعاد ۱۵×۱۵ سانتی متر بر روی دیوار دستگاه نصب شده‌اند. از مطالعه ایشان سه نوع بارگذاری ۰ و ۵ و ۱۰ کیلو نیوتن بر متر به منظور صحت سنجی انتخاب شده است [۲۴]. در مطالعه حاضر سه آزمایش با شرایط مشابه با کار آقای استیفو انجام شد و نتایج مقایسه گردید. شکل ۳ این مقایسه را بین ۵ تا ۱۰ درصد نشان می‌دهد (شکل ۳).

شکل ۳: صحت سنجی

۳- نتایج و بحث

در این بخش نتایج مربوط به آزمایشات و تاثیر عوامل مختلف بر جابجایی دیوار مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند.

۳-۱ اثر یک عدد میل مهار بر جابجایی دیوار

شکل ۴ تغییرات جابجایی افقی دیوار در تراز های مختلف برای حالتهای با سه ضخامت متفاوت ، یک میل مهار و عمق گیرداری ۴۰ و ۱۲۰ میلی‌متر را نشان می‌دهد. شکل ۴ الف بیان می‌کند که تغییرات جابجایی برای هر سه دیوار در بالای دیوار بیشتر است که سهم دیوار با ضخامت ۳ میلی‌متر نسبت به دو تای دیگر کمتر است. شکل ۴ ب برای عمق گیرداری ۱۲۰ میلی‌متر می‌باشد. روند جابجایی افقی دیوار مشاهده شده در شکل ۴ ب همانند دیوار با عمق گیرداری ۴۰ میلی-متر بوده منتهای با مقادیر کمتر. به عنوان مثال تغییرات جابجایی افقی در تراز □۰,۹۴ که محل قرار گیری بالاترین گیج است، برای دیوار به ضخامت ۳ میلی‌متر با تغییر عمق گیرداری از □۰,۰۵ به □۰,۱۵ (افزایش سه برابری)، از ۲/۰۷ به ۱/۵۴ میلی‌متر (کاهش ۵۳ درصدی) مشاهده می‌شود. این تغییرات برای تراز □۰,۱۹ که محل قرار گیری پایین ترین گیج است، بین ۴/۷۷ و ۴/۲۰ (کاهش ۵۷ درصدی) مشاهده می‌شود.

الف عمق گیرداری ۴۰ میلی‌متر

ب عمق گیرداری ۱۲۰ میلی‌متر

شکل ۴: جابجایی افقی دیوار با یک میل مهار جانبی

شکل ۵: جابجایی افقی دیوار حایل در ترازهای مختلف برای یک میل مهار جانبی

شکل ۵ میزان اختلاف جابجایی افقی بدست آمده بین حالات مختلف دیوار را نشان می‌دهد. بیشترین کاهش جابجایی افقی، مربوط به دیوار با ضخامت ۳ میلی‌متر است. در پایین دیوار و در ارتفاع □۰,۱۹ ، بین دیوار با ضخامت ۱/۵ و ۳ میلی‌متر اختلافی در حدود ۴۷ درصد و دیوار با ضخامت ۱ و ۱/۵ میلی‌متر ۱۲ درصد قابل مشاهده است. این تغییرات در ارتفاع □۰,۹۴ دیوار و در بالای دیوار به ترتیب برابر ۲۱ و ۱ درصد می‌باشد. افزایش ضخامت دیوار سبب کاهش جابجایی افقی آن می‌شود. علت این امر را می توان به کاهش انعطاف پذیری دیوار و به تبع آن افزایش صلبیت و سختی دیوار نسبت داد.

۳-۲ اثر دو عدد میل مهار بر جابجایی دیوار

شکل ۶ جابجایی افقی دیوار با دو میل مهار جانبی را در ترازهای مختلف دیوار نشان‌می دهد. ملاحظه می شود با افزایش ارتفاع دیوار، جابجایی افقی دیوار بیشتر شده است. با مطالعه شکل ۶ الف می‌توان پی برد که برای دیوار با گیرداری □۰,۰۵ (۴۰ میلیمتر)، در بالای دیوار و در ارتفاع □۰,۹۴ میلی‌متر این جابجایی برای دیوار با ضخامت ۱ میلی‌متر برابر ۴/۰۵ میلی‌متر بوده و برای دیوار با ضخامت ۳ میلی‌متر برابر ۱/۶۳ میلی‌متر می‌باشد. بنابراین افزایش ۲/۴۸ برابری در جابجایی افقی دیوار را می توان ملاحظه کرد. برای دیوار در ارتفاع □۰,۱۹ در پایین دیوار، این جابجایی برای دیوار با ضخامت ۱ میلی‌متر برابر ۱/۷۰ میلی‌متر بوده و برای دیوار با ضخامت ۳ میلی‌متر برابر ۰/۶۹ میلی‌متر می‌باشد. بنابراین افزایش ۲/۴۶ برابری در جابجایی افقی دیوار حاصل شده است. با مطالعه در شکل ۶ ب برای دیوار با گیرداری □۰,۱۵ نتایجی مشابه شکل ۶ الف را می‌توان ملاحظه کرد. با این تفاوت که در بررسی بیشترین و کمترین جابجایی برای دیوار در ارتفاعات □۰,۹۴ و □۰,۱۹ به ترتیب افزایش ۴/۲۹ برابری از ۰/۸۹ به ۳/۸۲ میلی‌متر و افزایش ۲/۹۲ برابری از ۰/۳۸ به ۱/۱۱ میلی‌متر بدست آمده است.

