

# ارائه یک مدل فیزیکی برای مطالعه رانش خاک تحت اثر سر بارهای استاتیکی و سیکی

محمود نیکخواه

دانشجوی دکتری مهندسی عمران - خاک و پی - دانشگاه صنعتی امیر کبیر

سید مجد الدین میر محمد حسینی

دانشیار دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی امیر کبیر

(تاریخ دریافت ۸۰/۴/۲۰، تاریخ تصویب ۸۱/۱۱/۱۵)

## چکیده

یکی از عوامل اصلی در طراحی و ساخت ایمن دیوارهای حائل، شناخت کمی و کیفی رانش های وارد به این دیوارها می باشد. مدل‌های آزمایشی و تحلیلی بسیاری جهت تخمین رانش خاک تحت شرایط استاتیکی ارائه شده است. گرچه هنوز اختلافاتی میان نتایج رانش خاک بر مبنای اندازه گیری مستقیم روی مدل های فیزیکی بزرگ و مدل های تحلیلی، حتی در شرایط استاتیکی، وجود دارد. لیکن نحوه توزیع رانش خاک و نقطه اثر آن در این شرایط، توسط روش ها و آئین نامه های مختلف نسبتاً به روشنی تعریف شده است. مشکل اساسی در این زمینه هنگامی پیش می آید که رانش دینامیکی مورد نظر باشد. نظرات و توصیه های مختلفی در خصوص نحوه توزیع و نقطه اثر رانش خاک در این شرایط وجود دارد. اما استفاده از آنها نیازمند بررسی و ارزیابی شرایط خاصی که این توصیه ها بر مبنای آنها بدست آمده، می باشد. در این مقاله ساخت یک مدل آزمایشی جهت مطالعه رانش خاک تحت اثر سر بارهای استاتیکی و سیکی تشریح شده است. به کمک این مدل، آزمایش های وسیعی در شرایط مختلف روی یک مدل دیوارحائل انجام گرفته و نتایج قابل ملاحظه ای پیرامون کم و کیف رانش خاک بر دیوارهای حائل بدست آمده که بخشی از نتایج مربوط به تعیین رانش خاک تحت اثر سر بار های استاتیکی و سیکی در این مقاله ارائه شده اند.

**واژه های کلیدی:** رانش خاک، دیوار حائل، سر بار استاتیکی، سر بار سیکی، مدل فیزیکی، بارش ماسه، سیستم قرائت و ضبط داده ها، سیلندر بادی، سلول بار، تنش سنج الکتریکی، کرنش سنج الکتریکی

## مقدمه

استاتیکی (روشهای معادل) وارد می شود، تخمین زده شده و اثر بارگذاری سیکی مستقیماً در نظر گرفته نمی شود.

جهت بررسی رفتار دیوارهای حائل در شرایط استاتیکی و دینامیکی، مطالعات تحلیلی و آزمایشگاهی متعددی توسط محققین مختلف تا بحال صورت پذیرفته است.

Sherif و Mackey در سال ۱۹۷۷ رانش وارد به دیوار حائل تحت اثر بار سیکی با تعداد سیکل ها و فواصل مختلف از دیوار در شرایط سکون<sup>۱</sup> را به کمک یک مدل فیزیکی مورد بررسی قرار دادند [۱]. آزمایش ها در مخزنی باصفحات فولادی به ابعاد داخلی ۴۷ × ۱۲۰ × ۱۲۰ سانتیمتر انجام شده است. مدل دیوار حائل صلب در یکی از وجوه جانبی مخزن قرار داشته و فشارها توسط هشت فشار سنج الکتریکی که در قسمت مرکزی دیوار نصب

شناخت همه جانبه رفتار خاکها به عنوان مصالحی که ناگزیر بخش غیر قابل تفکیکی از اغلب پروژه های مختلف عمرانی را تشکیل می دهند، می تواند نقش موثری در تبیین روشهای طراحی داشته باشد. موارد متعددی از مسائل مهندسی از قبیل پایداری دیوارهای حائل، سپرهای محافظ تونلها، آبراهه و سدهای خاکی، ترانشه ها و غیره در ارتباط مستقیم با رانش خاک قرار دارند. جهت طراحی دیوارهای حائل لازم است که مقدار و توزیع رانش جانبی وارد به دیوار تعیین گردد. ضرورت و اهمیت مطالعه رانش دینامیکی خاکها در شرایطی که حتی در حالت استاتیکی، نظرات مختلفی راجع به توزیع رانش و نقطه اثر آن وجود دارد کاملاً آشکار می گردد. رانش خاک وارد به سازه های حائل تحت اثر بارهای سیکی غالباً با استفاده از روش هایی که در آنها بار به صورت

شده اند، اندازه گیری شده است. نتایج حاصل از تحقیقات مزبور نشان داده است که رانش وارد به دیوار در اثر بارگذاری سیکلی به مقدار قابل توجهی نسبت به بارگذاری استاتیکی افزایش می یابد. بیشترین افزایش رانش در اولین سیکل بارگذاری مشاهده شده و با افزایش تعدادسیکلها نرخ افزایش رانش کاهش می یابد.

جهت مطالعه توزیع رانش استاتیکی و دینامیکی خاک وارد بر دیوارهای حائل کوچک آزمایشگاهی و هم چنین نقطه اثر برآیند نیروی رانش برای حالت های مختلف تغییر مکان دیوار، آزمایش های زیادی با استفاده از میز ارتعاش در دانشگاه واشینگتن انجام پذیرفته است. Sherif و همکاران در سال ۱۹۸۲ نتایج حاصل از مطالعات آزمایشی جهت تعیین رانش خاک در حالت سکون، فعال استاتیکی و دینامیکی و نقطه اثر رانش کل وارد به مدل دیوار حائل صلب در حالت تغییر مکان انتقالی را ارائه نمودند [۲].

نتایج حاصل از تحقیقات بعمل آمده نشان می دهد که در حالت دینامیکی حد اکثر ضریب رانش کل حدود ۳۰ درصد بیشتر از مقادیر حاصل از راه حل تحلیلی Mononobe - Okabe می باشد. Fang و Sherif در سال ۱۹۸۴ به منظور درک بهتر مقدار و توزیع رانش فعال دینامیکی پشت دیوارهای حائل دوران کننده حول راس، نتایج تحقیقات آزمایشگاهی را ارائه کردند [۳]. در اثر دوران دیوار، رانش خاک در پشت آن نسبت به حالت سکون ابتدا به سرعت کاهش یافته و سرانجام به یک مقدار ثابت می رسد. توزیع رانش دینامیکی در حالت دوران حول راس غیر خطی بوده و محدوده ناحیه گسیختگی پشت دیوار با ازدیاد شتاب افزایش می یابد.

Fang و Ishibashi در سال ۱۹۸۶ رانش فعال خاک ماسه ای پشت دیوار حائل صلب را در حالت استاتیکی مورد بررسی قرار دادند [۴]. مقایسه توزیع رانش و نقطه اثر برآیند برای سه حالت تغییر مکان دیوار بیان شده است.

Fang و Ishibashi در سال ۱۹۸۷ رانش فعال دینامیکی وارد به دیوار حائل صلب را بر حسب مشاهدات حاصل از مدل آزمایشگاهی میز ارتعاش برای حالات

مختلف تغییر مکان مورد بررسی قرار دادند [۵]. به موجب نتایج این مطالعات، توزیع رانش فعال دینامیکی برای حالت دوران حول قاعده نسبت به عمق غیر خطی بوده است. توزیع رانش دینامیکی برای حالت های دوران دیوار حول راس و قاعده اختلاف داشته و موقعیت نقطه اثر رانش دینامیکی اضافی بستگی به حالت تغییر مکان دیوار داشته است.

به منظور بررسی رفتار دینامیکی دیوارهای وزنی در اثر دوران، تعدادی آزمایش مدلی توسط Andersen و همکاران در سال ۱۹۸۷ صورت پذیرفت که در آن از دستگاه سانتریفوژ دانشگاه کمبریج استفاده شده بود [۶]. نتایج حاصل از آزمایش ها نشان میدهد که با دور شدن دیوار از خاک و رسیدن به حالت فعال، نیروی رانش به حداقل مقدار خود می رسد. حداکثر نیروی رانش زمانی ایجاد می گردد که دیوار به سمت خاک دوران نماید. جهت بررسی نحوه تغییر رانش جانبی خاک ناشی از انواع تغییر مکان دیوار، مدل دیوار حائل ابزار بندی شده در دانشگاه ملی Chiao - Tung تایوان طراحی و ساخته شده که به کمک آن رفتار یک دیوار حائل صلب فولادی به عرض ۱۰۰، ارتفاع ۵۵ و ضخامت ۱۲ سانتیمتر مطالعه شده است [۷].

