

الحمد لله الذي
خلقنا من
الحمم



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده عمران

گروه مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی

عنوان پایان نامه ارشد

ارایه الگوی بهینه هندسه و چینش موج شکن های صندوقه ای شناور جهت دستیابی به
بیشینه سازگاری با محیط

دانشجو:

مجید مرتضایی

اساتید راهنما :

دکتر رضا نادری

دکتر مهدی عجمی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : عمران

گروه : آب و سازه هیدرولیکی

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای مجید مرتضایی

تحت عنوان: ارایه الگوی بهینه هندسه و چینش موج شکن های صندوقه ای شناور جهت دستیابی به بیشینه سازگاری با محیط

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی :
	نام و نام خانوادگی :

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

تقدیم به:

روح پاک مادرم، دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه رنج بود و

وجودش برایم همه مهر

پدرم، که عالمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی، ایستادگی را تجربه نمایم

و برادر و خواهرم، همراهان همیشگی و پشتوانه های زندگیم.

سپاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به همنشینی

رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت.

همچنین بر خود لازم میدانم تا بدینوسیله از زحمات بی دریغ و راهنماییهای ارزشمند اساتید راهنمایم جناب آقای

دکتر نادری و آقای دکتر عجمی در راستای انجام این پروژه تشکر و قدردانی نمایم.

تعهد نامه

اینجانب **مجید مرتضایی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **عمران-سازه های هیدرولیکی** دانشکده **عمران** دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **ارایه الگوی بهینه هندسه و چینش موج شکن های صندوقه ای شناور جهت دستیابی به بیشینه سازگاری با محیط** تحت راهنمایی **دکتر رضا نادری و دکتر مهدی عجمی** متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

موج‌شکن‌های شناور به منظور ایجاد محیطی امن جهت حفاظت از سازه‌های ساحلی در برابر نیروی امواج به کار می‌روند. استفاده از این موج‌شکن‌ها در مکان‌هایی که بستر دریا از پایداری لازم جهت تحمل نیروی مصالح برخوردار نیست و همچنین در محل‌هایی با عمق نسبتاً زیاد، بسیار اقتصادی خواهد بود. با وجود حجم وسیع فعالیت‌های انجام گرفته در مناطق ساحلی کشورمان از یک سو و اهمیت طراحی سازه‌های حفاظت از ساحل با کاربرد مناسب و هزینه کم از سوی دیگر، می‌توان از این نوع موج‌شکن‌ها بعنوان یکی از مهم‌ترین سازه‌های حفاظتی مورد استفاده در این سواحل نام برد. بنابراین لزوم دستیابی به دانش فنی طراحی و ساخت موج‌شکن شناور و همچنین عدم وجود تجربه اجرایی در کشور، اهمیت تحقیق و پژوهش در این زمینه را آشکار می‌نماید.

مطالعاتی که تاکنون در مورد موج‌شکن‌های شناور انجام پذیرفته است، غالباً به بررسی شاخصه‌های هیدرولیکی این سازه‌ها، نظیر ضریب عبور موج و ضریب انعکاس موج پرداخته‌اند، ازین رو نیاز جدی به بررسی رفتار سازه‌ای این موج‌شکن‌ها و تعیین سازگاری با محیط آن‌ها احساس می‌شود. در این مطالعه به بررسی عملکرد موج‌شکن‌های شناور π شکل و تاثیر افزودن تیغه‌های میراگر در کاهش پاسخ‌های حرکتی آن‌ها پرداخته شده است. به همین منظور عملکرد این موج‌شکن‌ها برای مقادیر مختلف عرض موج‌شکن، عمق آب‌خور، ارتفاع صفحه عمودی و عرض تیغه افقی مورد بررسی قرار گرفته و با متغیر قرار دادن فرم هندسی بدنه سازه و در نظر گرفتن معیار بهترین و بیشترین سازگاری با شرایط مختلف محیطی (Best Seakeeping Performance)، نمونه‌هایی از سازه مزبور برای شرایط محیطی حاکم بر دریای کاسپین بهینه‌سازی شده است.

برای مدل سازی عددی موج شکن مذکور از نرم افزار MOSES_۷,۰۵,۰۴۲ استفاده گردیده است. به منظور افزایش بعد عملی مطالعه، شرایط و پارامترهای شبیه سازی متناسب با شرایط حاکم بر آب های کرانه های دریای کاسپین در محدوده بندرانزلی انتخاب گردیده اند.

نتایج عددی بدست آمده نشان می دهد که عمق آبخور عامل بسیار تعیین کننده در میزان بازدهی موج شکن شناور مورد نظر است. همچنین افزایش عرض سازه در کاهش پاسخ موج شکن شناور بسیار تاثیر گذار است. افزودن تیغه های میراگر افقی در انتهای صفحه های عمودی نیز حرکت Roll را کاهش خواهد داد.

کلید واژه: موج شکن شناور π شکل، ضریب عبور موج، سازگاری با محیط، پاسخ حرکتی، MOSES.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست مطالب.....	ط
فهرست جدول ها.....	ن
فهرست شکل ها.....	س
فصل اول - کلیات.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۲
۱-۱-۱- موج شکن توده سنگی.....	۳
۱-۱-۲- موج شکن های قائم.....	۴
۱-۱-۳- موج شکن ترکیبی.....	۴
۱-۱-۴- موج شکن های شناور.....	۵
۱-۲- چرا موج شکن شناور؟.....	۶
۱-۲-۱- استدلال اقتصادی.....	۷
۱-۳- موج شکن شناور.....	۸
۱-۳-۱- پیشینه موج شکن شناور.....	۹
۱-۳-۲- مزایا و معایب موج شکن شناور.....	۱۳
۱-۳-۲-۱- مزایای موج شکن شناور.....	۱۳
۱-۳-۲-۲- معایب موج شکن شناور.....	۱۴
۱-۴- هدف پژوهش.....	۱۴
۱-۵- ضرورت انجام تحقیق.....	۱۵

۱-۶- روش انجام تحقیق.....	۱۸
۱-۷- ساختار پایان نامه.....	۱۹
فصل دوم- تاریخچه و مطالعات پیشین.....	۲۱
۲-۱- مقدمه.....	۲۲
۲-۲- انواع موج شکن های شناور.....	۲۲
۲-۲-۱- موج شکن های شناور انعکاسی.....	۲۴
۲-۲-۲- موج شکن های شناور جابجا شونده.....	۲۷
۲-۲-۳- موج شکن های کاتاماران.....	۳۱
۲-۲-۴- موج شکن های شیبدار.....	۳۱
۲-۲-۵- موج شکن های تایرهای لاستیکی.....	۳۲
۲-۲-۶- موج شکن شناور سریع‌النصب.....	۳۳
۲-۲-۷- موج شکن شناور مهار شده.....	۳۴
۲-۲-۸- موج شکن های چوبی.....	۳۵
۲-۲-۹- کشتی ها و بارهای قدیمی.....	۳۶
۲-۲-۱۰- موج شکن شناور ترمز موج.....	۳۶
۲-۳- بررسی پارامترهای هیدرودینامیکی و سازه ای موثر بر عملکرد موج شکن شناور.....	۳۷
۲-۳-۱- اثر ارتفاع موج روی عملکرد موج شکن شناور.....	۳۸
۲-۳-۲- اثر پرپود موج.....	۳۹
۲-۳-۳- اثر تیزی موج.....	۳۹
۲-۳-۴- بررسی انعکاس موج از موج شکن شناور.....	۴۱

۴۵.....	۲-۳-۵- عملکرد موج‌شکن شناور متخلخل.....
۴۶.....	۲-۳-۶- تأثیر مشخصات موج بر نیروهای مهار.....
۴۷.....	۲-۳-۷- تأثیر شکل و الگوی مهاربندی در نیروهای مهار.....
۵۰.....	۲-۳-۸- مطالعات انجام یافته بر روی پاسخ‌های حرکتی موج‌شکن شناور.....
۵۲.....	۲-۳-۹- مطالعات انجام یافته در مورد اتصالات بین قطعات موج‌شکن شناور.....
۵۴.....	۲-۳-۱۰- مطالعات انجام یافته در مورد جانمایی اجزای موج‌شکن شناور.....
۵۶.....	۲-۴- جمع بندی مطالعات پیشین.....
۶۱.....	فصل سوم- مبانی و روش های تحلیل و طراحی سازه های شناور.....
۶۲.....	۳-۱- مقدمه.....
۶۲.....	۳-۲- توصیف حرکات سازه در برخورد با موج.....
۶۳.....	۳-۳- نیروهای محیطی.....
۶۴.....	۳-۴- نیروی امواج.....
۶۶.....	۳-۴-۱- طیف موج.....
۶۶.....	۳-۵- عملگرهای پاسخ سازه.....
۶۷.....	۳-۵-۱- تحلیل طیفی.....
۷۳.....	فصل چهارم- مدل سازی عددی و صحت سنجی نرم افزار.....
۷۴.....	۴-۱- مقدمه.....
۷۴.....	۴-۲- مراحل حل مساله.....
۷۷.....	۴-۳- مدلسازی پانتونها.....
۷۸.....	۴-۴- صحت سنجی نرم افزار.....

فصل پنجم- بررسی رفتار هیدرودینامیکی موج شکن های شناور پانتونی تحت پارامترهای

مختلف و ارائه مدل بهینه..... ۸۳

۵-۱- مقدمه..... ۸۴

۵-۲- متغیرهای مورد بررسی..... ۸۴

۵-۲-۱- پارامترهای سازه ای..... ۸۴

۵-۲-۱-۱- عرض پانتون..... ۸۴

۵-۲-۱-۲- سیستم مهاربندی موج شکن شناور..... ۸۵

۵-۲-۲- پارامترهای هیدرودینامیکی..... ۸۷

۵-۲-۲-۱- زاویه موج برخوردی..... ۸۷

۵-۲-۲-۲- مشخصات موج برخوردی..... ۸۷

۵-۲-۲-۳- طیف موج برخوردی..... ۹۰

۵-۳- برنامه آزمایشات و مدل سازی..... ۹۰

۵-۳-۱- گزینش طرح برتر برای مدل سازی نهایی..... ۹۰

۵-۳-۱-۱- موج شکن شناور پانتونی..... ۹۱

۵-۳-۱-۲- موج شکن شناور T شکل..... ۹۳

۵-۳-۱-۳- موج شکن شناور π شکل..... ۹۴

۵-۳-۱-۴- موج شکن شناور π شکل با تیغه های میراگر..... ۹۹

۵-۴- تعیین مدل بهینه موج شکن شناور π شکل با تیغه های میراگر، متناسب با شرایط منطقه مورد

مطالعه..... ۱۰۶

۵-۴-۱- تعیین مدل بهینه برای موج برخوردی ۴۵ درجه..... ۱۰۹

۱-۱-۴-۵- مدل بهینه در عرض ۳ متر.....	۱۰۹
۲-۱-۴-۵- مدل بهینه در عرض ۵ متر.....	۱۰۹
۳-۱-۴-۵- مدل بهینه در عرض ۷ متر.....	۱۱۱
۲-۴-۵- تعیین مدل بهینه برای امواج برخوردی ۹۰ درجه.....	۱۱۳
۱-۲-۴-۵- مدل بهینه در عرض ۳ متر.....	۱۱۳
۲-۲-۴-۵- مدل بهینه در عرض ۵ متر.....	۱۱۴
۳-۲-۴-۵- مدل بهینه در عرض ۷ متر.....	۱۱۵
فصل ششم- نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای تحقیقات آینده.....	۱۱۹
۱-۶- مقدمه.....	۱۲۰
۲-۶- نتیجه‌گیری.....	۱۲۰
۳-۶- پیشنهادها برای تحقیقات آینده.....	۱۲۱
فهرست مراجع.....	۱۲۳

فهرست جدول ها

عنوان	صفحه
جدول (۱-۲) خلاصه مطالعات پیشین.....	۵۶
جدول (۱-۳) پاسخ مدل $W^YD^1/6S^1h^1/2$ در پریود ۱ تا ۱۲ و فرکانس های متناظر.....	۷۱
جدول (۱-۴) خصوصیات و تعداد پانل های تست مدل [۴۶].....	۷۸
جدول (۲-۴) پارامترهای خطی سازی [۴۶].....	۷۹
جدول (۱-۵) پارامترهای سازه ای در مدل سازی.....	۸۷
جدول (۲-۵) پارامترهای مورد بررسی در گزینش طرح برتر.....	۹۱
جدول (۳-۵) مقایسه مقادیر حرکتی مدل پانتونی، مدل T شکل و مدل π شکل برای موج ۴۵ درجه.....	۹۸
جدول (۴-۵) مقایسه مقادیر حرکتی مدل پانتونی، مدل T شکل و مدل π شکل برای موج ۹۰ درجه.....	۹۹
جدول (۵-۵) مقایسه حرکات مدل π شکل در حضور تیغه های میراگر در امواج برخوردی ۴۵ درجه.....	۱۰۵
جدول (۶-۵) مقایسه حرکات مدل π شکل در حضور تیغه های میراگر در امواج برخوردی ۹۰ درجه.....	۱۰۵
جدول (۷-۵) پارامترهای متغیر در موج شکن شناور با صفحه عمودی و تیغه افقی.....	۱۰۶
جدول (۸-۵) محدوده تغییرات حرکت و مدل بهینه به دست آمده در عرض و آبخور ثابت در زاویه برخورد ۴۵ درجه.....	۱۰۸
جدول (۹-۵) محدوده تغییرات حرکت و مدل بهینه به دست آمده در عرض و آبخور ثابت در زاویه برخورد ۹۰ درجه.....	۱۰۸

فهرست شکل ها

<u>عنوان</u>	<u>صفحه</u>
شکل (۱-۱) نمونه‌ای یک موج شکن توده سنگی.....	۳
شکل (۲-۱) سطح مقطع یک موج شکن قائم.....	۴
شکل (۳-۱) سطح مقطع یک موج شکن مختلط توده سنگی و قائم.....	۵
شکل (۴-۱) سطح مقطع یک موج شکن شناور.....	۶
شکل (۵-۱) جوانب مثبت و منفی در توسعه موج شکن شناور [۲].....	۶
شکل (۶-۱) مقایسه هزینه ساخت انواع موج شکن ها با توجه به تغییرات عمق آب.....	۸
شکل (۷-۱) موج شکن شناور Phonix.....	۱۰
شکل (۸-۱) موج شکن شناور سریع النصب (RIBS).....	۱۲
شکل (۹-۱) موج شکن شناور بومباردون.....	۱۲
شکل (۱۰-۱) سطح توصیه پذیری نقاط دریای کاسپین برای احداث موج شکن شناور.....	۱۷
شکل (۱۱-۱) سطح توصیه پذیری نقاط خلیج فارس برای احداث موج شکن شناور.....	۱۷
شکل (۱۲-۱) سطح توصیه پذیری نقاط تنگه هرمز برای احداث موج شکن شناور.....	۱۸
شکل (۱-۲) الگوهای قابل کاربرد برای موج شکن های شناور از نوع جعبه‌ای شکل.....	۲۲
شکل (۲-۲) الگوهای قابل کاربرد برای موج شکن های شناور از نوع پانتونی.....	۲۳
شکل (۳-۲) الگوهای قابل کاربرد برای موج شکن های شناور از نوع حصیری.....	۲۳
شکل (۴-۲) الگوهای قابل کاربرد برای موج شکن های شناور از نوع مهار شده.....	۲۴
شکل (۵-۲) موج شکن شناور دابل.....	۲۵
شکل (۶-۲) یک نمونه از موج شکن شناور میله‌ای.....	۲۵

- شکل (۷-۲) ردیف‌های چندگانه موج‌شکن شناور میله‌ای..... ۲۶
- شکل (۸-۲) موج‌شکن شناور میله‌ای به همراه تایرهای لاستیکی..... ۲۶
- شکل (۹-۲) نمونه‌ای از یک نوع موج‌شکن شناور A شکل..... ۲۷
- شکل (۱۰-۲) نمونه‌ای از موج‌شکن شناور پانتونی..... ۲۸
- شکل (۱۱-۲) مقطع موج‌شکن شناور بادی (Pneumatic)..... ۲۹
- شکل (۱۲-۲) نمونه‌ای از یک موج‌شکن شناور کیسونی..... ۳۰
- شکل (۱۳-۲) نمونه‌ای از موج‌شکن شناور کاتاماران..... ۳۱
- شکل (۱۴-۲) موج‌شکن شناور مایل..... ۳۲
- شکل (۱۵-۲) موج‌شکن شناور تایر لوله‌ای..... ۳۳
- شکل (۱۶-۲) موج‌شکن شناور سریع‌النصب..... ۳۴
- شکل (۱۷-۲) مقطعی از یک موج‌شکن شناور مهارشده..... ۳۵
- شکل (۱۸-۲) نمونه‌ای از یک موج‌شکن شناور چوبی..... ۳۵
- شکل (۱۹-۲) نمونه‌ای از موج‌شکن شناور نوع ترمز موج..... ۳۷
- شکل (۲۰-۲) تأثیر ارتفاع موج برخوردی بر عبور موج..... ۳۸
- شکل (۲۱-۲) رابطه میان ضریب عبور موج و پریود موج‌شکن شناور..... ۳۹
- شکل (۲۲-۲) فلوم موج و مدل به کار رفته در آزمایش Hegde..... ۴۰
- شکل (۲۳-۲) مقادیر ضریب عبور موج بر حسب تیزی موج برای $W/L=0/5$ ۴۱
- شکل (۲۴-۲) مقطع فلوم موج دانشگاه صنعتی کاتالانیای اسپانیا..... ۴۲
- شکل (۲۵-۲) ضریب انعکاس و عبور موج برای موج منظم..... ۴۴
- شکل (۲۶-۲) مقطع بلوک‌های الماس شکل..... ۴۵

- شکل (۲-۲۷) مقطع موج شکن شناور متخلخل..... ۴۶
- شکل (۲-۲۸) تغییرات نیروی مهار به عنوان تابعی از تیزی موج..... ۴۷
- شکل (۲-۲۹) الگوهای مهاربندی ارائه شده توسط Sannasiraj et al..... ۴۸
- شکل (۲-۳۰) ضریب انتقال K_t در دو روش آزمایشگاهی و نظری برای الگوهای مختلف مهار..... ۴۸
- شکل (۲-۳۱) مقطع موج شکن شناور π شکل..... ۵۱
- شکل (۲-۳۲) مقایسه‌ی بین ضریب عبور موج، موج شکن شناور پانتونی و π شکل..... ۵۲
- شکل (۲-۳۳) نمونه‌ای از اتصال صلب بین قطعات پانتونی..... ۵۳
- شکل (۲-۳۴) نمونه‌ای از اتصال انعطاف پذیر بین قطعات پانتونی..... ۵۳
- شکل (۲-۳۵) جانمایی موج شکن شناور به صورت تک..... ۵۴
- شکل (۲-۳۶) جانمایی موج شکن شناور به صورت جفت..... ۵۴
- شکل (۲-۳۷) جانمایی‌های متفاوت موج شکن شناور..... ۵۵
- شکل (۳-۱) حرکات شش گانه یک سازه شناور در فضای سه بعدی..... ۶۲
- شکل (۳-۲) منحنی نمونه تراز سطح آب بر حسب زمان..... ۶۸
- شکل (۳-۳) منحنی رابطه تقریبی ارتفاع و پرید موج..... ۶۹
- شکل (۳-۴) مراحل انجام یک تحلیل طیفی ساده برای به دست آوردن پاسخ سیستم..... ۷۰
- شکل (۳-۵) نمودار پاسخ حرکت Roll در تحلیل طیفی..... ۷۲
- شکل (۴-۱) جهت موج‌های برخوردی در MOSES..... ۷۶
- شکل (۴-۲) پانل بندی پانتون تست مدل..... ۷۹
- شکل (۴-۳) ضرایب جرم اضافی در تست مدل [۴۶]..... ۸۰
- شکل (۴-۴) ضرایب میرایی در تست مدل [۴۶]..... ۸۰

شکل (۴-۵) نیروهای موج موجود در تست مدل [۴۶].....	۸۱
شکل (۴-۶) عملگرهای پاسخ RAO در تست مدل.....	۸۲
شکل (۵-۱) ابعاد پانتون برای بررسی عملکرد موج شکن شناور.....	۸۵
شکل (۵-۲) روابط مهاربندی پیشنهادی توسط Faltinsen.....	۸۶
شکل (۵-۳) گل باد محدوده طرح بر اساس میدان باد ECMWF.....	۸۸
شکل (۵-۴) گل موج آبهای دوردست محدوده بندرانزلی بر اساس نتایج ISWM.....	۸۸
شکل (۵-۵) پریود امواج بر حسب ارتفاع امواج برداشت شده توسط دستگاه ADCP.....	۸۹
شکل (۵-۶) گل_جریان ناشی از باد بر اساس نتایج مدل سازی در محدوده بندر انزلی.....	۹۰
شکل (۵-۷) موج شکن شناور پانتونی.....	۹۲
شکل (۵-۸) عملگرهای پاسخ مدل پانتونی در موج برخوردی ۴۵ درجه.....	۹۲
شکل (۵-۹) عملگرهای پاسخ مدل پانتونی در موج برخوردی ۹۰ درجه.....	۹۲
شکل (۵-۱۰) موج شکن شناور T شکل.....	۹۳
شکل (۵-۱۱) عملگرهای پاسخ مدل T شکل در موج برخوردی ۴۵ درجه.....	۹۴
شکل (۵-۱۲) عملگرهای پاسخ مدل T شکل در موج برخوردی ۹۰ درجه.....	۹۴
شکل (۵-۱۳) موج شکن شناور π شکل.....	۹۴
شکل (۵-۱۴) عملگرهای پاسخ مدل π شکل در موج برخوردی ۴۵ درجه.....	۹۵
شکل (۵-۱۵) عملگرهای پاسخ مدل π شکل در موج برخوردی ۹۰ درجه.....	۹۵
شکل (۵-۱۶) مقایسه عملگرهای پاسخ Sway، Roll و Yaw مدل پانتونی، مدل T شکل و مدل π شکل در زاویه برخورد موج ۴۵.....	۹۷

شکل (۵-۱۷) مقایسه عملگرهای پاسخ Sway و Roll مدل پانتونی، مدل T شکل و مدل π شکل در زاویه

برخورد موج ۹۰..... ۹۸

شکل (۵-۱۸) موج شکن شناور π شکل با تیغه‌های میراگر..... ۱۰۰

شکل (۵-۱۹) تغییر عملگرهای پاسخ مدل π شکل در حضور تیغه‌های میراگر در امواج برخوردی ۴۵

درجه..... ۱۰۳

شکل (۵-۲۰) تغییر عملگرهای پاسخ مدل π شکل در حضور تیغه‌های میراگر در امواج برخوردی ۹۰

درجه..... ۱۰۴

شکل (۵-۲۱) پاسخ بهینه‌ترین مدل ها در عرض ۳ متر و زاویه برخورد ۴۵ درجه..... ۱۰۹

شکل (۵-۲۲) پاسخ بهینه‌ترین مدل ها در عرض ۵ متر و زاویه برخورد ۴۵ درجه..... ۱۱۰

شکل (۵-۲۳) پاسخ بهینه‌ترین مدل ها در عرض ۷ متر و زاویه برخورد ۴۵ درجه..... ۱۱۱

شکل (۵-۲۴) پاسخ بهینه‌ترین مدل برای موج برخوردی ۴۵ درجه..... ۱۱۲

شکل (۵-۲۵) پاسخ بهینه‌ترین مدل ها در عرض ۳ متر و زاویه برخورد ۹۰ درجه..... ۱۱۳

شکل (۵-۲۶) پاسخ بهینه‌ترین مدل ها در عرض ۵ متر و زاویه برخورد ۹۰ درجه..... ۱۱۴

شکل (۵-۲۷) پاسخ بهینه‌ترین مدل ها در عرض ۷ متر و زاویه برخورد ۹۰ درجه..... ۱۱۵

شکل (۵-۲۸) پاسخ بهینه‌ترین مدل برای موج برخوردی ۹۰ درجه..... ۱۱۶

فصل اول:

کلیات

۱-۱- مقدمه

بشر سال‌هاست که توسط کشتی‌ها، کالا و انسان را جابجا می‌کند. در تمامی نقل و انتقال‌هایی که توسط کشتی‌ها انجام می‌گیرد بندرها نقش قابل‌توجه و مهمی را دارند، از سوی دیگر بهره‌وری این مبادلات با افزایش عمق در محل پهلوگیری افزایش می‌یابد. در ابتدا بندرها در مکان‌هایی ساخته می‌شدند که دارای پناهگاه طبیعی بودند اما با رشد حجم حرکت کشتی‌ها و احساس نیاز به ساخت بندرها در مکان‌های گوناگون، باید راهی برای محافظت از این بندرها تعبیه می‌شد. از سوی دیگر درصد قابل‌توجهی از جمعیت جهان در مناطق ساحلی پراکنده شده‌اند و از لحاظ اقتصادی وابستگی زیادی به دریا دارند، از این رو ضرورت ایجاد منطقه‌ای آرام و محافظت‌شده در برابر پدیده‌های دریایی از قبیل موج و طوفان برای پهلوگیری شناورها و سایر فعالیت‌های مربوط به دریا احساس می‌شود. سازه‌های حفاظت از ساحل از قبیل موج‌شکن‌ها، دیوارهای ساحلی، آب‌شکن‌ها و برای ایجاد چنین منطقه‌ای بکار می‌روند [۱].

به طور کلی در بنادر محوطه مشخصی را در نظر گرفته و آن را به وسیله موج‌شکن محاصره می‌کنند. در تقسیم‌بندی موج‌شکن‌ها می‌توان دو جنبه اصلی را در نظر گرفت:

- تقسیم‌بندی به لحاظ سازه‌ای و مصالح مورد استفاده
 - تقسیم‌بندی به لحاظ آرایش موج‌شکن‌ها و موقعیت قرارگیری آن‌ها نسبت به هم.
- به لحاظ آرایش کلی و موقعیت قرارگیری نیز می‌توان موج‌شکن‌ها را به انواع زیر تقسیم‌بندی کرد.
- بندرهای با موج‌شکن موازی با ساحل-دهانه ورودی با موج‌شکن عرضی
 - بندرهای با موج‌شکن موازی با ساحل-دهانه ورودی به طرف دریا
 - بندرهای با موج‌شکن موازی
 - بندرهای با موج‌شکن متقارب
 - بندرهای با موج‌شکن غیر متصل به ساحل

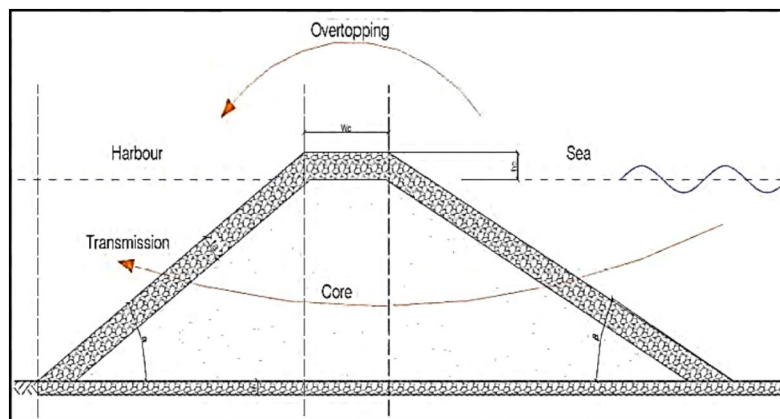
اگرچه انواع مختلفی از ساختارهای موج شکن وجود دارد اما با محوریت تقسیم بندی موج شکن ها به لحاظ سازه ای و جنس مصالح، انواع اصلی موج شکن ها به صورت زیر قابل دسته بندی هستند:

۱-۱-۱- موج شکن توده سنگی^۱

موج شکن های توده سنگی معمولاً از سه قسمت زیر تشکیل شده اند:

- هسته (Core)
- لایه میانی یا لایه فیلتر (Filter layer)
- لایه پوششی یا لایه آرمور (Armour layer)

این موج شکن ها در واقع مملو از انبوه زیادی از عناصر سست مانند ماسه و سنگ معدن یا بلوک های بتنی است. به طور کلی استحکام استقرار سنگ های موج شکن به وزن و شکل هر قطعه سنگ و به شیب قرار گرفته بر روی آن وابسته است. در شکل (۱-۱)، نمونه ای از موج شکن توده سنگی نشان داده شده است.

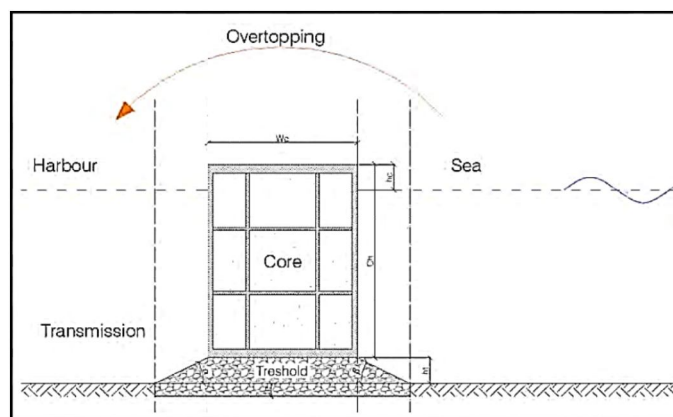


شکل (۱-۱) نمونه ای یک موج شکن توده سنگی

^۱ Rubble mound Breakwater

۱-۱-۲ - موج شکن های قائم^۲

عملکرد حفاظتی موج شکن های قائم به صورت انعکاس موج تابشی در برخورد به بدنه قائم آن است. این نوع موج شکن ها در اندر کنش با امواج، دارای تفاوت های اساسی با موج شکن های سنگریزه ای است. موج شکن های قائم در عمق های بیشتری نسبت به نوع توده سنگی احداث می گردند و به دلیل امواج انعکاسی در پای این سازه ها و تشدید ارتفاع موج ناشی از امواج ایستا، ارتفاع تاج در این نوع از موج شکن ها تا دو برابر ارتفاع شاخص موج طوفان طراحی می گردد. در شکل (۱-۲)، نمونه ای از این نوع موج شکن نشان داده شده است.



شکل (۱-۲) سطح مقطع یک موج شکن قائم

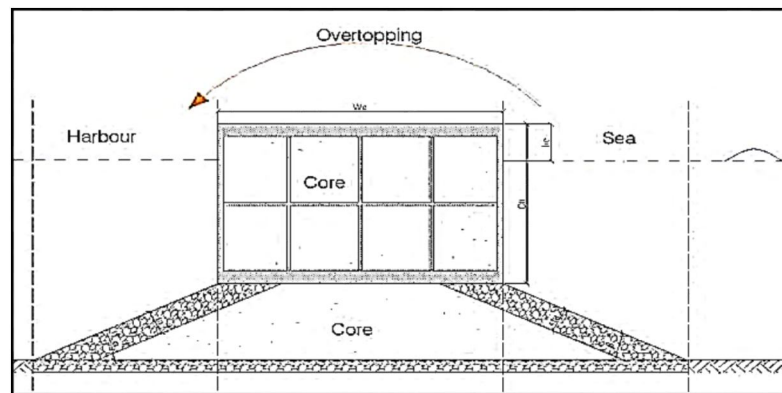
۱-۱-۳ - موج شکن ترکیبی^۳

این موج شکن ترکیبی از نوع معمولی و یکپارچه است. در عمق آب بالا، این نوع سازه ها از دیدگاه اقتصادی ترجیح داده می شوند. در بعضی موارد نیز احداث اسکله در پشت موج شکن ها پیش بینی می شود لذا سمت داخلی موج شکن را با ساختن دیواری قائم در نظر می گیرند که امکان پهلوگیری به کشتی ها را می دهد.

^۲ Vertical Breakwater

^۳ Composite breakwater

چنین دیوار قائمی باید به اندازه کافی غیرقابل نفوذ باشد، تا موجی که از بدنه موج‌شکن می‌گذرد از دیوار عبور نکند. البته این نکته را در محاسبات اسکله باید رعایت کرد و در نظر گرفت. در شکل (۳-۱)، یک نمونه از موج‌شکن مختلط توده سنگی و قائم مشخص شده است.

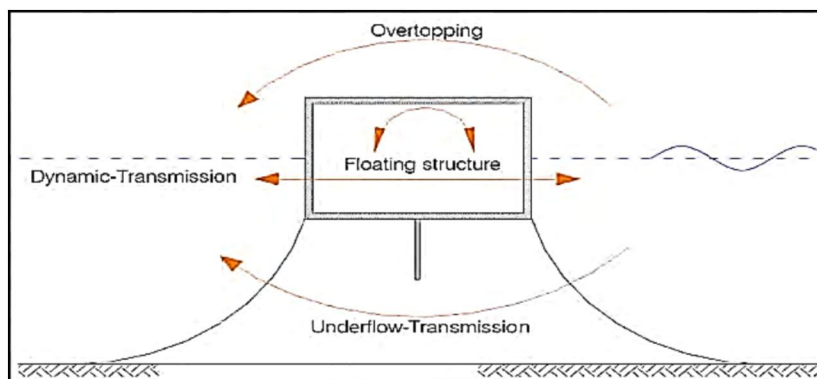


شکل (۳-۱) سطح مقطع یک موج‌شکن مختلط توده سنگی و قائم

۴-۱-۱- موج‌شکن‌های شناور^۴

غالب موج‌شکن‌های فوق از لحاظ عمق آب محدود هستند زیرا در عمق بالا از لحاظ اقتصادی و فنی کارکرد مناسبی ندارند. به سبب مسائل نظامی، محیط زیستی و فنی و اقتصادی نوع جدیدی از موج‌شکن برای غلبه بر محدودیت‌های موج‌شکن ثابت نیاز است. این نوع از موج‌شکن به سرعت نصب می‌شود و به سبب راحتی حمل و نقل، در مکان‌های مختلف با شرایط گوناگون موج و عمق آب قابلیت اجرا دارد. این موج‌شکن‌ها با فرض اینکه قسمت عمده انرژی موج در بخش بالایی آن متمرکز است ساخته می‌شوند. در شکل (۴-۱)، یک نمونه از موج‌شکن شناور نشان داده شده است.

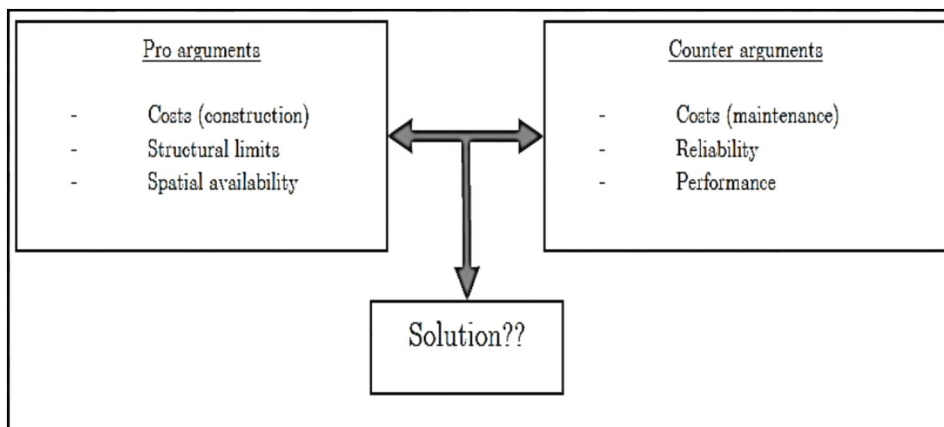
^۴Floating Breakwater



شکل (۴-۱) سطح مقطع یک موج شکن شناور

۲-۱- چرا موج شکن شناور؟

از دلایل اصلی استفاده از موج شکن های غیرمتعارف علی الخصوص نوع شناور، مشکلات فنی و اقتصادی مربوط به موج شکن های یکپارچه و متعارف است. علاوه بر این محدودیت ها، استدلال های دیگر در توسعه موج شکن های شناور، همان طور که در شکل (۵-۱) نشان داده شده، وجود دارد. اگرچه دلایل اصلی بکارگیری موج شکن شناور مشهود است اما عملکرد مناسب، هزینه های جاری و اطمینان از سازه، دلایل اصلی بکارگیری آن است.



شکل (۵-۱) جوانب مثبت و منفی در توسعه موج شکن شناور [۲]

۱-۲-۱- استدلال اقتصادی

مزایا و معایب استفاده از موج‌شکن شناور به یک منشأ بر می‌گردد و آن عامل اقتصادی است. از یک سو هزینه نگهداری و تعمیرات یک نقطه ضعف در موج‌شکن شناور است از سویی دیگر کاهش هزینه جاگذاری در عمق زیاد موجب حمایت از موج‌شکن می‌شود. به همین دلیل هزینه ساخت برای یک موج‌شکن بهینه، در چند عمق بررسی شده است.

از بین موج‌شکن‌های ذکر شده در بالا چهار موج‌شکن توده سنگی سنتی، قائم، ترکیبی و شناور نسبت به انواع دیگر بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. محدوده عمق توصیه شده برای کاربرد این چهار نوع موج‌شکن با توجه به مسائل اقتصادی در زیر ارائه گردیده است [۲].

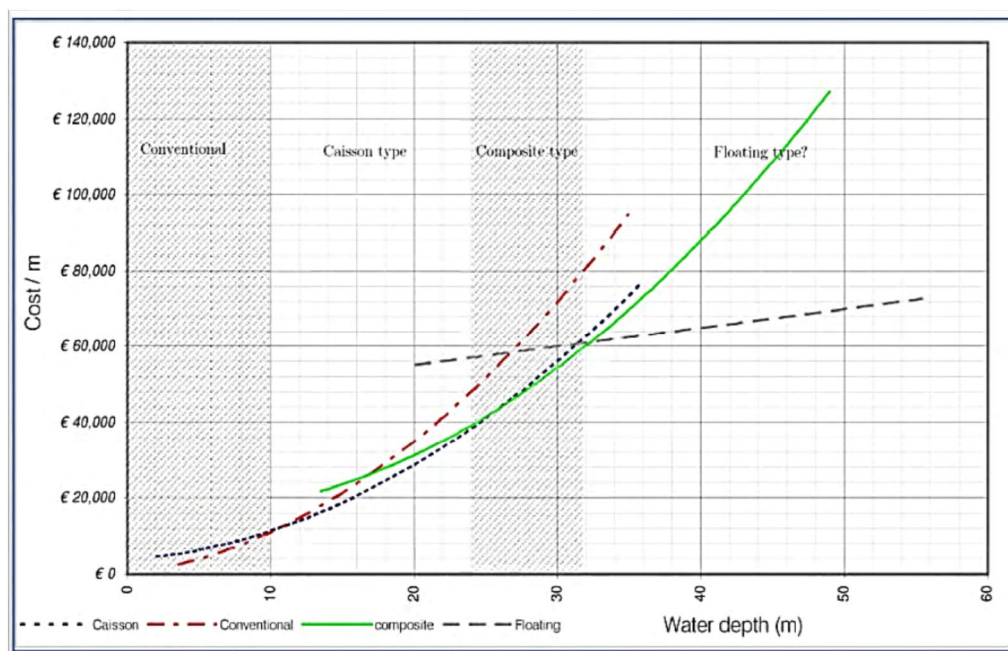
- ۰-۱۰ متر موج‌شکن‌های توده سنگی سنتی

- ۱۰-۲۵ متر موج‌شکن‌های قائم

- ۲۵-۳۲ متر موج‌شکن‌های مختلط

- بیشتر از ۳۲ متر موج‌شکن‌های شناور

نمودار نشان داده شده در شکل (۱-۶) بیانگر تغییرات هزینه ساخت یک متر طول این چهار نوع موج‌شکن به یورو (سال ۲۰۰۶ میلادی) در برابر تغییرات عمق آب می‌باشد. در این مرحله، هزینه موج‌شکن شناور ناشناخته است. از آنجا که هزینه‌های ساخت و ساز موج‌شکن شناور به سختی با افزایش عمق افزایش می‌یابد، خط در شکل یک خط تقریباً افقی است.



شکل (۱-۶) مقایسه هزینه ساخت انواع موج‌شکن‌ها با توجه به تغییرات عمق آب

نظر به گرایش مهندسين به ساخت الگوهای جدید موج‌شکن شناور در سال‌های اخیر، این پژوهش بر آن است که عملکرد نوعی از موج‌شکن شناور π شکل را مورد بررسی قرار دهد. به سبب افزایش بعد کاربردی مطالعات، پارامترهای مورد استفاده در طراحی با توجه به شرایط محیطی حاکم بر منطقه دریایی بندر انزلی مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

۱-۳- موج‌شکن شناور

موج‌شکن‌های شناور برای ایجاد یک محیط بندری آرام به صورت دائم یا موقت بکار می‌روند، این موج‌شکن‌ها در کارهای دریایی، عملیات نظامی، فعالیت‌های شیلاتی، بنادر تفریحی و ماهیگیری استفاده فراوان دارند. در بسیاری از بندرها، بازدهی بندر به طور محسوسی از هجوم امواج تأثیر می‌پذیرد، از این رو وجود یک موج‌شکن شناور برای افزایش بازدهی و مهیا کردن یک محیط ایمن برای کشتی‌ها امری ضروری به نظر می‌رسد. یکی از عوامل مهم در توسعه تکنولوژی موج‌شکن‌های شناور در گذشته عملکرد آن در هنگام بمباران در زمان جنگ و بازسازی سریع آن بوده است.

در واقع کاربرد اصلی موج‌شکن شناور زمانی خود را نشان داد که در بعضی مناطق ساحلی با عمق زیاد احتیاج به محافظت نسبی در مقابل امواج احساس می‌شد. به سبب اینکه هزینه ساخت موج‌شکن‌های ثابت با افزایش عمق با نرخ زیادی افزایش می‌یافت، طرح موج‌شکن شناور مورد بررسی قرار گرفت [۳].

یک موج‌شکن شناور بر خلاف یک موج‌شکن معمولی رفتار دینامیکی پیچیده‌ای دارد، چرا که فاکتورهای هیدرولیکی زیادی بر رفتار هیدرودینامیکی المان‌های مختلف یک موج‌شکن شناور موثر هستند. وظیفه اصلی یک موج‌شکن شناور همانند سایر موج‌شکن‌ها، کاهش اثر موج برخوردی تا سطح قابل قبولی است.

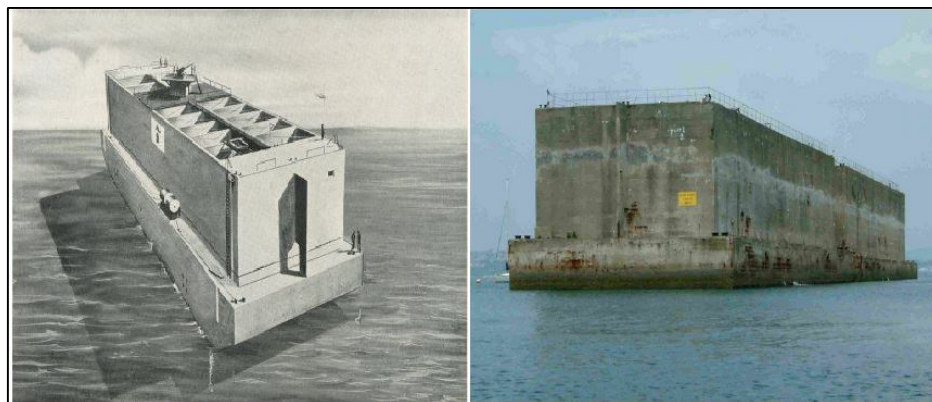
۱-۳-۱- پیشینه موج‌شکن شناور

اولین اطلاعات ثبت شده در مورد موج‌شکن‌های شناور به اوایل قرن نوزدهم بر می‌گردد. در سال ۱۸۱۱ ژنرال بنتام که از اعضای جامع مهندسين عمران بریتانیای بزرگ بود دستور ساخت یک موج‌شکن شناور را داد. مقطع موج‌شکن شناور شامل چوب‌های شناور مثلث شکلی بود که با زنجیرهای آهنی مهار شده بودند. هزینه پروژه یک دهم هزینه اجرای موج‌شکن توده سنگی بود. این ایده به دلیل احتمال عدم کارایی موج‌شکن شناور در برابر طوفان‌های شدید به مرحله اجرا در نیامد. در سال ۱۸۴۱ کاپیتان تیلور در کشتیرانی رویال^۵ پیشنهاد استفاده از الوارهای چوبی مهار شده با شمع برای آبخور ۵ متر را در یک سخنرانی به عنوان یک پیشرفت علمی مطرح کرد. او پیشنهاد استفاده از الوارهای قیراندود شده را برای نگهداری دوره‌ای موج‌شکن مطرح نمود [۱].

سپس در سال ۱۸۴۲ میلادی در مجله مهندسی عمران و معماری، اولین مقاله در زمینه موج‌شکن شناور تحت عنوان "موج‌شکن‌های شناور Reids" منتشر گردید. در سال ۱۹۰۵ میلادی مقاله‌ای در جامعه‌ی سلطنتی دوبلین منتشر شد که در آن پیشنهاد استفاده از یک جسم شناور به شکل بدنه یک کشتی به

^۵ Royal Navy

عنوان موج‌شکن شناور مطرح شد، این سازه شناور که Phonix نام داشت توان مناسبی را از خود برای کاهش انرژی موج نشان داد [۴].



