

## مطالعه آزمایشگاهی رفتار میل مهارها در دیوارهای حایل انعطاف پذیر

مجید خانجانی

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران.

m.khanjani93@iau-arak.ac.ir

حمیدرضا صبا

استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه نرفش، نرفش، ایران.

hr.saba@tafreshu.ac.ir

سید محمد میرحسینی

استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران.

m-mirhoseini@iau-arak.ac.ir

سید حمید لاجوردی

استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران.

Sh-lajevardi@iau-arak.ac.ir

احسان اله ضیغمی

استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران.

e-zeighami@iau-arak.ac.ir

### 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 دیوارهایی با سه نسبت بدون بعد ضخامت به ارتفاع دیوار، عمق مختلف گیرداری دیوار (H/0.5 و H/1.5) و تعداد مختلف میل مهاری جانبی افقی (۱ و ۲ عدد) انجام شده است. جنس میل مهارها از ورق فولادی با پوشش گالوانیزه با طول و پهنای به ترتیب ۰/۵۶m و ۰/۰۷m می‌باشد که توسط ورقی به ابعاد ۰/۱۵m × ۰/۱۵m 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.

واژه های 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, Hamid Reza Saba\*, Seyed Hamid Lajevardi, Seyed Mohammad Mirhosseini, Ehsanollah Zeighami

### 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.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۱

تاریخ آخرین اصلاحات: ۱۴۰۱/۰۳/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۰

## 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 می‌شود. اجرای دیوارهای حایل صلب به خاطر ملاحظات فنی و اقتصادی در گودبرداری‌های عمیق کار مناسبی نمی‌باشد [۱] [۲۳]. دیوارهای حایل انعطاف پذیر مهار شده، سازه‌های نگهداری جهت نگرانی از دیوارهای خاکبرداری شده موقت و یا دائمی می‌باشند. اگر چه تکنیک‌های ساخت چنین سازه‌هایی به سرعت توسعه یافته است، اما رفتار پیچیده سازه، مهاربند و اندرکنش خاک با این اعضا، به طور کامل قابل درک نمی‌باشد. در سال‌های گذشته، دیوار حایل دیافراگم بتنی یک راه حل سازنده برای سازه‌های زیر زمینی در شهرهای مناطق شلوغ بوده است [۷-۲] [۱۶]. 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 نشست که در پروژه‌هایی 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 مهارها 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 [۸] [۱۷]. 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 دیافراگم‌های بتنی مهار شده از پارامترهای تاثیرگذار 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  $H$  تا  $0.4H$  (که  $H$  ارتفاع دیوار می‌باشد) بسته به نوع انعطاف پذیری دیوار متفاوت است [۹] [۱۰] [۱۴]. 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 سازه‌های مجاور گود از اهمیت بالایی برخوردار است. به همین منظور هر چه خاک رس سست‌تر باشد

