

بررسی تغییر پارامترهای مختلف در دیوارهای ساحلی سپری مهار شده با توجه به لایه بندی خاک سست ماسه سیلتی با استفاده از آزمایشهای مدل میز لرزه

کمال باقرزاده خسروشاهی^۱، عباس قلندرزاده^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های دریایی، دانشگاه تهران

۲- استادیار دانشکده عمران، دانشگاه تهران،

Kamal_bkh@yahoo.com

خلاصه

دیوارهای ساحلی انعطاف پذیر مهار شده نوع رایجی از انواع دیوار های ساحلی بوده که در بسیاری از نقاط ساحلی دنیا اجرا شده است در این تحقیق سعی شده است که در قالب یک مطالعه موردی، تاثیر لایه بندی مختلف خاک ماسه سیلتی پشت دیوار و تراکم آن بر عملکرد لرزه ای دیوارهای ساحلی انعطاف پذیر مهار شده مورد بررسی قرار گیرد. به این منظور از آزمایشهای مدل فیزیکی در محیط Ig استفاده شده است. توسط سنسورهای موجود در مدل، پارامترهای مختلف در طول اعمال بار لرزه ای اندازه گیری شده است. مشاهده گردیده است لایه بندی خاک سست ماسه سیلتی تاثیر بسزایی در چگونگی تغییرات لنگر خمشی دیوار، نیروی کابل های مهار، نحوه جابجایی و دوران دیوار و به طور کلی رفتار لرزه ای دیوار دارد.

کلمات کلیدی: فشار آب حفره ای اضافی، روانگرایی، دیوار سپری مهار شده، لایه های شل ماسه سیلتی، مدل میز لرزه

مقدمه

دیوارهای ساحلی از سازه های مهم و بزرگ می باشند که در بنادر به منظور امکان پهلوگیری کشتیها و بارگیری و تخلیه بارهای کشتی احداث می شوند. رایج ترین دیوارهای ساحلی، دیوارهای ساحلی وزنی، سیستم شمع و عرشه و دیوارهای سپری می باشند. دیوار ساحلی سپری مهار شده نوع خاصی از دیوارهای سپری می باشد که از بهم پیوستن سپر، کابل مهاری و مهار ساخته می شود. دیوار از بالا توسط کابل مهار و از پائین توسط خاک مناسب پایدار می شود. عملکرد این نوع دیوارهای ساحلی به دلیل آسیبهای جدی که نمونه های آن در زلزله های اخیر مشاهده شده است (برای مثال خرابی دیوارهای ساحلی سپری بندر آکیتا ژاپن در اثر زلزله Nihankai-Chubu در سال 1983، خرابی دیوارهای بندر تجاری گوآم آمریکا در اثر زلزله سال 1993 و همچنین خرابی دیوارهای بندر کوشیرو ژاپن در اثر زلزله Kushiuro Oki سال 1993، توجه محققین بسیاری را به خود جلب کرده است. رفتار لرزه ای این دیوارها، مخصوصا با توجه به احتمال نرم شدگی خاک پشت دیوار در اثر زلزله (روانگرایی) و نیز عملکرد توأم و پیچیده دیوار، کابل مهاری و مهار به روشنی معلوم نمی باشد. بویژه در صورتیکه یک لایه شل بین لایه های متراکم بالا و پائین قرار گرفته باشد، رفتار لرزه ای این دیوارها پیچیده تر خواهد بود. در طراحی لرزه ای این دیوارها عموما از روشهای شبه استاتیکی استفاده می شود، لیکن با توجه به توسعه روشهای طراحی و خصوصا طراحی بر مبنای عملکرد، ارزیابی رفتار دینامیکی واقعی و برآورد میزان تغییر شکلهای این نوع دیوارها ضروری است.

در حال حاضر نوع خاصی از این نوع دیوارها در طرح توسعه بندر شهید رجایی در حال اجرا می باشد. در محل احداث پروژه بر اساس گمانه های حفاری شده لایه های شل ماسه سیلتی در اعماق ۱۴-۷ متری و ۳۵-۱۷ متری مشاهده شده است، وجود لایه های ماسه سیلتی در ترازها و ضخامت های متفاوت به اهمیت بررسی رفتار لرزه ای این نوع دیوار ساحلی افزوده است. مخصوصا که در زلزله های گذشته موارد متعددی از روانگرایی ماسه های سیلت دار و همچنین سیلتهای ماسه دار مشاهده شده است. برای مثال، موری (۱۹۸۸)، موریموتو (۱۹۸۸) و موری و نوماتا (۱۹۹۰) در زلزله نسبتاً بزرگی که در چیباکن-توهوکی در سال ۱۹۸۷ و لوما پریتا در سال ۱۹۸۹ اتفاق افتاده بود جوشش خاکهای سیلتی را گزارش کردند؛ همچنین برای زلزله کوبه در سال ۱۹۹۵ جوشش ماسه های سیلتی گزارش شده است در حالیکه در این منطقه از سیلت برای مقاوم کردن ماسه در مقابل روانگرایی استفاده شده بود. چراکه برای سالهای طولانی این تصور وجود داشت که پدیده روانگرایی تنها در ماسه ها رخ می دهد و خاکهای ریزدانه فاقد توانایی افزایش فشار آب حفره ای می باشند. در حالیکه بر اساس تحقیقات اخیر توسط سوانایام، زنگی و آتانپولوس افزایش ریز دانه تا ۴۴ درصد، باعث کاهش مقاومت روانگرایی