شکل (۷-۱) موج‌شکن شناور Phonix

پس از ارائه‌ی این مقاله تعدادی موج‌شکن شناور با طرح‌های دیگر در اروپا ساخته شد، این موج‌شکن‌ها در بنادر با عمق زیاد احداث گردیدند، البته نکته‌ی قابل توجه این‌جاست که در آن زمان به دلیل محدودیت روش‌های ساخت، امکان ادامه‌ی سازه‌ها تا بستر دریا در آب عمیق وجود نداشت. تمامی موج‌شکن‌های فوق در اثر طوفان‌های دریایی نابود شدند و اطلاعات کمی در مورد این موج‌شکن‌ها موجود است.

با این حال در سال ۱۹۴۴ میلادی موج‌شکن شناور برای نخستین بار مورد استفاده جدی قرار گرفت، زمانی که برای پشتیبانی حمله‌ی نیروهای متفقین در جنگ جهانی دوم، احداث بنادر مصنوعی در طول سواحل باز Normandy ضرورت یافت، نیروی دریایی انگلستان موج‌شکن شناور Bombardon را برای حفاظت از بنادر مصنوعی یادشده ساخت. موج‌شکن بومباردون در شکل (۹-۱)، مشخص گردیده است. موج‌شکن مذکور برای مقابله با امواج با ارتفاع موج ۳ متر و پریودهای ۵ تا ۶ ثانیه طراحی شد، این موج‌شکن دارای مقطع عرضی صلیبی با ابعاد کلی ۹ متر در ۹ متر و طول ۶۱ متر بود، مقطع موج‌شکن فوق در خلیج Weymount انگلستان مورد آزمایش قرار گرفت، موج‌شکن فوق در این آزمایش‌ها، موجی با ارتفاع ۲/۵ متر و پریود ۵/۸ ثانیه را به میزان تقریبی ۷۵ درصد کاهش داد. این موج‌شکن در زمان حمله عملکرد مناسبی

داشت اما پس از ۹ روز به دلیل طوفانی که ۸ برابر طوفان طراحی موج‌شکن شناور بود، دچار خرابی شد. در سال ۱۹۵۷ میلادی مطالعه گسترده‌ای بر روی موج‌شکن‌های شناور قابل حمل برای استفاده در عملیات دریایی در سواحل باز، در آزمایشگاه مهندسی عمران نیروی دریایی ایالات متحده آمریکا^۶ (NCEL) آغاز شد. هدف این مطالعه ایجاد یک بندر موقت در مقابل امواج با ارتفاع کمتر از ۱/۲ متر بود. این بندر موقت می‌بایست شرایط مطلوبی را برای انتقال محموله از کشتی‌های اقیانوس‌پیما با بارج‌ها فراهم می‌ساخت. چند نوع موج‌شکن شناور در آزمایشگاه مذکور مورد مطالعه قرار گرفتند و نتایج این آزمایش‌ها حاکی از این بود که نوعی موج‌شکن که از بارج‌های استاندارد نیروی دریایی ساخته شده‌اند مناسب‌ترین سازه هستند، لذا بارج‌ها از آب پر شده و به صورت شیب‌دار در مقابل امواج شناور گردیدند [۵].

طی سال‌های ۱۹۶۳ تا ۱۹۶۸ میلادی اداره امور عمومی کانادا^۷، موج‌شکن A-frame را ابداع کرد و دو موج‌شکن از این نوع نیز در Ontario و British Columbia نصب گردید. همچنین موج‌شکن‌های بتنی در ژاپن و نروژ، ابداع و ساخته شدند. نتایج مطالعات NCEL در مورد موج‌شکن‌های قابل حمل در سال ۱۹۷۱ میلادی طی گزارش مفصلی منتشر شد و تعداد ۱۰۶ مورد سازه به عنوان موج‌شکن شناور در این مطالعه مورد شناسایی قرار گرفت، البته بیشتر این موج‌شکن‌ها مورد آزمایش میدانی قرار نگرفته بودند [۵].

تعداد زیادی موج‌شکن شناور در سال ۱۹۷۰ میلادی برای حفاظت بنادر قایق‌های تفریحی و بنادر قایقرانی ساخته شدند، موج‌شکن‌های نوع پانتون پلاستیکی و یا صندوقه بتنی در ساحل اقیانوس آرام در آمریکای شمالی در چند بندر قایق‌های تفریحی عمومی و خصوصی ساخته شدند، همچنین یک موج‌شکن پانتونی در آلاسکا نصب شد. قطعات پیش‌ساخته این موج‌شکن توسط بارج به محل مورد نظر حمل و سپس در آنجا متصل و نصب شد. شرکت‌های عضو جامعه موج‌شکن‌های شناور ژاپن چند موج‌شکن شناور برای

^۶ U.S Navy Civil Engineering Laboratory

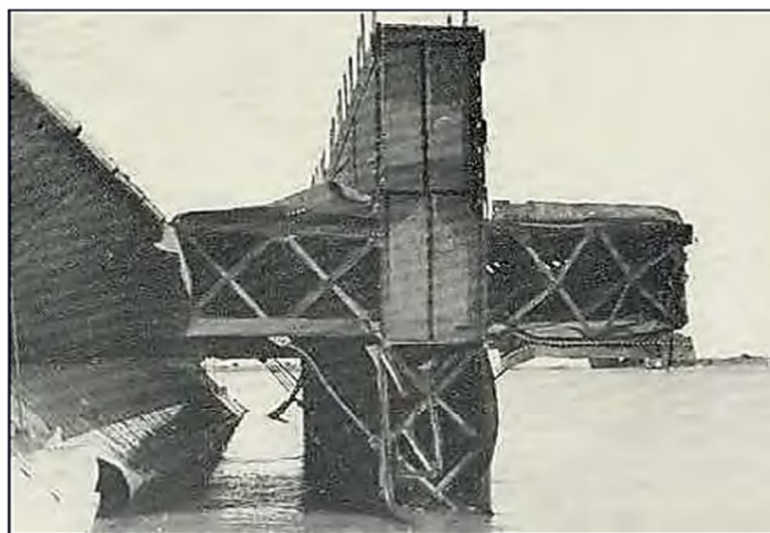
^۷ Public Works Canada

استفاده در بنادر قایق‌های تفریحی و صنعت مزارع ماهی ساختند. این موج‌شکن‌ها به طور گسترده‌ای در آزمایشگاه و محل ساخت مورد آزمایش قرار گرفتند [۵].

ارتش آمریکا در سال ۱۹۸۰ چندین موج‌شکن شناور سریع‌النصب^۸ (RIBS) در مقیاس واقعی را مورد آزمایش قرار داد، این موج‌شکن‌ها برای اهداف نظامی ساخته شده بودند [۵].



شکل (۸-۱) موج‌شکن شناور سریع‌النصب (RIBS)



شکل (۹-۱) موج‌شکن شناور بومباردون

^۸ Rapidly Installed Breakwater System

۱-۳-۲- مزایا و معایب موج شکن شناور

موج شکن های شناور مانند هر وسیله حفاظتی مزایا و معایب خود را دارا می باشد. آشنایی با این مزایا و معایب موجب خواهد شد که امکان سنجی استفاده از این سازه کارآمد با توجه به شرایط حاکم بر منطقه با رویکرد بهتری صورت گیرد.

۱-۳-۲-۱- مزایای موج شکن شناور

- از آنجایی که این سازه به نوعی از پیش ساخته است نیازی به معادن سنگ موجود در منطقه ندارد و به همین سبب ساخت آن در مناطقی که از نظر معادن سنگی فقیرند، مقرون به صرفه می باشد.
- این موج شکن ها به دلیل اینکه از حرکت کامل آب جلوگیری نمی کند از لحاظ زیست محیطی تأثیر بسیار کمی بر روی زندگی آبزیان و تغییر کیفیت آب منطقه دارد.
- موج شکن های شناور هزینه ساخت کمتری نسبت به سایر انواع توده سنگی خود دارند.
- این سازه ها قابل جدا شدن از یکدیگر بوده و بنابراین در صورت تعمیرات و یا عدم نیاز، به راحتی می توان به محلی دیگر انتقالشان داد.
- در مناطقی با عمق آب بالای ۶ متر که احداث موج شکن های ثابت سنگی مقرون به صرفه نیست، کاربرد موج شکن شناور اقتصادی تر است [۶].
- به دلیل وابستگی بسیار کم موج شکن شناور به شرایط بستر دریا، در مناطقی که دارای بستر ضعیف بوده و خاک توان تحمل فشار ناشی از وزن وارده از یک موج شکن توده سنگی را ندارد، استفاده از موج شکن شناور یک راه حل مناسب خواهد بود [۶].
- در مناطقی که دارای تغییرات شدید رسوب گذاری باشند استفاده از این موج شکن ها مزیت بسیاری خواهد داشت.

۱-۳-۲-۲- معایب موج شکن شناور

- با وجود تمام مزایا موج شکن های شناور عمر بسیار کمتری نسبت به موج شکن های توده سنگی دارند.
- هزینه نگهداری و تعمیرات و بازرسی بیشتری نسبت به موج شکن توده سنگی دارند.
- موج شکن های شناور به طور کامل در مقابل امواج مقاومت نمی کنند.
- در صورت وقوع طوفان های شدید و گسیخته شدن مهارها، از پتانسیل آسیب بالایی به شناورها و سازه های ساحلی برخوردارند.
- موج شکن های شناور باید با دقت بسیار زیادی نسبت به شرایط منطقه طراحی شده و منطبق بر آن باشد.

به طور کلی راندمان موج شکن های شناور تا حد زیادی با طول و پریود امواج تابشی تغییر می کند از سوی دیگر عرض مورد نیاز در موج شکن شناور با افزایش پریود موج تابشی به مقدار بیش از ۳ ثانیه، به سرعت افزایش می یابد و این سبب غیراقتصادی شدن این سازه ها در پریود های بالا می شود. لذا غالباً موج شکن های شناور در مناطق نسبتاً آرام از نظر جهت و طول موج ورودی مورد استفاده قرار می گیرند.

۱-۴- هدف پژوهش

در تحقیق حاضر به بررسی پارامتریک رفتار هیدرودینامیکی موج شکن های شناور π شکل تک بدنه تحت اثر موج های برخوردی و تعیین شرایط کاربری برای انجام عملیات با توجه به معیارهای لازم پرداخته شده است. از اهداف این پژوهش می توان به بررسی تأثیر پارامترهای سازه ای (عرض پانتون، عمق آب خور، ارتفاع صفحه های عمودی، تأثیر تیغه های میراگر و....) موج شکن شناور و پارامترهای هیدرولیکی (زاویه و ارتفاع موج برخوردی) بر کارایی این سازه اشاره کرد.

با نگاهی به تحقیقات و مطالعاتی که در زمینه موج‌شکن‌های شناور انجام گرفته است، می‌توان پی برد که اکثر این مطالعات در زمینه رفتار هیدرولیکی موج‌شکن شناور بوده و رفتار سازه‌ای آن در اثر شرایط مختلف دریا، که تأثیر مستقیم بر کارایی موج‌شکن شناور خواهد داشت، بسیار کمتر مورد مطالعه قرار گرفته اند. از این رو در این پایان‌نامه به منظور بررسی رفتار سازه‌ای و دستیابی به بهترین سطح سازگاری با محیط دریا، پاسخ‌های موج‌شکن شناور در درجات آزادی شش گانه مورد بررسی قرار گرفته است. برای ارزیابی بهتر و بالابردن جنبه کاربردی تحقیق سعی گردیده تا از پارامترهای متناسب با شرایط هیدرولیکی حاکم بر دریای کاسپین در ناحیه ساحلی بندر انزلی استفاده شود. به همین جهت استفاده از اطلاعات آماری پارامترهای موج و باد جمع آوری شده توسط سازمان بنادر و دریانوردی در دستور کار قرار گرفته است [۷].

۱-۵- ضرورت انجام تحقیق

آگاهی کافی از شرایط هیدرودینامیکی حاکم بر آب‌های ایران و امکان‌سنجی احداث موج‌شکن شناور در دریاهای ایران می‌تواند ضرورت انجام تحقیق بر روی عملکرد موج‌شکن شناور را بیش از پیش آشکار نماید. با توجه به امکان‌سنجی انجام‌گرفته برای احداث موج‌شکن شناور در مناطق مختلف آب‌های ایران، ۵ سطح توصیه‌پذیری برای مناطق مختلف دریای ایران ارائه گردیده است [۸].

۱. سطح توصیه‌پذیری اول: با معیار سطح اول توصیه‌پذیری نقاطی توصیه می‌شوند که احداث موج‌شکن شناور در آن‌ها امکان‌پذیر و کاملاً ایمن است و موج‌شکن شناور در صورت احداث بهترین عملکرد و بیشترین کارایی را خواهد داشت. برای این سطح توصیه‌پذیری حداکثر ارتفاع موج ۲ متر و یا پرپود موج حداکثر ۶ ثانیه در نظر گرفته شده است.

۲. سطح توصیه‌پذیری دوم: با معیار سطح دوم توصیه‌پذیری، نقاطی توصیه می‌شوند که احداث موج‌شکن شناور در آن‌ها امکان‌پذیر است ولی کارایی این موج‌شکن نسبت به حالت اول کاهش می‌یابد. اما در

این حالت هنوز موج‌شکن شناور می‌تواند کارایی مطلوبی داشته باشد. برای این سطح توصیه پذیری حداکثر ارتفاع موج ۴ متر و پریود موج حداکثر ۱۲ ثانیه است.

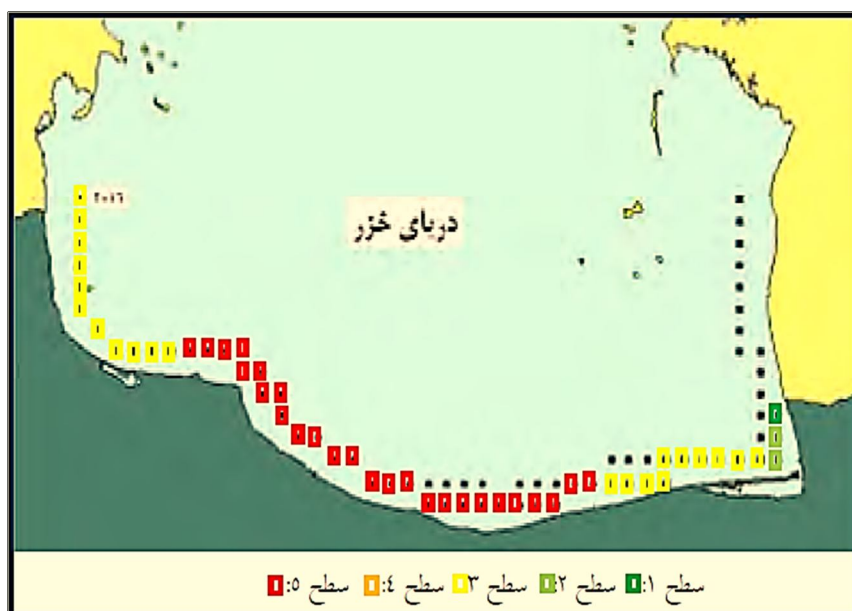
۳. سطح توصیه پذیری سوم: با معیار سطح سوم توصیه پذیری نقاطی توصیه می‌شوند که احداث موج‌شکن شناور در آن‌ها امکان‌پذیر است ولی کارایی این موج‌شکن نسبت به حالت اول به طرز قابل‌توجهی (تا ۵۰ درصد) کاهش می‌یابد. برای این سطح توصیه پذیری حداکثر ارتفاع موج ۶ متر و پریود موج حداکثر ۱۴ ثانیه است. در این سطح توصیه پذیری، استفاده از موج‌شکن‌های شناور با اشکال پیچیده‌تر نظیر انواع T و π شکل که به سبب صفحه‌های عمودی در برابر موج‌های با پریودهای بزرگ عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهند، توصیه می‌شود.

۴. سطح توصیه پذیری چهارم: نقاطی دارای سطح توصیه پذیری چهارم خواهند بود که استفاده از موج‌شکن شناور در آن‌ها به صورت دائم توصیه نمی‌شود. در این نقاط موج‌شکن شناور به دلیل ملاحظات خاص به صورت موقت توصیه می‌شود.

۵. در صورتی که نقطه‌ای فاقد شرایط ۴ گانه فوق باشد در سطح ۵ قرار می‌گیرد. در این صورت استفاده از موج‌شکن شناور در آن نقطه خاص در شرایط معمولی توصیه نمی‌شود.

نتایج امکان‌سنجی انجام‌گرفته برای دریای کاسپین، خلیج فارس و تنگه هرمز در شکل (۱-۱۰) تا شکل (۱-۱۲) نشان داده شده است. با توجه به مجاورت سواحل دریای عمان با آب‌های آزاد و امکان وقوع امواج ناشی از طوفان‌های گرمسیری (مانند گونو) از احداث موج‌شکن شناور در این مناطق باید صرف‌نظر نمود.

با توجه به نتایج امکان‌سنجی فوق مشاهده می‌گردد که احداث موج‌شکن شناور پانتونی در آب‌های خلیج فارس و بخش‌هایی از تنگه هرمز، می‌تواند به عنوان یک گزینه کارا مورد بررسی قرار گیرد. از سوی دیگر به سبب حاکمیت شرایط سخت تر بر محیط دریای کاسپین موج‌شکن‌های شناور π شکل گزینه مناسبی برای کاهش توان موج خواهد بود.



شکل (۱۰-۱) سطح توصیه پذیری نقاط دریای کاسپین برای احداث موج شکن شناور



شکل (۱۱-۱) سطح توصیه پذیری نقاط خلیج فارس برای احداث موج شکن شناور



شکل (۱-۱۲) سطح توصیه پذیری نقاط تنگه هرمز برای احداث موج شکن شناور

۱-۶- روش انجام تحقیق

با توجه به پیچیدگی‌های موجود در بکارگیری روش‌های ریاضی در بررسی رفتار هیدرودینامیکی سازه‌های چند بدنه و در نظر گرفتن اثر برهمکنش آن‌ها روی هم، استفاده از بسته‌های نرم‌افزاری که قادر به انجام آنالیز هیدرودینامیکی باشند منطقی است. در اینجا رفتارسنجی هیدرودینامیکی موج شکن شناور با کمک گرفتن از قابلیت‌های نرم‌افزار MOSES انجام شده است. در بخش هیدرودینامیکی نیروی موج موجود و ضرایب جرم اضافی روی بدنه که بوسیله موج‌های برخوردی و همچنین موج‌های ایجاد شده توسط حرکات بدنه‌های دیگر ایجاد می‌گردد، محاسبه شده و سپس پاسخ حرکات سازه تحت نیروهای هیدرودینامیکی به دست آمده است.

ضرایب هیدرودینامیکی از حل معادلات لاپلاس و نیروهای موج روی بدنه و نیروهای اتصالات بین پانته‌ها با استفاده از حل تئوری تفرق سه بعدی به دست آمده است و سپس معادلات کامل حرکات سازه در سیستم چند بدنه‌ای حل شده و ماکزیمم دامنه پاسخ حرکات با استفاده از آنالیز طیفی در شرایط محیطی گوناگون

به دست آمده است. پس از تعیین پاسخ حرکات سازه، از بین مدل های ساخته شده بهینه ترین مدل از نظر سازگاری با محیط انتخاب شده و به عنوان یک طرح پیشنهادی برای محدوده بندر انزلی تعیین می گردد.

۱-۷- ساختار پایان نامه

پایان نامه پیش رو شامل شش فصل است که به شرح زیر تدوین شده است:

فصل اول: این فصل شامل معرفی کلی انواع موج شکن ها و تاریخچه آن ها، بیان هدف انجام تحقیق، ضرورت انجام تحقیق بر روی موج شکن ها شناور و نحوه انجام تحقیق، است.

فصل دوم: این فصل شامل معرفی انواع موج شکن های شناور و مروری بر تحقیقات انجام شده بر روی آن است.

فصل سوم: در این فصل مروری بر مبانی و روش های تحلیل سازه های شناور انجام خواهد گرفت. همچنین مفاهیمی نظیر نیروهای وارده بر اجسام شناور، تئوری های هیدرودینامیکی برای محاسبه نیروی موج، عملکرد پاسخ سازه (RAO) و ... به صورت تفصیلی بیان می شوند.

فصل چهارم: در این فصل به معرفی نرم افزار MOSES و قابلیت های آن پرداخته خواهد شد.

فصل پنجم: در این فصل تأثیر پارامترهای مختلف طراحی و تأثیر ایجاد تغییر در پارامترهایی نظیر عرض پانتون، ارتفاع صفحه های عمودی، عمق آب خور، تأثیر صفحه های میراگر و ... بر روی عملکرد موج شکن شناور π شکل مورد بررسی و تحلیل قرار می گیرد.

فصل ششم: در این فصل به عنوان آخرین فصل پایان نامه، نتایج به دست آمده مورد جمع بندی نهایی قرار گرفته و پیشنهادهایی نیز برای مطالعات آتی مطرح خواهد شد.

فصل دوم:

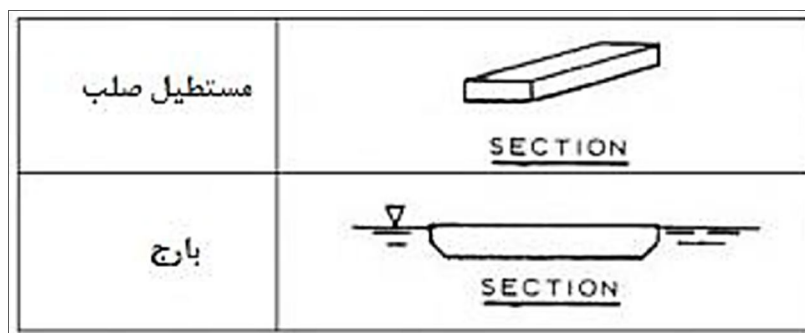
تاریخچه و مطالبات پیشین

۲-۱- مقدمه

پارامترهای مؤثر در عملکرد موج‌شکن شناور را می‌توان به دو دسته اصلی تقسیم کرد که عبارتند از: پارامترهای سازه‌ای و پارامترهای هیدرودینامیکی. پارامترهای سازه‌ای شامل هندسه، مشخصات سیستم مهار و شکل موج‌شکن و پارامترهای هیدرودینامیکی شامل ارتفاع موج، پریود موج، سرعت و جهت وزش باد و ... می‌باشند. در این فصل تحقیقات انجام‌گرفته در زمینه‌ی موج‌شکن شناور با محوریت مطالعات آزمایشگاهی و عددی مورد بررسی قرار گرفته و ارائه شده است.

۲-۲- انواع موج‌شکن‌های شناور

بر اساس سابقه مطالعات، الگوهای مطرح‌شده برای موج‌شکن‌های شناور را می‌توان به چهار دسته کلی تقسیم نمود که عبارتند از موج‌شکن شناور جعبه‌ای^۹، موج‌شکن شناور پانتونی^{۱۰}، موج‌شکن‌های شناور حصیری^{۱۱} و موج‌شکن‌های مهارشده^{۱۲}. در شکل (۱-۲) تا شکل (۴-۲) نمونه‌هایی از انواع اصلی موج‌شکن شناور ارائه شده است [۹].



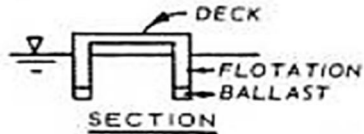
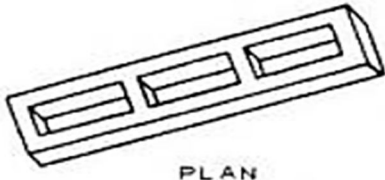
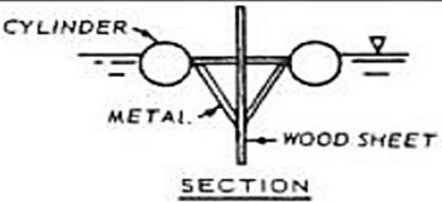
شکل (۱-۲) الگوهای قابل کاربرد برای موج‌شکن‌های شناور از نوع جعبه‌ای شکل

^۹ Box Breakwater

^{۱۰} Pontoon Breakwater

^{۱۱} Mat Breakwater

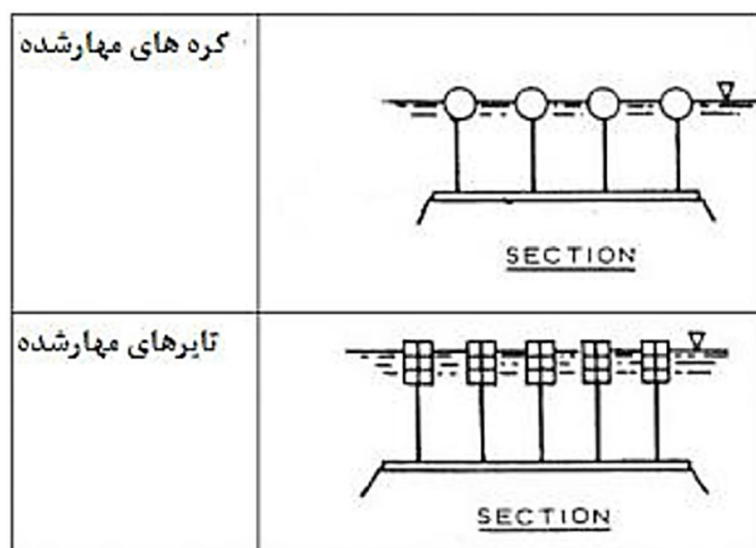
^{۱۲} Thehered Float Breakwater

پانتون دوقلو	
پانتون مشبك	
A frame	
موج شکن ساخته شده از دو تنه درخت	

شکل (۲-۲) الگوهای قابل کاربرد برای موج‌شکن‌های شناور از نوع پانتونی

حصیرهای لاستیکی	
حصیرهای چوبی	

شکل (۳-۲) الگوهای قابل کاربرد برای موج‌شکن‌های شناور از نوع حصیری



شکل (۴-۲) الگوهای قابل کاربرد برای موج شکن های شناور از نوع مهارشده

با توجه به نحوه ی عملکرد و شکل ظاهری موج شکن، موج شکن های شناور را می توان به طور گسترده تر طبقه بندی کرد که در ادامه ارائه می شود.

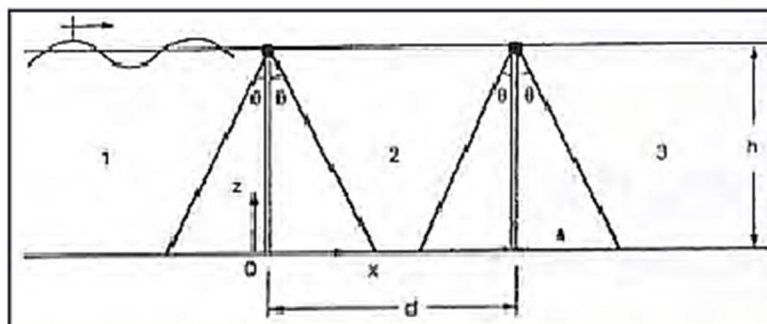
۲-۲-۱- موج شکن های شناور انعکاسی

در این نوع موج شکن ها یک دیواره نسبتاً کم ضخامت به طور قائم به طرف پایین امتداد یافته تا انرژی موج شکن تابشی را منعکس سازد. این گروه شامل موج شکن های زیر می باشد:

- موج شکن های دوبل (Dual F.B)
- موج شکن های میله ای (Spar buoy F.B)
- موج شکن های شناور میله ای متخلخل (Dual Bouy/Porouse F.B)
- موج شکن های A شکل (A-Frame F.B)

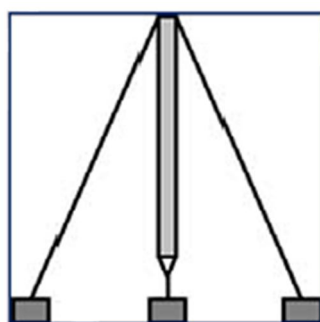
در موج شکن های شناور دوبل، هر کدام از شناورها متشکل از جسمی است که در جلو سازه قرار گرفته و با ایجاد شناوری بدنه اصلی سازه تحت کشش قرار می گیرد و توسط مهارهایی به بستر مهار می شود. تجربه

نشان داده است که چنین سیستمی، یک موج شکن نسبتاً ارزان و سریع‌النصب می‌باشد [۱۰]. در شکل (۲-۵) نمونه‌هایی از موج شکن شناور دابل نشان داده شده است.



شکل (۲-۵) موج شکن شناور دابل

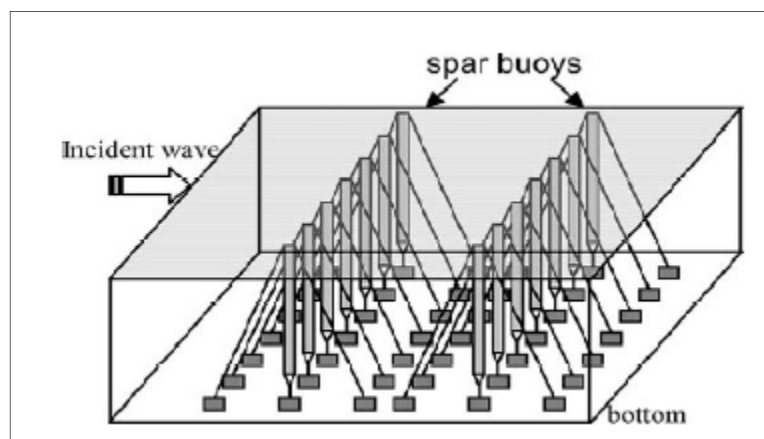
موج شکن‌های شناور میله‌ای با استفاده از لوله‌های نیمه بسته^{۱۳} اولین بار در تایوان در سال ۲۰۰۰ توسط Liang به عنوان مخترع به ثبت رسید. جنس لوله‌های ساخته شده از پلی اتیلن است که از یک طرف بسته می‌باشد. در قسمت دیگر لوله مهارها قرار می‌گیرند از قسمت باز لوله هوا به درون لوله‌ها دمیده می‌شود اگر عمق آب به اندازه کافی باشد لوله‌ها بایستی با مهارهای کشیده شده مهار گردند. سیم‌های مایل پیش تنیده هستند. نمونه‌ای از این نوع موج شکن در شکل (۲-۶) نشان داده شده است.



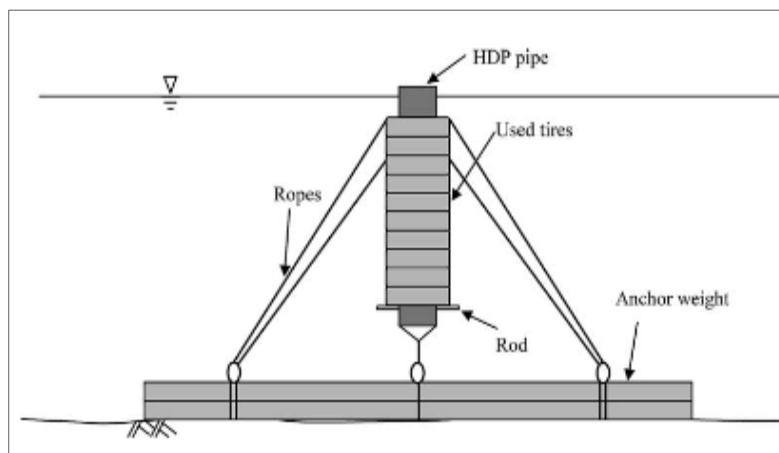
شکل (۲-۶) یک نمونه از موج شکن شناور میله‌ای

^{۱۳} . Semiclosed Pipe Floating Breakwater (SPEB)

این سازه‌ها به شکل ردیف‌هایی از ستون‌هایی قائم (Fence) مانند شکل (۷-۲) نصب می‌گردند. شکل دیگری از این نوع موج‌شکن‌های شناور استفاده از تایرهای لاستیکی در بدنه سازه آن‌ها می‌باشد. به این ترتیب که با استفاده از یک میله‌ای که در انتهای لوله وصل شده است و تایرها که روی این میله روی هم چیده می‌شوند. با توجه به لاستیک‌های اضافه‌شده به سطح مقطع موج‌شکن افزوده‌شده و در نتیجه کارایی سیستم افزوده می‌گردد. در شکل (۸-۲) نمونه‌ای از این موج‌شکن نشان داده شده است.

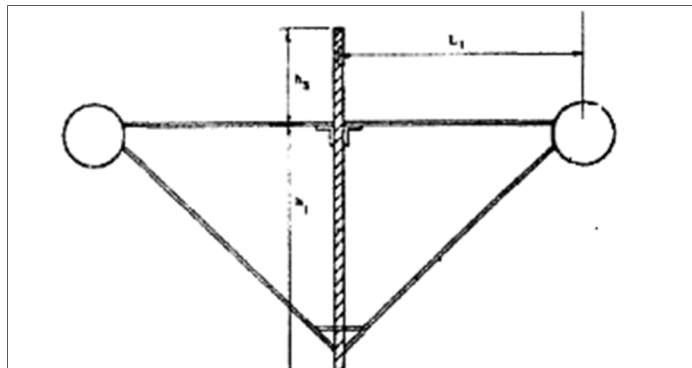


شکل (۷-۲) ردیف‌های چندگانه موج‌شکن شناور میله‌ای



شکل (۸-۲) موج‌شکن شناور میله‌ای به همراه تایرهای لاستیکی

موج‌شکن‌های A شکل به وسیله اداره عمومی کشور کانادا ابداع شد. ابداع این سازه شامل صفحه قائم بزرگی است که به خرپاهای فولادی نگه‌دارنده متصل است و سازه‌های مذکور بر روی دو استوانه فولادی شناور قرار دارند. نمونه‌ای از این موج‌شکن‌های شناور در شکل (۹-۲) نشان داده شده است.



شکل (۹-۲) نمونه‌ای از یک نوع موج‌شکن شناور A شکل

بعضی از معایب این نوع موج‌شکن‌ها عبارتند از زنگ‌زدگی قاب‌های فولادی، که این عیب با قیراندود کردن و به‌کارگیری آندهای فدا شونده کاهش می‌یابد. به‌دلیل آسیب انتهایی ناشی از برخورد قطعات مجاور و شکست زنجیرهای اتصال داخلی که باید در اتصالات به‌کار برده شود، می‌توان تمهیداتی مدنظر قرار داد. عیب عمده این نوع موج‌شکن شناور هزینه‌ی بالای آن‌هاست.

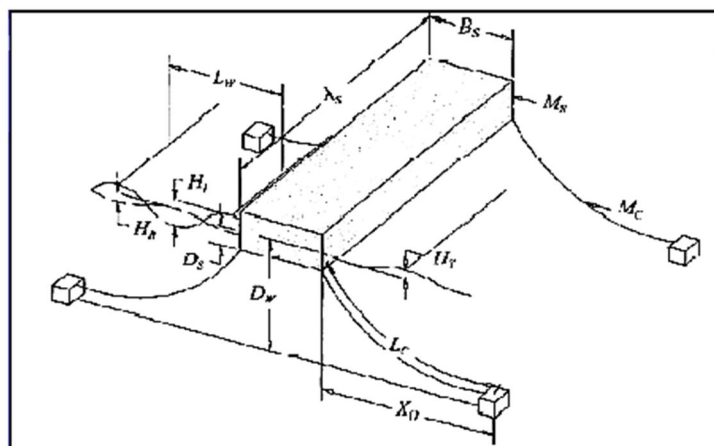
۲-۲-۲- موج‌شکن‌های شناور جابجا شونده

در این نوع موج‌شکن‌ها تا حدی حرکت و جابجایی نسبت به موج‌شکن‌های اول بیشتر است. این گروه شامل موج‌شکن‌های زیر می‌باشد:

- موج‌شکن‌های پانتونی (Pontoon F.B)
- موج‌شکن شناور متخلخل (Porous F.B)
- موج‌شکن شناور π شکل (π shape F.B)

- موج شکن شناور بادی (Pneumatic F.B)
- موج شکن های قفسی (Cage F.B)
- موج شکن کیسونی (Caisson F.B)
- موج شکن شناور مستغرق (Submerge F.B)

موج شکن های شناور پانتونی یکی از معمول ترین نوع موج شکن های شناور است. امروزه در بسیاری از بنادر تفریحی از این نوع موج شکن ها استفاده می شود. این موج شکن ها شامل تعدادی پانتون مجزای متصل شده به یکدیگر هستند، که این پانتون ها معمولاً از بتن مسلح ساخته می شوند. طراحی سازه ای قطعات موج شکن به گونه ای انجام می شود که مونتاژ آن آسان و ارزان قیمت باشد. قطعات این موج شکن راحت تر از موج شکن های دیگر جدا شده و حمل می گردد. در شکل (۲-۱۰) نمونه ای از موج شکن شناور پانتونی نشان داده شده است [۱۰].

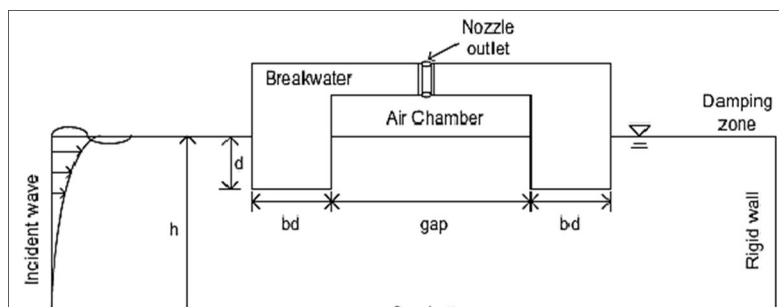


شکل (۲-۱۰) نمونه ای از موج شکن شناور پانتونی

موج شکن های پانتونی دارای مزایایی نسبت به سایر موج شکن های شناور هستند، از جمله انتقال این شناورها آسان است، موج شکن های پانتونی از تعدادی المان ها شناور مجزا که به هم متصل شده اند ساخته شده است. چنانچه نیاز باشد می توان شناور را با جدا کردن المان ها از هم و یدک کشیدن آن ها به

مکانی که مورد نیاز است، منتقل نمود و حتی می‌توان با اتصال المان‌های دیگر، ترکیب‌بندی دیگری را به‌وجود آورد. موج‌شکن‌های پانتونی سازه‌های نسبتاً ایمنی هستند که در صورت آسیب‌دیدگی یک یا چند پانتون محدود در اثر سوراخ شدن و نفوذ آب به درون آن‌ها، پانتون‌های مجاور شناوری کافی را برای کل سازه تأمین خواهند کرد. این شناورها دارای طول عمر مفید ۱۰۰ سال می‌باشند و حتی بعد از ۳۰ تا ۵۰ سال می‌توانند برای ساخت شناورهای دیگر در ساحل یا فراساحل به‌کار روند، بنابراین یکی از دلایل اصلی استفاده از این سازه‌ها می‌تواند طول عمر مفید زیاد آن باشد. برخی از معایبی که در مورد موج‌شکن‌های شناور پانتونی مطرح است عبارت است از خرابی ناشی از خستگی در اتصالات بین قطعات موج‌شکن شناور، خرابی ناشی از خستگی پانتون‌های مجزا که در نقاط تمرکز تنش آن‌ها ظاهر می‌شود و خرابی سازه‌ای که در اثر ایجاد ترک‌های سازه‌ای در بتن پانتون‌ها رخ می‌دهد.

موج‌شکن شناور بادی علاوه بر جلوگیری از حرکت موج، با دارا بودن سیستم میرایی می‌تواند کارایی موج‌شکن را در انسداد موج افزایش دهد. سیستم میرایی با هوا (باد) در موج‌شکن شناور یک وسیله برای جذب انرژی موج است که از ارتفاع گرفتن موج با کنترل سرعت جریان هوا در دهانه‌ی خروجی اتاق هوا که سبب اتلاف انرژی می‌شود، جلوگیری می‌کند. یک نازل برای جریان سیال در بالای اتاق هوا نصب گردیده است و انرژی موج از طریق عبور موج از دهانه خروجی کنترل می‌گردد. در شکل (۲-۱۱) مقطع موج‌شکن شناور بادی نشان داده شده است.



شکل (۲-۱۱) مقطع موج‌شکن شناور بادی (Pneumatic)

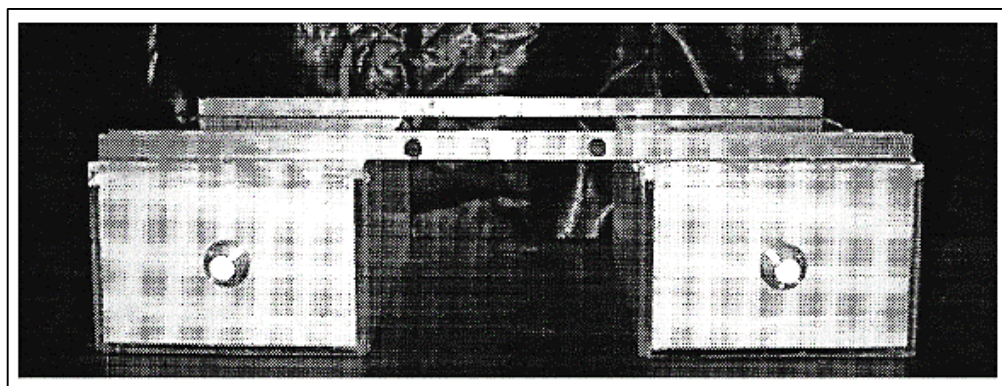
موج‌شکن‌های کیسونی جزو رایج‌ترین انواع موج‌شکن‌های شناور در سال‌های اخیر می‌باشند که در بنادر قایق‌های تفریحی و نیز بنادر مهم مورد استفاده قرار می‌گیرند. بیشتر موج‌شکن‌های کیسونی از بتن مسلح پیش‌تنیده و یا پس‌تنیده ساخته می‌شوند. چندین موج‌شکن کیسونی از جنس بتن‌آرمه در کشورهای اسکانندیناوی و آمریکای شمالی ساخته شدند، عملکرد آن‌ها غالباً رضایت‌بخش بوده است. البته برخی از آن‌ها مشکلاتی در مورد مهارها و اتصالات خود داشته‌اند. یکی از مشکلات این نوع موج‌شکن‌ها از دست دادن خاصیت شناوری و فرو رفتن در آب در صورت سوراخ شدن است. موج‌شکن‌های کیسونی باید با استفاده از مواد شناور کننده ساخته شوند، یعنی باید درون آن‌ها با Foam سبک پر شود تا در مواقع ترک برداری با موادی نظیر Foam یا سایر مواد مشابه باید دارای عمر ۱۰ تا ۲۰ ساله باشد. شکل (۲-۱۲) نمونه‌ای از یک موج‌شکن شناور کیسونی می‌باشد.



شکل (۲-۱۲) نمونه‌ای از یک موج‌شکن شناور کیسونی

۲-۲-۳- موج شکن های کاتاماران^{۱۴}

این نوع موج شکن ها از تعدادی پانتون مجزای متصل به هم تشکیل شده اند. در شکل (۲-۱۳) نمونه ای از مدل آزمایشگاهی این نوع موج شکن مشاهده می شود.



شکل (۲-۱۳) نمونه ای از موج شکن شناور کاتاماران

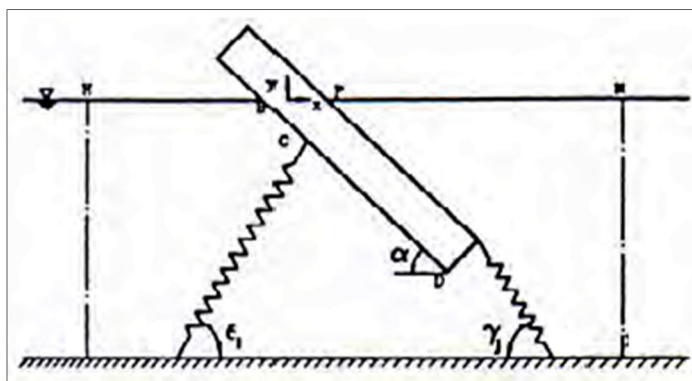
۲-۲-۴- موج شکن های شیب دار^{۱۵}

در این نوع موج شکن ها استهلاک بخشی از انرژی از طریق پدیده ی شکست بر روی شیب صورت می گیرد. شکل (۲-۱۴) نمای کلی این موج شکن را نشان می دهد [۱۱]. یک لبه ی این موج شکن در بستر دریا قرار گرفته و انتهای دیگر آن در تراز ایستایی شناور شده و با کابل های مهار نگه داشته می شود. این موج شکن به وسیله نیروی دریای آمریکا^{۱۶} و گروه مهندسين آمریکا ابداع شد.