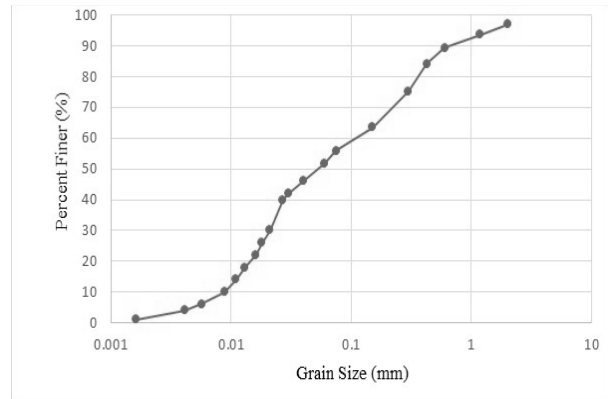
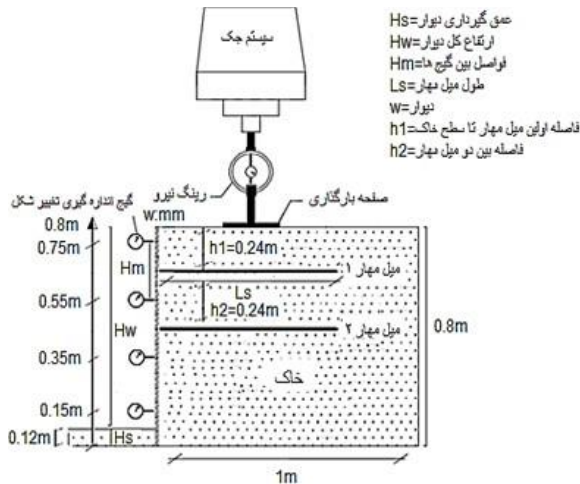
فشار وارد بر دیوار افزایش یافته و باعث ریزش دیوار می‌شود [۱۱] [۲۱]. مطالعه آزمایشگاهی استاتیکی در جابجایی افقی دیوارهای حایل انعطاف پذیر از پارامترهایی است که توسط محققین زیادی مورد مطالعه قرار گرفته است. که از جمله این تحقیقات این است که جابجایی افقی دیوار به طور مستقیم با زاویه خاکریز سطح پشت دیوار، 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 ورقه‌های نازک و استفاده از گچ‌های اندازه گیری و کرنش سنج‌ها که با اعمال بار بر خاک متمرکز می‌باشد، پی به بررسی تغییر شکل دیوار حایل برده شده است [۱۲] [۱۹] [۲۰]. بررسی فرآیند تغییر شکل دیوارهای حایل انعطاف پذیر و پی بردن به میزان تغییر شکل سازه تحت بارهای وارده از اولویت‌هایی 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 جابجایی‌ها 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 [۱۳] [۱۵] [۱۸].

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 بررسی‌ها 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  $1178/57 \text{ kg/m}^3$  و در حالت متراکم برابر  $1375 \text{ kg/m}^3$  بوده و چگالی ویژه آن برابر  $2/8$  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 و  $120 \text{ Mpa}$  می باشد. این میل مهار دارای ابعادی به طول  $0.56 \text{ m}$  و پهنا  $0.007 \text{ m}$  و ضخامت  $0.001 \text{ mm}$  می باشد. این میل مهار توسط ورقی به ابعاد  $0.15 \text{ m} \times 0.15 \text{ m}$  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 تقریباً منتفی می باشد. در این راستا با توجه به اینکه رفتار ورق فولادی و دیافراگم های مهار شده بتنی بلحاظ انعطاف پذیری، تا حدود زیادی مشابه یکدیگر می باشد، از ورق فولادی جهت مدلسازی آزمایشگاهی استفاده شده است [۲۵]. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می شود دستگاه آزمایش دارای ابعادی به طول  $1 \text{ m}$  و عرض  $0.7 \text{ m}$  و ارتفاع  $0.8 \text{ m}$  می باشد که از ورق فولادی گالوانیزه ساخته شده است. سه دیوار قائم دستگاه آزمایش با ضخامت  $0.07 \text{ m}$  میلی ثابت بوده و بوسیله جوش سراسری به هم متصل شده اند. تنها یکی از دیوارها که دارای ضخامت های مختلفی برابر با  $0.1$ ،  $0.15$  و  $0.3 \text{ m}$  میلی بوده قابل جابجایی می باشد. همچنین شرایطی فراهم شده تا بتوان اثر گیرداری دیوار حائل را در محدوده توصیه شده  $0.05H$  تا  $0.15H$  که با توجه به ارتفاع دیوار ( $0.8 \text{ m}$ ) برابر با  $0.04 \text{ m}$  و  $0.12 \text{ m}$  است بررسی کرد. ابعاد دیوار مخصوصاً 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 می باشد [۲۴] [۲۵] [۲۶].



شکل ۲: دستگاه آزمایش

#### ۲-۳-۱ سیستم اعمال نیرو

برای اعمال نیرو قائم از یک جک دستی با ظرفیت  $49 \text{ KN}$  استفاده شده است (شکل ۲). این جک، نیرو را به صفحه ای به ابعاد  $0.69 \text{ m} \times 0.15 \text{ m}$  و ضخامت  $0.01 \text{ m}$  وارد می کند. نیرو در فاصله  $0.125 \text{ m}$  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  $30$  کیلو نیوتن و دقت  $0.01 \text{ mm}$  استفاده شده است. همچنین از ۴ جابجایی سنج با دقت  $0.01 \text{ mm}$  و جابجایی  $0.01 \text{ m}$  که در ارتفاع های  $0.15 \text{ m}$ ،  $0.35 \text{ m}$ ،  $0.55 \text{ m}$  و  $0.75 \text{ m}$  به ترتیب از پایین دیوار قرار گرفته اند 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 ( $10 \text{ KN/m}$ ) و وزن مخصوص خاک رس ( $1375 \text{ kg/m}^3$ ) ثابت در نظر گرفته شده اند.

