

## مطالعه آزمایشگاهی جابجایی‌های دیوار و نشست سطح زمین ناشی از گودبرداری‌های عمیق توسط مدلسازی فیزیکی

جعفر بلوری بزاز<sup>۱\*</sup>، محمود عبدالهی<sup>۲</sup>

۱- دانشیار دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، [bolouri@um.ac.ir](mailto:bolouri@um.ac.ir)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش ژئوتکنیک، دانشگاه فردوسی مشهد، [mahmood.abdollahi@stu.um.ac.ir](mailto:mahmood.abdollahi@stu.um.ac.ir)

⋮

### چکیده

یکی از مهم‌ترین مسائل رایج در صنعت ساخت و ساز ساختمانی دنیای امروز، نیاز به گودبرداری‌های عمیق در مناطق متراکم شهری می‌باشد. گودها می‌توانند باعث انحراف جانبی دیوار و حرکت زمین شوند که ممکن است باعث آسیب به ساختمان‌ها و تجهیزات مجاور شود. لذا گودبرداری و سازه نگهبان به عنوان یکی از مسائل چالش برانگیز در مهندسی عمران به شمار می‌رود. در این پژوهش به مطالعه آزمایشگاهی دیوار حائل شمع درجا با مهاربندی انکراژ در خاک ماسه‌ای پرداخته شده است. در این آزمایشات، دو پارامتر تأثیرگذار بر رفتار دیوار مورد بررسی قرار گرفت. این دو پارامتر عبارتند از: وجود سربار در مجاورت گودبرداری و نیز، نحوه گیرداری انتهای شمع‌های سازه نگهبان در مدل مذکور. نتایج آزمایشات در این پژوهش حاکی از آن است که نسبت بیشینه تغییر مکان جانبی دیوار ( $\delta_{hm}$ ) به عمق گودبرداری ( $H$ ) در محدوده ۰/۲۱-۰/۳۹ قرار دارد. همچنین، نسبت بیشینه نشست سطح زمین ( $\delta_{vm}$ ) به عمق گودبرداری در محدوده ۰/۵۰-۰/۶۹ می‌باشد. نتایج آزمایش حاکی از آن است در صورت عدم وجود سربار در مجاورت گودبرداری، نشست سطح زمین و بیشینه جابجایی جانبی دیوار در حالت انتهای آزاد (بستر نرم) کمتر از حالت انتهای گیردار شمع‌ها است. همچنین، در حالت انتهای آزاد شمع، بیشینه تغییر مکان جابجایی جانبی دیوار در حالت وجود سربار در مقایسه با حالت عدم وجود سربار بر مجاورت گودبرداری، بیشتر است.

واژه‌های کلیدی: گودبرداری، مطالعه آزمایشگاهی، نشست، جابجایی دیوار.

### ۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین مسائل رایج در صنعت ساخت و ساز ساختمانی دنیای امروز، نیاز به گودبرداری‌های عمیق در مناطق متراکم شهری می‌باشد. گودبرداری در مواردی انجام می‌شود که باید تمام یا قسمتی از ساختمان پایین‌تر از سطح زمین طبیعی احداث شود. در بسیاری از مکان‌ها به دلیل کوچک بودن قطعات زمین و همچنین، فاصله ناچیز ساختمان‌ها از یکدیگر سبب شده است که گودبرداری امری دلهره آور و نگران کننده برای مالکان ساختمان‌ها و همسایگان باشد. در سال‌های اخیر با افزایش تراکم و تعداد طبقات و نیاز به تأمین پارکینگ و سایر سطوح خدماتی در ساختمان‌ها، عمق گودبرداری نیز بیشتر شده است. گودبرداری‌های عمیق تأثیر بسزایی در تغییر توزیع تنش در لایه‌های خاک و همچنین جابجایی زمین دارند. در نتیجه تخمین خسارت ناشی از گودبرداری بر روی سازه‌های مجاور گود از اهمیت بالایی برخوردار است. لذا، عدم دقت در طرح، محاسبه و اجرای گودبرداری‌ها و سازه نگهبان‌های مهارکننده در مناطق شهری و در مجاورت ساختمان‌ها می‌تواند خسارات

