

ارزیابی فشار دینامیکی وارد بر صفحه موج نفوذپذیر ترکیبی تحت تابش امواج منظم

نوال آزم^{۱*}، فرزین سلماسی^۲، محمدعلی لطف الهی یقین^۳، جواد پارسا^۴ و علیرضا مجتهدی^۵

^۱ - نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه تبریز naval.azam@yahoo.com

^۲ - دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز.

^۳ - استاد گروه عمران-آب، دانشگاه تبریز.

^۴ - استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز.

^۵ - دانشیار گروه عمران-آب، دانشگاه تبریز.

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۲۴

تاریخ دریافت: ۹۵/۸/۹

چکیده

سازه‌های عمودی به‌طور گسترده در سراسر دنیا به‌منظور حفاظت از سواحل، برای موج‌شکن‌های نوع کیسونی و به شکل دیوار ساحلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. استفاده از صفحه موج عمودی می‌تواند راه حل مؤثری برای حل مشکل اتلاف انرژی موج زمانی که امکان به‌کارگیری سازه توده سنگی شیب‌دار وجود ندارد، باشد. در این مطالعه، فشار وارد بر جانمایی‌های متفاوت صفحه موج ترکیبی تحت تابش امواج منظم به‌صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. صفحه موج یک دیوار نفوذپذیر است که از بالای سطح آب تا سطح بستر گسترش یافته است. فاصله بین لوله‌های سازه شرایط تبادل آب دریا، انتقال رسوب و عبور ماهی‌ها را فراهم می‌کند. نتایج این مطالعه امکان طراحی بهتر سازه‌های عمودی را ایجاد می‌کند. آزمایش‌ها نشان داد که فشار بی‌بعد ناشی از برخورد موج منظم با صفحه موج با کاهش عمق آب نسبی و افزایش عمق جانمایی افزایش می‌یابد. این افزایش در اثر افزایش عمق جانمایی در بیش‌ترین حالت برای سازه ترکیبی ۳/۲-۵ حدود ۵۲ درصد و برای سازه ترکیبی ۳/۲-۴ حدود ۴۷ درصد می‌باشد. همچنین تأثیر تغییر عمق جانمایی بر دامنه فشار بیش‌تر از تغییر قطر استوانه‌های سازه می‌باشد.

کلید واژه‌ها: صفحه موج، فشار دینامیکی، امواج منظم، حفاظت از سواحل.

مقدمه

سازه‌های عمودی (protection breakwaters) مانند موج‌شکن‌های منفذدار، شکاف‌دار، شمع‌ی و غیره) طبقه‌بندی می‌شوند. یکی از اهداف اصلی مهندسی سواحل ساخت بنادر برای کاهش انرژی موج ورودی به ناحیه‌ی حفاظت شده است، در حالی که گردش آب درون بندر حفظ شود. موج‌شکن‌های نفوذپذیر یک گزینه‌ی مناسب برای رسیدن به این هدف می‌باشند. این موج‌شکن‌ها جریان یا فعالیت موج را قطع نمی‌کنند و انتقال رسوب را کاملاً متوقف نمی‌سازند. این فاکتورها موجب شده موج‌شکن نفوذپذیر با محیط زیست هم‌خوانی بیش‌تری داشته و در طولانی مدت تعادل در منطقه را نسبت به موج‌شکن توده سنگی بهتر حفظ نماید. در حقیقت بسیار مناسب است که این سازه صفحه موج نامیده شود. زیرا مانند یک صفحه در برابر امواج عمل کرده و اثرات موج را بدون متوقف کردن کامل فعالیت موج و به‌صورت انتقال بخشی از انرژی موج کاهش می‌دهد (Yagci et al., 2006).

ساخت و طراحی یک موج‌شکن اصولی براساس توجه به فشار و نیروی وابسته به آن است. روش متداول پیش‌بینی فشار (دینامیکی و هیدرواستاتیکی) روی دیوار عمودی نمی‌تواند برای پیش‌بینی فشار روی صفحه‌ی موج استفاده گردد. از آنجایی که آب روی جان‌پناه صفحه موج وجود دارد، فشار هیدرواستاتیکی وارد بر صفحه‌ی موج کم‌تر از دیوار حائل است. بیان فشار هیدرواستاتیکی به این دلیل می‌باشد که تفاوت سطح آب روی هر

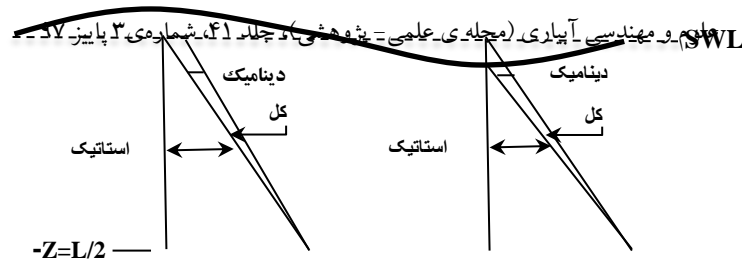
امواج بر روی سطح آب توسط یک نیروی خارجی که نوعاً منبع آن باد، کشتی در حال حرکت، زمین لرزه بستر دریای کم عمق و یا جاذبه گرانشی خورشید و ماه است، به‌وجود می‌آیند. این نیروها باعث تبدیل انرژی در قالب موج شده و این انرژی در سطح آب منتقل می‌شود. انرژی مزبور در صورت برخورد با موانعی نظیر سازه‌های دریایی و یا خط ساحلی منعکس شده و یا مستهلک می‌شود. استاندارد جهانی یا دستورالعملی برای تعریف بیشینه ارتفاع قابل پذیرش برای مکان‌های در معرض خطر وجود ندارد. درجه‌ی حفاظت از موج و طراحی مهندسی به‌هزینه‌ی قابل پذیرش کارفرما، مشخصات منطقه، شرایط زیست محیطی، اقتصادی، مصالح موجود در منطقه، خطرپذیری و نوع کاربرد سازه بستگی دارد. کارکرد اولیه یک موج‌شکن فراهم نمودن حفاظت از ساحل با کنترل ارتفاع مجاز موج است که در امتداد ساحل می‌تواند منتقل شود. هنگامی که امواج آب به یک موج‌شکن ضربه می‌زنند، انرژی موج تابشی منعکس می‌شود، مقداری از انرژی بواسطه‌ی موج شکن تلف می‌شود و انرژی باقی‌مانده به پشت مانع منتقل می‌شود. موج‌شکن‌ها بر اساس درجه‌ی حفاظت‌شان به دو مدل موج‌شکن‌هایی برای حفاظت کامل (Fully protection breakwaters) مانند موج‌شکن‌های توده سنگی، کیسونی، مرکب عمودی و غیره و موج‌شکن‌هایی برای حفاظت جزئی (Partial

