

الگوی تغییرات ارتفاع موج اطراف موج شکن شناور پانتونی

احمد رضایی مزیک*، مهدی صنایعی، مهدی شفیعی فر، روزبه پناهی

گروه سازه هیدرولیکی و دریایی، دانشکده عمران محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱/۲۱

چکیده

موج شکن های شناور برای ایجاد یک محیط آرام در مقابل امواج، به صورت موقت یا دائم به کار می روند. در این پژوهش، برای بررسی عملکرد هیدرودینامیکی موج شکن شناور پانتونی از ماژول AQWA نرم افزار ANSYS استفاده شده است. از مهم ترین پارامترهای مورد بررسی در این تحقیق می توان به الگوی تغییرات ارتفاع موج مشخصه، عمق آبخور، پریو موج برخوردی و عرض پانتون اشاره نمود. با توجه به بررسی الگوی تغییرات ارتفاع موج مشخصه، می توان ضریب عبور موج را در هر نقطه دلخواه پشت موج شکن شناور محاسبه نمود. نتایج حاصل از مدل سازی عددی بیانگر آن است که با انتخاب عرض نسبی بزرگ تر از ۰/۴ عملکرد موج شکن شناور مناسب است. همچنین با انتخاب پارامتر پریود نسبی (To) در محدوده ۴-۱/۵ برای موج شکن شناور پانتونی می توان ضریب عبور موجی در حدود ۰/۶۰-۰/۳۵ انتظار داشت.

واژه های کلیدی: موج شکن شناور پانتونی، ANSYS AQWA، الگوی تغییرات ارتفاع موج مشخصه، ضریب عبور موج

* نویسنده مسوول، پست الکترونیک: a.rezaemazyak@modares.ac.ir

۱- مقدمه

با وجود حجم قابل توجه فعالیت‌های انجام گرفته در مناطق ساحلی، طراحی سازه‌های حفاظت ساحل با هزینه کم، یک نیاز اساسی برای بنادر کوچک است. موج‌شکن‌ها (ثابت و شناور) سازه‌هایی هستند که با انعکاس و استهلاک انرژی موج برخوردی و کاهش ارتفاع موج در سمت آرام موج‌شکن سبب حفاظت خط ساحل و سازه‌های ساحلی می‌شوند.

هر چند موج‌شکن‌های ثابت همواره عملکرد حفاظتی بالاتری را نسبت به موج‌شکن‌های شناور فراهم می‌کنند، اما موج‌شکن شناور یک راه حل کم هزینه نسبت به موج‌شکن ثابت است که می‌تواند به صورت کارآ در مناطقی با شرایط آرام به کار گرفته شود.

مطالعات متعددی برای بررسی عملکرد موج‌شکن‌های شناور انجام گرفته‌است. پژوهش‌های انجام گرفته در این زمینه را می‌توان به مطالعات عددی و آزمایشگاهی طبقه‌بندی نمود. پاره‌ای از مطالعات عددی و آزمایشگاهی انجام گرفته در زمینه موج‌شکن شناور و اهم نتایج آن‌ها در زیر مورد اشاره قرار گرفته است.

از جمله مطالعات انجام گرفته به موارد زیر می‌توان اشاره نمود. Ruol, Martinelli (2002) دینامیک موج‌شکن شناور را تحت امواج خطی و غیر خطی با استفاده از روش عددی ALE (Arbitrary Lagrangian Eulerian) مورد بررسی قرار داد. Lee و Cho (2002)، طی مطالعات گسترده‌ای اثر نیروی رانش موج بر

کشش مهارها و عملکرد موج‌شکن شناور را با روش BEM (Boundary Element Method) مورد بررسی قرار دادند. Li و Huang, Liang (2003) با استفاده از روش‌های تحلیلی ساده، ضریب عبور موج و کشش در کابل‌های کج را مورد بررسی قرار دادند. نتایج به‌دست آمده از پژوهش مورد نظر نشان داد که فاصله بین ردیف موج‌شکن‌های قرار گرفته بر عملکرد این نوع موج‌شکن موثر است.

Kee (2005) طی دو پژوهش جداگانه تاثیر اعضای متخلخل بر اندرکنش موج و سازه و نیز عملکرد موج‌شکن‌های شناور متخلخل دویل را با استفاده از روش عددی multi-domain BEM مورد مطالعه قرار داد. Rahman, Mizutani و Kawasaki (2005 و 2006) با استفاده از روش حجم سیال (VOF) مطالعاتی را در زمینه عملکرد هیدرودینامیکی موج‌شکن شناور مستغرق انجام داد. Koo (2009) عملکرد موج‌شکن شناور بادی را مورد بررسی قرار داد. موج‌شکن شناور بادی مانند موج‌شکن شناور کاتاماران می‌باشد با این تفاوت که یک مخزن هوا در میان دو پانتون قرار گرفته است. با توجه به میرایی ناشی از مخزن هوا کارایی این نوع موج‌شکن شناور در برابر امواج بلند نیز مناسب می‌باشد.

Tamjidian و Ketabdari (2007)، در یک مطالعه عددی حرکات موج‌شکن شناور تحت اثر ضربه امواج در حال شکست را مورد بررسی قرار دادند. Khalili (2009)، با استفاده از نرم‌افزار MOSES، به بهینه‌سازی هندسه موج‌شکن شناور برای افزایش راندمان آن پرداخته‌اند.

پریودهای کوچک رفتار موج‌شکن تا حدی به شیب بستگی پیدا؛ برای امواج تابشی با ارتفاع کم و پریودهای بالا رفتار موج‌شکن مستقل از شیب است. (2005) Forouzande عملکرد موج‌شکن شناور پانتونی و پانتونی تیغه‌دار (T شکل) را بررسی کردند. با توجه به نتایج مدل آزمایشگاهی، می‌توان گفت با افزایش عمق آب‌خور سازه ضریب انتقال موج‌شکن شناور کاهش می‌یابد که علت اصلی آن در افزایش جرم موج‌شکن شناور است.

با توجه به این نکته که در تمامی تحقیقات اشاره شده، تنها ضریب عبور موج مورد بررسی قرار گرفته، در تحقیق حاضر، بررسی الگوی تغییرات ارتفاع موج در مقابل و پشت موج‌شکن شناور با توجه به پارامترهایی از قبیل پریود موج و عرض پانتون، مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی الگوی تغییرات ارتفاع موج برای اطمینان از آرامش بنادر تحت امواج یکی از پارامترهای مهم است. نتایج حاصل از مدلسازی عددی نشان دهنده این نکته است که با افزایش عرض پانتون عملکرد موج‌شکن شناور افزایش می‌یابد؛ اما با افزایش پریود موج تغییرات ارتفاع موج در مقابل و پشت موج‌شکن شناور کاهش می‌یابد.

محاسبه‌ی نیروهای ناشی از موج به سبب تداخل و همراهی آن با بحث اندرکنش سازه و سیال، بسیار پیچیده و مشکل است و اساساً بیش‌تر تئوری‌های دقیق تعیین این نیروها بر پایه تئوری‌های غیرخطی موج و نیز قبول تصادفی بودن امواج و شرایط محیطی دریاست و این فراگیری و

علاوه بر مطالعات عددی، خلاصه از نتایج مطالعات آزمایشگاهی در این بخش ارائه شده است. Sannasiraj, Sundar و Sundaravadivelu (1996) نیروهای مهار و پاسخ‌های حرکتی موج‌شکن شناور پانتونی را برای انواع مختلف الگوی مهاربندی مورد مطالعه قرار دادند. Murali و Mani (1997) عبور و انعکاس موج در موج‌شکن‌های صندوقه‌ای را مورد مطالعه و بررسی قرار دادند.