جانی و مالی گسترده‌ای در پی داشته باشد. لذا، گودبرداری و سازه نگهبان یکی از مسائل چالش برانگیز در مهندسی عمران به شمار می‌رود. بنابراین آنچه اهمیت دارد این است که تغییر شکل‌های نامطلوب زمین و جابجایی‌های به وجود آمده ناشی از گودبرداری‌های عمیق پیش بینی شوند تا اثرات و خسارت‌های این تغییر شکل‌ها به حداقل برسند. میزان و شکل جابجایی دیوار ناشی از گودبرداری‌های عمیق بستگی به عوامل متعددی از قبیل: شرایط خاک و سطح آب زیرزمینی، سربار، وجود و مجاورت سازه‌ها، روش‌های ساخت، نوع و روش نصب مهارها، فاصله و سختی مهارها، شرایط ژئوتکنیکی و غیره دارد. مطالعات زیادی بر روی رفتار دیوار بر اثر گودبرداری‌های عمیق پرداخته‌اند [۱-۴]. همچنین، چندین مطالعه در مورد جابجایی‌های زمین ناشی از گودبرداری در رس‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند [۵-۷]، اما تعداد کمی گودبرداری در ماسه‌ها را مورد بررسی قرار داده‌اند [۸-۱۰].

یکی از روش‌های متداول در پایدارسازی و حفاظت جداره‌ها، استفاده از سیستم سازه نگهبان دیوار حائل شمع درجا با مهاربندی انکراژ می‌باشد. لذا در این پژوهش به مطالعه آزمایشگاهی سیستم بیان شده در خاک ماسه‌ای پرداخته شده و رفتار مشاهده شده زمین و دیواره گود ناشی از گودبرداری مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. بنابراین، در این مقاله سعی شده است با انجام آزمون‌هایی در مقیاس آزمایشگاهی توسط مدلسازی فیزیکی، عملکرد دیواره گود، زمین و سازه‌های مجاور گود با توجه به پارامترهای تأثیرگذار بر روی آنها را مورد بررسی قرار دهیم.

## ۲- توصیف مدلسازی فیزیکی

مدلسازی فیزیکی یکی از روش‌های معتبر برای بررسی این روش‌ها و تأیید صحت محاسبات می‌باشد. مدلسازی فیزیکی عبارت است از ساختن مدل مقیاس شده‌ای از ابنیه ژئوتکنیکی و انجام بارگذاری لازم بر روی آن برای شبیه سازی شرایط واقعی است. مدلسازی فیزیکی برای ارزیابی صحت تحلیل‌های عددی تنش - تغییر شکل و پایداری به کار می‌رود. روش‌های مدلسازی فیزیکی دو نوع می‌باشد؛ مدلسازی کوچک مقیاس و مدلسازی با دستگاه سانترفیوژ. در منابع فنی روابطی جهت انتخاب صحیح نسبت ابعادی وجود دارد که می‌توانند مورد بررسی قرار گیرند. استفاده از مدلسازی فیزیکی یا کوچک مقیاس روشی است که در مهندسی ژئوتکنیک سابقه‌ای دیرینه دارد. ون [۱۱] اولین کسی بود که استفاده از مدل شمع را گزارش کرد و مطالعات خود را بر روی شمع‌های مایل و قائم متمرکز کرد. همچنین، مطالعاتی جهت بارگذاری جانبی شمع در خاک‌های چسبنده توسط مدل فیزیکی انجام شد [۱۲]. آزمایشات استاتیکی و سایکلک بر روی گروه‌های شمع مدفون در خاک‌های ماسه‌ای انجام و به این نتیجه رسیدند که اثر گروه برای زمانی که فاصله شمع‌ها بیش از هشت برابر قطر شمع باشد، ناچیز است [۱۳].

همان‌طور که قبلاً ذکر شد در این مقاله به مطالعه آزمایشگاهی رفتار گودبرداری در خاک ماسه‌ای با استفاده از مدلسازی فیزیکی پرداخته خواهد شد. جهت رسیدن به اهداف مورد نظر در این پژوهش، مدل فیزیکی شامل یک جعبه فلزی به عنوان محیط گود به طول دو متر، عرض و ارتفاع یک متر می‌باشد. همچنین جعبه فوق دارای فضای کافی جهت بارگذاری سازه به عنوان سربار موجود در مجاورت محل گودبرداری می‌باشد. جداره‌های این جعبه توسط طلق‌های شفاف جهت مشاهده روند پیشروی آزمایشات پوشانده شده است. از تعدادی لوله از جنس پلی پروپیلن جهت مدلسازی شمع‌های سیستم سازه نگهبان ذکر شده، استفاده شده است.