موج برای پارامترهای سازه‌ای و موج‌های مختلف ارائه گردید. Kisacik et al. (2012) به صورت آزمایشگاهی اثر امواج شکنا روی یک دیوار عمودی با یک پایه افقی را مطالعه نمودند. آن‌ها دریافتند که بیش‌ترین نیرو و فشار در امواج شکنا با یک تله هوایی کوچک ایجاد گردید و بخش افقی مدل مقیاس شده نسبت به بخش عمودی بیش‌تر در معرض ضربه موج قرار گرفت. هم‌چنین به این نتیجه رسیدند که تغییرات دوره موج تأثیر نسبتاً محدودی روی نتایج دارد. Krishnakumar et al. (2010) تأثیر صفحه محافظ متخلخل را روی کاهش فشار و نیرو بر یک دیوار عمودی در جان‌پناه آن ناشی از حضور امواج برای‌دار از طریق آزمایش‌های فیزیکی مطالعه نمودند. نیروی اعمال شده روی دیوار ناشی از امواج تصادفی نرمال و امواج برای‌دار اندازه‌گیری شد و برای مقایسه با صفحات محافظ موج متخلخل استفاده گردید. نتایج نشان داد نیروها و فشارهای اعمال شده بر دیوار ناشی از امواج تاج کوتاه کم‌تر از امواج تاج بلند است. هم‌چنین کاهش قابل ملاحظه‌ای در نیرو و فشار وارد بر دیوار ناشی از افزایش زاویه موج تابشی مشاهده گردید. Ahmed (2011) رفتار جریان و عمل‌کرد هیدرولیکی موج شکن‌های نفوذپذیر به شکل یک و دو دیوار منفذدار را به کمک یک مدل عددی بر مبنای روش بسط ویژه تابع و آزمون‌های آزمایشگاهی مورد بررسی قرار داد. نتایج به‌دست آمده نشان داد بخش نفوذناپذیر پایینی کارایی بیش‌تری برای امواج بلند و متوسط دارد و بخش نفوذناپذیر بالایی اثر معنی‌داری روی همه‌ی انواع موج دارد. Alkhalidi et al. (2015) نیرو و فشار وارد بر مانع عمودی منفذدار منفرد و دوگانه را در موقعیت‌های مختلف در محدوده وسیعی از شرایط امواج نامنظم در دو سمت رو به ساحل و رو به دریا را با آزمایش‌های فیزیکی مطالعه نمود. نتایج نشان داد که تخلخل تأثیر قابل توجهی بر فشار، به‌خصوص در نزدیکی سطح آب دارد. نیروی افقی موج در حالت رو به دریا ۲۰ تا ۲۵ درصد از مقدار رو به ساحل آن کم‌تر گزارش شد، هم‌چنین نیروی وارد بر بخش جلویی مانع دوگانه ۲۰ تا ۲۵ درصد بیش‌تر از دیوار متخلخل منفرد بود. Shih (2016) کارایی صفحه موج نفوذپذیر قرار گرفته در جلوی یک دیوار ساحلی را از لحاظ کاهش اثر نیرو و فشار موج در شرایط آزمایشگاهی مختلف تحت تابش امواج منظم و نامنظم بررسی نمود. نیروی وارد بر دیوار ساحلی توسط امواج با استفاده از نیروسنج و فشار وارد بر آن با استفاده از میدل فشار اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد تغییر قطر لوله‌های تشکیل دهنده موج‌شکن که جریان از میان آن‌ها عبور می‌کند روی فشار دینامیکی تأثیر چندانی ندارد.

دو سمت صفحه به علت اختلاف در فاز و ارتفاع بین امواج تابشی و منتقل شونده است (رابطه ۱).

$$P_h = \rho g \Delta d \quad (1)$$

که P_h فشار هیدرواستاتیک، Δd تفاوت لحظه‌ای در عمق بین جلو و پشت صفحه، ρ چگالی سیال g شتاب گرانش می‌باشد (Hall, 2000). توزیع عمودی فشار ناشی از تابش امواج در شکل (۱) نشان داده شده است. L طول موج می‌باشد. انواع جدید سازه‌های تلف‌کننده انرژی به‌طور گسترده به‌منظور دستیابی به حفاظت از سواحل، پیشگیری از تخریب منظره طبیعی و بهبود استفاده از فضای ساحلی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. از مطالعات انجام شده با هدف بررسی فشار دینامیکی وارد بر موج‌شکن‌های نفوذپذیر می‌توان به تحقیقات Anandkumar et al. (1995) که به بررسی فشار حول یک پایه استوانه‌ای مایل به صورت آزمایشگاهی تحت تابش امواج منظم پرداختند، اشاره نمود. هم‌چنین Sundar et al. (1999) توزیع فشار دینامیکی پیرامون یک استوانه مایل را تحت شرایط امواج غول‌پیکر (Freak waves) بررسی نمودند. Sahoo et al. (2000) به دام انداختن و تولید امواج سطحی توسط مانع عمودی مستغرق نفوذپذیر یا صفحات کارگذاشته شده در انتهای یک کانال نیمه محدود بلند با عمق محدود برای آرایش‌های مختلف مانع و صفحه را مورد بررسی قرار دادند. در این مجموعه از آزمایش‌ها توزیع فشار دینامیکی برای پارامترهای تخلخل و نوع موج‌ساز (حرکت پدال) تحلیل شد. Neelamani and Sandhya (2005) فشار موج، بالاروی و انعکاس از یک دیوار ساحلی دنداندار را بررسی نمودند، نتایج نشان داد که این سازه انعکاس موج را تا حدود ۲۰-۴۰ درصد کاهش می‌دهد. Yagci et al. (2006) توزیع فشار دینامیکی در امتداد و حول پایه یک صفحه موج پایه‌دار را با تابش امواج منظم و نامنظم با استفاده از میدل فشار مطالعه نمودند. یکی از مهم‌ترین نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری فشار، کاهش نمایی مقدار فشار دینامیکی موج بود. هم‌چنین اندازه‌گیری فشار در حول پایه نشان داد بیشینه فشار دینامیکی ناشی از تابش موج بر سازه در زاویه صفر نقطه برخورد موج با پایه ایجاد نمی‌گردد؛ Rageh and Koraim (2010) عمل‌کرد هیدرودینامیکی دیوارهای عمودی با شکاف‌های افقی را بررسی نمودند. مدل دیوار دو قسمت داشت که بخش بالایی نفوذناپذیر و بخش پایینی نفوذپذیر و شامل شکاف‌های افقی با فواصل نزدیک بود. عمل‌کرد موج‌شکن به صورت آزمایشگاهی و تئوری به شکل تابعی از ضرایب انتقال، انعکاس و اتلاف انرژی



شکل ۱- توزیع عمودی فشار موج در آب عمیق (Dean and Dalrimple, 1991)

گرفت. این محدوده مربوط به عمق آب ۶ متر، دوره ۴/۱-۲/۵ ثانیه و ارتفاع موج ۰/۸-۰/۶ متر می‌باشد که با توجه به آمار ثبت شده، در سواحل شمالی ایران رخ می‌دهد. آزمایش‌های مختلف در فلوم موج آزمایشگاه سازه‌های دریایی دانشگاه تبریز به طول ۱۳ متر، عرض ۱/۲ متر و ارتفاع ۱ متر انجام شد. امواج منظم با ارتفاع و دوره مختلف از طریق ایجاد سری زمانی توسط یک موج‌ساز لولایی که در ابتدای فلوم قرار داشت، برای هر آزمایش به مدت ۶۰ ثانیه تولید گردیدند. حرکت امواج، شرایط ایجاد آن‌ها و قدرت مورد نیاز برای تولید امواج از روی تئوری خطی موج به خوبی تعیین می‌گردد. امواج منظم امواجی هستند که خود را در زمان تکرار می‌کنند در حالی که جابه‌جایی عمودی سطح آب در یک دوره و فاصله‌ی مشخص یکسان می‌باشد. سرعت انتشار موج به دوره موج بستگی دارد و امواجی با دوره بلندتر سریع‌تر منتشر می‌شوند. نمونه‌ی کلاسیک موج منظم در عمق ثابت موج سینوسی می‌باشد (رابطه ۲).