الف عمق گیرداری ۴۰ میلی‌متر

ب عمق گیرداری ۱۲۰ میلی‌متر

شکل ۶: جابجایی افقی دیوار با دو میل مهار جانبی

شکل ۷ مقایسه جابجایی افقی دیوار بر حسب درصد را برای ترازهای مختلف در دو حالت گیرداری را نشان می‌دهد. بیشترین اختلاف در جابجایی افقی دیوار با ضخامت بیشتر و در محدوده‌ی ۵۳ تا ۸۳ درصد و کمترین اختلاف برای دیوار با ضخامت کمتر و در محدوده‌ی ۳ تا ۵۳ درصد است. در تمامی حالات بیشترین اختلاف در تغییر جابجایی مربوط به دیوار با گیرداری کمتر و کمترین اختلاف در دیوار با گیرداری بیشتر است. با افزایش ضخامت دیوار اختلاف در میزان جابجایی افقی دیوار نیز زیاد می‌شود. در پایین دیوار به خاطر نبود میل مهار جانبی اختلاف تغییر مکان بیشتری مشاهده می‌شود که با نزدیک شدن به تراز میل مهارها این میزان اختلاف کاهش یافته و در ضخامت های ۳ و ۱/۵ میلی‌متر بیشتر مشاهده می‌شود ولی در دیوار با ضخامت ۱ میلی‌متر بسیار ناچیز است.

شکل ۷: جابجایی افقی دیوار حایل در ترازهای مختلف برای دو میل مهار جانبی

۳-۳ مقایسه دیوار انعطاف پذیر یک مهاری با دو مهاری دیوار

۳-۳-۱ عمق گیرداری ۴۰ میلی‌متر (□۰,۰۵)

شکل ۸ میزان جابجایی افقی دیوار را برای دو حالت یک و دو میل مهار با گیرداری ۴۰ میلی‌متر (□۰,۰۵) نشان می‌دهد. ملاحظه می شود که کمترین جابجایی برای دیوار با تعداد مهار و ضخامت بیشتر و بیشترین جابجایی برای دیوار با تعداد مهار و ضخامت کمتر است. در هر دو حالت یک و دو مهار تغییر شکل جابجایی افقی دیوار با توجه به افزایش ارتفاع دیوار در ضخامت های یکسان به یک شکل است با این تفاوت که میزان جابجایی افقی برای دیوار با یک و دو مهار فرق می‌کند. در دیوار با یک و دو میل مهار ، بین جابجایی افقی دیوار در ضخامت های کمتر (۱ و ۱/۵ میلی‌متر) اختلاف چندانی در جابجایی افقی دیوار قابل توجه نمی‌باشد. درصورتیکه در دیوار با ضخامت بیشتر این میزان اختلاف در جابجایی افقی دیوار قابل توجه است.

شکل ۸: جابجایی افقی دیوار حایل تحت گیرداری ۴۰ میلی‌متر

۳-۳-۲ عمق گیرداری ۱۲۰ میلی‌متر (□۰,۱۵)

شکل ۹ میزان جابجایی افقی دیوار را برای دو حالت یک و دو میل مهار با گیرداری ۱۲۰ میلی‌متر (□۰,۱۵) نشان می‌دهد.

در دیوار با یک میل مهار میزان اختلاف جابجایی افقی بین ضخامت های کمتر(۱ و ۱/۵ میلی‌متر) زیاد قابل توجه نمی‌باشد. ولی در دیوار با ضخامت بیشتر (۳ میلی‌متر) این میزان اختلاف قابل توجه است. در دیوار با دو میل مهار جانبی میزان جابجایی افقی دیوار بین دیوار با ضخامت‌های مختلف اختلاف وجود دارد. با بررسی ضخامت برای دیوار با یک و دو میل مهار جانبی میزان جابجایی افقی دیوار برای دیوار با ضخامت ۱ میلی‌متر از اختلاف کمتری نسبت به دیوار با ضخامت های ۱/۵ و ۳ میلی‌متر برخوردار است.