همین موضوع در خصوص رانش مقاوم خاک در سال ۱۹۹۴ توسط Fang و همکاران مورد بررسی قرار گرفته است [۸]. نتایج حاصل از مطالعات نشان می دهد که برای حالت تغییر مکان انتقالی دیوار، توزیع رانش مقاوم خطی بوده، و توافق نسبتاً خوبی با نتایج حاصل از تئوری رانش جانبی خاک ترزا فی دارد، درحالی که مقدار و نقطه اثر آن بسته به نوع حرکت متفاوت می باشد [۹].

Fang و همکاران همچنین در سال ۱۹۹۷ مطالعات آزمایشی وسیعی جهت بررسی اثر زاویه شیب خاکریز در رانش فعال و مقاوم استاتیکی انجام دادند و نقاط ضعف روش های طراحی در ملحوظ نمودن صحیح این اثر را مشخص نمودند [۱۰].

موارد اشاره شده در فوق نمونه هایی از مطالعات فیزیکی جهت دسترسی به اندرکنش دیوار حائل و خاک در شرایط مختلف بوده است. گرچه نتایج مطالعات صورت گرفته قابل ملاحظه و چشمگیر بوده و شرح و بحث کامل

شده اند، اندازه گیری شده است. نتایج حاصل از تحقیقات مزبور نشان داده است که رانش وارد به دیوار در اثر بارگذاری سیکلی به مقدار قابل توجهی نسبت به بارگذاری استاتیکی افزایش می یابد. بیشترین افزایش رانش در اولین سیکل بارگذاری مشاهده شده و با افزایش تعدادسیکلها نرخ افزایش رانش کاهش می یابد.

جهت مطالعه توزیع رانش استاتیکی و دینامیکی خاک وارد بر دیوارهای حائل کوچک آزمایشگاهی و هم چنین نقطه اثر برآیند نیروی رانش برای حالت های مختلف تغییر مکان دیوار، آزمایش های زیادی با استفاده از میز ارتعاش در دانشگاه واشینگتن انجام پذیرفته است. Sherif و همکاران در سال ۱۹۸۲ نتایج حاصل از مطالعات آزمایشی جهت تعیین رانش خاک در حالت سکون، فعال استاتیکی و دینامیکی و نقطه اثر رانش کل وارد به مدل دیوار حائل صلب در حالت تغییر مکان انتقالی را ارائه نمودند [۲].

نتایج حاصل از تحقیقات بعمل آمده نشان می دهد که در حالت دینامیکی حد اکثر ضریب رانش کل حدود ۳۰ درصد بیشتر از مقادیر حاصل از راه حل تحلیلی Mononobe - Okabe می باشد.

Fang و Sherif در سال ۱۹۸۴ به منظور درک بهتر مقدار و توزیع رانش فعال دینامیکی پشت دیوارهای حائل دوران کننده حول راس، نتایج تحقیقات آزمایشگاهی را ارائه کردند [۳]. در اثر دوران دیوار، رانش خاک در پشت آن نسبت به حالت سکون ابتدا به سرعت کاهش یافته و سرانجام به یک مقدار ثابت می رسد. توزیع رانش دینامیکی در حالت دوران حول راس غیر خطی بوده و محدوده ناحیه گسیختگی پشت دیوار با ازدیاد شتاب افزایش می یابد.

Fang و Ishibashi در سال ۱۹۸۶ رانش فعال خاک ماسه ای پشت دیوار حائل صلب را در حالت استاتیکی مورد بررسی قرار دادند [۴]. مقایسه توزیع رانش و نقطه اثر برآیند برای سه حالت تغییر مکان دیوار بیان شده است.

Fang و Ishibashi در سال ۱۹۸۷ رانش فعال دینامیکی وارد به دیوار حائل صلب را بر حسب مشاهدات حاصل از مدل آزمایشگاهی میز ارتعاش برای حالات

دیوار حائل به لحاظ اثرگذاری قابل ملاحظه بر سایر ابعاد مدل، یک صفحه فلزی صلب به طول ۵۰ سانتیمتر و ارتفاع ۶۰ سانتیمتر انتخاب گردید تا ضمن قابل قیاس بودن نتایج این پژوهش با نتایج مطالعات سایر محققان در مقیاس مطالعات آزمایشگاهی، ابعادی متوسط (نه خیلی کوچک و نه در مقیاس بسیار بزرگ) داشته باشد. مهمترین عاملی که ابعاد دیوار اثر گذار بر آن خواهد بود، عمق خاک در پشت آن یعنی طول تانک یا مخزن آزمایش می باشد. با توجه به اینکه در مطالعات مورد نظر امکان شکل گیری حالات رانش فعال و نیز رانش مقاوم در پشت دیوار بایستی کاملاً فراهم گردد و در این حالات جدار تانک آزمایش در مقابل دیوار بایستی محدودیت و تأثیری ایجاد کند با استفاده از زاویه صفحات لغزش مقاوم خاک و ارتفاع دیوار و مشخصات مقاومتی خاک مورد مطالعه در متراکم ترین حالت محاسبات ذیل انجام گردید:

زاویه صفحه لغزش مقاوم با افق:

$$\alpha = 45 - \frac{\varphi}{2}$$

زاویه اصطکاک مصالح در متراکم ترین حالت:

$$\varphi = 45^\circ$$

$$\alpha = 45 - 22.5 = 22.5, L =$$

$$\frac{H}{\tan \alpha} = \frac{50}{\tan 22.5} = 120.7 \text{ cm}$$

به این ترتیب عمق خاک در پشت دیوار برابر ۱۲۵ سانتیمتر انتخاب گردید تا نه تنها مطالعه حالات فعال بلکه در صورت نیاز مطالعات حالات مقاوم نیز با این مدل امکان پذیر باشد. در خصوص عرض تانک نیز با توجه به طول دیوار، اندازه گیریهای اولیه و مختلفی صورت پذیرفت که در چه فاصله ای شرایط طرفین حداقل اثر را بر مقادیر رانش خواهد داشت.

بر مبنای نتایج این ارزیابیها و نیز مدلهای انتخابی توسط سایر محققان، افزایش ۱۰ سانتیمتر از هر طرف کافی بود. به همین دلیل عرض تانک جهت پرهیز از حجم زیاد و بروز مسائل اجرایی در آماده کردن ترانشه مورد نظر برابر ۸۰ سانتیمتر و ارتفاع آن هم با توجه به لحاظ کردن ضخامت کوچکی از خاک (۸ سانتیمتر) زیر تراز دیوار و امکان تنظیم سربارهای ثابت توسط ضخامت خاکریز ۷۵ سانتیمتر انتخاب گردیده است.

پیرامون آنها نیازمند گزارشات مفصل و گسترده ای خواهد بود، لیکن با توجه به تنوع و تعداد عوامل موثر در رفتار متقابل خاک و دیوارحائل و پیچیدگی خاص مسئله اندرکنش میان این دو محیط، امکان دستیابی به یک شناخت جامع و همه جانبه که براحتی بتوان رفتار دیوار حائل را تحت هر شرایط خاصی با دقت و اعتبار بالا تخمین زد، هنوز فراهم نگردیده است. به همین دلیل علیرغم وجود نتایج تجربی و تحلیلی نسبتاً قابل ملاحظه ای در این زمینه، منحنی توزیع رانش خاک پشت دیوار و نقطه اثر آن در شرایط بارهای دینامیکی با ابهاماتی مواجه بوده و به روشنی در استانداردها و آئین نامه های طراحی وارد نشده است.

نتایج و اطلاعات بمراتب وسیعتر و گسترده تری در این زمینه مورد نیاز خواهد بود، تا بتوان به جمع بندی و نظرات روشن تری در خصوص رفتار متقابل خاک و دیوار در شرایط بارهای دینامیکی پرداخت. در این راستا در آزمایشگاه مکانیک خاک و ژئوتکنیک دانشگاه صنعتی امیر کبیر اقدام به طراحی و ساخت یک مدل فیزیکی خاصی شده است که به کمک آن بتوان رانش دینامیکی خاک تحت اثر سربارهای سیکلی را در شرایط مختلف مورد ارزیابی و مطالعه قرار داد. این مدل که قادر خواهد بود علاوه بر تغییر شرایط سربار و خاک، شرایط دیوار را از نقطه نظر درجه و میزان آزادی عمل تحت بررسی و مطالعه قرار دهد از چهارقسمت تانک آزمایش، مدل دیوار حائل، سیستم بارگذاری و سیستم قرائت و ضبط داده ها تشکیل گردیده است. در بخشهای بعدی هر یک از این قسمت ها تشریح خواهد شد. در شکل (۱) تصویر عمومی مدل مذکور به همراه کلیه ضوابط و ملحقات مربوطه ارائه شده است.

## آنالیز ابعادی و اثر مرزها

شرایط مرزی در ساخت مدل های فیزیکی حائز اهمیت فراوانی می باشد. در آزمایشگاه بدلیل محدودیتهای موجود، بناچار بایستی ابعاد مدل را تا حد امکان محدود انتخاب کرد. البته این محدودیت تا جایی قابل قبول می باشد که اثر مقیاس و شرایط مرزی، تأثیر قابل ملاحظه ای بر مدل نداشته باشد. در مطالعه حاضر مدل



شکل ۱: تصویر عمومی مدل فیزیکی ساخته شده به همراه کلبه ضمائم و ملحقات سیستم مربوطه.