^{۱۴}.Catamaran Floating breakwater

^{۱۵}.Sloping Floating breakwater

^{۱۶}.U.S. Navy Civil Engineering Laboratory

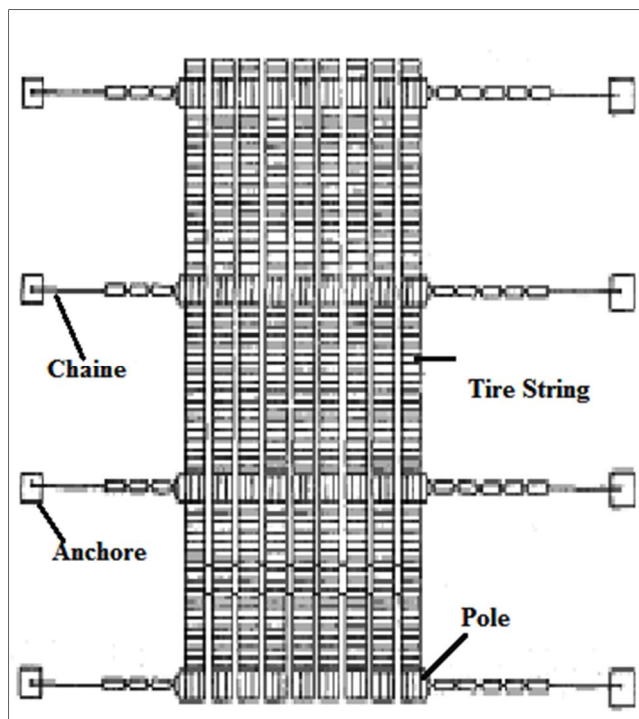


شکل (۱۴-۲) موج شکن شناور مایل

۲-۲-۵- موج شکن های تایر های لاستیکی

در این نوع موج شکن ها استهلاک انرژی موج از طریق ایجاد تلاطم حاصل از عبور موج صورت می گیرد. موج شکن نوع تایر لوله ای^{۱۷} از تعدادی تایر لاستیکی تشکیل می شود. این تایرها در کنار یکدیگر بین تیرهای چوبی شناور موازی قرار می گیرند. شکل (۱۵-۲) تصویری از این نوع موج شکن را نشان می دهد. پیچ های مورد استفاده برای تسمه های لاستیکی ممکن است در میان آنها فرو رفته زنگ زده و یا به علل دیگر از بین برود. البته هم اکنون برای حل این مشکل از پیچ های نایلونی استفاده می شود. کاهش قابلیت شناوری به علت به تله اندازی و انباشتگی رسوبات، زباله های دریایی و یا گیاهان دریایی و ... در حفره های تایرهای لاستیکی که در انتها موجب غرق شدن موج شکن می گردد، از این رو تزریق مقداری فوم به درون تایرها توصیه می شود.

^{۱۷}. Pipe Tire Floating Breakwater



شکل (۲-۱۵) موج شکن شناور تایر لوله‌ای

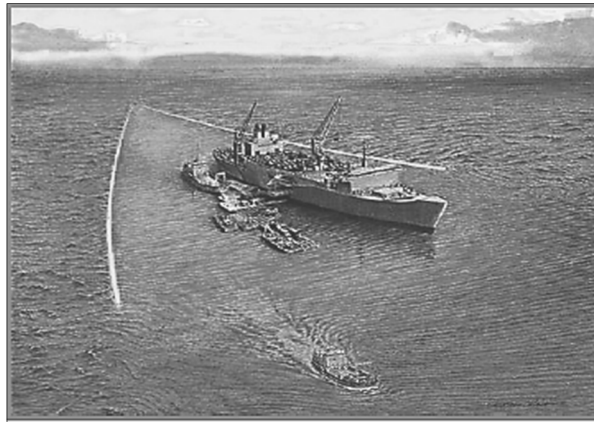
احتمالاً وجود یخ در محل استقرار موج شکن‌های تایر لاستیکی موجب آسیب رساندن به آن‌ها می‌شود. لذا در محل‌های یخبندان برداشتن موج شکن در فصول زمستان توصیه می‌شود. این موج شکن‌ها طبق تحقیقات فقط در شرایط متوسط موج (ارتفاع کمتر از یک متر و پریود سه ثانیه) کاربرد دارند. موج شکن‌های لاستیکی ضریب انعکاس کمتری نسبت به موج شکن‌های پانتونی دارند [۶] و [۱۰].

۲-۲-۶- موج شکن شناور سریع‌النصب^{۱۸}

مهندسين و محققان مرکز کشتی‌رانی آمریکا، در حال توسعه سیستم موج شکن‌های سریع‌النصب هستند. این سیستم به‌ویژه در ارتباط با مسائل نظامی در آمریکا برای تخلیه کشتی‌ها در هنگام عملیات جنگی طراحی شده است. در هنگام چنین عملیاتی وقتی که دریا متلاطم است، مشکلاتی را برای مأمورین عملیاتی به‌وجود می‌آورد. در این حالت سیستم RIB با به‌وجود آوردن منطقه‌ای غیرمتلاطم و آرام این مشکل را

^{۱۸} Rapidly install F.B

برطرف می‌کند و این عملیات را می‌توان در این منطقه آرام به بهترین صورت انجام داد. تحقیقاتی در این زمینه انجام گرفته است که شامل مدل‌های عددی، تحلیلی و آزمایش‌های میدانی است [۱۰]. شکل (۲-۱۶) تصویری از این نوع موج‌شکن را نشان می‌دهد.

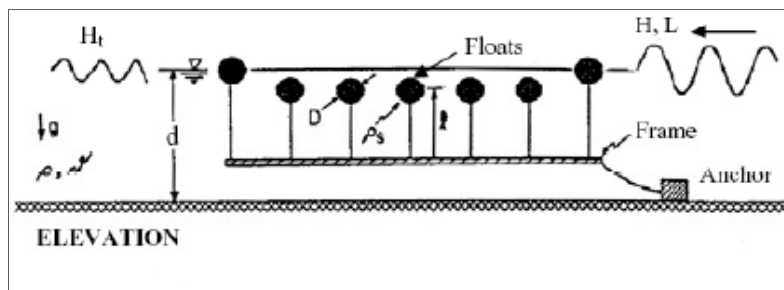


شکل (۲-۱۶) موج‌شکن شناور سریع‌النصب

۲-۲-۷- موج‌شکن شناور مهارشده^{۱۹}

این نوع موج‌شکن شناور از تعداد زیادی بویه‌های شناور تشکیل شده است. مقطع این نوع موج‌شکن شناور در شکل (۲-۱۷) مشخص گردیده است. ابعاد قطعات به کار رفته در این نوع موج‌شکن شناور و فاصله بین بویه‌ها به ارتفاع موج برخوردی بستگی دارد. مکانیزم اصلی کاهش ارتفاع موج در این نوع موج‌شکن‌های شناور اتلاف انرژی موج در نتیجه توربولانس‌های رخ داده در اطراف بویه‌ها می‌باشد. موج‌شکن‌های مهارشده با فرکانس‌های طبیعی پایین بسیار مؤثر هستند. در فرکانس‌های ایده‌آل بسته به زاویه موج پیشرو ضریب عبور موج بین ۰/۴ الی ۰/۶ است [۱۲] و [۱۳].

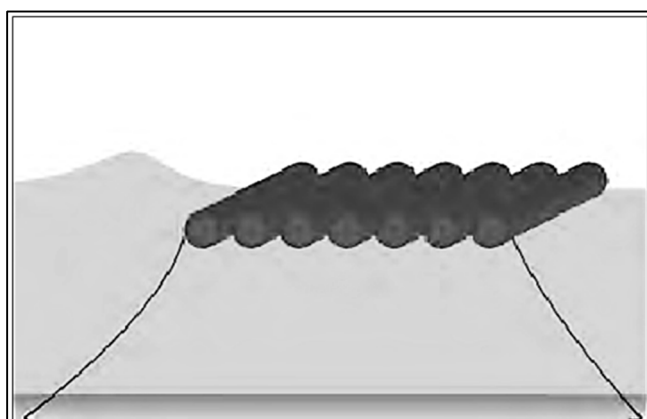
^{۱۹} Tethered Float



شکل (۱۷-۲) مقطعی از یک موج شکن شناور مهارشده

۸-۲-۲- موج شکن های چوبی

هم اکنون از موج شکن های شناور ساخته شده از تنه های درختان و الوارهای چوبی به طور گسترده ای در کشور کانادا استفاده می شود. مقطع این موج شکن ها با توجه به طبیعت مصالح مورد استفاده در آنها از حالت تیز به شکل گردتری تغییر داده شده است. این موج شکن عرض نسبتاً باریکی را برای ساخت نیاز دارد، لذا این سازه تنها در شرایط امواج کم ارتفاع و موج گاه با طول حداکثر ۱/۵ کیلومتر باید استفاده شود. یکی از مسائل مطرح در مورد این نوع موج شکن، از دست رفتن خاصیت شناوری تنه های درختان با گذشت زمان است، چرا که برخی از تنه های درختان پس از گذشت ۶ ماه از نصب آنها از آب اشباع و غیرقابل استفاده می شوند. در شکل (۱۸-۲) مقطع یک موج شکن شناور چوبی مشخص شده است [۵].



شکل (۱۸-۲) نمونه ای از یک موج شکن شناور چوبی

۲-۲-۹- کشتی‌ها و بارج‌های قدیمی

امروزه از کشتی‌ها و دویه‌ها که به طور دائم لنگر انداخته‌اند به عنوان موج‌شکن شناور در کشور کانادا استفاده شده است. اساساً این موج‌شکن‌ها نوع دیگری از موج‌شکن‌های کیسونی هستند که آن‌ها از قطعات آماده با طرح یکسان استفاده شده است.

۲-۲-۱۰- موج‌شکن شناور ترمز موج^{۲۰}

امروزه نمونه‌های جدیدی برای موج‌شکن‌های شناور توسعه یافته‌اند. نمونه‌های توسعه یافته هم از لحاظ مصالح به کار رفته و هم از لحاظ شکل با نمونه‌های متداول و سنتی موج‌شکن شناور متفاوت می‌باشند. یک نمونه از موج‌شکن‌های شناور جدید، ترمز موج می‌باشد که در زیر بعضی از خصوصیات این نوع موج‌شکن به طور خلاصه تشریح گردیده است. ترمز موج سیستمی است که بر اساس مطالعات علمی و تحقیقاتی طراحی شده است و فقط مانند یک مانع برای موج عمل نمی‌کند، بلکه این نوع موج‌شکن سبب کاهش انرژی عبوری موج در نتیجه پدیده بازتاب و نیز اغتشاش ایجادشده ناشی از تخلخل بالای سازه می‌گردد. این سیستم متشکل از مدول‌هایی با شکل خاص می‌باشد. چیدن قطعات به صورت یک‌درمیان موجب تشکیل حفره می‌گردد. این حفره‌ها سبب ایجاد اغتشاش در جریان آب شده و در نتیجه انرژی و ارتفاع موج عبوری کاهش می‌یابد. شکل (۲-۱۹) این نوع موج‌شکن و نحوه‌ی به کارگیری آن را نشان می‌دهند.

^{۲۰} Wave Brake



شکل (۲-۱۹) نمونه‌ای از موج‌شکن شناور نوع ترمز موج

برای اتصال مدول‌ها از طناب‌های مصنوعی با عمر طولانی استفاده می‌گردد. نحوه‌ی قرارگیری مدول‌ها و سطح مقطع موج‌شکن با توجه به شرایط محیطی تعیین می‌گردد. به طور معمول در موج‌شکن‌های شناور یک سوم ارتفاع موج‌شکن در بالای سطح آب و دو سوم آن در زیر سطح آب قرار دارد. بخشی از موج‌شکن که در بالای سطح آب قرار می‌گیرد و موج‌های در سطح آب را کنترل می‌کند. مدول‌های قرارگرفته در این بخش از هوا پر شده و کاملاً شناور می‌باشند اما مدول‌های قرارگرفته در بخش‌های زیرین ممکن است از آب پر گردند. سیستم موج‌شکن شناور به وسیله‌ی خطوط مهار در برابر نیروی موج مقاومت می‌کند. برای شرایط آب و هوایی آرام به تعداد کمتری خطوط مهار در سمت رو به ساحل موج‌شکن نیاز است.

۲-۳- بررسی پارامترهای هیدرودینامیکی و سازه‌ای موثر بر عملکرد موج‌شکن

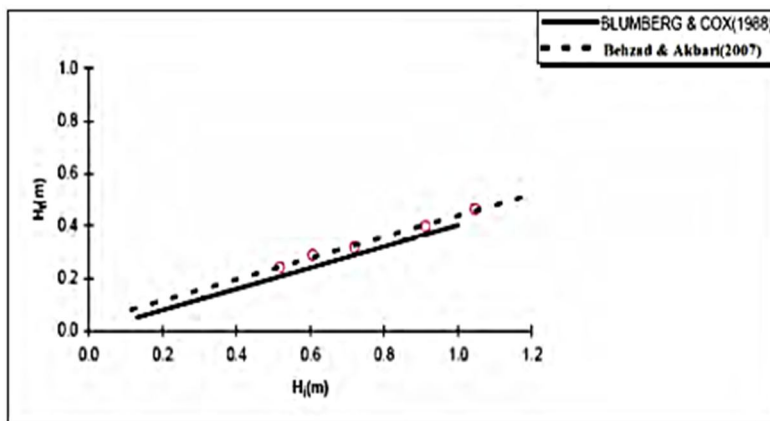
شناور

بر اساس بررسی پیشینه مطالعات عددی و آزمایشگاهی انجام‌شده بر روی موج‌شکن‌های شناور، شاخص‌های مختلفی توسط محققین به عنوان پارامترهای هدف در تحلیل رفتار و عملکرد یک موج‌شکن شناور مورد توجه قرارگرفته است. از جمله این پارامترها می‌توان به ضریب عبور موج از موج‌شکن، ضریب بازتاب موج از موج‌شکن، حرکات شش‌گانه این سازه شناور و عملکرد سیستم مهاري آن اشاره نمود. لذا در

قسمت دوم این فصل به بررسی سابقه مطالعات از حیث پارامترهای انتخابی به عنوان شاخص رفتاری و عملکردی موج شکن شناور پرداخته می‌شود.

۲-۳-۱- اثر ارتفاع موج روی عملکرد موج شکن شناور

محققین زیادی در زمینه‌ی تأثیر ارتفاع موج بر میزان عبور موج آزمایش‌های زیادی انجام داده‌اند که همگی بدین نتیجه رسیده‌اند که با افزایش ارتفاع موج برخوردی، میزان عبور موج افزایش پیدا می‌کند. به‌عنوان مثال می‌توان به پژوهش انجام یافته توسط بهزاد و اکبری اشاره کرد [۱۴]. این پژوهش در سال ۲۰۰۶ در فلوم موج مرکز تحقیقات خاک و آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی انجام گرفت. این آزمایش‌ها برای امواج نامنظم با طیف انرژی موج پیرسون - موسکوویچ انجام شده است و داده‌های به‌دست آمده با نتایج حاصل از کار محققینی نظیر Blumberg and Cox و Wright et al [۱۵] مقایسه شدند که نتایج به‌دست آمده با کار انجام یافته توسط محققین مذکور مطابقت داشت. همان‌طور که در شکل (۲-۲۰) مشاهده می‌شود، با افزایش ارتفاع موج برخوردی، میزان عبور موج افزایش می‌یابد. بهزاد و اکبری همچنین نتایج کار خود را با نتایج تحقیقات انجام یافته توسط Blumberg and Cox [۱۵] مقایسه کردند که مطابقت خوبی بین نتایج این دو پژوهش مشاهده می‌شود.

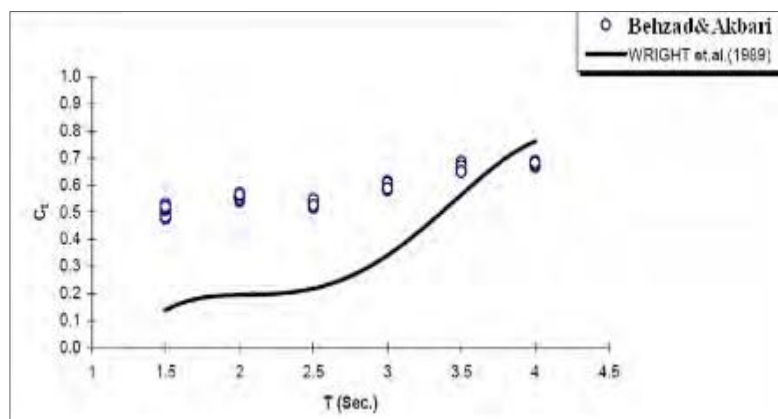


شکل (۲-۲۰) تأثیر ارتفاع موج برخوردی بر عبور موج

از دیگر تحقیقات انجام یافته در این زمینه می‌توان به پژوهش Bayram [۱۱] در سال ۲۰۰۰ میلادی در فلوم موج دانشگاه صنعتی استانبول و نیز آزمایش‌های انجام یافته توسط سهیلی و همکارانش [۱۶] در سال ۱۳۷۹ در فلوم موج مرکز تحقیقات خاک و آب‌خیزداری وزارت جهاد کشاورزی اشاره کرد که هر دو روی موج‌شکن‌های شناور شیب‌دار بوده و به این نتیجه رسیدند که با افزایش ارتفاع موج برخوردی، میزان عبور موج افزایش می‌یابد.

۲-۳-۲- اثر پریود موج

نتایج آزمایش‌های انجام شده توسط بهزاد و اکبری [۱۲] نشان می‌دهد که برای امواج با پریود کمتر از ۴ ثانیه ضریب عبور موج با تغییر پریود، دچار تغییر می‌شود ولی برای امواج با پریود بیشتر از ۴ ثانیه، می‌توان از تغییر مقدار ضریب عبور موج صرف‌نظر کرد. شکل (۲-۲۱) روند تغییرات ضریب عبور موج در آزمایش‌های انجام یافته توسط بهزاد و اکبری را در اثر افزایش پریود موج برخوردی نشان می‌دهد.



شکل (۲-۲۱) رابطه میان ضریب عبور موج و پریود موج‌شکن شناور

۲-۳-۳- اثر تیزی موج

آزمایش‌های زیادی در زمینه‌ی اثر تیزی موج در ضریب عبور موج توسط محققینی مانند Arunachalam (۱۹۸۱) et al [۹]، Bayram (۲۰۰۰) [۱۱]، Hegde (۲۰۰۷) [۱۷]، Koutadons et al (۲۰۰۵) [۱۸]،

Ozeren (۲۰۰۹) [۱] و فروزنده و همکاران [۱۰] انجام گرفته است که نتایج کار آن‌ها مشابه بوده و علی‌رغم

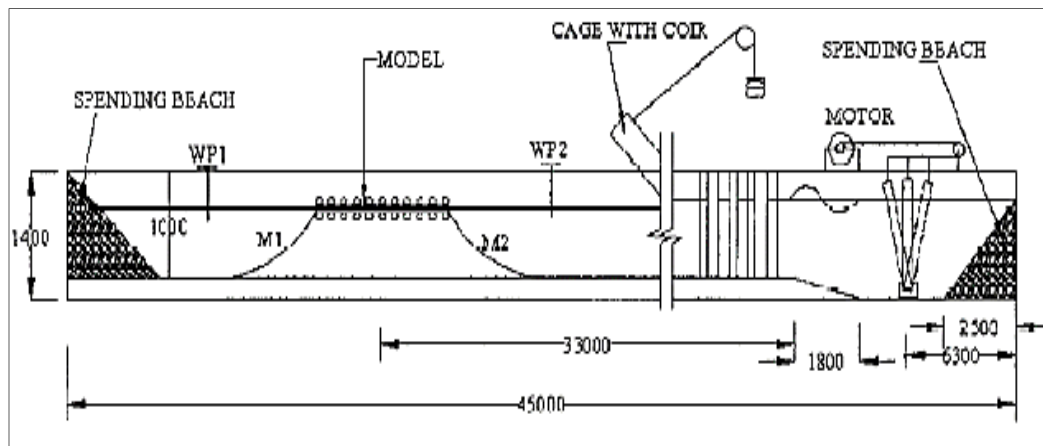
تفاوت مقادیر کمی، مطابقت خوبی بین نتایج کیفی مشاهده می‌شود.

در اینجا برای نمونه مطالعات آزمایشگاهی انجام یافته توسط Hegde (۲۰۰۷) بیان می‌شود. این پژوهش

در فلوم موج دانشکده هیدرولیک و مکانیک کاربردی مانگالور هندوستان^{۲۱} به طول ۴۵ متر، عرض ۰/۷۵

متر و عمق ۱ متر انجام شده است. در شکل (۲۲-۲) مشخصات فلوم و مدل به کار رفته در این آزمایش قابل

مشاهده است.

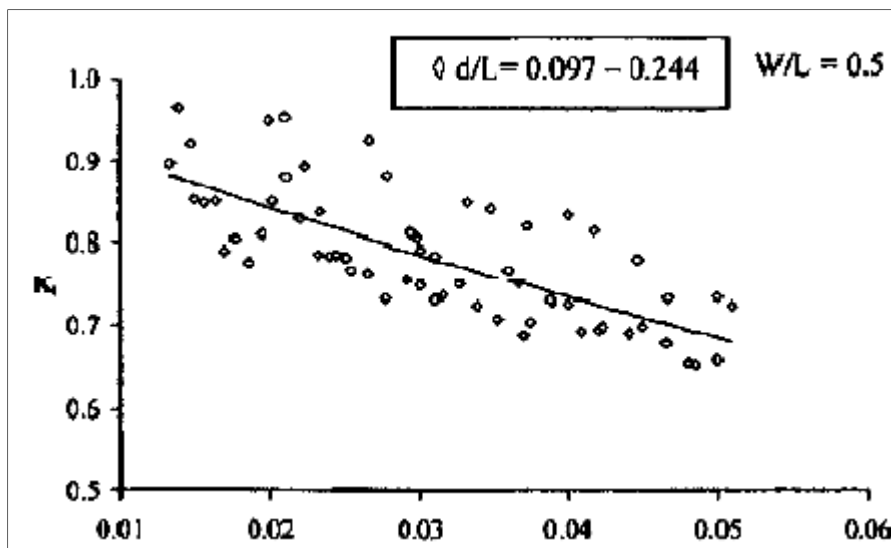


شکل (۲۲-۲) فلوم موج و مدل به کار رفته در آزمایش Hegde

در این آزمایش مقدار ضریب موج به عنوان تابعی از تیزی موج برای مقادیر مختلف عرض نسبی موج شکن

به دست آمده که در شکل (۲۳-۲) نمونه‌ای از آن برای عرض نسبی $W/L=0/5$ مشاهده می‌شود.

^{۲۱} Department of Applied Mechanics and Hydraulics, NITK, Surathkal, Mangalore, India

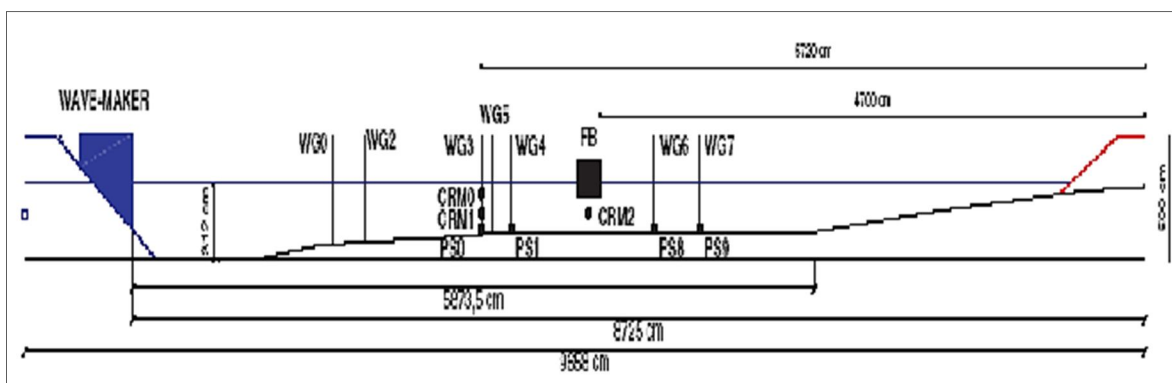


شکل (۲-۲۳) مقادیر ضریب عبور موج بر حسب تیزی موج برای $W/L = 0.5$

همان‌طور که در شکل فوق مشاهده می‌شود با افزایش تیزی موج مقدار ضریب عبور موج کاهش می‌یابد. دلیل آن را می‌توان چنین تفسیر کرد که با افزایش تیزی موج امواج ناپایدارتر می‌شوند و مقدار زیادی از انرژی امواج به دلیل همین ناپایداری مستهلک می‌شود و درصد کمی از انرژی امواج از موج‌شکن عبور می‌کنند [۱۷].

۲-۳-۴- بررسی انعکاس موج از موج‌شکن شناور

در پژوهش انجام‌شده با هدف ارزیابی انعکاس موج [۱۸]، اندرکنش هیدرودینامیکی امواج منظم و نامنظم با موج‌شکن‌های شناور در آب‌های سطحی و متوسط در مقیاس‌های بزرگ مورد آزمایش قرار گرفته است. این آزمایش‌ها در فلوم موج CIEM در دانشگاه کاتالانیای اسپانیا انجام گرفته است. در شکل (۲-۲۴) مقطع فلوم آزمایش نشان داده شده است.



شکل (۲۴-۲) مقطع فلوم موج دانشگاه صنعتی کاتالانیای اسپانیا

در آزمایش‌های انجام گرفته اثر مشخصات موج پیشرو و مشخصات هندسی مانند عرض، عمق آب‌خور سازه برای چهار نوع موج‌شکن شناور ثابت تک، موج‌شکن شناور با حرکت جابه‌جایی قائم، موج‌شکن شناور ثابت با ورق‌های متصل جلویی و موج‌شکن شناور ثابت جفت مورد بررسی قرار گرفته است. موج‌شکن شناور ثابت تک، رفتار منعکس‌کننده بالایی دارد. از طرف دیگر موج‌شکن شناور با حرکت جابه‌جایی قائم دارای رفتاری با اتلاف انرژی بالا می‌باشد و رفتار انعکاسی آن کم است. ورق متصل شده در جلوی موج‌شکن شناور به طور قابل ملاحظه‌ای کارایی سازه را بهبود می‌بخشد. تفاوت زیادی بین ورق متصل شده نفوذپذیر و نفوذناپذیر مشاهده نمی‌گردد. بیش‌ترین کارایی برای موج‌شکن شناور ثابت جفت می‌باشد اما با مد نظر قرار دادن هزینه‌ها مشاهده می‌گردد که موج‌شکن شناور با ورق متصل می‌تواند برای طراحی کارایی بیشتری داشته باشد. عملکرد اصلی موج‌شکن شناور کاهش ارتفاع موج است. موج‌شکن شناور به طور کامل نمی‌تواند نیروی موج را متوقف کند اما موج برخوردی را به صورت جزئی عبور می‌دهد یا منعکس و یا مستهلک می‌گرداند. اتلاف انرژی موج در اثر میرایی، اصطکاک و تولید گردابه‌ها در گوشه‌های موج‌شکن می‌باشد، بنابراین برای هر موج‌شکن شناور داریم:

$$C_t^* + C_r^* + C_d^* = 1 \quad (1-2)$$

که در رابطه‌ی بالا C_t ، ضریب عبور موج، C_r ضریب انعکاس موج و C_d ضریب اتلاف انرژی می‌باشد [۱۸].

Christian با انجام آنالیز ابعادی برای موج شکن شناور الاستیک مهارشده ضریب عبور موج را به صورت

تابعی از پارامترهای زیر معرفی می کند [۱۹]:

$$C_t = f\left(H_i/L, B/L, d_r/d, d/H_i, M/\gamma_b B d_r, I/M B^2, D_G/d_r, k_B/Mg\right) \quad (2-2)$$

پارامترهای تعریف شده در رابطه‌ی بالا به صورت زیر معرفی می شود:

γ_b : وزن مخصوص موج شکن شناور	g : وزن مخصوص آب دریا
M : جرم موج شکن شناور	I : ممان اینرسی مقطع موج شکن
D_g : مرکز جرم موج شکن شناور	K : سختی سیستم مهارى موج شکن شناور
d_r : عمق آب خور	d : عمق آب
H_i : ارتفاع موج برخوردی	L : طول موج برخوردی

با توجه به نتایج آزمایش‌های انجام یافته توسط Christian، کارایی هر چهار نوع موج شکن در آب‌های با عمق متوسط و زیاد $d/L < 0.25$ برای موج‌های با پرپود کوتاه بیشتر است. قرار دادن ورق‌هایی در جلوی موج شکن شناور کارایی آن را نسبت به حالتی که ورق در میانه موج شکن قرار بگیرد بیشتر می کند که علت آن، تشکیل گردابه‌ها و توربولانس مؤثرتر در جلوی سازه نسبت به مکان‌های دیگر سازه است. نتایج حاصل برای ضریب انعکاس و عبور موج شکن شناور جفت و تک در شکل (۲-۲۵) برای موج منظم نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می شود، با افزایش عرض نسبی موج شکن شناور، ضریب عبور موج کاهش و به مقدار ضریب انعکاس افزوده می شود.

بهترین عملکرد موج شکن شناور ثابت تک در بازه‌های زیر حاصل می شود:

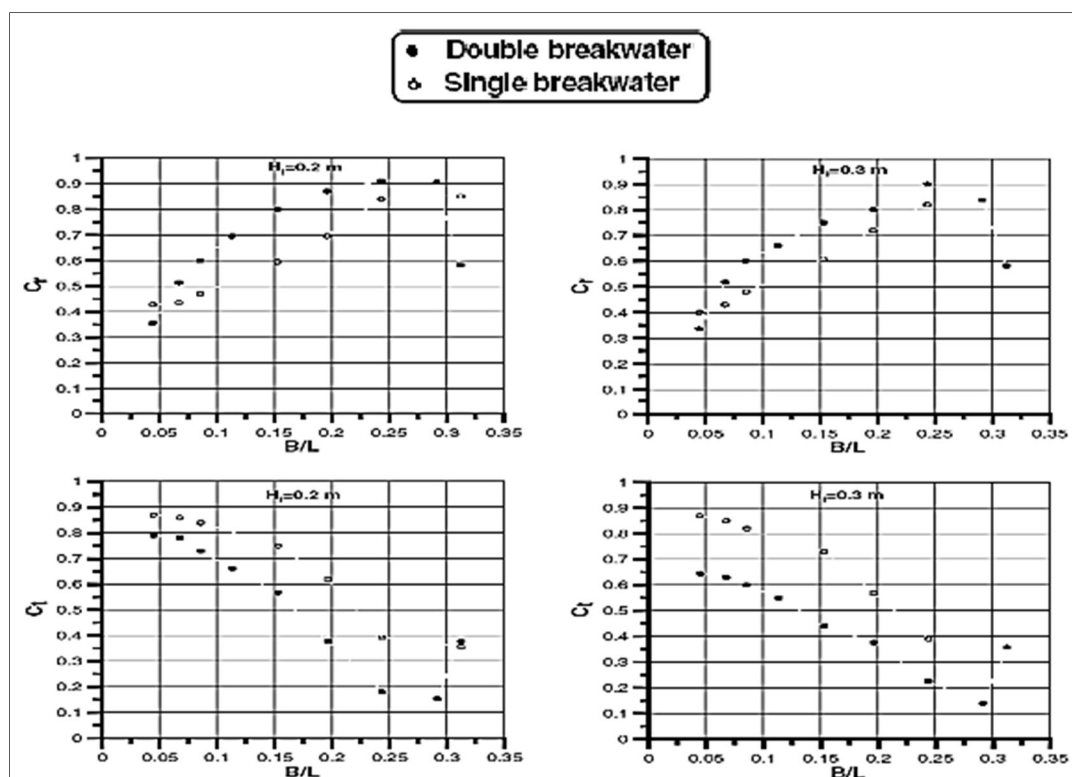
$$\frac{B}{L} > 0.25 \quad (3-2)$$

$$\frac{1}{5} < d_r/d < \frac{1}{3} \quad (4-2)$$

موج شکن شناور ثابت تک دارای رفتار انعکاسی زیادی است.

$$0.4 < C_r < 0.9 \quad (5-2)$$

اتلاف انرژی در نتیجه نوسان های شدید و گردابه های تشکیل شده در جلوی موج شکن شناور رخ می دهد.



شکل (۲-۲۵) ضریب انعکاس و عبور موج برای موج منظم

بر اساس آزمایش های انجام گرفته در امواج منظم اتلاف انرژی بیشتری مشاهده می گردد. همچنین برای

موج شکن شناور با حرکت جابه جایی قائم اتلاف انرژی بیشتری مشاهده می گردد به طوری که:

$$0.45 < C_d < 0.9 \quad (6-2)$$

کاربردی ترین نوع موج شکن، موج شکن شناور جفت می باشد که با توجه به شرایط زیر حاصل گردیده

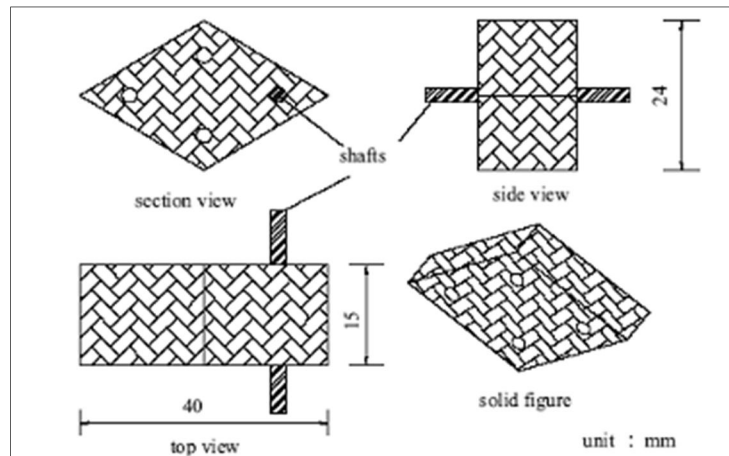
است:

$$B/L = 0.3 \rightarrow C_t = 0 \quad (7-2)$$

با در نظر گرفتن مسائل اقتصادی موج‌شکن شناور با ورق متصل در جلوی آن می‌تواند کارایی بیشتری داشته باشد.

۲-۳-۵- عملکرد موج‌شکن شناور متخلخل^{۲۲}

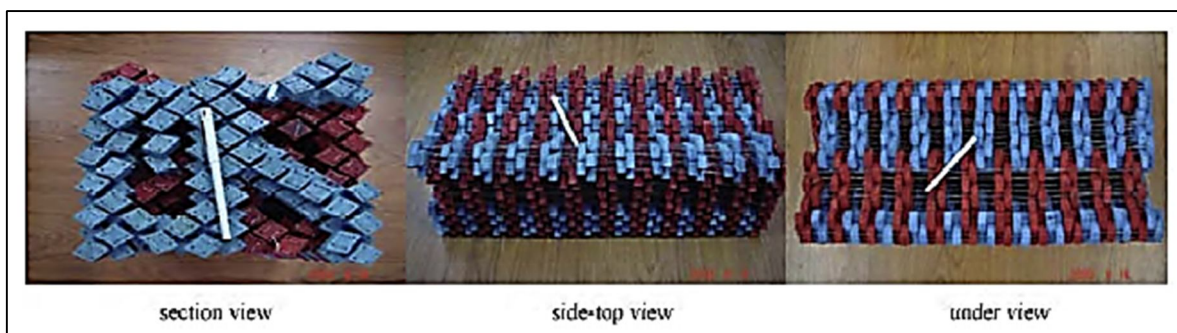
در پژوهشی که در سال ۲۰۰۹ میلادی توسط Wang and Sun [۲۰] انجام شد، یک نوع جدید از موج‌شکن‌های شناور و عملکرد آن در برابر امواج مورد بررسی قرار گرفت. سازه این نوع موج‌شکن شناور از تعداد زیادی بلوک‌های الماس شکل تشکیل شده است. مقطع بلوک‌های الماس شکل در شکل (۲-۲۶) نشان داده شده است. نحوه چینش بلوک‌ها به گونه‌ای انتخاب گردیده است که ارتفاع موج عبوری و نیروهای مهاری کاهش یابد.



شکل (۲-۲۶) مقطع بلوک‌های الماس شکل

مقطع موج‌شکن شناور که از بلوک‌های الماس شکل تشکیل شده است دارای ابعاد ۶۸ سانتی‌متر طول، ۳۲ سانتی‌متر عرض و ۲۰ سانتی‌متر ارتفاع می‌باشد. تخلخل موج‌شکن شناور مورد آزمایش برابر ۰/۶۳ می‌باشد. مقطع موج‌شکن مورد آزمایش در شکل (۲-۲۷) مشخص شده است.

^{۲۲} . Porous Floating Breakwater



شکل (۲-۲۷) مقطع موج شکن شناور متخلخل

آزمایش‌ها در فلوم موج دو بعدی آزمایشگاه مهندسی سواحل دانشگاه صنعتی دالیان چین و با دو سیستم مهاربندی یک‌طرفه و دوطرفه انجام گرفته است. در این آزمایش‌های انجام گرفته پارامترهای زیر مورد بررسی قرار گرفته‌اند:

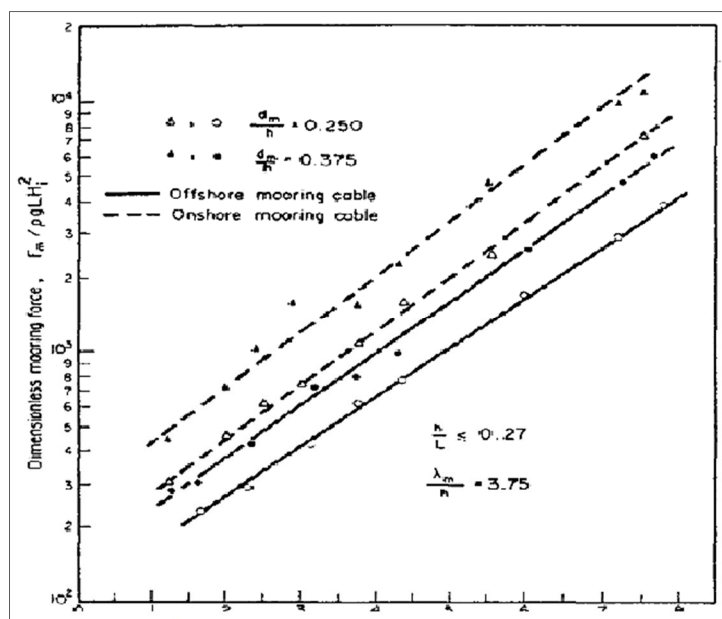
K_t : ضریب عبور موج، K_r : ضریب انعکاس، E_{Loss} : مقدار تلفات انرژی موج پیشرو

نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد که موج شکن شناور پیشنهادی می‌تواند ارتفاع موج پیشرو را با اتلاف بیشتر انرژی موج نسبت به انعکاس آن، کاهش دهد.

۲-۳-۶- تأثیر مشخصات موج بر نیروهای مهار

ارتفاع موج: مطالعات آزمایشگاهی نشان می‌دهند که با افزایش ارتفاع موج، مقدار نیروی مهار افزایش می‌یابد [۱۷].

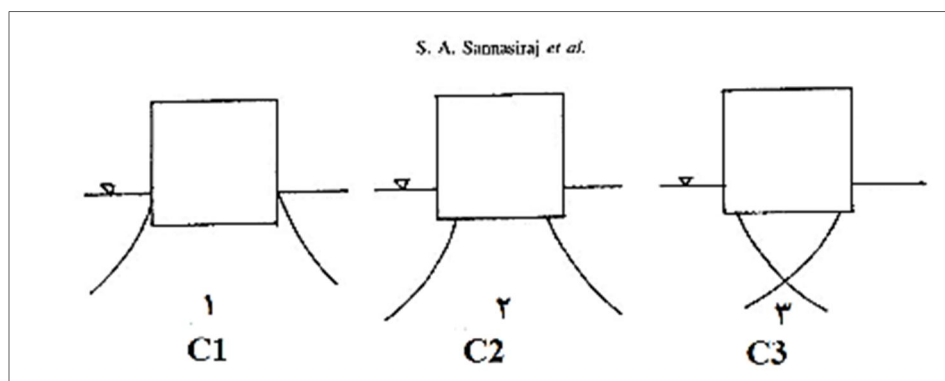
تیزی موج: مطالعات آزمایشگاهی انجام یافته توسط Arunachalam (۱۹۸۲) [۹] نشانگر افزایش مقدار نیروهای مهار در اثر افزایش تیزی موج می‌باشد. نمودار شکل (۲-۲۸) نتایج به دست آمده از این آزمایش‌ها را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۲۸) تغییرات نیروی مهار به عنوان تابعی از تیزی موج

۲-۳-۷- تأثیر شکل و الگوی مهاربندی در نیروهای مهار

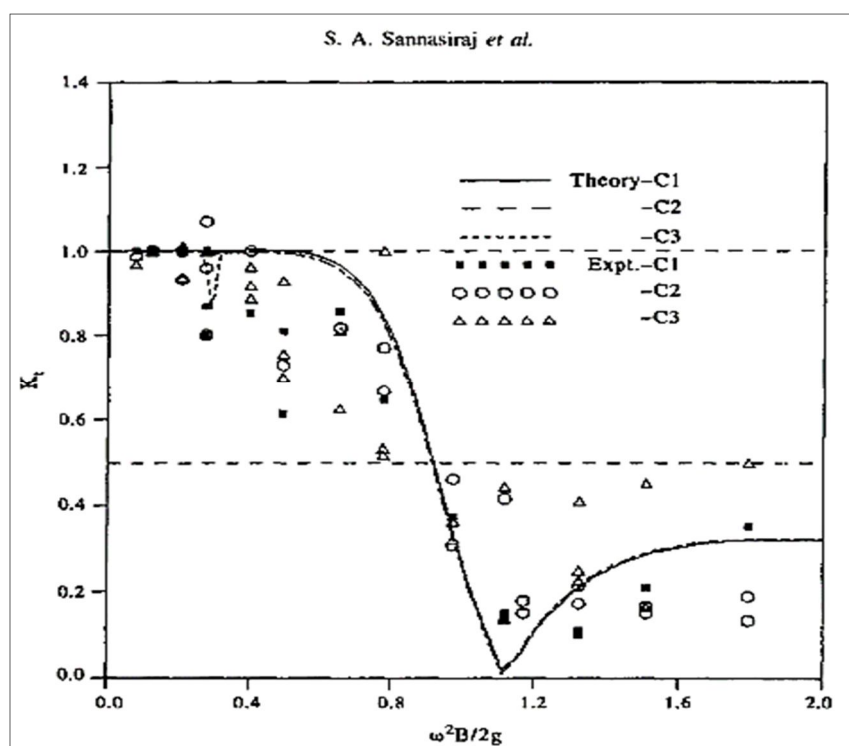
Sannasiraj و همکاران [۲۱] طی پژوهشی که در سال ۱۹۹۶ در مرکز اقیانوس‌شناسی انستیتو تکنولوژی هندوستان انجام دادند، سه الگوی مهاربندی با استفاده از مهارهای خطی برای موج‌شکن‌های شناور پیشنهاد داده و پاسخ دینامیکی موج‌شکن و نیروهای مهاری را در این سه گزینه با استفاده از روش‌های عددی و نیز مطالعات آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. این الگوهای مهاربندی شامل مهاربندی در سطح آب، مهاربندی در بستر و مهارهای ضربدری می‌باشند که در شکل (۲-۲۹) نشان داده شده‌اند. مقادیر به‌دست آمده برای ضریب انتقال موج K_t در دو روش آزمایشگاهی و نظری برای الگوهای مختلف مهار در نمودار شکل (۲-۳۰) ارائه شده است.



شکل (۲-۲۹) الگوهای مهاربندی ارائه شده توسط Sannasiraj et al

پارامترهای این نمودار به شرح زیر است:

K_t : ضریب انتقال موج ، B : عرض موج شکن ، ω : فرکانس ، g : شتاب جاذبه زمین



شکل (۲-۳۰) ضریب انتقال K_t در دو روش آزمایشگاهی و نظری برای الگوهای مختلف مهار

در این پژوهش پاسخ حرکتی موج‌شکن شناور برای حرکت‌های Roll و Sway و Heave تحت طیف موج طراحی مورد مطالعه قرار گرفت و برای هر سه نوع الگوهای مهار طیف پاسخ این حرکات و نیز طیف مربوط به نیروهای مهار به‌دست آمد.

نتایجی که در این پژوهش به‌دست آمده به شرح زیر است:

- مدل خطی به‌دست آمده از مطالعات نظری نتایج واقع‌بینانه‌ای در مورد سه حالت حرکت سازه شناور (Roll و Sway و Heave) نتیجه می‌دهد. با مقایسه اندازه‌های به‌دست آمده برای این سه حالت حرکت تحت مطالعات آزمایشگاهی و روش‌های نظری می‌توان به این نکته پی برد که در تمامی موارد به‌جز اندازه فرکانس تشدید Roll، نتایج دو روش آزمایشگاهی و عددی با یکدیگر هم‌خوانی دارند.
- در صورت به‌کار بردن الگوی مهاربندی ضربدری، پاسخ سیستم برای فرکانس‌های نزدیک به فرکانس طبیعی موج‌شکن نسبت به دو الگوی دیگر مقدار بیشتری خواهد داشت.
- مقدار ضریب عبور موج بستگی چندانی به الگوی مهاربندی ندارند. با این حال آزمایش‌های انجام یافته نشان می‌دهند که ضریب عبور موج برای موج‌شکن‌های شناور که در آن‌ها از مهاربندهای ضربدری استفاده شده است، مقدار بیشتری را دارد.
- نیروهای مهار به‌طور مستقیم به شکل و آرایش مهارهای خطی بستگی دارد. برای مهاربندی در تراز آب و نیز در بستر نیروهای به‌دست آمده برای تسلیم مهارها کمتر از مقدار نیروی به‌دست آمده برای تسلیم مهارهای ضربدری است. بنابراین استفاده از مهارهای ضربدری مستلزم رعایت نکات طراحی خاصی است.
- در طراحی موج‌شکن‌های شناور پانتونی که در آن‌ها از مهارهای خطی استفاده شده است، نیروی مهار در فرکانس‌های کمتر با توجه به طیف موج، عامل تعیین‌کننده خواهد بود.

