5th.International Congress on Civil Engineering , Architecture and Urban Development
26-28 December 2017, Shahid Beheshti University , Tehran , Iran

جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
شماره مجوز کنگره از وزارت علوم: ۷۲۶۴۰۳۸

بررسی عملکرد سازه نگهبان به روش سپرکوبی با ملاحظه سختی خمشی در مدل‌های آزمایشگاهی

اشرف مرتضوی[۱]*، جعفر بلوری بزاز [۲]،

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، **گروه عمران، گرایش ژئوتکنیک، دانشگاه فردوسی مشهد،** ashraf.mortazavi@mail.um.ac.ir
۲- دانشیار، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، bolouri@um.ac.ir

چکیده

سختی خمشی سازه نگهبان در گودبرداری یکی از پارامترهای مهم به منظور پایدارسازی گود و کاهش خسارت به سازه‌های مجاور آن می‌باشد. این مقاله به بررسی نتایج به دست آمده از مدل‌سازی فیزیکی گودبرداری و سیستم سازه نگهبان به روش سپرکوبی در خاک‌های دانه‌ای پرداخته است. مجموعه‌ای از تست‌های آزمایشگاهی جهت بررسی پارامترهای موثر بر عملکرد این سازه انجام شده است. به منظور بررسی پارامتر سختی خمشی دو سطح مقطع مختلف انتخاب شده است، همچنین شرایط انتهایی به صورت آزاد و گیردار در نظر گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد که تغییرات سختی خمشی سازه نگهبان، تاثیر قابل توجهی در کاهش جابه‌جایی جانبی دیوار و نشست خاک پشت دیوار در اثر گودبرداری دارد. همچنین، به دلیل رخداد مکانیزم مختلف در خاک، گیردار بودن انتهای دیوار نسبت به آزاد بودن آن باعث تاخیر در فرایند گسیختگی شده است.

واژه‌های کلیدی: گودبرداری، سازه نگهبان، سختی خمشی، جابه‌جایی جانبی، نشست

۱- مقدمه

گودبرداری[۱] و سیستم‌های پایدارکننده‌ی آن‌ها نظیر سازه‌های نگهبان (دیوار حائل) یکی از بخش‌های مهم در مهندسی ژئوتکنیک به شمار می‌آیند. به همین دلیل از گذشته تاکنون به منظور اجرای زیرساخت‌های عمرانی، نظیر ساختمان‌های با طبقات زیاد، فضای پارکینگ‌ها، برج‌ها، مخازن ذخیره‌ی نفت و آب، متروها یا سیستم‌های حمل و نقل سریع، گودبرداری و روش‌های پایدارسازی آن مورد توجه زیادی قرار گرفته است. سیستم‌های رایج مورد استفاده به منظور پایدارسازی گودبرداری

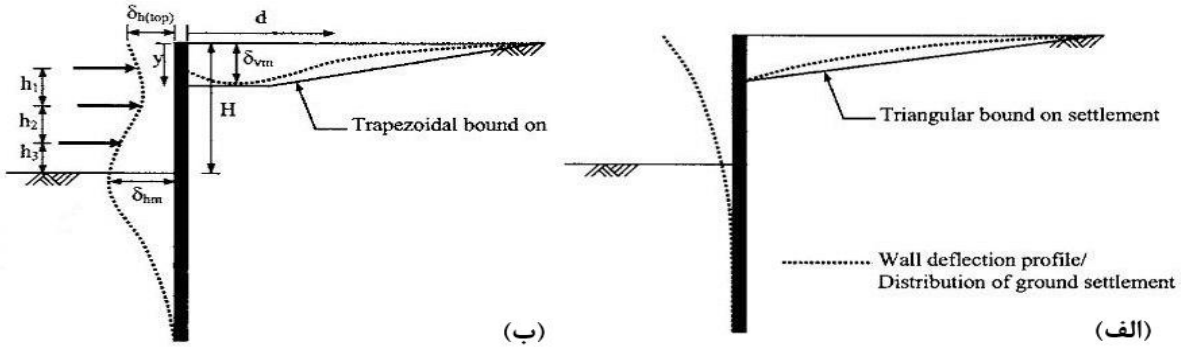
[1] Excavation

های عمیق شامل دیوارهای بتنی مسلح مانند دیوارهای دیافراگمی[۲]، دیوار های شمعی (سکانتی، مماسی)[۳]، دیوارهای سپری[۴]، دیوارهای مهار شده با خرپای فولادی، مهارهای متقابل، سیستم انکراژ[۵] و سیستم میخ کوبی[۶] در خاک می‌باشند. [۱]

یکی از سیستم های رایج در مهندسی عمران به منظور سیستم نگهدارنده در گودبرداری‌های عمیق، دیوارهای سپرکوبی هستند. استفاده از این نوع دیوارها در گودبرداری‌های عمیق به منظور پایدارسازی جداره گود، یکی از روش های اقتصادی و با عملکرد قابل قبول به شمار می‌روند. این نوع دیوارها بر اساس عملکردشان در گودبرداری، به دو نوع دیوار سپری طره‌ای و دیوار سپری مهار شده تقسیم می‌شوند. از این دیوارها به عنوان سازه‌های نگهدارنده گودبرداری، سدهای صندوقه‌ای[۷]، پرده‌های آب‌بند در سدسازی، پایداری شیب‌ها، اسکله‌ها[۸] استفاده می‌شوند. [۲]