Koutandos, Prinos و Gironella (2005) میلادی و همکاران طی مطالعات آزمایشگاهی حدود قابل قبول برای ضرایب عبور، انعکاس را برای موج‌شکن شناور نفوذ ناپذیر و متخلخل به دست آوردند. Ruol, Martinelli و Zanuttigh (2008) نیروهای مهار و ضریب عبور موج را طی انواع جانمایی موج‌شکن شناور مورد مطالعه قرار دادند. Ozeren (2009) عبور، انعکاس و شکست موج را در موج‌شکن‌های شناور لوله‌ای مورد مطالعه قرار داد. Wang و Sun (2009) عبور، انعکاس، استهلاك انرژی موج و نیروهای مهاری را در موج‌شکن‌های متخلخل مورد مطالعه قرار دادند.

Akbari (1999)، عملکرد چهار نوع موج‌شکن شناور پانتونی، پانتونی با بدنه انحنادار، کاتاماران و کاتاماران با بدنه انحنادار را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که با افزایش پریود ضریب انتقال موج افزایش و با افزایش عرض سازه ضریب انتقال موج کاهش می‌یابد.

Sadeghi (1999)، عملکرد موج‌شکن شناور شیب‌دار را بررسی کرد. نتایج آزمایش‌های بیانگر این است که برای

دینامیکی و سینماتیکی سطح، شرط بستر دریا و سایر شرایط مرزی، مهمترین شرط مرزی که برای استفاده از این نرم‌افزار باید رعایت گردد، مشخص کردن سطحی از جسم شناور است که در زیر سطح آب قرار می‌گیرد.

برای مدل‌سازی سازه‌های شناور دو نوع مش تعریف می‌شود. اگر قسمتی از سازه زیر سطح آب باشد، المان تفرق تعریف می‌شود و اگر بالای سطح آب باشد، المان مربعی تعریف می‌گردد که المان‌های تعریف شده در بالای سطح آب در عملکرد موج‌شکن شناور تاثیر چندانی ندارد و نرم‌افزار قابلیت محاسبه فشار موج بر آن‌ها را ندارد.

ماکزیمم اندازه المان‌های مورد استفاده با توجه به ماکزیمم فرکانس وارد به سازه تعریف می‌شود. کوچک‌ترین پریود مورد بررسی در این تحقیق، ۲ ثانیه فرض گردیده است. با توجه به پریود ۲ ثانیه ماکزیمم فرکانس موج برخوردی ۰/۵۰ هرتز در نظر گرفته شده است. با توجه به فرکانس تعریف شده ماکزیمم بعدی که برای المان‌های مورد بررسی می‌توان در نظر گرفت برابر ۱ متر است.

در شکل (۱) مش‌های زیر سطح آب (المان‌های تفرق) با رنگ آبی و مش‌های عادی با رنگ زرد نشان داده شده‌اند.

۳. نتایج

در تحقیق انجام شده برای صحت‌سنجی نتایج با توجه به مدل‌های آزمایشگاهی مهاربندی موج‌شکن شناور، کتنری در نظر گرفته شده است، اما برای مدل‌سازی عددی موج‌شکن شناور پانتونی با توجه به مزیت‌های کابل‌های

عمومیت، موضوع را بیش از پیش مشکل می‌کند (Chakrabarti, 1994).

هنگامی که ابعاد سازه و اجزای آن در مقایسه با طول موج قابل ملاحظه و بزرگ باشد ($D/L > 1$) انتظار می‌رود که حضور سازه در میدان موج اطراف آن تلاطم‌های اضافی ایجاد کند و لذا موج بعد از برخورد به سازه دچار تفرق و شکست خواهد شد و باید این پدیده در محاسبه نیروی امواج مدنظر قرار گیرد؛ برای محاسبه نیروی موج در چنین حالتی از تئوری تفرق-انتشار استفاده می‌گردد (Chakrabarti, 1994).

تئوری تفرق-انتشار که در این پژوهش برای بررسی عملکرد موج‌شکن شناور استفاده می‌گردد، تئوری تفرق-انتشار سه بعدی می‌باشد. با توجه به نرم‌افزار انتخابی، برای محاسبه نیروهای هیدرودینامیکی و حرکات موج‌شکن شناور در امواج، از روش پانل سه بعدی (3-D Panel Method) استفاده گردیده است.

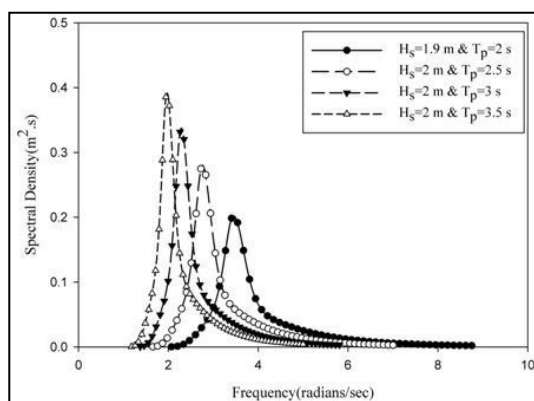
۲- مواد و روش‌ها

در این پژوهش، برای مدل‌سازی عددی موج‌شکن شناور از ماژول AQWA نرم‌افزار اجزا محدود ANSYS استفاده شده است. این نرم‌افزار قابلیت تحلیل سه بعدی تئوری تفرق-انتشار کلاسیک را حول اجسام شناور را دارد و با استفاده از آن می‌توان نیروی تفرق، جرم افزوده و میرایی منتشر شده را محاسبه کرد.

از نکات اساسی که در مدل‌سازی عددی بایستی مد نظر قرار گیرد، اعمال شرایط مرزی است. علاوه بر شرط مرزی

موج‌شکن شناور در سواحل خلیج فارس بیش از دریای عمان و دریای خزر است (Shafieefar et al, 2010). با توجه به این که طول بادخور در خلیج فارس محدود است، استفاده از طیف جانسوآپ با شرایط واقعی انطباق بیشتری دارد. برای مشخص نمودن طیف جانسوآپ نیاز است سه پارامتر ارتفاع و پریود موج و γ را مشخص نمود. در تحقیق حاضر، ارتفاع و پریود موج به صورت متغیر و γ برابر $3/3$ در نظر گرفته شده است.

نمونه‌ای از طیف‌های مورد بررسی که توسط نرم‌افزار تولید شده، در شکل (۲) نشان داده شده است.

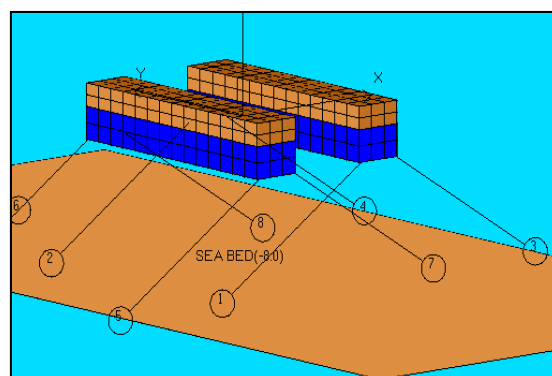


شکل (۲): طیف جانسوآپ تولید شده به وسیله نرم‌افزار

به منظور آگاهی از توانایی نرم‌افزار در شبیه‌سازی موج‌شکن شناور و صحت‌سنجی نتایج مدلسازی عددی، از نتایج مدل‌های آزمایشگاهی بررسی شده در مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی، استفاده شده است.