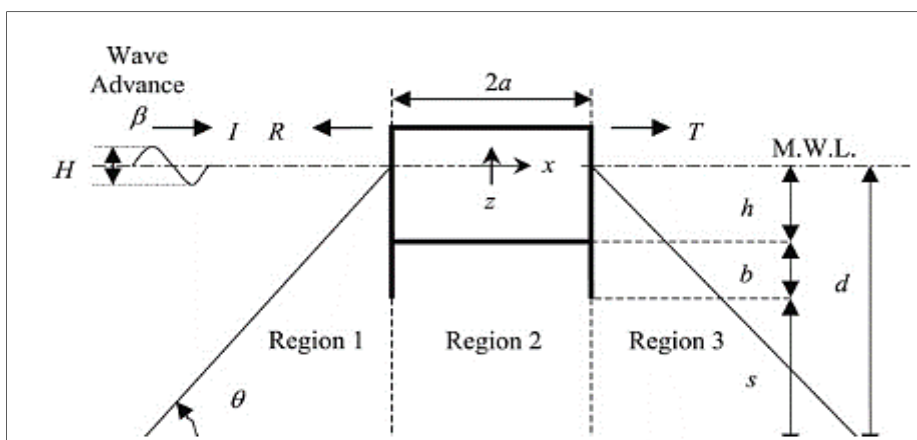
- بر اساس نتایج به دست آمده برای پاسخ حرکتی سازه، مشخصات عبور موج و نیروهای مهاری در آزمایش‌های فوق‌الذکر استفاده از الگوی مهاربندی ضربدری توصیه نمی‌شود.

۲-۳-۸- مطالعات انجام یافته بر روی پاسخ‌های حرکتی موج‌شکن شناور

مطالعات آزمایشگاهی انجام یافته در مورد پاسخ‌های حرکتی موج‌شکن‌های شناور محدود و انگشت‌شمار می‌باشد و محققینی که در مورد پاسخ‌های حرکتی موج‌شکن‌های شناور فعالیت داشته‌اند بیشتر از روش‌های عددی و مدل‌سازی کامپیوتری استفاده کرده‌اند که در برخی از موارد نتایج کار عددی با داده‌های آزمایشگاهی مقایسه شده است. در این قسمت به بررسی انجام یافته روی پاسخ‌های حرکتی موج‌شکن شناور π شکل پرداخته می‌شود. در پژوهش انجام شده بر روی این نوع موج‌شکن شناور [۲۳]، انعکاس و عبور موج از یک موج‌شکن شناور مستطیلی شکل با دو برآمدگی قائم در طرفین آن مورد بررسی قرار گرفته است. علت نام‌گذاری این نوع موج‌شکن شناور به دلیل شباهت آن به حرف یونانی π می‌باشد. در شکل (۲-۳۱) مقطع این نوع موج‌شکن نشان داده شده است. بررسی اثر صفحه‌های بیرون آمده از طرفین موج‌شکن مستطیل شکل بر عملکرد موج‌شکن مد نظر بوده است. فرض گردیده است که سازه در آب‌های با عمق ثابت قرار گرفته است و از روش بسط توابع ویژه^{۲۳} برای حل مسئله استفاده شده است. البته برای بررسی صحت نتایج مدل عددی یک سری آزمایش نیز انجام گرفته است. این آزمایش‌ها در فلوم موج آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی عمران دانشگاه بریتیش کلمبیا^{۲۴} انجام شده است. فلوم موج به ترتیب دارای ۲۰ متر طول، ۶۲ سانتی‌متر عرض و یک متر عمق می‌باشد.

^{۲۳} . Eigenfunction Expansiom Method

^{۲۴} . British Columbia

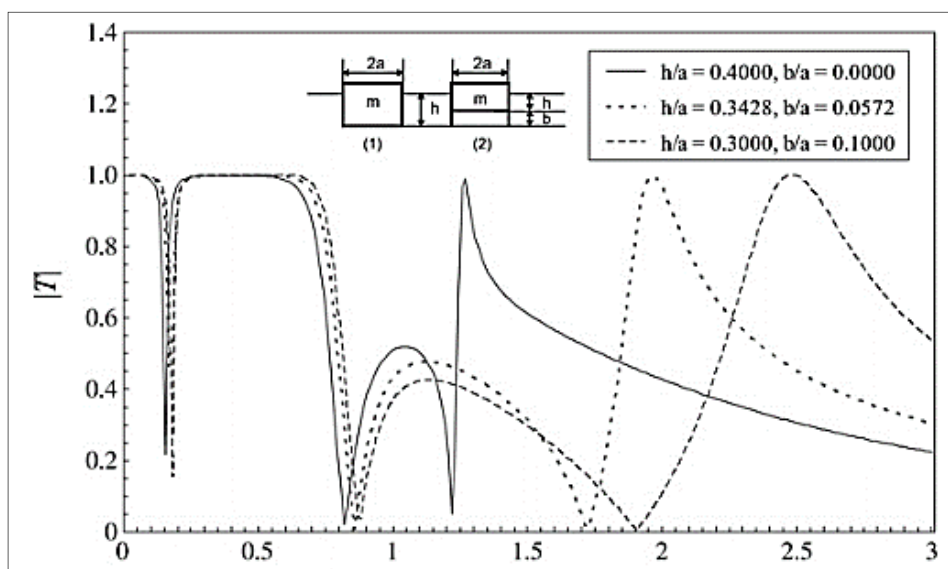


شکل (۳۱-۲) مقطع موج شکن شناور π شکل

با مقایسه نتایج حاصل از موج شکن مستطیلی با همان وزن و موج شکن شناور π شکل می توان دریافت که نیروهای محرک و ضریب میرایی حرکت طولی کمتر خواهد شد اما سایر ضرایب هیدرودینامیکی بیشتر می گردد. نتایج مربوط به عبور موج در محدوده فرکانس موج های آزمایش شده نسبت به حالت مستطیلی شکل کمتر بوده است. با توجه به شرایط طراحی و موج پیشرو محیط ممکن است از این شکل موج شکن استفاده گردد. در شکل (۳۲-۲) مقایسه ی بین ضریب عبور موج برای موج شکن شناور پانتونی و π شکل انجام گرفته است که در این شکل K عدد موج، a نصف عرض موج شکن و $|T|$ ضریب عبور موج می باشد.

ضرایب میرایی مربوط به جابه جایی و غلتش طولی (Pitch, Surge) برای موج های بلند کاهش می یابد و در فرکانس های بالا به صفر میل می کند. ضرایب جرم افزوده برای محدوده وسیعی از فرکانس های موج تقریباً ثابت است. ضرایب جرم افزوده جابه جایی و غلتش طولی در حالت حدی موج های بلند تمایل به ماکزیمم شدن دارند و وجود صفحه ها ضرایب میرایی و ضرایب جرم افزوده را افزایش می دهد. اما ضریب میرایی حرکت جابه جایی قائم (Heave) در موج شکن شناور π شکل کاهش می یابد. برای موج های با فرکانس عادی ضریب عبور موج با افزایش b/a کاهش می یابد. ضریب عبور موج از یک برای موج های بلند تا صفر جایی که تمام موج منعکس می گردد و ماکزیمم مقدار آن در صورت نبودن ورق (صفحه) رخ می دهد. در موج شکن شناور π شکل برای مقادیر مختلف b/a ، مقادیر نیروی محرک افقی و ممان غلتش طولی کمتری

حاصل می‌گردد اما نیروهای قائم تقریباً ثابت است. برای موج‌های متوسط نسبت به موج‌های کوتاه و بلند عملکرد بهتری را نشان می‌دهد. افزودن صفحه‌های کناری سبب افزایش جرم افزوده و ضریب میرایی حرکت جابه‌جایی قائم می‌گردد اما سایر ضرایب میرایی کاهش می‌یابد و منجر به پاسخ‌ها و ضریب عبور موج کوچک‌تر خواهد شد. در موج‌های با زاویه انحراف کوچک ضریب عبور موج کوچک‌تر خواهد شد. در موج‌های با زاویه انحراف کوچک ضریب عبور موج بزرگ‌تری نسبت به موج‌شکن مستطیلی دارد. با استفاده از این نوع موج‌شکن می‌توان در مصالح صرفه‌جویی نمود اما هنگام طراحی باید بین مصالح مصرفی و عملکرد موج‌شکن شناور نسبت به فرکانس موج پیشرو هماهنگی و یکسان‌سازی صورت بگیرد.



شکل (۲-۳۲) مقایسه‌ی بین ضریب عبور موج، موج‌شکن شناور پانتونی و π شکل

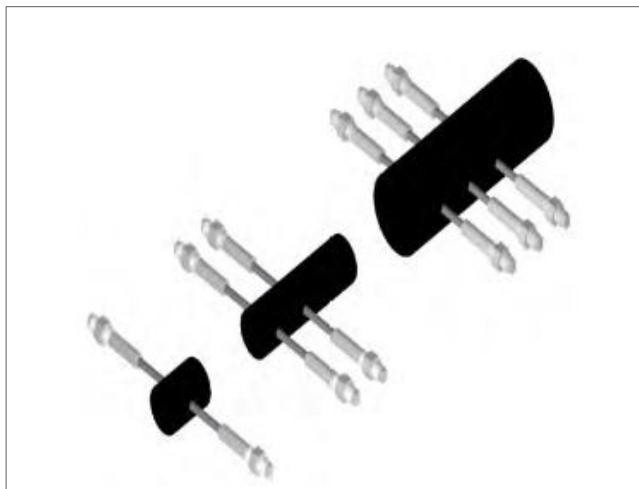
۲-۳-۹- مطالعات انجام یافته در مورد اتصالات بین قطعات موج‌شکن شناور

اتصالات بین شناورها یک منبع عمده تضعیف موج‌شکن شناور بوده است؛ البته در بندر Tenkaee واقع در آلاسکا از طریق استفاده از حلقه‌های لاستیکی سخت (Hard rubber rings) با ضخامت ۳۰ سانتی‌متر نتایج مطلوبی حاصل شده است. این حلقه‌ها در هر گوشه مقاطع متصل موج‌شکن به طور قائم از یکدیگر فاصله دارند. این وضعیت موجب جذب نیروهای فشاری، کششی و پیچشی می‌شود. زنجیرهای فولادی به کار

رفته بین مقاطع، کشش حداکثر صدمه‌رسان به حلقه‌های لاستیکی را محدود می‌کند [۵]. حلقه‌های لاستیکی، شوک‌های کششی وارده بر زنجیرها را کنترل کرده و به مثابه محافظ‌های فشاری^{۲۵} بین شناورها عمل می‌کند. اگرچه سابقه به‌کارگیری این روش چندان زیاد نیست ولی با استفاده از آن مسئله‌ی فرسودگی رفع شده است. به طور کلی می‌توان اتصالات بین اجزای پانتونی را به دو نوع اتصالات صلب و انعطاف‌پذیر طبقه‌بندی کرد که در شکل (۳۳-۲) و شکل (۳۴-۲) می‌توان مشاهده نمود.



شکل (۳۳-۲) نمونه‌ای از اتصال صلب بین قطعات پانتونی



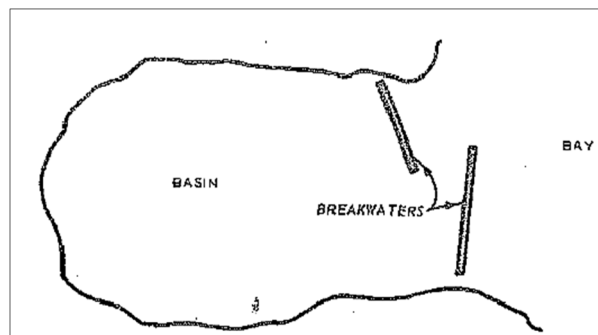
شکل (۳۴-۲) نمونه‌ای از اتصال انعطاف‌پذیر بین قطعات پانتونی

^{۲۵}. Compressive buffers

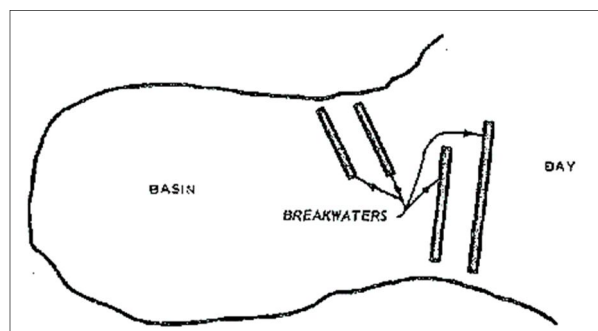
قطعات بتنی فقط می‌توانند از قسمت فوقانی به یکدیگر لولا شوند. در این حالت قطعات می‌توانند حول محور اتصال با قطعه مجاور حرکت چرخشی داشته باشند و هیچ قید و بندی برای مقابله با چرخش قطعات حول محور اتصال در نظر گرفته نمی‌شود.

۲-۳-۱۰- مطالعات انجام یافته در مورد جانمایی اجزای موج‌شکن شناور

جانمایی اجزای موج‌شکن شناور به شدت به شرایط محیطی غالب از جمله شرایط موج، شرایط محل و ... وابسته است. اما می‌توان از یک لایه موج‌شکن برای حفاظت استفاده نمود یا از چندین لایه برای کاهش ارتفاع موج تا حد دلخواه مورد نظر استفاده کرد. جانمایی موج‌شکن شناور به صورت تک و جفت در شکل‌های (۲-۳۵) و (۲-۳۶) نشان داده شده است.

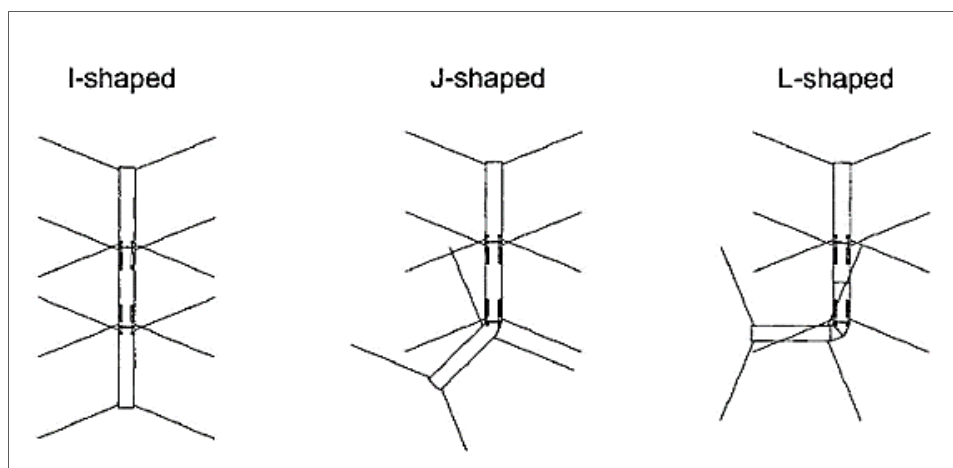


شکل (۲-۳۵) جانمایی موج‌شکن شناور به صورت تک



شکل (۲-۳۶) جانمایی موج‌شکن شناور به صورت جفت

بر روی نحوه‌ی جانمایی موج‌شکن‌های شناور کارهای وسیعی انجام گرفته است. از جمله برخی محققین [۲۲] و [۲۴] اثر جانمایی موج‌شکن شناور بر عبور موج و نیروهای وارد بر اتصالات و مهارها را مورد بررسی قرار داده‌اند. به همین منظور یک سری آزمایش انجام گرفته است که هدف از انجام این آزمایش‌ها رسیدن به یک شکل و ترکیب برای نمونه‌های کاربردی است. در شکل (۲-۳۷) سه جانمایی متفاوت (I شکل، J شکل و L شکل) موج‌شکن شناور نشان داده شده است.



شکل (۲-۳۷) جانمایی‌های متفاوت موج‌شکن شناور

نتایج این پژوهش به شرح زیر است:

- با افزایش زاویه بین امتداد موج‌شکن شناور و امتداد موج برخوردی به آن، نیروهای ایجادشده در مهارها افزایش می‌یابد.
- نیروی وارد بر قطعات واصل خیلی بیشتر از مقدار نیروهای مهار باشد. زیرا علاوه بر نیروهای مهار نیروی حاصل از تنش‌های داخلی سازه نیز به این قطعات وارد می‌شوند. در هر حال بیش‌ترین مقدار نیروی وارد بر قطعات واصل کمتر از دو برابر مقدار متوسط آن است. لذا می‌بایست برای تحمل پدیده‌ی خستگی ناشی از نیروهای نوسانی موج طراحی شوند.

- بیشترین مقدار نیروی وارد بر مهاربندها مربوط به اثر نیروهای ضربه‌ای می‌باشد. مقدار تغییرات نیروهای مهار خیلی زیاد می‌باشد و برای امواج عمود بر سازه موج‌شکن توسط توزیع احتمالی ویبول^{۲۶} بیان می‌شود.
- نتایج نشان می‌دهد که با تغییر چینش موج‌شکن شناور از I به J، نیروهای مهاری کاهش یافته و نیروی اتصالات افزایش می‌یابد.

۲-۴- جمع‌بندی مطالعات پیشین

در این قسمت خلاصه‌ای از مطالعات آزمایشگاهی و عددی انجام گرفته بر روی موج‌شکن‌های شناور با در نظر گرفتن نوع مطالعه، پارامترهای هدف و خلاصه‌ای از نتایج به دست آمده در قالب جدول (۱-۲) بیان می‌شود.

جدول (۱-۲) خلاصه مطالعات پیشین

ردیف	محقق	سال	نوع مطالعه	پارامتر مورد بررسی	نتیجه
۱	اوزرن [۱]	۲۰۰۹	آزمایشگاهی (در موج‌شکن لوله‌ای)	ضریب عبور و انعکاس موج	در صورت استفاده از مهار شمعی عبور موج کاهش می‌یابد. در صورت روگذری موج، امواج تیزتر بیشتر عبور خواهند کرد.
۲	شفیعی فر [۸]	۲۰۰۴	عددی	فشار و نیرو	فشار و نیروی امواج در حال شکست بسیار بیشتر از امواج شکسته است و منجر به گسیختگی مهارها می‌شود.
۳	کوتاندوس و همکاران [۱۸]	۲۰۰۴	عددی- آزمایشگاهی	حرکت سازه	کارایی بهتر موج‌شکن در اعماق میانی و امواج با دور کوتاه.

^{۲۶} . Weibull Distribution

۴	سان و وانگ [۲۰]	۲۰۰۹	آزمایشگاهی	ضریب عبور موج، ضریب انعکاس، نیروهای مهاری و مقدار تلفات	در مهاربندی یک طرفه ضریب عبور موج با کاهش B/L ، افزایش می‌یابد. در مهاربندی دوطرفه با افزایش ثبات سازه، انرژی اتلافی افزایش می‌یابد. به دلیل تخریب، در مقادیر کوچک S/L پدیده تشدید رخ می‌دهد. موج شکن متخلخل ارتفاع موج منعکس شده را کاهش می‌دهد
۵	گسراها [۲۳]	۲۰۰۷	آزمایشی- عددی	نیرو-ضریب میرایی و انتقال	افزودن دو صفحه کناری ضریب میرایی و جرم افزوده را افزایش داده و ضریب انتقال را کاهش می‌دهد
۶	مارتینلی و همکاران [۲۴]	۲۰۰۸	آزمایشگاهی	جانمایی های متفاوت	با افزایش زاویه موج برخوردی و موج شکن نیروی مهار افزایش می‌یابد. نیروی بین قطعات واصل به دلیل تنش های داخلی بسیار بیشتر از نیروی مهاری است. جانمایی J نسبت به I نیروهای مهاری را کاهش و نیروی اتصالات را افزایش می‌دهد
۷	کی و همکاران [۲۵]	۲۰۰۵	عددی	اندرکنش سازه و موج	در صورت وجود اعضای متخلخل بهترین عملکرد سازه در فرکانس های بالای موج است.
۸	سالم و همکاران [۲۷]	۲۰۰۸	مدل فیزیکی	ضرایب هیدرودینامیکی	ضریب انتقال با افزایش نسبت D/L ، B/h و کاهش نسبت G/d ، کاهش می‌یابد. ضریب انعکاس نیز در $D/L \leq 0.15$ ، گرایش وارونه دارد.
۹	الکاهال و همکاران [۲۸]	۲۰۰۹	عددی	ضریب انعکاس	افزایش عرض سازه و سختی مهارها ضریب عبور موج را کاهش می‌دهد

۱۰	دیامانتولاکی [۲۹]	۲۰۱۱	عددی	آرایه‌های موج‌شکن متصل با لولا	تأثیر تعداد لولاها بر روی پاسخ سازه بستگی به فرکانس موج و موقعیت آرایه‌ها دارد. در فرکانس پایین افزایش خطوط مهار تأثیر کمی بر روی پاسخ سازه دارد.
۱۱	فرانک هی و همکاران [۳۰]	۲۰۱۱	آزمایشگاهی	انتقال موج	وجود مخازن پر شده از هوا در جلو و پشت سازه انتقال موج را کاهش می‌دهد.
۱۲	کنستانتین میکائیلید [۳۱]	۲۰۱۱	آزمایشگاهی- عددی	تولید انرژی	افزایش سختی در اتصالات منجر به تولید انرژی کمتر می‌شود
۱۳	ژی جی چن و همکاران [۳۲]	۲۰۱۲	مدل ریاضی	سرعت، جابجایی و نیروهای مهار	کاهش عرض سازه نسبت به طول آن میزان انتقال موج را کاهش می‌دهد. افزودن صفحات افقی در زیر موج‌شکن مستطیلی عبور موج، جابجایی و نیروی مهار را کاهش می‌دهد.
۱۴	فروزنده [۳۳]	۱۳۸۴	آزمایشگاهی	ضریب عبور موج، انعکاس	طیف موج تأثیری بر ضریب انتقال ندارد و با افزایش عمق آبخور ضریب انتقال کاهش می‌یابد.
۱۵	دلور و همکاران [۳۴]	۱۳۸۶	عددی (شبکه عصبی)	ضریب انعکاس و انتقال	این روش تخمین مطلوبی را برای مقادیر آزمایشگاهی ارائه می‌دهد.
۱۶	هادیان و همکاران [۳۵]	۱۳۸۹	تحلیلی) نرم‌افزار موسس)	نیروهای مهاربندی	با افزایش پیش کشیدگی، سختی مهار و نیروهای مهار را افزایش می‌یابد. پس از پیش کشیدگی مهارها تا یک مقدار، افزایش بیش از آن تأثیری در رفتار سازه ندارد.

۱۷	نجفی جیلانی و همکاران [۳۶]	۱۳۹۰	تحلیلی (نرم افزار انسیس)	حرکات جانبی در موج شکن های تک و دوبل	حرکت غلتش عرضی موج شکن تأثیر کمی بر جابجایی کل سازه دارد. با افزایش پریود موج برخوردی حرکت جانبی سازه در مقابل حرکات قائم و غلتش عرضی افزایش می یابد. فاصله بین پانتون ها در موج شکن دوبل یک عامل مؤثر در عملگرهای حرکتی می باشد.
۱۸	طباطبایی و همکاران [۳۷]	۱۳۹۰	المان محدود	پاسخ هیدرودینامیکی سازه	روش المان محدود در صورتی که محدوده مدل سازی به اندازه یک طول موج در هر فرکانس باشد و اندازه شبکه ها در سطح آب باید بین $\frac{1}{2}$ تا $\frac{1}{4}$ طول موج در هر فرکانس باشد دقت بالایی در تعیین پاسخ سازه شناور دارد.
۱۹	رضایی و همکاران [۳۸]	۱۳۹۰	تحلیلی (نرم افزار انسیس)	پریود موج برخوردی و فاصله پانتون	افزایش تیزی موج ضریب عبور موج را کاهش می دهد و عملکرد موج شکن شناور پانتونی و کاتاماران به پریود موج برخوردی وابسته است.

فصل سوم:

مبانی و روش‌های تحلیل و

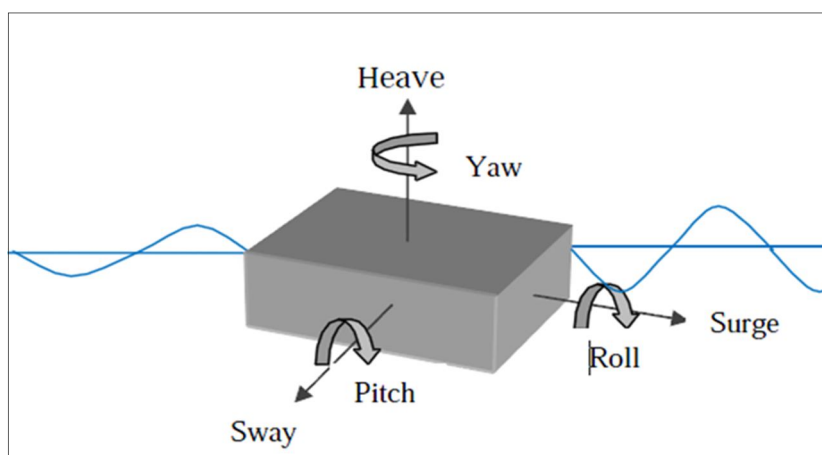
طراحی سازه‌های شناور

۳-۱- مقدمه

یک سازه شناور همواره در معرض عوامل محرک محیطی (با ماهیت دینامیکی) می‌باشد. این عوامل محرک متأثر از پدیده‌های مختلف دریا از قبیل امواج، جریان‌ها و باد هستند که هر کدام قادر به ایجاد نوع و اندازه خاصی نیرو و حرکت در کل موج‌شکن شناور و یا در المان‌ها و نقاط خاصی از آن هستند. واضح است که یک طراح برای تحلیل صحیح و در پی آن طراحی منطقی و درست یک موج‌شکن شناور باید دانش، آگاهی و دید کافی نسبت به این پدیده‌ها و اثرات آن‌ها روی موج‌شکن شناور داشته باشد، بنابراین مطالب این فصل عمدتاً به بررسی و ارزیابی این پدیده‌ها (البته با تأکید بیشتر بر شناخت امواج و پدیده‌های مرتبط با آن‌ها) و اثرات آن‌ها روی موج‌شکن‌های شناور (Loads&Motions) می‌پردازد. در ادامه مطالبی راجع به معیارها و ملاک‌های طراحی موج‌شکن‌های شناور و شرایط و روش‌های طراحی آن‌ها ارائه می‌شود.

۳-۲- توصیف حرکات سازه در برخورد با موج

پاسخ حرکت‌های یک سازه شناور را می‌توان در شش درجه آزادی به دست آورد. این درجه‌های آزادی مطابق شکل (۳-۱) بیان شده‌اند:



شکل (۳-۱) حرکات شش‌گانه یک سازه شناور در فضای سه بعدی

Surge : حرکت در طول محور x بدنه

Roll: چرخش بدنه حول محور x

Sway : حرکت در طول محور y بدنه

Pitch: چرخش بدنه حول محور y

Heave : حرکت در طول محور z بدنه

Yaw: چرخش بدنه حول محور z

از آنجا که امواج برخوردی، سازه را در یک نوسان هارمونیک قرار می‌دهد، معادلات حرکت نیز بیان‌گر یک نوسان هارمونیکی است. این معادلات حرکت عبارتند از:

$$\text{Surge :} \quad x = x_a \cos(\omega t + \varepsilon_{x\xi}) \quad (1-3)$$

$$\text{Sway :} \quad y = y_a \cos(\omega t + \varepsilon_{y\xi}) \quad (2-3)$$

$$\text{Heave :} \quad z = z_a \cos(\omega t + \varepsilon_{z\xi}) \quad (3-3)$$

$$\text{Roll :} \quad \phi = \phi_a \cos(\omega t + \varepsilon_{\phi\xi}) \quad (4-3)$$

$$\text{Pitch :} \quad \theta = \theta_a \cos(\omega t + \varepsilon_{\theta\xi}) \quad (5-3)$$

$$\text{Yaw :} \quad \psi = \psi_a \cos(\omega t + \varepsilon_{\psi\xi}) \quad (6-3)$$

که در روابط فوق:

$\varepsilon_{x\xi}$: زاویه فاز

$\omega = 2\pi/T$: فرکانس موج

n_a : دامنه حرکت

۳-۳- نیروهای محیطی

نیروها و عوامل محیطی را معمولاً در چهار محدوده فرکانس جداگانه بررسی و ارزیابی می‌کنند، این چهار

محدوده عبارتند از:

- بارها و نیروهای پایدار و ثابت مانند باد، جریان و Wave drift که برای مدت زمان، جهت و تداوم در نظر گرفته شده ثابت هستند.

- بارها با دامنه فرکانس کم که می‌توانند موج‌شکن شناور را در پریودهای طبیعی خود در درجات آزادی Surge, Sway, Yaw تحریک کنند (پریودهای طبیعی تأثیرپذیر اغلب در محدوده ۱ تا ۳ دقیقه هستند).

- بارهای ناشی از امواج رفت و برگشتی (Cyclic) که دارای مقادیر بزرگ بوده و عامل اصلی نیروهای وارد بر اعضا، المان‌ها و مهاربندی‌ها به شمار می‌روند. (پریودهای طبیعی تأثیرپذیر اغلب در محدوده ۵ تا ۲۰ ثانیه هستند)

- بارهای با دامنه فرکانس زیاد که می‌توانند موج‌شکن شناور را در پریودهای طبیعی خود در درجات آزادی Pitch, Roll, Heave تحریک کنند (پریودهای طبیعی تأثیرپذیر اغلب در محدوده ۱ تا ۵ ثانیه هستند).

۳-۴- نیروی امواج

امواج تولیدشده توسط بادهای دریایی اصلی‌ترین منبع تولید نیرو در موج‌شکن‌های شناور هستند. این امواج طبیعت نامنظم و تصادفی دارند، ارتفاع و پریود متغیر در زمان و مکان بوده و ممکن است از یک یا چند جهت به سازه برخورد نمایند. کل نیروهای موج وارد بر سازه شامل نیروهای موج موجود ناشی از موج‌های برخوردی به سازه، نیروی متفرق از موج‌های برخوردی توسط سازه و نیروهای منتشرشده موج که ناشی از موج‌های تولیدی توسط حرکات بدنه در سطح آزاد است می‌باشد. به دلیل ماهیت تصادفی سطح تراز آب دریاها، معمولاً شرایط محیطی دریا را بوسیله تعدادی پارامترهای معلوم مدل می‌کنند که عبارتند از ارتفاع مشخصه (H_s)، پریود پیک طیف (T)، فرم طیف دریا و جهت موج.

برای به دست آوردن نیروی ناشی از امواج وارد به بدنه یک سازه شناور سه تئوری هیدرودینامیکی، ۱- معادلات موريسون، ۲- معادلات تفرق دو بعدی (۲D Method)، ۳- معادلات تفرق سه بعدی (۳D Diffraction) قابل استفاده می‌باشد. معادله موريسون هنگامی که ابعاد المان‌های سازه در مقایسه با طول موج محیط کوچک باشند (به اصطلاح سازه‌های لاغر و نازک) و یا المان‌های با لبه‌های تیز که اثرات لزجت حائز اهمیت بوده قابل استفاده می‌باشند.

پانتونها با استفاده از تئوری تفرق المانهای دو بعدی نیز قابل تحلیل هستند، این تئوری نیازمند زمان و هزینه کمتری برای حل است. البته ذکر این نکته مهم است که تمامی این روابط با فرض دور بودن اعضا مجاور به اندازه کافی و چشم‌پوشی از اثرات اندرکنش آنها انجام شده است و هنگامی که فاصله اعضا و المان‌ها کم باشد باید مسئله را به صورت Full ۳D Diffraction (یعنی با در نظر داشتن اثرات اندرکنش اعضا) مدل‌سازی و مطالعه نمود که نرم‌افزار مورد استفاده دارای چنین قابلیت‌هایی است.

تئوری تفرق موج به صورت خطی برای حالاتی است که ارتفاع امواج محرک و دامنه تحریک سازه، هر دو کوچک باشند. نتیجه مطالعات انجام شده نشان داده است که استفاده از این روش بهترین جواب‌ها را برای پانتون‌های شناور می‌دهد. از طرفی تئوری تفرق و کار با آن، شامل نیروهای لزجت نمی‌شوند، بنابراین برای بدنه و المانهای با اقطار بزرگ‌تر از $\frac{3}{3}$ متر (بزرگ و حجیم) که نیروهای لزجت برای آنها مهم نیست قابل کاربرد هستند [۳۹]. در دامنه فرکانس زیاد (High Frequencies)، نیروهای لزجت همراه با اثرات انتشار امواج، میرایی قابل توجهی ایجاد می‌کنند ولیکن در دامنه‌های فرکانس کم (Low Frequencies) نیروهای لزجت، علاوه بر میرایی، نیروهای Drift هم تولید می‌کنند، پس در چنین حالاتی میرایی لزج (میرایی ناشی از لزجت) باید در محاسبات و تحلیل‌های فوق لحاظ گردد.

۳-۴-۱- طیف موج

در مناطق دریایی به منظور تعیین رفتار و انرژی امواج از طیف‌های موج استفاده می‌شود. برای تعیین این طیف‌ها از سه روش استفاده می‌شود، که عبارتند از طیف پیرسون موسکویچ، برت شنایدر و جان سوآپ. مهم‌ترین عامل در تعیین نوع طیف موج، موقعیت محل مورد نظر است. در شرایط آب عمیق از پیرسون موسکویچ، شرایط دریای آزاد از برت شنایدر و در حالت نزدیک ساحل از جان سوآپ استفاده می‌شود. از آنجایی که موج‌شکن‌های شناور فاصله زیادی از ساحل ندارند در بررسی رفتار این سازه‌ها نیز از طیف جان سوآپ استفاده می‌شود [۲].

۳-۵- عملگرهای پاسخ سازه^{۲۷}

طراحی بهینه هر سیستم سازه‌ای نیازمند انتخاب معیار و ملاک مناسب و منطقی می‌باشد. در تحقیق حاضر برای طراحی بهینه موج‌شکن شناور (Best Seakeeping or Stationkeeping Performance)، بهترین شرایط سازگاری با محیط به عنوان مبنا قرار داده شده است و فرم و هندسه این سازه به نحوی تغییر می‌یابد تا در نهایت بهترین سازگاری حاصل شود. در طراحی سازه‌های شناور، به دست آوردن پاسخ سازه ناشی از موج‌های وارده لازم است. پیش‌بینی پاسخ سازه شناور به علت آنالیز ساده‌تر در موج‌های منظم صورت می‌گیرد و سپس پاسخ به دست آمده به موج‌های تصادفی در دریا تبدیل می‌شود. روش‌های تئوری به دست آوردن پاسخ یک سازه دریایی، ثابت یا شناور، تحت اثر موج‌های منظم در فرکانس‌های معین در کتاب (۱۹۷۰) Chakrabarti ارائه شده است [۴۱]. برای طراحی دقیق و مناسب از مؤلفه‌های مختلف سازه شناور، پاسخ در دو شرایط موج‌های آماری کوتاه مدت و درازمدت لازم می‌باشد. پاسخ در موج‌های کوتاه مدت مبنی بر آمارگیری در طی چند ساعت و موج‌های بلندمدت آمارگیری در طول چند سال است. اگر

^{۲۷} Response Amplitude Operation

تحلیل در شرایط محیطی آمار به دست آمده در کوتاه مدت مدنظر باشد دو پارامتر اصلی، ارتفاع موج مشخصه و پریود متوسط موج دخیل هستند. برای محاسبه پاسخ از فرمول‌های ساده طیفی استفاده می‌گردد و می‌توان طیف پاسخ سازه و مقادیر حدی سیستم را در درجات آزادی مختلف به دست آورده و به عنوان معیار برای طراحی به کار برد. چنانچه نیاز به احداث یک ترمینال شناور با ابعاد بزرگ و دور از ساحل پیدا شد می‌توان از روش تحلیل طیفی بر اساس آمار حالات دریا در درازمدت استفاده نمود و با کمک آن زمان از کارافتادگی سیستم بر مبنای تحلیل‌های آماری را به دست آورد. گام اول در محاسبه آماری موج‌های کوتاه محاسبه طیف پاسخ می‌باشد که برای یک سیستم خطی این مسئله ساده است و پاسخ سازه بر حسب تابع انتقال قابل‌شناسایی است. اگر تابع پاسخ خطی برای بازه‌ای از فرکانس‌های موج با دامنه واحد در سازه شناور به دست آید تابع به دست آمده، عملگرهای دامنه پاسخ RAO یا تابع انتقال نامیده می‌شود و موج‌های موجود را به پاسخ سازه تبدیل می‌نماید [۴۰]. برای یک سیستم خطی پاسخ تابع در فرکانس‌های موج چنین است:

$$\text{Response} = (RAO)^2 \eta(t) \quad (7-3)$$

که $\eta(t)$ پروفیل موج بر حسب تابعی از زمان.

۳-۵-۱- تحلیل طیفی

کاربرد تحلیل طیفی در دینامیک کشتی‌ها و شناورها اولین بار در سال ۱۹۵۳ و توسط Denis & Pierson پایه‌ریزی گردید [۴۲]. در این‌گونه تحلیل‌ها، آمار حالات دریا بر اساس برهم نهی تصادفی تعداد بسیاری از امواج هارمونیک با دامنه‌ها و فرکانس‌های متفاوت تهیه می‌شوند.

هر کدام از مؤلفه‌های موج ورودی (i) دارای مقداری انرژی متناسب با توان دوم دامنه همان مؤلفه موج

(ζ_{ai}) می‌باشد. یعنی:

$$S_{\xi}(\omega_i)d\omega = \frac{1}{2}\zeta_{ai}^2 \quad (۸-۳)$$

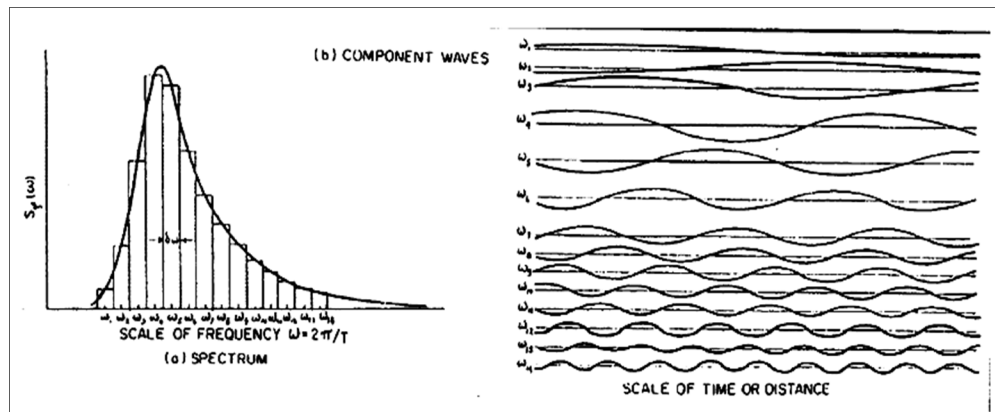
چگالی طیفی S_{ξ} نشانگر توزیع انرژی به صورت تابعی از فرکانس " ω " است. با گرفتن انتگرال از S_{ξ} مقدار ممان مرتبه صفر طیف امواج دریا ($m_{0\xi}$) به صورت زیر خواهد بود:

$$m_{0\xi} = \int_0^{\infty} S_{\xi}(\omega)d\omega \quad (۹-۳)$$

مقدار $m_{0\xi}$ برابر انرژی کل طیف و برابر با واریانس (σ_{ξ}^2) آمار امواج موجود است. مدل‌های ریاضی مختلفی برای بیان طیف انرژی موج به صورت استاندارد و آزمایش‌شده ارائه شده‌اند، در تحقیق حاضر از طیف جان سوآپ استفاده شده است که در آن دو پارامتر ارتفاع مشخصه موج (H_s) و پریود متوسط (T)، شکل طیف را کنترل می‌کنند. ارتفاع موج مشخصه به صورت متوسط $1/3$ بلندترین امواج در توزیع صعودی آن‌ها بوده و در رابطه با چگالی طیف انرژی به صورت زیر خواهد بود:

$$H_s = 4\sqrt{m_{0\xi}} \quad (۱۰-۳)$$

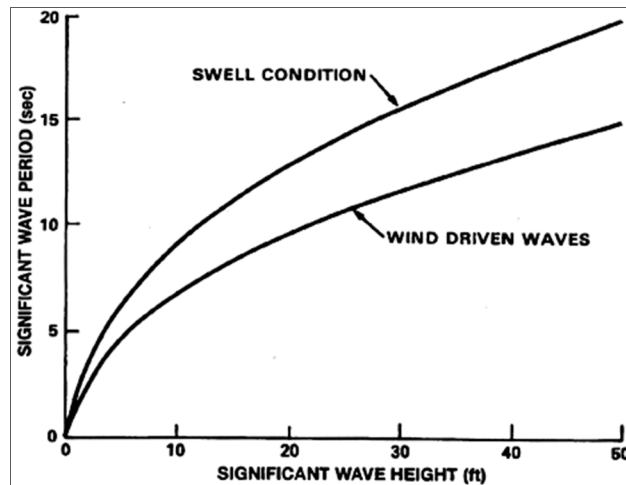
در شکل (۲-۳) منحنی تراز سطح آب بر حسب زمان نشان داده شده است.



شکل (۲-۳) منحنی نمونه تراز سطح آب بر حسب زمان

هنگامی که به دلیل کمبود اطلاعات و آمار یا در دسترس نبودن آن‌ها، یکی از مقادیر H و T غایب باشد،

می‌توان از منحنی شکل (۳-۳) برای تخمین مقدار T و H از روی دیگری استفاده کرد [۴۳].



شکل (۳-۳) منحنی رابطه تقریبی ارتفاع و پریود موج

در برابر طیف امواج دریا $S_{\zeta}(\omega)$ ، مفهومی به نام طیف پاسخ سازه $S_z(\omega)$ وجود دارد که نشانگر توزیع انرژی سیگنال‌های خروجی (پاسخ‌های سازه) می‌باشد. این طیف از ضرب طیف امواج طراحی در توان دوم تابع انتقال RAO به دست خواهد آمد:

$$S_z(\omega) = RAO^2 \cdot S_{\zeta}(\omega) \quad (۱۱-۳)$$

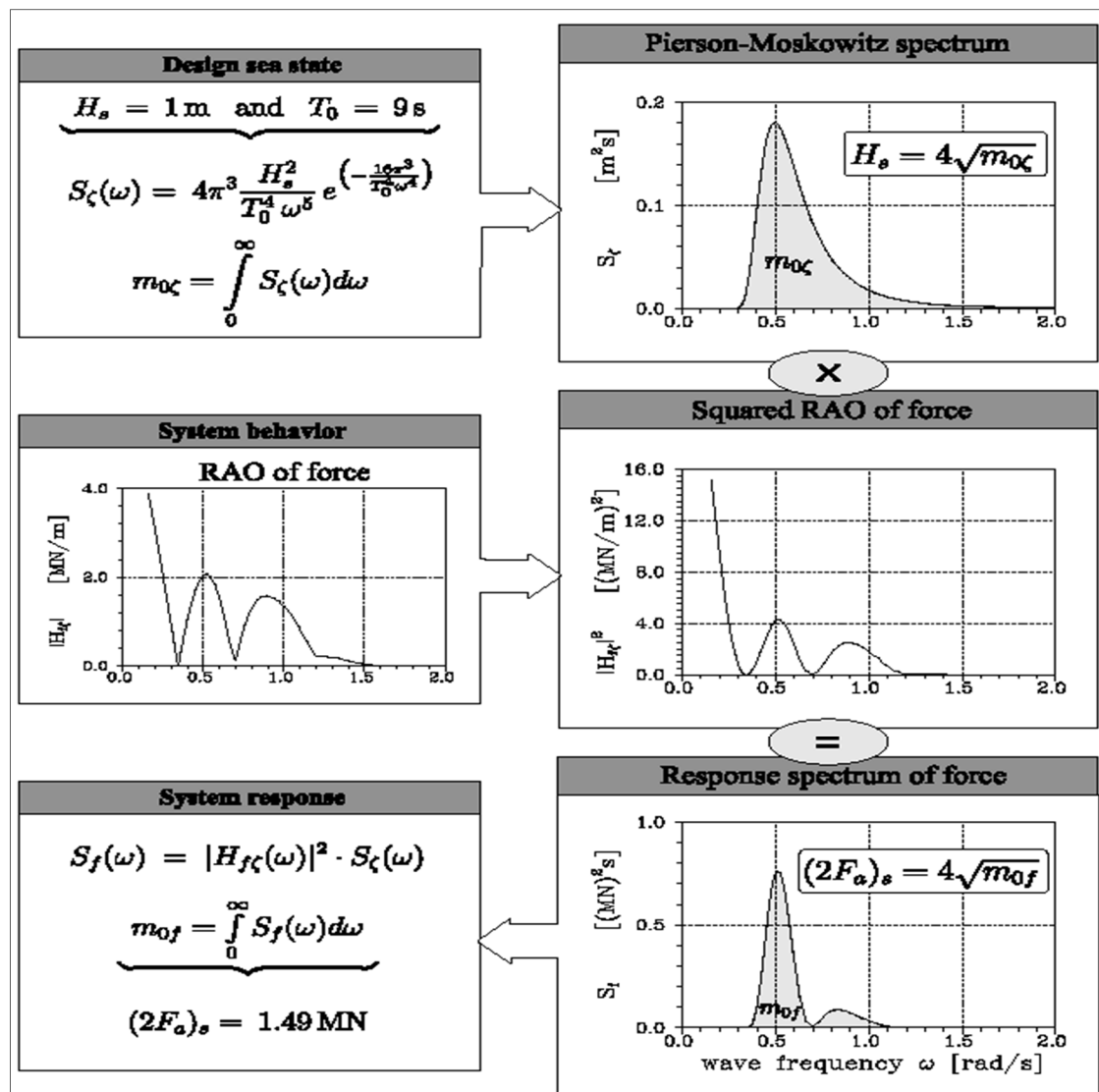
مشابه رابطه ارائه شده برای H_s (دامنه امواج برخوردی) در رابطه با طیف امواج، مفهوم دامنه پاسخ سازه

در رابطه با طیف پاسخ $((2S_a)_z)$ به صورت زیر خواهد بود:

$$(2S_a)_z = 4 \sqrt{\int_0^{\infty} S_z(\omega) d\omega} = 4 \sqrt{m_{0z}} \quad (۱۲-۳)$$

که m_{0z} ممان مرتبه صفرم طیف پاسخ سازه است (مانند مفهوم $m_{0\zeta}$ در طیف امواج برخوردی).