از مهم ترین اصول لازم در گودبرداری‌ها، طراحی یک سیستم نگهبان مناسب و کنترل مقادیر جابه‌جایی‌های افقی دیوار و همچنین کنترل نشست خاک پشت دیوار می‌باشد. جابه‌جایی‌های افقی به وجود آمده در دیوار نگهدارنده به دو نوع طره‌ای و محدب، تغییر شکل‌های قائم(نشست) به وجود آمده در خاک پشت دیوار به دو نوع سهمی شکل و مقعر تقسیم‌بندی می‌شوند. در گود برداری‌های بدون مهار جانبی یا عدم سختی قابل توجه در سازه نگهدارنده، رفتار دیوار در گودبرداری به صورت طره‌ای تغییر شکل می‌دهد و منحنی تغییر شکل قائم(نشست) به صورت مثلثی شکل می‌باشد. با در نظر گرفتن مهار جانبی در سازه نگهدارنده با پیشرفت مراحل گودبرداری، قسمت بدون مهار دیوار ثابت باقی‌مانده و دیوار در نزدیکی مهار جانبی به سمت بیرون تغییر شکل می‌دهد و منحنی تغییر شکل قائم (نشست) به صورت ذوزنقه‌ای شکل می‌باشد.

شکل ۱ پروفیل جابه‌جایی جانبی دیوار و نشست خاک در گودبرداری با ملاحظه مهار جانبی و عدم آن بر اساس مطالعات لیونگ و همکاران [۳] می‌باشد.



شکل ۱ پروفیل تغییر شکل دیوار و زمین (الف) گودبرداری بدون مهار جانبی، (ب) گودبرداری با مهار جانبی [۳]

مطالعات گسترده‌ای بر روی عوامل موثر بر روی رفتار سازه نگهبان در گودبرداری انجام شده است. عوامل موثر بر رفتار سازه نگهبان درگودبرداری عبارتند از: نوع مهار دیوار، فواصل بین مهارها، سختی مهار دیوار، سختی خمشی دیوار، خواص خاک، روش‌های مسلح کردن خاک و غیره. سختی یک سازه نگهبان در گودبرداری تابعی پیچیده از انعطاف‌پذیری یا صلبیت

---

۲ Diaphragm wall
۳ Pile walls
۴ Sheet pile wall
۵ Anchorage
۶ Soil Nailing
۷ Coffer Dams
۸ Waterfront

المان‌های دیوار، سختی خمشی المان‌های دیوار و نوع اتصال بین دیوار و سازه‌های نگهدارنده متصل به آن، فواصل افقی و قائم بین مهارها می‌باشد. [۴]

او و همکاران [۵] رفتار سازه نگهبان از نوع دیوار دیافراگم و سیستم مهاربندی با مقطعT[۹] شکل متصل به آن را در گودبرداری به منظور کاهش تغییر شکل دیوار و نشست زمین، از طریق مطالعه موردی بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که مهارهای از نوع T شکل یک روش مناسبی به منظور تامین سختی سازه نگهدارنده برای جلوگیری از خسارت به سازه‌های مجاور می‌باشند. استفاده از این نوع سازه به منظور کاهش تغییر شکل دیوار و نشست زمین به دلیل آن که این نوع سازه نگهبان عملکردی مشابه یک تیر بتنی T شکل دارد، که باعث افزایش سختی سازه نگهبان در گودبرداری می‌شود. همچنین با افزایش تعداد این نوع مهارها، دیوار عملکرد بهتری دارد و بهترین طراحی و عملکرد دیوارهای حائل و سیستم‌های نگهدارنده متصل به آن‌ها زمانی به دست خواهد آمد که جابه‌جایی‌های متناظر آن‌ها بیشترین تاثیر را از سختی سیستم بگیرند. بنابراین انتخاب سختی مناسب سازه نگهدارنده در گودبرداری به منظور کاهش خسارت ناشی از گودبرداری به سازه‌های مجاور با توجه به شرایط پروژه بسته به تعداد و عمق قرارگیری سیستم‌های نگهدارنده متصل به دیوار به دست می‌آید. کلاف و اوروک[۶] با مطاالعات موردی و آزمایشگاهی خود بر روی سازه‌های نگهدارنده در گودبرداری، به گراف‌هایی جهت انتخاب صحیح سختی خمشی متناظر با نوع سازه نگهدارنده در گودبرداری دست یافتند. از گراف‌های به دست آمده می‌توان جابه‌جایی بیشینه سازه را به عنوان یک تابعی از سختی خمشی موثر سیستم و فاکتور ضریب اطمینان در مقابل واژگونی[۱۰] به دست آورد.

سختی خمشی از رابطه زیر به دست می‌آید: [۶]

$$\rho = EI/\gamma_w h^4 \qquad (۱)$$

که در آن EI سختی خمشی در واحد طول؛ γوزن مخصوص آب؛ E مدول الاستیسیته دیوار؛ I ممان اینرسی واحد طول دیوار؛ h متوسط فاصله بین مهارها است.