متغیرهای آزمایشات عبارتند از:

- ضخامت دیوار (1 mm و 1/5 mm و 3 mm)
- عمق گیرداری (40 mm و 120 mm)
- تعداد میل مهار (1 و 2)

جدول ۱: برنامه انجام آزمایشات

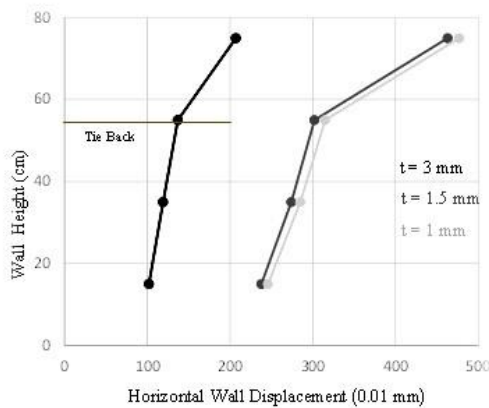
شماره آزمایش	ضخامت دیواره W (mm)	عمق گیر داری دیواره Hs (mm)	تعداد میل مهار جانبی
۱	۳	۴۰	۱
۲	۳	۴۰	۲
۳	۳	۱۲۰	۱
۴	۳	۱۲۰	۲
۵	۱/۵	۴۰	۱
۶	۱/۵	۴۰	۲
۷	۱/۵	۱۲۰	۱
۸	۱/۵	۱۲۰	۲
۹	۱	۴۰	۱
۱۰	۱	۴۰	۲
۱۱	۱	۱۲۰	۱
۱۲	۱	۱۲۰	۲

### ۳- نتایج و بحث

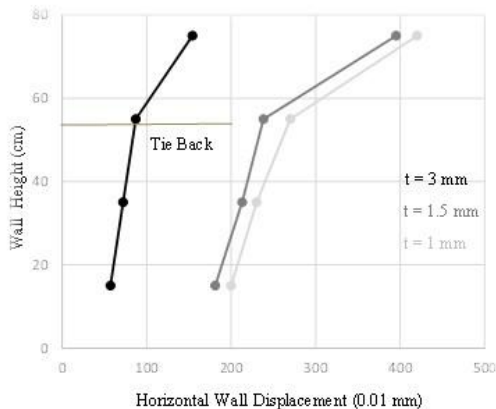
در این بخش نتایج مربوط به آزمایشات و تاثیر عوامل مختلف بر جابجایی دیوار مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند.

#### 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 40 mm و 120 mm 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 3 mm نسبت به دو تای دیگر کمتر است. شکل ۴ ب برای عمق گیرداری 120 mm می‌باشد. روند جابجایی افقی دیوار مشاهده شده در شکل ۴ ب همانند دیوار با عمق گیرداری 40 mm بوده منتهای با مقادیر کمتر. به عنوان مثال تغییرات جابجایی افقی در تراز 0/94 H که محل قرار گیری بالاترین گنج است، برای دیوار به ضخامت 3 میلی m با تغییر عمق گیرداری از 0/05 H به 0/15 H (افزایش سه برابری)، از 2/07 به 1/54 mm (کاهش ۵۳٪) مشاهده می‌شود. این تغییرات برای تراز 0/19 H که محل قرار گیری پایین ترین گنج است، بین 4/77 و 4/20 (کاهش ۵۷٪) مشاهده می‌شود.