$$\eta(t) = A \cos(kx - \omega t + \varepsilon) \quad (2)$$

در معادله‌ی فوق، η : تراز سطح آب در هنگام موج از سطح ساکن آب، A : دامنه، k : عدد موج $(2\pi/L)$ ، L : طول موج، ω : فرکانس زاویه‌ای $(2\pi/T)$ ، ε : فاز فرکانس و (x, t) : مکان و زمان را نشان می‌دهد. سری زمانی موج منظم ۶ سانتی‌متری که توسط دو ارتفاع سنج قبل (W3) و بعد (W4) از صفحه موج ثبت گردیده، در شکل (۲) نشان داده شده است. هر موج به ارتفاع H_i در طول یک دوره، مسافت L را طی می‌کند. اصطلاحات تیزی موج که نسبت ارتفاع به طول موج (H_i/L) و سرعت موج که نسبت طول موج به دوره موج (L/T) را نشان می‌دهند، معرف شرایط موج می‌باشند. عمق آب نسبی (d/gT^2) یکی از پارامترهای بی‌بعد مؤثر برای نشان دادن تغییرات فشار در مدل‌های مختلف سازه صفحه موج می‌باشد که در مطالعات Hall (2010)، Krishnakumar et al. (2000)، Yagci et al. (2006) و سایر محققین استفاده شده است. مشخصات موج‌های تاییده شده در آزمایش‌ها در جدول (۱) آورده شده است. اغلب سواحل از سطوح شیب‌دار متخلخل که انرژی موج را از طریق ترکیبی از اتلاف لزوجت و شکست جذب می‌کنند، تشکیل شده‌اند. برای انجام آزمایش‌ها مدل‌های فیزیکی در آزمایشگاه‌های سازه‌های دریایی، استفاده از سیستم جاذب موج امری ضروری

به علت حضور نیروی لزوجت در سیالات، جدایی جریان در مجاورت لوله‌های سازه ایجاد می‌گردد. انرژی موج توسط گرداب‌های شکل گرفته ناشی از یک شرایط مرزی غیر خطی شامل ترم توان دو سرعت مستهلک می‌گردد. بررسی این شرایط مرزی غیر خطی برای مجموعه‌ای از استوانه‌ها دشوار می‌باشد. بنابراین اطلاع از فشار موج برای طراحی سازه مورد نیاز است (Zhu, 2011). با مطالعه و بررسی کارهای انجام شده توسط محققین پیشین، مجموعه‌ای از آزمایش‌های فیزیکی برای مطالعه صفحه موج استوانه‌ای ترکیبی طراحی گردید. موج‌شکن‌های لوله‌ای عمدتاً انرژی موج را مستهلک می‌کنند، بخشی را منعکس نموده و بخشی از انرژی موج را منتقل می‌کنند. با عبور موج از میان موج‌شکن سرعت و شتاب ذرات آب به طور ناگهانی تغییر می‌کند و تلاطم ایجاد شده به علت این تغییر ناگهانی در حرکت ذرات موج موجب افزایش اتلاف انرژی موج می‌شود. همچنین از آنجایی که بخش عمده‌ی انرژی موج به بخش بالایی موج‌شکن وارد می‌شود، حضور میله‌هایی با قطر بیش‌تر در بخش بالایی و حضور میله‌هایی با قطر کمتر در بخش پایینی در کاهش انرژی موج مؤثرتر بوده و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه‌تر می‌باشد. بنابراین استفاده از صفحه موج ترکیبی با ویژگی‌های ذکر شده که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است، می‌تواند بسیار مفید باشد. هدف از این مطالعه، اندازه‌گیری فشار دینامیک وارد بر سازه صفحه موج ترکیبی در اعماق مختلف برای طراحی بهتر این سازه می‌باشد، که تاکنون مورد ارزیابی قرار نگرفته است.

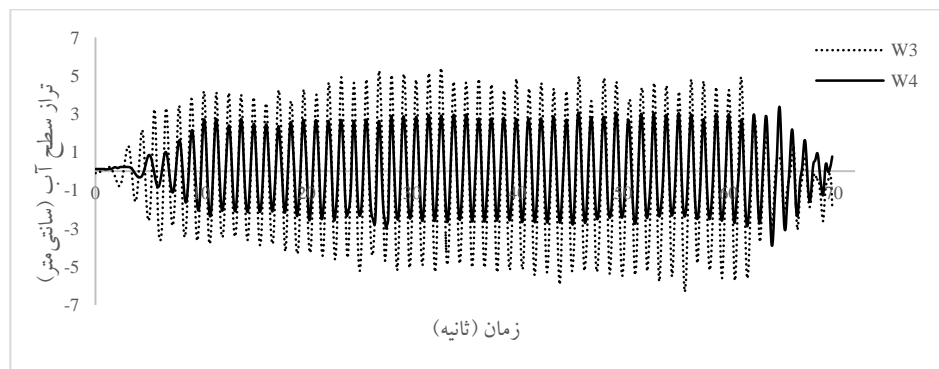
مواد و روش‌ها

در مدل‌سازی بنادر و سواحل، اثرات لزوجت را برای عدد رینولدز بالاتر از 10^4 می‌توان نادیده گرفت. به دلیل تولید امواجی با دوره کوتاه در آزمایش‌ها که تنش‌برشی قابل ملاحظه‌ای را ایجاد نمی‌کنند، امواج لزوجت بسیار پایین و عدد رینولدز بالایی دارند (Hughes, 1993). در نتیجه مقیاس فرودی ۱:۱۰ برای انجام آزمایش‌ها در نظر گرفته شد، که امکان تولید صحیح نیروی اینرسی سیال و گرانش را فراهم می‌کند، همچنین خطاهای ناشی از کشش سطحی نیز قابل ملاحظه نمی‌باشد. موج‌شکن پیشنهادی می‌تواند برای عمق‌های ۱۰-۵ متر مورد استفاده قرار گیرد. در این مطالعه آزمایش‌ها در عمق آب ثابت (d) ، ۰/۶ متر، محدوده ارتفاع موج (H_i) ، ۰/۸-۰/۶ متر و دوره موج (T) ، ۱/۳-۰/۸ ثانیه انجام