به منظور نصب و استقرار مدل دیوار حائل پیش بینی شده است. به قسمت تحتانی مخزن، صفحه ای فلزی و کاملاً صلب به ابعاد  $۹۰ \times ۱۳۰$  سانتیمتر جوش شده است. جهت تخلیه خاک از داخل مخزن، دریچه ای به ابعاد  $۲۵ \times ۲۵$  سانتیمتر در وسط صفحه مذکور تعبیه گردیده است.

برای ایجاد شرایطی مشابه شرایط محلی، مدل دیوار حائل حدوداً ۸ سانتیمتر بالاتر از کف مخزن واقع شده است. به منظور مشاهده وضعیت خاک داخل مخزن و هم چنین کاهش اثرات اصطکاک دیواره های جانبی، صفحه شفاف از جنس Plexy Glass به ضخامت ۲ سانتیمتر به هر یک از وجوه جانبی مخزن نصب گردیده است.

#### سکو ریل

به قسمت تحتانی مخزن خاک چهار عدد چرخ چدنی توسط پایه های فولادی جوش شده است. این چرخ ها طوری طراحی شده اند که براحتی روی ریل قرار گرفته و امکان جابجایی طولی مخزن خاک را فراهم می سازند. جهت ایجاد امکان جابجایی طولی مخزن خاک از دو ریل به طول  $۲/۵$  متر استفاده شده است. این طول طوری پیش بینی شده که اولاً امکان اعمال بار قائم در دورترین نقطه

#### تانک آزمایش

این مجموعه شامل مخزن خاک، سکو و ریل و سیستم بارش بوده که در ادامه هر کدام تشریح خواهد شد:

#### مخزن خاک

مخزن خاک یک تانک مکعب مستطیل با قاب فولادی به ابعاد داخلی  $۱۲۵ \times ۸۰$  و ارتفاع ۷۵ سانتیمتر بوده که اسکلت اصلی آن از ناودانی نمره ۸ می باشد. ابعاد این تانک با توجه به مدل دیوار و نوع خاک مورد استفاده، و سایر مدل های فیزیکی طراحی شده، به گونه ای انتخاب گردیده است که ضمن فراهم ساختن امکان شکل گیری کامل ناحیه فعال و صفحه لغزش در داخل خاک در شرایط حدی و بارهای گسیختگی، بیش از حد مورد نیاز بزرگ نباشد تا امکان پر و تخلیه کردن مخزن در زمان نسبتاً معقولی میسر باشد. اسکلت مخزن دارای دو کلاف اصلی فوقانی و تحتانی از ناودانی ۸ است که جهت استحکام کافی بوسیله تعدادی ناودانی های عمودی به یکدیگر متصل گردیده اند. سه وجه جانبی تانک ثابت و صلب بوده و دروجه چهارم فضائی به ابعاد حدودی  $۵۰ \times ۶۰$  سانتیمتر

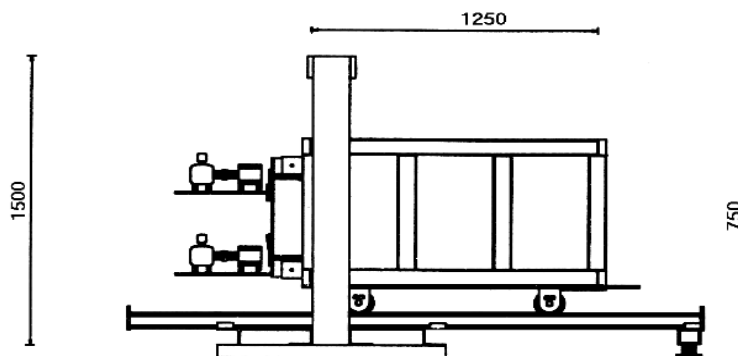
یکنواختی قابل قبول بوده و هم قابلیت تکرار مجدد را خواهند داشت.

Sherif و همکاران در سال ۱۹۸۴ برای پر کردن مخزن خاک جهت انجام آزمایش ها ، سیستم بارش را مورد استفاده قرار دادند [۱۲]. آزمایش ها ی مزبور جهت تعیین مقدار و توزیع رانش فعال استاتیکی در حالت سکون و دوران حول قاعده دیوار انجام شده بود. دستگاه بارش مورد استفاده در این تحقیقات شامل تکیه گاه اصلی، سیستم بالا بر، مخزن متحرک ماسه و صفحات مشبک (سوراخ دار) می باشد. سیلندر پنوماتیک بر روی تیر افقی صلب قاب اصلی قرار گرفته است . در چهار طرف سیلندر به قطر داخلی ۱۶ سانتیمتر، چهار میله قرار دارد که در بالای میله ها یک صفحه به عنوان تکیه گاه اصلی کل سیستم بارش نصب گردیده است. روی صفحه پایه لوله ای به ضخامت مناسب جوش داده شده است. داخل این لوله دو بلبرینگ قرار دارد. شافت بازوی سیستم بارش داخل این بلبرینگ ها قرار گرفته و براحتی می تواند دوران نماید. برای تنظیم ارتفاع مخزن بارش، از یک سیستم مکانیکی استفاده شده است. این سیستم بوسیله کابل و قرقره می تواند مخزن بارش ماسه را در امتداد قائم حرکت داده و در ارتفاع مورد نیاز توسط ضامن مربوطه ثابت نگهدارد. بطوری که هیچگونه تغییری در ارتفاع مخزن هنگام بارش ماسه بوجود نیاید. با استفاده از بازوی افقی که در بالای سیستم نصب شده است، امکان چرخش مخزن بارش در صفحه افقی جهت پوشش تمام قسمت های مخزن خاک میسر می گردد. جهت رسیدن به دانسیته ای یکنواخت در اعماق مختلف مخزن خاک و هم چنین برای کنترل شدت بارش، از صفحات مشبک با قطر سوراخ های مختلف استفاده شده است. بنابر این جهت تهیه نمونه ابتدا درب تحتانی مخزن بسته شده و سپس صفحه مشبک مورد نظر در داخل شیار قرار گرفته و ماسه در مخزن پر می گردد. با تنظیم ارتفاع دستگاه بارش و باز شدن دریچه، بارش ماسه از داخل صفحه مشبک آغاز می گردد. پر کردن مخزن خاک در چهار مرحله صورت می پذیرد. جهت کنترل یکنواختی دانسیته در هر مرحله خاکریزی، ظرفی استوانه ای شکل با ارتفاعی معادل ضخامت خاک، در محل های مختلف قرار داده شده و با توجه به وزن خاک

از محل قرارگیری دیوار حائل را فراهم نموده و ثانیاً بتوان با جابجایی مخزن ، خاک را با تراکم یکنواخت داخل آن جای داد. همان طور که در شکل (۲) ملاحظه می گردد، برای جلوگیری از خروج مخزن خاک، صفحاتی به قسمتهای انتهایی هر یک از ریل ها جوش شده است. به منظور اتصال ریل ها به قاب بار گذاری از صفحه ای به ابعاد  $۸ \times ۹۵۰ \times ۱۰۰۰$  میلیمتر استفاده شده است. صفحه مزبور که به عنوان سکو مورد استفاده قرار می گیرد توسط چهار نبشی به پایه قاب اصلی متصل می شود . ریل ها توسط چهار نگهدارنده به سکو متصل شده اند . طول و نحوه قرار گیری ریل ها طوری در نظر گرفته شده است که امکان اعمال بار قائم را در طول کل مخزن امکان پذیر می سازد . با جابجایی مخزن خاک می توان تا ثیر موقعیت اعمال بار را روی رانش خاک بررسی نمود . جهت ثابت نگهداشتن مخزن و جلوگیری از حرکت آن هنگام اعمال سر بار با فاصله مشخص و مورد نظراز دیوار از یک سیستم قفل و ترمز مکانیکی استفاده شده است .

### سیستم بارش

یکی از مراحل مهم در انجام تحقیقات ، نحوه آماده سازی نمونه های آزمایشی است . روشهای مختلفی جهت آماده سازی نمونه های ماسه ای خشک از قبیل تراکم، ارتعاش و بارش می تواند در آزمایشگاه بکار رود. آنچه در این تحقیق بسیار مهم و حائز اهمیت است، روشی مناسب برای آماده سازی خاک با تراکم و تخلخل مشخص و تکرار پذیری مناسب برای شرایط آزمایشگاهی کنترل شده می باشد. از این رو بر اساس نتایج بدست آمده از مطالعات Kolbuzewski روش بارش برای آماده سازی خاک بکار گرفته شده است [۱۱]. در این روش، ماسه از یک ارتفاع معین و با یک سرعت بارش ثابت داخل مخزن خاک ریخته می شود. تغییر ارتفاع و هم چنین شدت بارش می تواند موجب تغییر دانسیته خاک گردد. به همین دلیل برای یک نوع ماسه خاص ، با استفاده از صفحات مشبک مختلف (با سوراخ های متفاوت) و انتخاب ارتفاعات ریزش گوناگون ، دستگاه بارش قبلا کالیبره می گردد، در نتیجه می توان تراکم های مختلف را بطور مناسب به دست آورد. بدین ترتیب نمونه های آماده شده هم از نظر



شکل ۲: مقطع طولی مخزن خاک به همراه قاب اصلی و سیستم محرک دیوار حائل (ابعاد بر حسب میلیمتر).