شکل ۹: جابجایی افقی دیوار حایل تحت گیرداری ۱۲۰ میلی‌متر

به طور کلی در بررسی تاثیر تعداد میل مهار بر جابجایی دیوار، برای دیوار با یک میل مهار و گیرداری □۰,۰۵، با افزایش ۱/۵ برابری ضخامت (۱ به/ ۱/۵)، ماکزیمم اختلاف در جابجایی افقی دیوار در کل ارتفاع دیوار از ۲/۳۱ به ۲/۲۵ میلی‌متر و با افزایش ۲ برابری ضخامت دیوار (۱/۵ به ۳) از ۲/۲۵ به ۱/۰۵ میلی‌متر و افزایش ۳ برابری ضخامت دیوار (۱ به ۳) از ۲/۳۱ به ۱/۰۵ میلی‌متر رسیده است. در دیوار با شرایط مشابه ولی گیرداری □۰,۱۵، با افزایش ۱/۵ برابری ضخامت، ماکزیمم اختلاف در جابجایی افقی دیوار در کل ارتفاع دیوار از ۲/۲۰ به ۲/۱۴ میلی‌متر و با افزایش ۲ برابری ضخامت دیوار از ۲/۱۴ به ۰/۹۷ میلی‌متر و افزایش ۳ برابری ضخامت دیوار از ۲/۲۰ به ۰/۹۷ میلی‌متر رسیده است. برای دیوار با دو میل مهار و گیرداری □۰,۰۵، با افزایش ۱/۵ برابری ضخامت، ماکزیمم اختلاف در جابجایی افقی دیوار در کل ارتفاع دیوار از ۲/۳۵ به۲/۳۰ میلی‌متر و با افزایش ۲ برابری ضخامت دیوار از ۲/۳۰ به ۰/۹۴ میلی‌متر و با افزایش ۳ برابری ضخامت دیوار از ۲/۳۵ به ۰/۹۴ میلی‌متر رسیده است. در دیوار با شرایط مشابه ولی گیرداری □۰,۱۵، با افزایش ۱/۵ برابری ضخامت، ماکزیمم اختلاف

در جابجایی افقی دیوار در کل ارتفاع دیوار از ۲/۷۱ به ۲/۱۵ میلی‌متر و با افزایش ۲ برابری ضخامت دیوار از ۲/۱۵ به ۰/۵۱ میلی‌متر و با افزایش ۳ برابری ضخامت دیوار از ۲/۷۱ به ۰/۵۱ میلی‌متر رسیده است.

۴- نتیجه

به منظور بررسی پارامترهای مختلف روی عملکرد دیوار، ۱۲ مدل آزمایشگاهی تحت سرباری معادل ۱۰ کیلو نیوتن بر متر مورد ارزیابی قرار گرفتند. این پارامترها عبارتند از : ضخامت دیوار، گیرداری دیوار و تعداد میل مهار جانبی دیوار. در ادامه مهم ترین نتایج حاصل از این بررسی ارائه شده است.

۱- با توجه به نتایج آزمایشگاهی در مطالعه ی تاثیر تعداد میل مهار بر جابجایی دیوار، می‌توان نتیجه گرفت که برای دیوار با گیرداری ۴۰ میلی‌متر (H۰,۰۵)، با افزایش ۲ برابری تعداد میل مهار و کاهش ۳ برابری انعطاف پذیری (ضخامت ۳ به ۱ میلیمتر) در دیوار، کاهش ۱/۱۲ برابری در جابجایی افقی دیوار حاصل شده است. از طرف دیگر برای دیوار با گیرداری ۱۲۰ میلی‌متر(H۰,۱۵)، با افزایش ۲ برابری تعداد میل مهار و کاهش ۳ برابری انعطاف پذیری در دیوار جابجایی افقی دیوار، کاهش ۱/۷۹ برابری در جابجایی افقی دیوار بدست آمده است. بنابراین به ترتیب با افزایش ۳ و ۲ برابری در میزان گیرداری و تعداد میل مهار و کاهش ۳ برابری انعطاف پذیری دیوار، کاهش ۰/۶۷ برابری در جابجایی افقی دیوار مشاهده شده است.