می‌باشد. به منظور حذف یا کاهش انرژی موج و اطمینان از عدم تغییر شکل موج توسط امواج منعکس شده در انتهای فلوم و در پشت پدال موج‌ساز از جاذب‌های متنوعی مانند جاذب موج سنگریزه‌ای، جاذب موج ترکیبی و غیره استفاده می‌گردد. اگر میانگین انعکاس کمتر از ۵ درصد انرژی موج تابشی باشد، می‌توان از انعکاس ایجاد شده در حین تحلیل‌ها صرف نظر نمود. در این آزمایش‌ها از جاذبی ترکیبی با شیب ۳۳ درصد (فاصله افقی ۲/۱ متر در مقابل فاصله قائم ۰/۷ متر) به منظور استهلاک انرژی موج تابشی در انتهای فلوم موج استفاده گردید، که قابلیت مستهلک نمودن ۹۵-۹۸ درصد از انرژی موج منتقل شده به انتهای فلوم را دارا بود. جزییات مدل و تجهیزات آزمایشگاهی در شکل (۳) آورده شده است. مدل صفحه موج در فاصله ۷ متری از موج‌ساز نصب گردید. صفحه موج از یک چارچوب آهنی که به دیواره‌های فلوم محکم شده بود و تعدادی استوانه افقی با قطرهای مختلف از جنس پی‌وی‌سی تشکیل شده است. در دو سر استوانه پیچ‌هایی وجود دارد که موجب قرارگیری استوانه درون چارچوب می‌شود، برای محکم شدن استوانه درون چارچوب پیچ ابتدای استوانه باز می‌گردد. در این آزمایش‌ها از صفحه موج ترکیبی استفاده گردید. این صفحه شامل دو بخش بود که بخش پایینی آن از استوانه‌هایی با قطر ۳/۲ سانتی‌متر و بخش بالایی آن از استوانه‌هایی با قطر ۴ یا ۵ سانتی‌متر تشکیل شده بود. استوانه‌های ۴ یا ۵ سانتی‌متری تا عمق‌های متغیر ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر (۷)

زیر سطح میانگین آب (d) قرار گرفته و در حد فاصل بستر و قطرهای ۴ یا ۵ سانتی‌متری از استوانه‌هایی با قطر ۳/۲ سانتی‌متر استفاده گردید. فاصله بین استوانه‌ها در تمامی آزمایش‌ها برابر ۱ سانتی‌متر و ثابت در نظر گرفته شد. با تغییر قطر استوانه‌های تشکیل دهنده سازه، میزان تخلخل سازه نیز تغییر می‌کند. میزان تخلخل با استفاده از رابطه $\varepsilon = \frac{G}{G+D}$ محاسبه می‌شود. که G فاصله بین استوانه‌ها و D قطر استوانه می‌باشد. در این مجموعه از آزمایش‌ها، محدوده تغییرات تخلخل سازه بین ۱۸-۲۲ درصد بود.

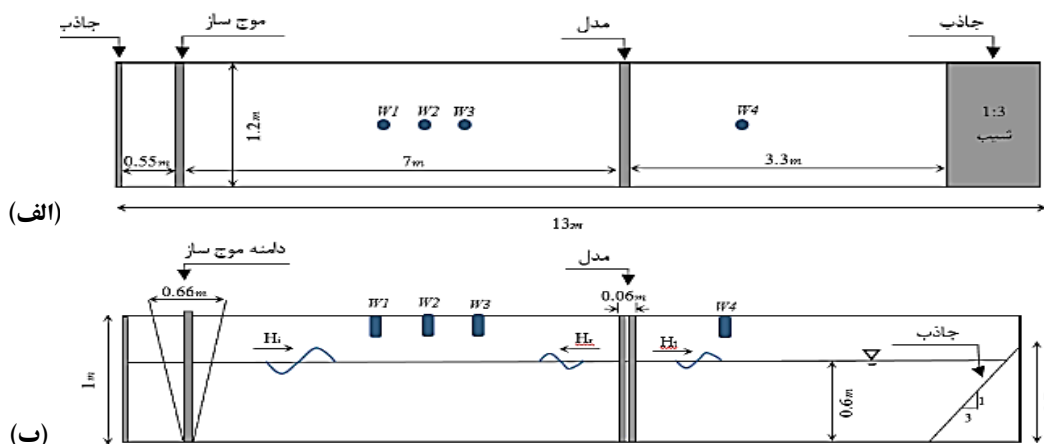
با هدف اندازه‌گیری فشار از چهار مبدل فشار ۶۰-۰ میلی‌بار با فرکانس داده‌برداری ۲۰ داده در ثانیه که در چهار نقطه ارتفاعی از سطح آب (z) نصب شده بودند، استفاده گردید. با اتصال این مبدل‌ها به داده نگار، داده‌ها از حالت آنالوگ به دیجیتال تبدیل شده و بر روی سیستم کامپیوتری ذخیره می‌گردند. برای اطمینان از دقت اندازه‌گیری، مبدل‌های فشار مرتباً کالیبره می‌شدند. شیلنگ‌های پیزومتری ۶ میلی‌متری در وسط بخش‌های استوانه‌ای سازه کار گذاشته شدند، این پیزومترها بعد از خروج از انتهای لوله به مبدل‌های فشار در خارج از فلوم متصل شده و فشار دینامیکی ناشی از برخورد موج به سازه را ثبت می‌کردند. تصویر مدل موج‌شکن و آرایش مبدل‌های فشار در شکل (۴) نمایش داده شده است.



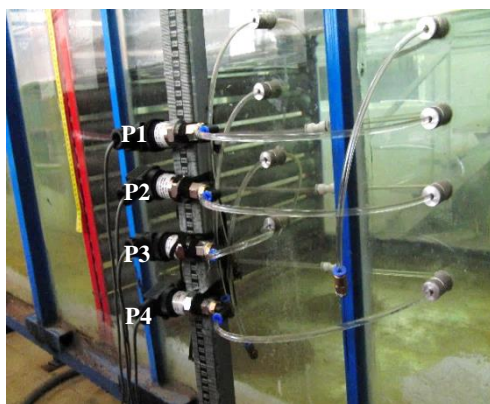
شکل ۲- سری زمانی نوسانات سطح آب برای موج منظم ۶ سانتی‌متری

جدول ۱- مشخصات موج‌های تاییده شده در آزمایش‌ها

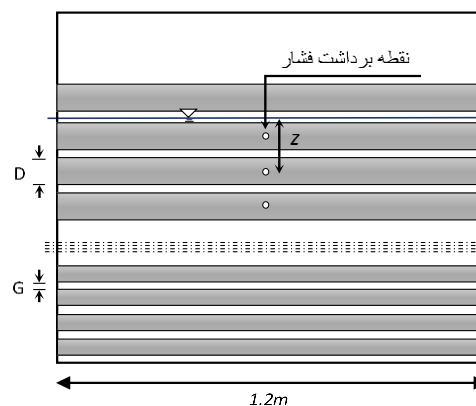
دوره موج	طول موج	عدد موج	سرعت موج	تیزی موج	عمق آب نسبی
$T(s)$	$L(m)$	$k=2\pi/L (1/m)$	$c=L/T (m/s)$	H/L	d/gT^2
۰/۸	۱	۶/۲۸	۱/۲۵	۰/۰۶-۰/۰۸	۰/۰۹۶
۰/۹	۱/۲۶	۴/۹۸	۱/۴۰	۰/۰۴۸-۰/۰۶۳	۰/۰۷۶
۱	۱/۵۴	۴/۰۸	۱/۵۴	۰/۰۳۹-۰/۰۵۲	۰/۰۶۱
۱/۱	۱/۸۳	۳/۴۳	۱/۶۶	۰/۰۳۳-۰/۰۴۴	۰/۰۵۱
۱/۲	۱/۱۲	۲/۹۶	۱/۷۷	۰/۰۲۸-۰/۰۳۴	۰/۰۴۲
۱/۳	۱/۴۲	۲/۶۰	۱/۸۶	۰/۰۲۵-۰/۰۳۳	۰/۰۳۶