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های دریایی دانشگاه تهران

^۲ استادیار دانشکده عمران دانشگاه تهران

می شود. در این تحقیق برای بررسی تاثیر لایه بندی مختلف خاک ماسه سیلتی پشت دیوار و تراکم آن بر عملکرد لرزه‌ای دیوارهای ساحلی انعطاف پذیر مهار شده تعدادی آزمایش مدل انجام شده است که در آنها، لایه‌های ماسه سیلتی بالایی واقع در عمق تقریبی ۷ تا ۱۴ متری از سطح اسکله و همچنین لایه‌های ماسه سیلتی پائینی واقع در عمق تقریبی ۱۷ تا ۳۵ متری از سطح اسکله، با ضریب مقیاس ۱/۷۰، مدل شده است. آزمایش های مدل فیزیکی در محیط 1g و با استفاده از میز لرزه دانشگاه تهران انجام گرفته است. سنسورهایی با توجه به شرایط آزمایش و داده های مورد نیاز در نقاط مختلف مدل جانمایی و نصب گردیده اند.

ابزار و خاک مورد استفاده

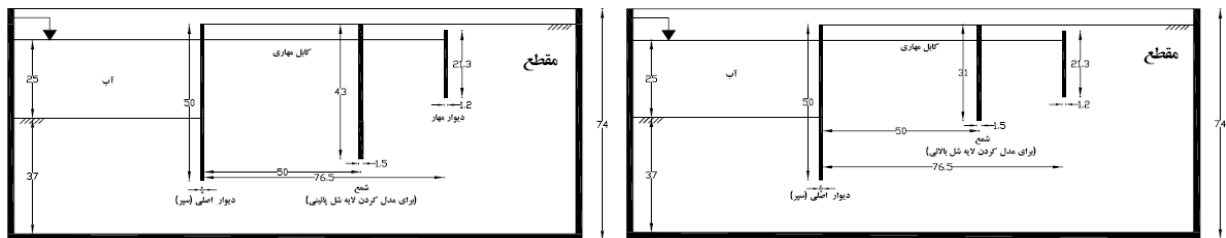
جهت انجام این تحقیق از چند نوع ابزار استفاده شده است : میز لرزه جهت اعمال حرکت پایه هارمونیک، جعبه مدل، سیستم سازه ای دیوار حائل شامل سپر T شکل، مهار و شمع، کابل مهاری، سربار، سنسورها و سیستم جمع آوری و ثبت داده ها شامل دیتالاگر و کامپیوتر. بارگذاری لرزه ای سیستم به وسیله میز لرزه با عملگر هیدرولیکی و با تولید شتاب هارمونیک انجام شده است. جعبه مدل از جنس پلکسی گلاس شفاف با طول ۱۸۰ سانتیمتر، عرض ۵۰ سانتیمتر، ارتفاع ۷۵ سانتیمتر و ضخامت ۲ سانتیمتر ساخته شده است. در پائین طرفین جعبه، شیرهایی برای ورود و خروج آب و گاز دی اکسید کربن تعبیه شده است این جعبه بر روی میز لرزه قرار می گیرد. برای ساخت اجزای دیوار از ضریب مقیاس ۱/۷۰ استفاده شده است. برای ساخت المانهای T شکل دیوار ساحلی و همچنین مهار و شمع با توجه به روابط تشابه و مدول الاستیسیته مصالح مختلف، از پلکسی گلاس استفاده شده است. همه اجزای مدل با توجه به پیش تنیده بودن کابلها، بر روی دیوار سیستمی برای اعمال پیش تنیدگی تعبیه شده است. برای ساخت کابلهای مهار نیز از مفتول فولادی تنیده شده استفاده شده است. برای ساخت سربار محوطه اسکله از ۲ تکه ورقه فولادی استفاده شده است که ضخامت آن نیز از روابط تشابه حاصل شده است. جهت قرائت سنسورها در طول بارگذاری لرزه ای، از دو دستگاه دیتالاگر دینامیکی ۱۰ کاناله (در مجموع ۲۰ کانال) استفاده شده است. اطلاعات آنالوگ در هر یک صدم ثانیه قرائت شده و توسط دیتالاگرها به دیجیتال تبدیل شده و توسط یک دستگاه کامپیوتر ذخیره و پردازش شده اند. برای اینکه امکان تکرار آزمایشهای انجام شده در مراکز تحقیقات ژئوتکنیکی وجود داشته باشد، استفاده از نوعی ماسه استاندارد، با مشخصات فیزیکی معلوم و حتی الامکان مشابه ماسه های استاندارد شناخته شده ضروری می باشد. در این تحقیق، از ماسه شکسته سیلیسی شماره ۱۶۱ فیروزکوه و نیز پودر میکرونیزه فیروزکوه برای انجام آزمایشها استفاده شده است. ماسه شماره ۱۶۱ فیروزکوه از دانه بندی یکنواختی برخوردار بوده و از نظر خواص فیزیکی و منحنی های دانه بندی شباهت زیادی به ماسه های استاندارد تویورا و سنگنیاما دارد. با توجه به مشخصات فیزیکی و دانه بندی پودر میکرونیزه، این نوع پودر را می توان در رده سیلت قرار داد. مشخصات ماسه و سیلت فیروزکوه و نیز ترکیب بکار رفته برای ساخت ماسه سیلتی در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول(۱): .مشخصات ماسه ۱۶۱ و سیلت فیروزکوه و ترکیب ماسه سیلتی بکار رفته