جدول ۱ مشخصات شمع‌های مدل فیزیکی را بیان می‌کند. این شمع‌ها به صورت مقیاس شده‌ای نسبت به مدل واقعی تهیه شده است. شایان ذکر است که مشخصات ارائه شده برای شمع در جدول ۱ از برگه‌های اطلاعاتی<sup>۱</sup> تهیه شده از کارخانه سازنده می‌باشد. براساس سختی شمع‌ها و تشابه ابعادی، و در نهایت با بررسی گزینه‌های موجود و همچنین داشتن اطلاعاتی نظیر ابعاد هندسی و مدول الاستیسیته مورد نظر، لوله‌های پروپیلن جهت انجام مدلسازی انتخاب گردیده است.

<sup>۱</sup> Data Sheet

**جدول ۱: مشخصات شمع‌های مدلسازی**

جنس	مدول الاستیسته (Gpa)	طول (mm)	قطر خارجی (mm)	قطر داخلی (mm)	ضخامت (mm)
پلی پروپیلن	۲	۸۰۰	۴۰	۲۶/۶	۶/۷

جهت مدل کردن سربار مجاور گود، سازه‌ای مقیاس شده تهیه شده است. سربار ناشی از وزن ساختمان‌های مجاور را می‌توان با توجه به بارهای زنده و مرده طبقات، وزن دیوارها، وزن تأسیسات، وزن پی‌ها و خاک‌های بین آنها و روی آنها، و نظایر آنها تعیین کرد. لازم به ذکر است که با استفاده از روابط مدلسازی فیزیکی و تشابه ابعادی و با توجه به بارهای مرده و زنده ذکر شده، اقدام به تهیه این مدل شده است.

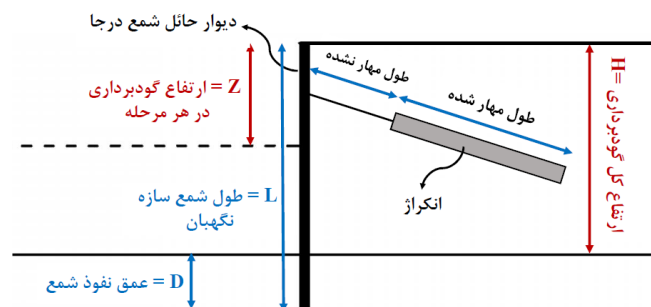
شایان ذکر است جهت مدل کردن مراحل گودبرداری، از ۱۰ دریاچه به ارتفاع ۰/۱۰ متر در قسمت جلوی جعبه آزمایش استفاده شده است. با برداشتن هریک از این دریاچه‌ها، یک مرحله از گودبرداری مدل شده است. همچنین لازم به ذکر است که برای حفظ یکپارچگی شمع‌ها از یک تیر کلاهدک در قسمت بالایی شمع‌ها اجرا گردیده است.

جدول ۲ مشخصات خاک ماسه‌ای مورد استفاده در مدلسازی فیزیکی می‌باشد. در این پژوهش از خاک ماسه فیروزکوه طبق مشخصات ارائه شده در جدول مذکور استفاده شده است. طبق طبقه‌بندی یونیفاید این خاک در رده خاک ماسه‌ای بدانه بندی (SP) شده قرار می‌گیرد.

**جدول ۲: مشخصات خاک مورد استفاده**

نوع خاک	وزن مخصوص خشک (kN/m <sup>3</sup> )	زاویه اصطکاک داخلی (Degree)	D <sub>10</sub> (mm)	D <sub>30</sub> (mm)	D <sub>60</sub> (mm)	Cc	Cu
ماسه ۱۶۱ فیروزکوه	۱۵/۷۵	۴۰	۰/۱۶۷	۰/۲۶	۰/۴۰	۱/۰۱۲	۲/۳۹۵