شکل ۳- الف: دید از بالا - ب: دید از مقابل کانال آزمایشگاهی



(ب)



(الف)

شکل ۴- (الف): مدل موج شکن نفوذپذیر. (ب): نحوه اتصال شیلنگ‌های پیزومتری و موقعیت قرارگیری مبدل‌های فشار

می‌کنند، به موج شکن برخورد کرده و مقداری از انرژی آن‌ها منعکس می‌شود. امواج منعکس شده در برای عکس منتشر می‌شوند، در حالی که امواج منتقل شده، حرکت کرده و انرژی آن‌ها توسط جاذب موج انتهایی فلوم از بین می‌رود. در کل، هنگامی که سازه در یک محیط دریایی نصب می‌شود، الگوی جریان در مجاورت سازه در نتیجه انقباض جریان، شکل‌گیری گرداب نعل اسبی در مقابل سازه، شکل‌گیری گردابه‌های برگشتی در پشت سازه (با و بدون انتشار گردابه)، تولید و توسعه تلاطم در طول فرآیند انعکاس در نزدیکی سطح آزاد آب، وقوع امواج تفرق یافته و منعکس شده و وقوع شکست موج، تغییر می‌کند. این پدیده‌ها اتلاف انرژی موج را علاوه بر اتلاف ایجاد شده توسط خود سازه، تحت تأثیر قرار می‌دهند (Reddy and Neelamanit, 1992). شکل (۵) نحوه برخورد موج با سازه صفحه موج و شیوه جانمایی استوانه‌ها در صفحه موج را نشان می‌دهد.

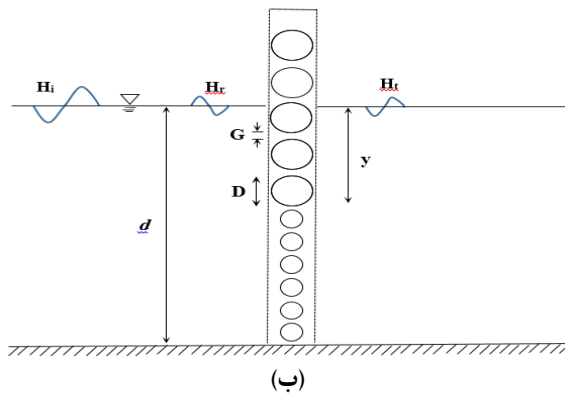
نتایج و بحث

هدف از این آزمایش‌ها مطالعه نوسانات فشار دینامیکی و نحوه رفتار لحظه‌ای موج تابشی بر روی سازه صفحه موج می‌باشد. در مورد فشار ثابت، مشکل خاصی برای طراحی وجود ندارد، زیرا سازه به نحوی طراحی می‌گردد که توانایی مقاومت در برابر یک تنش ثابت را داشته باشد. اما در مورد فشارهای دینامیکی وارد بر قسمت‌های مختلف سازه، وضع بگونه‌ای دیگر است، زیرا در این‌جا، نیرویی که بر سازه وارد می‌شود، یک نیروی ثابت نیست و در هر لحظه عمل کرد متغیر دارد. از این رو نیاز است در نقاطی از سازه که جریان با تلاطم و آشفتگی شدید همراه بوده و نوسانات فشار زیاد می‌باشد، فشار به صورت لحظه‌ای ثبت گردد. به این منظور در ابتدای هر آزمایش سری زمانی موج هدف به موج‌ساز داده شده و بعد از خوانده شدن سری زمانی، پدال شروع به حرکت می‌کند و امواج با دامنه و دوره تعیین شده تولید می‌شوند. امواج به سمت مدل موج‌شکن حرکت

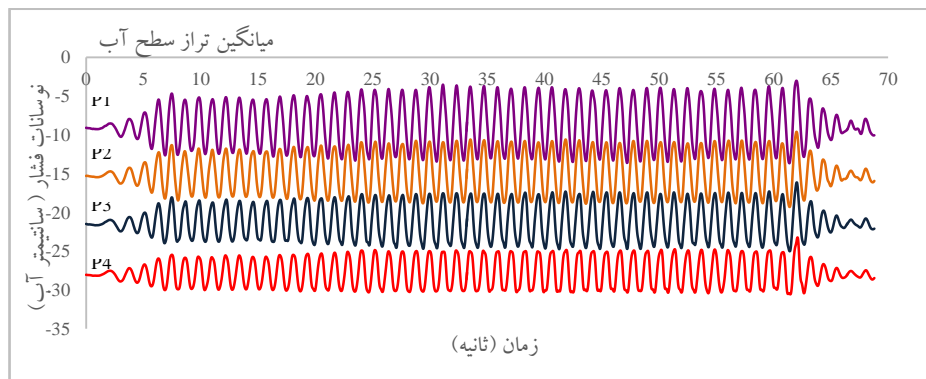
سطح آب کاهش می‌یابد. تغییرات فشار بی‌بعد (P/H_i) در برابر عمق آب نسبی (d/gT^2) برای مدل‌های مختلف در ارتفاع بی‌بعد $H/d=0.1$ برای چهار نقطه ارتفاعی نسبت به میانگین سطح آب (z/d) در شکل (۷) و (۸) آورده شده است. این اشکال نشان می‌دهند که فشار بی‌بعد ناشی از برخورد موج با صفحه موج با کاهش عمق آب نسبی افزایش می‌یابد. بیشینه میزان این افزایش برای صفحه موج ترکیبی با قطر $۳/۲-۵$ ، حدود ۶۶ درصد (شکل ۷) و برای صفحه موج ترکیبی با قطر $۳/۲-۴$ ، حدود ۷۴ درصد (شکل ۸) می‌باشد. بیشینه میزان تغییرات فشار که در مبدل فشار اول ثبت شده است، برای دو صفحه موج ترکیبی $۳/۲-۵$ و $۳/۲-۴$ در دو عمق جانمایی بی‌بعد (y/d) معادل $۰/۱۷$ و $۰/۳۳$ ، در عمق آب نسبی $۰/۰۴۲$ و در عمق جانمایی بی‌بعد (y/d) معادل $۰/۵$ در بیشتر مواقع در عمق آب نسبی $۰/۰۳۶$ ایجاد گردید. یعنی با افزایش عمق جانمایی بیشینه تغییرات فشار دینامیکی در موج‌هایی با دوره بزرگ‌تر ایجاد گردید. همچنین دیده شد با افزایش عمق آب نسبی، تأثیر افزایش عمق جانمایی در بخش‌های پایینی صفحه موج ترکیبی کاهش می‌یابد.

مطابق با شکل (۴) از چهار مبدل فشار برای اندازه‌گیری فشار وارد بر سازه موج‌شکن ناشی از برخورد موج استفاده گردید. سری زمانی تغییرات فشار دینامیک وارد بر سازه توسط مبدل فشار در تمامی آزمایش‌ها ثبت گردید. تحلیل‌های فشار دینامیکی بر مبنای فشار بی‌بعد P/H_i انجام گرفت. که دامنه تغییرات فشار دینامیک در هر سری زمانی موج و H_i ارتفاع موج تابشی را بیان می‌کند.