فلوم موج مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی دارای 33 متر طول، $5/5$ متر عرض و

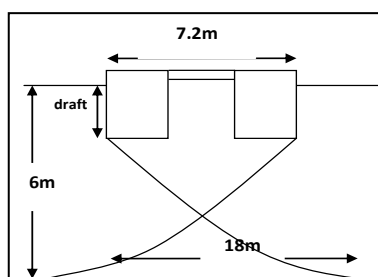
سفت که در مراجع مختلف ذکر شده (Hadian 2007)، از این نوع مهاربندی استفاده شده است. جنس مهاربندها می‌تواند انواع مختلفی داشته باشد؛ ولیکن به‌طور کلی مهاربندها باید دارای الاستیسیته کافی برای جذب حرکات شناور باشند.



شکل (۱): مشاهده مش‌بندی پانتون موج‌شکن شناور

پلیمری که امروزه بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد، پلی‌استر است؛ زیرا هزینه کم و دوام بالایی دارد. با توجه به این که اطلاعات دقیقی در مورد جنس مصالح مهارها در دسترس نبود، فرض شد این ماده دارای مدول الاستیسیته-ای در حدود 3 گیگاپاسکال، تنش تسلیم 50 مگاپاسکال، چگالی $1/3$ تن بر متر مکعب است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، چگالی پلی‌استر از آب دریا بیشتر است و مانند پلیمرهای سبک‌تر بر روی آب شناور نمی‌ماند. در این تحقیق قطر کابل‌های پلی‌استری 100 میلی‌متر انتخاب شده است.

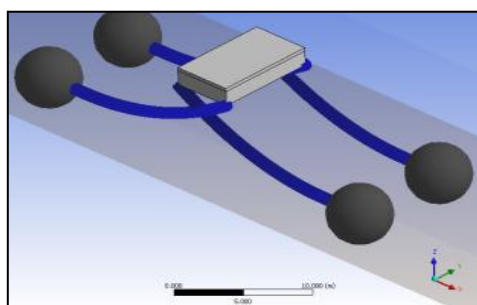
در تحقیق حاضر برای بررسی عملکرد موج‌شکن شناور حالت واقعی دریا (موج نامنظم) در نظر گرفته شده است. با توجه به امکان‌سنجی استفاده از موج‌شکن‌های شناور در آب‌های ایران، مشخص گردیده که شرایط استفاده از



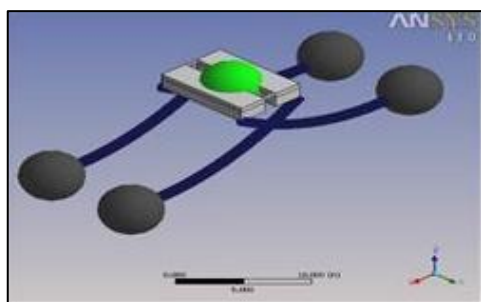
(ب)

شکل (۳): مدل آزمایشگاهی (الف) موج شکن شناور پانتونی

(ب) موج شکن شناور کاتاماران



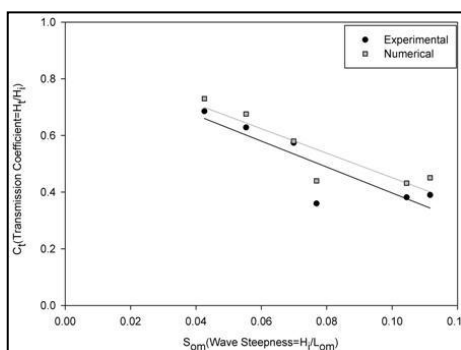
(الف)



(ب)

شکل (۴): مدل شبیه سازی شده در نرم افزار (الف)

موج شکن شناور پانتونی (ب) موج شکن شناور کاتاماران



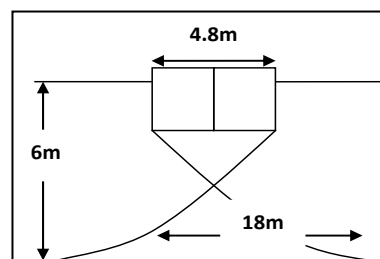
(الف)

۱/۵ متر عمق است. مقیاس مدل های فیزیکی مورد بررسی در این مرکز ۱:۱۰ بوده است.

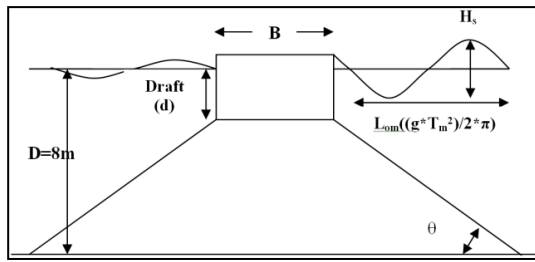
ابعاد موج شکن شناور پانتونی و کاتاماران استفاده شده در مدل آزمایشگاهی به ترتیب $0.16 * 0.16 * 0.48$ متر و $0.16 * 0.16 * 0.24$ ابعاد پانتون موج شکن شناور کاتاماران $0.16 * 0.16 * 0.24$ متر و با فاصله 0.24 متر از یکدیگر هستند. در آزمایش های انجام شده، عمق آب 0.6 متر و سه عمق آب خور متفاوت 0.09 ، 0.11 ، 0.13 متر در نظر گرفته شده است.

با توجه به مقیاس مدل سازی فیزیکی در مدل سازی عددی عمق آب 6 متر و عمق آب خور 0.11 متر در نظر گرفته شده است. نمونه ای از مدل های آزمایشگاهی و نحوه مهاربندی آنها در شکل (۳) و مدل شبیه سازی شده در نرم افزار اجزای محدود در شکل (۴) نشان داده شده است.

نتایج صحت سنجی برای دو نوع موج شکن شناور پانتونی و کاتاماران در شکل (۵) نشان داده شده است. همان طور که در شکل (۵) مشخص است نتایج مدل عددی تطابق خوبی با نتایج مدل آزمایشگاهی دارد. حداکثر اختلاف مدل عددی و آزمایشگاهی 20 درصد است که با توجه به خطاهای موجود در مدل سازی عددی و آزمایشگاهی میزان خطا قابل قبول است.



(الف)



شکل (۶): پارامترهای مورد بررسی در موج شکن شناور

پانتونی

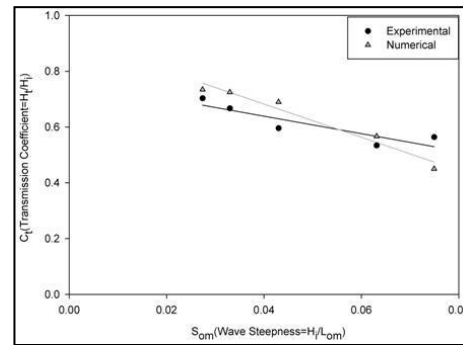
جدول (۱): محدوده متغیرهای مورد بررسی

محدوده متغیر	پارامترهای مورد بررسی
۱/۷۵ و ۲ متر	عمق آبخورد موج شکن شناور (d)
۰٫۳۰، ۰٫۶۰، ۰٫۹۰	زاویه خطوط مهار (θ) (درجه)
۰٫۲، ۰٫۳، ۰٫۴، ۰٫۵، ۰٫۶، ۰٫۷، ۰٫۸	پریود پیک موج برخوردی (Tp)
ثانیه	
۵، ۳ و ۷ متر	عرض پانتون موج شکن شناور (B)

برای موج شکن شناور پانتونی، محدوده تغییرات پارامترهای بدون بعد $To(S_{om}(H_i/L_{om}), B/L_{om})$ و $T_m \sqrt{\frac{g}{B}}$ که B عرض موج شکن شناور، L_{om} طول موج متناظر با پریود متوسط موج (T_m) در آب عمیق، H_i ارتفاع موج برخوردی، S_{om} تیزی موج، d عمق آبخورد پانتون و D عمق آب (۸ متر) می باشد، در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول (۲): محدوده تغییرات پارامترهای بدون بعد

موج شکن شناور پانتونی	
محدوده متغیر	پارامترهای مورد بررسی
۱/۷۵۲-۰/۰۴۷	عرض نسبی (B/L_{om})
۰/۴۸-۰/۰۳	تیزی موج (S_{om})
۱۱/۵۷۳- ۱/۸۹۴	پارامتر To
۰/۲۵۰- ۰/۲۱۹	عمق آبخورد نسبی (d/D)



(ب)

شکل (۵): صحت سنجی نتایج مدل سازی عددی با نتایج آزمایشگاهی (الف) موج شکن شناور پانتونی (ب) موج شکن شناور کاتاماران

۴- بحث و نتیجه گیری

پارامترهای موثر بر عملکرد موج شکن های شناور را می توان به صورت پارامترهای هیدرودینامیکی و سازه ای تقسیم بندی کرد. از مهم ترین پارامترهای سازه ای موثر بر عملکرد موج شکن شناور، می توان به شکل موج شکن شناور، عرض پانتون، عمق آب خور پانتون، نحوه مهار بندی و ... اشاره نمود. در پژوهش حاضر تاثیر پارامترهای سازه ای عرض پانتون، عمق آبخورد و زاویه مهار بندی بررسی شده است (Tsinker, 2004).