دیوارحائل چهار تکیه گاه لولایی جهت انتقال حرکت سیستم محرک به دیوار تعبیه شده است. فاصله مرکز به مرکز این تکیه گاه ها در امتداد افقی ۳۳ و در امتداد عمودی ۴۱/۵ سانتیمتر می باشد. مدل دیواره حائل طوری طراحی شده است که می تواند حالت های سکون، انتقال، دوران حول قاعده و دوران حول راس را دارا باشد. این کار با استفاده از دو الکترو موتور گیر بکس دار انجام می پذیرد حرکت موتورها توسط چهار میله محرک به دیوار حائل منتقل می شود. نوع موتورها و سیستم محرک دیوارها طوری انتخاب شده است که پراحتی بتوانند میزان جابجائی یا دوران لازم جهت ایجاد شرایط فعال در خاک پشت دیوار را ایجاد نمایند. سیستم محرک دیوار حائل شامل صفحه اصلی، پایه های اتصال سیستم به مخزن خاک، الکترو موتور های گیربکس دار، سیستم کنترل اتوماتیک، تکیه گاه های قرار گیری موتورها، میله های محرک، دنده زنجیر، کوپلینگ و قاب الکترو موتورها می باشد. برای راه اندازی الکترو موتورها از سیستم کنترل اتوماتیک استفاده شده است. چرخش شافت الکترو موتورها توسط کوپلینگ به گیر بکس انتقال یافته و بعد از کاهش دور، حرکت شافت خروجی گیر بکس توسط چرخ دنده به میله های محرک و سپس دیوار حائل منتقل می شود. حرکت هر الکترو موتور توسط دو میله به دیوار انتقال می یابد. به عبارتی می توان گفت که پایداری جانبی و حرکت مدل دیوارحائل توسط میله های مزبور انجام می شود. یک طرف این میله ها به تکیه گاه لولایی پشت

داخل ظرف و حجم آن، دانسیته خاک بدست می آید. این عمل در آزمایش های مختلف تکرار گردیده است. نتایج حاصله نشانگر آن است که به همین روش می توان نمونه هائی با دانسیته یکنواخت و تکرارپذیری مناسب را آماده نمود.

### مدل دیوار حائل

مدل دیوار حائل در یکی از وجوه جانبی مخزن قرار می گیرد. ابعاد دیوار حائل بگونه ای انتخاب گردیده است که با توجه به محدودیتها ی آزمایشگاهی، مدلها ی مشابه سایر محققین، نوع و اندازه مصالح مورد مطالعه، حد اقل اثر مقیاس را داشته و با توجه به ابعاد و مشخصات تانک آزمایش پراحتی قادر باشد تا در شرایط مختلف، ناحیه فعال خاک را در پشت دیوار در داخل تانک آزمایش ایجاد نموده و در شرایط بارهای حدی، بدون برخورد با وجه صلب مقابل، صفحات گسیختگی ایجاد گردد. دیوار حائل فولادی به این ترتیب دارای طول ۵۰ و ارتفاع ۶۰ سانتیمتر بوده و ضخامت آن طوری انتخاب شده است که رفتار آن صلب باشد. دیوار حائل بطور قائم توسط دو ساچمه و بطور جانبی توسط چهار میله تثبیت شده است. ساچمه های مزبور به منظور کاهش اصطکاک و سهولت حرکت مدل دیوار حائل مورد استفاده قرار گرفته اند. در قسمت مرکزی دیوار حائل پنج سوراخ مربع شکل برای قرار گیری ترانسدیوسرها ی مرکب (جهت اندازه گیری همزمان فشار و برش) خاک تعبیه شده است. فاصله مرکز به مرکز این سوراخها ۱۰ سانتیمتر می باشد. در وجه پشتی مدل

این قاب شامل دو پایه، دو ستون قوطی شکل به طول ۱۵۰ سانتیمتر و یک تیر فوقانی به طول ۱۱۰ سانتیمتر می باشد. در روی تیر فوقانی شکافی به طول ۷۵ سانتیمتر ایجاد شده تا امکان عبور محور سیستم بارگذاری از داخل آن در حین اعمال بار قائم فراهم گردد.

با استفاده از یک سیستم مکانیکی که به تیر فوقانی متصل شده است می توان موقعیت قرار گیری سیلندر پنوما تیک را در طول شیار مذکور جابجا کرد و محل اعمال بار را در امتداد عرض مخزن خاک تغییر داد. برای اعمال سربارهای استاتیکی و سیکلی قائم در فواصل مختلف از مدل دیوارحا ثل، می توان بعد از آزاد نمودن ترمز مکانیکی چرخ به ریل، مخزن خاک را در امتداد ریل ها به آرامی به حرکت در آورد. کمپرسور هوای مورد استفاده دارای مخزنی به حجم ۳۵۰ لیتر بوده و حداکثر فشار مجاز داخلی آن ۱۵ کیلو گرم بر سانتیمتر مربع می باشد. به منظور ایجاد سربارهای سیکلی قائم با شدت های مخلف از دو سیلندر به قطر های ۸ و ۱۶ سانتیمتر استفاده شده است. اگر حداکثر فشار داخلی سیلندرهاى مذکور به ۱۰ کیلو گرم بر سانتیمتر مربع محدود شود، نیروهای حداکثر تولیدی توسط این سیلندرها به ترتیب ۵۰۰ و ۲۰۰۰ کیلو گرم خواهد بود. بخش کنترل کننده که بر روی پایه قاب اصلی نصب شده است، قابلیت اعمال بار قائم با دامنه، فرکانس و تعداد سیکل های مختلف را دارد. سیستم کنترل بار سیکلی شامل رگلاتور، فشار سنچ و سیستم فرمان الکترونیکی می باشد. سربارهای قائم بر بالای خاک و در قسمت پشت دیوار حائل از طریق پی های منفرد و یا نواری به ابعاد و موقعیت مختلف قابل اعمال میباشند.

### سیستم قرائت و ضبط داده ها

سیستم قرائت و ضبط داده ها در مدل طراحی شده شامل دستگاه جمع آوری اطلاعات<sup>۲</sup>، کامپیوتر، ترانسیدوسرهای تنش، نیرو و تغییر مکان می باشد. بعلا تعداد قابل ملاحظه اطلاعاتی که بوسیله ترانسیدوسرها جمع آوری می گردد، از یک سیستم جمع آوری اطلاعات الکترونیکی استفاده شده است. در شکل (۴) قسمتهای مختلف سیستم قرائت و ضبط داده ها نشان داده شده است.

دیوار حائل مربوط شده و طرف دیگر آنها به چرخ دنده ها ارتباط دارد. چرخش الکترو موتور باعث تغییر طول این میله ها شده و لذا منجر به جابجایی افقی دیوار حائل در امتداد میله مزبور می گردد. با استفاده از این سیستم تکیه گاهی خاص می توان هر نوع جابجایی و یا دوارن را به میزان مورد نظر به مدل دیوار حائل اعمال نمود. اگر الکتروموتورها همزمان در وضعیت روشن قرار گیرند، حرکت انتقالی در مدل دیوار حائل بوجود می آید. در صورتی که فقط موتور فوقانی در وضعیت روشن قرار گرفته باشد، دوران حول قاعده در دیوار ایجاد می گردد. با روشن نمودن الکتروموتور تحتانی و خاموش بودن الکتروموتور فوقانی، می توان دوران حول راس را در دیوار بوجود آورد.

### سیستم بارگذاری

جهت تولید و اعمال بارهای استاتیکی و سیکلی قائم از یک سیستم پنوماتیک استفاده شده است. بخش های مختلف این سیستم شامل منبع هوای فشرده، شیر قطع و وصل هوا، شیر کنترل جریان، فیلتر های هوا، شیرتنظیم فشار، شیر برقی اتوماتیک، شمارنده تعداد سیکل ها، سیلندرهاى بادی دو طرفه و فشار سنچ ها می باشد. در شکل (۳) قسمتهای مختلف سیستم بارگذاری نشان داده شده است.

با استفاده از سیستم مورد نظر می توان بارهای استاتیکی، بارهای سیکلی قائم با دامنه، تعداد سیکل و فرکانس های مختلف تا یک هرتز را اعمال نمود. سیلندر پنوماتیک مذکور، سیلندری است که در عمل دارای اصطکاک ناچیز بوده و بوسیله هوای فشرده کار می کند. فشار داخل سیلندر بوسیله یک محور بر روی صفحه بار گذاری و در نهایت به خاک انتقال می یابد. از آنجایی که سیلندر پنوماتیک مورد استفاده دو طرفه است، هنگامی که فشار هوا برداشته می شود. بوسیله شیر برگشتی محور سیلندر از روی صفحه بارگذاری جدا می گردد. و فشار از روی خاک برداشته می شود.