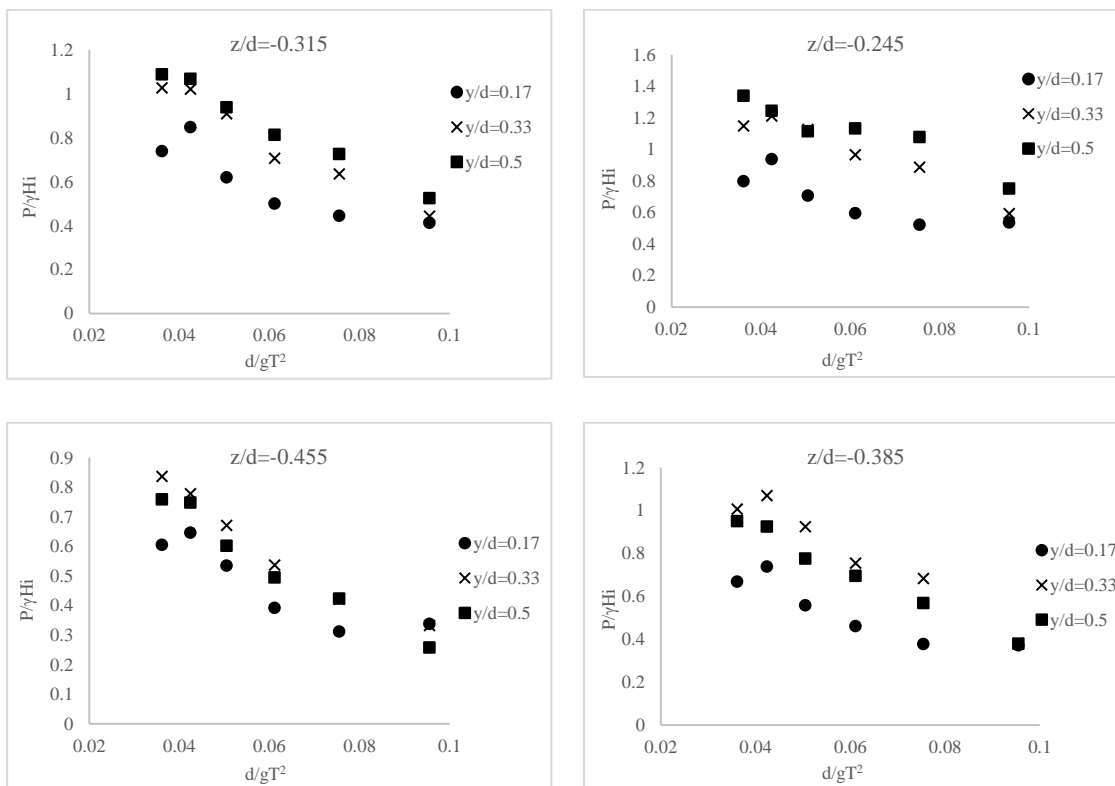
سری زمانی فشار دینامیکی وارد بر صفحه موج مربوط به یکی از آرایش‌های سازه در شکل (۶) آورده شده است. با توجه به این شکل می‌توان دید بعد از تشکیل موج و رسیدن موج به صفحه موج، موج منعکس شده و تشکیل امواج نیمه ایستا آغاز می‌گردد. در آغاز شکل‌گیری امواج نیمه ایستا مقداری آشفتگی در سری زمانی فشار اتفاق می‌افتد ($۰-۱۰S$). پس از آن امواج پایدار شده و بازه زمانی مناسب برای تحلیل داده‌های فشار می‌باشد ($۱۰-۲۰S$). بعد از این زمان شکل امواج نیمه ایستا به علت انعکاس‌های جدید موج از موج‌ساز دچار تغییر می‌گردد. همچنین در این شکل دیده می‌شود دامنه تغییرات فشار دینامیک موج با افزایش فاصله نسبت به میانگین



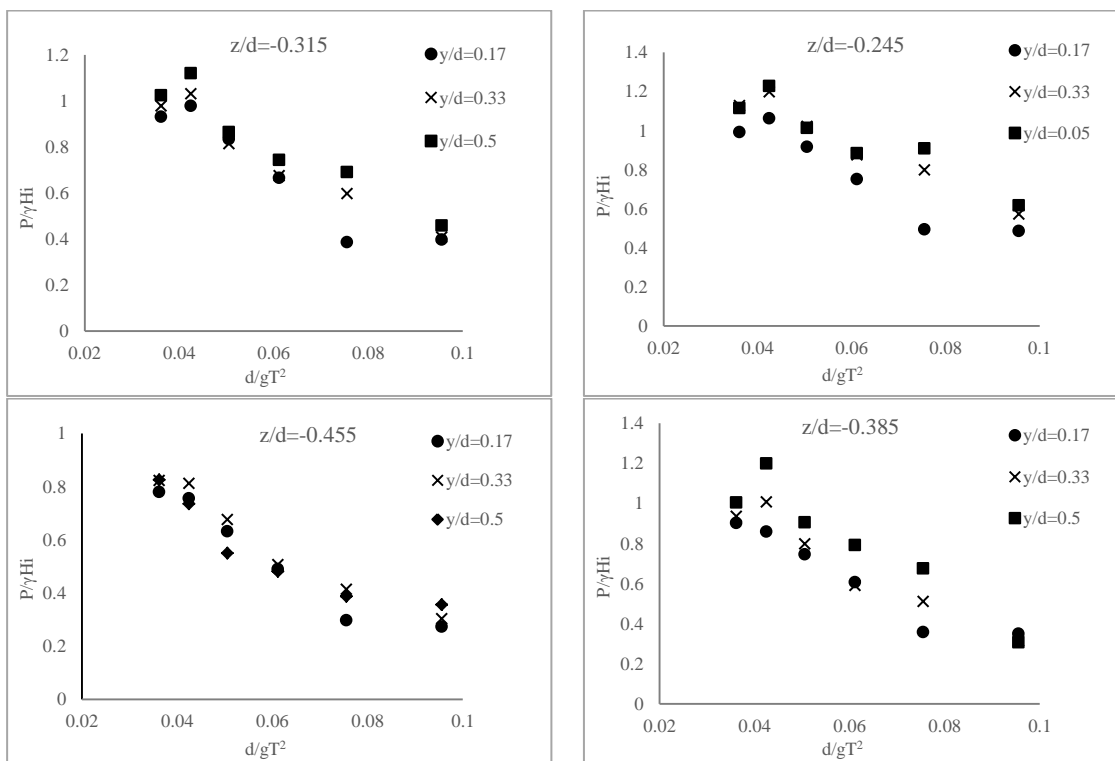
شکل ۵- (الف): نحوه برخورد موج با سازه صفحه موج. (ب): نمایش شیوه جانمایی استوانه‌ها در صفحه موج ترکیبی.