الف عمق گیرداری 40 mm

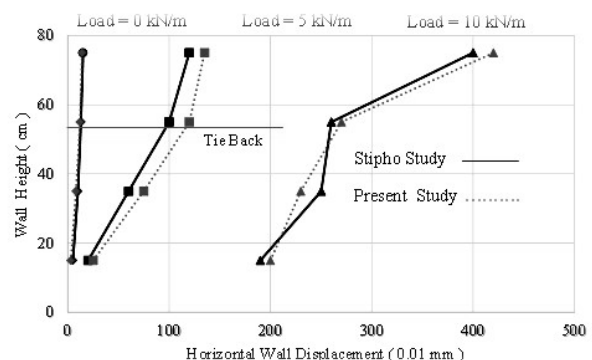


ب عمق گیرداری 120 mm

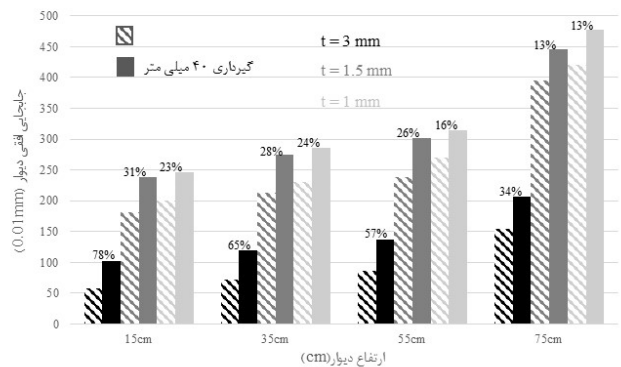
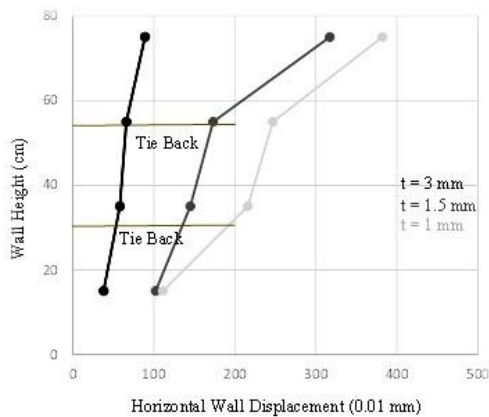
شکل ۴: جابجایی افقی دیوار با یک میل مهار جانبی

#### 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  $1/5 \text{ m} \times 1/5 \text{ m} \times 1/5 \text{ m}$  است دیوار دستگاه بوسیله میل مهار هایی به فواصل 0/12 m از یکدیگر به دیوار مهار شده اند. پهنا و ضخامت هر کدام از میل مهارها به ترتیب 7 mm و 9/5 mm می‌باشد. این مهارها توسط صفحاتی با ابعاد  $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$  بر روی دیوار دستگاه نصب شده‌اند. از مطالعه ایشان سه نوع بارگذاری 0 KN/m، 5 KN/m و 10 KN/m 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٪ نشان می‌دهد (شکل ۳).

