ارزیابی آزمایشگاهی مقدار ضریب انتقال انرژی برای موج‌شکن‌های شناور پله‌ای

امیدرضا طاهری[۱]، مرتضی کلاهدوزان[۲*]، میثم بالی[۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- آب، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، omidrezataheri@aut.ac.ir
[۲] استادیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، mklhdzan@aut.ac.ir
[۳]دانشجوی دکتری مهندسی عمران- آب، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، meysam.bali@aut.ac.ir

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۰۱/۱۶
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۵/۱۳
تاریخ انتشار مقاله: ۱۳۹۳/۰۶/۳۱

کلمات کلیدی:
مدل‌سازی فیزیکی
موج‌شکن شناور
ضریب انتقال

چکیده

در این تحقیق با استفاده از روش مدل‌سازی فیزیکی، به ارزیابی عملکرد هیدرودینامیکی موج‌شکن‌های شناور پله‌ای و همچنین مقایسه عملکرد آنها با موج‌شکن شناور π شکل با عرض و عمق آبخور مشابه پرداخته شده است. به این منظور تعداد ۱۸۰ آزمایش بر روی مدل‌های مختلف موج‌شکن شناور پله‌ای با تعداد دو و سه پله و همچنین موج‌شکن شناور π شکل انجام شده و عملکرد آنها با معرفی پارامتر kH_{i50} (مشخصه‌ای از امواج برخوردی که در آن ضریب انتقال موج‌شکن کمتر از ۰/۵ می‌گردد) با هم مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهند که کاربرد موج‌شکن شناور پله‌ای به جای موج‌شکن شناور π شکل، علاوه بر کاهش مقدار مصالح مورد نیاز برای ساخت موج‌شکن، تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد هیدرودینامیکی آن می‌گذارد. همچنین با افزایش گام پله‌ها عملکرد موج‌شکن‌های شناور پله‌ای بهبود می‌یابد. مقایسه عملکرد هیدرودینامیکی موج‌شکن‌های شناور دو پله‌ای و سه پله‌ای نشان می‌دهد که عملکرد این دو نوع موج‌شکن به آبخور نسبی موج‌شکن بستگی دارد اما با افزایش گام پله‌ها مقدار تفاوت عملکرد آنها کاهش می‌یابد.

Experimental evaluation of energy transmission coefficient for step floating breakwaters

Omidreza Taheri [1] , Morteza Kolahdoozan [2*], Meysam Bali[3]

[1] M.Sc. student of Civil Engineering, Amirkabir University of Technology; omidrezataheri@aut.ac.ir
[2] Assistant professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Amirkabir University of Technology; mklhdzan@aut.ac.ir
[3]Ph.D. student of Civil Engineering, Amirkabir University of Technology; meysam.bali@aut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 5 Apr. 2014
Accepted: 4 Aug. 2014
Available online: 22 Sep. 2014

Keywords:
physical modeling
floating breakwater
transmission coefficient

ABSTRACT

In the following research, By means of physical modeling, the evaluation of hydrodynamic performance of step floating breakwaters and the comparison between their performance and the performance of π type floating breakwater with the same width and draft, are studied. hence, 180 experiments were carried out on 2 and 3 step FBs and π type FBs and their performance was compared by defining kH_{i50} (an incident wave characteristics in which transmission coefficient is less than 0.5). Results obtained through this study showed that using step floating breakwater can enhance the hydrodynamic performance as well as reducing the construction material. In addition by increasing the width of steps, FBs performance was improved. Comparison of 2 and 3 step floating breakwaters reveals that the performance of each type is dependent on the draft depth. However it can be concluded that with increasing the step width the difference of their performance is decreased.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.19.6.9]

۱- مقدمه

در دنیای امروز بنادر نقش مهمی را ایفا می‌کنند. از بنادر به منظور پایانه‌های حمل و نقل کالا، مقاصد نظامی، پهلوگیری کشتی‌ها و... استفاده می‌شود. از عمده مشکلات محیط دریا تلاطم ناشی از امواج می‌باشد، زیرا امواج دریا باعث نوسان زیاد اجسام شناور می‌شود. بنابراین حصول شرایط آرامش هیدرودینامیکی در حوضچه بندر از مهمترین عوامل در کار طراحی بنادر است. یکی از مهم‌ترین سازه‌هایی که جهت ایجاد حوضچه آرامش در بندرگاه ساخته می‌شود، موج‌شکن‌ها هستند. موج‌شکن‌ها مدت‌ها به‌صورت ثابت با اتکای مستقیم به کف دریا، از نوع قائم و شیبدار طراحی و اجرا گردیده‌اند. موج‌شکن‌های ثابت می‌توانند به‌خوبی دربرابر هجوم امواج پایدار بمانند ولی دارای محدودیت‌هایی نیز می‌باشند. از جمله اینکه در مناطقی که عمق آب زیاد است اجرای آنها پرهزینه می‌باشد. همچنین در شرایط بستر ضعیف دریا نمی‌توان از آنها استفاده کرد. در سال‌های اخیر استفاده از نوع شناور موج‌شکن‌ها بدلیل نصب سریع، قابلیت حمل‌ونقل، مسائل اقتصادی و زیست محیطی از رشد قابل توجهی برخوردار شده است. موج‌شکن‌های شناور، خصوصاً زمانی که امواج منطقه خیلی مرتفع و طوفانی نباشد، می‌توانند جایگزینی مناسب برای موج‌شکن‌های ثابت باشند. اندازه‌گیری ارتفاع موج پشت سازه به منزله سنجش مستقیمی از کارایی موج‌شکن شناور در کاهش اثر موج است. به طور کلی کاهش ارتفاع موج از طریق آشفتگی و پخش انرژی بر اثر برخورد موج به سازه شناور، انعکاس و تغییر جهت امواج برخوردی و همچنین جذب انرژی موج توسط بدنه شناور صورت می‌پذیرد. کارایی موج‌شکن شناور عموماً با ضریبی به نام ضریب انتقال (C_t) مطرح می‌گردد. اگر ارتفاع موج تابشی به موج‌شکن با H_i و موج عبوری از موج‌شکن با H_t نشان داده شود، ضریب انتقال موج‌شکن به شکل رابطه (۱) تعریف می‌گردد.