۲- در مطالعه تاثیر ضخامت دیوار (میزان انعطاف پذیری) بر جابجایی افقی آن، برای دیوار با کمترین مهار(۱ عدد) و گیرداری (H۰,۰۵)، با افزایش ۱/۵، ۲ و۳ برابری ضخامت دیوار (۱به ۱/۵، ۱/۵ به ۳، ۱به ۳) به نسبت ۵ برابری ارتفاع دیوار (H۰,۱۹ به H۰,۹۴)، جابجایی افقی در دیوار به ترتیب ۰/۰۶ ، ۱/۲۰ و ۱/۲۶ میلی‌متر و برای دیوار با بیشترین مهار (۲ عدد) و گیرداری (H۰,۱۵)، به ترتیب ۰/۵۶ ، ۱/۶۴ و ۲/۲۰ میلی‌متر کاهش یافته است.

۳- با افزایش ۳ برابری میزان گیرداری (H۰,۰۵ به H۰,۱۵) و افزایش ۳ برابری ضخامت دیوار (۱ به ۳ میلی‌متر) در پایین دیوار و در ارتفاع (H۰,۱۹) برای دیوار با کمترین میل مهار جانبی، کاهش ۱ درصدی در جابجایی افقی دیوار (۱/۴۴ به ۱/۴۳ میلی‌متر) و برای دیوار با بیشترین میل مهار جانبی، کاهش ۲۸ درصدی در جابجایی افقی دیوار (۱/۰۱ به ۰/۷۳ میلی‌متر) رخ داده است.

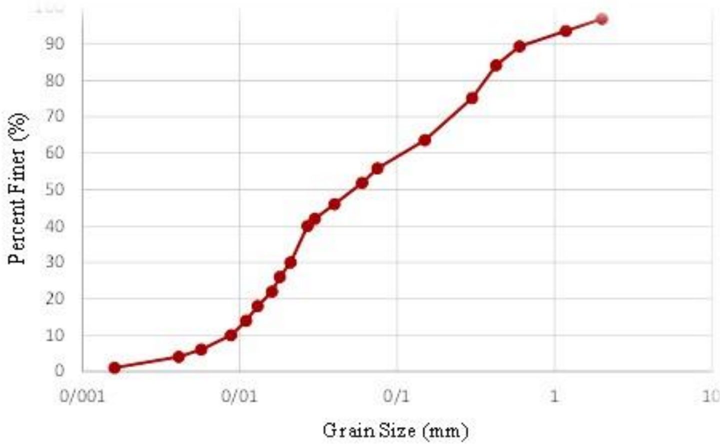
۴- با مطالعه در شکل ۴ و ۶ نمودارها و گرافهای بدست آمده از حالات مختلف دیوار با یک و دو میل مهار، از مقایسه بین دیوار با ضخامت کمتر (۱ و ۱/۵ میلی‌متر) ، میزان جابجایی افقی دیوار نزدیک به هم و در بعضی نقاط منطبق بر هم است. با افزایش سه برابری ضخامت دیوار، کاهش ۲ برابری در جابجایی افقی دیوار رخ داده است.

۵- با مطالعه در حالات مختلف جابجایی افقی دیوار می‌توان مشاهده نمود که رفتار دیوار از پای دیوار تا تراز H۰,۶۹ (محل قرارگیری بالاترین میل مهار) رفتاری خمشی و از تراز H۰,۶۹ تا H۰,۹۴ رفتاری برشی در دیوار صورت می‌گیرد. علت این امر را می‌توان به وجود میل مهارها در محدوده‌ی پای دیوار تا تراز H۰,۶۹ که به پایداری بیشتر دیوار و سبب رفتار خمشی در دیوار شده است، نسبت داد.