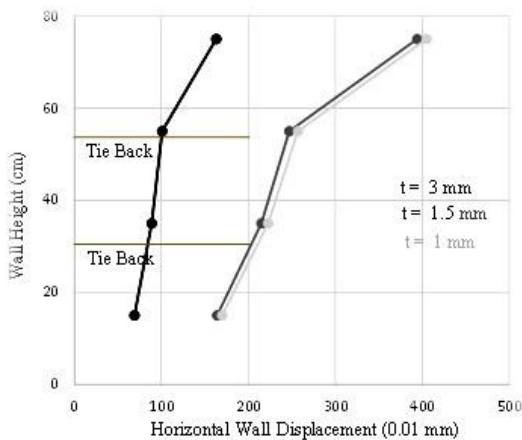


شکل ۳: صحت سنجی



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

الف عمق گیرداری ۴۰ میلی m



ب عمق گیرداری ۱۲۰ میلی m  
شکل ۶: جابجایی افقی دیوار با دو میل مهار جانبی

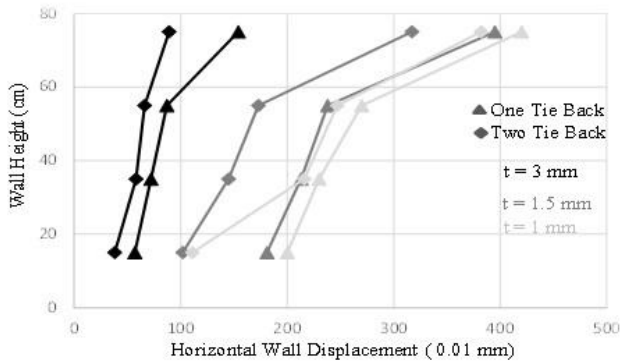
شکل ۷ مقایسه جابجایی افقی دیوار بر حسب درصد را برای ترازهای مختلف در دو حالت گیرداری را نشان می‌دهد. بیشترین اختلاف در جابجایی افقی دیوار با ضخامت بیشتر و در محدوده ۵۳٪ تا ۸۳٪ و کمترین اختلاف برای دیوار با ضخامت کمتر و در محدوده ۳٪ تا ۵۳٪ است. در تمامی حالات بیشترین اختلاف در تغییر جابجایی مربوط به دیوار 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 mm و ۱/۵ mm بیشتر مشاهده می‌شود ولی در دیوار با ضخامت ۱ mm بسیار ناچیز است.

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 mm است. در پایین دیوار و در ارتفاع 0/19 H، بین دیوار با ضخامت ۳ mm و ۱/۵ mm اختلافی در حدود ۴۷٪ و دیوار با ضخامت ۱ mm و ۱/۵ mm معادل ۱۲٪ قابل مشاهده است. این تغییرات در ارتفاع 0/94 H دیوار و در بالای دیوار به ترتیب برابر ۲۱٪ و ۱٪ می‌باشد. افزایش ضخامت دیوار سبب کاهش جابجایی افقی آن می‌شود. علت این امر را می‌توان به کاهش انعطاف پذیری دیوار و به تبع آن افزایش صلبیت و سختی دیوار نسبت داد.

۲-۳ اثر دو عدد میل مهار بر جابجایی دیوار

شکل ۶ جابجایی افقی دیوار با دو میل مهار جانبی را در ترازهای مختلف دیوار نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود با افزایش ارتفاع دیوار، جابجایی افقی دیوار بیشتر شده است. با مطالعه شکل ۶ الف می‌توان پی برد که برای دیوار با گیرداری 0/05 H (۴۰ mm)، در بالای دیوار و در ارتفاع 0/94 H این جابجایی برای دیوار با ضخامت ۱ mm برابر، ۴/۰۵ mm بوده و برای دیوار با ضخامت ۳ mm برابر ۱/۶۳ mm می‌باشد. بنابراین افزایش ۲/۴۸ برابری در جابجایی افقی دیوار را می‌توان ملاحظه کرد. برای دیوار در ارتفاع 0/19 H در پایین دیوار، این جابجایی برای دیوار با ضخامت ۱ mm برابر ۱/۷۰ mm بوده و برای دیوار با ضخامت ۳ mm برابر ۰/۶۹ mm می‌باشد. بنابراین افزایش ۲/۴۶ برابری در جابجایی افقی دیوار حاصل شده است. با مطالعه در شکل ۶ ب برای دیوار با گیرداری 0/15 H نتایج مشابه شکل ۶ الف را می‌توان ملاحظه کرد. با این تفاوت که در بررسی بیشترین و کمترین جابجایی برای دیوار در ارتفاعات 0/94 H و 0/19 H به ترتیب افزایش ۴/۲۹ برابری از ۰/۸۹ mm به ۳/۸۲ mm و افزایش ۲/۹۲ برابری از ۰/۳۸ mm به ۱/۱۱ mm بدست آمده است.

ضخامت 1 mm از اختلاف کمتری نسبت به دیوار با ضخامت های 1/5 و 3 mm برخوردار است.