از پارامترهای هیدرودینامیکی موثر، می توان به پریود و ارتفاع موج برخوردی اشاره کرد. البته تحقیقات گذشته نشان داده است که ارتفاع موج برخوردی تاثیر زیادی بر عملکرد موج شکن شناور ندارد؛ بنابراین در این تحقیق از اثر تغییرات ارتفاع موج صرف نظر گردیده است (Behzad and Akbari, 2007).

متغیرهای مورد بررسی برای موج شکن شناور پانتونی، در شکل (۶) و جدول (۱) نشان داده شده اند.

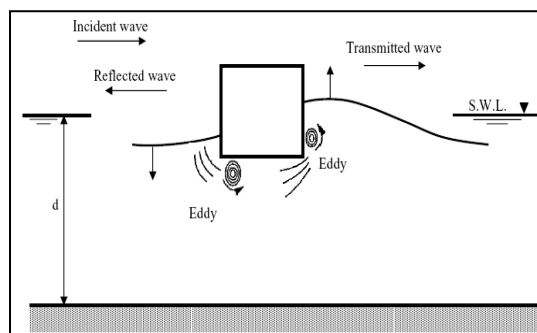
زده، ارتفاع موج را در پشت سازه کاهش دهند؛ به همین علت آگاهی از تغییرات ارتفاع موج در مقابل و پشت موج‌شکن شناور موجب تفسیر مناسب‌تری از عملکرد موج‌شکن شناور می‌شود.

در شکل (۸)، شکل (۹) و شکل (۱۰) الگوی تغییرات ارتفاع موج مشخصه در مقابل و پشت موج‌شکن شناور پانتونی با عرض ۳، ۵ و ۷ متر، عمق آب‌خور ۲ متر و زاویه مهاربندی ۳۰ درجه نشان داده شده است. شکل (۸)، شکل (۹) و شکل (۱۰) به وضوح چگونگی عملکرد موج‌شکن شناور پانتونی را نشان می‌دهند. همانگونه که در این شکل‌ها مشخص است، برای پریودهای کوچک اثر انعکاسی موج‌شکن شناور قابل ملاحظه است؛ اما با افزایش پریود موج، این اثر کاهش می‌یابد به گونه‌ای که برای پریودهای ۶ و ۷ ثانیه تغییرات ارتفاع موج مشخصه در پشت و مقابل موج‌شکن شناور محسوس نیست.

همچنین با مقایسه شکل‌های (۸)، (۹) و (۱۰) به راحتی می‌توان تاثیر عرض پانتون بر عملکرد موج‌شکن شناور را تشخیص داد. هر چه عرض پانتون افزایش می‌یابد، اثر انعکاسی موج‌شکن شناور افزایش و در نتیجه عملکرد آن افزایش می‌یابد. طراحی بنادر تفریحی کوچک و کنترل آرامش بنادر با توجه به میزان ارتفاع موج مشخصه در سمت آرام موج‌شکن، مهم‌ترین کاربرد شکل‌های ارائه شده است. با توجه به این‌که ارتفاع موج برخوردی تاثیر چندانی در عملکرد موج‌شکن شناور ندارد، به راحتی می‌توان ضریب عبور موج در امتداد هر خط و نقطه‌ای پشت موج‌شکن را

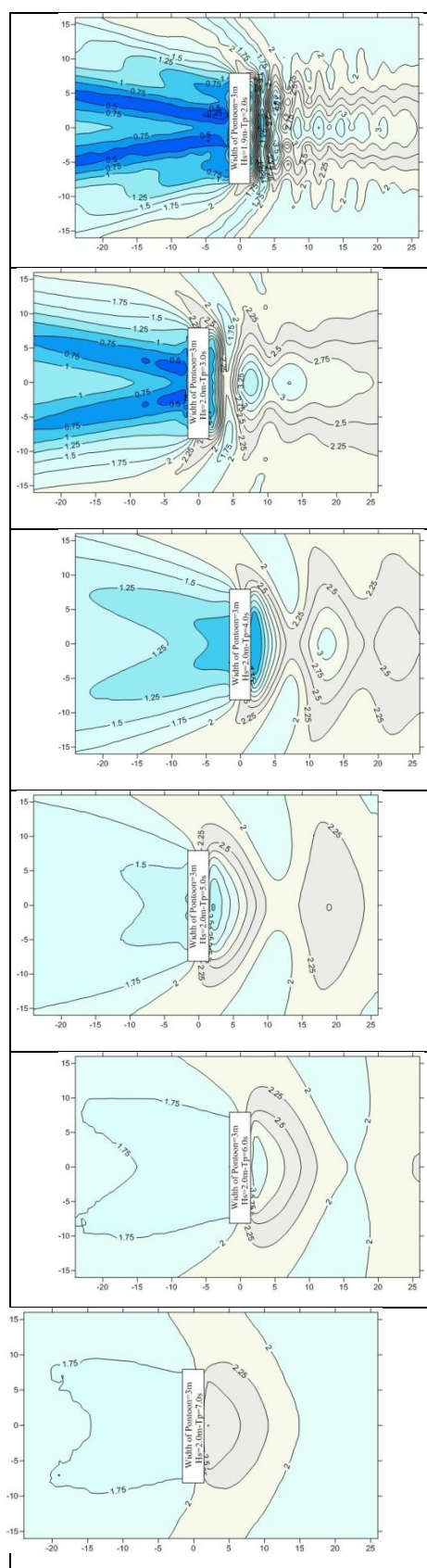
در این بخش تاثیر پارامترهای مختلف بر عملکرد موج‌شکن شناور پانتونی تشریح شده است.

موج‌شکن‌های شناور را می‌توان هم از لحاظ عملکردی و هم از لحاظ شکل و هندسه طبقه‌بندی نمود. هنگامی که جنبه عملکردی موج‌شکن شناور مد نظر باشد، انرژی موج عبوری به وسیله دو پارامتر انعکاس و استهلاک انرژی کنترل می‌شود. کاهش ارتفاع موج برخوردی توسط یکی از این دو عامل یا هر دوی این عوامل کنترل می‌شود و این کاهش ارتفاع به پارامترهای موج برخوردی و نوع سازه موج‌شکن شناور وابسته است. اثر انعکاس موج برخوردی، استهلاک انرژی و نحوه عملکرد موج‌شکن شناور پانتونی در شکل (۷) نشان داده شده است.