$$C_t = \frac{H_t}{H_i} \qquad (۱)$$

در سال‌های اخیر مطالعات فیزیکی، عددی و تحلیلی فراوانی برای برآورد ضریب انتقال موج‌شکن‌های شناور تحت مشخصات مختلف موج و ویژگی‌های هندسی مختلف سازه صورت گرفته است. سوتکو و همکاران [۱] در یک مطالعه آزمایشگاهی نشان دادند که موج‌شکن شناور با مقطع مستطیل نسبت به مقاطع دایره‌ای و مثلثی در کاهش ارتفاع امواج مؤثرتر است. ماتسوناگا و همکاران [۲] از مدل آزمایشگاهی برای تعیین ضریب انتقال موج‌شکن شناور با مقطع ترکیبی خرپا و مکعب مستطیل استفاده کردند. مانی [۳] با استفاده از روش مدل‌سازی آزمایشگاهی، عملکرد موج‌شکن‌های شناور Y شکل را مورد بررسی قرار داد. ساندر و همکاران [۴] طی مطالعه‌ای آزمایشگاهی، کارایی موج‌شکن‌های شناور لوله‌ای با ابعاد مختلف را بررسی کردند. گویدین و همکاران [۵] به روش مطالعه آزمایشگاهی کارایی موج‌شکن شناور متخلخل نعلی‌شکل را مورد بررسی قرار دادند. کاتاندوس و همکاران [۶]، طی مطالعه‌ای آزمایشگاهی عملکرد موج‌شکن‌های شناور پانتونی را بررسی کردند. ونگ و همکاران [۷] به کمک روش مدل‌سازی آزمایشگاهی موج‌شکن شناور با مقطع مستطیلی اما ساخته شده با استفاده از تعداد زیادی بلوک‌های لوزی شکل، به منظور افزایش تخلخل سازه را مورد مطالعه قرار دادند. ایساکسون و همکاران [۸] با استفاده از روش مدل‌سازی عددی عملکرد موج‌شکن‌های شناور پانتونی را مورد بررسی قرار دادند. کوفتیس و همکاران [۹] طی مطالعه‌ای عددی عملکرد هیدرودینامیکی سه نوع موج‌شکن شناور جعبه‌ای، کاتاماران و ذوزنقه‌ای را بررسی نمودند. دریمر و همکاران [۱۰] یک حل تحلیلی برای موج‌شکن شناور پانتونی ارائه کردند. توجه به تحقیقات انجام شده نشان‌دهنده آن است که شکل موج‌شکن شناور می‌تواند تأثیر قابل توجهی در بهبود کارایی آن داشته باشد. اما از بین اشکال مختلف موج‌شکن‌های شناور، موج‌شکن‌های نوع پانتونی یکی از شکل‌های استاندارد برای ساخت این نوع از سازه‌ها می‌باشند. تحقیقات گسترده‌ای برای آگاهی از پارامترهای مؤثر در عملکرد موج‌شکن‌های پانتونی در سال‌های اخیر صورت گرفته است. در این راستا می‌توان به مطالعات انجام شده توسط کاتاندوس و همکاران [۶]، ایساکسون و همکاران [۸]، دریمر و همکاران [۱۰]، سیلاندر [۱۱]، تولبا [۱۲] و بهزاد و همکاران [۱۳] اشاره کرد. نتایج این تحقیقات حاکی از آن است که عرض و عمق آبخور موج‌شکن شناور دو پارامتر مهم در میزان کارایی این نوع از موج‌شکن‌ها هستند. در ادامه تحقیقات برروی موج‌شکن‌های پانتونی، اشکال مختلف موج‌شکن از جمله موج‌شکن π شکل (جهت افزایش عمق آبخور)، موج‌شکن‌های دوگانه و چندگانه (جهت افزایش عرض) و ترکیبی از حالت‌های فوق، معرفی شده و کارایی هریک از این نوع موج‌شکن‌ها با موج‌شکن پانتونی مقایسه شده است. در این زمینه می‌توان به تحقیقات انجام شده توسط کوفتیس و همکاران [۱۴]، گسراها [۱۵]، آمر و همکاران [۱۶]، پنا و همکاران [۱۷]، حسین زاده و همکاران [۱۸] و فروزنده و همکاران [۱۹] اشاره کرد. نتایج این تحقیقات نشان می‌دهند که افزودن باله به موج‌شکن پانتونی و تغییر شکل آن به حالت π شکل منجر به بهبود عملکرد آن می‌گردد. همچنین موج‌شکن‌های دوگانه و چندگانه عملکرد بمراتب بهتری نسبت به موج‌شکن‌های تک ارائه می‌کنند اما کاربرد آنها منجر به افزایش قابل ملاحظه هزینه‌های ساخت و نگهداری می‌گردد. در این تحقیق، با تعبیه پله در مقطع طولی موج‌شکن شناور π شکل، عملکرد هیدرودینامیکی نوع جدیدی از موج‌شکن‌های شناور با نام موج‌شکن‌های شناور پله‌ای

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.19.6.9]

مورد ارزیابی قرار گرفته است. بدین منظور چند مدل مختلف آزمایشگاهی از موج‌شکن‌های شناور پله‌ای با ابعاد و اشکال مختلف پله و همچنین موج‌شکن شناور π شکل با عرض و عمق آبخور مشابه ساخته شده و عملکرد آنها از طریق انجام آزمایش در فلوم موج ساز مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است.

۲- مدل‌سازی فیزیکی

۲-۱- تجهیزات آزمایشگاهی

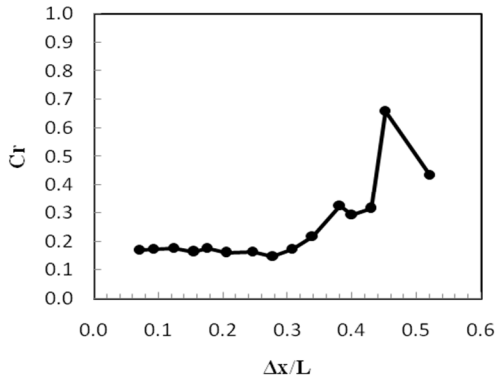
آزمایش‌های این تحقیق در فلوم موج‌ساز آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه صنعتی امیرکبیر انجام شده‌اند. این فلوم دارای ۱۱ متر طول، ۰/۳ متر عرض و ۰/۴ متر ارتفاع می‌باشد و با استفاده از ورقه‌های پلاکسی‌گلاس با ضخامت ۱ سانتیمتر ساخته شده است. مولد موج مورد استفاده از نوع بالهای بوده که توانایی تولید موج منظم با دوره تناوب بین ۱/۳ تا ۳ ثانیه و ارتفاع کمتر از ۱۸ سانتی‌متر را داراست. در انتهای فلوم برای جلوگیری از انعکاس امواج، جاذبی از جنس الیاف چوبی متخلخل تعبیه شده است. در اطراف مدل موج‌شکن موج‌نگارهایی برای اندازه‌گیری رقوم سطح آب نصب شده است. دو موج‌نگار در سمت دریا برای اندازه‌گیری سری زمانی و تجزیه امواج برخوردی و انعکاسی و یک موج‌نگار در سمت ساحل برای اندازه‌گیری موج منتقل شده به طور همزمان، استفاده شده است. دقت این سه موج‌نگار ۱ میلی‌متر و فرکانس برداشت ۲۰ داده در ثانیه می‌باشد. در شکل ۱ نمای کلی فلوم و نحوه جانمایی تجهیزات مختلف آزمایشگاهی در آن نمایش داده شده است. عملیات تجزیه امواج در این تحقیق با استفاده از روش تحلیل طیفی [۲۰] انجام پذیرفته است. به این منظور، از یک نرم افزار توسعه یافته در دانشکده عمران دانشگاه آالبرگ دانمارک استفاده شده است. این نرم‌افزار که با نام Wave Lab شناخته می‌شود، قابلیت تجزیه امواج برخوردی و انعکاسی را با استفاده از سری‌های زمانی ثبت شده در دو نقطه دارد.

۲-۲- آنالیز حساسیت

اعتمادپذیر بودن اطلاعات، لازمه هر مطالعه آزمایشگاهی است. در این تحقیق برای اینکه نتایج آزمایش‌ها، عاری از خطاهای ناشی از قرار نگرفتن موج‌نگارها در فاصله مناسب از هم و همچنین عدم مکان‌یابی صحیح آنها در فلوم باشد، دو سری آنالیز حساسیت به شرح زیر انجام پذیرفته است.