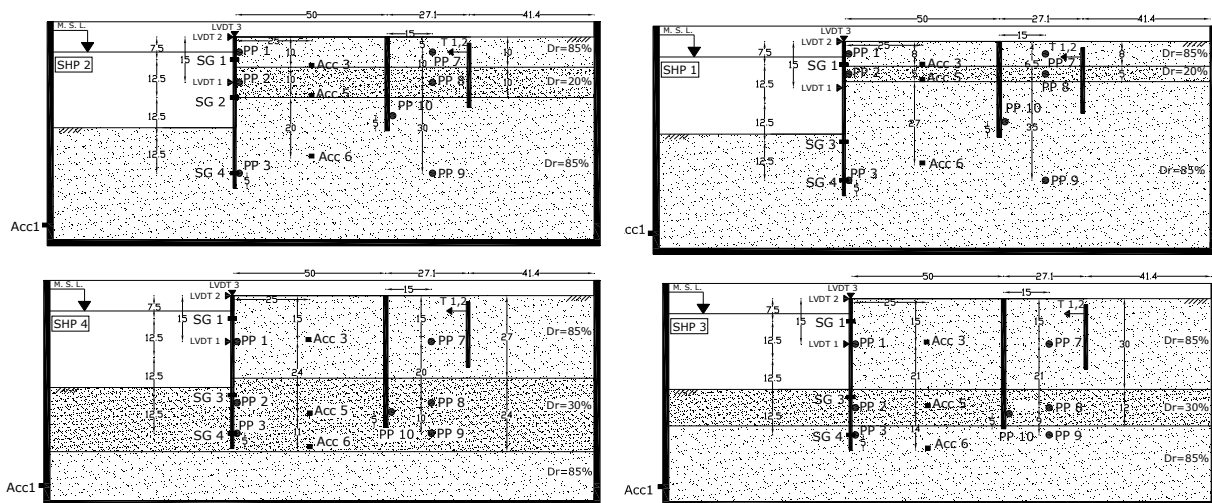
نوع خاک	چگالی دانه ها	نسبت تخلخل حداکثر	نسبت تخلخل حداقل	قطر درصد عبوری ۵۰	درصد ریز دانه عبوری از الک شماره ۲۰۰	ضریب یکنواختی	ضریب دانه بندی	حد روانی	حد خمیری	نشانه خمیری
	G_s	e_{max}	e_{min}	$D_{50}(mm)$	% Fc	Cu	Cc	%LL	%PL	%PI
ماسه فیروزکوه	2.658	0.943	0.603	0.3	0	2.58	0.97	-	-	-
سیلت فیروزکوه	2.658	0.943	0.603	0.03	55	-	-	26	17.7	8.31
ترکیب ۱۵٪ سیلت با ۸۵٪ ماسه فیروزکوه	2.658	0.849	0.439	0.26	8.25	2.58	0.97	-	-	-