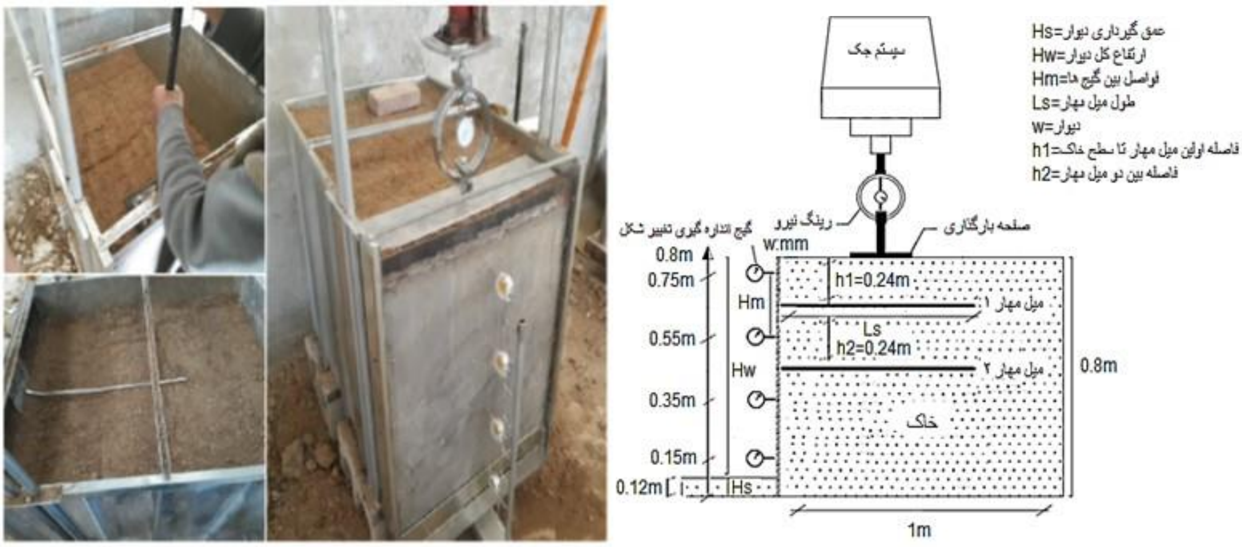
۶- با مطالعه در میزان درصد اختلاف بدست آمده برای جابجایی افقی دیوار در ترازهای ارتفاعی مختلف، به ترتیب برای دیوار با ۱ و ۲ میل مهار بیشترین و کمترین میزان درصد اختلاف مربوط به تراز ارتفاعی H۰,۱۹برای دیوار با ضخامت ۳ میلی‌متر به میزان ٪۷۸ و ٪۸۱ و در تراز ارتفاعی H۰,۹۴ برای دیوار با ضخامت ۱ میلی‌متر به میزان ٪۶ و ٪۱۳ می‌باشد.

۵- تقدیر و تشکر

بر خود وظیفه میدانم، به رسم احترام به مقام شامخ اساتید عزیزم دست یکایک این خوبان را ببوسم و قدردان زحمات بی‌دریغشان باشم.