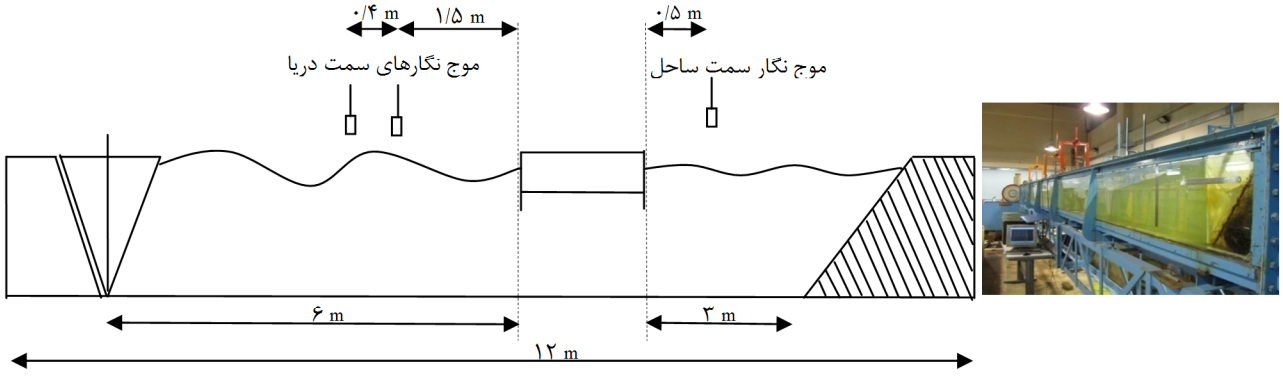
۲-۲-۱- فاصله بین موج نگارها

از آنجایی‌که یکی از مسائل مهم در این تحقیق جداسازی امواج برخوردی به مدل موج‌شکن شناور و امواج منعکس شده از آن است، بنابراین تعیین فاصله مجاز بین موج‌نگارها به نحوی که بر صحت نتایج تأثیرگذار نباشد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به این منظور موجی با دوره تناوب ۲ ثانیه و طول موج ۳/۲۶ متر تولید شده و با تغییر فاصله بین دو موج‌نگار ضریب انعکاس محاسبه گردیده است (ضریب انعکاس که با C_r نشان داده می‌شود برابر نسبت ارتفاع موج انعکاس یافته از موج‌شکن شناور به ارتفاع موج برخوردی است). شکل ۲، تغییرات ضریب انعکاس در برابر پارامتر بی‌بعد فاصله بین دو موج نگار به طول موج ($\Delta x/L$) را نشان می‌دهد.



شکل ۲- تغییرات ضریب انعکاس با فاصله بین موج‌نگارها

طبق شکل ۲ نسبت فاصله قرارگیری موج نگارها به طول موج باید کوچکتر از ۰/۳ باشد تا بتوان به نتایج با دقت مناسب دست یافت. بنابراین در این تحقیق فاصله بین دو موج‌نگار کمتر از ۰/۳



شکل ۱- نمای کلی فلوم موج‌ساز، مخزن موج (راست)، جانمایی تجهیزات آزمایشگاهی (چپ)

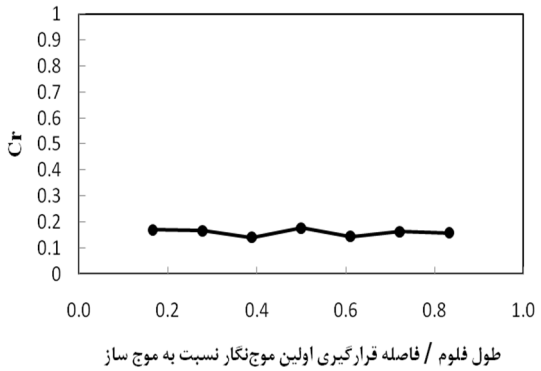
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.19.6.9]

کوچکترین طول‌موج‌های مورد آزمایش منظور شده است.

۲-۲-۲- محل قرارگیری موج‌نگارها در طول فلوم

برای یافتن محل قرارگیری موج نگارها در طول فلوم، موجی با دوره تناوب ۲ ثانیه و طول موج ۳/۲۶ متر تولید شده و با قرار دادن دو عدد موج نگار با فاصله مجاز نسبت به هم، در فواصل مختلف از مولد موج‌ساز ضریب انعکاس محاسبه گردیده است. شکل ۳ تغییرات ضریب انعکاس نسبت به پارامتر بی بعد فاصله اولین موج نگار از موج‌ساز به طول فلوم را نشان می‌دهد.



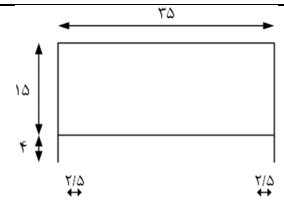
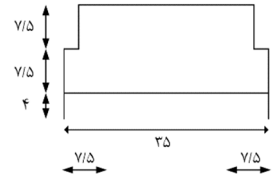
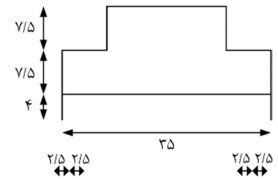
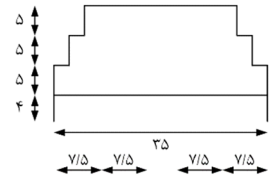
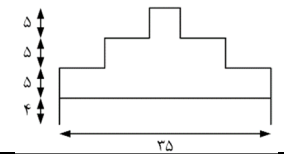
شکل ۳- تغییرات ضریب انعکاس نسبت به موقعیت موج نگارها در فلوم

همانطورکه در شکل ۳ مشاهده می‌گردد، محل قرارگیری موج‌نگارها در فلوم، بر نتایج بی تأثیر است.

۲-۳- مشخصات مدل‌های مختلف موج‌شکن شناور و شرایط انجام آزمایش‌ها

مدل‌های مورد آزمایش در این تحقیق، شامل ۵ مدل مختلف از موج‌شکن‌های شناور پله‌ای و π شکل با عرض و عمق آبخور مشابه می‌باشند. همه مدل‌ها با استفاده از ورقه‌های پلاکسی گلاس با ضخامت ۶ میلی‌متر ساخته شده‌اند و آبخور آنها با اضافه کردن وزنه به داخل آنها، تنظیم شده است. در جدول ۱، مشخصات هندسی مدل‌های مختلف مورد آزمایش نشان داده شده است. مطابق با جدول ۱، مدل A، از نوع موج‌شکن شناور π شکل می‌باشد. ارتفاع مدل مذکور ۱۹ سانتی‌متر (۱۵ سانتی‌متر ارتفاع پانتون و ۴ سانتی‌متر ارتفاع باله)، طول آن ۲۹/۵ سانتی‌متر و عرض آن ۳۵ سانتی‌متر می‌باشد. همچنین با افزودن وزنه به داخل این مدل آبخور آن به اندازه ۱۴ سانتی‌متر تنظیم شده است. از آنجایی که موج‌شکن‌های شناور π شکل یکی از انواع رایج موج‌شکن‌های شناور می‌باشند عملکرد این مدل به عنوان معیاری برای ارزیابی عملکرد مدل‌های موج‌شکن شناور پله‌ای درنظر گرفته شده‌است. در چهار مدل دیگر با هدف افزایش استهلاک انرژی امواج برخوردی و کاهش ضریب انتقال نسبت به مدل π شکل، مقطع طولی موج‌شکن، به حالت پله‌ای تغییر شکل داده شده است. به این منظور در مدل‌های B و C سطح مقطع طولی موج‌شکن به حالت دو پله‌ای تغییر شکل داده شده است. ارتفاع هر پله در این دو مدل ۷/۵ سانتی‌متر و گام عقب نشینی پله دوم نسبت به پله اول در مدل B، ۲/۵ سانتی‌متر و در مدل C، ۷/۵ سانتی‌متر می‌باشد. در مدل‌های D و E سطح مقطع طولی موج‌شکن به حالت سه پله‌ای تغییر شکل داده شده است. ارتفاع هر پله در این دو مدل ۵ سانتی‌متر و گام عقب نشینی پله‌ها نسبت به هم، در مدل D، ۲/۵ سانتی‌متر و در مدل E، ۷/۵ سانتی‌متر می‌باشد. آبخور این مدل‌ها نیز با اضافه کردن وزنه به داخل آنها به اندازه ۱۴ سانتی‌متر تنظیم شده است. بدین ترتیب درصد کاهش وزن مصالح مصرفی در هر کدام از مدل‌های پله‌ای نسبت به مدل A، از روی تفاوت وزن آنها (وزنی که منجر به دستیابی به آبخور مورد نظر می‌گردد) محاسبه گردیده است. در جدول ۲ درصد کاهش وزن مصالح مصرفی برای ساخت مدل‌های مختلف پله‌ای، نسبت به مدل A آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات مدل‌های مختلف موج‌شکن‌های شناور