شکل ۱ تعریف نمادهای موجود و مقطع عرضی در گودبرداری را نشان می‌دهد. در گودبرداری از مفهوم پیشرفت گودبرداری استفاده می‌گردد. پیشرفت گودبرداری براساس نسبت ارتفاع گودبرداری در هر مرحله (Z) به ارتفاع کل گودبرداری (H) قابل تعریف است. همچنین طول کل شمع با L نشان داده می‌شود. طول کل شمع در مدلسازی فیزیکی برابر با یک متر می‌باشد. همچنین، فواصل بین شمع‌های سازه نگهبان برابر با ۱۰ سانتی‌متر (S=10 cm) است. همچنین لازم به ذکر است که در یک ردیف عملیات انکراژ انجام شده است. عمق نفوذ شمع در این مدلسازی برابر با ۰/۲۰ متر در نظر گرفته شده است.



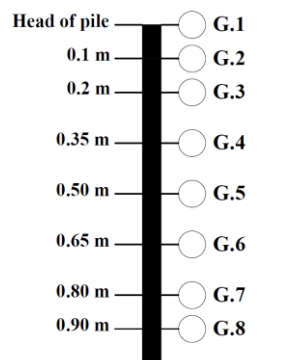
**شکل ۱: تعریف نمادها و مقطع عرضی گودبرداری**

### ۳. ابزار<sup>۲</sup>

شکل ۲ نمایشی از ابزارهای اندازه‌گیری تغییر مکان جانبی مورد استفاده در مدلسازی فیزیکی در پژوهش حاضر است. در مطالعات صورت گرفته در این مقاله از هشت عدد گیج اندازه‌گیری عقربه‌ای با دقت 0.01 mm ساخت شرکت ELE انگلستان بهره گرفته شده است. این گیج‌ها به منظور اندازه‌گیری تغییر مکان جانبی دیوار حائل شمع درجا و انکراژ مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین لازم به ذکر است که جهت انتقال تغییر مکان حاصله از شمع‌ها به گیج‌های اندازه‌گیری از تعدادی سیم مفتولی نازک با انعطاف‌پذیری کم که در طول شمع مرکزی متصل است، به عنوان رابط بین دیوار و گیج‌ها استفاده گردیده است.



(ب)



(الف)

شکل ۲: موقعیت قرارگیری گیج‌های اندازه‌گیری تغییر مکان جانبی  
(الف) نمایش شماتیک (ب) موقعیت گیج‌ها در مدل فیزیکی

شایان ذکر است که فواصل قائم بین هر کدام از گیج‌ها به نحوی انتخاب و اجرا گردیده است که بتوان با داشتن تغییر مکان در کل طول شمع، پروفیل جابجایی دیوار را به نحو مطلوب ترسیم نمود تا نتایج آن قابل بحث و بررسی در کلیه آزمایشات صورت گرفته باشد. همچنین، جهت اندازه‌گیری نشست سطح زمین در مجاورت گودبرداری از ابزارهای موجود در آزمایشگاه استفاده شده است.

### ۴- نحوه انجام آزمایش

در این بخش به نحوه انجام آزمایش می‌پردازیم. در صورتی که آزمایش مورد نظر بررسی حالت گیردار شمع‌ها باشد، پس از قرارگیری صفحه فلزی در کف جعبه آزمایش که گیرداری انتهای شمع‌ها را مدل می‌کند، جعبه آزمایش را با خاک با تراکم نسبی و وزن مخصوص مشخص پر می‌کنیم. سپس با برداشت هریک از درپچه‌های ۱۰ سانتی متری که در بخش توصیف مدلسازی فیزیکی شرح داده شد، یک مرحله از گودبرداری مدل می‌گردد. خاکبرداری طی هشت مرحله ۱۰ سانتی متری تا عمق ۸۰ سانتی متر ادامه می‌یابد. در نهایت، تغییر مکان جانبی شمع‌ها نیز در هر مرحله از گودبرداری توسط گیج‌های نصب شده قرائت می‌گردد. همچنین لازم به ذکر است جهت ایجاد یک پارچگی در قسمت بالای شمع‌ها از یک تخته چوبی به عنوان کلاهک تیری<sup>۳</sup> که پیرامون شمع‌ها را فرا گرفته، استفاده شده است. در حالت انتهای آزاد، روش کار مشابه روش فوق بوده با این تفاوت که در پایین شمع‌ها از هیچ گونه مهارى استفاده نمی‌شود.