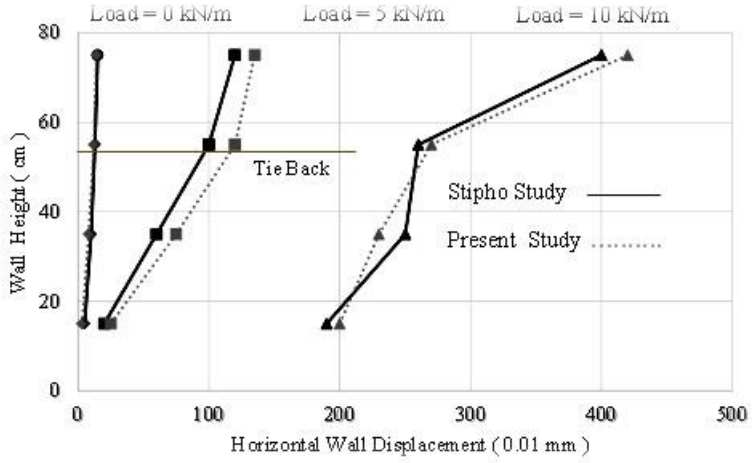
شکل ۱: منحنی دانه بندی خاک مورد استفاده



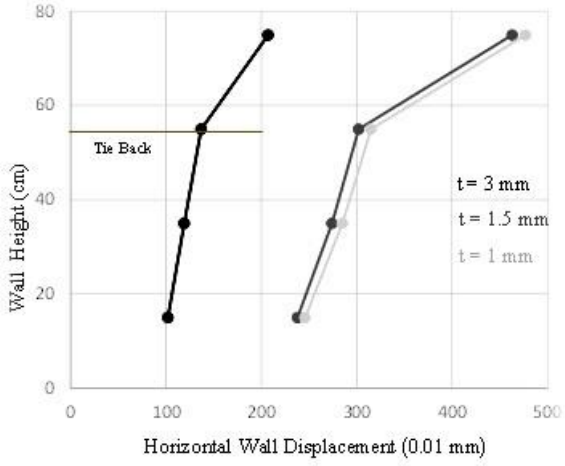
شکل۲: دستگاه آزمایش

جدول ۱: برنامه انجام آزمایشات

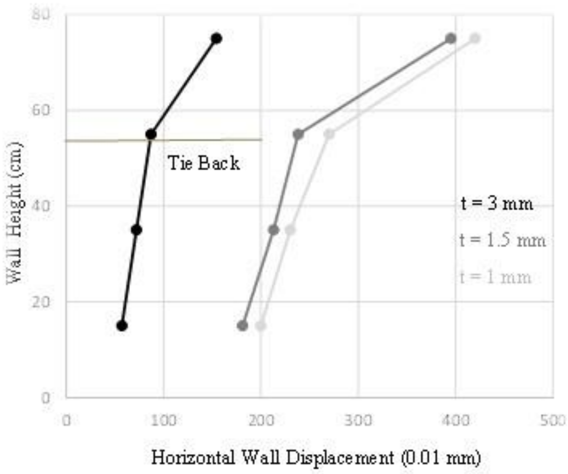
شماره آزمایش	ضخامت دیواره : w (mm)			عمق گیر داری دیواره: Hs (mm)		تعداد میل مهار جانبی	
	۳	۱/۵	۱	۱۲۰	۴۰	۲	۱
۱			+		+		+
۲		+			+		+
۳	+				+		+
۴			+	+			+
۵		+		+			+
۶	+			+			+
۷			+		+	+	
۸		+			+	+	
۹	+				+	+	
۱۰			+	+		+	
۱۱		+		+		+	
۱۲	+			+		+	



شکل ۳: صحت سنجی

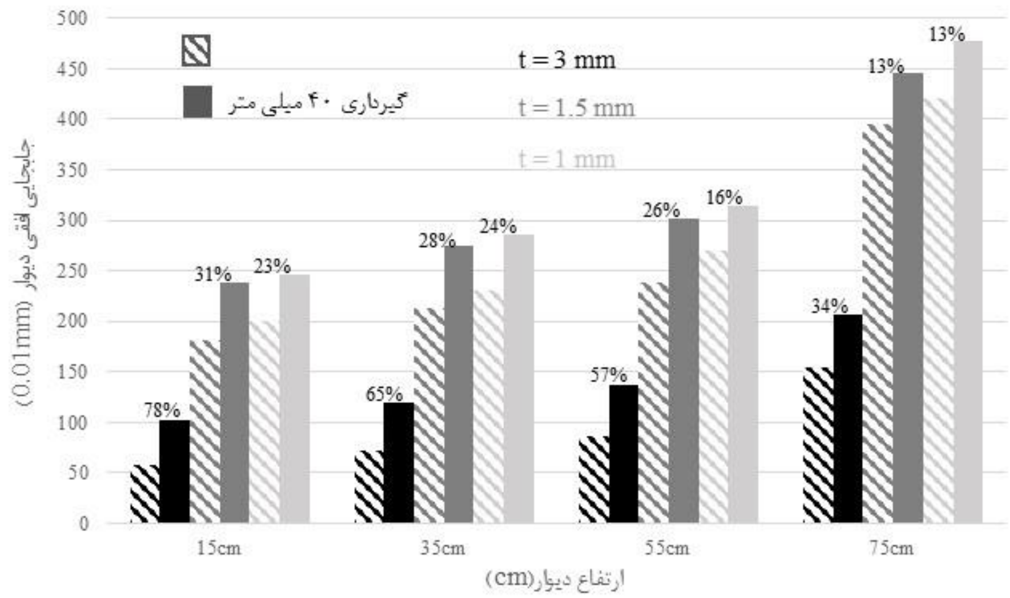


الف عمق گیرداری ۴۰ میلی‌متر

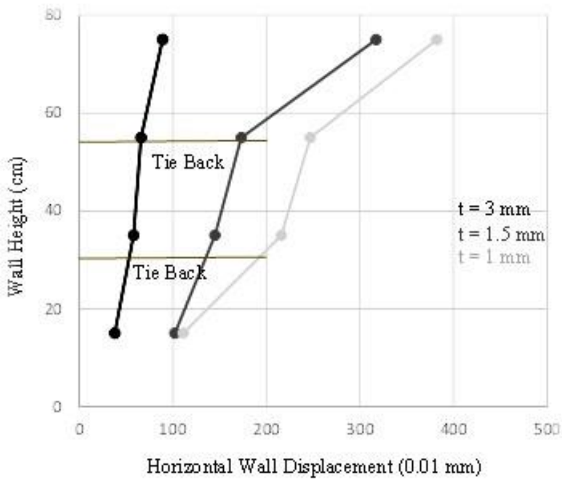


ب عمق گیرداری ۱۲۰ میلی‌متر

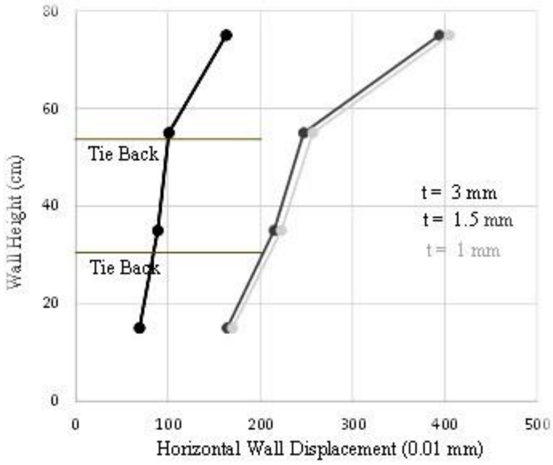
شکل ۴: جابجایی افقی دیوار با یک میل مهار جانبی