نام مدل	نوع	ابعاد (سانتی‌متر)
A	π شکل	
B	دو پله‌ای	
C	دو پله‌ای	
D	سه پله‌ای	
E	سه پله‌ای	

جدول ۲- درصد کاهش وزن مصالح مصرفی برای ساخت مدل‌های مختلف نسبت به مدل A

مدل	B	C	D	E
درصد کاهش وزن مصالح مصرفی	٪۴	٪۱۱	٪۷	٪۲۱

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.19.6.9]

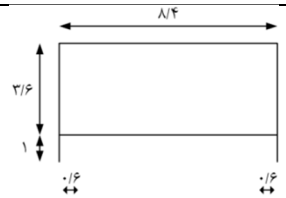
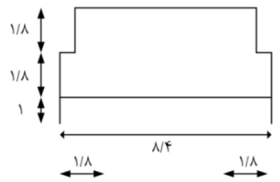
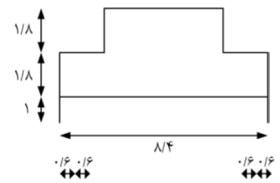
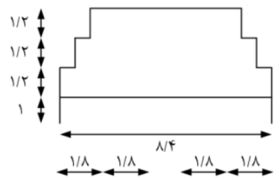
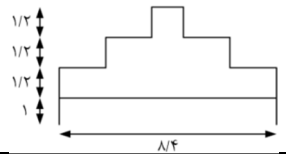
در این تحقیق، به منظور ارزیابی تاثیر آبخور نسبی (نسبت عمق آبخور موجشکن به عمق آب) بر عملکرد موجشکن‌های شناور پله‌ای، همه مدل‌ها در سه عمق آب مختلف ۳۰، ۲۵ و ۲۰ سانتی‌متر مورد آزمایش قرار گرفته‌اند.

بازه تغییرات پریود امواج مورد مطالعه ۱/۳ تا ۲/۲ ثانیه و ارتفاع امواج برخوردی در محدوده ۲ تا ۸ سانتی‌متر درنظر گرفته شده‌است.

۲-۴- مقیاس مدل‌سازی

در مسائل مرتبط با سازه‌های دریایی شناور از آنجایی‌که نیروهای ثقل و اینرسی نقش تعیین کننده دارند معیار فرود معیار مناسب برای مدل‌سازی می‌باشد. در این تحقیق با توجه به ابعاد موجشکن‌های قابل ساخت و همچنین بازه تغییرات امواج تولیدی، مقیاس هندسی مدل‌سازی برابر ۱:۲۴ اختیار شده است. با استفاده از مقیاس در نظر گرفته شده، ابعاد واقعی موجشکن‌های شناور مورد مطالعه در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول۳- مشخصات مدل‌های مختلف موجشکن‌های شناور در ابعاد واقعی

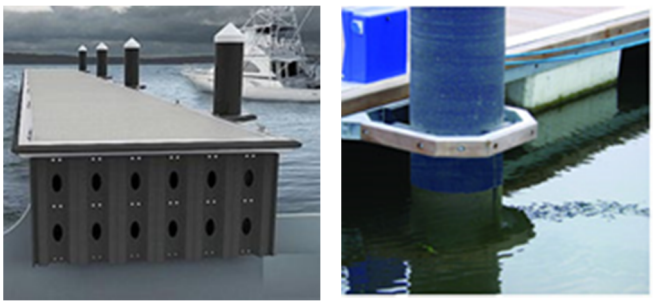
نام مدل	نوع	ابعاد (متر)
A	π شکل	
B	دو پله‌ای	
C	دو پله‌ای	
D	سه پله‌ای	
E	سه پله‌ای	

شایان ذکر است که مشخصات در نظر گرفته شده برای موجشکن مدل A، تقریباً مشابه با مشخصات موجشکن U-Block شرکت مهندسی FDN [۲۱] می‌باشد.

همچنین در مقیاس واقعی دوره تناوب امواج در محدوده ۶/۴ تا ۱۰/۸ ثانیه، ارتفاع امواج برخوردی در محدوده ۰/۵ تا ۱/۲ متر و اعماق آب در نظر گرفته شده ۴/۸، ۶ و ۷/۲ متر می‌باشند.

۲-۵- مشخصات سیستم مهاربندی

در این مطالعه، به منظور مهار مدل‌های موجشکن شناور از سیستم یک درجه آزادی استفاده شده است. این سیستم مهاربندی در مقیاس واقعی با نام سیستم مهاربندی شمعی شناخته می‌شود چرا که اجرای آن از طریق کارگذاشتن شمع‌ها در اطراف موجشکن شناور انجام می‌پذیرد. وظیفه این شمع‌ها محدود کردن حرکات افقی و همچنین چرخش حول محور طولی می‌باشد اما موجشکن شناور در حرکت در راستای قائم آزاد است. در این سیستم، به منظور اتصال موجشکن شناور به شمع‌ها معمولاً از مهارهایی حلقه مانند که به موجشکن شناور متصل شده و به دور شمع انداخته می‌شوند استفاده می‌شود (شکل۴).



شکل ۴- سیستم مهاربندی شمعی برای موجشکن‌های شناور

نکته مهم در مدل‌سازی این سیستم مهاربندی در آزمایشگاه، استفاده از سیستمی مشابه است که حرکات افقی و چرخش حول محور طولی مدل موجشکن شناور را محدود کرده و تنها به آن اجازه حرکت در راستای قائم را بدهد. به این منظور در این مطالعه از چهار عدد ریل آلومینیومی استفاده شده است (شکل۵).

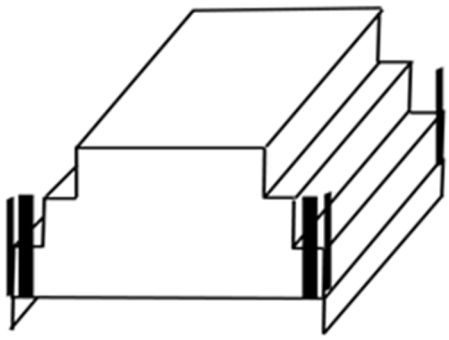


شکل ۵- نحوه مهار مدل موجشکن در فلوم آزمایشگاهی

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.19.6.9]