ساخت مدلها

برای ساخت مدلها از روش کوبش مرطوب استفاده شده است، این روش، ایجاد تراکم های مختلف را امکان پذیر کرده است. به این منظور ۱۵ درصد وزنی، آب به ماسه اضافه شده، و سپس در لایه های ۵ سانتیمتری در داخل جعبه ریخته شده و برای رسیدن به درصد تراکم مورد نظر به دقت کوبیده شده است. برای ساخت لایه شل ماسه سیلتی میانی از ترکیب وزنی ۱۵٪ سیلت و ۸۵٪ ماسه استفاده شده است با توجه به تراز قرار گیری این لایه در هر مدل، خطوط کمکی بر روی طلق رسم شده است که پس از رسیدن به تراز مورد نظر، این لایه همانند مراحل قبلی ولی توسط وزنه سبک تر و به آرامی کوبیده می شود تا تراکم کم لایه ماسه سیلتی مورد نظر بدست آید. در مراحل مناسب، دیوار، مهار، شمع، کابلهای مهاری و سنسورها در محل از پیش تعیین شده جاسازی می شوند. بعد از پرشدن جعبه، قسمتی از جلوی دیوار برای اعمال پیش تنیدگی حفاری شده و پس از پیش تنیدگی، جلوی دیوار تا تراز کف آب (تراز لایروبی) خاکبرداری شده است. این کار برای مدلسازی اجرای واقعی این نوع دیوارها بوده است. برای مشاهده تغییر شکلهای بوجود آمده در هنگام بارگذاری لرزه ای، از ماسه رنگی از جنس ماسه فیروزکوه به ضخامت ۱ سانتیمتر در شبکه های ۱۰ سانتیمتری استفاده شده است. برای خارج کردن هوای موجود در فضای خالی خاک جهت امکان پذیر شدن اشباع کامل با آب، مدل با گاز دی اکسید کربن اشباع شده است. اشباع مدل با عبور دادن آب از زیر جعبه به صورت تدریجی و با سرعت ثابت انجام گرفته است و در آخرین مرحله قبل از انجام آزمایش، سرپا ساخته شده بر روی مدل گذاشته می شود. بعد از ساخت مدل، شتاب هارمونیک با فرکانس ۶ هرتز، در جهت طولی مدل به آن وارد شده است. مدلهای ساخته شده از نظر هندسه کلی مشابه یکدیگر هستند. هر مدل شامل ۹ المان دیوار T، ۹ شکل المان مهار، ۱۷ المان شمع و ۱۸ کابل مهار می باشد. در شکل (۱)، مقطع و پلان مدل نشان داده شده است.



شکل (۱): مقطع و پلان مدل



شکل (۲): نحوه آرایش سنسورها و لایه بندی خاک در مدلها

در شکل (۲) نحوه آرایش سنسورها و همچنین لایه بندی خاک در مدل‌های ساخته شده نشان داده شده است. در این اشکال، PP نشان دهنده سنسور فشار آب حفره ای، ACC سنسور شتاب، LVDT سنسور جابجایی، SG سنسور خمش دیوار و T سنسور کشش کابل مهار می باشند. همچنین Dr نشان دهنده دانسیته نسبی خاک می باشد. در مدل‌های SHP1 و SHP2 لایه ماسه سیلتی بالایی و در مدل‌های SHP3 و SHP4 لایه ماسه سیلتی پایینی مدل شده است. اطلاعات کلی راجع به این آزمایشها در جدول (۲) ارائه شده است. در این جدول h1 نشان دهنده ارتفاع لایه متراکم بالایی (لایه مقاوم در برابر روانگرایی)، h2 نشان دهنده لایه شل میانه ماسه سیلتی و H2 ضخامت خاک بستر می باشد. در مدل SHP1 به سبب تغییر شکل‌های ناچیز، مدل تحت بارگذاری های مکرر قرار گرفته است که نتایج مربوط به آخرین بارگذاری در این تحقیق ارائه شده است