لانگ [۷] درمطالعات خود به این نتایج رسید که تغییر شکل جانبی در رس‌های سفت کاملا مستقل از سختی خمشی سازه نگهدارنده و نوع مهارهای متصل به آن‌ها می‌باشد. او در مطالعات خود متوجه شد که سختی سیستم تاثیر قابل توجهی بر روی تغییر شکل سازه نگهدارنده گودبرداری در خاک‌های رس نرم، با ضریب اطمینان پایین در مقابل واژگونی دارد. با این وجود، فاکتور سختی خمشی ضریب اطمینان کمتری در مقابل واژگونی سازه نگهدارنده در اثر گودبرداری در خاک‌های رس نرم دارد. مورمن[۸] مطابق با مطالعات موردی خود بیان داشت که شرایط زمین، شرایط هندسی گود، پیش تنیده کردن مهارها و انکرها[۱۱] و تاثیرات زمان گودبرداری و عمق گودبرداری(H)، پارامترهایی هستندکه بیشترین تاثیرگذاری را بر تغییرشکل‌های به وجود آمده ناشی از گودبرداری دارند. همچنین، اظهار داشت که دیواره‌ی سازه نگهبان و جابجایی‌های زمین تا حد زیادی مستقل از سختی سیستم سازه نگهبان به نظر می‌رسد.

سختی خمشی سیستم سازه نگهدارنده نقش بسیار مهمی در عملکرد این سیستم در خاک‌های رسی نرم تا متوسط دارد، به طوری که با تغییر سطح مقطع یک دیوار سپری انعطاف‌پذیر به صلب در این نوع خاک‌ها، تغییر شکل جانبی تقریبا ۳۲٪ کاهش می‌یابد. در حالی که در خاک‌های رس سفت افزایش سختی خمشی تاثیر قابل توجهی بر مقادیر جابه‌جایی جانبی ندارد. همچنین افزایش ضخامت به عنوان یکی از روش‌های افزایش سختی خمشی سیستم نگهدارنده، جابه‌جایی جانبی را به طور تقریبی از ۰,۱۸٪ به ۰,۱٪ می‌رساند. همچنین با مطالعات موردی صورت گرفته به منظور طراحی سیستم سازه نگهبان در گودبرداری‌های عمیق با استفاده از روش نیمه تجربی و از طریق آنالیز ابعادی، پارامتر جدیدی به نام سختی نسبی (R) معرفی

[۹] Buttress Wall
[۱۰] Overturn
[11] Anchor

گردید که این پارامتر مقاومت و سختی خاک را به سختی سیستم سازه نگهبان و سیستم مهارهای متصل به آن مرتبط می‌کند. [۹]

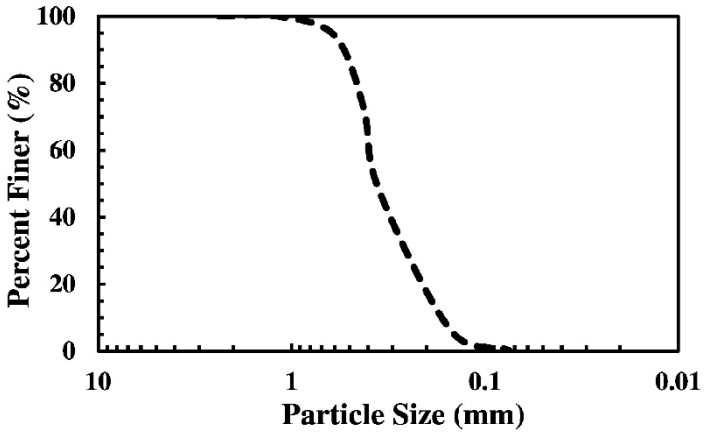
$$R = f(E_s, E, I, S_H, S_V, H, H_e, \gamma_s, S_u) \quad (۲)$$

که در آن Es مدول یانگ خاک؛ E مدول یانگ دیوار؛ I ممان اینرسی در واحد طول دیوار؛ S_H متوسط فاصله افقی مهارها S_V متوسط فاصله قائم مهارها؛ H ارتفاع کل دیوار؛ H_e ارتفاع گودبرداری؛ γ_s وزن مخصوص میانگین خاک؛ S_u مقاومت برشی زهکشی نشده خاک.

وانگ و همکاران[۱۰] داده‌های وسیعی از ۳۰۰ مورد جابه جایی‌های دیوار و نشست سطحی زمین ناشی از گودبرداری در خاک‌های نرم در شهر شانگهای جمع‌آوری و مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. در این مطالعه جابه‌جایی جانبی دیوار، نشست سطحی زمین، الگوی نشست سطحی زمین و نیز، رابطه بین جابه‌جایی جانبی دیواره و نشست سطحی زمین مورد تحلیل قرار گرفت. همچنین سازه‌های نگهبان به کار رفته در این مطالعه شامل دیواره دیافراگمی(DWs)، دیوارهای سپرکوبی فولادی (SPWs)، دیواره شمع درجا (CPWs)، روش مهاربندی نیلینگ(CSN) می‌باشد. آن‌ها در مطالعه موردی بیان داشتند که بیشینه جابه‌جایی جانبی دیوار با عمیق تر شدن عمق گودبرداری، افزایش می‌یابد.