این سیستم به خوبی، از حرکات افقی و چرخش حول محور طولی مدل ممانعت می‌کند و آن را محدود به حرکت قائم می‌نماید. همچنین با توجه به اینکه مدل‌های موج‌شکن‌های شناور مورد مطالعه، از جنس ورقه‌های پلاگسی گلاس می‌باشند و نیز با توجه به شیشه‌ای بودن دیواره‌های فلوم و صاف و صیقلی بودن سطح ریل‌های آلومینیومی، اصطکاکی که ممکن است از حرکت عمودی مدل ممانعت کند در مقدار حداقل ممکن قرار دارد. اما با این وجود، به منظور کاهش هر چه بیشتر سطح تماس و همچنین ایجاد شرایطی مشابه برای همه مدل‌های مورد مطالعه، از ۸ عدد نوار باریک پلاکسی گلاس که به مدل موج‌شکن شناور متصل شده‌اند استفاده شده است. نحوه تعبیه این نوارها بر روی مدل موج‌شکن شناور در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶- نحوه تعبیه نوارهای پلاکسی گلاس بر روی مدل موج‌شکن شناور

۳- نتایج

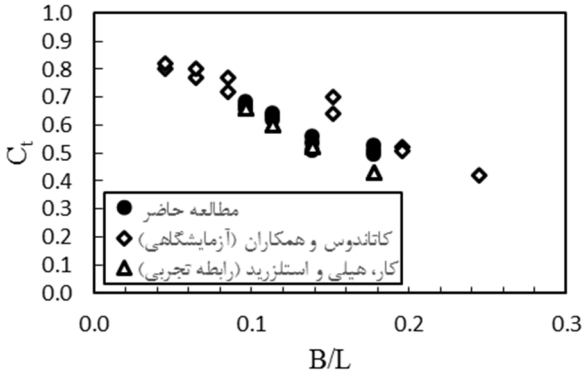
۳-۱- صحت سنجی نتایج

در این قسمت، به منظور بررسی صحت نتایج بدست آمده در این تحقیق، نتایج بدست آمده برای مدل A با نتایج حاصل از کارهای مشابه انجام شده توسط سایر محققین مقایسه شده است.

در شکل ۷، مقایسه بین ضرایب انتقال بدست آمده برای مدل A با نتایج آزمایش‌های انجام شده توسط کاتاندوس و همکاران [۶]، و همچنین رابطه تجربی ارائه شده توسط کار، هیلی و استلزرید [۲۲] (رابطه ۲)، انجام شده است. مشخصات این مطالعات در جدول ۴ نشان داده شده است.

$$C_t = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{2\pi B}{L}\left(1+\frac{dr}{d-dr}\right)\right)^2}} \qquad (۲)$$

در این رابطه B عرض موج‌شکن شناور، L طول موج، dr عمق آبخور موج‌شکن شناور و d عمق آب می‌باشند.



شکل ۷- مقایسه بین نتایج بدست آمده در مطالعه حاضر برای مدل A و نتایج مطالعات انجام شده توسط کاتاندوس و همکاران [۶] و کار و همکاران [۲۲]

جدول ۴- مشخصات مطالعات مختلف در نظر گرفته شده برای صحت سنجی مطالعه حاضر

	H_i / L	B / L	dr / d
مطالعه حاضر	۰/۰۱۱ – ۰/۰۴۶	۰/۰۹۷ – ۰/۱۷۸	۰/۴۷
کاتاندوس و همکاران [۶]	۰/۰۰۵ – ۰/۰۳۷	۰/۰۴۵ – ۰/۲۴۵	۰/۳۳
کار، هیلی و استلزرید [۲۲]	به منظور پیش‌بینی ضریب انتقال توسط رابطه کار از مشخصات مطالعه حاضر استفاده شده است.		

در جدول ۴، H_i / L تیزی امواج، B / L عرض نسبی و dr / d آبخور نسبی موج‌شکن شناور، می‌باشند.

همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌گردد، نتایج بدست آمده از این مطالعات تطابق قابل قبولی با هم دارند. شایان ذکر است که، با توجه به یکسان بودن مشخصات این مطالعه با شرایط در نظر گرفته شده برای رابطه کار، هیلی و استلزرید، نتایج این دو مطالعه بسیار به هم نزدیک می‌باشند. همچنین اندک تفاوت موجود بین نتایج مطالعه حاضر و مطالعه کاتاندوس را می‌توان به تفاوت در مقدار آبخور نسبی این دو مطالعه نسبت داد.

۳-۲- معیار ارزیابی عملکرد هیدرودینامیکی مدل‌های موج‌شکن شناور

عملکرد هیدرودینامیکی موج‌شکن‌های شناور تحت امواجی مناسب ارزیابی می‌گردد که در اثر مواجهه با آنها ضریب انتقال موج‌شکن (C_t) کمتر از ۰/۵ گردد [۱۷]. بنابراین در این تحقیق پارامتر kH_{i50} ($k = 2\pi/L$ عدد موج، L طول موج و H_i ارتفاع موج برخوردی) به عنوان معیاری برای ارزیابی عملکرد هیدرودینامیکی مدل‌های مختلف تحت شرایط گوناگون امواج برخوردی درنظر گرفته شده است. منظور از kH_{i50} مشخصه موج مرزی است که

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.19.6.9]

در آن انتقال از C_t <۰/۵ به C_t >۰/۵ اتفاق می‌افتد. به این ترتیب با تعیین kH_{i50} برای هرمدل، می‌توان به مقایسه عملکرد مدل‌های مختلف پرداخت. بدیهی است که هرچقدر مقدار kH_{i50} کوچکتر باشد، عملکرد مدل در کاهش انرژی امواج عبوری مناسب‌تر خواهد بود.

به‌منظور تعیین مقدار kH_{i50}، نتایج آزمایش‌های انجام شده برای هر مدل به‌صورت تغییرات ضریب انتقال (C_t)، در مقابل پارامتر بی‌بعد kH_i رسم شده است. سپس به مجموعه داده‌ها، بهترین منحنی آماری برازش داده شده و به کمک آن مقدار kH_{i50} تعیین شده است.

۳-۳- ارزیابی و مقایسه عملکرد هیدرودینامیکی مدل‌های مختلف

در این قسمت با توجه به معیار معرفی شده، به ارزیابی عملکرد هیدرودینامیکی مدل‌های مختلف پرداخته می‌شود. به این منظور عملکرد هر مدل در سه آبخور نسبی مختلف، تحت امواج برخوردی با ارتفاع‌ها و طول موج‌های مختلف بررسی می‌شود. نمودارهای رسم شده در شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ نتایج آزمایشگاهی برای مدل‌های مختلف را نشان می‌دهند. در هر کدام از نمودارها یک منحنی درجه ۳، که طبق تحلیل‌های انجام شده در نرم‌افزار مطلب بهترین منحنی آماری ممکن می‌باشد، بر مجموعه داده‌ها برازش داده شده است.