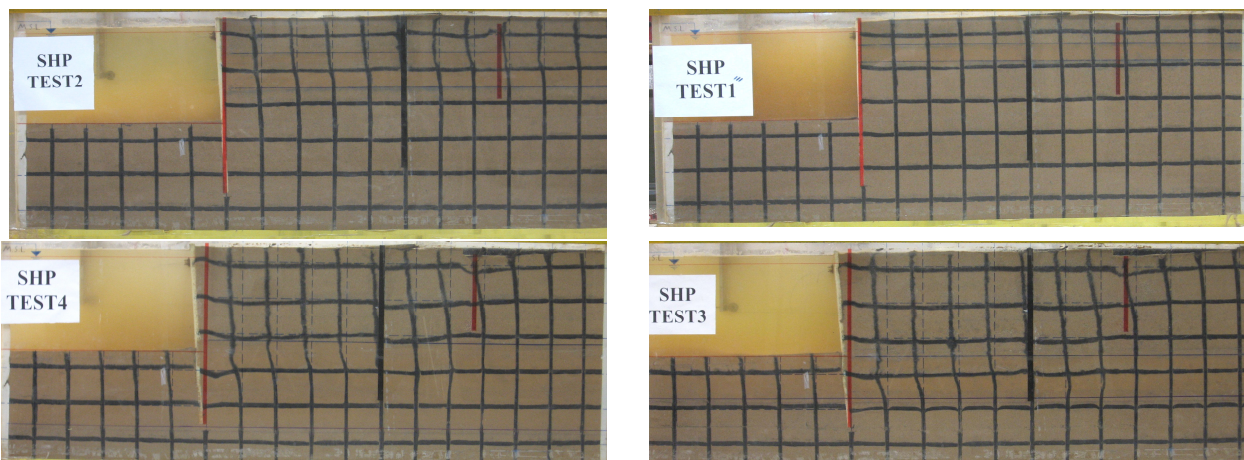
جدول (۲): اطلاعات کلی آزمایشها

طول شمع	دانسیته ارتفاع H2	h2			h1			نوع شتاب اعمالی	فرکانس حرکت (Hz)	حداکثر شتاب پایه (g)	شماره آزمایش
		دانسیته	اندازه (cm)	نوع خاک	دانسیته	اندازه (cm)	نوع خاک				
31	20%	5	ماسه سیلتی	85%	8	ماسه	سینوسی	6	0.405	SHP1"	
31	85%	20%	10	ماسه سیلتی	85%	10	ماسه	سینوسی	6	0.342	SHP2
43	85%	30%	12	ماسه سیلتی	85%	30	ماسه	سینوسی	6	0.375	SHP3
43	85%	30%	24	ماسه سیلتی	85%	27	ماسه	سینوسی	6	0.286	SHP4

نتایج عمومی و تحلیل نتایج

در شکل (۳) مدلها پس از اعمال بار لرزشی نشان داده شده اند، همانطور که مشاهده می شود در مدل SHP1 پس از بارگذاری آخر علی رغم اعمال شتاب هارمونیک بزرگتر به علت کم بودن ضخامت لایه شل ماسه سیلتی (۵ سانتی متر)، نرم شدگی زیادی رخ نداده و تغییر شکل بسیار ناچیزی را در مدل شاهد هستیم.