شکل (۷): نحوه عملکرد موج‌شکن شناور پانتونی

موج منعکس شده از سازه شناور با موج‌های برخوردی در سمت دریای موج‌شکن شناور، تشکیل موج ایستا می‌دهند. این آشفتگی‌های ایجاد شده در جلوی موج‌شکن شناور سبب کاهش ارتفاع موج در پشت سازه‌ی موج‌شکن شناور می‌شود؛ بنابراین موج‌شکن‌های شناور بایستی به گونه‌ای طراحی شوند که یا موج برخوردی را منعکس نمایند و یا با ایجاد آشفتگی اربیتال موج برخوردی را برهم



شکل (۸): الگوی تغییرات ارتفاع موج مشخصه مقابل و پشت موج شکن شناور پانتونی با عرض ۳ متر

محاسبه کرد و تخمین مناسبی از میزان آرامش و ارتفاع موج در بندر ارائه نمود.

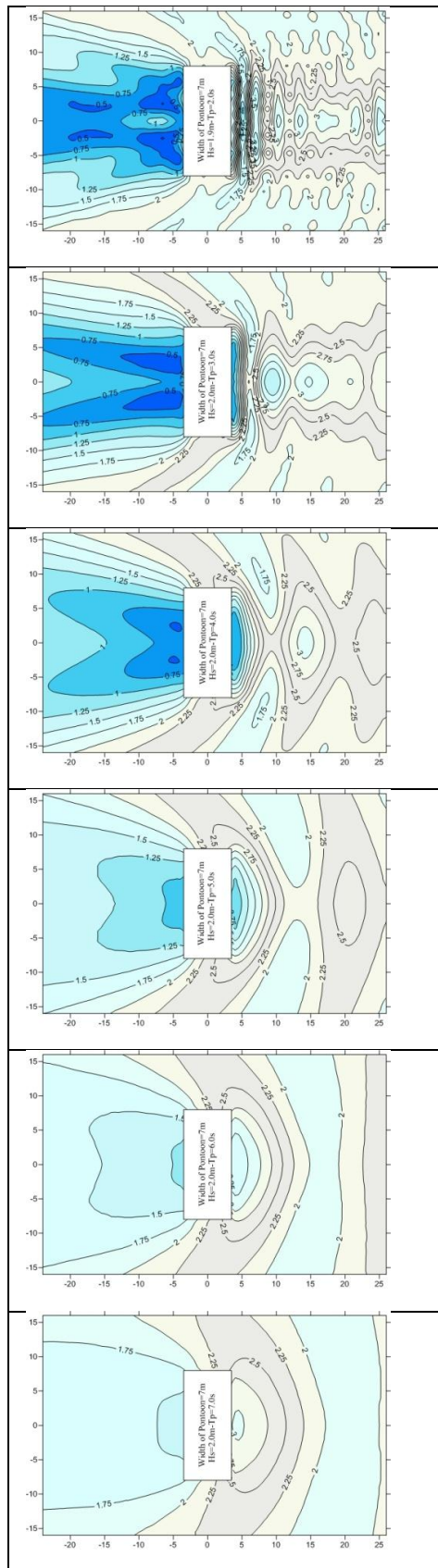
همان طور که در بخش های قبل اشاره شد، در صورتی که مهاربندی موج شکن شناور خطی در نظر گرفته شود، یکی از پارامترهای موثر بر عملکرد موج شکن شناور، زاویه مهاربندی است. بنابراین برای بررسی اثر این پارامتر، سه زاویه مهاربندی ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه برای نوع موج شکن شناور پانتونی در نظر گرفته شد.

نتایج حاصل از مدلسازی برای موج شکن شناور پانتونی در شکل (۱۱) نشان داده شده است. همان طور که در شکل (۱۱) مشخص است، بهترین عملکرد موج شکن شناور برای موج شکن شناور پانتونی هنگامی است که زاویه مهاربندی ۳۰ درجه باشد. بنابراین برای نتایج ارائه شده در بخش های بعدی در صورتی که زاویه مهاربندی ذکر نگردد، نتایج مربوط به زاویه مهاربندی ۳۰ درجه است.

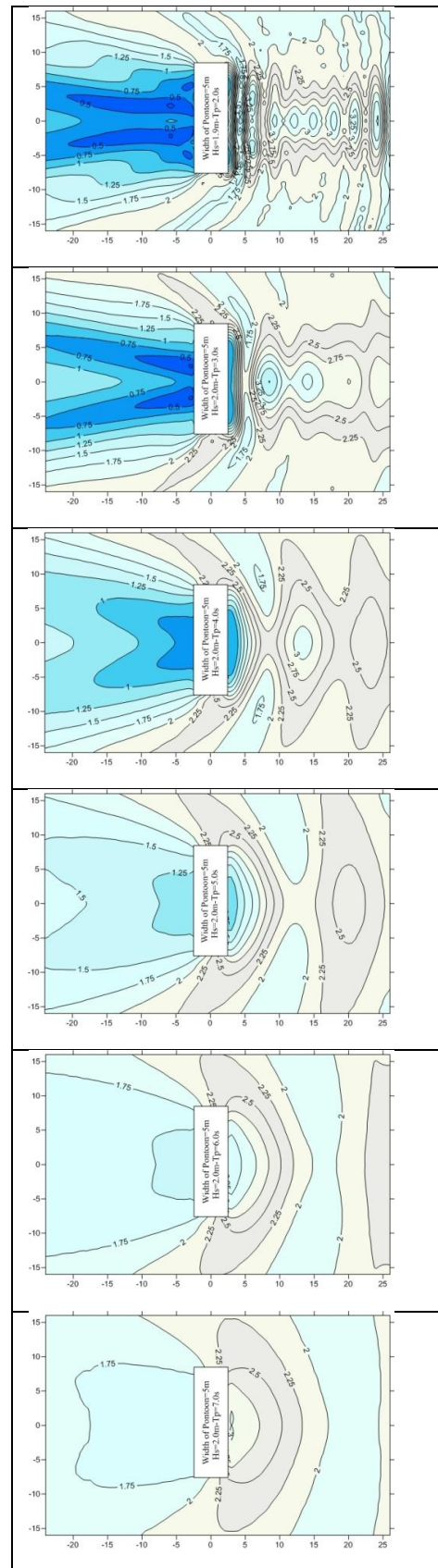
عمق آب خور یکی از مهم ترین عوامل موثر بر عملکرد موج شکن شناور است. این نوع موج شکن، تنها بخشی از عمق آب در نزدیکی سطح را اشغال می کند. برای داشتن ایده ای مناسب در مورد محل قرارگیری موج شکن در عمق آب، باید توزیع انرژی جنبشی موج مد نظر قرار گیرد.

درصد انرژی جنبشی در هر عمقی را با فرض تئوری موج خطی می توان از رابطه (۴) تعیین نمود.

$$\text{Percent kinetic energy} = \left(1 - \frac{\sinh 2k(h-z)}{\sinh 2kh} \right) \times 100 \quad (4)$$



شکل (۱۰): الگوی تغییرات ارتفاع موج مشخصه مقابل و پشت موج‌شکن شناور پانتونی با عرض ۷ متر



شکل (۹): الگوی تغییرات ارتفاع موج مشخصه مقابل و پشت موج‌شکن شناور پانتونی با عرض ۵ متر

درصد انرژی جنبشی برای شرایط آب عمیق و آب کم عمق در شکل (۱۲) نشان داده شده است. با توجه به شکل (۱۲)، در شرایط آب عمیق، موج شکن شناور تنها قسمتی کوچکی از سطح آب را اشغال کرده است (حدود ۱۰٪). اما همین میزان می تواند با بخش قابل توجهی از انرژی جنبشی موج اندرکنش داشته باشد (حدود ۵۰٪). بنابراین می توان نتیجه گرفت که عمق آب خور یکی از پارامترهای موثر در عملکرد موج شکن های شناور است.