لذا می توان بار سیکلی را به سطح خاک وارد نمود. جهت نصب سیستم بارگذاری سیکلی، سیستم بارش، سکووریل و ملحقات دیگر از قاب اصلی استفاده شده است.



شکل ۳: تصویری از سیستم بارگذاری طراحی شده جهت اعمال سربارهای استاتیکی و سیکیلی به خاک پشت دیوار حائل.



شکل ۴: تصویری از سیستم قرائت و ضبط داده ها شامل دیتا لاگر، کامپیوتر، ترانسدیوسرهای تغییر مکان، نیرو و تنش.

را بصورت منظم قرائت و ضبط نمود. منحنی تغییرات پارامترهای مورد نظر بطور همزمان در صفحه کامپیوتر قابل نمایش می باشد.

برای اندازه گیری رانش جانبی خاک و تعیین توزیع آن از پنج ترانسدیوسر فشار خاک استفاده شده است که در قسمت مرکزی دیوار حائل نصب شده اند. این ترانسدیوسرها طوری طراحی و ساخته شده اند که قادر به اندازه گیری تنش های عمودی و برشی می باشند. همانطور که در شکل (۵) ملاحظه می گردد ابعاد سطح تماس این ترانسدیوسرها حدود  $35 \times 35$  میلیمتر است. جنس این ترانسدیوسرها از آلومینیوم می باشد. این آلیاژ

سیگنالهای آنالوگ از ترانسدیوسرهای اندازه گیری با سرعت بالا توسط یک دستگاه Data Logger دریافت و با استفاده از مبدل موجود در آن به صورت دیجیتال در آمده که می توانند براحتی در کامپیوتر ذخیره گردند. واحد قرائت و ضبط داده ها که جهت استفاده در این مدل فیزیکی طراحی و ساخته شده است، دارای ۶۰ کانال بوده و آدرس دهی بین کانالها توسط فرمانی که از کامپیوتر به دستگاه جمع آوری اطلاعات صادر می شود، انجام می گردد. سیستم حاضر، قادر به جمع آوری ده نمونه در ثانیه از هرکانال می باشد. با استفاده از این دستگاه می توان کلیه فشارها، برشها، تغییر مکان ها و سربارها



می باشد. ارتفاع این استوانه ۵۰، قطر خارجی ۲۲ و قطر داخلی ۱۶ میلیمتر است. استرین گیج های مورد استفاده در این ترانسدیوسر از نوع صلیبی بوده و لذا پل و تستونی که بوجود می آید دارای دو بازوی فعال خواهد بود. کالیبراسیون ترانسدیوسر نیرو با اعمال بار با نمو مشخص توسط جک موجود در آزمایشگاه و ثبت خروجی مربوطه صورت پذیرفته است.

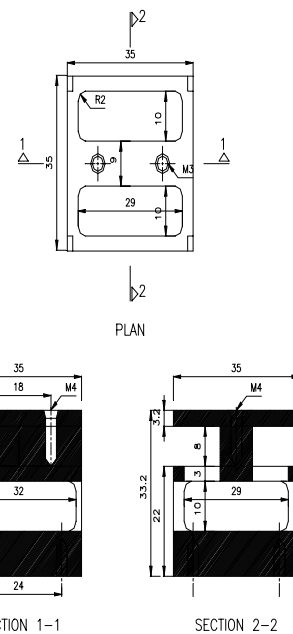
برای اندازه گیری مقدار تغییر مکان جانبی دیوار حائل صلب از دوترانسدیوسر تغییر مکان (LVDT) استفاده شده است. این ترانسدیوسر ها در امتداد محور مرکزی مدل دیوار حائل و به فاصله حدودی ۴۰ سانتیمتر از یکدیگر نصب شده اند. با استفاده از این ترانسدیوسر ها می توان تغییر مکان جانبی دیوار حائل صلب را تا مقدار ۱۱ میلیمتر قرائت و ثبت نمود.

### نوآوری و ابتکارات

مهمترین موضوعی که در این رابطه قابل ذکر است، طراحی و ساخت یک مدل فیزیکی مناسب با قابلیت های متعدد جهت مطالعه رانش خاک تحت اثر سربارهای دینامیکی می باشد. با ارزیابی و دقتیابی که در توسعه این مدل بکار گرفته شده است تاثیر پارامترهای مهم و مختلفی همچون نوع خاک، تراکم خاک، نوع سربار، موقعیت سربار و... در کمیت و کیفیت رانش های استاتیکی و دینامیکی قابل مطالعه و تعیین می باشد. ابهاماتی که در نقطه اثر و اضافه رانش دینامیکی در پشت دیوارهای حائل، علیرغم مطالعات نسبتا وسیع و متعدد در این موارد، هنوز وجود دارد، در شرایط مختلف توسط مدل طراحی شده قابل ارزیابی می باشد. با توجه به ابعاد تانک آزمایش و درجات آزادی مدل دیوار حائل طراحی شده، نه تنها رانش فعال<sup>۵</sup> بلکه شرایط رانش های مقاوم<sup>۶</sup> نیز در این مدل قابل بازسازی و مطالعه است، وضعیتی که در مدل های گذشته کمتر ملاحظه می گردد. به کمک این مدل نتایج قابل ملاحظه ای در شرایط اعمال سربارهای سیکلی بر رانش دینامیکی پشت دیوارهای حائل بدست آمده که در سایر مطالعات مشاهده نگردیده است. در ادامه مقاله، پاره ای از این نتایج ذکر شده است. لیکن بررسی و بحث کامل پیرامون مجموعه نتایج خارج از حوصله این

به دلیل اینکه در محدوده تنش های وارده بصورت خطی رفتار نموده و دارای مقاومت خوب در برابر خوردگی بوده و همچنین بسهولت قابل تراشکاری می باشد، انتخاب شده است. قبل از استفاده هر یک از این ترانسدیوسر ها عملیات کالیبراسیون صورت پذیرفته و ضرائب بدست آمده جهت تبدیل سیگنالها به کمیت های مورد مطالعه (تنش، تغییر مکان یا نیرو) به برنامه کامپیوتری سیستم داده می شود.

برای ساخت هر یک از این ترانسدیوسرها از تعدادی مقاومت الکتریکی<sup>۳</sup> استفاده شده است. این ترانسدیوسرها دارای دقت بسیار مناسبی می باشند. برای اندازه گیری مقدار دقیق بار سیکلی وارد به صفحه بار گذاری از یک ترانسدیوسر نیرو<sup>۴</sup> استفاده شده است.



شکل ۵: تصاویر ترانسدیوسرهای مرکب (دو منظوره) جهت اندازه گیری همزمان فشار و برش در روی مدل دیوار حائل (ابعاد بر حسب میلیمتر).

این ابزار الکترونیکی اندازه گیری نیرو، بین صفحه بار گذاری و محور سیلندر قرار می گیرد. با تعیین نیروی وارد به صفحه بار گذاری می توان فشار وارد بر سطح خاک را بدست آورد. ترانسدیوسر نیرو از آلیاژ آلومینیوم ساخته شده و دارای بدنه اصلی استوانه ای شکل تو خالی

نیمه بینهایت بصورت یک جسم همگن و همسان و وجود یک رابطه خطی بین تنش و کرنش، بکار می رود. شکل اصلاح شده رابطه که معمولا از آن در مسائل خاک برای محاسبه فشار جانبی در زیر گوشه یک سطح مستطیل شکل استفاده میشود، بصورت زیر است:

$$\sigma_h = q \cdot I$$

$$I =$$

$$\frac{1}{2\pi} \left[ \tan^{-1} \frac{lb}{z\sqrt{l^2 + b^2 + z^2}} - \frac{lbz}{(l^2 + b^2)\sqrt{l^2 + b^2 + z^2}} \right]$$

در این رابطه  $l$  طول،  $b$  عرض سطح بارگذاری،  $q$  فشار یکنواخت در زیر آن،  $Z$  عمق و  $a$  ضریب تاثیر می باشد. با استفاده از اصل جمع آثار می توان مقادیر فشار جانبی را در تمام نقاط چه در زیر سطح بارگذاری و چه در خارج آن بدست آورد. چنانچه هدف پیدا کردن مقدار فشار زیر نقطه ای خارج یا داخل سطح بارگذاری باشد، در آن صورت باید مستطیل را به مستطیل های دیگری طوری تقسیم کرد که آن نقطه در یک گوشه هر مستطیل قرار گیرد. سپس مقدار فشار جانبی حاصله را با توجه به مستطیل جدید محاسبه و با یکدیگر جمع نمود. در شکل (۶) نتایج حاصل از آزمایش با نمودار بدست آمده از رابطه فوق تحت اثر سربار استاتیکی ۹۰ کیلو نیوتن بر متر مربع در فاصله ۴۰ سانتیمتر از دیوار حائل با هم مقایسه شده اند. فشارهای جانبی نشان داده شده فقط تاثیر بارگذاری روی سطح خاکریز بوده و شامل رانش خاک در اثر وزن خاک نمی باشد.