شکل ۶- سری زمانی نوسانات فشار دینامیکی موج ثبت شده توسط مبدل‌های فشار در $d/gT^2=0.88$



شکل ۷- تغییرات فشار بی بعد نسبت به عمق آب نسبی برای جانمایی های متفاوت سازه ۳/۲-۵ در $H_i/d=0.1$



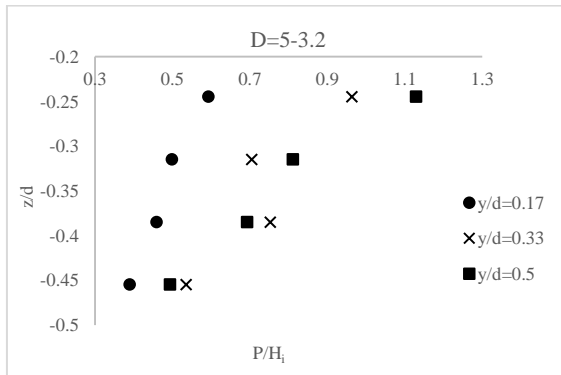
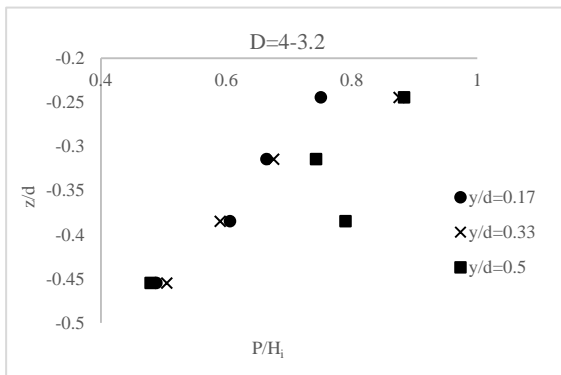
شکل ۸- تغییرات فشار بی بعد نسبت به عمق آب نسبی برای جانمایی های متفاوت سازه ۳/۲-۴ در $H_i/d=0.1$

بیش‌تری به موج تحمیل می‌گردد که منجر به وارد آمدن فشار بیش‌تر به سازه می‌گردد. بیش‌ترین میزان تغییر در دامنه فشار با تغییر عمق جانمایی برای $H_i/d=0.1$ در سازه ترکیبی ۵-۳/۲ برابر با ۵۲ درصد و برای سازه ترکیبی ۴-۳/۲ برابر با ۴۷ درصد به‌دست آمد. بیش‌ترین میزان افزایش دامنه فشار با تغییر قطر استوانه‌های سازه از ۴-۳/۲ به ۵-۳/۲ برای عمق‌های جانمایی بی‌بعد ۰/۱۷، ۰/۳۳ و ۰/۵ به ترتیب برابر با ۱۹، ۲۵ و ۲۲ درصد به‌دست آمد.

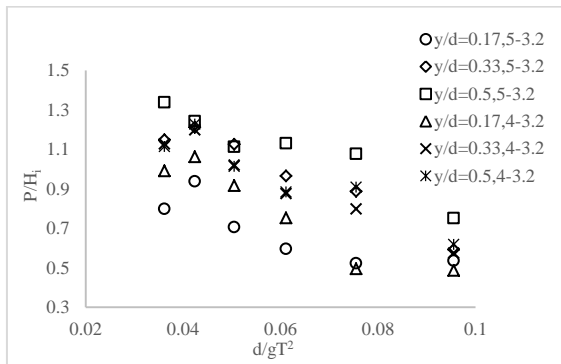
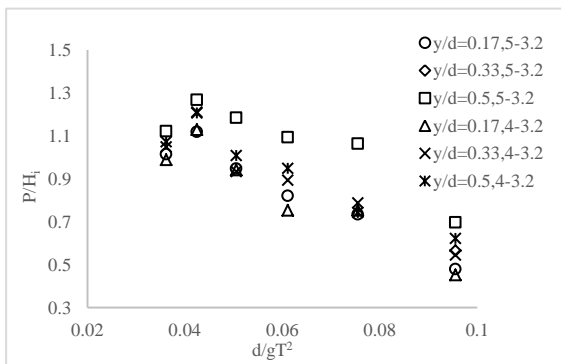
در شکل (۱۱) تغییرات فشار بی‌بعد در عمق آب برای جانمایی‌های متفاوت سازه در $d/gT^2=0.95$ برای دو ارتفاع موج تابشی نشان داده شده است. نتایج نشان داد با افزایش فاصله از میانگین سطح آب دامنه تغییرات فشار کاهش یافت. بیش‌ترین میزان کاهش دامنه فشار در عمق جانمایی ۰/۵ برای $H_i/d=0.1$ برابر با ۵۲ درصد و برای $H_i/d=0.13$ برابر با ۳۸ درصد بود که در سازه ترکیبی ۵-۳/۲ مشاهده شد. در این صفحه موج چون انرژی موج از طریق تخریب خط سیر متداول ذرات مستهلک می‌شود، با افزایش بکارگیری استوانه‌هایی با قطر بزرگ‌تر، حرکت موج سخت‌تر شده و فشار بیش‌تری به سازه تحمیل می‌گردد.

شکل (۹) تغییرات فشار بی‌بعد نسبت به عمق قرارگیری پیزومترها برای جانمایی‌های متفاوت سازه را نشان می‌دهد. با افزایش عمق جانمایی (y/d) میزان دامنه تغییرات فشار دینامیکی افزایش می‌یابد. این افزایش در عمق آب نسبی ۰/۰۶۱ برای سازه ترکیبی ۵-۳/۲ حدود ۴۷ درصد و برای سازه ترکیبی ۴-۳/۲ حدود ۱۵ درصد می‌باشد. دلیل این کاهش را می‌توان در کم شدن تفاوت بین قطر استوانه‌های صفحه موج ۴-۳/۲ نسبت به ۵-۳/۲ دانست. همچنین تأثیر افزایش عمق جانمایی بی‌بعد بر روی دامنه تغییرات فشار دینامیکی با افزایش عمق بی‌بعد (y/d) کاهش می‌یابد و در نزدیکی بستر تفاوت چندانی بین نتایج دیده نمی‌شود.

شکل (۱۰) تغییرات فشار بی‌بعد به عمق آب نسبی در جانمایی‌های مختلف سازه که توسط اولین مبدل فشار ($z/d=0.245$) ثبت شده است را نشان می‌دهد. بیش‌ترین فشار بی‌بعد در صفحه موج ۵-۳/۲ دیده شد و با کاهش عمق جانمایی میزان فشار بی‌بعد کاهش یافت. تأثیر تغییر عمق جانمایی بر دامنه فشار بیش‌تر از تغییر قطر استوانه‌های سازه بود. با افزایش عمق جانمایی سازه ارتفاع بیش‌تری از موج تحت تأثیر صفحه موج قرار گرفته و تغییر شکل



شکل ۹- تغییرات فشار بی‌بعد در عمق آب برای جانمایی‌های متفاوت سازه در $d/gT^2=0.061$

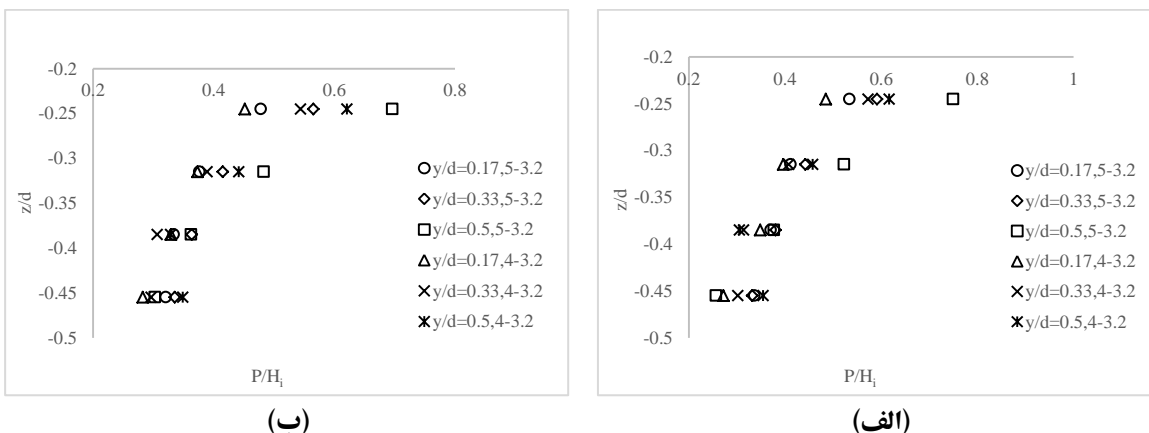


(ب)