شکل ۵: جابجایی افقی دیوار حایل در ترازهای مختلف برای یک میل مهار جانبی

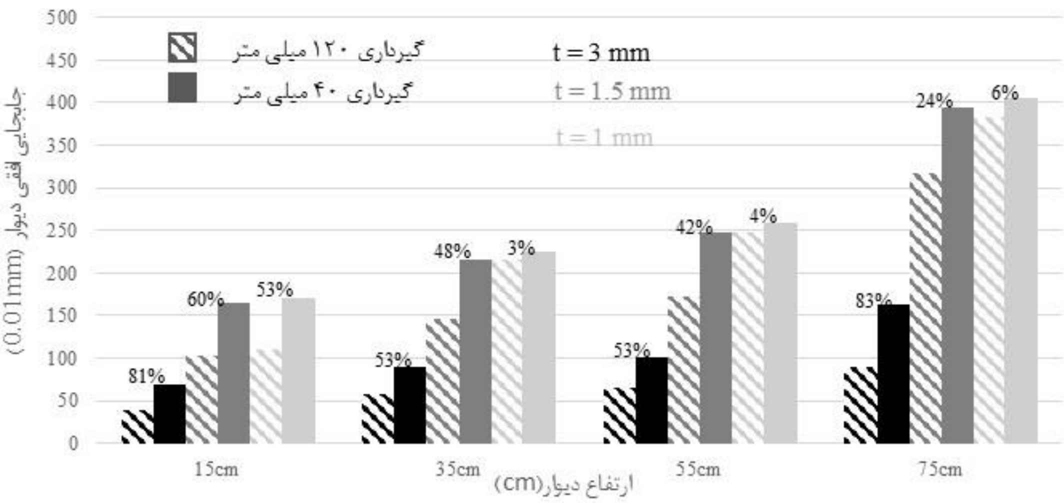


الف عمق گیرداری ۴۰ میلی‌متر

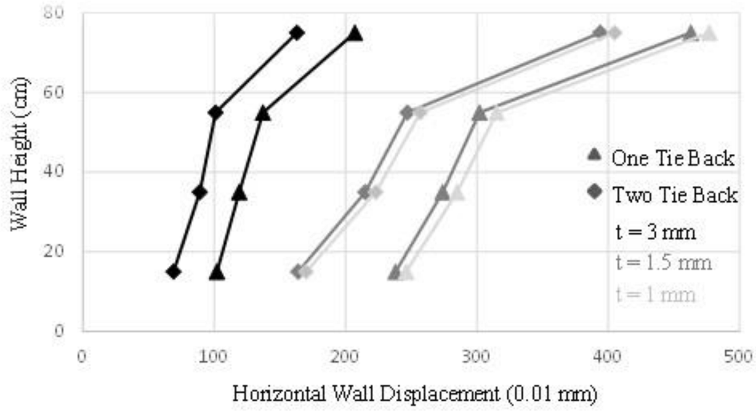


ب عمق گیرداری ۱۲۰ میلی‌متر

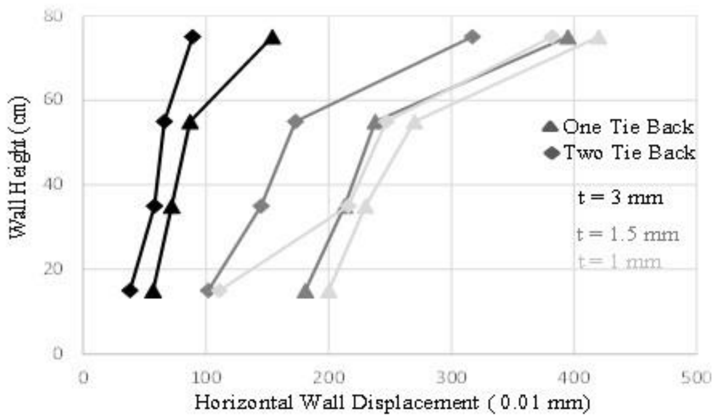
شکل ۶: جابجایی افقی دیوار با دو میل مهار جانبی



شکل ۷: جابجایی افقی دیوار حایل در ترازهای مختلف برای دو میل مهار جانبی



شکل ۸: جابجایی افقی دیوار حایل تحت گیرداری ۴۰ میلی‌متر



شکل ۹: جابجایی افقی دیوار حایل تحت گیرداری ۱۲۰ میلی‌متر

۶- منابع

[1] FHWA.; *Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes: Design and Construction Guidelines. Federal Highway Administration and National Highway Institute*, Washington DC. FHWA NHI-00-43, 2001.