همانطور که ملاحظه می گردد، تا عمق ۱۰ سانتیمتر، نتایج حاصل از آزمایش ها دارای توافق خوبی با رابطه تئوری می باشند. رابطه خطی تنش - کرنش در مواردی که مقادیر تنش ها در مقایسه با مقادیر حدی کوچک باشد، تقریبا درست است. استفاده از تئوری الاستیسیته، به میزان قابل توجهی رفتار واقعی خاک را ساده می کند و باید توجه نمود که نتایج بدست آمده صرفا تقریبی است، چرا که خاک یک محیط کاملا ارتجاعی نبوده و می توان مقداری انحراف از رابطه را انتظار داشت.

مقاله بوده و نیازمند ارائه در یک مقاله جداگانه می باشد.

## مطالعه رانش خاک بر دیوار حائل تحت اثر سربار

با استفاده از دستگاه ساخته شده آزمایشهای زیادی انجام شده است. رانش کلی خاکهای دانه ای را می توان بصورت مجموع رانش حاصل از وزن خاک و سربار خارجی تعریف نمود. هدف از مطالعه، بررسی رانش خاک در اثر اعمال سربار بر سطح خاکریز می باشد. در حالت اعمال سربار استاتیکی، تاثیر عواملی چون شدت سربار، فاصله محل اثر بار تا دیوار، طول صفحه بارگذاری، دانسیته خاک و حرکت دیوار مورد بررسی قرار گرفته اند. در حالت اعمال سربار سیکی، علاوه بر عوامل فوق، مطالعه تاثیر تعداد سیکل و فرکانس سربار سیکی صورت پذیرفته است.

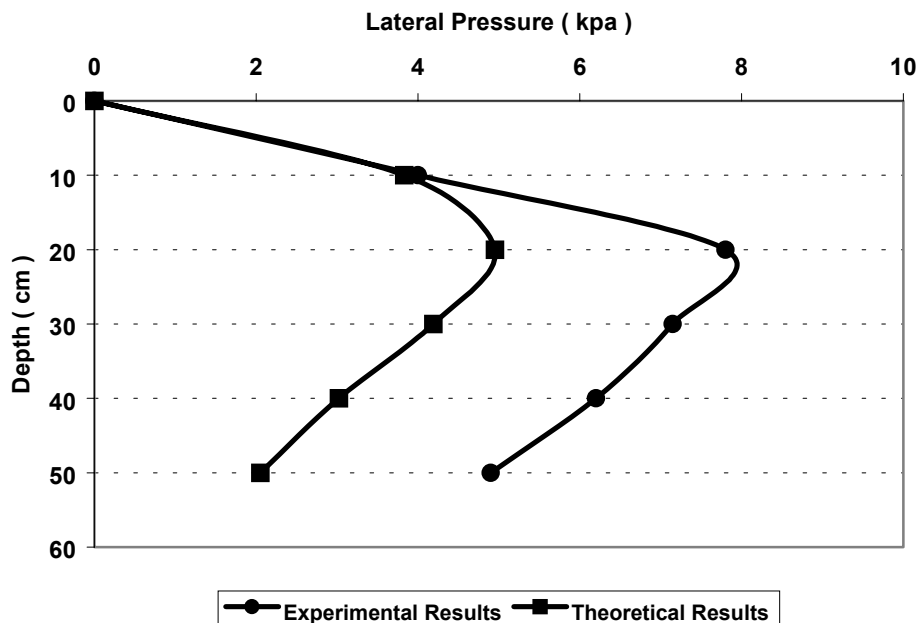
در سراسر این تحقیقات ماسه سیلیسی خشک معدن فیروزکوه، مورد استفاده قرار گرفت. خواص فیزیکی این مصالح شامل  $e_{\min} = 0.587$ ،  $e_{\max} = 0.848$ ،  $G_s = 2.659$ ،  $D_{30} = 0.93$  mm،  $D_{60} = 1.42$  mm،  $D_{10} = 0.67$  mm می باشد. این مصالح از شرکت تاوان سیلیس تهیه شده بود.

خاکریزی با استفاده از سیستم بارش با ارتفاع سقوط ۴۰ سانیمتر انجام پذیرفته است. وزن مخصوص متوسط خاک ۱۵/۱۱ کیلو نیوتن بر متر مکعب می باشد. صفحه بارگذاری مورد استفاده دارای ابعاد  $20 \times 35$  سانتیمتر بوده است. فاصله صفحه تا دیوار بصورت فاصله مرکز صفحه مزبور تا دیوار حائل در نظر گرفته شده است. در ادامه بخشی از نتایج حاصل از آزمایشهای انجام شده روی خاک در حالتی که دیوار جابجائی ندارد (At Rest)، ارائه میشود.

## مقایسه نتایج حاصل از آزمایش و رابطه

### تئوری

مکانیزم گسترش تنش به روابط تنش-کرنش خاک بستگی دارد. انجام یک تحلیل واقع بینانه به دلیل غیر خطی بودن روابط مشکل است. در عمل معمولا نتایج حاصل از کاربرد تئوری الاستیسیته با فرض توده خاک



شکل ۶: نمودار مقایسه تغییرات رانش خاک حاصل از آزمایش با رابطه تئوری تحت اثر سربار استاتیکی.

فواصل نشاندهنده فاصله مرکز صفحه بارگذاری به عرض ۲۰ سانتیمتر و طول ۳۵ سانتیمتر از دیوار حائل می باشد. نمودار تغییرات رانش خاک در شکل (۸) نشان داده شده است.

مقادیر حداکثر فشار جانبی در فواصل ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتیمتر به ترتیب ۲۶، ۹ و ۵ درصد سربار استاتیکی وارده می باشد. با افزایش فاصله از ۲۰ به ۴۰ و ۶۰ سانتیمتر، مقدار حداکثر رانش در حدود ۰/۳۳ و ۰/۵ برابر رانش در فاصله ۲۰ سانتیمتر کاهش می یابد. با افزایش فاصله سربار، اختلاف بین رانش حداکثر و رانش در قسمت پای دیوار و همچنین شیب نمودار تغییرات رانش برحسب فاصله کاهش یافته و تقریباً بصورت ثابت در می آید.

### رانش سیکلی خاک در حالت سکون

به منظور تعیین توزیع رانش خاک تحت اثر سربارهای سیکلی و بررسی عوامل موثر روی آن، تعدادی آزمایش انجام پذیرفته است. این آزمایش ها با سه شدت سربار سیکلی ۵۰، ۷۵ و ۹۰ کیلو پاسکال، سه فرکانس ۰/۱۰، ۰/۲۵ و ۰/۵۰ هرتز در سه فاصله ۲۰، ۴۰ و ۶۰

### رانش استاتیکی خاک در حالت سکون

این بخش از تحقیقات به منظور بررسی تاثیر شدت و فاصله سربار استاتیکی روی مقدار و توزیع رانش حاصل از سربار تنها انجام پذیرفته است. سه سربار استاتیکی ۵۰، ۷۵ و ۹۰ کیلونیوتن بر متر مربع در فاصله ۴۰ سانتیمتر از دیوار حائل اعمال شده اند. شکل (۷) نمودار تغییرات رانش خاک تحت اثر این سربارها را نشان می دهد.

چنانچه در شکل مشاهده می شود، رانش حاصل از سربار ابتدا تا عمق ۲۰ سانتیمتر بصورت تقریباً خطی افزایش یافته و سپس تا قسمت پای دیوار حائل بصورت غیر خطی کاهش می یابد. از طرفی می توان نتیجه گرفت که رانش حاصل از سربار تقریباً بصورت خطی با شدت سربار متناسب می باشد. برای این آزمایشها مقدار رانش حداکثر حدود ۹ درصد سربار استاتیکی وارده بوده و نقطه اثر نیروی برابند در فاصله ۴۴ درصد ارتفاع خاکریز از قاعده دیوار بدست آمده است.

جهت بررسی تاثیر فاصله سربار از دیوار، آزمایشهایی تحت اثر سربار استاتیکی ۹۰ کیلو نیوتن بر متر مربع در فواصل ۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتیمتر از دیوار حائل انجام پذیرفت. این

نتیجه گرفت که رابطه رانش جانبی نسبت به شدت سربار سیکلی تقریباً بصورت خطی بوده و فاصله محل اثر نیروی برآیند حاصل تا پای دیوار حدود ۴۴ درصد ارتفاع خاکریز می باشد.

جهت بررسی تاثیر فاصله سربار سیکلی روی رانش، آزمایش هایی انجام شده است. در شکل (۱۱) تغییرات رانش خاک در سیکل اول سربار ۹۰ کیلو نیوتن بر متر مربع با فرکانس ۵/۰ هرتز در عمق های ۱۰ و ۲۰ سانتیمتر نشان داده شده است.