با توجه به این که در پژوهش حاضر

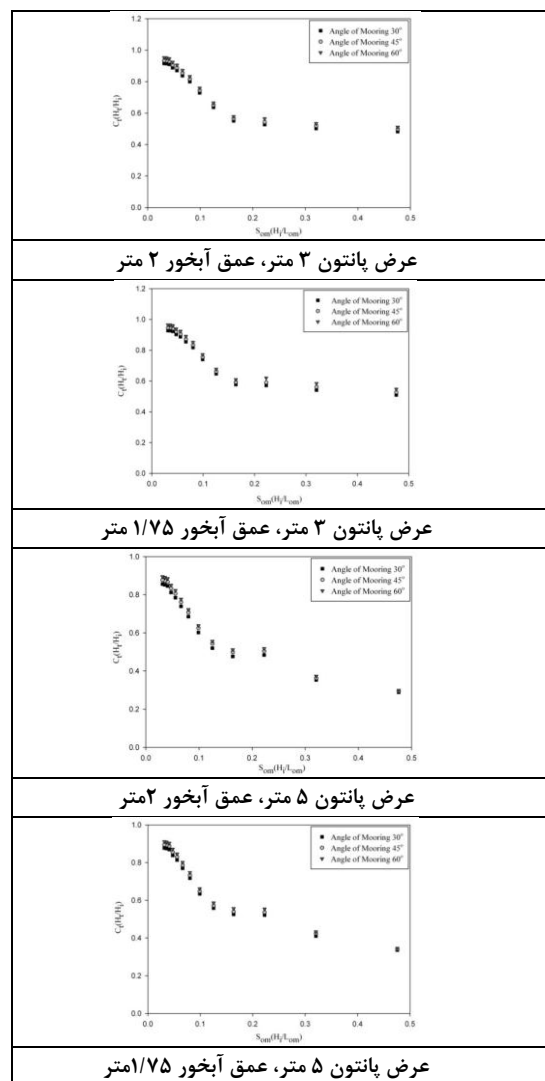
$$0.13 < \frac{D}{L_{om}} < 2.00 \quad (L_{om} = \frac{gT_m^2}{2\pi})$$

است یعنی در

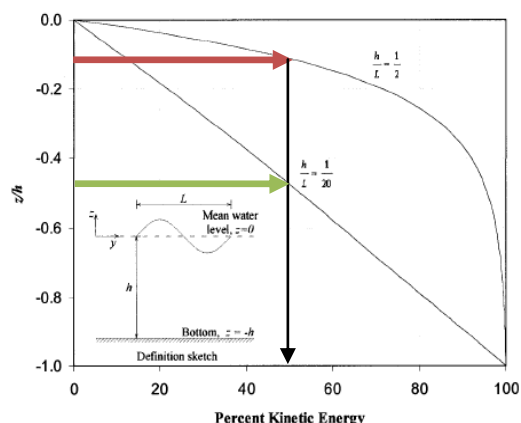
شرایط آب عمیق و نیمه عمیق قرار داریم بنابراین تغییرات عمق آب خور می تواند بر عملکرد موج شکن شناور موثر باشد.

نتایج مربوط به تغییرات ضریب عبور موج برای موج شکن شناور پانتونی با عرض های مختلف نسبت به پارامتر تیزی موج S_{om} در شکل (۱۳) نشان داده شده است. با توجه به نمودارهای ارائه شده به طور کلی می توان نتیجه گرفته که با افزایش عمق آب خور عملکرد موج شکن شناور افزایش می یابد. البته برای پانتون با عرض ۷ متر تغییرات ضریب عبور موج نسبت به پارامتر عمق آب خور بسیار محدود می باشد.

یکی از پارامترهای موثر در عملکرد موج شکن شناور عرض پانتون است. بنابراین در تحقیق انجام گرفته برای موج شکن شناور پانتونی عرض پانتون های ۳، ۵ و ۷ متر در

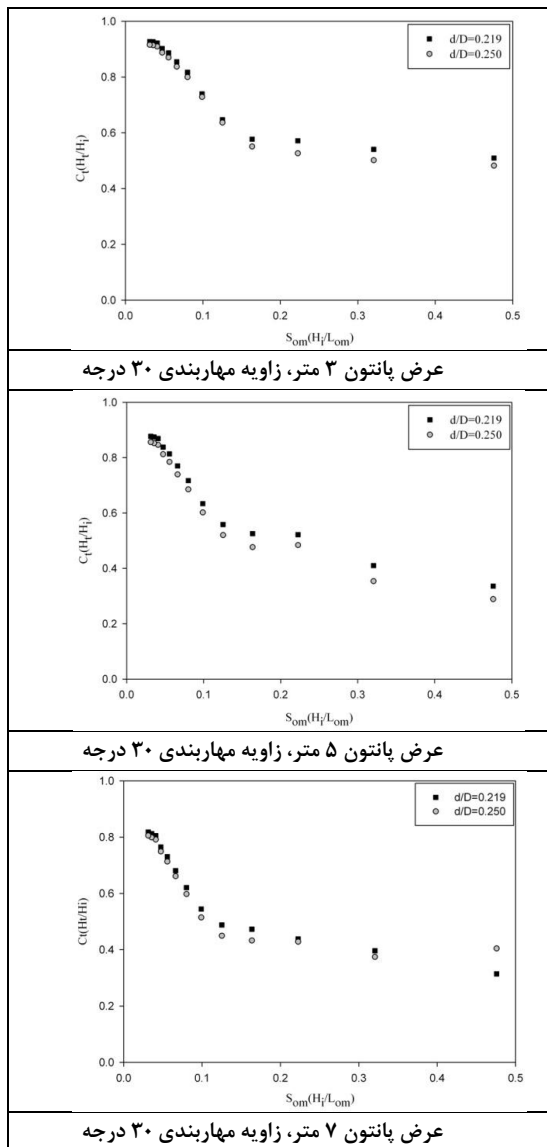


شکل (۱۱): تغییرات ضریب عبور موج نسبت به تغییرات زاویه مهاربندی موج شکن شناور پانتونی



شکل (۱۲): درصد انرژی جنبشی نسبت به عمق نسبی z/h

با زاویه مهاربندی ۳۰ درجه و عمق آب‌خور مختلف نشان داده شده است. تهیه این گراف تنها به منظور آگاهی از نحوه تغییرات ضریب عبور موج نسبت به پی‌یود موج است.



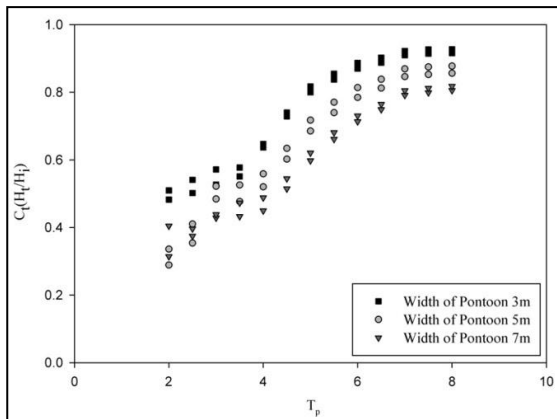
شکل (۱۳): تغییرات ضریب عبور موج برای عمق آب‌خورهای مختلف موج‌شکن شناور پانتونی

نکته قابل توجه در نمودار ارائه شده وجود نقطه عطف است، یعنی ضریب عبور موج پس از پی‌یودی خاص (نقطه عطف) به سرعت افزایش می‌یابد و پس از آن هرچه مقدار

نظر گرفته شده است. برای بررسی اثر عرض پانتون در عملکرد موج‌شکن شناور تغییرات ضریب عبور موج نسبت به پارامتر عرض نسبی (B/L_{om}) برای تمام نتایج موج‌شکن شناور پانتونی و توابع مختلف برازش داده شده در شکل (۱۴) نشان داده شده است.