[2] Hanna T.H, Mattallana G.A. *The Behaviour of Tied-back Retaining Walls*. Can .Geotech .J. 7(4),PP.372-396, 1970.

[3] James E.L, Phillips S.H.E. *Movement of ATied Diaphragm Wall During Excavation*. Ground Eng. 4(4), pp.14-16, 1971.

[4] Plant G.W. *An Assessment of Multi – Anchored Retaining Wall Behavior*. PhD thesis, University of Sheffield, England, 1972.

[5] Liu T.K, Dugan J.P. *An Instrumented Tied-back Deep Excavation*. Proc. ASCE Spec. Conf. Performance the Earth, Earth-Supported Structures, 1(2), pp. 1323-1339, 1972.

[6] Hanna T.H, Kurdi I.I. *Studies on Anchored Flexible Retaining Walls in Sand*. ASCE J.Geotech.Div.100 (Gt10), pp.1107-1122, 1974.

[7] Anderson W. F, Hanna T.H. *Model Tests on Anchored Walls Retaining Over con soli dated Sands*. Department of Civil Engineering, the University, Mapping, Sheffield, England, 1977.

[8] Comodromos E, Papadopoulou M, Konstantinidis G. *Effects from diaphragm wall installation to surrounding soil and adjacent buildings*. Computers and Geotechnics, Volume 53, 2014.

[9] Waran Y.B, Akshay P.R, Rajasekaran C, Rao S. *Effect of Stiffness on Performance of Diaphragm Wall*. Procedia Engineering, Volume 116 , 2015.

[10] Yu X, Jing X, Zou D, Zhou Y, Hu Z. *Linear elastic and plastic-damage analyses of a concrete cut-off wall constructed in deep overburden*. Computers and Geotechnics, Volume 69 , 2015.

[11] Du Y.J, Fan R. D, Reddy K. R, Liu S.Y, Yang Y.L. *Impacts of presence of lead contamination in clayey soil–calcium bentonite cutoff wall backfills*. Applied Clay Science, Volume 108 , 2015.

[12] Mohamed Hafez K, Ibrahim I. *Seismic displacement of gravity retaining walls*. HBRC Journal, Volume 11, 2015.

[13] Stamondo S, Trasatti E. *Uncovering deformation processes from surface displacements*. Journal of Geodynamics , Volume 102, 2016.

[14] Ertugrul O. L, Trandafir A. C, Yener Ozkan M. *Reduction of dynamic earth loads on flexible cantilever retaining walls by deformable geofoam panels*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering , Volume 92 , 2017.

[15] Wang L.J, Liu S H, Zhou B. *Experimental study on the inclusion of soilbags in retaining walls constructed in expansive soils.* Geotextiles and Geomembranes , Volume 43 , 2015.

[16] Maria N. *Design Optimization of Diaphragm Walls*. Geotextiles and Geomembranes, Volume 44, 2015.

[17] Rajapakse R. *Earth retaining structures*. Computers and Geotechnics, Volume 83 , 2016.

[18] Han S, Gong J, Zhang Y. *Earth pressure of layered soil on retaining structures*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Volume 83 , 2016.

[19] Aghaei Araei A, Towhata I. *Impact and cyclic shaking on loose sand properties in laminar box using gap sensors*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Volume 66 , 2015.

[20] Ghanbari A, Ahmadabadi M. *Active Earth Pressure on Inclined Retaining Walls in Static and Pseudo- Static Conditions*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2017.

[21] Truty A.A. *Influence of diaphragm wall installation in over consolidated sandy clays on in situ stress disturbance and resulting wall deformations*. Intitute of Geotechnics, Faculty of Environmental Engineering, Cracow University of Technology, 2016.

[22] Castillo L.S, Josa A, Aguado A. *Bi-layer diaphragm walls: Parametric study of construction processes*. Engineering Structures, vol 51, 2014.

[23] Martinez L, Patino H, Galindo R. *Evaluation of the risk of sudden failure of a cohesive soil subjected to cyclic loading*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, vol 92, 2017.

[24] Stipho A.S. *Model Test of Reinforced Earth Retaining Wall*. Second International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, 1988.

[25] Saba H.R. *Investigating the nonlinear behavior of intruder walls under different loading conditions and making a suitable laboratory model*. PhD thesis, University of Amir Kabir, Iran, 2002 (in Persian).

[26] Shabani M.J, Roshan Zamir M.A, .Eslami A. *Evaluation of Performance Reinforced Soil Retaining Wall with Oblique Reinforcements*. Slope Facing and Reinforcements Anchor, Scientific and Research Journal of Civil Engineering Modares,Vol 16, 2014 (in Persian).