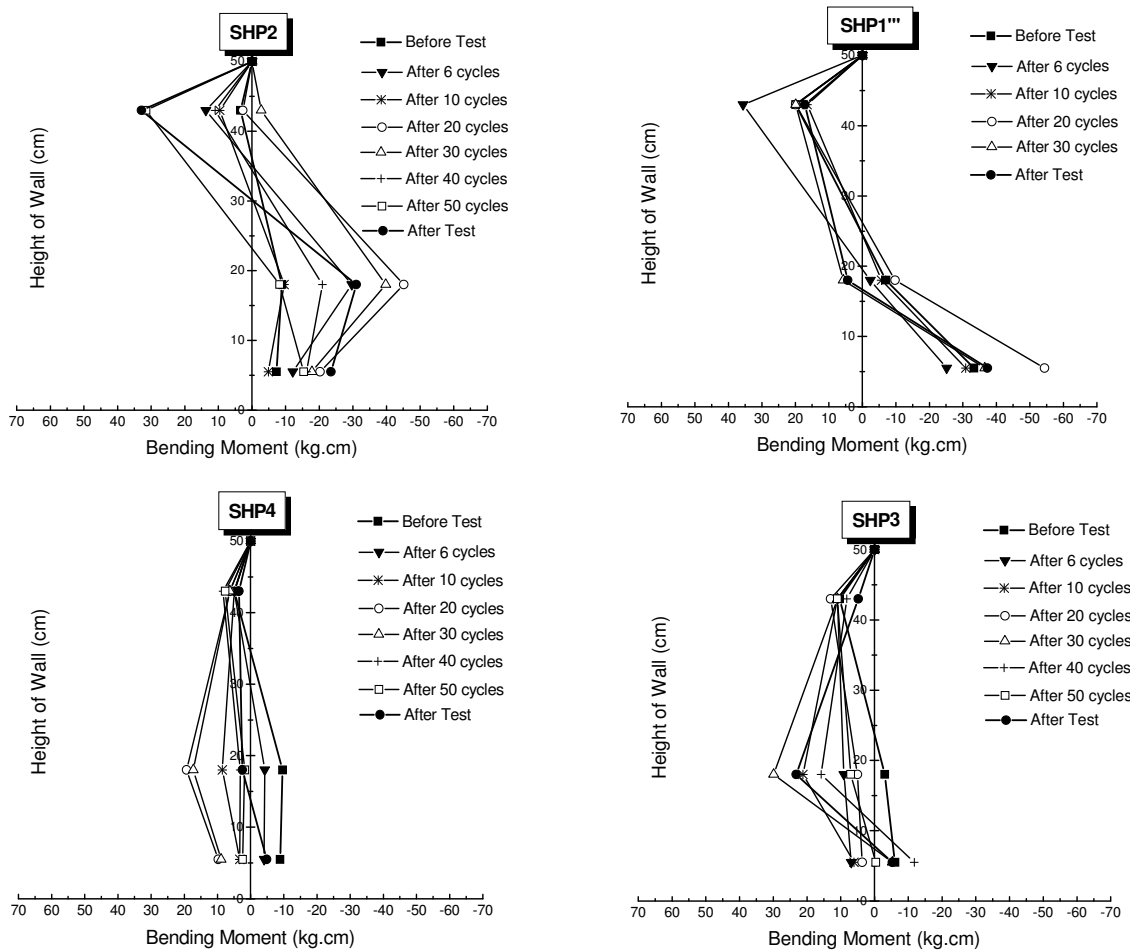
در مدل SHP2 به دلیل ضخامت بیشتر لایه شل ماسه سیلتی، نرم شدگی خاک در ترازهای بالایی مدل به خصوص در جلوی مهار به وجود آمده است. در مدل SHP3 لایه شل ماسه سیلتی در پایین تراز لایروبی قرار دارد و همانطور که مشاهده می شود با وقوع نرم شدگی خاک در این لایه و لغزش لایه متراکم بالایی، تغییر شکل زیادی در مدل رخ داده است، با توجه به این که دوران حول پای دیوار رخ داده است، می توان نتیجه گرفت که دیوار به هنگام زلزله به صورت گیردار عمل نکرده و شاهد عملکرد مفصلی در پای دیوار هستیم. در مدل SHP4 ضخامت لایه شل ماسه سیلتی واقع در پایین تراز لایروبی بیشتر از مدل SHP3 است و با وقوع نرم شدگی خاک در این لایه و لغزش لایه متراکم بالایی، تغییر شکل بیشتری در مدل به وجود آمده است. در این مدل دیوار علاوه بر دوران، مقداری هم به سمت جلو جابجا شده است. ضخامت زیاد لایه شل در زیر تراز لایروبی و در نتیجه عدم کفایت نیروی مقاوم باعث جابجایی دیوار شده است.



شکل (۳): مدلها بعد از اعمال بار لرزه ای

تغییرات لنگر خمشی

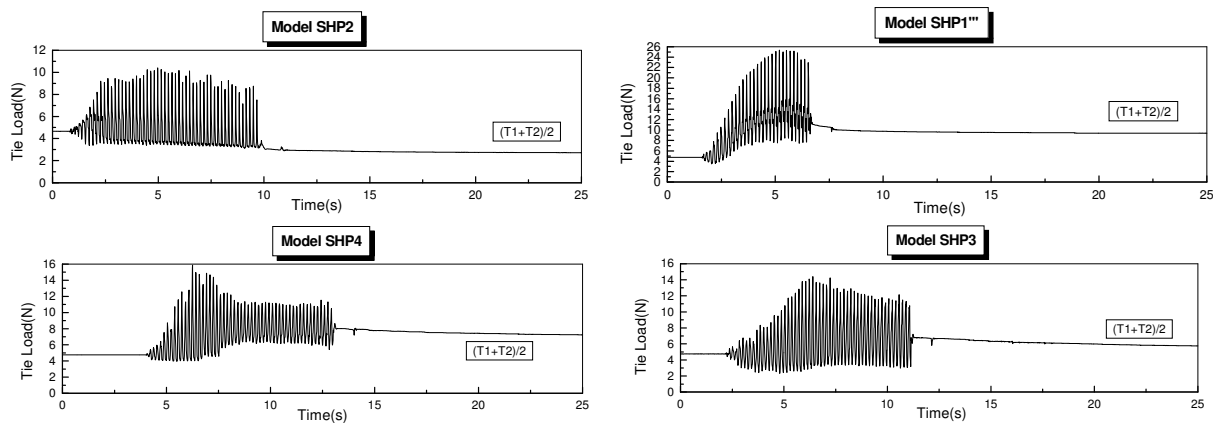
یکی از پارامترهای مهم برای طراحی سپر ها، مقدار و نحوه توزیع لنگر خمشی در حالت استاتیکی و همچنین در حالت دینامیکی (بارگذاری لرزه ای) می باشد. لنگر خمشی در واقع نماینده فشار وارد بر سپر از طرف خاک و آب می باشد بر اساس این پارامتر، مقطع سپر بدست می آید. لنگر خمشی دیوار مدل توسط چهار عدد *Strain Gage* تعبیه شده بر روی دیوار و کالیبره شده برای خمش اندازه گیری شده است. در شکل (۴) لنگر خمشی دیوار در مدل‌های مورد آزمایش در حالت استاتیکی و در انتهای سیکل‌های ۰.۶، ۱.۰، ۲.۰، ۳.۰ و ۴.۰ بارگذاری لرزه ای و همچنین انتهای آزمایش نشان داده شده است. بر اساس نتایج حاصله بیشترین نوسان لنگر خمشی را در آزمایش‌های SHP2، SHP3 و SHP4 که نرم شدگی کامل رخ داده است، مشاهده می کنیم. در آزمایش‌های SHP3 و SHP4 که لایه شل در پایین تراز لایروبی قرار دارد، لنگر خمشی دیوار در محل تراز لایروبی، نوسان (تغییر) بیشتری داشته است، در انتهای دیوار که لنگر خمشی کم می باشد، شاهد نوسان کمتر لنگر خمشی در طول آزمایش و نیز کاهش مقدار لنگر خمشی دیوار نسبت به لنگر خمشی اولیه در انتهای آزمایش هستیم. کم بودن لنگر خمشی در پای دیوار و نوسانات کم لنگر خمشی در پای دیوار، نشان دهنده عملکرد غیرگیردار دیوار به سبب استقرار پای دیوار در لایه شل در این دو آزمایش است. در آزمایش SHP2 که لایه شل در بالای تراز لایروبی قرار دارد، لنگر خمشی در تراز بالایی دیوار نیز نوسان زیادی داشته است؛ افزایش لنگر خمشی در انتهای آزمایش حاکی از عملکرد گیردار دیوار در طول اعمال بار لرزه ای می باشد. در مدل SHP1 با وجود اعمال شتابهای بالا، به دلیل عدم وقوع نرم شدگی کامل و جابجایی کم دیوار، لنگر خمشی دیوار تغییرات زیادی نداشته است.