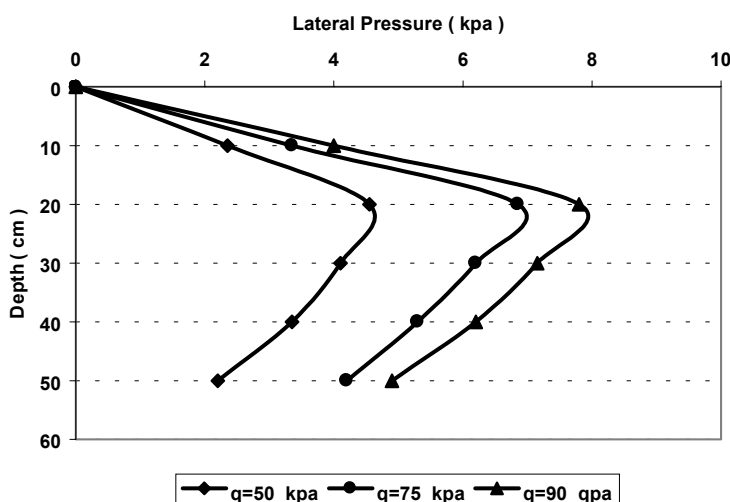
همانطور که ملاحظه می گردد با افزایش فاصله، مقدار رانش جانبی خاک در ابتدا به شدت کاهش یافته و با دور شدن سربار، شیب این تغییرات کاهش می یابد، یعنی فاصله تا حدی روی رانش تاثیر گذار است، اگر فاصله سربار از این حد بیشتر شود، تاثیر آن قابل صرف نظر است.

به منظور بررسی تاثیر فرکانس سربار سیکلی وارد بر سطح خاکریز، آزمایش هایی با سربار سیکلی ۹۰ کیلو پاسکال در فاصله ۴۰ سانتیمتر با سه فرکانس ۰/۱۰، ۰/۲۵ و ۰/۵۰ هرتز انجام شده است. در شکل (۱۲)، نمودار تغییرات توزیع رانش خاک تحت اثر سربار سیکلی با فرکانس های مختلف در سیکل اول نشان داده شده است.

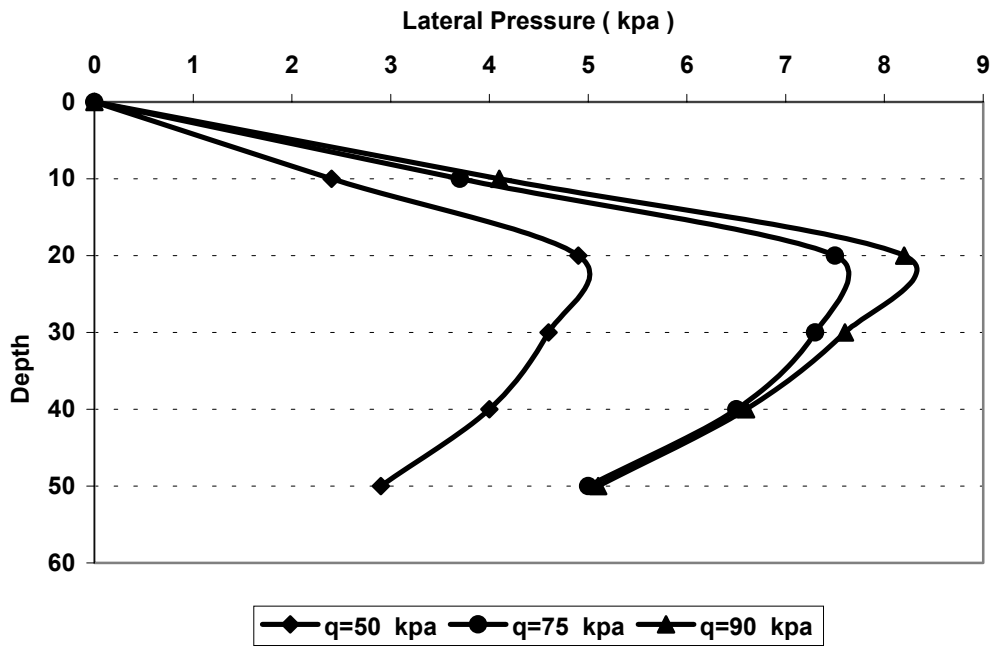
سانتیمتر از دیوار انجام شده اند. تعداد کل سیکلهای وارده برابر ۱۵۰ بوده است. بررسی های بعمل آمده نشان می دهد که بعد از اعمال حدود ۴۰ سیکل، مقدار رانش سیکلی تقریباً ثابت شده و لذا جهت بررسی، سیکل های ۱، ۱۰ و ۵۰ به عنوان نمونه در نظر گرفته شده اند. در شکل (۹) تغییرات توزیع رانش خاک در حالتی که سربار سیکلی با فرکانس ۰/۵ هرتز در فاصله ۴۰ سانتیمتر اعمال گردیده، نشان داده شده است.

همانطور که ملاحظه می گردد در این حالت نیز رانش حاصل از سربار تا عمق ۲۰ سانتیمتر تقریباً بصورت خطی افزایش یافته و سپس تا قسمت پای دیوار بصورت غیر خطی کاهش می یابد. مطالعات بعمل آمده نشان می دهد که در سیکل اول، مقدار رانش حاصل از سربار در کلیه اعماق از حالت استاتیکی بیشتر است. با افزایش تعداد سیکل مقدار رانش حداکثر کاهش می یابد. این موضوع در شکل (۱۰) نشان داده شده است.

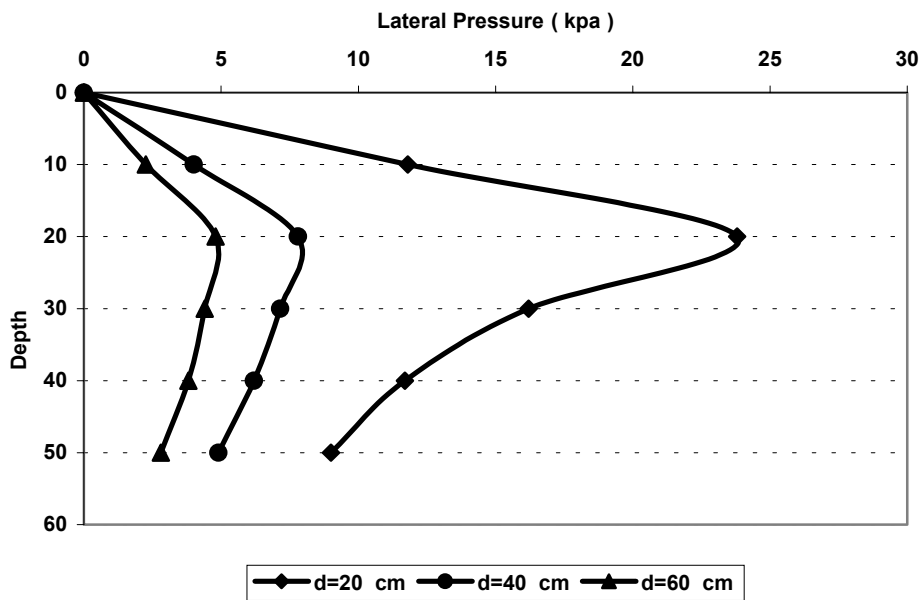
در این آزمایش سربار سیکلی ۹۰ کیلو پاسکال با فرکانس ۰/۵ هرتز در فاصله ۴۰ سانتیمتر از دیوار حائل اعمال گردید. این شکل تغییرات رانش حد اکثر را در عمق ۲۰ سانتیمتر از سطح خاکریز نشان میدهد. برای سیکل های اولیه میزان کاهش نسبتاً زیاد بوده و با افزایش تعداد سیکل از مقدار آن کاسته می شود. از طرفی می توان



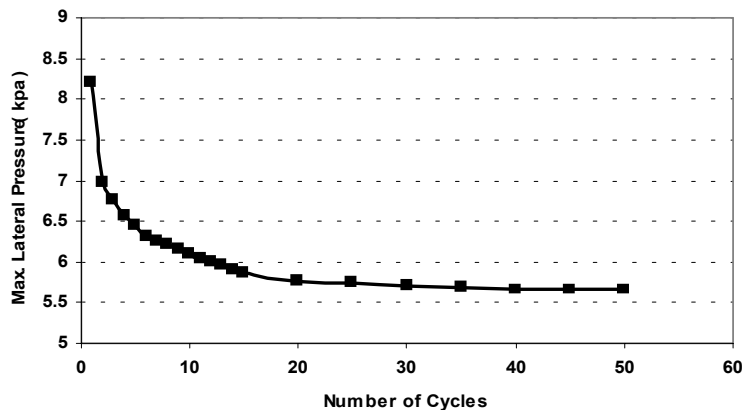
شکل ۷: نمودار تغییرات توزیع رانش خاک تحت اثر سربارهای استاتیکی در حالت سکون.