مراحل مختلف محاسبه طیف امواج، تابع انتقال سازه از روی محاسبات هیدرودینامیکی و در نهایت محاسبه طیف پاسخ سازه از روی RAO در شکل (۳-۴) به صورت نمادین آورده شده است، در این مثال هدف به دست آوردن طیف پاسخ نیروی سازه و مقدار دامنه حداکثر آن می‌باشد.



شکل (۳-۴) مراحل انجام یک تحلیل طیفی ساده برای به دست آوردن پاسخ سیستم

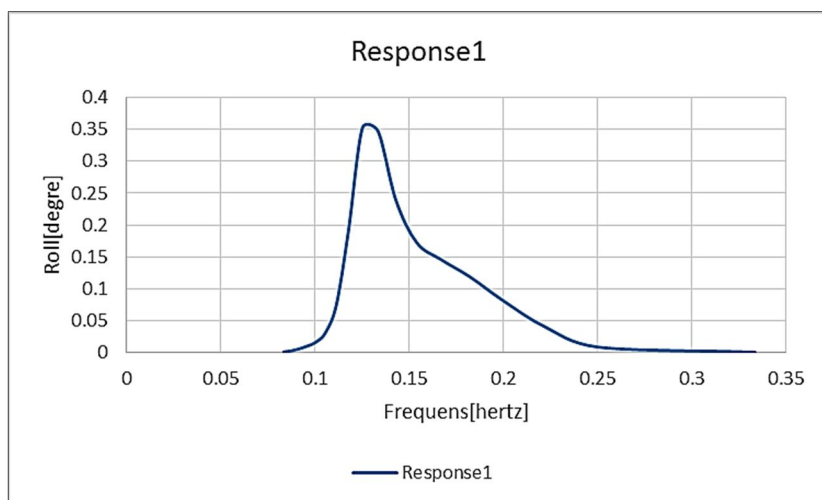
به منظور بررسی صحت پاسخ‌های به دست آمده از نرم‌افزار MOSES، فرایند تحلیل طیفی فوق برای مدل‌های موج‌شکن شناور مورد بررسی در این تحقیق اجرا گردید و نتایج با پاسخ‌های خروجی از نرم‌افزار مقایسه شده است. این مقایسه نشان می‌دهد که بین مقادیر حرکت به دست آمده از روش تحلیل طیفی و

نرم افزار، خطای بسیار کمی وجود دارد، که این خطا هم به دلیل تخمین موجود در محاسبه سطح زیر نمودار در نرم افزار Excel خواهد بود. در ادامه تحلیل طیفی مدل WYD۱/۶S۱h۱/۲^{۲۸} به عنوان نمونه بیان شده و مقدار خطای آن با مقادیر خروجی نرم افزار مقایسه شده است.

جدول (۱-۳) پاسخ مدل WYD۱/۶S۱h۱/۲ در پریود ۱ تا ۱۲ و فرکانس های متناظر

پاسخ Roll (درجه)	فرکانس (هرتز)	پریود (ثانیه)
۰/۰۰۰۵۲۲۵۰۸	۰/۰۸۳۳۳۳	۱۲
۰/۰۰۲۱۰۴۹۹۲	۰/۰۸۶۹۵۷	۱۱/۵
۰/۰۰۴۸۳۷۴۶۳	۰/۰۹۰۹۰۹	۱۱
۰/۰۰۹۱۶۴۹۳۱	۰/۰۹۵۲۳۸	۱۰/۵
۰/۰۱۵۴۲۶۶۰۴	۰/۱	۱۰
۰/۰۲۹۹۴۵۸۴	۰/۱۰۵۲۶۳	۹/۵
۰/۰۷۲۹۰۵۷۰۶	۰/۱۱۱۱۱۱	۹
۰/۱۹۰۹۳۱۹۵۳	۰/۱۱۷۶۴۷	۸/۵
۰/۳۵۲۲۴۰۲۲۹	۰/۱۲۵	۸
۰/۳۴۷۳۱۸۹۹۲	۰/۱۳۳۳۳۳	۷/۵
۰/۲۳۸۶۹۲۹۶۳	۰/۱۴۲۸۵۷	۷
۰/۱۷۲۳۲۶۰۶۷	۰/۱۵۳۸۴۶	۶/۵
۰/۱۴۵۷۵۴۰۱۴	۰/۱۶۶۶۶۷	۶
۰/۱۱۹۰۷۱۹۵۷	۰/۱۸۱۸۱۸	۵/۵
۰/۰۸۰۵۲۸۷۶۳	۰/۲	۵
۰/۰۳۹۵۰۵۹۸۱	۰/۲۲۲۲۲۲	۴/۵
۰/۰۰۸۲۰۵۵۶	۰/۲۵	۴
۱/۰۰۲۹*۱۰ ^{-۷}	۰/۳۳۳۳۳۳	۳

^{۲۸} اشاره دارد به مدل با عرض ۷ متر، آبخور ۱/۶ متر، ارتفاع تیغه عمودی ۱ متر و عرض تیغه میراگر (افقی) ۱/۲ متر.



شکل (۳-۵) نمودار پاسخ حرکت Roll در تحلیل طیفی

بر اساس روابط (۳-۱۰) تا (۳-۱۲) خواهیم داشت:

$$m_{0z} = 0.01955$$

$$\sqrt{m_{0z}} = 0.0139$$

$$((2S_a)_z) = 4 * (0.0139) = 0.056$$

با مقایسه میان عدد به دست آمده برای پاسخ سازه از روش تحلیل طیفی و مقدار متناظر به دست آمده از نرم افزار MOSES، که برابر با ۰/۵۲ است، مشاهده می شود که اختلاف بین نتایج عددی و تحلیل طیفی ۰/۰۷ بوده که این مقدار اختلاف نیز در مطالعات عددی طبیعی است.

فصل چهارم:

مدل سازی عددی و صحت سنجی

نرم افزار

۴-۱- مقدمه

نرم افزار MOSES (Multi-operational Structural Engineering Simulator) به عنوان یک برنامه تحلیل همه جانبه برای هر نوع سازه ای که در فضای آب و میدان سیال قرار گیرد (به صورت سطحی، شناور، نیمه شناور، مغروق و ...) کارایی فوق العاده مفیدی دارد. از مزایای این برنامه تهیه فایل مدل و فایل دستورات به صورت Text می باشد، ولیکن مزیت استفاده از نوشتار برای طراحان خبره در تهیه فایل مدل و دستورات به صورت Text مشهود و معروف است. استفاده از هر تئوری دلخواه هیدرودینامیکی از قبیل تفرق دو بعدی، سه بعدی و ... و استفاده از برنامه برای اهداف مختلف از قبیل به دست آوردن نیروها، حرکات، تنش ها و طراحی جزئی سازه ای (Detail Design) ممکن است. البته بسته به نگارش مورد استفاده این امکانات متغیر هستند [۴۴].

۴-۲- مراحل حل مسئله

در این بخش، روند خلاصه و عمومی مراحل تحلیل در MOSES ارائه خواهد شد.

۱. کار با ساختن مدل هندسی از موج شکن شناور با درجه دقت لازم آغاز می شود، روند کار به صورت تعریف مقاطع متوالی در طول المان ها و شکل گیری المان ها به صورت جداگانه، عملیات انتقال و سپس اتصال (Paneling and Mmeshing) می باشد. بدین ترتیب شکل عمومی شبکه بندی بدنه شناور ساخته شده و سپس مشخصات فیزیکی نظیر خصوصیات توزیع جرم (مرکز ثقل، بارهای موضعی و ...)، مشخصات مصالح کاربردی، مشخصات سیال و ... به فایل مدل و تحلیل اضافه می شوند. در صورت لزوم مهاربندها و سیستم مهاري هم تعريف می گردد و در انتها سازه آماده و با دستورات لازم (Instate)، در محیط دریا با آب خور معلوم در حالت تعادل قرار می گیرد و شرایط برای انجام تحلیل هیدرواستاتیکی مهیا می گردد.

۲. با استفاده از مدل هندسی و شرایط محیطی، میدان سیال (جریان و موج) در اطراف موج‌شکن شناور شکل گرفته و میدان فشار و توزیع فشار روی بدنه به وسیله فرمول ساده خطی شده برنولی به صورت زیر به دست می‌آید:

$$P = -\rho \left(gz + \frac{\delta\phi}{\delta t} \right) \quad (۱-۴)$$

ρ = چگالی سیال, g = شتاب ثقل, Z = عمق, ϕ = پتانسیل سرعت

با گرفتن انتگرال سطح از توزیع فشار اطراف موج‌شکن شناور (تئوری تفرق) نیروهای هیدرودینامیکی روی بدنه سازه به دست خواهند آمد (Hydrodynamic Menue). در این قسمت برنامه تمامی ضرایب هیدرودینامیکی مانند جرم اضافی، ماتریس میرایی و دیگر مشخصات هیدرودینامیکی را بدست آورده و ذخیره می‌سازد (به صورت Text و قابل مشاهده).

۳. با توجه به نیروهای به دست آمده و مشخصات سازه، پاسخ سازه به صورت $RAO^{۲۹}$ با کاربرد معادلات حرکت سازه با شناوری آزاد (بدون قید در محیط و با حرکت آزاد) استخراج می‌شود:

$$\sum_{k=1}^6 \left[(M_{jk} + A_{jk}) \ddot{\eta}_k + B_{jk} \dot{\eta}_k + C_{jk} \eta_k \right] = F_j(k)$$

M_{jk} : جرم بدنه سکو

C_{jk} : ضریب فنریت

A_{jk} : جرم هیدرودینامیکی (جرم اضافه)

η : میزان حرکت و جابجایی بدنه

F_{je} : نیروی محرک هیدرودینامیکی

$$S_s(w) = |RAO(w)|^2 * S_A(w)$$

$S_s(w)$: طیف پاسخ سکو

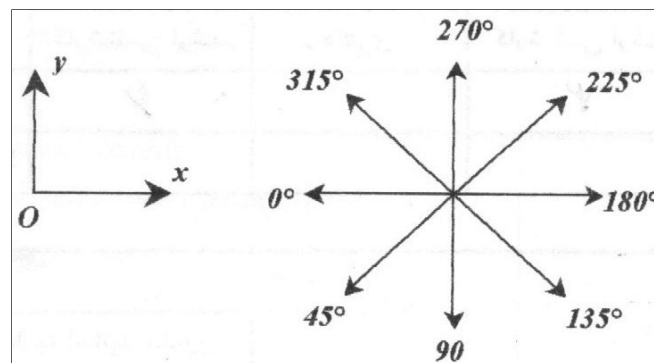
$S_A(w)$: طیف موج محل

^{۲۹} Response Amplitude Operation

۴. مرحله بعد، انجام تحلیل‌های هیدرودینامیکی در حوزه فرکانس به منظور به دست آوردن مقدار حرکات سازه است. در برنامه MOSES علاوه بر امواج، باد و جریان را نیز می‌توان با تعیین خصوصیات محلی باد و جریان و تعیین جهت و سرعت هر کدام، در نظر گرفت. به عنوان مثال با دادن مدل طیف باد و جریان به جسم شناور می‌توان اثرات آن‌ها را نیز در نظر گرفت.

۵. طیف‌های ISSC و JONSWAP به صورت پیش‌فرض در MOSES حضور دارند و می‌توان با تغییر و ترکیب ضرایب این دو طیف، سایر طیف‌های استاندارد دیگر مانند P.M و ... را نیز ساخته و بکار می‌برد. تعریف طیف به فرم کامل آن یعنی طیف جهت‌دار نیز ممکن است.

جهت‌های محیطی در MOSES به صورت شکل (۴-۱) تعریف می‌شوند:



شکل (۴-۱) جهت موج‌های برخوردی در MOSES

در MOSES هر بدنه دارای سیستم مختصات جداگانه مربوط به خود است (سیستم مختصات Local) و از آنجایی که برنامه قادر به حرکت بدنه‌ها در فضا است یک سیستم کلی ثابت (Global) نیز در نظر گرفته شده که محل اصلی هر سازه در این سیستم تعریف می‌گردد.

۴-۳- مدل سازی پانتونها

بعد از آشنایی کلی با مراحل تحلیل در این نرم افزار مروری بر پارامترهای استفاده شده می گردد. MOSES برنامه ای است که تفرق و انتشار موج در آن مبنی بر تئوری پتانسیل خطی مدل می گردد. برای مدل سازی باید دقت کرد که بدنه پانتون به مقدار منطقی و مناسب شبکه بندی شود. بکارگیری شبکه خیلی ریز باعث صرف زمان و اشغال حافظه خیلی زیاد و شبکه خیلی درشت باعث عدم دقت و صحت جواب ها و نتایج می شود (تحلیل های هیدرودینامیکی شامل محاسبه فشار، نیروها و ضرایب و ... برای هر پانل یا شبکه به صورت جداگانه، بنا بر موقعیت و مشخصات آن انجام می گردد). البته تاکید بر شبکه بندی درشت تر، خاص تحلیل در حوزه فرکانس است که در آن برای طیف وسیعی از فرکانس ها محاسبات تکرار می شود. با کمک این برنامه اثر تقابل بین موج های سطحی با سازه شناور به دست می آید و استخراج نیروهای ناشی از موج و پاسخ حرکات سازه شناور مهار شده و مهار نشده در موج های منظم و نامنظم ممکن است. برنامه برای هر دو شرایط آب های کم عمق و عمیق قابل کاربرد است. با استفاده از آن می توان یک سازه نزدیک ساحل را مدل نمود و امکان مدل کردن بدنه های زیر در آن وجود دارد:

- مدل تک بدنه ای (مثل بارج و یا یک پانتون)

- مدل چند بدنه ای با اتصالات لازم

هر دو مدل نیاز به پارامترهای ورودی مشابهی دارند و نوع خروجی آن ها نیز مشابه است. با این تفاوت که

مدل چند بدنه ای نیاز به داده های بیشتری برای ساخت مدل و اتصالات دارد.

پارامترهای مانند تعریف هندسه سازه در مختصات قطبی و کارتزین و تعریف بدنه، پانل بندی هندسه

بدنه و استفاده از شبکه ها (Compartement)، مقدار وزنی سازه و موقعیت مرکز ثقل آن، تعیین عمق آب و

آب خور سازه، ارتفاع و زاویه و فرکانس موج برخوردی، تعیین نقاط مرجع (نقاطی که داده های خروجی حرکات

و نیروهای آن‌ها مورد نیاز است) و نوع اتصالات و محل آن‌ها در MOSES قابل تعریف است. برخی از خروجی‌های قابل محاسبه در MOSES عبارتند از [۴۴]:

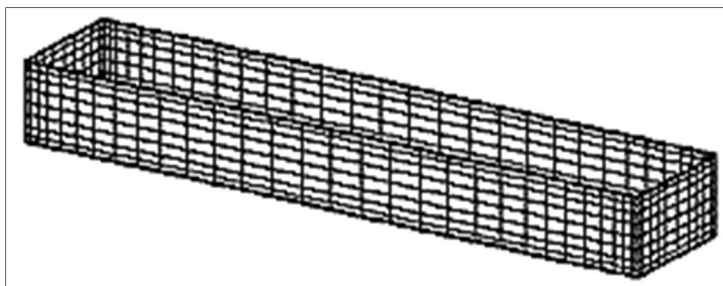
- ضرایب جرم اضافی و ضرایب میرایی در هر شش درجه آزادی
- دامنه پاسخ و فازهای حرکات در هر شش درجه آزادی، برای فرکانس‌ها و جهات مختلف موج
- دامنه نیروهای موج وارده بر بدنه در هر شش درجه آزادی
- دامنه نیروهای موجود ناشی از موج در هر اتصال در هر شش درجه آزادی
- ماکزیمم دامنه پاسخ سازه (حرکات، شتاب‌ها، سرعت) برای نقاط مرجع در هر شش درجه آزادی
- دامنه و فازهای حرکات نسبی دو نقطه
- داده‌های پانل شامل مساحت، فشار هیدرودینامیکی روی آن.
- تراز سطح آب

۴-۴- صحت‌سنجی نرم‌افزار

برای اطمینان و صحت‌سنجی استفاده از نرم‌افزار و کار با دستورات آن می‌توان ابتدا پانتون مستطیلی که توسط نرم‌افزار MOSES ۷,۰۵,۰۴۲ [۴۴] و Wamit ۵,۴ [۴۵] مدل شده و نتایج لازم آن (ضرایب جرم اضافی، ضرایب میرایی، نیروهای وارد به بدنه را تحت نیروهای موج و عملگرهای پاسخ سازه RAO) در دسترس است را مدل‌سازی نموده و نتایج به دست آمده از این مدل‌سازی در نرم‌افزار MOSES ۷,۰۱,۰۳۷ را با نتایج ارائه‌شده مقایسه نمود و بعد از اطمینان خاطر مراحل بعدی را پیش برد. در نرم‌افزار موجود پانتونی با مشخصات ارائه‌شده در جدول (۴-۱) مدل شده است که تصویر آن در شکل (۴-۲) مشاهده می‌گردد.

جدول (۴-۱) خصوصیات و تعداد پانل‌های تست مدل [۴۶]

تعداد پانل	مرکز ثقل	جرم (متریک تن)	آبخور (متر)	عرض (متر)	طول (متر)	نوع مدل
۱۲۶۴	۲۸/۰	۲۲۹/۶۴۵	۲۸/۰	۴۰/۰	۲۰۰/۰	Box



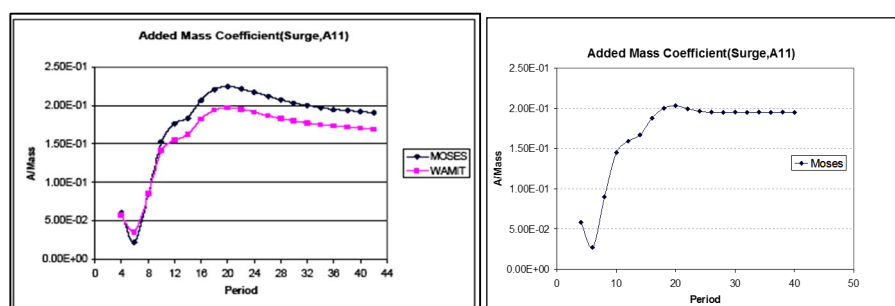
شکل (۲-۴) پانل بندی پانتون تست مدل

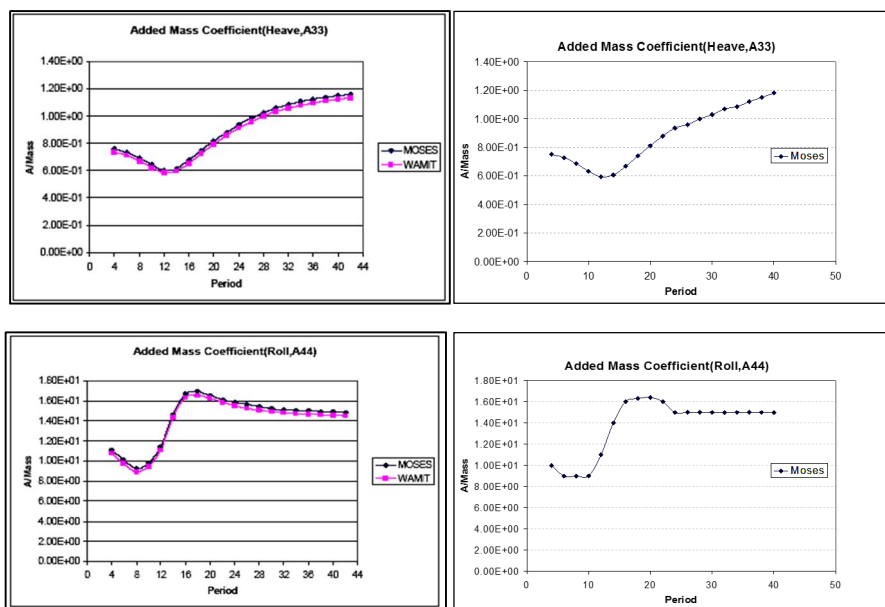
برای محاسبه، پریودهای موج ۴۲-۴ ثانیه (۲۰ پریود با گام‌های افزایشی ۲) و زاویه موج برخوردی ۴۵ درجه در نظر گرفته شده است. خروجی‌های به دست آمده توسط پارامترهای ارائه شده در جدول (۲-۴) خطی سازی شده‌اند.

جدول (۲-۴) پارامترهای خطی سازی [۴۶]

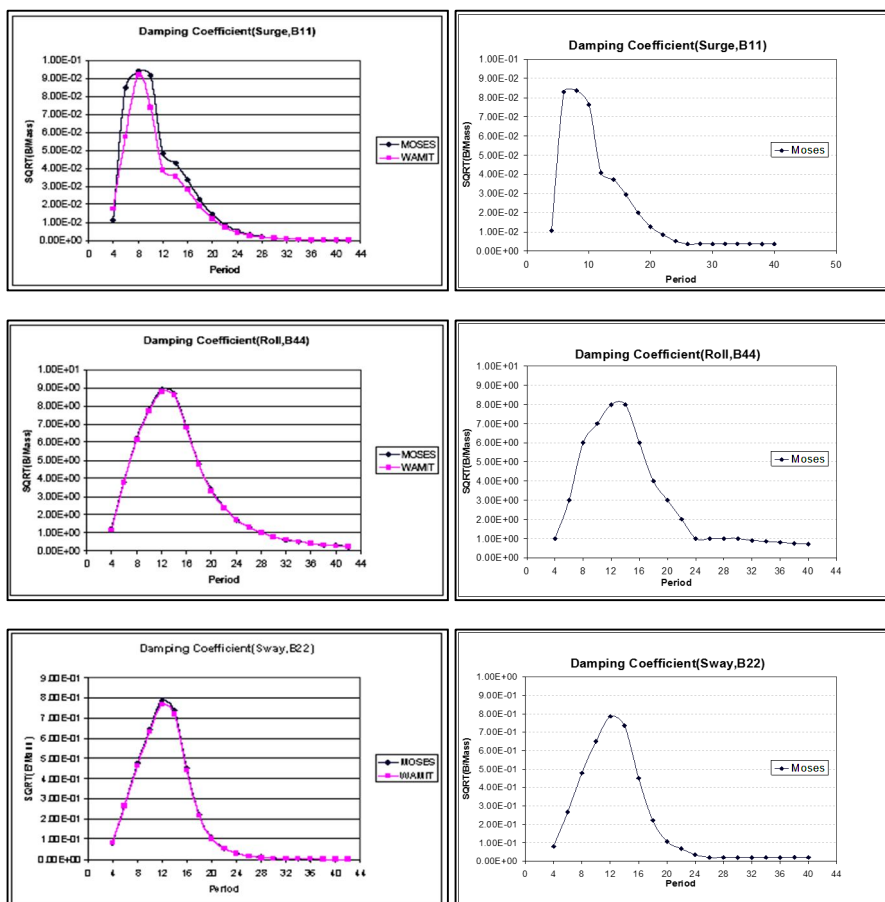
متغیرهای خطی شده	واحد	مؤلفه‌های به دست آمده
A_{ij}/Mass	Mass	ضرایب جرم اضافی
$\text{SQRT}(B_{ij}/\text{Mass})$	Mass/Time	ضرایب میرایی
Tons/A	Tons	نیروهای موجود موج
Tons*Meter/A	Tons*Meter	ممان‌های موجود موج
Meter/A	Meter	RAO حرکات خطی
Degree/A	Degree	RAO حرکات خطی

بعد از مدل نمودن سازه، از میان کل نتایج تعدادی از آن‌ها برای مقایسه در نمودارهای شکل (۳-۴) تا (۴-۴) ارائه شده است. منحنی‌های سمت راست مدل سازی پانتون توسط نرم افزار ۷,۰۱,۰۳۷ MOSES است و منحنی‌های سمت چپ مدل سازی در Wamit و ۵,۰۹,۰۲۷ MOSES است.

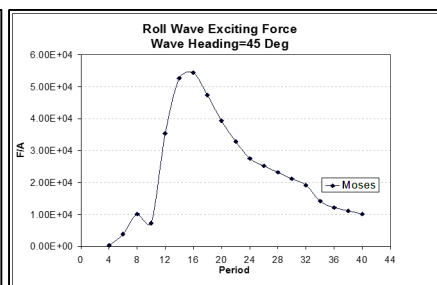
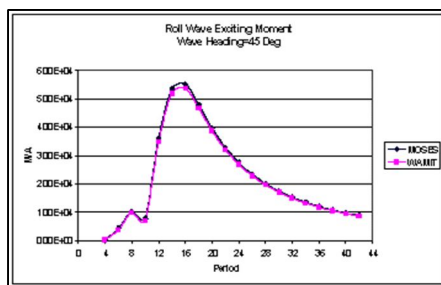
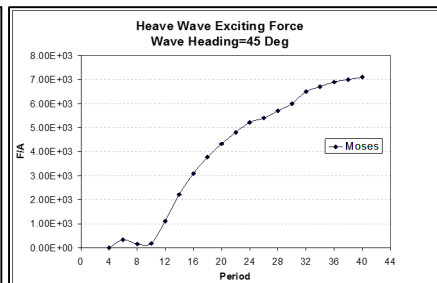
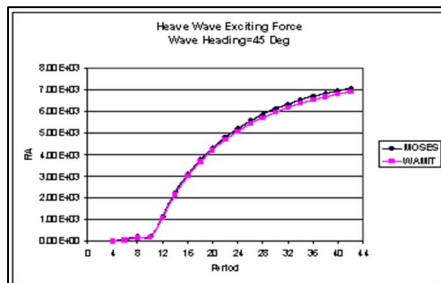
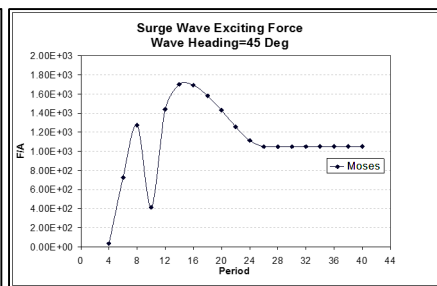
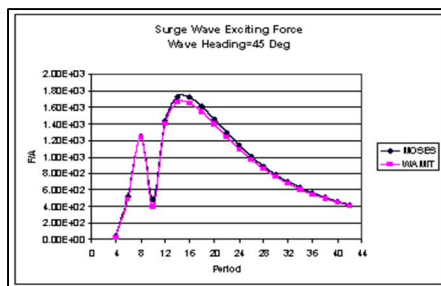




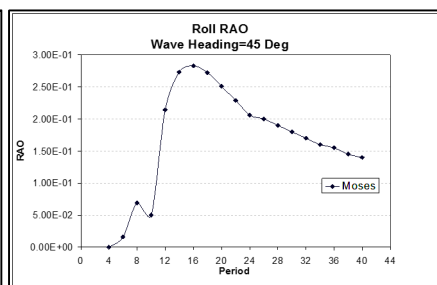
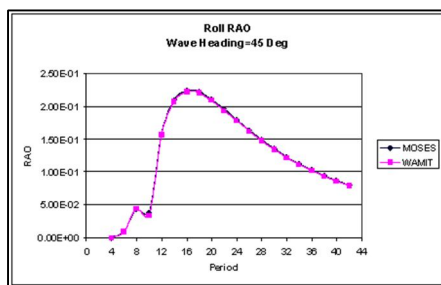
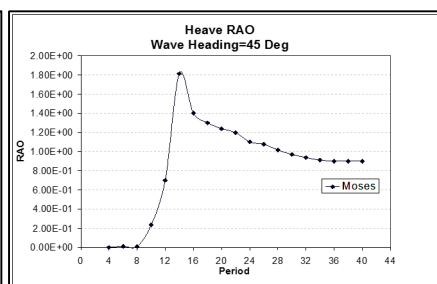
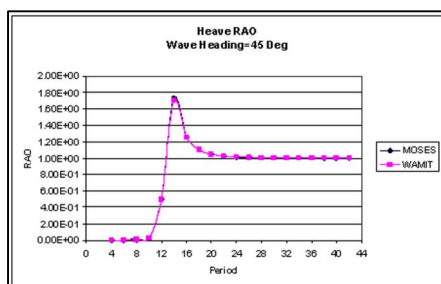
شکل (۴-۳) ضرایب جرم اضافی در تست مدل [۴۶]

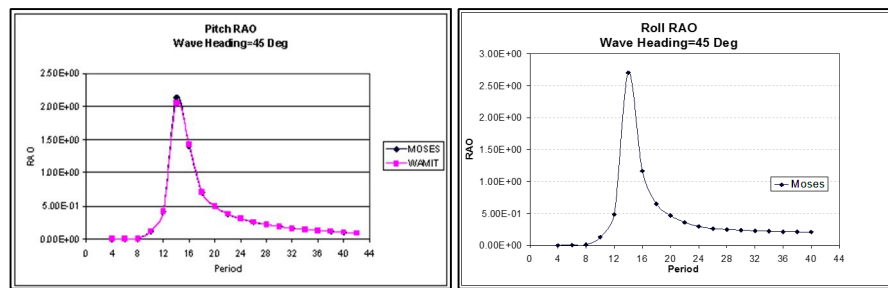


شکل (۴-۴) ضرایب میرایی در تست مدل [۴۶]



شکل (۴-۵) نیروهای موج موجود در تست مدل [۴۶]





شکل (۴-۶) عملگرهای پاسخ RAO در تست مدل

از منحنی‌های ارائه شده در بالا این نکته قابل توجه است که تا حد قابل قبولی نمودارها باهم منطبق هستند ولی اختلاف حدود ۱-۲ درصد در مقادیر پیک وجود دارد. با توجه به اینکه مقدار نسبت میرایی در این آنالیز داده نشده و با پیش فرض موجود در نرم افزار این تحلیل‌ها انجام شده است، مقدار اختلافی که در مقادیر وجود دارد ممکن است ناشی از نسبت میرایی باشد.

فصل پنجم:

بررسی رفتار هیدرودینامیکی موج شکن های

شناور پانتونی تحت پارامترهای مختلف و

ارائه مدل بهینه

۵-۱- مقدمه

پس از اطمینان از عملکرد مناسب نرم افزار انتخاب شده جهت شبیه سازی موج شکن شناور، در ادامه به بررسی تأثیر پارامترهای سازه ای و پارامترهای هیدرودینامیکی بر عملکرد موج شکن شناور پرداخته شده است. ابتدا متغیرهای در نظر گرفته شده به صورت مختصر معرفی می گردند.

۵-۲- متغیرهای مورد بررسی

پارامترهای موثر بر عملکرد موج شکن های شناور را می توان به دو دسته پارامترهای هیدرودینامیکی و سازه ای تقسیم بندی نمود.

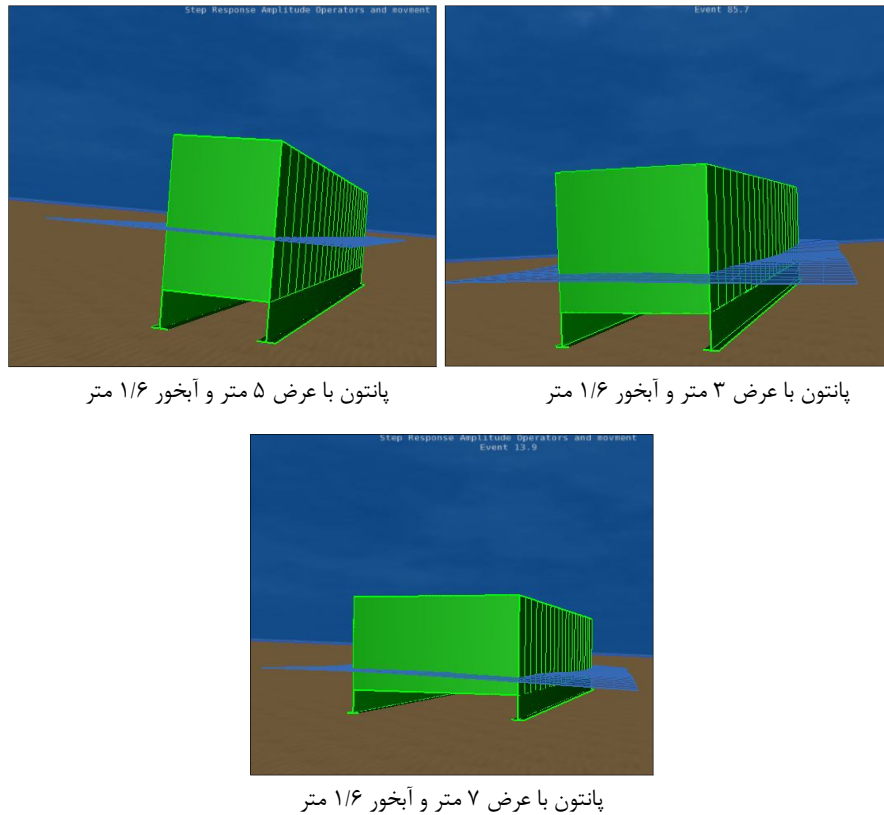
۵-۲-۱- پارامترهای سازه ای

از مهم ترین پارامترهای سازه ای که می توانند بر عملکرد موج شکن شناور تأثیر بگذارند، می توان به شکل کلی موج شکن شناور، طول پانتون، عرض پانتون، عمق آبخور پانتون، فاصله بین پانتون ها (در موج شکن شناور دوبل)، سیستم مهاربندی و ... اشاره نمود. در پایان نامه حاضر پارامترهای سازه ای عرض پانتون، عمق آبخور و ارتفاع تیغه عمودی در نظر گرفته شده است. همچنین به منظور کاهش حرکت موج شکن شناور در اثر گردابه های موج بوجود آمده در اطراف تیغه عمودی، افزودن تیغه های افقی با ضخامت کم در انتهای این تیغه های عمودی به عنوان یک ایده جدید در دستور کار قرار گرفته است. پارامترهای سازه ای مورد بررسی به صورت زیر معرفی می شوند.

۵-۲-۱-۱- عرض پانتون

در پایان نامه حاضر عملکرد موج شکن شناور π شکل مجهز به تیغه های میراگر با سه عرض مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. ملاک انتخاب ابعاد برای مدل های ساخته شده چیزی در محدوده ابعاد موجود در شناورهای معمول است تا سازه مورد نظر کاربردی بوده و تنها یک سازه تئوریک نباشد. به این سبب از ابعاد

تولیدی توسط یکی از شرکت‌های ساخت پانتون بتنی استفاده شده است [۴۷]. تمامی مدل‌ها دارای طول ثابت ۲۰ متر و ارتفاع ثابت ۴ متر خواهند بود و محاسبات در عمق ۱۰ متری دریا صورت گرفته است. در شکل (۵-۱)، ۳ پانتون مدل طراحی شده در محیط نرم‌افزار MOSES نشان داده شده است.



شکل (۵-۱) ابعاد پانتون برای بررسی عملکرد موج‌شکن شناور

۵-۲-۱-۲- سیستم مهاربندی موج‌شکن شناور

در طراحی موج‌شکن‌های شناور بایستی همواره مد نظر داشت که حرکات پانتون موج‌شکن شناور می‌تواند مانند یک موج ساز عمل نموده و هر چه این حرکات بیشتر باشد آرامش بندر با تهدید بیشتری مواجه خواهد شد. بنابراین مهارهای موج‌شکن شناور بایستی به گونه‌ای طراحی گردند که حرکات موج‌شکن شناور به حداقل و در نتیجه کارایی آن به بیش‌ترین مقدار خود برسد. در کل مقدار ضریب عبور موج بستگی چندانی به الگوی مهار ندارد اما آزمایش‌ها نشان می‌دهد که ضریب عبور در مهار ضربدری بیشتر است و در صورت

بکارگیری مهاربندی ضربدری پاسخ سیستم برای فرکانس‌های نزدیک به فرکانس طبیعی سازه نسبت به دو الگوی دیگر بیشتر خواهد بود، بنابراین این نوع مهار توصیه نمی‌شود [۲۱]. با توجه به مطالعات عددی و آزمایشگاهی در سال‌های اخیر، لزوم بررسی عملکرد موج‌شکن شناور با مهارهای خطی بیشتر احساس می‌شود. همچنین مطالعات عددی نشان می‌دهد بهترین عملکرد موج‌شکن شناور پانتونی در حالتی است که زاویه مهاربندی ۳۰ درجه باشد [۴۸]. در این پایان‌نامه به منظور مطلوب بودن عملکرد سازه از مهاربند خطی با زاویه ۳۰ درجه نسبت به افق استفاده شده است. مشخصات مهاربند مورد استفاده نیز بر اساس روابط ارائه‌شده توسط Faltinen به شرح شکل (۵-۲) تعیین شده است [۴۹].

Wire Rope		
		
Spiral strand	Six strand rope	Multi-strand
Weight and Stiffness:		
Construction	Submerged weight/length, w	Stiffness/length, AE
Six strand (IWRC)	$0.034d^2 \text{ N (d in mm)}$	$45000d^2 \text{ N (d in mm)}$
Spiral strand	$0.043d^2 \text{ N (d in mm)}$	$90000d^2 \text{ N (d in mm)}$
Breaking Strength:		
Construction	Ultimate Tensile Stress (N/mm ²)	Breaking Strength (N)
Six strand (IWRC)	1770	$525d^2 \text{ (d in mm)}$
Six strand (IWRC)	1860	$600d^2 \text{ (d in mm)}$
Spiral strand	1570	$900d^2 \text{ (d in mm)}$

شکل (۵-۲) روابط مهاربندی پیشنهادی توسط Faltinsen

بر این اساس، مهار سیمی از نوع رشته مارپیچی^{۳۰} با قطر ۱۵ میلی متر، وزن در واحد طول برابر با ۰/۰۰۹۷ تن بر متر و مقاومت گسیختگی ۲۰۲/۵ تن انتخاب شد. سایر پارامترهای سازه‌ای مورد استفاده در قالب جدول (۵-۱) بیان شده است.

^{۳۰} Spiral strand

جدول (۵-۱) پارامترهای سازه ای در مدل سازی

پارامتر مورد بررسی	محدوده تغییر
عمق آبخور	۱/۶، ۲، ۲/۵
ارتفاع تیغه عمودی	۱، ۲، ۴
عرض تیغه میراگر	۰/۵، ۰/۹، ۱/۲

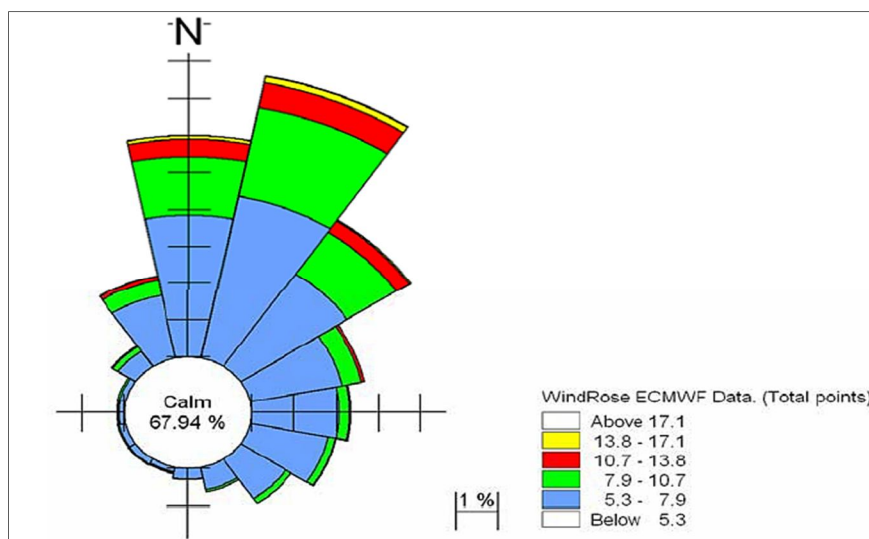
۵-۲-۲- پارامترهای هیدرودینامیکی

۵-۲-۲-۱- زاویه موج برخوردی

از مهم ترین پارامترهای هیدرودینامیکی که بر عملکرد موج شکن شناور موثر است، می توان به زاویه موج برخوردی اشاره کرد. در این پایان نامه به منظور بررسی اثر زاویه موج برخوردی دو زاویه ۴۵ و ۹۰ درجه در نظر گرفته شده است.

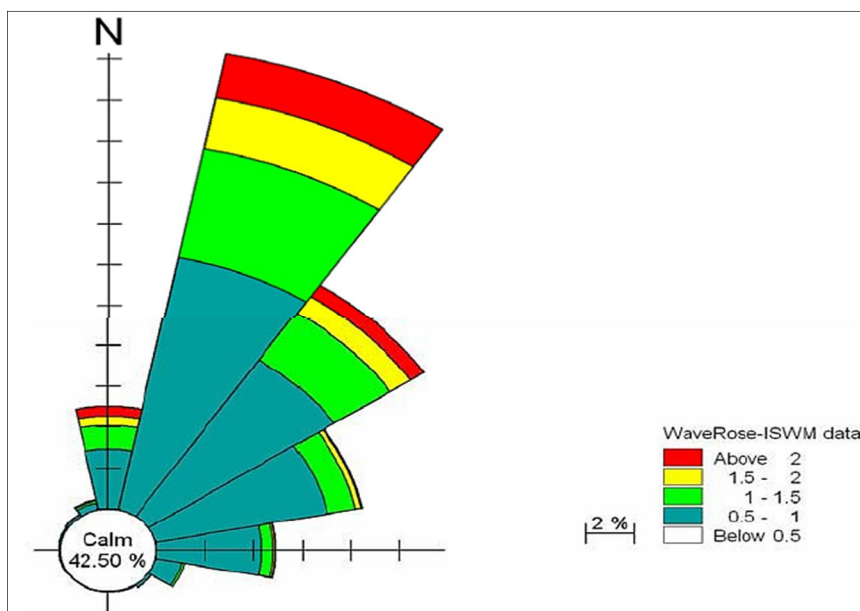
۵-۲-۲-۲- مشخصات موج برخوردی

به منظور افزایش جنبه کاربردی مدل طراحی، مشخصات امواج ارائه شده در گزارش هیدرودینامیک پروژه طرح توسعه بخش دریایی بندر انزلی از سازمان بنادر و کشتی رانی اخذ گردیده و مورد استفاده قرار گرفته است. برای شناخت وضعیت میدان باد در نواحی دور از ساحل آمار باد محاسبه شده توسط مدل هواشناسی ECMWF، مناسب ترین مرجع آماری در محدوده طرح می باشد. بر این اساس و با توجه به شکل (۵-۳)، جهت باد غالب در آب های دور از ساحل، شمال شرق (۲۲/۵ درجه) و با سرعت ۸ متر بر ثانیه است.



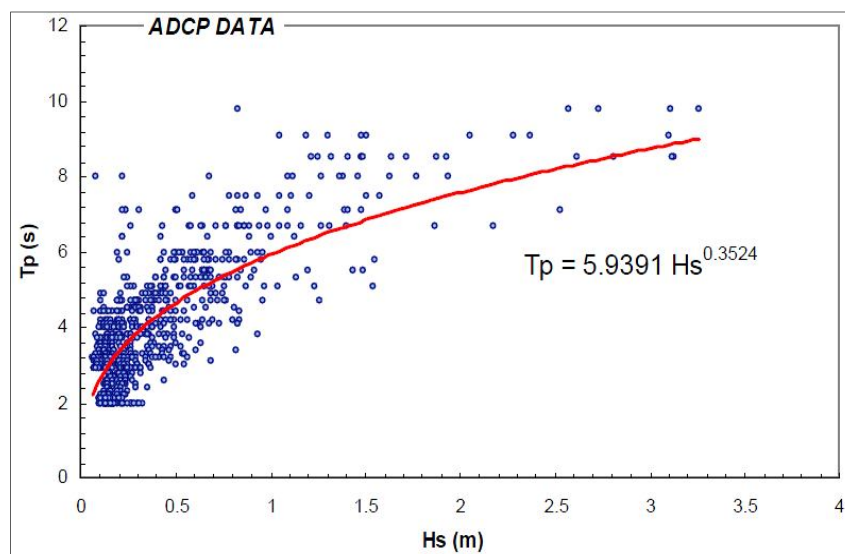
شکل (۳-۵) گل باد محدوده طرح بر اساس میدان باد ECMWF

با توجه به مزایا و معایب نسبی مجموعه‌های آماری مختلف، آمار موج ISWM مبنای مطالعات تعیین گردید (شکل (۴-۵)). بر اساس این داده‌ها، موج غالب در محدوده طرح با ارتفاع ۱ متر و در جهت شمال شرق (۲۲/۵ درجه) می‌باشد.



شکل (۴-۵) گل موج آب‌های دوردست محدوده بندرانزلی بر اساس نتایج ISWM

برای دستیابی به مقدار پریود متناظر با هر ارتفاع موج، بایستی روند مناسبی اتخاذ گردد. برای تعیین پریود امواج طراحی مناسب‌ترین رابطه توانی $T_p = aH_s^b$ برازش داده‌شده بر نتایج T_p بر حسب H_s با استفاده از نتایج اندازه‌گیری ADCP که در آب‌های کم عمق محدوده پروژه قرار دارد، تعیین شده است (شکل (۵-۵)).