۲- مصالح

به منظور فراهم نمودن شرایط یکسان برای مقایسه نتایج حاصل از آزمایش‌های مختلف و امکان تکرار پذیر بودن نتایج از یک نوع خاک ماسه‌ای مناسب به میزان قابل توجه و مشابه با ماسه‌های شناخته شده در دنیا از ماسه شکسته سیلیسی استاندارد شماره ۱۶۱ فیروزکوه که دارای دانه‌بندی یکنواخت و رنگ طلایی می‌باشد، استفاده شده است تا بتوان نتایج حاصله را با کارهای دیگران مقایسه نمود. به منظور شناخت خواص فیزیکی ماسه مورد نظر در آزمایشگاه آزمایش‌های دانه‌بندی، آزمایش‌های تعیین چگالی وزنی، آزمایش‌های تعیین چگالی حداکثر و حداقل با قالب تراکم استاندارد و آزمایش‌های سه محوری مونوتونیک زهکشی نشده انجام شده است. [۱۱] شکل ۲ منحنی دانه‌بندی خاک مورد استفاده در آزمایشگاه می‌باشد.



شکل ۲ منحنی دانه بندی خاک ماسه فیروزکوه شماره ۱۶۱

لازم به ذکر است که جدول۱حاوی مشخصات فیزیکی ماسه فیروزکوه می‌باشد. طبق طبقه‌بندی یونیفاید این خاک در رده خاک ماسه‌ای بد دانه‌بندی شده(SP) قرار می‌گیرد.

جدول ۱ مشخصات خاک مورد استفاده در آزمایش‌ها

نوع خاک	وزن مخصوص خشک (KN/m^3)	G_s	زاویه اصطکاک داخلی (Degree)	e_{max}	e_{min}	D_{10} (mm)	D_{60} (mm)	Cc	Cu
ماسه فیروز کوه شماره ۱۶۱	۱۵/۵۴	۲/۶۵۸	۴۱/۵	۰/۹۴۳	۰/۶۰۳	۰/۱۶۷	۰/۴	۱/۰۱۲	۲/۳۹۵

۳- برنامه آزمایش ها

جهت نیل به اهداف تعیین شده در این پژوهش، آزمایش‌ها در دو بخش کلی انجام شده که در ادامه به توضیح هر یک از آن‌ها خواهیم پرداخت. بخش اول، شامل آزمایش‌های گودبرداری و سازه نگهبان با ملاحظه افزایش سختی خمشی می‌باشد. در این آزمایش‌ها با توجه به آنالیز ابعادی انجام شده، از ورقی با سطح مقطع سینوسی شکل به منظور دستیابی به پارامتر افزایش سختی خمشی استفاده گردید. این بخش شامل ۲ آزمایش می‌باشد. در آزمایش اول وضعیت انتهای دیوار به شکل آزاد(بستر نرم) می‌باشد و در آزمایش دوم وضعیت انتهای دیوار به شکل گیردار(بستر سخت) می‌باشند. جدول ۲ نشان‌دهنده تعداد و مشخصات آزمایش‌های انجام شده در بخش اول می‌باشد.

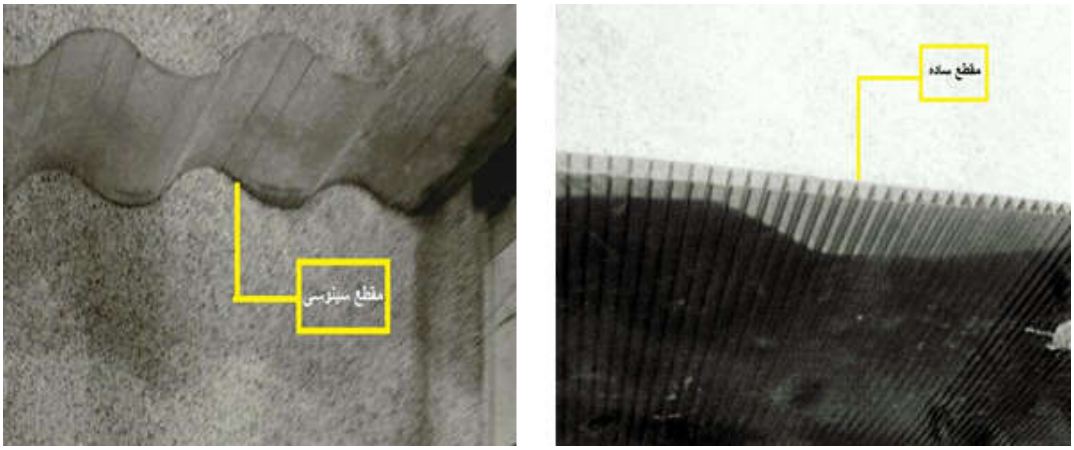
جدول ۲ مشخصات آزمایش های بخش اول

بخش اول	شماره آزمایش	وضعیت گیرداری انتهای دیوار	سطح مقطع دیوار	سختی خمشی دیوار($N\text{-}cm^2$)
آزمایش با ملاحظه سختی	۱	آزاد (بستر نرم)	سینوسی شکل	۲۴۰۰۰
	۲	گیردار (بسترسخت)		

بخش دوم، شامل آزمایش‌های گودبرداری با سیستم سازه نگهبان بدون ملاحظه افزایش سختی خمشی می‌باشد. روند آزمایش دراین بخش همانند بخش قبل می‌باشد. در این بخش به منظور رسیدن به هدف مورد نظر با توجه به آنالیز ابعادی صورت گرفته، از ورقی با جنس پلی‌کربنات و سطح مقطع یکنواخت و مستطیل شکل استفاده شده است. این بخش نیز همانند بخش اول شامل ۲ آزمایش می‌باشد، درآزمایش اول وضعیت انتهای دیوار آزاد و در آزمایش دوم وضعیت انتهای دیوار گیردار می‌باشند. جدول۳ مشخصات آزمایش های بخش دوم نشان‌دهنده تعداد و مشخصات آزمایش‌های انجام شده در بخش دوم می‌باشد. هچنین شکل ۲ نشان دهنده مقاطع به کار رفته در بخش‌های مربوط به آزمایش‌ها می‌باشد.