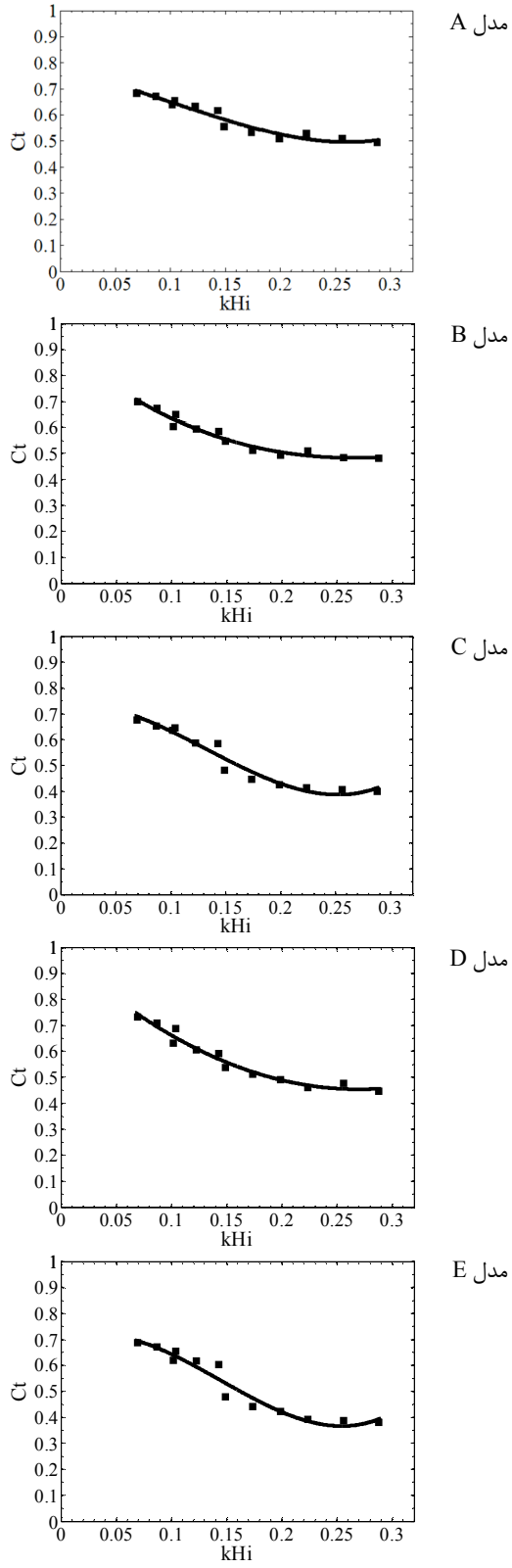
۳-۳-۱- ارزیابی و مقایسه عملکرد هیدرودینامیکی مدل‌های مختلف در آبخور نسبی ۰/۴۷

در نمودارهای رسم شده در شکل ۸، نتایج آزمایش‌های انجام شده برای مدل‌های مختلف در آبخور نسبی ۰/۴۷ نشان داده شده است. این نمودارها نشان دهنده تغییرات ضریب انتقال (C_t) در مقابل پارامتر بی بعد kH_i می‌باشند.

به کمک منحنی‌های برازش داده شده در هر یک از نمودارهای شکل ۸ مقادیر kH_{i50} برای مدل‌های مختلف محاسبه گردیده است. در جدول ۵ مقدار محاسبه شده برای هر مدل نشان داده شده است. همچنین در این جدول درصد بهبود عملکرد هیدرودینامیکی مدل‌های مختلف موج‌شکن شناور پله‌ای نسبت به مدل π شکل محاسبه شده است.

همانطور که در قسمت‌های قبل اشاره شد، مدل A از نوع موج‌شکن شناور π شکل بوده و عملکرد آن مبنای بررسی و مقایسه عملکرد موج‌شکن‌های شناور پله‌ای می‌باشد. مطابق با جدول ۵، مقدار kH_{i50} برای مدل A برابر ۰/۲۴ می‌باشد.

بررسی کلی جدول ۵ نشان می‌دهد که همه انواع موج‌شکن‌های شناور پله‌ای عملکرد هیدرودینامیکی بهتری نسبت به موج‌شکن π شکل با عرض و عمق آبخور مشابه داشته‌اند.



شکل ۸- عملکرد هیدرودینامیکی مدل‌های مختلف در آبخور نسبی ۰/۴۷

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.19.6.9]

جدول ۵- مقدار kH_{i50} و درصد بهبود عملکرد هیدرودینامیکی نسبت به مدل π شکل با عرض و عمق آبخور مشابه در آبخور نسبی ۰/۴۷

نوع موج‌شکن	مدل	kH_{i50}	درصد بهبود عملکرد نسبت به مدل A
π شکل	A	۰/۲۴	-
دو پله‌ای	B	۰/۲۰۷	٪۱۴
دو پله‌ای	C	۰/۱۶۱	٪۳۳
سه پله‌ای	D	۰/۱۹	٪۲۱
سه پله‌ای	E	۰/۱۶۲	٪۳۳

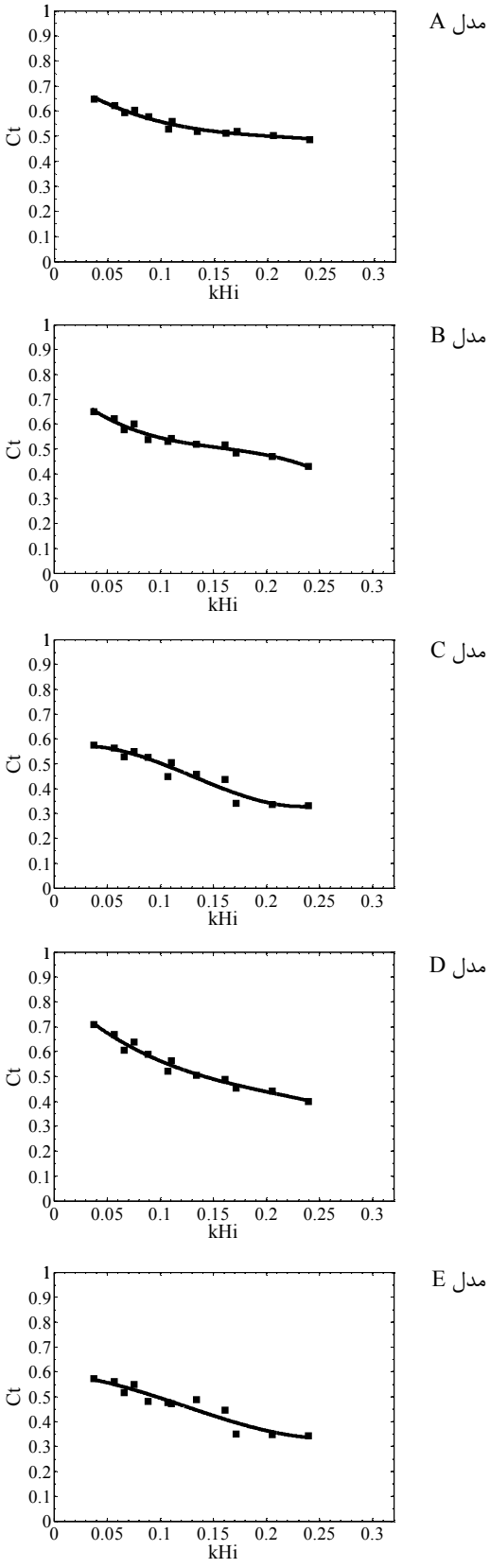
به‌منظور بررسی اثر گام پله بر عملکرد هیدرودینامیکی موج‌شکن‌های شناور پله‌ای، می‌بایست به مقایسه نتایج مدل‌های B و C برای موج‌شکن‌های شناور دو پله‌ای و نتایج مدل‌های D و E برای موج‌شکن‌های شناور سه‌پله‌ای پرداخت. همانطور که در جدول ۵ نشان داده شده است، موج‌شکن مدل B، ۱۴٪ و موج‌شکن مدل C، ۳۳٪ نسبت به مدل A، بهبود عملکرد داشته‌اند. همچنین موج‌شکن مدل D، ۲۱٪ و موج‌شکن مدل E، ۳۳٪ نسبت به مدل A، بهبود عملکرد داشته‌اند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در هر دو مورد موج‌شکن‌های شناور دو پله‌ای و سه پله‌ای، با افزایش گام پله، عملکرد هیدرودینامیکی موج‌شکن شناور بهبود می‌یابد.