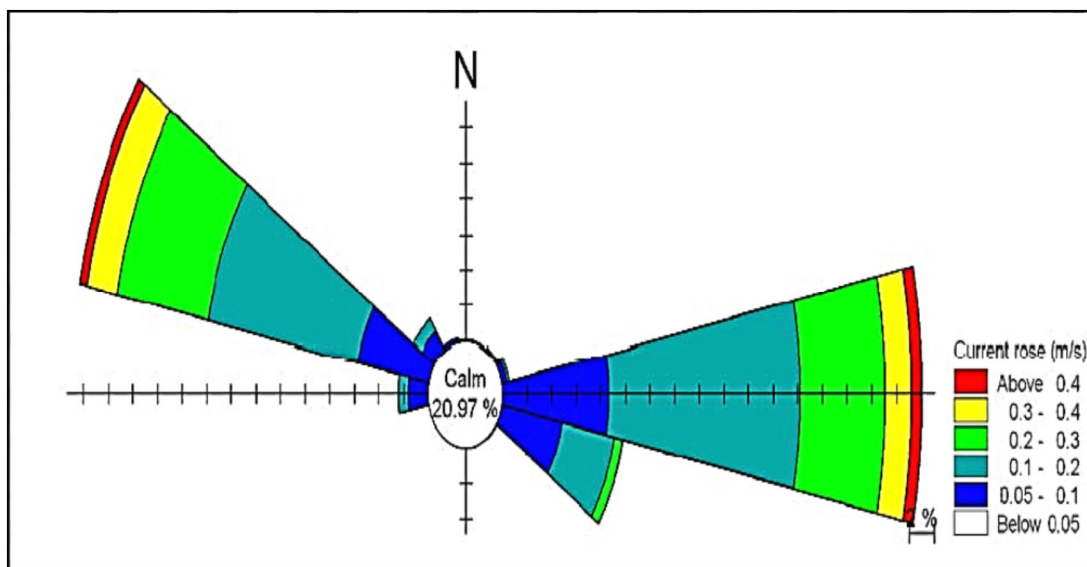


شکل (۵-۵) پریود امواج بر حسب ارتفاع امواج برداشت‌شده توسط دستگاه ADCP

بر اساس رابطه برازش شده از نمودار شکل فوق، مقدار پریود طرح برای ارتفاع موج ۱ متر برابر با ۶ ثانیه خواهد بود.

یکی از پارامترهای مهمی که برنامه MOSES به عنوان ورودی محیط دریا دریافت می‌کند، مقدار جریان ناشی از باد^{۳۱} می‌باشد. این پارامتر نیز بر اساس شکل (۵-۶) برابر با ۰/۲ متر بر ثانیه و در جهت شرق به غرب است.

^{۳۱} Current



شکل (۵-۶) گل_جریان ناشی از باد بر اساس نتایج مدل‌سازی در محدوده بندر انزلی

۵-۲-۳- طیف موج برخوردی

بر طبق نظر محققین (بخش حفاظت سواحل مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری) طیف جان سوآپ نسبت به دیگر طیف‌ها تطابق بیشتری با شرایط دریایی ایران دارد [۵۰]. از سوی دیگر این طیف طی سالیان اخیر بیش‌ترین استفاده را برای طراحی مهندسی و کارهای تجربی در مناطق ساحلی داشته است. به این سبب استفاده از طیف موج جان سوآپ برای طراحی مدل‌ها تطابق بیشتری را با شرایط واقعی ایجاد می‌کند.

۵-۳- برنامه آزمایش‌ها و مدل‌سازی

۵-۳-۱- گزینش طرح برتر برای مدل‌سازی نهایی

در این بخش ابتدا عملکرد سه مدل از موج‌شکن‌های شناور پانتونی، T شکل^{۳۲} و π شکل^{۳۳} مورد بررسی قرار می‌گرفته و سپس مطلوب‌ترین مدل از نظر سازگاری با امواج دریا تعیین می‌شود. پس از مدل‌سازی و

^{۳۲} پانتونی با یک تیغه میانی
^{۳۳} پانتونی با دو تیغه جانبی

بررسی نتایج سه مدل فوق، دو صفحه افقی^{۳۴} با عرض نسبی کم به دو انتهای تیغه‌های عمودی^{۳۵} در موج‌شکن π شکل افزوده شده و تأثیرات آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. بنابراین نتایج هر چهار مدل ساخته‌شده به صورت جداگانه ارائه و مقایسه‌ای میان عملکرد آن‌ها انجام گرفته است. جدول (۲-۵) پارامترهای مورد بررسی در چهار مدل فوق را بیان می‌نماید.

جدول (۲-۵) پارامترهای مورد بررسی در گزینش طرح برتر

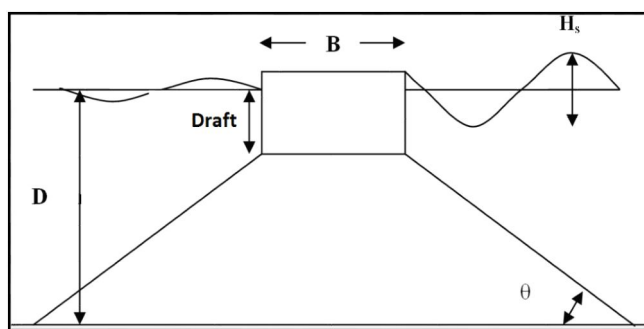
پارامتر مورد بررسی	محدوده تغییر
طول	۲۰ متر
عرض	۳ متر
آبخور	۱/۶ متر
زاویه مهار	۳۰ درجه
زاویه موج برخوردی	۴۵ و ۹۰ درجه
ارتفاع موج	۱ متر
پریود موج	۶
سرعت باد	۸ متر بر ثانیه
پریود	۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴، ۳۵، ۳۶، ۳۷، ۳۸، ۳۹، ۴۰، ۴۱، ۴۲، ۴۳، ۴۴، ۴۵، ۴۶، ۴۷، ۴۸، ۴۹، ۵۰، ۵۱، ۵۲، ۵۳، ۵۴، ۵۵، ۵۶، ۵۷، ۵۸، ۵۹، ۶۰، ۶۱، ۶۲، ۶۳، ۶۴، ۶۵، ۶۶، ۶۷، ۶۸، ۶۹، ۷۰، ۷۱، ۷۲، ۷۳، ۷۴، ۷۵، ۷۶، ۷۷، ۷۸، ۷۹، ۸۰، ۸۱، ۸۲، ۸۳، ۸۴، ۸۵، ۸۶، ۸۷، ۸۸، ۸۹، ۹۰، ۹۱، ۹۲، ۹۳، ۹۴، ۹۵، ۹۶، ۹۷، ۹۸، ۹۹، ۱۰۰، ۱۰۱، ۱۰۲، ۱۰۳، ۱۰۴، ۱۰۵، ۱۰۶، ۱۰۷، ۱۰۸، ۱۰۹، ۱۱۰، ۱۱۱، ۱۱۲، ۱۱۳، ۱۱۴، ۱۱۵، ۱۱۶، ۱۱۷، ۱۱۸، ۱۱۹، ۱۲۰، ۱۲۱، ۱۲۲، ۱۲۳، ۱۲۴، ۱۲۵، ۱۲۶، ۱۲۷، ۱۲۸، ۱۲۹، ۱۳۰، ۱۳۱، ۱۳۲، ۱۳۳، ۱۳۴، ۱۳۵، ۱۳۶، ۱۳۷، ۱۳۸، ۱۳۹، ۱۴۰، ۱۴۱، ۱۴۲، ۱۴۳، ۱۴۴، ۱۴۵، ۱۴۶، ۱۴۷، ۱۴۸، ۱۴۹، ۱۵۰، ۱۵۱، ۱۵۲، ۱۵۳، ۱۵۴، ۱۵۵، ۱۵۶، ۱۵۷، ۱۵۸، ۱۵۹، ۱۶۰، ۱۶۱، ۱۶۲، ۱۶۳، ۱۶۴، ۱۶۵، ۱۶۶، ۱۶۷، ۱۶۸، ۱۶۹، ۱۷۰، ۱۷۱، ۱۷۲، ۱۷۳، ۱۷۴، ۱۷۵، ۱۷۶، ۱۷۷، ۱۷۸، ۱۷۹، ۱۸۰، ۱۸۱، ۱۸۲، ۱۸۳، ۱۸۴، ۱۸۵، ۱۸۶، ۱۸۷، ۱۸۸، ۱۸۹، ۱۹۰، ۱۹۱، ۱۹۲، ۱۹۳، ۱۹۴، ۱۹۵، ۱۹۶، ۱۹۷، ۱۹۸، ۱۹۹، ۲۰۰، ۲۰۱، ۲۰۲، ۲۰۳، ۲۰۴، ۲۰۵، ۲۰۶، ۲۰۷، ۲۰۸، ۲۰۹، ۲۱۰، ۲۱۱، ۲۱۲، ۲۱۳، ۲۱۴، ۲۱۵، ۲۱۶، ۲۱۷، ۲۱۸، ۲۱۹، ۲۲۰، ۲۲۱، ۲۲۲، ۲۲۳، ۲۲۴، ۲۲۵، ۲۲۶، ۲۲۷، ۲۲۸، ۲۲۹، ۲۳۰، ۲۳۱، ۲۳۲، ۲۳۳، ۲۳۴، ۲۳۵، ۲۳۶، ۲۳۷، ۲۳۸، ۲۳۹، ۲۴۰، ۲۴۱، ۲۴۲، ۲۴۳، ۲۴۴، ۲۴۵، ۲۴۶، ۲۴۷، ۲۴۸، ۲۴۹، ۲۵۰، ۲۵۱، ۲۵۲، ۲۵۳، ۲۵۴، ۲۵۵، ۲۵۶، ۲۵۷، ۲۵۸، ۲۵۹، ۲۶۰، ۲۶۱، ۲۶۲، ۲۶۳، ۲۶۴، ۲۶۵، ۲۶۶، ۲۶۷، ۲۶۸، ۲۶۹، ۲۷۰، ۲۷۱، ۲۷۲، ۲۷۳، ۲۷۴، ۲۷۵، ۲۷۶، ۲۷۷، ۲۷۸، ۲۷۹، ۲۸۰، ۲۸۱، ۲۸۲، ۲۸۳، ۲۸۴، ۲۸۵، ۲۸۶، ۲۸۷، ۲۸۸، ۲۸۹، ۲۹۰، ۲۹۱، ۲۹۲، ۲۹۳، ۲۹۴، ۲۹۵، ۲۹۶، ۲۹۷، ۲۹۸، ۲۹۹، ۳۰۰، ۳۰۱، ۳۰۲، ۳۰۳، ۳۰۴، ۳۰۵، ۳۰۶، ۳۰۷، ۳۰۸، ۳۰۹، ۳۱۰، ۳۱۱، ۳۱۲، ۳۱۳، ۳۱۴، ۳۱۵، ۳۱۶، ۳۱۷، ۳۱۸، ۳۱۹، ۳۲۰، ۳۲۱، ۳۲۲، ۳۲۳، ۳۲۴، ۳۲۵، ۳۲۶، ۳۲۷، ۳۲۸، ۳۲۹، ۳۳۰، ۳۳۱، ۳۳۲، ۳۳۳، ۳۳۴، ۳۳۵، ۳۳۶، ۳۳۷، ۳۳۸، ۳۳۹، ۳۴۰، ۳۴۱، ۳۴۲، ۳۴۳، ۳۴۴، ۳۴۵، ۳۴۶، ۳۴۷، ۳۴۸، ۳۴۹، ۳۵۰، ۳۵۱، ۳۵۲، ۳۵۳، ۳۵۴، ۳۵۵، ۳۵۶، ۳۵۷، ۳۵۸، ۳۵۹، ۳۶۰، ۳۶۱، ۳۶۲، ۳۶۳، ۳۶۴، ۳۶۵، ۳۶۶، ۳۶۷، ۳۶۸، ۳۶۹، ۳۷۰، ۳۷۱، ۳۷۲، ۳۷۳، ۳۷۴، ۳۷۵، ۳۷۶، ۳۷۷، ۳۷۸، ۳۷۹، ۳۸۰، ۳۸۱، ۳۸۲، ۳۸۳، ۳۸۴، ۳۸۵، ۳۸۶، ۳۸۷، ۳۸۸، ۳۸۹، ۳۹۰، ۳۹۱، ۳۹۲، ۳۹۳، ۳۹۴، ۳۹۵، ۳۹۶، ۳۹۷، ۳۹۸، ۳۹۹، ۴۰۰، ۴۰۱، ۴۰۲، ۴۰۳، ۴۰۴، ۴۰۵، ۴۰۶، ۴۰۷، ۴۰۸، ۴۰۹، ۴۱۰، ۴۱۱، ۴۱۲، ۴۱۳، ۴۱۴، ۴۱۵، ۴۱۶، ۴۱۷، ۴۱۸، ۴۱۹، ۴۲۰، ۴۲۱، ۴۲۲، ۴۲۳، ۴۲۴، ۴۲۵، ۴۲۶، ۴۲۷، ۴۲۸، ۴۲۹، ۴۳۰، ۴۳۱، ۴۳۲، ۴۳۳، ۴۳۴، ۴۳۵، ۴۳۶، ۴۳۷، ۴۳۸، ۴۳۹، ۴۴۰، ۴۴۱، ۴۴۲، ۴۴۳، ۴۴۴، ۴۴۵، ۴۴۶، ۴۴۷، ۴۴۸، ۴۴۹، ۴۵۰، ۴۵۱، ۴۵۲، ۴۵۳، ۴۵۴، ۴۵۵، ۴۵۶، ۴۵۷، ۴۵۸، ۴۵۹، ۴۶۰، ۴۶۱، ۴۶۲، ۴۶۳، ۴۶۴، ۴۶۵، ۴۶۶، ۴۶۷، ۴۶۸، ۴۶۹، ۴۷۰، ۴۷۱، ۴۷۲، ۴۷۳، ۴۷۴، ۴۷۵، ۴۷۶، ۴۷۷، ۴۷۸، ۴۷۹، ۴۸۰، ۴۸۱، ۴۸۲، ۴۸۳، ۴۸۴، ۴۸۵، ۴۸۶، ۴۸۷، ۴۸۸، ۴۸۹، ۴۹۰، ۴۹۱، ۴۹۲، ۴۹۳، ۴۹۴، ۴۹۵، ۴۹۶، ۴۹۷، ۴۹۸، ۴۹۹، ۵۰۰، ۵۰۱، ۵۰۲، ۵۰۳، ۵۰۴، ۵۰۵، ۵۰۶، ۵۰۷، ۵۰۸، ۵۰۹، ۵۱۰، ۵۱۱، ۵۱۲، ۵۱۳، ۵۱۴، ۵۱۵، ۵۱۶، ۵۱۷، ۵۱۸، ۵۱۹، ۵۲۰، ۵۲۱، ۵۲۲، ۵۲۳، ۵۲۴، ۵۲۵، ۵۲۶، ۵۲۷، ۵۲۸، ۵۲۹، ۵۳۰، ۵۳۱، ۵۳۲، ۵۳۳، ۵۳۴، ۵۳۵، ۵۳۶، ۵۳۷، ۵۳۸، ۵۳۹، ۵۴۰، ۵۴۱، ۵۴۲، ۵۴۳، ۵۴۴، ۵۴۵، ۵۴۶، ۵۴۷، ۵۴۸، ۵۴۹، ۵۵۰، ۵۵۱، ۵۵۲، ۵۵۳، ۵۵۴، ۵۵۵، ۵۵۶، ۵۵۷، ۵۵۸، ۵۵۹، ۵۶۰، ۵۶۱، ۵۶۲، ۵۶۳، ۵۶۴، ۵۶۵، ۵۶۶، ۵۶۷، ۵۶۸، ۵۶۹، ۵۷۰، ۵۷۱، ۵۷۲، ۵۷۳، ۵۷۴، ۵۷۵، ۵۷۶، ۵۷۷، ۵۷۸، ۵۷۹، ۵۸۰، ۵۸۱، ۵۸۲، ۵۸۳، ۵۸۴، ۵۸۵، ۵۸۶، ۵۸۷، ۵۸۸، ۵۸۹، ۵۹۰، ۵۹۱، ۵۹۲، ۵۹۳، ۵۹۴، ۵۹۵، ۵۹۶، ۵۹۷، ۵۹۸، ۵۹۹، ۶۰۰، ۶۰۱، ۶۰۲، ۶۰۳، ۶۰۴، ۶۰۵، ۶۰۶، ۶۰۷، ۶۰۸، ۶۰۹، ۶۱۰، ۶۱۱، ۶۱۲، ۶۱۳، ۶۱۴، ۶۱۵، ۶۱۶، ۶۱۷، ۶۱۸، ۶۱۹، ۶۲۰، ۶۲۱، ۶۲۲، ۶۲۳، ۶۲۴، ۶۲۵، ۶۲۶، ۶۲۷، ۶۲۸، ۶۲۹، ۶۳۰، ۶۳۱، ۶۳۲، ۶۳۳، ۶۳۴، ۶۳۵، ۶۳۶، ۶۳۷، ۶۳۸، ۶۳۹، ۶۴۰، ۶۴۱، ۶۴۲، ۶۴۳، ۶۴۴، ۶۴۵، ۶۴۶، ۶۴۷، ۶۴۸، ۶۴۹، ۶۵۰، ۶۵۱، ۶۵۲، ۶۵۳، ۶۵۴، ۶۵۵، ۶۵۶، ۶۵۷، ۶۵۸، ۶۵۹، ۶۶۰، ۶۶۱، ۶۶۲، ۶۶۳، ۶۶۴، ۶۶۵، ۶۶۶، ۶۶۷، ۶۶۸، ۶۶۹، ۶۷۰، ۶۷۱، ۶۷۲، ۶۷۳، ۶۷۴، ۶۷۵، ۶۷۶، ۶۷۷، ۶۷۸، ۶۷۹، ۶۸۰، ۶۸۱، ۶۸۲، ۶۸۳، ۶۸۴، ۶۸۵، ۶۸۶، ۶۸۷، ۶۸۸، ۶۸۹، ۶۹۰، ۶۹۱، ۶۹۲، ۶۹۳، ۶۹۴، ۶۹۵، ۶۹۶، ۶۹۷، ۶۹۸، ۶۹۹، ۷۰۰، ۷۰۱، ۷۰۲، ۷۰۳، ۷۰۴، ۷۰۵، ۷۰۶، ۷۰۷، ۷۰۸، ۷۰۹، ۷۱۰، ۷۱۱، ۷۱۲، ۷۱۳، ۷۱۴، ۷۱۵، ۷۱۶، ۷۱۷، ۷۱۸، ۷۱۹، ۷۲۰، ۷۲۱، ۷۲۲، ۷۲۳، ۷۲۴، ۷۲۵، ۷۲۶، ۷۲۷، ۷۲۸، ۷۲۹، ۷۳۰، ۷۳۱، ۷۳۲، ۷۳۳، ۷۳۴، ۷۳۵، ۷۳۶، ۷۳۷، ۷۳۸، ۷۳۹، ۷۴۰، ۷۴۱، ۷۴۲، ۷۴۳، ۷۴۴، ۷۴۵، ۷۴۶، ۷۴۷، ۷۴۸، ۷۴۹، ۷۵۰، ۷۵۱، ۷۵۲، ۷۵۳، ۷۵۴، ۷۵۵، ۷۵۶، ۷۵۷، ۷۵۸، ۷۵۹، ۷۶۰، ۷۶۱، ۷۶۲، ۷۶۳، ۷۶۴، ۷۶۵، ۷۶۶، ۷۶۷، ۷۶۸، ۷۶۹، ۷۷۰، ۷۷۱، ۷۷۲، ۷۷۳، ۷۷۴، ۷۷۵، ۷۷۶، ۷۷۷، ۷۷۸، ۷۷۹، ۷۸۰، ۷۸۱، ۷۸۲، ۷۸۳، ۷۸۴، ۷۸۵، ۷۸۶، ۷۸۷، ۷۸۸، ۷۸۹، ۷۹۰، ۷۹۱، ۷۹۲، ۷۹۳، ۷۹۴، ۷۹۵، ۷۹۶، ۷۹۷، ۷۹۸، ۷۹۹، ۸۰۰، ۸۰۱، ۸۰۲، ۸۰۳، ۸۰۴، ۸۰۵، ۸۰۶، ۸۰۷، ۸۰۸، ۸۰۹، ۸۱۰، ۸۱۱، ۸۱۲، ۸۱۳، ۸۱۴، ۸۱۵، ۸۱۶، ۸۱۷، ۸۱۸، ۸۱۹، ۸۲۰، ۸۲۱، ۸۲۲، ۸۲۳، ۸۲۴، ۸۲۵، ۸۲۶، ۸۲۷، ۸۲۸، ۸۲۹، ۸۳۰، ۸۳۱، ۸۳۲، ۸۳۳، ۸۳۴، ۸۳۵، ۸۳۶، ۸۳۷، ۸۳۸، ۸۳۹، ۸۴۰، ۸۴۱، ۸۴۲، ۸۴۳، ۸۴۴، ۸۴۵، ۸۴۶، ۸۴۷، ۸۴۸، ۸۴۹، ۸۵۰، ۸۵۱، ۸۵۲، ۸۵۳، ۸۵۴، ۸۵۵، ۸۵۶، ۸۵۷، ۸۵۸، ۸۵۹، ۸۶۰، ۸۶۱، ۸۶۲، ۸۶۳، ۸۶۴، ۸۶۵، ۸۶۶، ۸۶۷، ۸۶۸، ۸۶۹، ۸۷۰، ۸۷۱، ۸۷۲، ۸۷۳، ۸۷۴، ۸۷۵، ۸۷۶، ۸۷۷، ۸۷۸، ۸۷۹، ۸۸۰، ۸۸۱، ۸۸۲، ۸۸۳، ۸۸۴، ۸۸۵، ۸۸۶، ۸۸۷، ۸۸۸، ۸۸۹، ۸۹۰، ۸۹۱، ۸۹۲، ۸۹۳، ۸۹۴، ۸۹۵، ۸۹۶، ۸۹۷، ۸۹۸، ۸۹۹، ۹۰۰، ۹۰۱، ۹۰۲، ۹۰۳، ۹۰۴، ۹۰۵، ۹۰۶، ۹۰۷، ۹۰۸، ۹۰۹، ۹۱۰، ۹۱۱، ۹۱۲، ۹۱۳، ۹۱۴، ۹۱۵، ۹۱۶، ۹۱۷، ۹۱۸، ۹۱۹، ۹۲۰، ۹۲۱، ۹۲۲، ۹۲۳، ۹۲۴، ۹۲۵، ۹۲۶، ۹۲۷، ۹۲۸، ۹۲۹، ۹۳۰، ۹۳۱، ۹۳۲، ۹۳۳، ۹۳۴، ۹۳۵، ۹۳۶، ۹۳۷، ۹۳۸، ۹۳۹، ۹۴۰، ۹۴۱، ۹۴۲، ۹۴۳، ۹۴۴، ۹۴۵، ۹۴۶، ۹۴۷، ۹۴۸، ۹۴۹، ۹۵۰، ۹۵۱، ۹۵۲، ۹۵۳، ۹۵۴، ۹۵۵، ۹۵۶، ۹۵۷، ۹۵۸، ۹۵۹، ۹۶۰، ۹۶۱، ۹۶۲، ۹۶۳، ۹۶۴، ۹۶۵، ۹۶۶، ۹۶۷، ۹۶۸، ۹۶۹، ۹۷۰، ۹۷۱، ۹۷۲، ۹۷۳، ۹۷۴، ۹۷۵، ۹۷۶، ۹۷۷، ۹۷۸، ۹۷۹، ۹۸۰، ۹۸۱، ۹۸۲، ۹۸۳، ۹۸۴، ۹۸۵، ۹۸۶، ۹۸۷، ۹۸۸، ۹۸۹، ۹۹۰، ۹۹۱، ۹۹۲، ۹۹۳، ۹۹۴، ۹۹۵، ۹۹۶، ۹۹۷، ۹۹۸، ۹۹۹، ۱۰۰۰
تیغه عمودی	۱ متر
تیغه افقی	۱/۲ متر

۵-۳-۱-۱- موج‌شکن شناور پانتونی

این سازه عبارت است از یک جعبه شناور بر روی آب که غالباً بتنی بوده و از طرفین دارای مهار به کف دریا می‌باشد. در شکل (۷-۵) متغیرهای مورد بررسی برای موج‌شکن شناور پانتونی نشان داده شده است.

^{۳۴} Horizontal screen

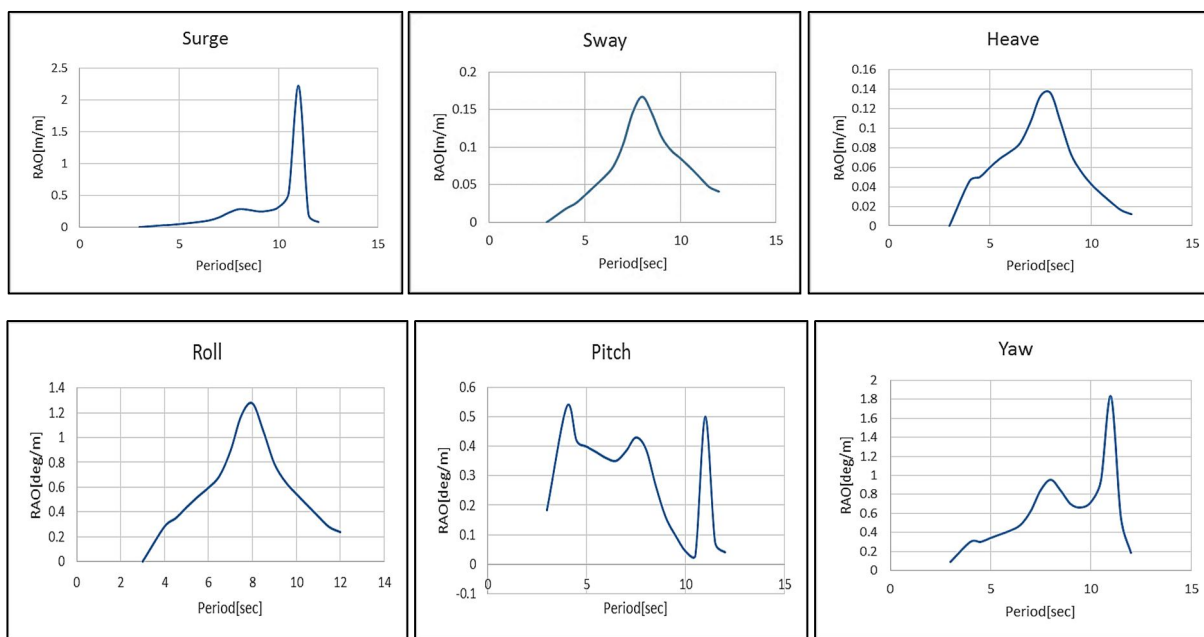
^{۳۵} Vertical screen



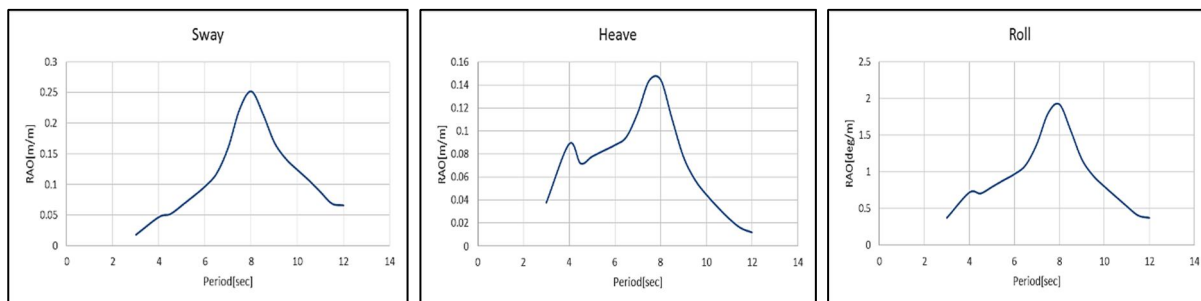
شکل (۷-۵) موج شکن شناور پانتونی

عملگرهای پاسخ موج شکن شناور پانتونی برای زاویه برخورد موج ۴۵ و ۹۰ درجه، به صورت شکل (۸-۵)

و (۹-۵) نشان داده شده است.



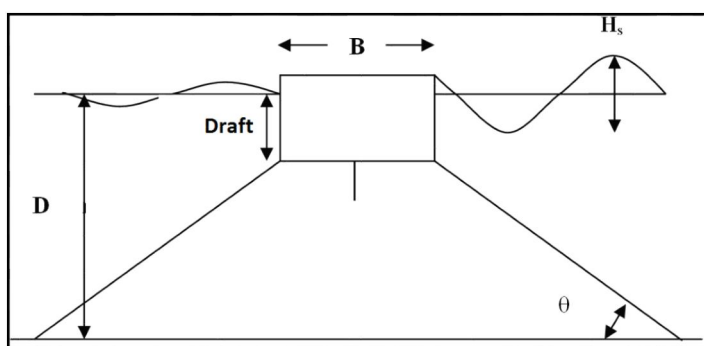
شکل (۸-۵) عملگرهای پاسخ مدل پانتونی در موج برخوردی ۴۵ درجه



شکل (۹-۵) عملگرهای پاسخ مدل پانتونی در موج برخوردی ۹۰ درجه

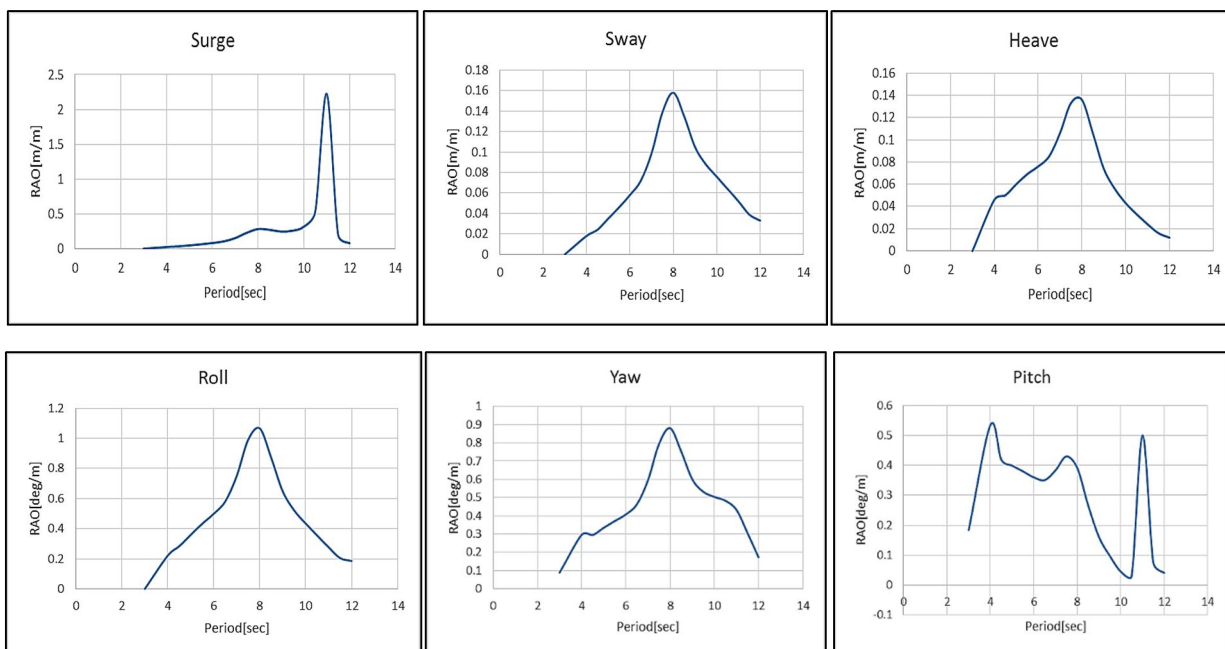
۵-۳-۱-۲- موج شکن شناور T شکل

با توجه به ماهیت موج شکن، بخشی از امواج دریا پس از برخورد به موج شکن شناور منعکس می شوند. برخورد این امواج منعکس شده با موج های برخوردی در زیر موج شکن شناور ایجاد آشفتگی نموده و مقدار حرکت این سازه را افزایش می دهد. به منظور کاهش این اثر و پراکنده نمودن اوربیتال های موج، نصب یک تیغه عمودی در زیر موج شکن شناور پانتونی اثر مطلوبی خواهد داشت. در شکل (۵-۱۰) متغیرهای مورد بررسی برای موج شکن شناور T شکل نشان داده شده است.

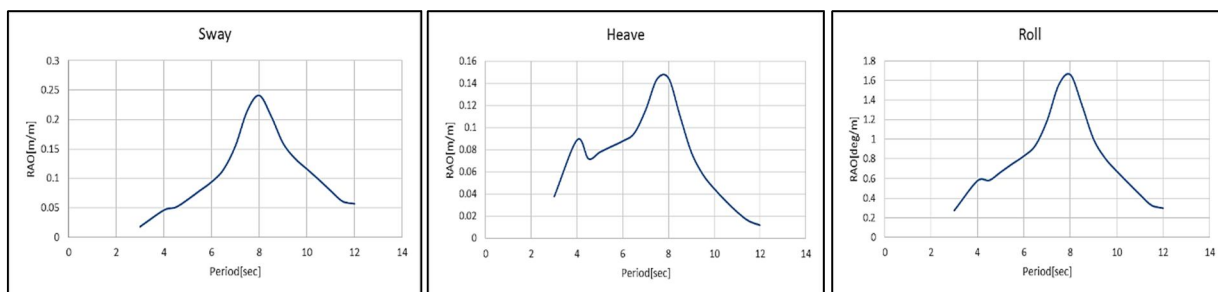


شکل (۵-۱۰) موج شکن شناور T شکل

در شکل (۵-۱۱) و (۵-۱۲) توابع پاسخ برای این مدل در صورتی که در معرض امواج ۴۵ و ۹۰ درجه قرار گیرد، نشان داده شده است.



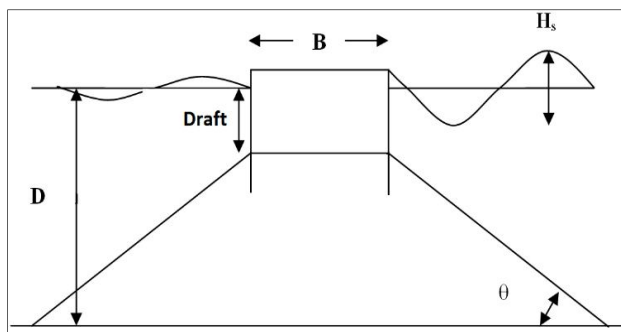
شکل (۵-۱۱) عملگرهای پاسخ مدل T شکل در موج برخوردی ۴۵ درجه



شکل (۵-۱۲) عملگرهای پاسخ مدل T شکل در موج برخوردی ۹۰ درجه

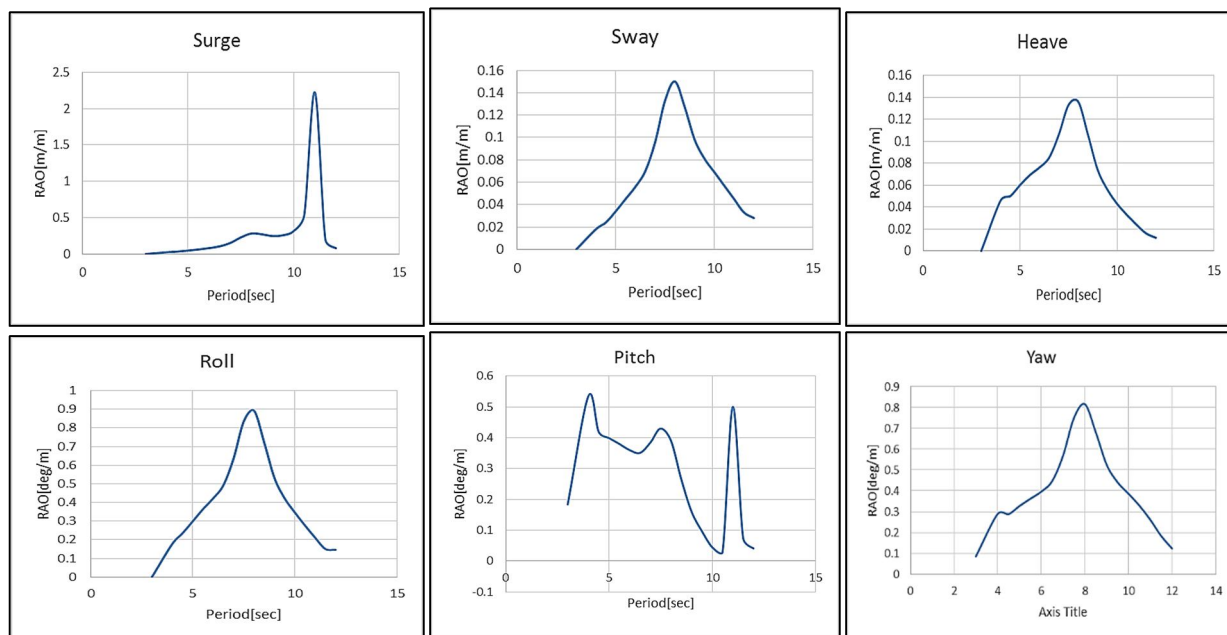
۵-۳-۱-۳- موج شکن شناور π شکل

شکل (۵-۱۳) یک موج شکن شناور π شکل را به همراه پارامترهای مورد بررسی در آن نشان می‌دهد.

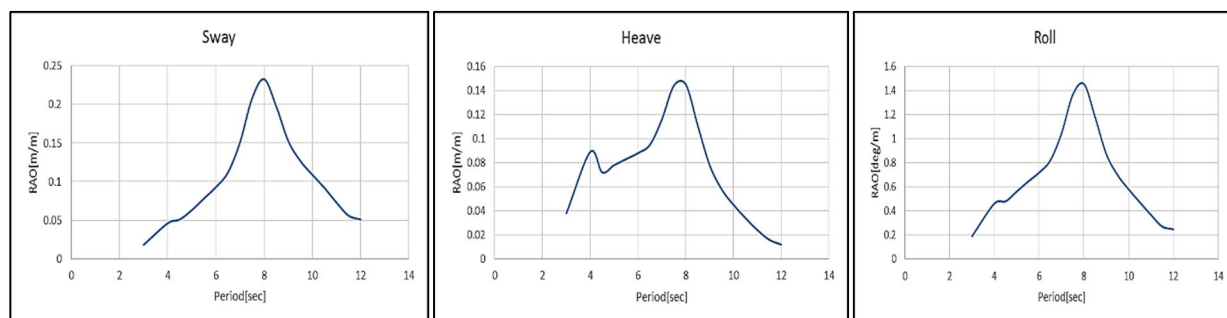


شکل (۵-۱۳) موج شکن شناور π شکل

توابع پاسخ امواج ۴۵ و ۹۰ درجه برای این مدل در شکل (۵-۱۴) و (۵-۱۵) نشان داده شده است.



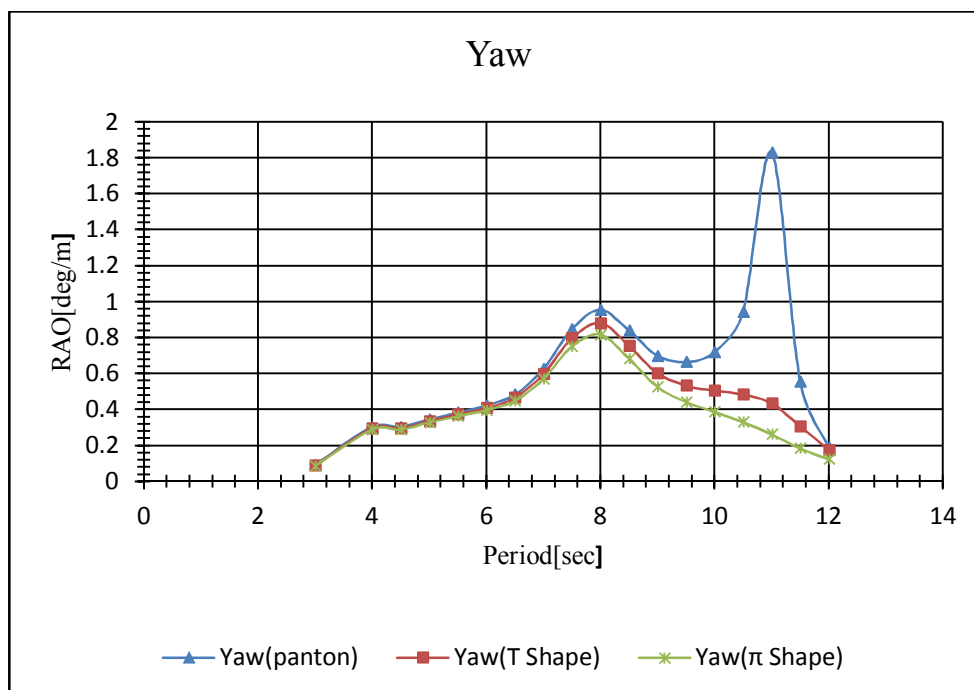
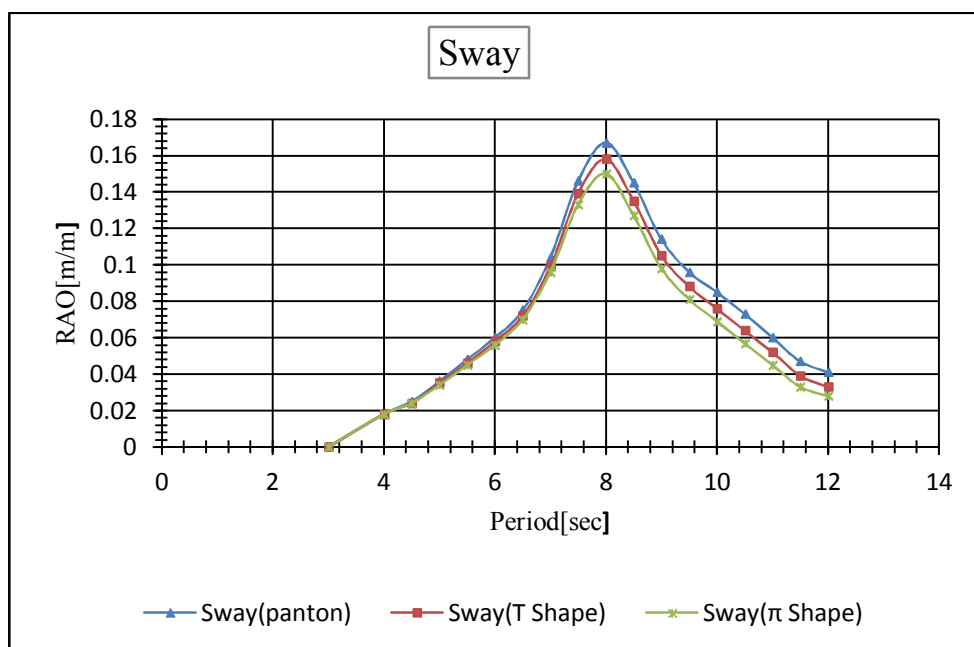
شکل (۵-۱۴) عملگرهای پاسخ مدل π شکل در موج برخوردی ۴۵ درجه

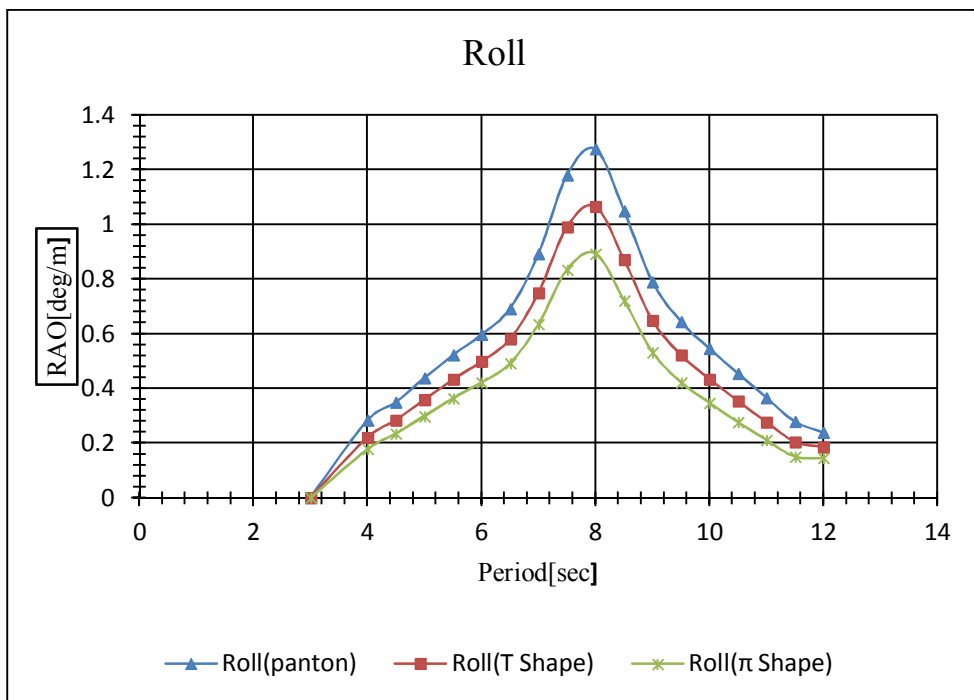


شکل (۵-۱۵) عملگرهای پاسخ مدل π شکل در موج برخوردی ۹۰ درجه

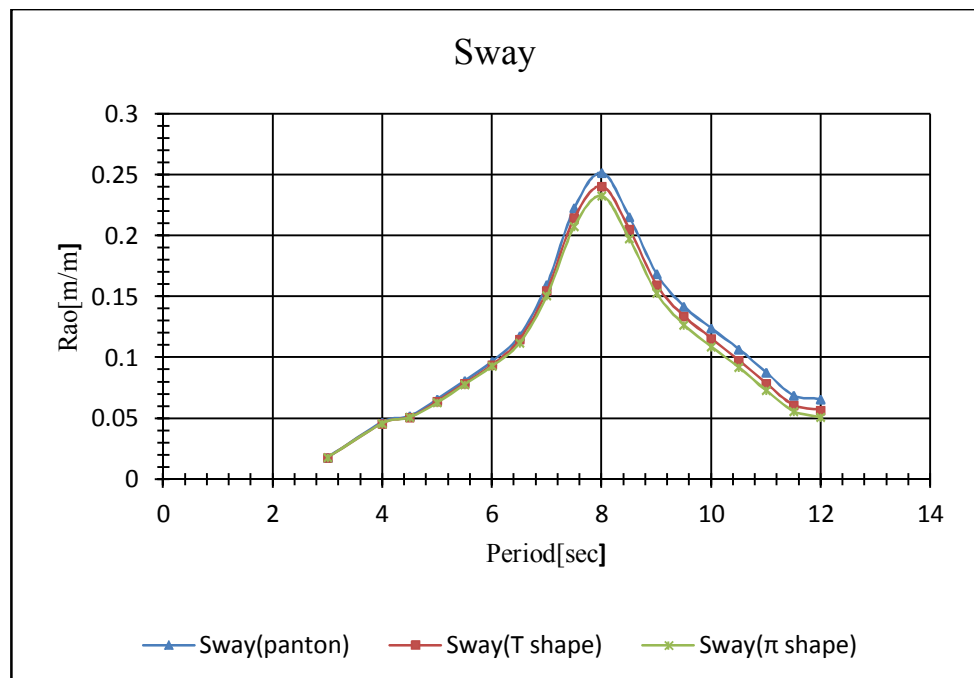
با مقایسه میان توابع عملگر پاسخ در سه مدل فوق نتیجه می‌شود افزودن تیغه‌های عمودی در موج‌شکن‌های شناور منجر به کاهش پاسخ سازه خواهد شد. این نسبت کاهش برای درجه‌های آزادی مختلف متفاوت است و بیشتر در حرکت Sway و چرخش‌های Roll و Yaw نمایان خواهد بود. همچنین تعداد این تیغه‌ها نیز بر پاسخ سازه تأثیرگذار خواهد بود، به صورتی که مدل با دو تیغه عمودی کاهش عملگر پاسخ بیشتری نسبت به مدل مشابه اما با یک تیغه میانی خواهد داشت. شکل (۵-۱۶) و (۵-۱۷) مقایسه‌ای میان

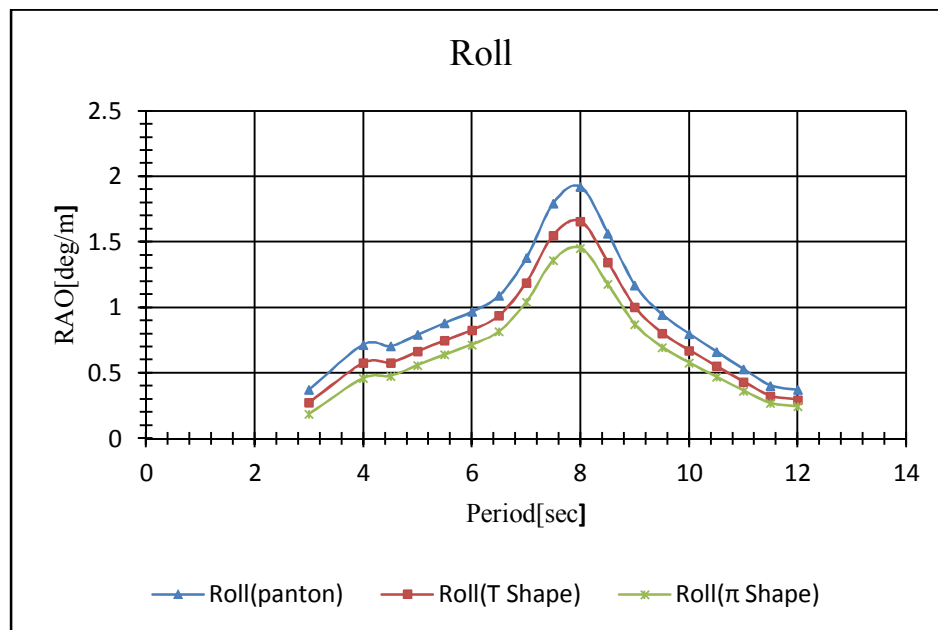
عملگرهای پاسخ ۳ موج شکن مزبور در درجات آزادی Sway، Roll و Yaw تحت تأثیر امواج ۴۵ و ۹۰ درجه را نشان می دهد.