جدول۳ مشخصات آزمایش های بخش دوم

بخش دوم	شماره آزمایش	وضعیت گیرداری انتهای دیوار	سطح مقطع دیوار	سختی خمشی دیوار ($N\text{-}cm^2$)
آزمایش بدون ملاحظه سختی	۳	آزاد (بستر نرم)	ساده-مستطیلی	۱۲۰۰۰
	۴	گیردار(بستر سخت)		



(ب) (الف)

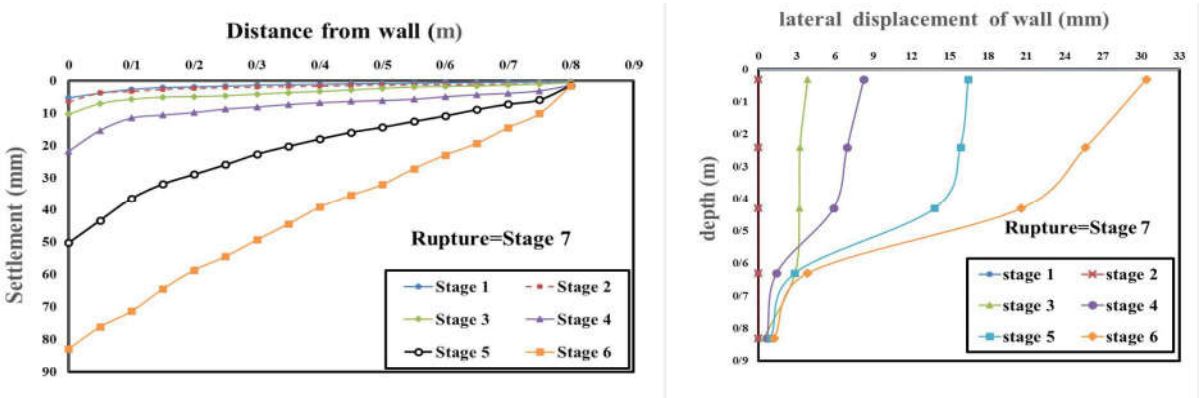
شکل ۲ نمایش مقاطع مختلف دیوار سپری در آزمایشگاه. (الف) مقطع ساده، (ب) مقطع سینوسی

۵-نتایج آزمایش ها

در این پژوهش، مطالعات جامعی به منظور بررسی تاثیر پارامتر سختی خمشی بر روی رفتار سازه نگهبان درگودبرداری‌های عمیق جهت بررسی رفتار سازه نگهبان صورت گرفته است. این مطالعات شامل بررسی جابه‌جایی جانبی دیوار سپرکوبی و نشست خاک پشت دیوار سپرکوبی حاصل از گودبرداری، در دو بخش کلی آزمایش‌ها می‌باشد.

۵-۱. آزمایش‌ها با ملاحظه سختی دبوار با در نظرگرفتن شرایط انتهایی

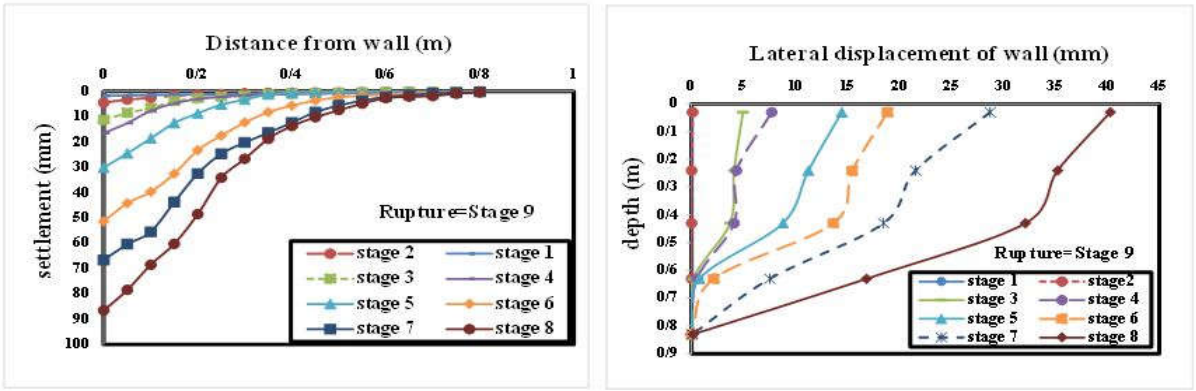
همان‌طور که در قسمت برنامه آزمایش‌ها به طور کامل شرح داده شد، بخش اول مربوط به آزمایش‌های گودبرداری به روش سپرکوبی با ملاحظه سختی سازه نگهبان و در نظر گرفتن شرایط انتهایی است. به طوری که مشخصات این آزمایش‌ها هر یک به طور جداگانه در جدول‌های ۲ و ۳ آورده شده است. شکل ۲ بیان‌گر نتایج به دست آمده از آزمایش اول، مربوط به بخش اول آزمایش‌ها می‌باشد. با توجه به مشخصات آزمایش صورت گرفته مطابق جدول از ورقی با سطح مقطع سینوسی شکل به منظور ملاحظه سختی خمشی سازه نگهبان استفاده شده است. نتایج حاصل از این پژوهش شامل جابه‌جایی جانبی و نشست خاک می‌باشند که این مقادیر هر یک به ترتیب توسط گیج‌های مکانیکی و کولیس به دست آمده‌اند و در شکل ۳ نشان داده شده‌اند.