<sup>2</sup> instruments

<sup>3</sup> capping beam

### ۵- برنامه آزمایش‌ها

به منظور دستیابی به اهداف ذکر شده در این پژوهش، تعداد آزمایشات و جزئیات هر آزمایش در جدول ۳ آورده شده است. مجموعاً تعداد سه آزمایش جهت بررسی رفتار دیوار و زمین مجاور ناشی از گودبرداری در خاک ماسه‌ای توسط مدلسازی فیزیکی انجام شده است. لازم به ذکر است که در جهت رسیدن به اهداف تعیین شده در این پژوهش از سربار در مجاورت گودبرداری استفاده شده است. این امر به آن دلیل است تا بتوان اثر وجود و یا عدم وجود سربار را بر پایداری دیواره سازه نگهبان مورد بررسی و ارزیابی قرار داد. در ادامه به توضیح بیشتر پیرامون هر آزمایش خواهیم پرداخت.

جدول ۳: شماره و جزئیات انجام هر آزمایش

شماره آزمایش	وضعیت سربار	وضعیت گیرداری انتهای شمع‌ها*	فاصله مرکز به مرکز شمع‌ها (S)	نسبت فاصله به قطر شمع (S/D)
۱	عدم وجود سربار در مجاورت گودبرداری	گیردار (بستر سخت)	۱۰ cm	۲/۵
۲	عدم وجود سربار در مجاورت گودبرداری	آزاد (بستر نرم)		
۳	وجود سربار در مجاورت گودبرداری	آزاد (بستر نرم)		

\* در این پژوهش سعی شده است تا نتایج پایداری سیستم دیوار حائل شمع درجا در دو حالت انتهای گیردار (بستر سخت) و انتهای آزاد (بستر نرم) بررسی و مقایسه گردد. شکل ۳، نمایشی از مدل کردن انتهای گیردار شمع‌ها می‌باشد. در حالت انتهای گیردار از یک صفحه فلزی که تعدادی لوله به طول و فواصل مشخص روی آن جوش داده شده جهت ایجاد گیرداری در انتهای شمع‌ها استفاده گردیده است. فواصل لوله‌های جوش داده شده بر روی صفحه فلزی برابر با فواصل مرکز به مرکز شمع‌ها یعنی ۰/۱۰ متر می‌باشد.



شکل ۳: نحوه مدل کردن گیرداری انتهای شمع‌ها در مدلسازی فیزیکی

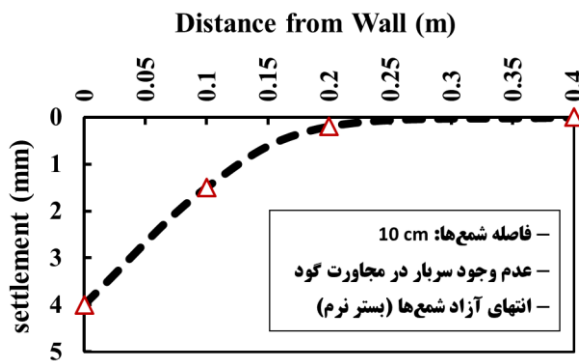
### ۶- تفسیر نتایج و بحث

در این بخش به بررسی پاسخ زمین و جابجایی دیوار ناشی از گودبرداری می‌پردازیم. توسط هشت عدد گیج نصب شده و ابزارهای اندازه‌گیری موجود در آزمایشگاه مکانیک خاک، تغییر مکان‌های جانبی دیواره گود و نشست سطح زمین مجاور ناشی از گودبرداری ثبت و نتایج آن نیز جهت بحث و بررسی در قسمت‌های بعدی، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

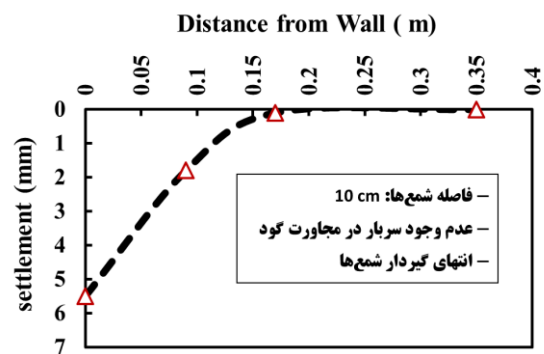
### ۶-۱- نشست سطح زمین در مجاورت گودبرداری

در این بخش مشاهدات نشست سطح زمین ناشی از گودبرداری را مورد بررسی قرار می‌دهیم. با توجه به ابزارهای اندازه‌گیری، بیشینه نشست سطح زمین ( $\delta_{vm}$ ) پس از اتمام مراحل گودبرداری نیز برداشت شده است.