شکل (۵-۱۶) مقایسه عملگرهای پاسخ Sway، Roll و Yaw مدل پانتونی، مدل T شکل و مدل π شکل در زاویه برخورد موج ۴۵





شکل (۵-۱۷) مقایسه عملگرهای پاسخ Sway و Roll مدل پانتونی، مدل T شکل و مدل π شکل در زاویه برخورد موج ۹۰° پس از مقایسه میان عملگرهای پاسخ سه نوع موج‌شکن مزبور، حال تغییرات حرکتی این سازه‌ها مورد بررسی قرار خواهد گرفت. یکی از امکانات نسخه اخیر نرم‌افزار موسس محاسبه میزان حرکت سازه^۱ در شش شش درجه آزادی است که می‌تواند فاکتور مناسبی برای مقایسه عملکرد انواع مختلف موج‌شکن شناور باشد. این در حالی است که در نسخه‌های پیشین این نرم‌افزار، پس از محاسبه عملگر پاسخ (Rao) توسط برنامه، با توجه به طیف موج برخوردی، مقادیر در رابطه (۳-۱۱) قرار داده شده و میزان حرکت سازه محاسبه می‌شد. در این مرحله از بررسی به منظور اعمال مقایسه‌ای جامع تر میان سه مدل ساخته شده، مقادیر حرکتی در شش درجه آزادی برای امواج با زاویه برخورد ۴۵° و ۹۰° در صورت جداول زیر بیان شده است.

جدول (۵-۳) مقایسه مقادیر حرکتی مدل پانتونی، مدل T شکل و مدل π شکل برای موج ۴۵° درجه

مدل	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
Panton	۱/۶۹۵	۰/۲۶۲	۰/۲۲۱	۲/۰۳۰	۰/۹۷۵	۲/۱۹۲
T shape	۱/۶۹۶	۰/۲۴۴	۰/۲۲۱	۱/۶۷۹	۰/۹۷۵	۱/۵۱۵
π shape	۱/۶۹۷	۰/۲۳۰	۰/۲۲۱	۱/۳۹۶	۰/۹۷۵	۱/۳۴۷

^۱ motion

جدول (۴-۵) مقایسه مقادیر حرکتی مدل پانتونی، مدل T شکل و مدل π شکل برای موج ۹۰ درجه

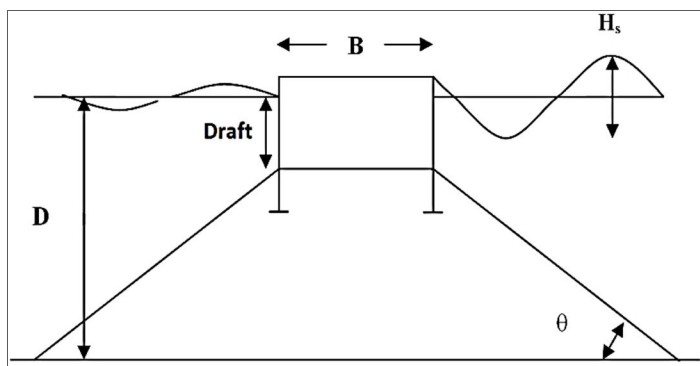
مدل	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
Panton	۰/۰۰۰	۰/۳۹۸	۰/۲۵۱	۳/۱۵۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
T shape	۰/۰۰۰	۰/۳۸۰	۰/۲۵۱	۲/۶۹۶	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
π shape	۰/۰۰۰	۰/۳۶۵	۰/۲۵۱	۲/۳۳۸	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

مشاهده می‌شود که با افزودن تیغه عمودی در موج‌شکن‌های شناور، میزان حرکت سازه نیز دست‌خوش تغییر می‌شود. مقدار این تغییر برای درجه‌های حرکتی مختلف متفاوت است. در حرکت Roll و Yaw کاهش چشمگیری رخ می‌دهد و در حرکت Sway نیز کاهش محسوسی دیده می‌شود. این در حالی است که حرکت Heave و Pitch بدون تغییر باقی‌مانده و حرکت Surge نیز دچار افزایش بسیار کمی خواهد شد. حال که مشاهده نمودیم افزودن تیغه عمودی به پانتون شناور میزان پاسخ و حرکت سازه را کاهش می‌دهد، ایده افزودن دو تیغه افقی (میراگر) به تیغه‌های عمودی را معرفی نموده و به بررسی تأثیر آن بر حرکت سازه می‌پردازیم.

۵-۳-۱-۴ - موج‌شکن شناور π شکل با تیغه‌های میراگر

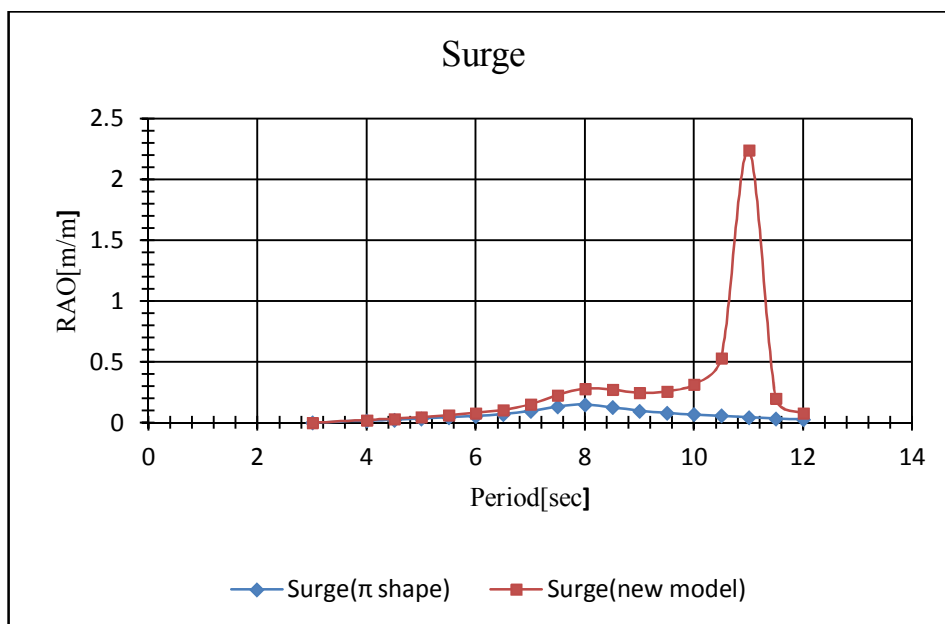
تاکنون مشاهده نمودیم که افزودن تیغه‌های عمودی در قسمت تحتانی موج‌شکن شناور منجر به تغییراتی در حرکات سازه می‌شود که غالب این تغییرات کاهشی بوده و وضعیت پاسخ موج‌شکن را به امواج برخوردی بهبود می‌بخشد. اما افزودن تیغه‌های عمودی به طرفین پانتون که آن را به موج‌شکن شناور π شکل تبدیل می‌کند، هرچند تعادل سازه را افزایش می‌دهد اما به طور کامل نمی‌تواند در برابر گردابه‌های تولیدشده در قسمت تحتانی سازه مقاومت نماید. از این رو بررسی تأثیر اتصال تیغه‌های افقی نازک و با عرض نسبی کم به انتهای این تیغه‌های عمودی (تیغه‌های میراگر) به عنوان یک تئوری به منظور کاهش گردابه و در نتیجه

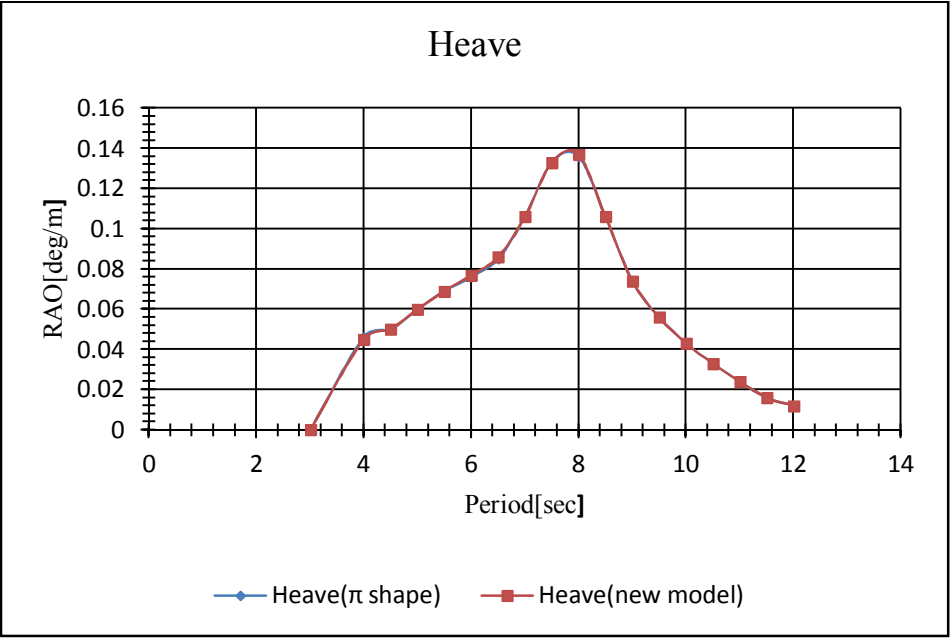
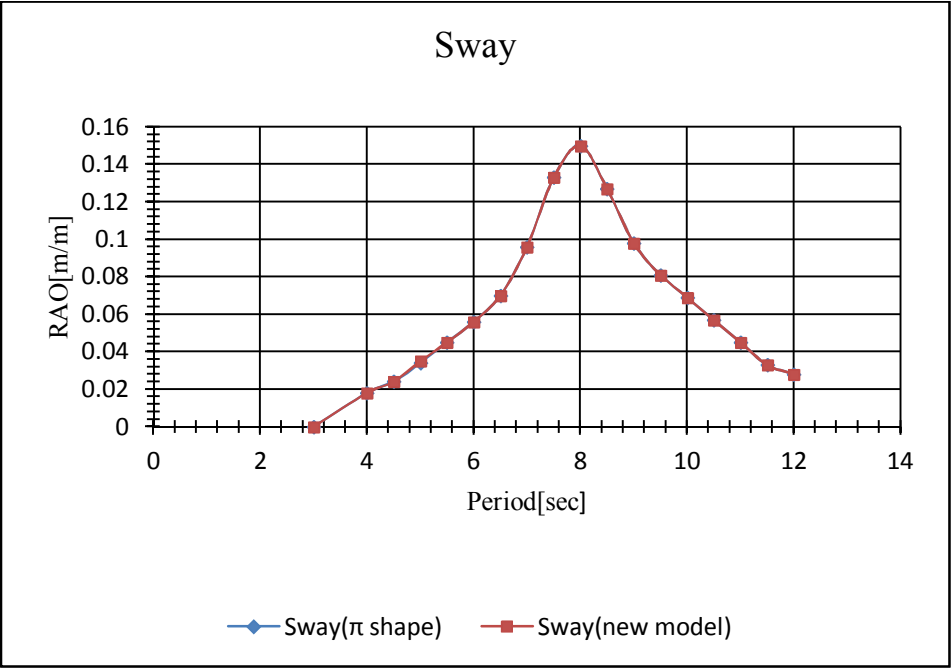
کاهش حرکت موج شکن شناور در دستور کار قرار گرفت. شکل (۵-۱۸) یک موج شکن شناور π شکل که به انتهای تیغه های آن دو صفحه افزوده شده است را نشان می دهد.

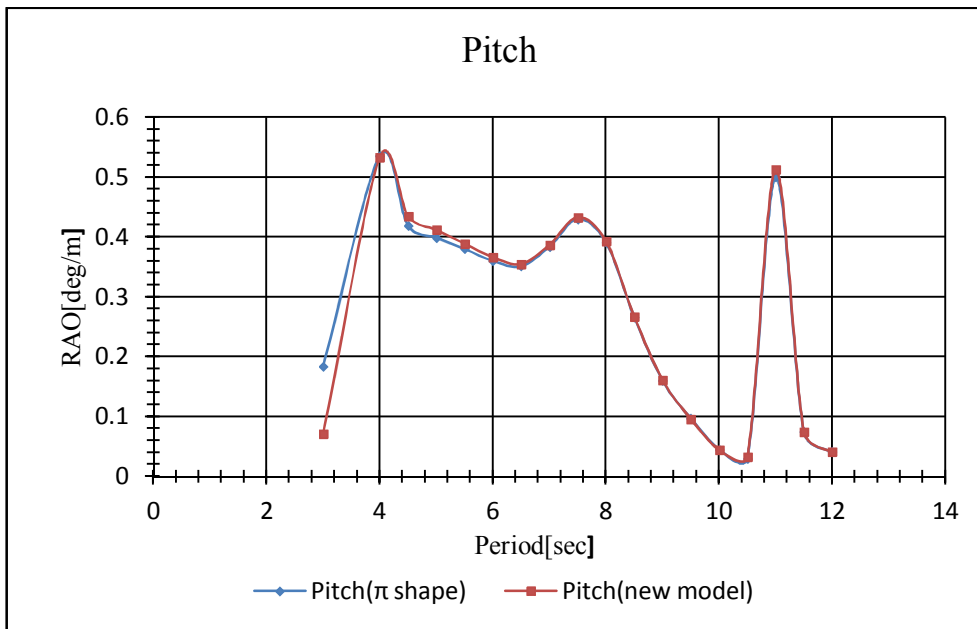
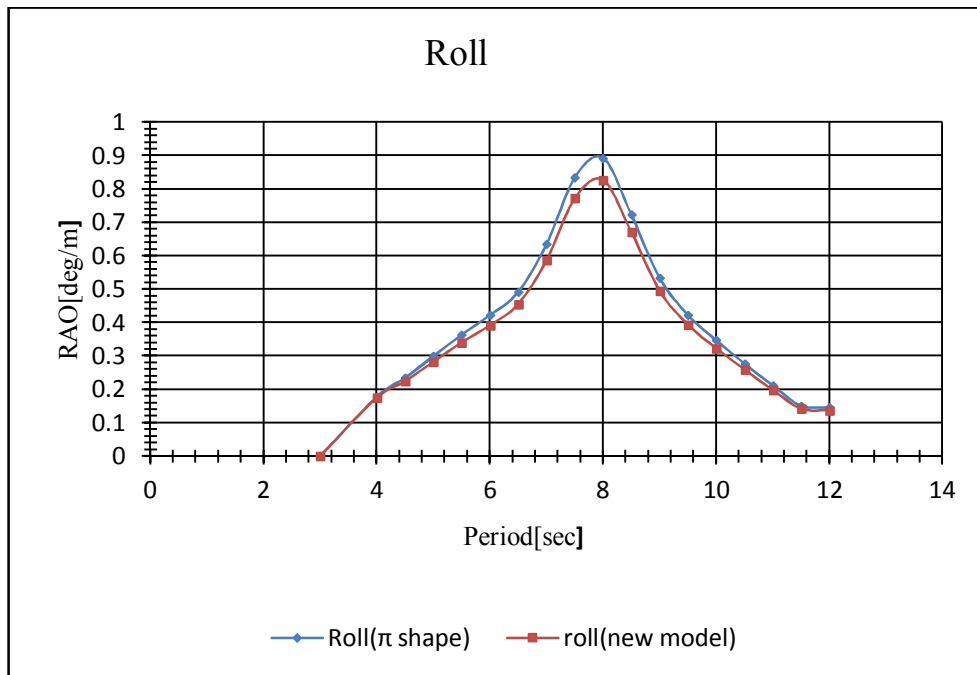


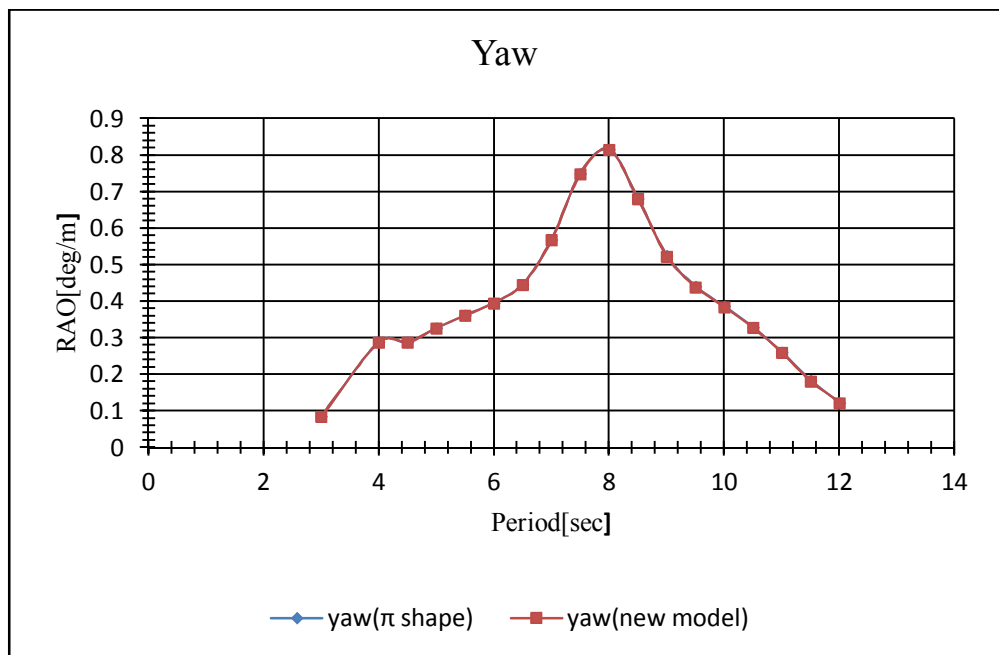
شکل (۵-۱۸) موج شکن شناور π شکل با تیغه های میراگر

به منظور بررسی تأثیر افزودن صفحه های افقی، مقایسه ای میان توابع پاسخ برای این مدل و مدل π شکل تحت برخورد امواج ۴۵ و ۹۰ درجه، در شکل های (۵-۱۹) و (۵-۲۰) نشان داده شده است.

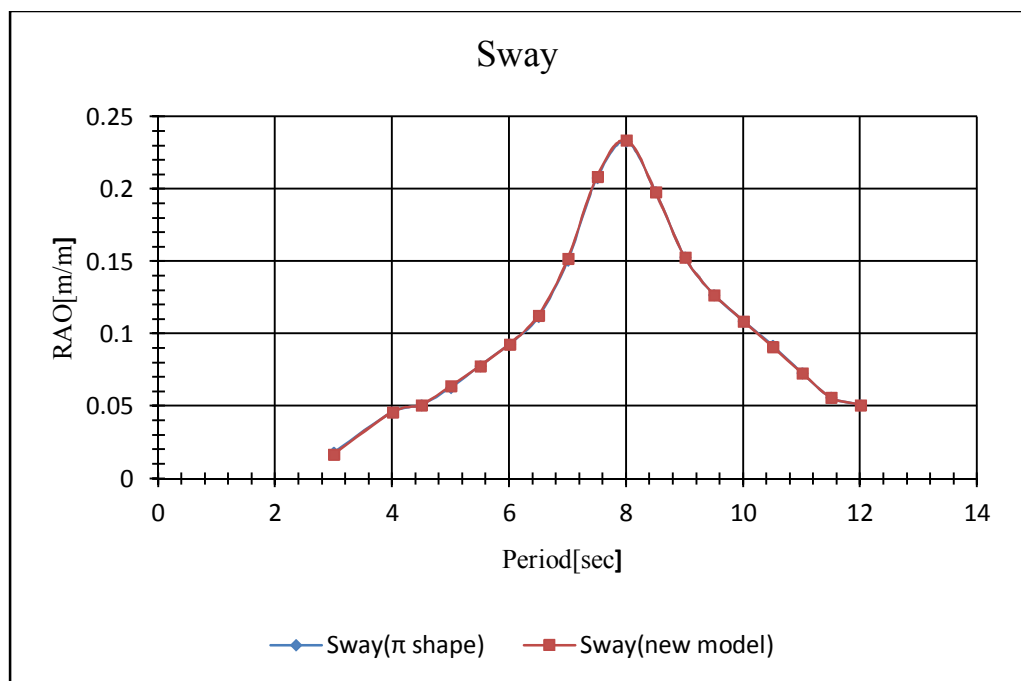


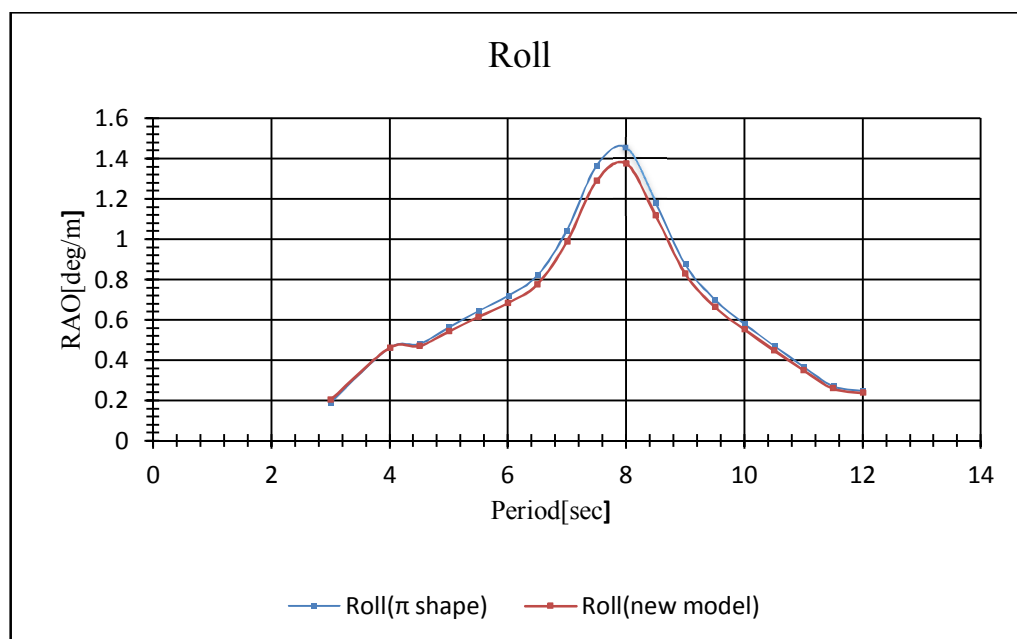
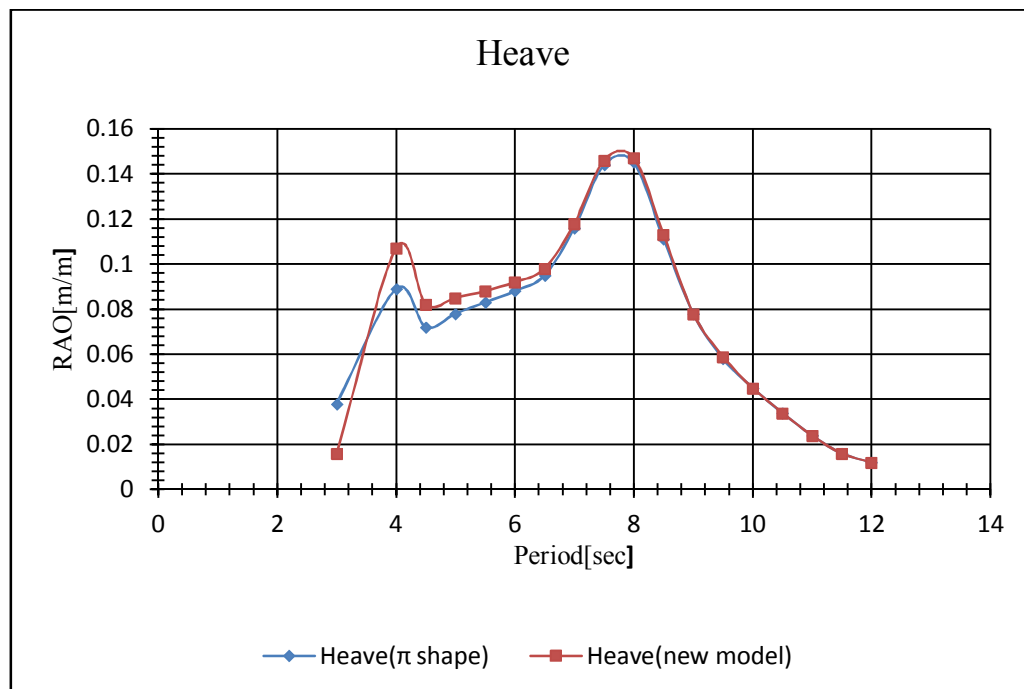






شکل (۵-۱۹) تغییر عملگرهای پاسخ مدل π شکل در حضور تیغه‌های میراگر در امواج برخوردی ۴۵ درجه





شکل (۵-۲۰) تغییر عملگرهای پاسخ مدل π شکل در حضور تیغه‌های میراگر در امواج برخوردی 90° درجه

در جدول (۵-۵) و (۶-۵) نیز، مقادیر حرکت مدل π شکل و مدل π شکل با تیغه‌های میراگر بیان شده است.

جدول (۵-۵) مقایسه حرکات مدل π شکل در حضور تیغه‌های میراگر در امواج برخوردی ۴۵ درجه

مدل	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
π Shape	۱/۶۹۷	۰/۲۳۰	۰/۲۲۱	۱/۳۹۶	۰/۹۷۵	۱/۳۴۷
π Shape with damping screen	۱/۷۰۸	۰/۲۳۱	۰/۲۲۴	۱/۲۹۷	۰/۹۸۳	۱/۳۴۶

جدول (۶-۵) مقایسه حرکات مدل π شکل در حضور تیغه‌های میراگر در امواج برخوردی ۹۰ درجه

مدل	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw
π Shape	۰/۰۰۰	۰/۳۶۵	۰/۲۵۱	۲/۳۳۸	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
π Shape with damping screen	۰/۰۰۰	۰/۳۶۶	۰/۲۶۰	۲/۲۲۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

با بررسی مقادیر حرکتی موجود در جداول فوق نتیجه می‌شود که حضور تیغه‌های میراگر مقدار حرکت Roll را کاهش داده و در سایر حرکات سازه منجر به افزایش بسیار کمی خواهد شد که می‌تواند در مقایسه با تغییر حرکت Roll از این تغییرات نیز چشم‌پوشی کرد. از آنجا که حرکت Roll در بررسی سازگاری موج‌شکن‌های شناور با محیط پیرامون یکی از مهم‌ترین حرکات بوده و تغییر آن عملکرد سازه را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد و با توجه به تغییر ناچیز سایر حرکات، نتیجه می‌شود که افزودن صفحه‌های میراگر منجر به بهبود عملکرد موج‌شکن شناور خواهد شد. از این رو در ادامه به بررسی رفتار این مدل از موج‌شکن‌های شناور تحت تأثیر تغییر پارامترهای مختلف پرداخته می‌شود.

۵-۴- تعیین مدل بهینه موج شکن شناور π شکل با تیغه‌های میراگر، متناسب

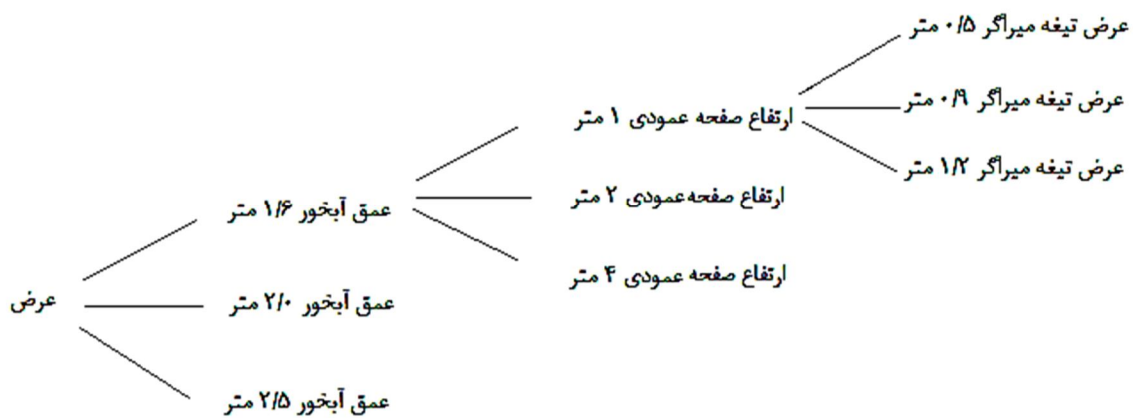
با شرایط منطقه مورد مطالعه

به منظور بررسی رفتار این نوع از موج شکن و تعیین یک مدل کارآمد در منطقه دریایی بندر انزلی، چهار پارامتر عرض، عمق آب‌خور، ارتفاع صفحه عمودی و عرض تیغه افقی را به عنوان متغیر در نظر گرفته و تأثیر تغییرات آن‌ها را بر رفتار موج شکن در امواج برخوردی ۴۵ و ۹۰ درجه، مورد بررسی قرار داده شده است. جدول (۷-۵) بیان کننده این پارامترها و محدوده تغییرات آن‌ها است.

جدول (۷-۵) پارامترهای متغیر در موج شکن شناور با صفحه عمودی و تیغه افقی

پارامتر	محدوده تغییر
عرض	۳ و ۷
آب‌خور	۱/۶ و ۲/۵
ارتفاع تیغه عمودی	۱ و ۴
عرض صفحه افقی	۰/۵ و ۰/۹ و ۱/۲

برای اینکه تمامی متغیرها در مدل مربوطه مورد بررسی قرار بگیرند تا به یک طرح مناسب اجرایی در منطقه ساحلی بندر انزلی منتج شود، هر چهار پارامتر معرفی شده در جدول فوق توأمان مورد تغییر قرار گرفته و سپس به بررسی تأثیر این تغییرات بر عملکرد سازه پرداخته شد. بنابراین برای هر زاویه برخورد موج ۸۱ مدل و در مجموع ۱۶۲ مدل ساخته شد. چگونگی ساخت و ترکیب این مدل‌ها به صورت زیر نمایش داده شده است.



پس از ساخت این مدل ها در نرم افزار، عملگرهای پاسخ و مقادیر حرکت برای هر کدام از این مدل ها استخراج و جمع آوری گردید. سپس برای مقایسه نتایج، با توجه به محدوده تغییرات حرکتی برای هر درجه آزادی در مدل های با عرض، آبخور و ارتفاع صفحه عمودی ثابت و متغیر بودن عرض تیغه میراگر، مدلی که دارای کمترین مقدار برای هر حرکت بود استخراج گردید. در مرحله بعدی از بین این مدل ها، این بار برای نسبت عرض به آبخور ثابت (W/D)، بهترین مدل با توجه به درجه آزادی غالب انتخاب شده و به منظور مقایسه با سایر مدل ها جمع آوری گردیدند. لازم به ذکر است که درجه آزادی غالب یکی از شش حرکت موج شکن شناور است که در مقایسه با سایر دارای بیشترین تغییرات بوده و معیار انتخاب بهترین مدل نیز کمترین مقدار از این حرکت است. جدول (۵-۸) و (۵-۹) محدوده تغییرات برای هر درجه آزادی در ۹ مدل از هر نسبت عرض به آبخور ثابت و مدل بهینه انتخاب شده بر اساس این تغییرات و درجه آزادی غالب را درحالی که در معرض امواج ۴۵ و ۹۰ درجه قرار گرفته اند بیان می دارد.

جدول (۵-۸) محدوده تغییرات حرکت و مدل بهینه به دست آمده در عرض و آب‌خور ثابت در زاویه برخورد ۴۵ درجه

مدل	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw	مدل بهینه	
W ^۳ D ^۱ /۶	۰/۰۱۶	۰/۰۲۳	۰/۰۰۸	۱/۰۹۸	۰/۰۵۶	۰/۴۷۸	S ^۴ h ^۱ /۲	
W ^۳ D ^۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۱۱	۰/۸۴۳	۰/۰۹۹	۰/۲۸۹	S ^۴ h ^۱ /۲	
W ^۳ D ^۲ /۵	۰/۰۰۳	۰/۰۵۱	۰/۰۱۳	۰/۷۹۴	۰/۱۰۲	۰/۱۷۴	S ^۲ h ^۱ /۲	
W ^۵ D ^۱ /۶	۰/۰۰۷	۰/۳۱۵	۰/۰۰۴	۳/۱	۰/۰۲۹	۰/۴۶	S ^۲ h ^۰ /۵	S ^۲ h ^۱ /۲
W ^۵ D ^۲	۰/۰۰۴	۰/۲۹۵	۰/۱۹۴	۲/۵۴	۰/۰۴۶	۰/۳	S ^۲ h ^۰ /۵	S ^۲ h ^۱ /۲
W ^۵ D ^۲ /۵	۰/۰۰۵	۰/۱۱۴	۰/۰۰۶	۲/۶۵۶	۰/۰۵۹	۰/۲	S ^۲ h ^۰ /۵	۱h ^۱ /۲
W ^۷ D ^۱ /۶	۰/۰۸۲	۰/۱۳۸	۰/۰۰۳	۱/۴۹۷	۰/۰۰۹	۰/۲۵۸	S ^۴ h ^۰ /۵	S ^۱ h ^۱ /۲
W ^۷ D ^۲	۰/۰۰۴	۰/۱۲۲	۰/۰۰۴	۱/۲۶۶	۰/۰۲۲	۰/۳۲	S ^۴ h ^۰ /۵	S ^۱ h ^۱ /۲
W ^۷ D ^۲ /۵	۰/۰۰۴	۰/۱	۰/۰۰۴	۱/۰۲	۰/۰۲۵	۰/۲۳	S ^۴ h ^۰ /۵	S ^۱ h ^۱ /۲

جدول (۵-۹) محدوده تغییرات حرکت و مدل بهینه به دست آمده در عرض و آب‌خور ثابت در زاویه برخورد ۹۰ درجه

مدل	Surge	Sway	Heave	Roll	Pitch	Yaw	مدل بهینه	
W ^۳ D ^۱ /۶	.	۰/۰۴۶	۰/۰۱۶	۱/۸۶۴	.	.	S ^۴ h ^۱ /۲	
W ^۳ D ^۲	.	۰/۰۳۵	۰/۰۱۸	۱/۲۳۱	.	.	S ^۴ h ^۱ /۲	
W ^۳ D ^۲ /۵	.	۰/۰۷۹	۰/۰۲۲	۱/۱۸۱	.	.	S ^۲ h ^۱ /۲	
W ^۵ D ^۱ /۶	.	۰/۵۵۷	۰/۰۰۷	۵/۰۵۷	.	.	S ^۲ h ^۰ /۵	S ^۲ h ^۱ /۲
W ^۵ D ^۲	.	۰/۴۰۷	۰/۰۰۸	۳/۵۱۴	.	.	S ^۲ h ^۰ /۵	S ^۲ h ^۱ /۲
W ^۵ D ^۲ /۵	.	۰/۱۶	۰/۰۰۹	۴/۱۶۸	.	.	S ^۲ h ^۰ /۵	S ^۱ h ^۱ /۲
W ^۷ D ^۱ /۶	.	۰/۲۱۳	۰/۰۰۴	۲/۲۵	.	.	S ^۴ h ^۰ /۵	S ^۱ h ^۱ /۲
W ^۷ D ^۲	.	۰/۱۶۹	۰/۰۰۶	۱/۹۸	.	.	S ^۴ h ^۰ /۵	S ^۱ h ^۱ /۲
W ^۷ D ^۲ /۵	.	۰/۱۲۳	۰/۰۰۶	۱/۵۲۵	.	.	S ^۴ h ^۰ /۵	S ^۱ h ^۱ /۲

در این جداول ابتدا بیش‌ترین و کمترین مقدار برای هر درجه آزادی در عرض و آب‌خور ثابت استخراج شده، سپس با توجه به محدوده تغییرات، آن درجه آزادی که بیش‌ترین تغییر در آن رخ داده به عنوان درجه حاکم بر حرکت سازه تعیین شده و عملگر پاسخ آن رسم می‌شود. پس از رسم عملگر پاسخ سازه، به منظور ایجاد شرایط مناسب برای مقایسه مدل‌های به دست آمده نیاز است که پاسخ این مدل‌ها نیز تعیین شود. از این رو نمودار پاسخ برای این مدل‌ها نیز بر اساس رابطه (۳-۱۱) استخراج می‌شود. پس از تعیین و رسم

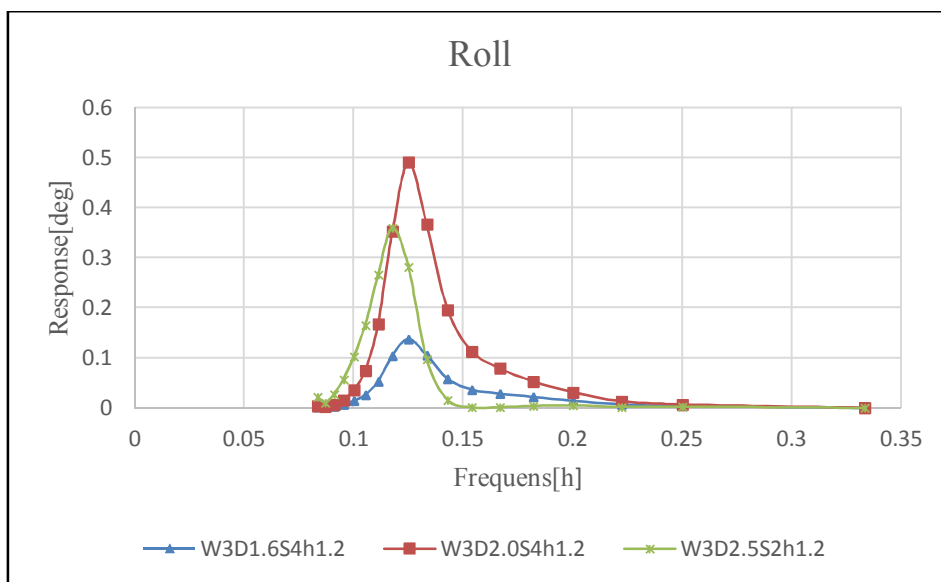
پاسخ سازه، به مقایسه آن‌ها پرداخته تا بهترین هندسه در بین مدل‌های موجود به دست آید. در ادامه به بررسی این نمودارها در اثر امواج برخوردی با زاویه ۴۵ و ۹۰ درجه پرداخته می‌شود.

۵-۴-۱- تعیین مدل بهینه برای موج برخوردی ۴۵ درجه

۵-۴-۱-۱- مدل بهینه در عرض ۳ متر

در شکل زیر نمودارهای پاسخ بهینه‌ترین مدل‌ها برای حرکت غالب (Roll) در عرض ۳ متر نشان داده

شده است:



شکل (۵-۲۱) پاسخ بهینه‌ترین مدل‌ها در عرض ۳ متر و زاویه برخورد ۴۵ درجه

با توجه به سطح زیر نمودارهای پاسخ و همچنین مقدار پیک آن‌ها نتیجه می‌شود که بهینه‌ترین مدل

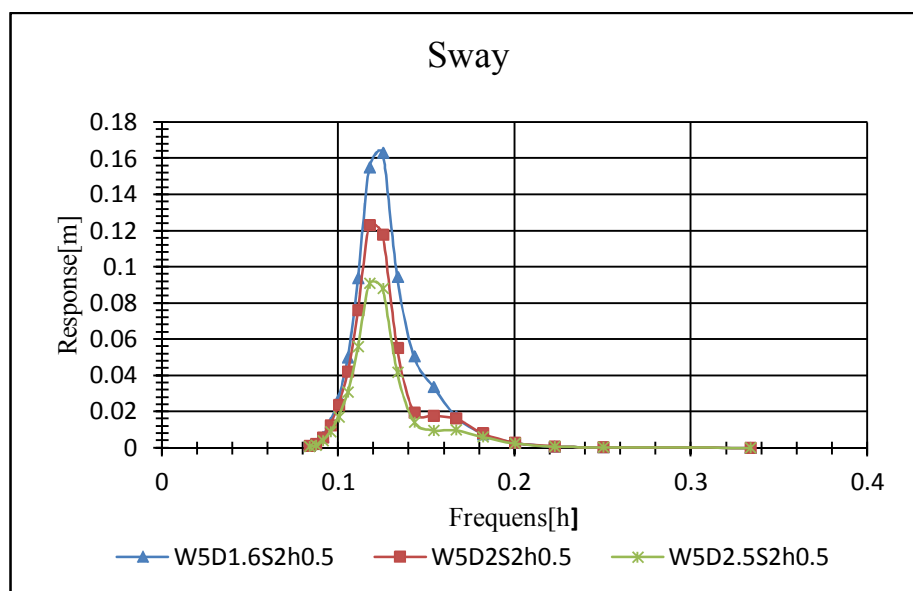
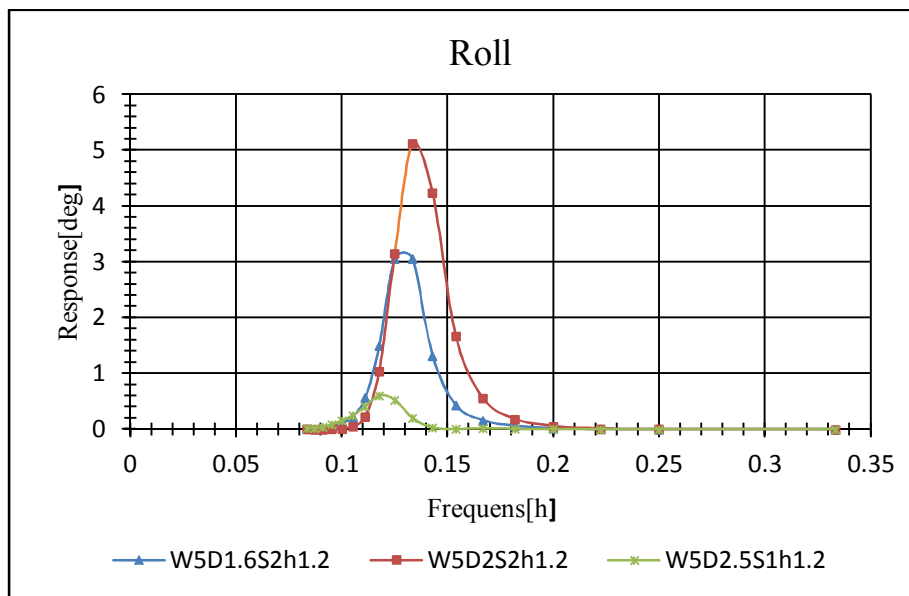
برای عرض ۳ متر، مدل $W3D1.6S4h1.2$ می‌باشد.