(الف)

شکل ۱۰- تغییرات فشار بی‌بعد نسبت به عمق آب نسبی برای جانمایی‌های متفاوت سازه در $z/d=0.245$ (الف) $H_i/d=0.1$

(ب) $H_i/d=0.13$



شکل 11- تغییرات فشار بی بعد در عمق آب برای جانمایی های متفاوت سازه در $d/gT^2=0.095$ (الف) $H_1/d=0.1$ (ب) $H_1/d=0.13$

تأثیر تغییر عمق جانمایی بر دامنه فشار بیش تر از تغییر قطر استوانه های سازه بود. بیش ترین میزان تغییر در دامنه فشار با تغییر عمق جانمایی برای $H_1/d=0.1$ در سازه ترکیبی $5-3/2$ برابر با 52% درصد و برای سازه ترکیبی $4-3/2$ برابر با 47% درصد به دست آمد. بیش ترین میزان افزایش دامنه فشار با تغییر قطر استوانه های سازه از $4-3/2$ به $5-3/2$ برای عمق های جانمایی بی بعد 0.17 ، 0.33 و 0.5 به ترتیب برابر با 19% ، 25% و 22% درصد به دست آمد. با افزایش فاصله از میانگین سطح آب دامنه تغییرات فشار کاهش یافت. بیش ترین میزان کاهش دامنه فشار در عمق جانمایی 0.5 برای $H_1/d=0.1$ برابر با 52% درصد و برای $H_1/d=0.13$ برابر با 38% درصد بود که در سازه ترکیبی $5-3/2$ مشاهده شد.

سپاسگزاری

بدینوسیله، از دانشگاه تبریز، به پاس تهیه امکانات و تجهیزات آزمایشگاهی این مطالعه و از آقایان روزبه افشاری و حسین عبوض اوغلی برای همکاری ایشان در تجهیز آزمایشگاه و روند انجام آزمایش ها تشکر و قدردانی می گردد.

نتیجه گیری

به منظور بررسی فشارهای دینامیکی وارد بر مدل صفحه موج، نتایج جانمایی های مختلف سازه برای 6 دوره و 3 ارتفاع موج ارزیابی و تحلیل گردید. با بررسی نتایج آزمایش ها تحقیق حاضر دیده شد: فشار بی بعد ناشی از برخورد موج با صفحه موج با افزایش عمق آب نسبی کاهش می یابد. بیشینه میزان این افزایش برای صفحه موج ترکیبی با قطر $5-3/2$ ، حدود 66% درصد و برای صفحه موج ترکیبی با قطر $4-3/2$ ، حدود 74% درصد بود. با افزایش عمق جانمایی میزان دامنه تغییرات فشار دینامیکی افزایش می یابد. این افزایش در عمق آب نسبی 0.61 برای سازه ترکیبی $5-3/2$ حدود 47% درصد و برای سازه ترکیبی $4-3/2$ حدود 15% درصد می باشد. هم چنین افزایش عمق آب نسبی، تأثیر افزایش عمق جانمایی در صفحه موج ترکیبی را کاهش می دهد. تأثیر افزایش عمق جانمایی بی بعد بر روی دامنه تغییرات فشار دینامیکی با افزایش عمق بی بعد کاهش می یابد و در نزدیکی بستر تفاوت چندانی بین نتایج دیده نمی شود.

منابع

- 1- Ahmed, H. 2011. Wave Interaction with Vertical Slotted Walls as a Permeable Breakwater. Ph.D. thesis in Institute for Geo-technic, Waste Management and Hydro Sciences (IGAW), University of Wuppertal, Germany.
- 2- Alkhalidi, M., Neelamani, S. and Assad, A.I.A.H., 2015. Wave forces and dynamic pressures on slotted vertical wave barriers with an impermeable wall in random wave fields. *Ocean Engineering*, 109, pp.1-6.
- 3- Anandkumar, G., Sundar, V., Graw, K.U. and Kaldenhoff, H., 1995. Pressures and forces on inclined cylinders due to regular waves. *Ocean Engineering*, 22(7), pp.747-759.

- 4- Dean, R .G. Dalrymple, R. A. 1991. *Water wave mechanics for engineers and scientists*. World scientific. Delaware University, USA. 371p.
- 5- Hall, K. 2000. Wave transmission through multi-layer wave screens. M.Sc. thesis at Queen's university, Kingston, Ontario, Canada.
- 6- Hughes, S.A., 1993. *Physical models and laboratory techniques in coastal engineering* (Vol. 7). World Scientific.
- 7- Kisacik, D. Troch, P. Van Bogaert, P. 2012. Description of loading conditions due to violent wave impacts on a vertical structure with an overhanging horizontal cantilever slab. *Coastal Engineering*. 60(1): 201–226.
- 8- Krishnakumar, C. Sunder, V. and Sannasiraj, S. A. 2010. Pressures and forces due to directional waves on a vertical wall fronted by wave screens. *Applied Ocean Research*. 32 (1): 1-10.
- 9- Neelamani, S. and Sandhya, N., 2005. Surface roughness effect of vertical and sloped seawalls in incident random wave fields. *Ocean engineering*, 32(3-4), pp.395-416.
- 10- Rageh, O.S. and Koraim, A.S., 2010. Hydraulic performance of vertical walls with horizontal slots used as breakwater. *Coastal Engineering*, 57(8), pp.745-756.
- 11- Reddy, M.S. and Neelamani, S., 1992. Wave transmission and reflection characteristics of a partially immersed rigid vertical barrier. *Ocean Engineering*, 19(3), pp.313-325.
- 12- Shih, R.S., 2016. Investigation of random wave impact on highly pervious pipe breakwaters. *Applied Ocean Research*, 58, pp.146-163.
- 13- Sahoo, T., Lee, M.M. and Chwang, A.T., 2000. Trapping and generation of waves by vertical porous structures. *Journal of engineering mechanics*, 126(10), pp.1074-1082.
- 14- Sundar, V., Koola, P.M. and Schlenkhoff, A.U., 1999. Dynamic pressures on inclined cylinders due to freak waves. *Ocean engineering*, 26(9), pp.841-863.
- 15- Yagci, O., Kirca, V.S.O., Kabdasli, M.S., Celik, A.O., Unal, N.E. and Aydingakko, A., 2006. An experimental model application of wavescreen: Dynamic pressure, water particle velocity, and wave measurements. *Ocean Engineering*, 33(10), pp.1299-1321.
- 16- Zhu, D., 2011. Hydrodynamic characteristics of a single-row pile breakwater. *Coastal Engineering*, 58(5), pp.446-451.