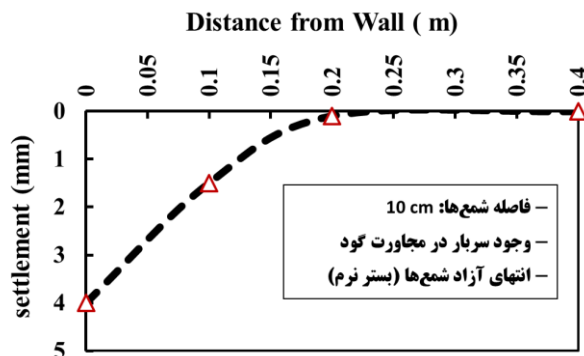
شکل ۴ نمودارهای نشست سطح زمین در مجاورت گودبرداری برای مرحله انتهایی گودبرداری را نشان می‌دهد. در این شکل‌ها فاصله بین شمع‌های سازه نگهبان برابر با ۱۰ سانتی متر و یا به عبارت دیگر  $S/D=2.5$  است و همچنین نسبت طول به قطر شمع  $L/D=25$  می‌باشد. شایان ذکر است که نتایج آزمایشات ارائه شده در شکل ۴ در حالت وجود انکراژ در دیواره سازه نگهبان می‌باشد.



(ب)



(الف)



(ج)

شکل ۴: نشست سطح زمین

(الف) عدم وجود سربار-انتهای گیردار شمع (بستر سخت) (ب) عدم وجود سربار-انتهای آزاد شمع (بستر نرم)

(ج) وجود سربار-انتهای آزاد شمع (بستر نرم)

جهت درک و امکان مقایسه بهتر نتایج آزمایشات، مقادیر نشست سطح زمین در جدول ۴ برای تمامی آزمایشات انجام شده در این پژوهش آورده شده است. همچنین در این جدول نسبت بیشینه نشست سطح زمین ( $\delta_{vm}$ ) به عمق گودبرداری ( $H$ ) نیز بیان شده است. نسبت ( $\delta_{vm}/H$ ) حاصل از نتایج آزمایشات این پژوهش مطابق با مشاهدات صورت گرفته توسط محققین مختلف می‌باشد [۱۴-۱۶]. این امر حاکی از آن است که انجام مدلسازی فیزیکی و همچنین، نتایج آزمایشات در این پژوهش از اعتبار بالایی برخوردار است.

**جدول ۴: بیشینه نشست سطح زمین در هر آزمایش**

شماره آزمایش	بیشینه نشست سطح زمین - $\delta_{vm}$	عمق گودبرداری - H	نسبت بیشینه نشست سطح زمین به عمق گودبرداری - $\delta_{vm}/H$
۱	۵/۵ mm	۸۰۰ mm	۰/۶۹
۲	۴ mm		۰/۵۰
۳	۴ mm		۰/۵۰

شایان ذکر است که با افزایش عمق گودبرداری و یا به عبارت دیگر با پیشرفت مراحل گودبرداری، مقدار نشست سطح زمین ( $\delta_{vm}$ ) افزایش پیدا می‌کند. طبق نتایج آزمایش می‌توان نتیجه گرفت در صورت عدم وجود سربار در مجاورت گودبرداری، نشست سطح زمین در حالت انتهای آزاد (بستر نرم) کمتر از حالت انتهای گیردار شمع‌ها است.