(ب) (الف)

شکل ۳ تاثیر سختی خمشی بر رفتار دیوار–انتهای دیوار آزاد. (الف) جابه‌جایی دیوار، (ب) نشست زمین

شکل ۳ نمودارهای جابه‌جایی جانبی دیوار و نشست خاک پشت آن در مقابل عمق در آزمایش اول از بخش اول آزمایش‌ها می‌باشد. همان‌طور که از شکل فوق مشخص است، در مراحل اولیه گودبرداری دیوار هیچ گونه جابه‌جایی ندارد ولی با پیشرفت مراحل گودبرداری جابه‌جایی جانبی دیوار افزایش می‌یابد. همچنین زمانی که عمق گودبرداری به ۷۰ سانتی متر می‌رسد، خاک گسیخته می شود. لازم به ذکر است که دراین مرحله عمق مدفون شدگی دیوار ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد، که مطابق با عمق مدفون‌شدگی حاصل از روابط تجربی مطابقت دارد.. همچنین با پیشرفت مراحل گودبرداری نشست خاک پشت دیوار افزایش می‌یابد و در هر مرحله از گودبرداری بیشترین نشست در ابتدای دیوار مشاهده می‌شود به طوری که با افزایش فاصله از دیوار، نشست خاک کاهش پیدا می‌کند.



(ب) (الف)

شکل ۴ تاثیر سختی خمشی بر رفتار دیوار در گودبرداری، انتهای دیوار گیردار. (الف) جابه‌جایی دیوار، (ب) نشست زمین

همچنین شکل ۴ نتایج آزمایش دوم مربوط به این بخش می‌باشد. مشخصات این آزمایش در جدول ۲ مشخصات آزمایش های بخش اول آمده است. نحوه انجام آزمایش و رسم نمودار جابه‌جایی دیوار و نشست خاک پشت آن در مقابل عمق، همانند آزمایش اول بوده با این تفاوت که مطابق جدول شرایط انتهایی در این حالت به صورت گیردار (بستر سخت) می‌باشد.

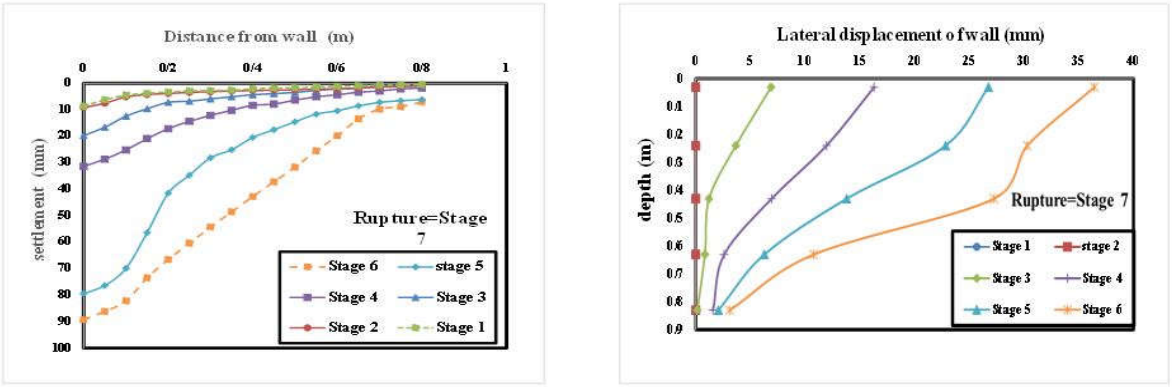
در حالت کلی، نتایج آزمایش دوم مشابه نتایج آزمایش اول می‌باشد. با توجه به شکل بالا در مراحل اولیه گودبرداری مطابق آزمایش اول، دیوار هیچ گونه جابه‌جایی ندارد، ولی با پیشرفت مراحل گودبرداری جابه‌جایی جانبی دیوار افزایش می‌یابد. همچنین نحوه تغییرات نشست در این آزمایش نیز مشابه آزمایش اول می‌باشد، با این تفاوت که در این آزمایش نرخ تغییرات نشست کمتر از آزمایش اول می‌باشد. در این مرحله از آزمایش هنگامی که عمق گودبرداری به ۰,۹ متر (آخرین مرحله) می رسد خاک گسیخته می‌شود. قابل ذکر است خاک در این آزمایش نسبت به آزمایش قبل دیرتر به مرحله گسیختگی می‌رسد. تاخیر صورت گرفته به دلیل اثرات گیردارشدن شرایط انتهایی می‌باشد. مقادیر جابه‌جایی بیشینه نسبت به عمق گودبرداری در آزمایش‌ها این بخش به ترتیب مقادیر ۰,۳ و ۰,۴۵ به دست آمده‌اند که مطابق با مطالعات وانگ [۱۰] در محدوده ۰,۳ تا ۱,۵ درصد عمق گودبرداری قرار دارند.