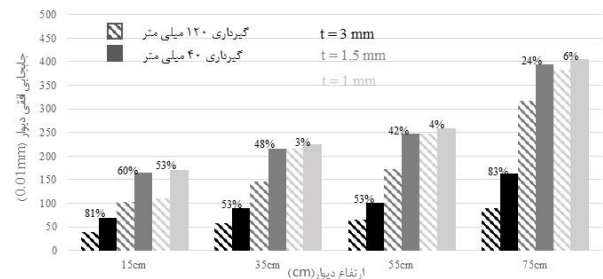
شکل ۹: جابجایی افقی دیوار حایل تحت گیرداری 120 mm

به طور کلی در بررسی تاثیر تعداد میل مهار بر جابجایی دیوار، برای دیوار با یک میل مهار و گیرداری 0/05 H، با افزایش 1/5 برابری ضخامت (1 به 1/5)، ماکزیمم اختلاف در جابجایی افقی دیوار در کل ارتفاع دیوار از 2/31 mm به 2/25 mm و با افزایش 2 برابری ضخامت دیوار (1/5 به 3) از 2/25 mm به 1/05 mm و افزایش 3 برابری ضخامت دیوار (1 به 3) از 2/31 mm به 1/05 mm رسیده است. در دیوار با شرایط مشابه ولی گیرداری 0/15 H، با افزایش 1/5 برابری ضخامت، ماکزیمم اختلاف در جابجایی افقی دیوار در کل ارتفاع دیوار از 2/20 mm به 2/14 mm و با افزایش 2 برابری ضخامت دیوار از 2/14 mm به 0/97 mm و افزایش 3 برابری ضخامت دیوار از 2/20 mm به 0/97 mm رسیده است. برای دیوار با دو میل مهار و گیرداری 0/05 H، با افزایش 1/5 برابری ضخامت، ماکزیمم اختلاف در جابجایی افقی دیوار در کل ارتفاع دیوار از 2/35 mm به 2/30 mm و با افزایش 2 برابری ضخامت دیوار از 2/30 mm به 0/94 mm و با افزایش 3 برابری ضخامت دیوار از 2/35 mm به 0/94 mm رسیده است. در دیوار با شرایط مشابه ولی گیرداری 0/15 H، با افزایش 1/5 برابری ضخامت، ماکزیمم اختلاف در جابجایی افقی دیوار در کل ارتفاع دیوار از 2/71 mm به 2/15 mm و با افزایش 2 برابری ضخامت دیوار از 2/15 mm به 0/51 mm و با افزایش 3 برابری ضخامت دیوار از 2/71 mm به 0/51 mm رسیده است.

#### ۴- نتیجه

به منظور بررسی پارامترهای مختلف روی عملکرد دیوار، 12 مدل آزمایشگاهی تحت سرباری معادل 10 KN/m 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.

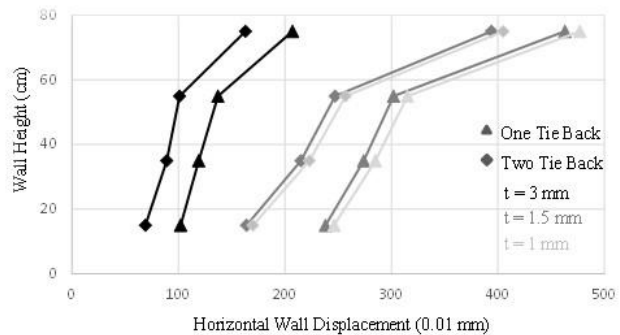
۱- با توجه به نتایج آزمایشگاهی در مطالعه تاثیر تعداد میل مهار بر جابجایی دیوار، می توان نتیجه گرفت که برای دیوار با گیرداری



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

#### ۳-۳-۱ مقایسه دیوار انعطاف پذیر یک مهاری با دو مهاری دیوار عمق گیرداری 40 mm (0/05 H)

شکل ۸ میزان جابجایی افقی دیوار را برای دو حالت یک و دو میل مهار با گیرداری 40 mm (0/05 H) نشان می دهد. 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 می کند. در دیوار با یک و دو میل مهار، بین جابجایی افقی دیوار در ضخامت های کمتر (1 mm و 1/5 mm) اختلاف چندانی در جابجایی افقی دیوار قابل توجه نمی باشد. در صورتیکه در دیوار با ضخامت بیشتر این میزان اختلاف در جابجایی افقی دیوار قابل توجه است.