شکل (۴): لنگر خمشی دیوار در حالت استاتیکی و دینامیکی

تغییرات در نیروی کابل مهاری

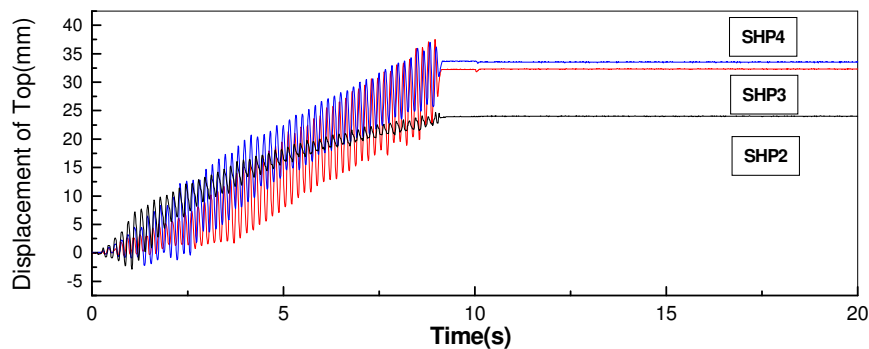
یکی دیگر از پارامترهای مهم در دیوارهای سپری مهارشده، نیروی کابل مهاری می باشد؛ این نیرو نشان دهنده عملکرد مهار نیز می باشد. در مدل‌های تحقیق حاضر کابل‌های مهار به صورت پیش تنیده بکار رفته اند. در شکل (۵) تغییرات نیروی مهاری را در طول آزمایشها شاهد هستیم. در مدل SHP1، در آخرین بارگذاری در مقایسه با بارگذاری قبلی، نیروی مهاری افزایش یافته که به نظر می رسد به دلیل مقاومت لایه متراکم در قسمت بالا و پایین مهار و ضخامت کم لایه شل و عدم نرم شدگی این لایه، مهار در مقابل جابجایی زیاد مقاومت نشان داده و در نتیجه افزایش نیروی کششی در مهارها را شاهد هستیم. در آزمایش SHP2، به دلیل ضخامت بیشتر لایه شل و وقوع نرم شدگی شاهد جابجایی بیشتر مهار و کاهش نیروی مهاری هستیم که البته به دلیل مقاومت لایه متراکم بالایی نیروی مهاری به صفر نرسیده است. در مدل‌های SHP3 و SHP4 مهار در لایه متراکم بالایی قرار دارد. پس از اعمال بار علیرغم وقوع نرم شدگی در جلو مهار به دلیل عملکرد شمع‌ها که مانع گسترش نرم شدگی در لایه‌های متراکم بالایی شده اند و نیز جابجایی بیشتر دیوار که به دلیل نیروی اینرسی زیاد لایه متراکم بالایی و لغزش این لایه روی لایه شل پایینی، شاهد افزایش نیروی مهاری هستیم.