نکته‌ی مهمی که از نتایج این دو آزمایش قابل استخراج می‌باشد، توجه به این مطلب است که در مراحل اولیه گودبرداری جابه‌جایی جانبی دیواره گود در حالت پای آزاد کم‌تر از حالت پای گیردار است. اما با پیشرفت مراحل گودبرداری نرخ تغییرات جابه‌جایی در حالت پای آزاد بیشتر و سریع‌تر بوده و میزان تغییرمکان نهایی آن نیز نسبت به حالت پای گیردار بیشتر است.

دلیل این امر ناشی از تفاوت در مکانیزم رخداد تغییر مکان دیوار طره در دو حالت انتهای گیردار و انتهای آزاد می باشد. همچنین مقادیر بیشینه نشست سطحی زمین در صورت اتخاذ حالت گیردار انتهای دیوار بیشتر از حالت پای آزاد می‌باشند.

۵-۲ . آزمایش ها بدون ملاحظه سختی با در نظر گرفتن شرایط انتهایی

بخش دوم آزمایش‌ها که مربوط به بررسی رفتار دیوار در گودبرداری انجام شده در آزمایشگاه بدون لحاظ پارامتر سختی برای دیوار و در نظر گرفتن شرایط انتهایی می‌باشد. مشخصات آزمایش‌های این بخش نیز در جدول۳ مشخصات آزمایش های بخش دومآورده شده است. در این بخش از آزمایش‌ها با توجه به آنالیز ابعادی صورت گرفته به منظور عدم افزایش پارامتر سختی خمشی، از ورقی با جنس پلی‌کربنات و سطح مقطع یکنواخت استفاده گردید. شکل ۴ نتایج به دست آمده از آزمایش اول بخش دوم می‌باشد. در این مرحله از ورقی با سطح مقطع یکنواخت و شرایط انتهایی آزاد مطابق جدول۳ مشخصات آزمایش های بخش دوماستفاده شده است.



(ب) (الف)

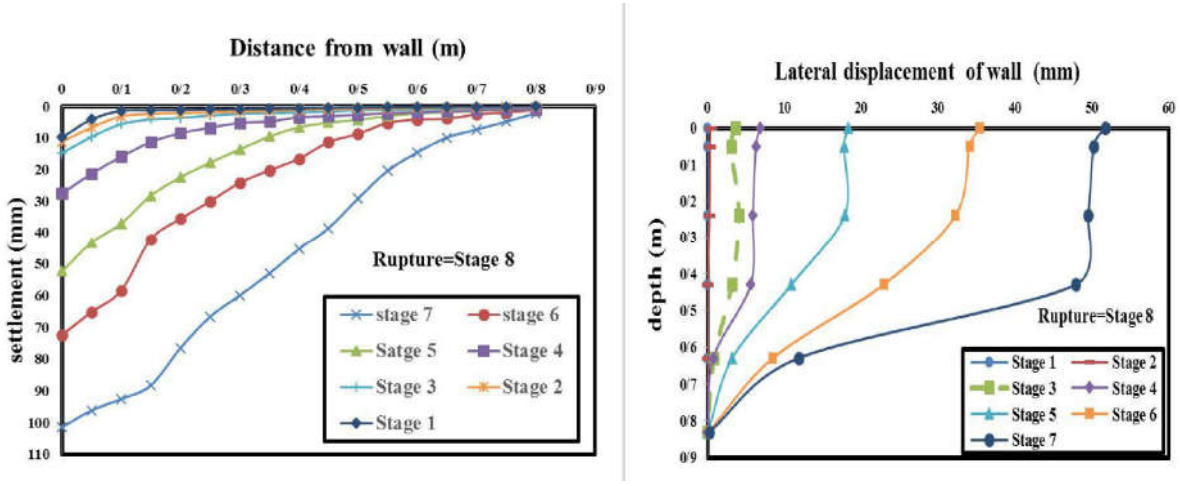
شکل ۵ رفتار دیوار بدون ملاحظه سختی در گودبرداری – انتهای دیوار آزاد (الف) جابه جایی دیوار، (ب) نشست زمین

همان‌طور که در شکل فوق ملاحظه می‌شود، مقادیر جابه‌جایی جانبی دیوار مطابق آزمایش اول مربوط به بخش اول می‌باشد، به طوری که با پیشرفت مراحل گودبرداری این مقادیر افزایش پیدا کرده‌اند ولی در این مرحله با کاهش سختی خمشی مقادیر جابه‌جایی جانبی و نشست نسبت به آزمایش اول افزایش پیدا کرده است. در نتیجه مقادیر جابه‌جایی جانبی در هر مرحله از گودبرداری مقادیر بیشتری را به خود اختصاص داده است. همچنین تغییرات نشست خاک پشت دیوار نیز در این مرحله مشابه آزمایش اول، با پیشرفت روند گودبرداری مقادیر بیشتری را به خود اختصاص داده است. این نتایج مطابق با نتایج حاصل از مطالعات موردی می باشد. شکل ۶ نتایج به دست آمده آزمایش دوم از بخش دوم آزمایش‌ها می‌باشد. در این مرحله از ورقی با سطح مقطع یکنواخت و شرایط انتهایی گیردار (بستر سخت) مطابق جدول۳ استفاده شده است.