#### ۲-۶- جابجایی جانبی دیواره سازه نگهبان

به هنگام گودبرداری، به دلیل تغییرات گسترده سطح تنش، دیواره گود تغییر شکل پیدا کرده و تغییر شکل‌هایی را به زمین مجاور و سازه‌های مجاور گود اعمال می‌کند. با تغییر شکل پیدا کردن سازه نگهبان، خاک پشت دیوار به سمت جلو و پایین حرکت می‌کند و سطح زمین دچار نشست می‌شود. بنابراین طبق توضیحات داده شده در این قسمت، مشاهدات تغییر جانبی دیوار ناشی از گودبرداری را مورد بررسی قرار می‌دهیم. طبق نتایج به دست آمده از آزمایشات، این نکته قابل استخراج است که جابجایی جانبی دیوار با پیشرفت مراحل گودبرداری افزایش پیدا می‌کند. جدول ۵ شامل بیشینه جابجایی جانبی دیوار در هر آزمایش است. همچنین در این جدول نسبت بیشینه تغییر مکان جانبی دیوار ( $\delta_{hm}$ ) به عمق گودبرداری (H) نیز بیان شده است. نسبت ( $\delta_{hm}/H$ ) حاصل از نتایج آزمایشات این پژوهش مطابق با مشاهدات صورت گرفته توسط محققین مختلف می‌باشد [۸، ۱۴، ۱۵].

توجه: شایان ذکر است شماره آزمایش نوشته شده در ستون اول واقع در جدول ۵، مطابق با شماره آزمایش و جزئیات انجام آزمایش در جدول ۳ می‌باشد. لذا از آوردن مجدد مشخصات هر آزمایش در جدول ۵ خودداری شده و فقط شماره هر آزمایش در این جدول آورده شده است.

**جدول ۵: بیشینه جابجایی جانبی دیوار در هر آزمایش**

شماره آزمایش	بیشینه تغییر مکان جانبی دیوار - $\delta_{hm}$	عمق گودبرداری - H	نسبت بیشینه تغییر مکان جانبی دیوار به عمق گودبرداری - $\delta_{hm}/H$
۱	۳/۱ mm	۸۰۰ mm	۰/۳۹
۲	۱/۷ mm		۰/۲۱
۳	۲/۲ mm		۰/۲۸

طبق نتایج آزمایش می‌توان نتیجه گرفت در صورت عدم وجود سربار در مجاورت گودبرداری، بیشینه جابجایی جانبی دیوار در حالت انتهای آزاد (بستر نرم) کمتر از حالت انتهای گیردار شمع‌ها است. و همچنین می‌توان به این نتیجه دست یافت که در حالت انتهای آزاد شمع‌ها (بستر نرم) در صورت وجود سربار در مجاورت مکان گودبرداری، بیشینه جابجایی جانبی دیوار بیشتر از حالت عدم وجود سربار است.



## ۷- نتیجه گیری

- در این پژوهش به مطالعه بر روی رفتار دیوار ناشی از گودبرداری در ماسه توسط مدلسازی فیزیکی پرداخته شد. در این مدل از دیوار حائل شمع درجا و انکراژ به عنوان سیستم سازه نگهبان استفاده شد.
- برای مدل کردن گیرداری انتهای شمعها از یک صفحه فلزی که روی آن تعدادی لوله جوش داده شده، استفاده گردیده است.
- رفتار گودبرداری در مدلسازی فیزیکی توسط دو پارامتر تأثیرگذار؛ وجود سربار در کنار گود و گیرداری انتهای شمع مورد بررسی قرار گرفت.
- با پیشرفت مراحل گودبرداری، میزان جابجایی جانبی دیواره گود و همچنین، میزان نشست سطح زمین افزایش پیدا می کند.
- نتایج آزمایشات در این پژوهش حاکی از آن است که نسبت بیشینه تغییر مکان جانبی دیوار به عمق گودبرداری ( $\delta_{nm}/H$ ) در محدوده ۰/۳۹-۰/۲۱ قرار دارد. این نسبت مطابق با مشاهدات و نتایج آزمایشات گزارش شده توسط محققین برجسته دنیا دارد.
- نتایج آزمایشات در این پژوهش بیان گر آن است که نسبت بیشینه نشست سطح زمین به عمق گودبرداری ( $\delta_{vm}/H$ ) در محدوده ۰/۵۰-۰/۶۹ قرار دارد که این نسبت مطابق با مشاهدات و نتایج آزمایشات گزارش شده توسط محققین برجسته دارد.
- نتایج آزمایشات این پژوهش حاکی از این مطلب است در صورت عدم وجود سربار در مجاورت گودبرداری، نشست سطح زمین در حالت انتهای آزاد (بستر نرم) کمتر از حالت انتهای گیردار شمعها است.
- در نهایت طبق آزمایشات صورت گرفته در این پژوهش می توان نتیجه گرفت در صورت عدم وجود سربار در مجاورت گودبرداری، بیشینه جابجایی جانبی دیوار در حالت انتهای آزاد (بستر نرم) کمتر از حالت انتهای گیردار شمعها است. و همچنین می توان به این نتیجه دست یافت که در حالت انتهای آزاد شمعها (بستر نرم) در صورت وجود سربار در مجاورت گودبرداری، بیشینه جابجایی جانبی دیوار بیشتر از حالت عدم وجود سربار است.