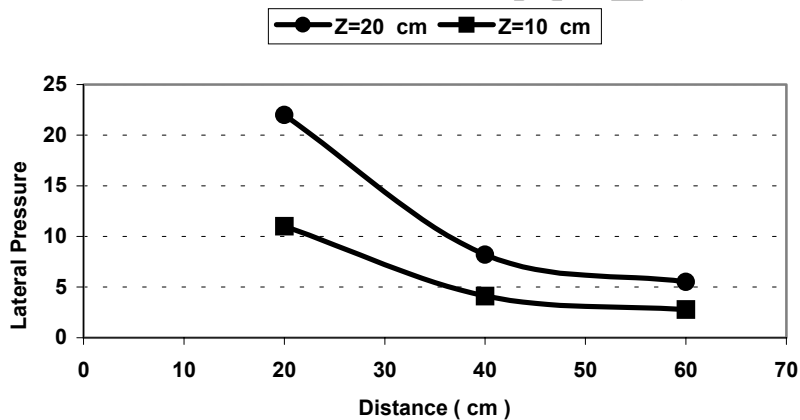
شکل ۸: نمودار تغییرات توزیع رانش خاک تحت اثر سربار استاتیکی در فواصل مختلف.



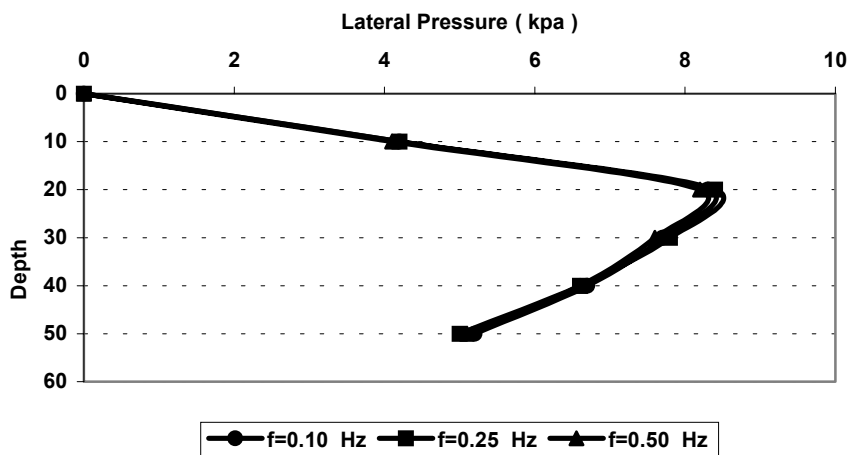
شکل ۹: نمودار تغییرات توزیع رانش خاک تحت اثر سربارهای مختلف در سیکل اول.



شکل ۱۰: نمودار تغییرات رانش حد اکثر و تعداد سیکل در عمق ۲۰ سانتیمتر از سطح خاکریز.



شکل ۱۱: نمودار تغییرات رانش خاک بر حسب فاصله از دیوار حائل در سیکل اول.



شکل ۱۲: نمودار تغییرات توزیع رانش خاک تحت اثر سربار سیکلی با فرکانس های مختلف.

## خلاصه و نتیجه گیری

بمنظور بررسی رفتار دیوارهای حائل در شرایط مختلف اقدام به طراحی و ساخت یک مدل فیزیکی شده است تا بکمک آن بتوان پارامترهای مهم و موثر در رفتار متقابل دیوار و خاک تحت شرایط کاملاً کنترل شده و مورد نظراً بصورت کمی و کیفی مورد بررسی و ارزیابی قرار داد. در این مقاله ساخت یک مدل فیزیکی برای مطالعه رانش خاک تحت اثر سربارهای استاتیکی و سیکی قائم مورد بحث قرار گرفته است. مدل فیزیکی مورد نظر شامل چهار قسمت اصلی تانک آزمایش، مدل دیوار حائل، سیستم بارگذاری و سیستم قرائت و ضبط داده ها می باشد، که کلیه مراحل طراحی و ساخت بخشهای مختلف آن در دانشگاه صنعتی امیر کبیر انجام پذیرفته است.

با استفاده از این دستگاه می توان برای خاکهای مختلف و با تراکم های متفاوت مقدار، توزیع و محل اثر برآیند رانش خاک را برای حالت های مختلف مورد مطالعه قرار داد. رانش استاتیکی خاک در حالت سکون، تاثیر نوع حرکت دیوار روی رانش فعال، رانش خاک تحت اثر سربارهای قائم استاتیکی و دینامیکی برای حالت سکون و فعال تحت اثر حالت های مختلف تغییر مکان دیوار شامل انتقال، دوران حول راس و دوران حول قاعده از جمله مواردی است که می توان با استفاده از این مدل فیزیکی مورد مطالعه و تحقیق قرار داد. تعیین ضرائب رانش جانبی، بررسی

تاثیر عرض و فاصله شالوده روی رانش استاتیکی و دینامیکی، مطالعه اثر نوع، تراکم و شیب خاکریز روی میزان و توزیع رانش خاک نیز با استفاده از مدل فیزیکی مذکور قابل انجام است.

به کمک این مدل، آزمایشهای وسیعی در شرایط مختلف انجام گرفته و نتایج قابل ملاحظه ای پیرامون کم و کیف رانش خاک بر دیوارهای حائل بدست آمده است. در این مقاله نتایج بخشی از آزمایشهای انجام شده تحت اثر سربار استاتیکی و سیکی در حالت دیوار ساکن مورد بحث قرار گرفته است. رانش کلی خاکهای دانه ای را می توان بصورت مجموع رانش حاصل از وزن خاک و سربار خارجی تعریف نمود. بررسی های بعمل آمده نشان می دهد که رانش جانبی خاک تقریباً بصورت خطی متناسب با شدت سربار است. مقدار، توزیع و محل اثر نیروی برآیند رانش خاک بستگی به فاصله سربار تا دیوار دارد. با دور شدن سربار، شیب نمودار تغییرات رانش بر حسب فاصله کاهش یافته و به سمت مقدار ثابت میل می کند. اعمال سربار سیکی قائم به سطح خاکریز باعث ایجاد رانش سیکی روی دیوار حائل شده طوری که مقدار حداکثر آن با افزایش تعداد سیکل، کاهش یافته و به سمت مقدار ثابتی میل می کند. در محدوده و شرایط مورد آزمایش، فرکانس سربار سیکی اثر محسوس و قابل ملاحظه ای روی رانش جانبی خاک نداشته است.

## مراجع

- 1 - Sherif, M. M. and Mackey, R. D. (1977). "Perssures on retaining wall with repeated loading." *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, Vol. 103, No. 11, PP. 1341-1345.
- 2 - Sherif, M. A., Ishibashi, I. and Lee, C. D. (1982). "Earth pressure against rigid retaining walls." *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, Vol. 108, NO. 5, PP.679-695.
- 3 - Sherif, M. A. and Fang, Y. S. (1984). "Dynamic earth perssures on walls rotating about the top." *Soils and Foundations*, Vol. 24, No. 4, PP.109-117.
- 4 - Fang, Y. S. and Ishibashi, I. (1986). "Static earth perssure with various wall movements." *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, Vol. 112, No. 3, PP. 317-333.
- 5 - Ishibashi, I. and Fang, Y. S. (1987). "Dynamic earth perssurs with different wall movement modes." *Soils and Foundations*, Vol. 27, No. 4, PP. 11-22.

- 6 - Andersen, G. R., Whitman, V. and Germaine, J. T. (1987). "Centrifuge modeled gravity retaining wall to seismic shaking." *Description of Tests and Initial Analysis of Results*, Report No. R87-14, Dpartement of Civil Engineering MIT, Cambridge.
- 7 - Wu, B. F. (1992). "Design and construction of national chiao tung university model retaining wall." *Masters in Nginering Thesis*, National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan.
- 8 - Fang, Y. S., Tsang, J. C. and Wu, B. F. (1994). "Passive earth pressures with various wall movements." *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, Vol. 120, No. 8, PP. 1307-1323.
- 9 - Terzaghi, K. (1941). "General wedge theory of earth pressure." *ASCE Trans.*, PP. 68-80.
- 10 - Fang, Y. S., Jiung, M. C. and Cheng, Y. C. (1997). "Earth pressurse with sloping backfill." *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, Vol. 123, No. 3, PP. 250-259.
- 11 - Kolbuzewski, J. (1948). "An experimental study on the maximum and minimum porosities of sand." *Proceedings of the 2nd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Rotterdam, Vol. I, PP.158-165.
- 12 - Sherif, M. A., Yung, S. F. and Russell, I. S. (1984). " $K_a$  and  $K_0$  behind rotating and non- yielding walls." *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, Vol. 110, No. 1, PP. 41-56.

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - AtRest
- 2 - Data Logger
- 3 - Strain-Gauge
- 4 - Load Cell
- 5 - Active
- 6 - Passive