به طور کلی با افزایش عرض سازه، ضریب عبور موج کاهش می‌یابد. علت این کاهش را می‌توان چنین عنوان کرد که هر چه عرض سازه کمتر می‌شود موج‌شکن شناور به جای قرار گرفتن در برابر امواج و جلوگیری از عبور انرژی موج، نوسانات خود را با حرکت موج هماهنگ می‌کند و اجازه عبور انرژی موج را می‌دهد، در حالی که هنگامی که عرض سازه زیاد شود موج‌شکن در برابر عبور انرژی از خود واکنش نشان داده و مانع عبور انرژی موج می‌شود. با استفاده از توابع برازش داده شده و گراف‌های ارائه شده در شکل (۱۴)، می‌توان حدس اولیه‌ای از مقادیر ضریب عبور موج را در بازه‌ی تغییرات مورد بررسی داشت. با توجه به نمودارهای ارائه شده، اگر عرض نسبی موج‌شکن شناور پانتونی بزرگتر از ۰/۴ باشد، می‌توان ضریب عبور موجی در حدود ۰/۳۵ - ۰/۶ انتظار داشت. هر چه مقدار عرض نسبی انتخابی به ۱ نزدیک گردد، عملکرد موج‌شکن شناور پانتونی مناسب‌تر خواهد بود. همانطور که در بخش‌های قبل نیز مورد اشاره قرار گرفت، پی‌یود موج یکی از مهم‌ترین پارامترهای موثر بر عملکرد موج‌شکن شناور است.

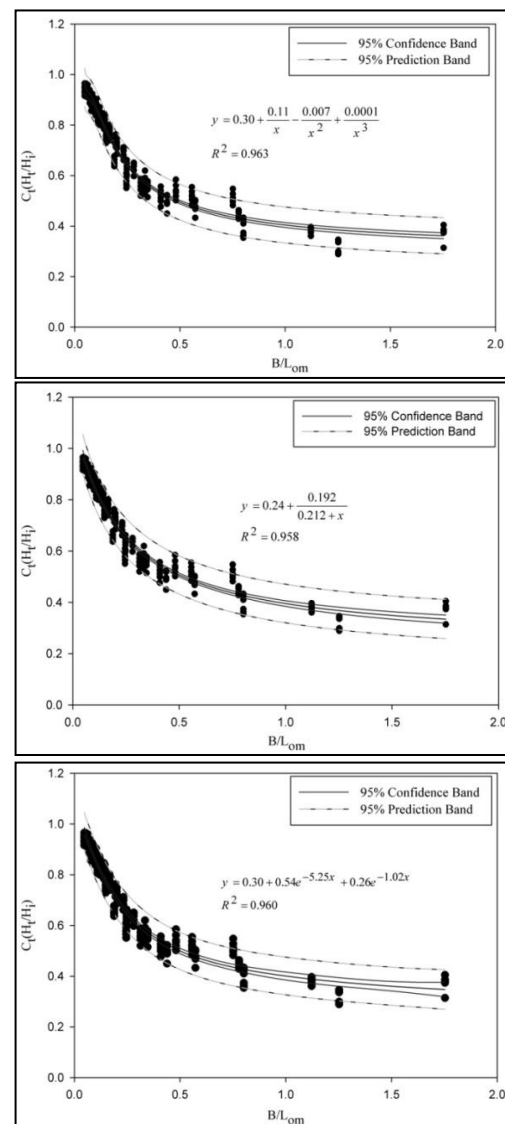
در شکل (۱۵) تغییرات ضریب عبور موج نسبت به پارامتر پی‌یود پیک موج (T_p) برای موج‌شکن شناور پانتونی



شکل (۱۵): تغییرات ضریب عبور موج نسبت به پریود موج برای موج شکن شناور پانتونی به طور کلی در پریودهای بیش از ۳-۴ ثانیه عملکرد موج شکن شناور پانتونی به شدت کاهش می یابد. برای بررسی اثر پریود موج پارامتر بی بعد پریود نسبی $(To = T_m \sqrt{\frac{g}{B}})$ مورد بررسی قرار گرفته است.

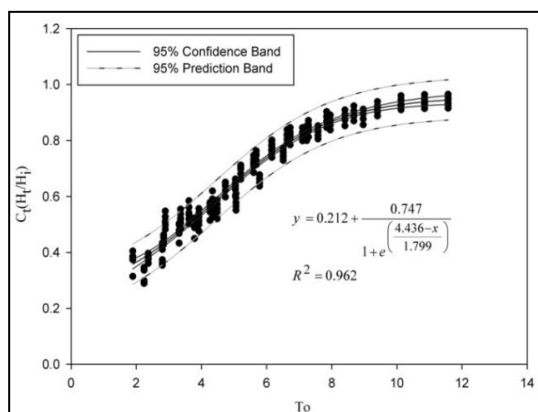
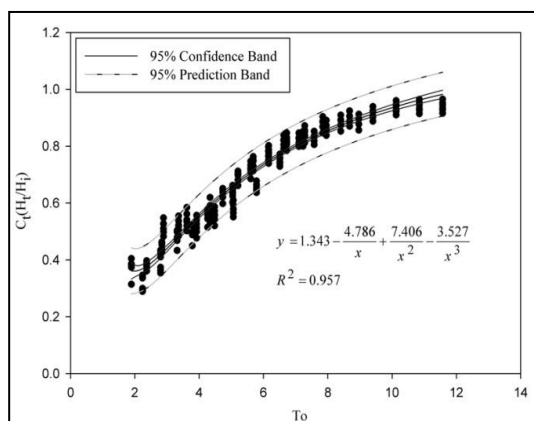
To تعریف شده مشابه پارامتر To استفاده شده در طراحی موج شکن های توده سنگی است. با این تفاوت که در موج شکن های توده سنگی به جای پارامتر B (عرض موج شکن شناور) از پارامتر D_{n50} (قطر متوسط اسمی سنگ) استفاده می گردد. این پارامتر می تواند عملکرد موج شکن های شناور را به خوبی نشان دهد زیرا با افزایش پریود موج برخوردی ضریب عبور موج افزایش می یابد ($C_t \propto T_m$) و با افزایش عرض موج شکن شناور ضریب عبور موج کاهش $(C_t \propto \frac{1}{B})$ می یابد. با فرض اینکه تغییرات ضریب عبور موج نسبت به عرض موج شکن شناور به صورت $C_t \propto \frac{1}{\sqrt{B}}$ باشد، پارامتر To به عنوان یک پارامتر موثر برای نشان دادن عملکرد موج شکن شناور است.

پریود موج افزایش یابد، ضریب عبور موج افزایش چندانی نخواهد داشت و به صورت مجانب $Ct=1$ در می آید.



شکل (۱۴): تغییرات ضریب عبور موج نسبت به پارامتر عرض نسبی برای موج شکن شناور پانتونی

در صورتی که محدوده انتخابی پارامتر T_0 برای موج‌شکن شناور پانتونی با توجه به محدودیت تحقیق انجام شده بین $1/5$ تا 4 قرار داشته باشد می‌توان عملکرد مناسبی از موج‌شکن شناور انتظار داشت.



شکل (۱۶): تغییرات ضریب عبور موج نسبت به پارامتر T_0

۶- منابع

Akbari, M., 1999, "Investigation of the Hydraulic Effects and Efficiency of Floating Breakwater", M.sc Thesis, Sharif University of Technology.

Behzad, M., Akbari, M., 2007, "Experimental Investigation on Response and

همان‌طور که در شکل (۱۶) مشخص است، بهترین توابع ممکن به تغییرات ضریب عبور موج نسبت به پارامتر T_0 بی‌بعد پیروی نسبی (از T_0) برآزش داده شده تا با استفاده از آن‌ها، به‌توان تخمین اولیه‌ای از مقادیر ضریب عبور موج در محدوده پارامترهای مورد بررسی ارائه نمود.