## ۸- قدردانی

در پایان بر خود لازم می دانم از جناب آقای حسینی "مسئول آزمایشگاه سازه دانشگاه فردوسی مشهد" بابت تمامی زحمتهایی که برای دانشجویان و به خصوص اینجانب کشیده اند، نهایت تشکر و قدردانی را بنمایم و امیدوارم در پناه حق تعالی در تمامی عرصه های زندگی موفق و پیروز باشند.

## مراجع

- [1] Ou C-Y, Chiou D-C, Wu T-S. "Three-Dimensional Finite Element Analysis of Deep Excavations". Journal of Geotechnical Engineering. 1996;122(5):337-45.
- [2] Kung GT, Juang CH, Hsiao EC, Hashash YM. "Simplified Model for Wall Deflection and Ground-Surface Settlement Caused by Braced Excavation in Clays". Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2007;133(6):731-47.
- [3] Khoiri M, Ou C-Y. "Evaluation of deformation parameter for deep excavation in sand through case histories". Computers and Geotechnics. 2013;47(57-67).
- [4] Finno RJ, Arboleda-Monsalve LG, Sarabia F. "Observed Performance of the One Museum Park West Excavation". Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2015;141(1):04014078.





**4<sup>th</sup>. International Congress on Civil Engineering , Architecture  
and Urban Development  
27-29 December 2016, Shahid Beheshti University , Tehran , Iran**

- [5] Finno RJ, Atmatzidis DK, Perkins SB. "Observed Performance of a Deep Excavation in Clay". Journal of Geotechnical Engineering. 1989;115(8):1045-64.
- [6] Hwang RN, Moh Z-C, Wang CH. "Performance of wall systems during excavation for core pacific city". Journal of GeoEngineering. 2007;2(2):53-60.
- [7] Liu GB, Ng CW, Wang ZW. "Observed Performance of a Deep Multistrutted Excavation in Shanghai Soft Clays". Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2005;131(8):1004-13.
- [8] Hsiung B-CB. "A case study on the behaviour of a deep excavation in sand". Computers and Geotechnics. 2009;36(4):665-75.
- [9] Nikolinakou MA, Whittle AJ, Savidis S, Schran U. "Prediction and Interpretation of the Performance of a Deep Excavation in Berlin Sand". Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2011;137(11):1047-61.
- [10] Hsiung B-CB, Yang K-H, Aila W, Hung C. "Three-dimensional effects of a deep excavation on wall deflections in loose to medium dense sands". Computers and Geotechnics. 2016;80(138-51).
- [11] Wen RK. "MODEL STUDIES OF LATERALLY LOADED PILE FOUNDATIONS". Proceedings of the Thirty-Fourth Annual Meeting of the Highway Research Board. Washington, D.C.1955. p. 140-52.
- [12] Matlock H, Reppinger EA. "Theoretical Analysis and Laboratory Studies of Laterally Loaded Model Pile Segments". Report to Shell oil Co., Austin, Tex.1957.
- [13] Prakash S. "Behavior of pile groups subjected to lateral loads": University of Illinois at Urbana-Champaign, 1962.
- [14] Long M. "Database for Retaining Wall and Ground Movements due to Deep Excavations". Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2001;127(3):203-24.
- [15] Wang JH, Xu ZH, Wang WD. "Wall and Ground Movements due to Deep Excavations in Shanghai Soft Soils". Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2010;136(7):985-94.
- [16] Wong IH, Poh TY, Chuah HL. "Performance of Excavations for Depressed Expressway in Singapore". Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 1997;123(7):617-25.