مقادیر جابه‌جایی جانبی دیوار و نشست خاک همانند آزمایش‌های قبل، در مراحل اولیه گودبرداری صفر می‌باشد ولی با پیشرفت مراحل گودبرداری این مقادیر افزایش پیدا کرده است. همچنین مقادیر بیشینه این پارامترها در این آزمایش به دلیل

تفاوت مکانیزم انتهای دیوار، بیشتر از آزمایش قبل می‌باشد. نتایج به دست آمده در این بخش به دلیل صرف نظر از پارامتر سختی خمشی مقادیر بیشتری نسبت به بخش قبل دارند.

مقادیر جابه‌جایی بیشینه نسبت به عمق گودبرداری در آزمایش‌ها این بخش به ترتیب مقادیر ۰,۵۶ و ۰,۴ درصد را اختصاص داده است. که مطابق با مطالعات موردی وانگ و همکاران [۱۰] در محدوده ۰,۳ تا ۱,۵ درصد قرار گرفته است.



(ب) (الف)

شکل ۶ رفتار دیوار بدون ملاحظه سختی در گودبرداری – انتهای دیوار گیردار. (الف) جابه جایی دیوار، (ب)نشست زمین

۶- نتیجه گیری

در این پژوهش رفتار سازه نگهبان در گودبرداری در خاک ماسه‌ای توسط مدل‌سازی فیزیکی پرداخته شده است. در آزمایش‌های انجام شده، یکی از پارامترهای تاثیرگذار بر رفتار دیوار به نام سختی خمشی مورد بررسی قرار گرفته است. جهت بررسی رفتار دیوار در این مدل سازی و مقایسه نتایج به دست آمده، آزمایش‌ها به دو بخش کلی تقسیم شده است. بخش اول مربوط به آزمایش‌های گودبرداری با سازه نگهبان با لحاظ کردن پارامتر سختی و بخش دوم مربوط به آزمایش‌های گودبرداری با سازه نگهبان بدون ملاحظه پارامتر سختی خمشی می‌باشد. نتایج کلی آزمایش‌ها حاکی از آن است که با پیشرفت مراحل گودبرداری پارامترهای به دست آمده شامل جابه جایی جانبی دیوار و نشست خاک پشت دیوار افزایش پیدا کرده است ولی با تاثیر پارامتر شرایط انتهایی (گیردار بودن و آزاد بودن) دیوار روند تغییرات تا حدودی متفاوت بوده است. همچنین تاثیر این پارامتر نیز در موقعیت رخداد فرایند گسیختگی خاک پشت دیوار قابل توجه می‌باشد، به طوری که با گیردارشدن انتهای دیوار گسیختگی خاک دیرتر رخ می‌دهد. همچنین روند کاهشی مقادیر نشست در حالت گیردار بودن انتهای دیوار با شیب بیشتری نسبت به حالت آزاد می‌باشد و در انتها مقادیر نشست به دست آمده در این حالت کمتر از وضعیت انتها آزاد می‌باشد. ضمناً لازم به ذکر است که در این روش همانطور که در قسمت قبلی گفته شد، پارامتر سختی نیز بر روی عملکرد سازه نگهبان تاثیرگذار است به طوری که با افزایش سختی خمشی دیوار، نتایج حاصله شامل جابه‌جایی جانبی دیوار و نشست خاک پشت دیوار کاهش می‌یابند. ضمناً می‌توان از روش سختی خارجی (مهاربندی) و چندین مقطع مختلف دیگر نیز استفاده کرد و نتایج این دو روش را با هم مقایسه نمود. در نهایت با توجه به شرایط پروژه روش مناسب را انتخاب نمود.

جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
شماره مجوز کنگره از وزارت علوم: ۷۲۶۴۰۳۸

مراجع

[1] Ou, chang YU. Deep excavation: Theory and practice, CRC Press, 2006

[2] Babu GL, Basha B. Optimum design of cantilever sheet pile in sandy soils inverse reliability approach. Journal of Computers and Geotechnics ; 35(2) : 134-143, 2008

[3] Leung HY, Charles WW. Wall and ground movements associated with deep excavations supported by cast in situ wall in mixed ground conditions. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering: 133(2): 129-143, 2007

[4] Wang JH, Wang WD, Xu ZH. Wall and ground movement due to deep excavations in shanghai soft soils. Journal of Geotechnical Geoenvironmental Engineering; 136(7): 985-994, 2009

[5] Ou C-Y, Teng F-C. Seed, Raymond B. Using buttress walls to reduce excavation-induced movements. Journal of
Proceedings of the institution of Civil Engineers-Geotechnical Engineering; 161(4):209-222,2008.

[6] Clough GW, O'Rourke TD. Construction induced movements of in situ walls. Conf on Design and performance of earth retaining structures, ASCE: 439-470, 1990.

[7] Long M. Database for retaining wall and ground movements due to deep excavations. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering; 127(3): 203-224, 2001.

[8] Moormann C. Analysis of wall and ground movements due to deep excavation in soft soil based on a new worldwide database. Journal of soils and Foundations; 44(1): 87-98, 2004.

[9] Bryson L, Zapata-Medina D. Method for estimating system stiffness for excavation support walls. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE; 138(9): 1104-1115, 2011.

[10] Wang JH, Xu ZH, Wang WD. Wall and ground movements due to deep excavations in shanghai soft soils. Journal of Geotechnical and Geoenviromental Engineering; 136(7): 985-994, 2009

[۱۱] عبدالهی، م. مطالعه آزمایشگاهی گودبرداری به روش سیستم ترکیبی شمع و انکراژ، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۹۵.