با توجه به نمودارهای شکل (۱۶) اگر مقدار T_0 انتخابی برای موج‌شکن شناور پانتونی کوچکتر از 4 انتخاب گردد می‌توان ضریب عبور موجی در حدود $0/35$ - $0/60$ انتظار داشت.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله الگوی تغییرات ارتفاع موج مشخصه در مقابل و پشت موج‌شکن شناور پانتونی برای سه عرض پانتون مختلف بررسی شده است. علاوه بر بررسی الگوی تغییرات ارتفاع موج مشخصه، با برآزش توابع مختلف به تغییرات ضریب عبور موج نسبت به پارامتر عرض نسبی و T_0 سعی گردیده به‌توان تخمین اولیه‌ای از مقادیر ضریب عبور موج در محدوده پارامترهای بدون بعد مورد بررسی ارائه نمود. به‌طور کلی اگر عرض نسبی موج‌شکن شناور پانتونی بزرگتر از $0/4$ انتخاب گردد، می‌توان عملکرد مطلوبی انتظار داشت. هرچه مقدار عرض نسبی انتخابی به 1 نزدیک باشد ضریب عبور موج کوچک‌تری انتظار می‌رود.

Efficiency of Moored Pontoon Type Floating Breakwater", Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering, Vol. 31, No. B1, pp 95-99. Shiraz University.

British Standard, Code of practice for Maritime structures, Part 6 : "Design of inshore mooring and floating structures", (2002).

Chakrabarti, S.K., 1994, "Hydrodynamics of Offshore Structures", Southampton: Computational Mechanics Publications.

Forouzande, N., 2005, "Investigation of the performance of Pantone Floating Breakwaters using physical models", M.sc Thesis, Sahand University of Technology.

Hadian, M., 2007, "Hydrostatic and Hydrodynamic Behavior of Multi-row Floating berths", M.sc Thesis, Tarbiat Modares University

Kee, S.T., 2005, "Performance evaluation of Submerged Dual Buoy/Porous Membrane Breakwaters", KSCE Journal of Civil Engineering, vol. 9, no. 4, pp.279-287.

Kee, T.K., 2005, "Floating Pontoon-Membrane Breakwater in the Oblique Seas", KSCE Journal of Civil Engineering, vol. 9, no. 4, pp.271-278.

Khalili, H., 2009, "Optimization of Floating Breakwater geometry for Increasing efficiency", M.sc Thesis, Tarbiat Modares University.

Koo, W., 2009, "Nonlinear time-domain analysis of motion-restrained pneumatic floating breakwater", Ocean Engineering 36(2009)723-731. Available from: <http://www.sciencedirect.com>.

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, pp. 174-188.

Lee, J., Cho, W., 2002, "Effects of Mean Wave Drift Force on Mooring Tension and Performance of a Moored Floating Breakwater", KSCE Journal of Civil Engineering, vol.6,no. 2, pp.193-201.

Lee, J., Cho, W., 2003, "Hydrodynamic analysis of wave inter actions with a Moored floating breakwater using the element free Galerkin method", Canadian Journal of Civil Engineering.

Liang, N.K., Huang, J.S., Li,C.F., 2003, "A study of spar buoy floating breakwater". Ocean Engineering 3, 43-60.

Martinelli, L., Ruol,L., 2002, "2D Model of Floating Breakwater Dynamics under Linear and Nonlinear Waves".

Martinelli, L., Ruol, P., Zanuttigh, B., 2008, "Wave basin experiments on floating breakwaters with different layouts", Applied Ocean Research 30, 199-207.

Martinelli, L., Ruol, P., Zanuttigh, B., 2008, "Loads on Floating Breakwaters:Effect of Layout under Irregular Waves", Coastal Engineering, 3875-3887.

Murali, K., Mani, J.S., 1997, "Performance of Cage Floating Breakwater", Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, July/August.

Ozeren, Y., 2009, "Experimental and Numerical Investigations of Floating Breakwater Performance", Ph.D. thesis. University of Mississippi.

Rahman, A., Mizutani, N., Kawasaki, K., 2005, "Numerical estimation of Dynamic displacement and the forces acting on the mooring system of submerged floating breakwater under wave action", Annual Journal of Civil Engineering in the Ocean, JSCE, vol.21.

Rahman, A., Mizutani, N., Kawasaki, K., 2006, "Numerical modeling of dynamic responses and mooring forces of submerged floating breakwater", Coastal Engineering 53:799-815.

Sadeghi, M., 1999, "Investigating of the Performance of Sloping Floating Breakwater using a physical model", M.sc Thesis, Islamic Azad University.

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.

Shafieefar, M., Najafi, A., Panahi, R., Sanayei, M., Rezaee, A., 2010, "The Feasibility Study of using Floating Breakwaters in Iranian Seas", 4th IOC.

Tamjidian, A. and Ketabdari, J., 2007, "Dynamic analysis of motion of a floating breaker under the influence of blow-down waves", 7th ICOPMAS.

Tsinker, G.P., 2004, "Port Engineering", John Wiley & Sons, Inc.

Wang, H.Y, Sun, Z.C., 2009, "Experimental study of a porous floating breakwater", Ocean Engineering

Pattern of Wave Height Changes Around of Pontoon's Floating Breakwater

Rezaie Mazyak. A. *, Sanayei. M. , Shafieefar. M., Panahi. R.

Department of Marine and Hydraulic Structures, Faculty of Civil & Environmental Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

ABSTRACT

The main goal of using floating breakwaters is to provide a sheltered area of calm water in a coastal zone. In the present research, for analyzing the hydrodynamic modeling of pontoon floating breakwaters, the AQWA module of ANSYS was selected. The main parameters that have been considered in this research are the patterns of significant wave height, wave period, and draft and the width of floating pontoons. Wave transmission coefficient can be obtained from water surface changes in any point of the leeward. Results of the numerical modeling demonstrate that a pontoon floating breakwater with a relative width of greater than 0.4 has an appropriate performance. Also, it has been found that the transmission coefficient of pontoon floating breakwaters will be in the range of 0.35 to 0.60 if the relative wave period changes in the range of 1.5 to 4.

Keywords: Pontoon Floating Breakwater, ANSYS AQWA, Pattern of Significant Wave Height Changes, Wave Transmission Coefficient.

Figure 1: Floating beakwater meshing

Figure 2: JONSWAP spectrum

Figure 3: Physical model (a) Pontoon floating breakwater, (b) Catamaran floating breakwater

Figure 4: Numerical model (a) Pontoon floating breakwater, (b) Catamaran floating breakwater

Figure 5: Validation results (a) Pontoon floating breakwater, (b) Catamaran floating breakwater

Figure 6: Investigated parameters in Pontoon floating breakwater

Figure 7: Performance of Pontoon floating breakwater

* Corresponding Author's E-mail: a.rezaemazyak@modares.ac.ir

Figure 8: Pattern of the characteristic wave height around the floating breakwater (Pontoon width=3m)

Figure 9: Pattern of the characteristic wave height around the floating breakwater (Pontoon width=5m)

Figure 10: Pattern of the characteristic wave height around the floating breakwater (Pontoon width=7m)

Figure 11: Change of the transmission coefficient relative to the moorings angle

Figure 12: Percent of kinematic energy relative to z/h parameters

Figure 13: Change of the transmission coefficient relative to the draft of pontoon

Figure 14: Change of the transmission coefficient relative to the width of pontoon

Figure 15: Change of the transmission coefficient relative to the wave period

Figure 16: Change of the transmission coefficient relative to the T_0 parameters

Table 1: The range of Variables Studied

Table 2: The range of dimensionless parameters