۵-۴-۲- مدل بهینه در عرض ۵ متر

در این عرض دو درجه آزادی Roll و Sway غالب است. علت اضافه شدن حرکت Sway را می‌توان چنین

عنوان کرد که هر چه عرض سازه کاهش یابد موج‌شکن شناور نوسانات خود را بیش از پیش با حرکت موج

هماهنگ می‌کند، بنابراین در عرض ۳ متر چرخش Roll بیش از سایر درجه‌های آزادی دست‌خوش تغییر خواهد شد اما با افزایش عرض، حرکت Sway نیز در کنار Roll دارای تغییرات چشمگیری نسبت به سایر درجات آزادی خواهد شد. شکل (۵-۲۲) به مقایسه میان بهینه‌ترین مدل‌های استخراج‌شده در عرض ۵ متر می‌پردازد.



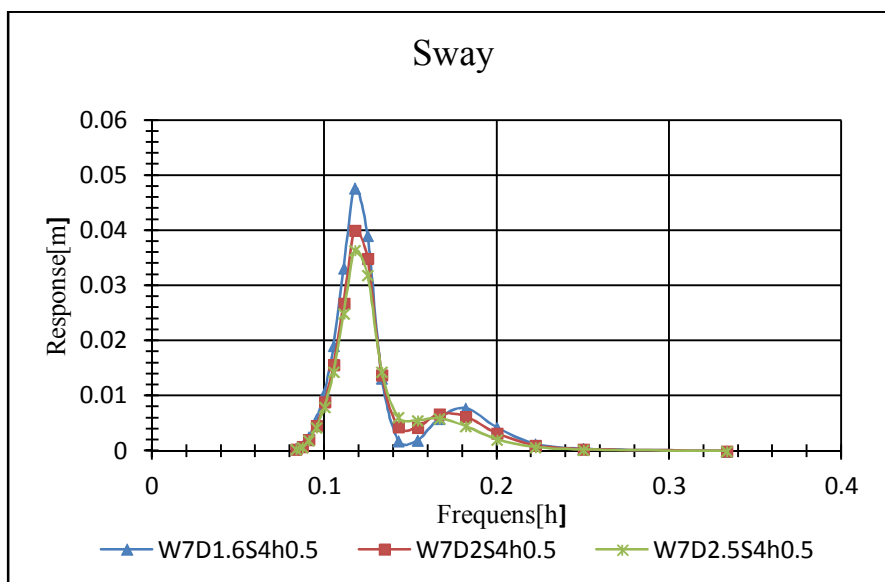
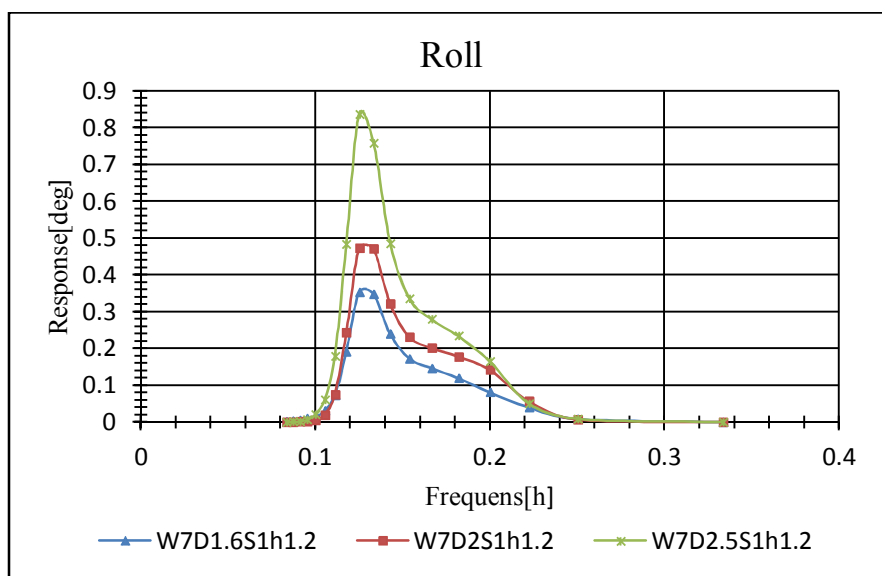
شکل (۵-۲۲) پاسخ بهینه‌ترین مدل‌ها در عرض ۵ متر و زاویه برخورد ۴۵ درجه

مشاهده می‌شود در عرض ۵ متر، بهترین مدل که دارای کمترین مقدار حرکت در مقایسه با سایر مدل‌ها

است، مدل $W^{\circ}D^{\frac{2}{5}}S^{\frac{1}{2}}h^{\frac{1}{2}}$ برای حرکت Roll و $W^{\circ}D^{\frac{2}{5}}S^{\frac{2}{5}}h^{\frac{1}{5}}$ برای حرکت Sway می‌باشد.

۵-۴-۳- مدل بهینه در عرض ۷ متر

در این عرض نیز دو حرکت Roll و Sway درجات آزادی غالب هستند.



شکل (۵-۲۳) پاسخ بهینه‌ترین مدل‌ها در عرض ۷ متر و زاویه برخورد ۴۵ درجه

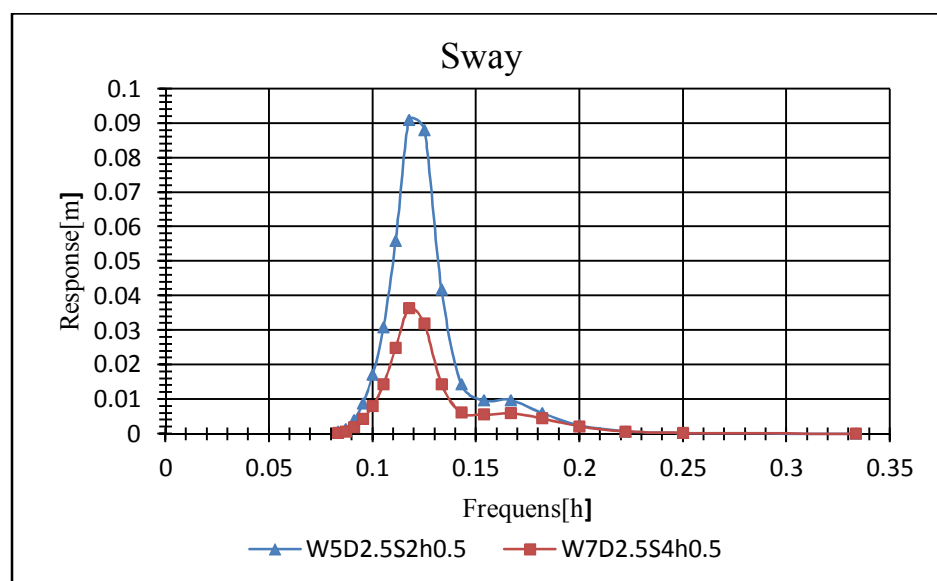
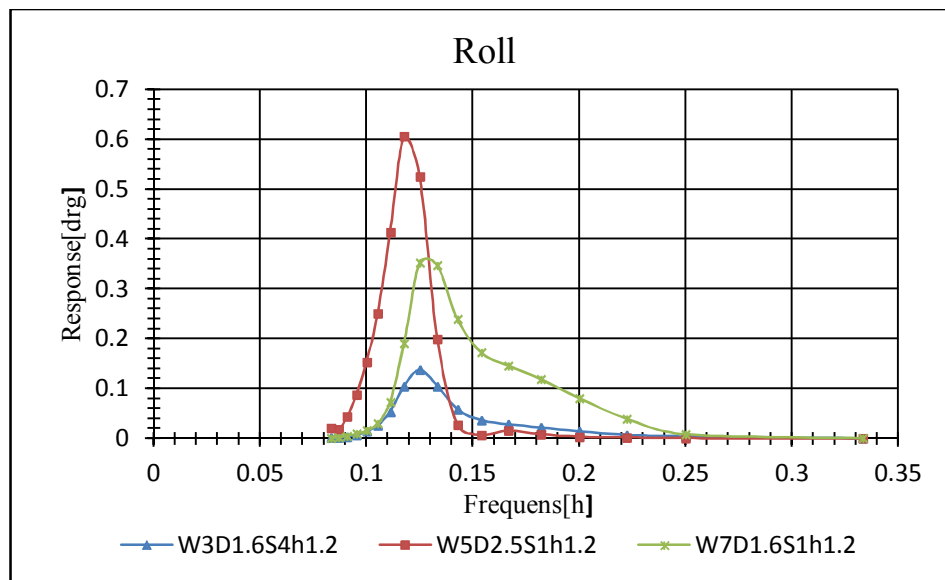
در این عرض نیز بهینه‌ترین مدل‌ها، مدل $W^D1/6S^1h^{1/2}$ برای حرکت Roll و $W^D2/5S^4h^{0.5}$

برای حرکت Sway می‌باشد.

پس از تعیین بهینه‌ترین مدل در هر عرض، حال به منظور تعیین بهترین مدل نهایی از بین سه عرض

فوق، به مقایسه پاسخ‌های بهترین مدل موجود در هر عرض می‌پردازیم. شکل (۵-۲۴) بیانگر این مقایسه

خواهد بود.



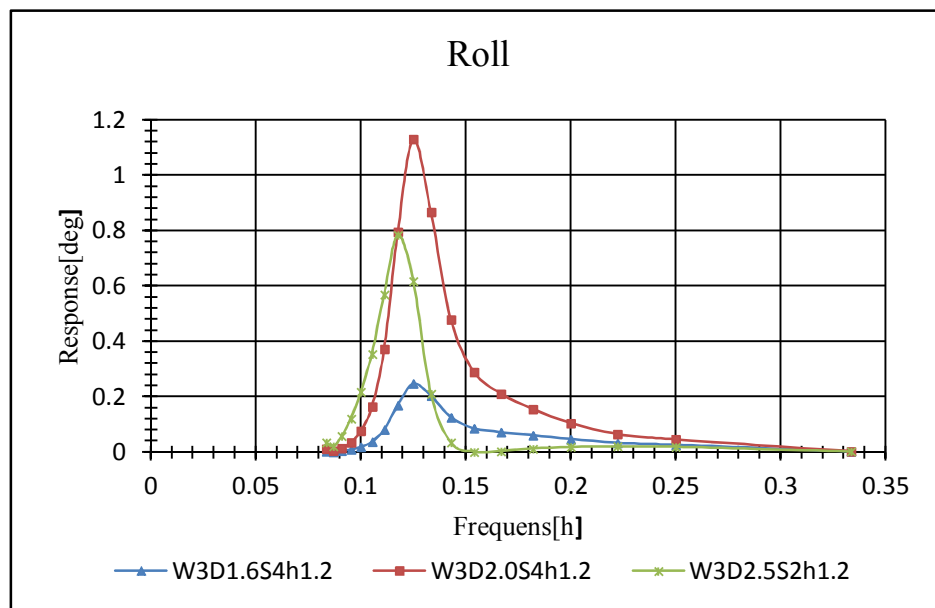
شکل (۵-۲۴) پاسخ بهینه‌ترین مدل برای موج برخوردی ۴۵ درجه

مشاهده می‌شود در صورتی که حرکت Roll را ملاک انتخاب قرار دهیم، بهترین مدل $W3D1/6S4h1/2$ ، و در صورتی که حرکت Sway را ملاک انتخاب بهترین موج‌شکن شناور قرار دهیم، بهترین مدل $W3D2/5S4h0/5$ خواهد بود. این ملاک انتخاب به نوع کاربری سازه وابسته است، به این معنی که اگر دلیل استفاده از سازه مصارف گردشگری باشد طبیعتاً ملاک طراحی حرکت Roll نخواهد بود و در صورتی که سازه صرفاً به منظور تضعیف موج بکار رود و مصرف توریستی نداشته باش مدلی کاربرد خواهد داشت که بر مبنی کمترین حرکت Roll طراحی شده باشد.

۵-۴-۲- تعیین مدل بهینه برای امواج برخوردی ۹۰ درجه

۵-۴-۱- مدل بهینه در عرض ۳ متر

این مدل های بهینه در شکل (۵-۲۵) نشان داده شده‌اند.

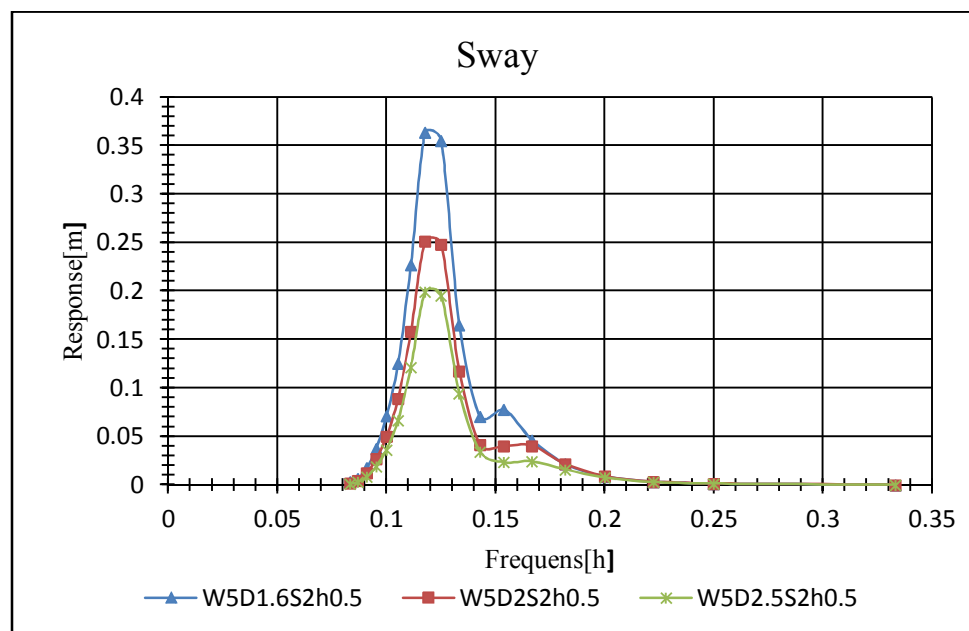
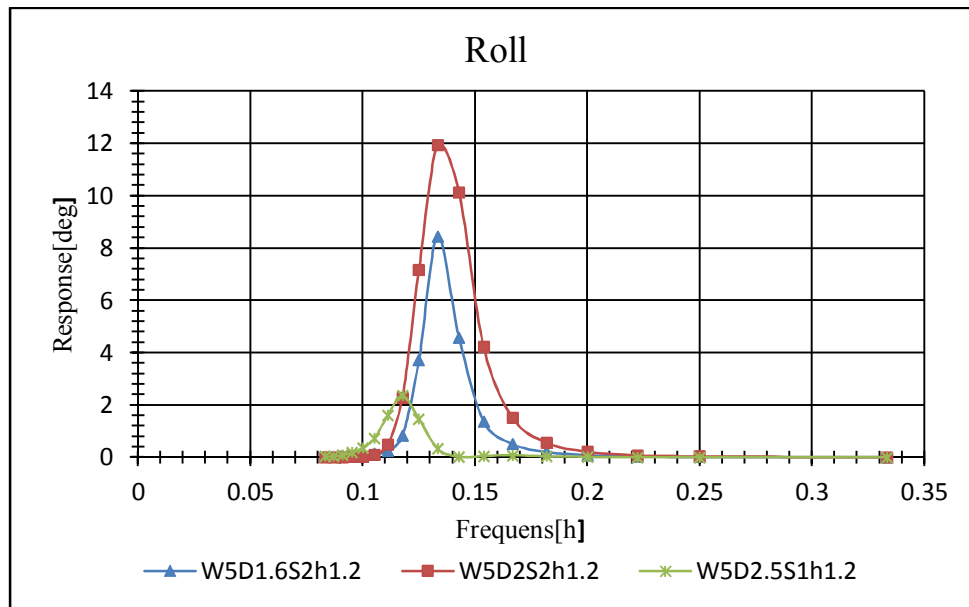


شکل (۵-۲۵) پاسخ بهینه‌ترین مدل ها در عرض ۳ متر و زاویه برخورد ۹۰ درجه

مشاهده می‌شود که همچون زاویه برخورد موج ۴۵ درجه، بهینه‌ترین مدل برای عرض ۳ متر در زاویه برخورد ۹۰ درجه نیز مدل $W3D1/6S4h1/2$ می‌باشد.

۵-۴-۲- مدل بهینه در عرض ۵ متر

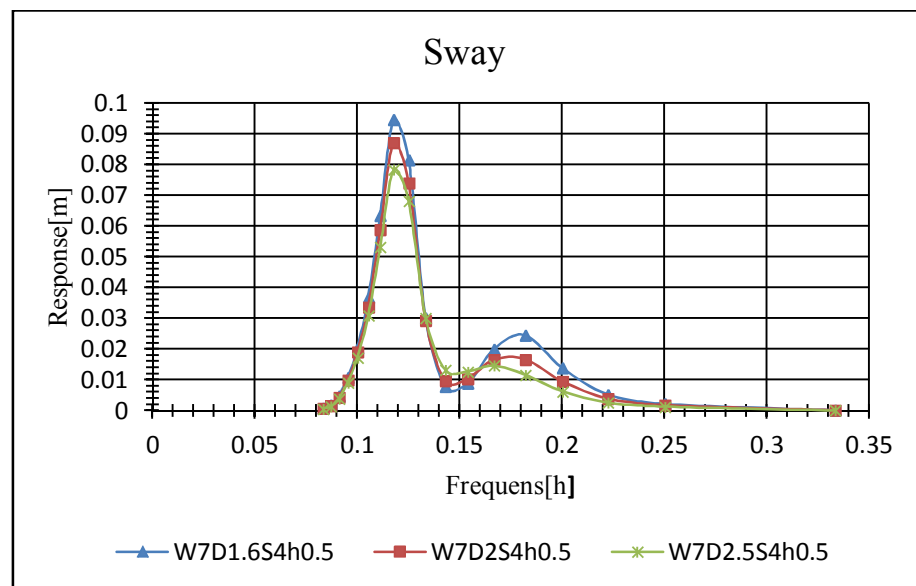
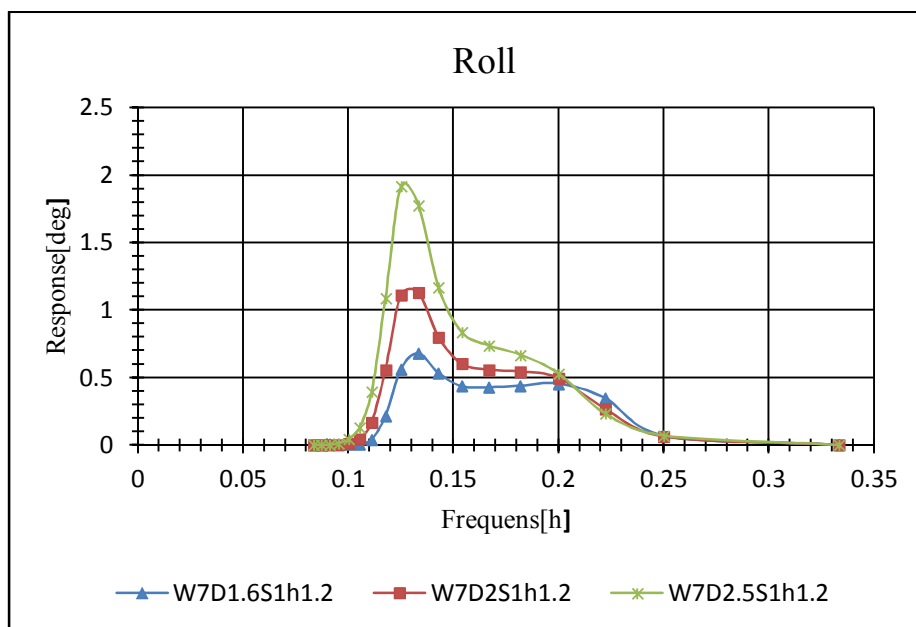
مدل های بهینه برای عرض ۵ متر در شکل (۵-۲۶) نشان داده شده اند. با مقایسه مقادیر پیک حرکت در نمودارهای موجود نتیجه می شود که مدل $W^0D^{2/5}S^{1/2}h^{1/2}$ بهینه ترین مدل برای حرکت Roll و مدل $W^0D^{2/5}S^{2/5}h^{0/5}$ برای حرکت Sway می باشد.



شکل (۵-۲۶) پاسخ بهینه ترین مدل ها در عرض ۵ متر و زاویه برخورد ۹۰ درجه

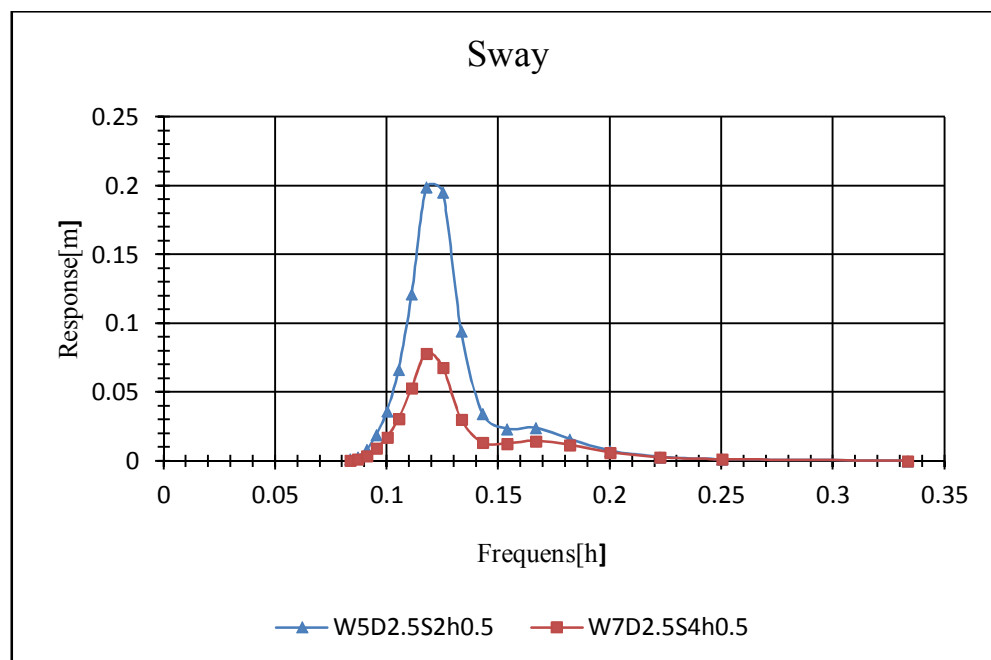
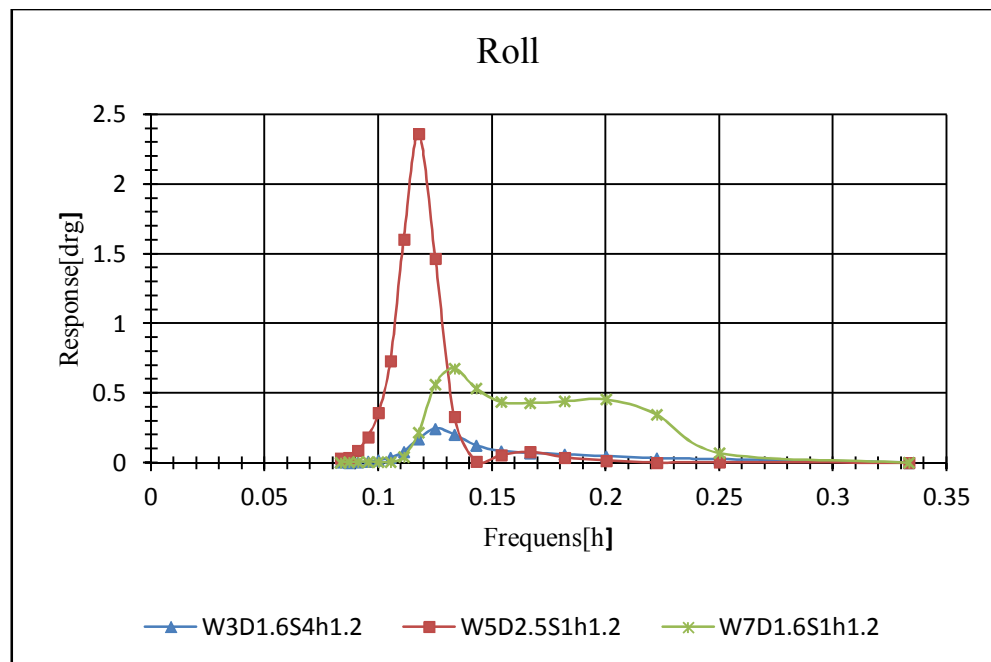
۵-۴-۳- مدل بهینه در عرض ۷ متر

نمودارهای مقایسه حرکت برای درجه آزادی Roll و Sway در عرض ۷ متر در شکل (۵-۲۷) نشان داده شده است. از مقایسه این نمودارها مشاهده می‌شود که در این عرض نیز بهینه‌ترین مدل ها، مدل $W^D1.6S^1h^{1/2}$ برای حرکت Roll و $W^D2.5S^1h^{0.5}$ برای حرکت Sway می‌باشد.



شکل (۵-۲۷) پاسخ بهینه‌ترین مدل ها در عرض ۷ متر و زاویه برخورد ۹۰ درجه

حال به مقایسه میان بهترین مدل های به دست آمده از مقایسات بالا پرداخته تا بهینه ترین مدل برای زاویه موج برخوردی مورد نظر دست آید. شکل (۵-۲۸) بیانگر این مقایسه خواهد بود.



شکل (۵-۲۸) پاسخ بهینه ترین مدل برای موج برخوردی ۹۰ درجه

از نمودارهای فوق نتیجه می‌شود در صورتی که حرکت Roll را ملاک انتخاب قرار دهیم، بهترین مدل $W^3D^{1/6}S^{41/2}$ ، و در صورتی که حرکت Sway را ملاک انتخاب بهترین موج‌شکن شناور قرار دهیم، بهترین مدل $W^2D^{2/5}S^{40/5}$ خواهد بود.

فصل ششم:

نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای

تحقیقات آینده

۶-۱- مقدمه

در این پایان نامه ابتدا عملکرد ۳ نوع موج شکن شناور پانتونی، T شکل و π شکل مورد مطالعه قرار گرفت. سپس تأثیر افزودن تیغه‌های میراگر به موج شکن‌های π شکل، بر راندمان این سازه بررسی گردید و با تغییر پارامترهای هندسی موثر بر طراحی سازه و برازش منحنی‌های پاسخ به دست آمده از مدل‌های ساخته شده، بهینه‌ترین مدل اجرایی منطبق بر شرایط دریایی بندرانزلی در درجات آزادی حاکم بر سازه به دست آمده است.

در این تحقیق تأثیر عوامل مختلف همچون عرض، عمق آب‌خور، ارتفاع صفحه عمودی و عرض تیغه افقی بر پاسخ موج شکن‌های شناور، توسط نرم‌افزار MOSES_۷,۰۵,۰۴ مورد بررسی قرار گرفت که اهم نتایج به دست آمده از این پژوهش در زیر ارائه شده است.

۶-۲- نتیجه‌گیری

- با افزودن یک صفحه عمودی در کف پانتون شناور پاسخ‌های حرکتی موج شکن کاهش می‌یابد. این تیغه اگر در جلوی پانتون شناور (سمت برخورد امواج دریا) قرار گیرد منجر به عملکرد بهتر موج شکن شناور نسبت به زمانی که در قسمت میانی آن نصب می‌شود خواهد داشت.
- افزایش تعداد صفحات عمودی زیرین منجر به افزایش راندمان موج شکن شناور خواهد شد، بنابراین نوع π شکل کارایی بهتری نسبت به نوع T شکل خواهد داشت. دلیل این امر شکل‌گیری گردابه‌های موج در طرفین بخش زیرین سازه می‌باشد.
- افزودن تیغه‌های افقی (میراگر) به انتهای صفحات عمودی در موج شکن‌های شناور π شکل، مقدار حرکت Roll را کاهش داده اما پاسخ‌های Surge و Pitch را به میزان بسیار ناچیزی افزایش می‌دهد.

- میزان نفوذپذیری تیغه‌های مورد استفاده بر عملکرد موج‌شکن شناور موثر بوده و در صورتی که از تیغه نفوذناپذیر استفاده شود سازگاری موج‌شکن با محیط بیشتر خواهد بود
- زاویه موج برخوردی بر عملکرد موج‌شکن شناور موثر است، با افزایش زاویه برخورد از ۴۵ به ۹۰ درجه مقادیر پیک پاسخ‌ها افزایش می‌یابد.
- تغییر زاویه موج برخوردی بر تعیین مدل بهینه برای هر عرض تاثیری نخواهد داشت.
- با توجه به نوع حرکت غالب، تعیین بهینه‌ترین مدل برای عرض‌های ۳، ۵ و ۷ متر، به نوع کاربری سازه مربوط می‌شود. در صورتی که سازه در کنار تضعیف موج برخوردی کاربری گردشگری نیز داشته باشد از مدلی استفاده می‌شود که پاسخ Roll کمتری را دارا باشد.
- با توجه به شرایط محیطی حاکم بر منطقه بندر انزلی، بهینه‌ترین مدل در عرض ۳ متر با توجه به غالب بودن حرکت Roll مدل $W^3D^1/S^4h^{1/2}$ است. برای عرض ۵ متر نیز، مدل $W^5D^2/S^5h^{1/2}$ برای حرکت Roll و $W^5D^2/S^5h^{1/2}$ برای حرکت Sway دارای بالاترین راندمان می‌باشند. در عرض ۷ متر نیز بهینه‌ترین مدل ها، مدل $W^7D^1/S^7h^{1/2}$ برای حرکت Roll و $W^7D^2/S^7h^{1/2}$ برای حرکت Sway می‌باشد.
- در نهایت با توجه به نوع کاربری موج‌شکن شناور مزبور، در صورتی که حرکت Roll را ملاک انتخاب قرار دهیم، بهترین مدل $W^3D^1/S^4h^{1/2}$ و در صورتی که حرکت Sway را ملاک انتخاب بهترین موج‌شکن شناور قرار دهیم، بهترین مدل $W^7D^2/S^7h^{1/2}$ خواهد بود.

۳-۶- پیشنهادها برای تحقیقات آینده

با توجه به افزایش روزافزون استفاده از موج‌شکن‌های شناور و به جهت بهبود روش‌های طراحی و ساخت این موج‌شکن‌ها، نیاز به تحقیقات جامع تر و کامل تری در زمینه اندرکنش آب و این سازه احساس می‌شود. با توجه به بررسی‌های انجام یافته در این پژوهش اهم موضوعاتی که نیاز به تحقیق بیشتر دارند عبارتند از:

- بررسی و تعیین فاصله بهینه موج‌شکن شناور از ساحل جهت دستیابی به بهترین بازده
- بررسی تأثیر شکل تیغه‌های زیرین در عملکرد موج‌شکن‌های شناور π شکل
- بررسی تأثیر ایجاد فاصله میان پانتون‌های موج‌شکن شناور π شکل در عملکرد آن و تعیین فاصله بهینه در این موج‌شکن‌های دابل
- بررسی رفتار موج‌شکن‌های شناور طویل و مقایسه آن با رفتار پانتون‌های متصل شده به یکدیگر با همان طول
- بررسی تغییر طول مهاربندی در اثر نوسانات جزر و مدی
- بررسی ضرورت کاربرد موج‌شکن‌های شناور با توجه به هیدروگرافی بستر مناطق دریایی کشور
- بررسی تأثیر طراحی دیوارهای بیرونی موج‌شکن بصورت حفره‌دار در افزایش استهلاک انرژی (موج‌شکن‌های نوع جارلن)^۱

^۱ Jarlan

فهرست مراجع

- [1] Ozeren, Y., (2009). "Experimental and Numerical Investigations of Floating Breakwater Performance". Ph.D. thesis. University of Mississippi.
- [2] Fousert, M.W., (2006). Master thesis: "Floating Breakwater (Theoretical study of a dynamic wave attenuating system)". Delft University of Technology.
- [۳] خلیلی ه، (۱۳۸۹)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "بهینه سازی هندسه موج شکن شناور برای افزایش راندمان"، دانشگاه تربیت مدرس.
- [4] lyndell z. Hales, (1981). "Floating Breakwaters: State-of-the-Art Literature" Review. u.s. Army Engineer Waterways Experiment Station p.o. Box 631, Vickburg, Miss. 39180.
- [۵] چگینی و، (۱۳۷۷)، "راهنمای طراحی موج شکن ها"، شرکت جهاد تحقیقات آب و آبخیزداری.
- [6] McCartney, B.L., (1985). "Floating Breakwater Design", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering.
- [۷] فتوحی ن، (۱۳۸۶)، "پروژه طرح توسعه بخش دریایی بندر انزلی، گزارش هیدرودینامیک، مطالعات بخش اول".
- [۸] شفیعی فر م، نجفی جیلانی ع، پناهی ر، صناعی م، رضایی مزیک ا، (۱۳۹۰). "امکان سنجی استفاده از موج شکن شناور در آب های ایران"، چهارمین همایش ملی صنایع فراساحل، اردیبهشت ماه ۱۳۹۰.
- [9] Arnuchalam, V.M., (1982). "Experimental studies on a perforated horizontal floating plate breakwater". Ocean Engineering.
- [۱۰] فروزنده ن، (۱۳۸۴)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "بررسی عملکرد موج شکن های شناور پانتونی با استفاده از مدل های فیزیکی"، دانشگاه صنعتی سنهد تبریز.
- [11] Bayram A, (2000), "Experimental study of a sloping float breakwater", Ocean Engineering.

[۱۲] بهزاد م، اکبری م، چگینی و، (۱۳۷۹)، " بررسی تجربی تاثیر عرض و آبخوره سازه در عملکرد هیدرولیکی موج شکن های شناور"، چهارمین کنفرانس بین المللی مهندسی سواحل، بنادر و سازه های دریایی. مجتمع بندری شهید رجائی. بندر عباس - ایران.

[۱۳] علی یاری ف، آق تومانی پ، وفایی ف، سلطانپور م، (۱۳۸۶)، "بررسی تاثیر آبخور موج شکن شناور پانتونی تک بر نیروهای مهار آن با استفاده از مدل آزمایشگاهی"، ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران.

[14] Behzad, M., Akbari, M., (2007), Shiraz University: "Experimental Investigation on Response and Efficiency of Moored Pontoon Type Floating Breakwater". Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering, Vol. 31, No. B1, pp 95-99.

[15] Blumberg, G. P., Cox, R. J., (1988). "Floating breakwater physical model testing for marina applications", Bulletin of the Permanent International Association of Navigation Congresses No. 63, 1988, p. 5-13.

[۱۶] سهیلی صادقی م ر، (۱۳۷۸)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "بررسی عملکرد موج شکن های شناور شیبدار با استفاده از مدل فیزیکی"، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.

[17] Vittal Hegde, A., Kiran, K., Magadum, A, (2007), "Performance Characteristics of Horizontal Interlaced Multilayer Moored Floating Pipe Breakwater", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering.

[18] Koutandos, E., Prinos, P., Gironella, X., (2005). "Floating breakwaters under regular and irregular wave forcing: reflection and transmission characteristics". Journal of Hydraulic Research Vol. 43, No. 2.

[19] Christian, C.D., (2000). "Floating Breakwaters for Small Boat Marina Protection". Proc. 27th Coastal Engineering Conference.

[20] Wang, H.Y., Sun, Z.C., (2009). "Experimental study of a porous floating breakwater". Ocean Engineering.

[21] Sannasiraj, S.A., Sundar, V., Sundaravadivelu, R., (1998). "Mooring forces and motion responses of Pontoon-type Floating Breakwaters". Ocean Engng, Vol. 25, No. 1, pp. 27~8, 1998.

- [22] Martinelli,L., Ruol,P., Zanuttigh, B., (2008). "Loads on Floating Breakwaters: Effect of Layout under IrregularWaves".Coastal Engineering (2008)3875-3887.
- [23] Gesraha,M.R., (2007). "Analysis of π shaped floating breakwater in oblique waves". Applied Ocean Research 327–338.
- [24] Martinelli,L ., Ruol,P., Zanuttigh, B., (2008). "Wave basin experiments on floating breakwaters with different layouts". Applied Ocean Research 30 (2008) 199_207.
- [25] Kee,T.K., (2005), "Floating Pontoon-Membrane Breakwater in the Oblique Seas".KSCE Journal of Civil Engineering,vol.9, no. 4, pp.271-278.
- [27] O.S. Rageh ,A.S. Koraim ,T.N. Salem." Hydrodynamic efficiency of partially immersed caissons supported on piles". April 2008.
- [28] Elchahal,G. and Younes,R. and Lafon,P., (2008), "The effects of reflection coefficient of the harbour sidewall on the performance of floating breakwaters".Ocean Engineering35.1102–1112.2008.
- [29] Ioanna Diamantoulaki , Demos C. Angelides.." Modeling of cable-moored floating breakwaters connected with hinges". January 2011. Engineering Structures 33 (2011) 1536–1552.
- [30] Fang He, Zhenhua Huang , Adrian Wing-Keung Law. "Hydrodynamic performance of a rectangular floating breakwater with and without pneumatic chambers". An experimental study. Received 18 October 2011.
- [31] Constantine Michailides, Demos C. Angelides." Modeling of energy extraction and behavior of a Flexible Floating Breakwater". Department of Civil Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki 54124, Greece. August 2011.
- [32] Zhi-jie CHEN, Yong-xue WANG, Hua-yang DONG, Bin-xin ZHENG." Time-domain hydrodynamic analysis of pontoon-plate floating breakwater".Water Science and Engineering, 2012, 5(3): 291-303.

[۳۳] فروزنده ن، حکیم زاده ح، آق تومان پ، خانیکی ع، (۱۳۹۰) "بررسی آزمایشگاهی تاثیر آبخور، جرم و ارتفاع تیغه موج شکن شناور پانتونی تیغه دار بر میزان ضرایب انتقال و بازتاب در معرض امواج نامنظم". نشریه مهندسی دریا.

[۳۴] دلاور ا، حکیم زاده ح، چناقلو م ر، (۱۳۸۶)، "کاربرد شبکه عصبی مصنوعی جهت برآورد میزان ضریب انعکاس و انتقال موج شکن شناور پانتونی"، سومین کنگره ملی مهندسی عمران.

[۳۵] هادیان م، شفیعی فر م، پاییز و زمستان (۱۳۸۹)، "بررسی اثر مختصات مهاربندی بر نیروهای مهاری شناورهای پانتونی چند ردیفه"، فصلنامه مهندسی دریا، شماره ۱۲.

[۳۶] نجفی جیلانی ع، شفیعی فر م، رضایی مزیک ا، صناعی م، آبان ماه (۱۳۹۰)، "مطالعه عددی عملگرهای دامنه حرکتی (RAO) موج شکن شناور پانتونی دوبل"، دهمین کنفرانس هیدرولیک ایران.

[۳۷] طباطبایی م ر، زراعتگر ح، کتابداری م ج، رضائاد ک، (۱۳۹۰) "آنالیز هیدرودینامیکی موج شکن های شناور پانتونی مهارشده به روش المان محدود"، سیزدهمین همایش ملی صنایع دریایی.

[۳۸] رضایی مزیک ا، صناعی م، نجفی جیلانی ع، شفیعی فر م، پناهی ر، ۱۷ الی ۱۹ آبان (۱۳۹۰) "مطالعه عددی ضریب عبور موج در موج شکن های شناور پانتونی و کاتاماران"، سیزدهمین همایش صنایع دریایی.

[۳۹] عجمی م، شفیعی فر م، (۱۳۸۲)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "بهینه سازی هیدرودینامیکی فرم هندسی بدنه سکوها های نیمه مغروق با استفاده از روش وراثتی اصلاح شده"، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.

[۴۰] تاجعلی ز، شفیعی فر م، (۱۳۸۷)، پایان نامه کارشناسی ارشد، " بررسی رفتار هیدرواستاتیکی و هیدرودینامیکی اسکله های شناور زنجیره ای"، دانشگاه تربیت مدرس.

[41] Chakrabarti SK. (2000), "Hydrodynamic interaction forces on multi-moduled structures", Ocean Engineering; 27(10):1037}64.

[42] Scott Percival, Dane Hendrix, Francis Nobless,(2001). " Hydrodynamic Optimization of Ship hull forms". Applied Ocean Research, 23.332-355.

[43] API Recommended Practice 2SK, December (1996)," Recommended Practice for Design and Analysis of Station keeping Systems for Floating Structures ", Second Edition, American Petroleum Institute.

[44] MOSES Version 5.09.027, 1999, Reference Manual, Ultra Marine.

[45] WAMIT Version5.4, 1998, " A Radiation –Diffraction Panel program for Wave-Body Interaction", MIT.

[46] Bartrop. N.D.P, (1998), "Offshore structures: Guidelines for the design of floating structures",The Center for Marine and Petroleum Technology (CMPT),Volume One.

[47] Dutch Floating Breakwaters & Floating Structure Technology -www.fdn-engineering.nl

[۴۸] صناعی م، (۱۳۹۰)، پایان نامه کارشناسی ارشد، " مطالعه آزمایشگاهی موج شکن شناور دابل"، دانشگاه تربیت مدرس.

[49] Faltinsen. M. o, (1990), "Sea Loads on Ships and Offshore Structures", Cambridge University Press.

[۵۰] کتابداری م ج، عباسی ح،(۱۳۸۵)، " اعتبار روشهای پیرسون مسکوویچ و جان سواپ و SPM در برآورد ارتفاع امواج منطقه بوشهر"، هشتمین همایش ملی صنایع دریایی ایران.

Abstract

Floating breakwaters are used to develop a safe environment that protects shoreline structures against impact of the waves. Using these breakwaters in places that the sea has an unstable bed for bearing the force of the materials and also in places with relatively deep depth, is substantially economical. There has been done some vast projects on our country's shorelines and on the other hand because of the importance of designing shore protection structures that are practical and economically justified, floating breakwaters can be mentioned as one of the most important protection structures in these shores. Therefore the necessity of acquiring technical knowledge of the designing and the constructing of floating breakwaters, and also lack of practical experience in our country, shows the importance of investigating the aspects of this matter.

Studies done so far on floating breakwaters, have most of the time focused on hydraulic properties of these structures like the coefficient of wave transmittance and the coefficient of wave reflection. So there's a serious need to investigate the structural behavior of these breakwaters and assessing their compatibility with the environment. In this study operation of π shaped floating breakwaters and the effect of adding damper screens on reducing movement responses are investigated. To achieve this purpose operation of these breakwaters for different breakwater widths, draft, height of the vertical face, and width of the horizontal screens have been studied and assuming a varying geometrical body shape for the structure and setting the criteria as to the best seakeeping performance, models of the abovementioned structure have been optimized for environmental conditions of the Caspian sea.

To develop the numerical model for the mentioned breakwater the software MOSES_7.05.042 has been used. To improve the practical aspect of the study, the simulation parameters and conditions have been chosen to suit governing conditions of the Caspian sea shorelines in Anzali port area.

The results show that the draft is an important parameter for the matter of the floating breakwater efficiency. Also increasing the width of the structure is really effective for reducing the floating breakwater's response. Furthermore, adding horizontal damper screens at the end of the vertical faces reduces rolling movements.

Keywords: π shaped floating breakwaters, coefficient of wave transmittance, compatibility with the environment, movement response, MOSES.



Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

**Developing an Efficient Hull Geometric Design of Offshore Floating
Breakwaters to Assessing the Best seakeeping analysis**

Majid Mortezaei

**Supervisors:
Dr.Reza Naderi
Dr.Mahdi Ajami**

February 2014