شکل (۵): تغییرات نیروی مهاری

مقایسه جابجایی دیوارها

در شکل (۶) نمودار جابجایی‌های بالای دیوار در مدل‌های SHP2، SHP3 و SHP4 که نرم شدگی و تغییر شکل زیادی داشته اند رسم شده است. با دقت در این نمودار تفاوت در نحوه و مقدار جابجایی دیوار برای این دو دسته از مدل‌ها مشهود است، بطوریکه در مدل SHP2، که لایه شل ماسه سیلتی در بالای تراز لایروبی و نزدیک به سطح قرار دارد، جابجایی در سیکل‌های اول بزرگ بوده و در ادامه بارگذاری کاهش می یابد، درحالی که در مدل‌های SHP3 و SHP4، که لایه شل ماسه سیلتی در تراز پایین لایروبی و در عمق زیاد قرار دارد، جابجایی در سیکل‌های اولیه افزایش یافته و سپس در یک دامنه ثابت در مابقی سیکل‌ها به صورت یکنواخت تکرار شده است. در آزمایش SHP2 تغییر شکل خاک در لایه‌های سطحی رخ داده است، درحالی‌که در آزمایش‌های SHP3 و SHP4، لایه متراکم بالایی بر روی لایه شل ماسه سیلتی پایینی لغزیده و نیروی اینرسی حاصله از لایه متراکم بالایی باعث جابجایی و دوران بیشتر دیوار در مقایسه با آزمایش SHP2 شده است.



شکل (۶): نمودار جابجایی بالای دیوار در آزمایش‌های SHP2، SHP3 و SHP4

نتیجه گیری

هر چه نرم شدگی خاک در قسمت بزرگتری از خاک پشت دیوار رخ دهد، لنگر خمشی به خصوص در ترازهای پائین دیوار، در طول اعمال بار لرزه ای بیشتر دچار تغییر (افزایش ناشی از بار لرزه ای) می شود. تغییرات بیشتر لنگر خمشی در تراز پائین به نسبت تراز بالای دیوار و نیز افزایش مقدار لنگر خمشی در انتهای آزمایش نشانگر ایجاد گیرداری در پای دیوار در طول اعمال بار لرزه ای می باشد. وجود لایه شل در تراز پایینی دیوار باعث کاهش لنگر خمشی در انتهای آزمایش و عملکرد غیر گیردار دیوار می شود.

عملکرد شمعها در ممانعت از انتشار نرم شدگی باعث افزایش نیروی مهاری در آزمایشها شده است. لایه های شل ماسه سیلتی پایینی در صورت وقوع روانگرایی اثرات مخرب تری از روانگرایی لایه های شل ماسی سیلتی در ترازهای بالاتر خاک دارد، زیرا با لغزش لایه های متمرکز بالایی بر روی لایه شل پایینی و اعمال نیروی اینرسی بزرگتر، جابجایی و دوران دیوار بیشتر می شود.

مراجع

- [1] Ghalandarzadeh, A., Orita, T., Towhata, I. and Young, F., "Shaking Table Tests on Seismic Deformation of Gravity Quay Walls", Soil and Foundation, Special Issue on Geotechnical Aspects of January 17 1995 Hyogoken Nambu Earthquake, 2, 1998, 115-132
- [2] Iai, S. and Kameoka, T. "Finite Element Analysis of Earthquake Induced Damage to Anchored Sheet Pile Quay Walls", Soil and Foundations, 33(1), 1993, 71-91
- [3] Vazifdar, F.R. and Kaldveer, "The Great Guam Earthquake of 1993 Port Disaster and Recovery, PORTS 95, ASCE, 1995, PP.84-94
- [4] Iai, S. et al., "Effects of Remedial Measures Against Liquefaction at 1993 Kushiro-Oki Earthquake, Pro. 5th US-Japan Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures against Soil Liquefaction, NCEER, 94-0026, National Center for Earthquake Engineering Research, 1994, pp.135-152
- [5] PIANC, "Seismic Design Guidelines for Port Structures", Balkema, 2001.
- [6] Xenaki, Athanasopoulos, "Liquefaction resistance of sand-silt mixtures: an experimental investigation of the effect of fines", Soil Dynamics and Earthquake Engineering 23 (2003) 183-194
- [7] Towhata I., Ghalandarzadeh A., Prasad SK, Vargas-Monge W. "Dynamic failures observed in water front areas." Special Issue of Soils and Foundations 1996; 149-60.