به‌منظور بررسی اثر تعداد پله‌ها بر عملکرد هیدرودینامیکی موج‌شکن‌های شناور پله‌ای، می‌بایست به مقایسه نتایج مدل‌های مشابه دو پله‌ای و سه پله‌ای پرداخت. مطابق با جدول ۵، مدل سه پله‌ای D، ۲۱٪ و مدل مشابه دوپله‌ای آن یعنی مدل B، ۱۴٪ بهبود عملکرد نسبت به مدل A را سبب شده‌اند. همچنین مدل سه پله‌ای E، ۳۳٪ و مدل مشابه دو پله‌ای آن یعنی مدل C هم ۳۳٪ بهبود عملکرد نسبت به مدل A را نتیجه داده‌اند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تفاوت عملکرد مدل‌های دو پله‌ای و سه‌پله‌ای در مدل‌های با گام کوچکتر پله رخ داده است و در آن عملکرد مدل سه پله‌ای از مدل دو پله‌ای بهتر بوده است.

۳-۳-۲- ارزیابی و مقایسه عملکرد هیدرودینامیکی مدل‌های مختلف در آبخور نسبی ۰/۵۶

در نمودارهای رسم شده در شکل ۹، نتایج آزمایش‌های انجام شده برای مدل‌های مختلف در آبخور نسبی ۰/۵۶ نشان داده شده است. همچنین در جدول ۶ مقادیر kH_{i50} برای مدل‌های مختلف در این آبخور نسبی به همراه درصد بهبود عملکرد هیدرودینامیکی آنها نسبت به مدل π شکل ذکر شده است.

مطابق با جدول ۶، در آبخور نسبی ۰/۵۶ مقدار kH_{i50} برای مدل π شکل A برابر ۰/۲ می‌باشد.



شکل ۹- عملکرد هیدرودینامیکی مدل‌های مختلف در آبخور نسبی ۰/۵۶

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.19.6.9]

جدول ۶- مقدار kH_{i50} و درصد بهبود عملکرد هیدرودینامیکی نسبت به مدل π شکل با عرض و عمق آبخور مشابه در آبخور نسبی ۰/۵۶

نوع موج‌شکن	مدل	kH_{i50}	درصد بهبود عملکرد نسبت به مدل A
π شکل	A	۰/۲	-
دو پله‌ای	B	۰/۱۶۴	٪۱۸
دو پله‌ای	C	۰/۱۰۲	٪۴۹
سه پله‌ای	D	۰/۱۴۲	٪۲۹
سه پله‌ای	E	۰/۰۹۶	٪۵۲

بر طبق جدول ۶، در این آبخور نسبی همانند حالت قبل عملکرد هیدرودینامیکی کلیه مدل‌های موج‌شکن‌های شناور پله‌ای از مدل موج‌شکن شناور π شکل با عرض و عمق آبخور مشابه بهتر بوده است.

در مورد تاثیر گام پله بر عملکرد هیدرودینامیکی موج‌شکن شناور پله‌ای، در مدل‌های دو پله‌ای مدل B، ۱۸٪ و مدل C، ۴۹٪ نسبت به مدل A بهبود عملکرد داشته‌اند. همچنین در مدل‌های سه پله‌ای، مدل D، ۲۹٪ و مدل E، ۵۲٪ نسبت به مدل A بهبود عملکرد داشته‌اند. بنابراین با افزایش گام پله عملکرد هیدرودینامیکی موج‌شکن‌های شناور پله‌ای بهبود می‌یابد.

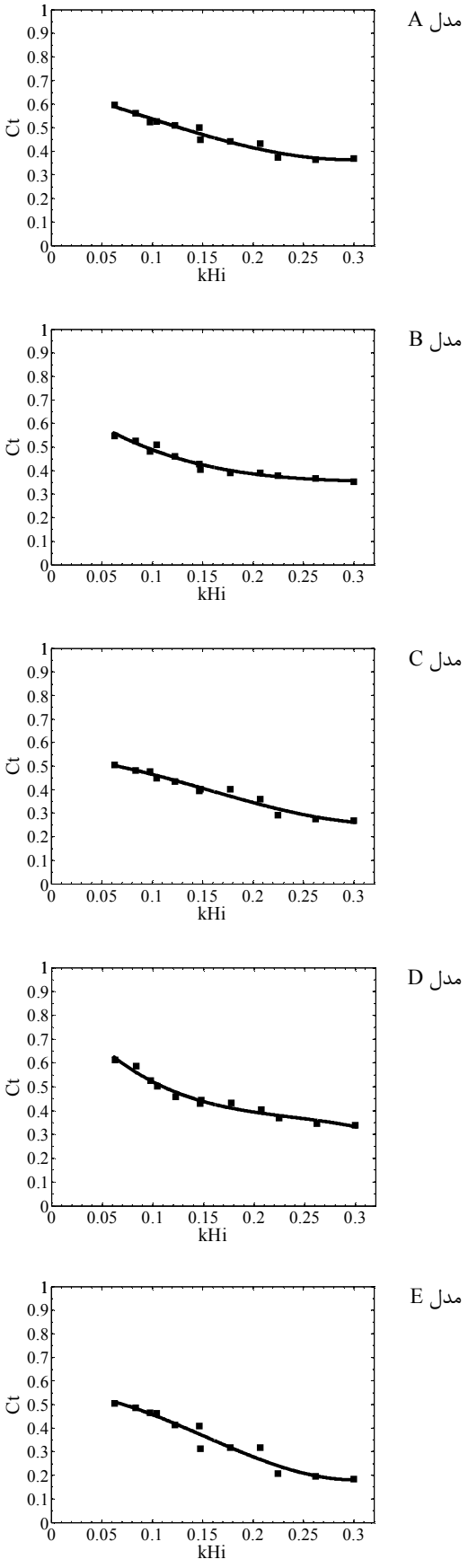
در مورد مقایسه عملکرد موج‌شکن‌های دو پله‌ای و سه پله‌ای، مدل سه‌پله‌ای D، ۲۹٪ و مدل مشابه دوپله‌ای یعنی مدل B، ۱۸٪ بهبود عملکرد نسبت به مدل A را سبب شده‌اند. همچنین مدل سه‌پله‌ای E، ۵۲٪ و مدل دو پله‌ای C، ۴۹٪ نسبت به مدل A بهبود عملکرد داشته‌اند . بنابراین در این آبخور نسبی عملکرد هیدرودینامیکی موج‌شکن‌های سه‌پله‌ای از موج‌شکن‌های دو پله‌ای بهتر بوده است اما با افزایش گام پله‌ها مقدار تفاوت عملکرد آنها کاهش یافته است.

۳-۳-۳- ارزیابی و مقایسه عملکرد هیدرودینامیکی مدل‌های مختلف در آبخور نسبی ۰/۷

در نمودارهای رسم شده در شکل ۱۰، نتایج آزمایش‌های انجام شده برای مدل‌های مختلف در آبخور نسبی ۰/۷ نشان داده شده است. همچنین در جدول ۷ مقادیر kH_{i50} برای مدل‌های مختلف در این آبخور نسبی به همراه درصد بهبود عملکرد هیدرودینامیکی آنها نسبت به مدل π شکل ذکر شده است.

مطابق با جدول ۷، در آبخور نسبی ۰/۷ مقدار kH_{i50} برای مدل π شکل A برابر ۰/۱۲۷ می‌باشد.