شکل ۸: جابجایی افقی دیوار حایل تحت گیرداری 40 میلی متر

#### ۳-۳-۲ عمق گیرداری 120 mm (0/15 H)

شکل ۹ میزان جابجایی افقی دیوار را برای دو حالت یک و دو میل مهار با گیرداری 120 mm (0/15 H) نشان می دهد. در دیوار با یک میل مهار میزان اختلاف جابجایی افقی بین ضخامت های کمتر (1 mm و 1/5 mm) زیاد قابل توجه نمی باشد. ولی در دیوار با ضخامت بیشتر (3 mm) این میزان اختلاف قابل توجه است. در دیوار با دو میل مهار جانبی میزان جابجایی افقی دیوار بین دیوار با ضخامت های مختلف اختلاف وجود دارد. با بررسی ضخامت برای دیوار با یک و دو میل مهار جانبی میزان جابجایی افقی دیوار برای دیوار با

## ۶- مراجع

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.

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

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

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

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.

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

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.

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

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

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.

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.

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

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

۴۰ mm (0/05 H)، با افزایش ۲ برابری تعداد میل مهار و کاهش ۳ برابری انعطاف پذیری (ضخامت ۳ mm به ۱ mm) در دیوار، کاهش

۱/۱۲ برابری در جابجایی افقی دیوار حاصل شده است. از طرف دیگر برای دیوار با گیرداری ۱۲۰ mm (0/15 H)، 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 (0/05 H)، با افزایش ۱/۵، ۲ و ۳ برابری ضخامت دیوار (۱ به ۱/۵، ۱/۵ به ۳، ۳ به ۳) به نسبت ۵ برابری ارتفاع دیوار (0/19 H به 0/94 H)، جابجایی افقی در دیوار به ترتیب ۰/۰۶ mm، ۱/۲۰ mm و ۱/۲۶ mm و برای دیوار با بیشترین مهار (۲ عدد) و گیرداری (0/15 H)، به ترتیب ۰/۵۶ mm، ۱/۶۴ mm و ۲/۲۰ mm کاهش یافته است.

۳- با افزایش ۳ برابری میزان گیرداری (0/05 H به 0/15 H) و افزایش ۳ برابری ضخامت دیوار (۱ mm به ۳ mm) در پایین دیوار و در ارتفاع (0/19 H) برای دیوار با کمترین میل مهار جانبی، کاهش ۱ % در جابجایی افقی دیوار (۱/۴۴ mm به ۱/۴۳ mm) و برای دیوار با بیشترین میل مهار جانبی، کاهش ۲۸ % در جابجایی افقی دیوار (۱/۰۱ mm به ۰/۷۳ mm) 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 mm و ۱/۵ mm)، 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 می توان مشاهده نمود که رفتار دیوار از پای دیوار تا تراز 0/69 H (محل قرارگیری بالاترین میل مهار) رفتاری خمشی و از تراز 0/69 H تا 0/94 H رفتاری برشی در دیوار صورت می گیرد. علت این امر را می توان به وجود میل مهارها در محدوده پای دیوار تا تراز 0/69 H 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 0/19 H برای دیوار با ضخامت ۳ mm به میزان ۷۸٪ و ۸۱٪ و در تراز ارتفاعی 0/94 H برای دیوار با ضخامت ۱ mm به میزان ۶٪ و ۱۳٪ می باشد.

## 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 بی دریغشان باشم.

- 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.
- Castillo L.S, Josa A, Aguado A. Bi-layer diaphragm walls: Parametric study of construction processes. Engineering Structures, vol 51, 2014.
- 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.
- Stipho A.S. Model Test of Reinforced Earth Retaining Wall. Second International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, 1988.
- 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).
- 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).
- [۲۱] 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.
- [۲۲] 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.
- [۲۳] Maria N. Design Optimization of Diaphragm Walls. Geotextiles and Geomembranes, Volume 44, 2015.
- [۲۴] Rajapakse R. Earth retaining structures. Computers and Geotechnics, Volume 83 , 2016.
- [۲۵] Han S, Gong J, Zhang Y. Earth pressure of layered soil on retaining structures. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Volume 83 , 2016.
- [۲۶] 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.
- [۱۴] Ghanbari A, Ahmadabadi M. Active Earth Pressure on Inclined Retaining Walls in Static and Pseudo- Static Conditions. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2017.
- [۱۵]
- [۱۶]
- [۱۷]
- [۱۸]
- [۱۹]
- [۲۰]