بر طبق جدول ۷، در این آبخور نسبی همانند حالت‌های قبل عملکرد هیدرودینامیکی کلیه مدل‌های موج‌شکن‌های شناور پله‌ای



شکل ۱۰- عملکرد هیدرودینامیکی مدل‌های مختلف در آبخور نسبی ۰/۷

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.19.6.9]

جدول ۷- مقدار kH_{i50} و درصد بهبود عملکرد هیدرودینامیکی نسبت به مدل π شکل با عرض و عمق آبخور مشابه در آبخور نسبی ۰/۷

نوع موجشکن	مدل	kH_{i50}	درصد بهبود عملکرد نسبت به مدل A
π شکل	A	۰/۱۲۷	-
دو پله‌ای	B	۰/۰۹۳	٪۲۷
دو پله‌ای	C	۰/۰۶۵	٪۴۹
سه پله‌ای	D	۰/۱۱۰	٪۱۳
سه پله‌ای	E	۰/۰۷۱	٪۴۴

از مدل موجشکن شناور π شکل با عرض و عمق آبخور مشابه بهتر بوده است.

در مورد تاثیر گام پله بر عملکرد هیدرودینامیکی موجشکن شناور پله‌ای، در مدل‌های دو پله‌ای مدل B، ۲۷٪ و مدل C، ۴۹٪ نسبت به مدل A بهبود عملکرد داشته‌اند. همچنین در مدل‌های سه پله‌ای، مدل D، ۱۳ ٪ و مدل E، ۴۴٪ نسبت به مدل A بهبود عملکرد داشته‌اند. بنابراین با افزایش گام پله عملکرد هیدرودینامیکی موجشکن‌های شناور پله‌ای بهبود می‌یابد.

در مورد مقایسه عملکرد موجشکن‌های دو پله‌ای و سه پله‌ای، مدل سه‌پله‌ای D، ۱۳٪ و مدل مشابه دوپله‌ای یعنی مدل B، ۲۷٪ بهبود عملکرد نسبت به مدل A را نتیجه داده‌اند. همچنین مدل سه‌پله‌ای E، ۴۴٪ و مدل دو پله‌ای C، ۴۹٪ بهبود عملکرد نسبت به مدل A را سبب شده‌اند. بنابراین در این آبخور نسبی عملکرد هیدرودینامیکی موجشکن‌های دو پله‌ای از موجشکن‌های سه پله‌ای بهتر بوده است اما با افزایش گام پله‌ها مقدار تفاوت عملکرد آنها کاهش یافته است.

۳-۳-۴- مقایسه عملکرد هیدرودینامیکی مدل‌های مختلف با تغییر آبخور نسبی

در این قسمت به مقایسه عملکرد هیدرودینامیکی موجشکن‌های شناور پله‌ای در سه آبخور نسبی ۰/۴۷، ۰/۵۶ و ۰/۷ می‌پردازیم. به این منظور در جدول ۸، درصد بهبود عملکرد هیدرودینامیکی هر یک از مدل‌های پله‌ای نسبت به مدل π شکل، در سه آبخور نسبی مختلف، نشان داده شده است.

همانطور که در جدول ۸ مشخص است در موجشکن‌های نوع دو پله‌ای با افزایش آبخور نسبی از ۰/۴۷ به ۰/۵۶ و ۰/۷ درصد بهبود عملکرد نسبت به مدل π شکل، افزایش یافته است. اما در موجشکن‌های نوع سه پله‌ای، با افزایش آبخور نسبی از ۰/۴۷ به ۰/۵۶ درصد بهبود عملکرد نسبت به مدل π شکل، افزایش یافته سپس با افزایش آبخور نسبی از ۰/۵۶ به ۰/۷ درصد بهبود عملکرد آنها کاهش یافته است. علت تفاوت در نحوه عملکرد موجشکن‌های

جدول ۸- درصد بهبود عملکرد مدل‌های مختلف نسبت به مدل A

نوع موجشکن	مدل	آبخور نسبی ۰/۴۷	آبخور نسبی ۰/۵۶	آبخور نسبی ۰/۷
دو پله ای	B	٪۱۴	٪۱۸	٪۲۷
دو پله ای	C	٪۳۳	٪۴۹	٪۴۹
سه پله ای	D	٪۲۱	٪۲۹	٪۱۳
سه پله ای	E	٪۳۳	٪۵۲	٪۴۴

شناور دو پله‌ای و سه پله‌ای در افزایش آبخور نسبی از ۰/۵۶ به ۰/۷ می‌تواند به این ترتیب توجیه گردد که از آنجایی‌که پله پایینی تعبیه شده در موجشکن‌های سه‌پله‌ای نسبت به پله تعبیه شده در موجشکن‌های دو پله‌ای در فاصله بیشتری نسبت به سطح آب قرار دارد بنابراین در آبخور نسبی ۰/۷ درگیری این پله در موجشکن‌های سه‌پله‌ای با امواج برخوردی کاهش یافته که در نتیجه منجر به کاهش مقدار بهبود عملکرد این مدل‌ها نسبت به آبخور نسبی ۰/۵۶ گردیده است.

۳-۴- مشاهدات آزمایشگاهی

در این قسمت به تحلیل نحوه عملکرد موجشکن‌های شناور پله‌ای از طریق مشاهدات انجام شده در آزمایشگاه پرداخته می‌شود.

طبق مطالعات انجام شده توسط سایر محققین از جمله تولبا [۱۲] و کاتاندوس و همکاران [۶]، عملکرد موجشکن‌های شناور در کاهش ارتفاع امواج برخوردی می‌تواند ناشی از دو عامل زیر باشد:

- انعکاس انرژی امواج از طریق ایجاد سدی در برابر امواج برخوردی.
- استهلاک انرژی امواج در اثر برخورد موج به موجشکن شناور، از طریق جذب انرژی توسط بدنه شناور، حرکات موجشکن شناور و همچنین تشکیل گردابه‌ها (vortex) در نواحی لبه‌ای و تیز آن و... .

هدف از پله‌ای کردن سطح موجشکن شناور در این مطالعه، ایجاد سطحی ناهموار (در مقایسه با سطح صاف موجشکن‌های π شکل) در برابر امواج برخوردی و در نتیجه استهلاک بیشتر انرژی امواج برخوردی است. در این راستا با توجه به مشاهدات انجام شده در آزمایشگاه، بهبود عملکرد موجشکن‌های شناور پله‌ای نسبت به مدل π شکل، می‌تواند ناشی از عوامل زیر باشد (شکل۱۱):

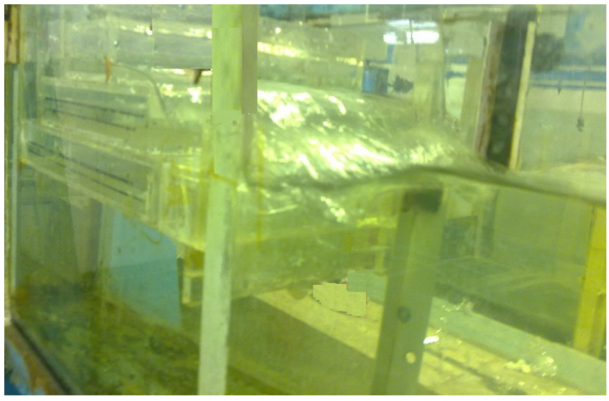
- افزایش تشکیل گردابه‌ها (vortex) در ناحیه برخورد موج به موجشکن پله‌ای در مقایسه با حالت موجشکن π شکل.
- برخورد و سپس بازگشت و سرریزی دوباره موج از سطح پله‌ها و در نتیجه ایجاد شرایطی به منظور تولید اغتشاش بیشتر در ناحیه جلوی موجشکن و در نتیجه استهلاک بیشتر انرژی امواج برخوردی.

بر طبق مشاهدات انجام شده، افزایش گام پله‌ها و یا افزایش تعداد آنها، منجر به تشدید شرایط ذکر شده می‌گردد. اما عامل تأثیر گذار

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.19.6.9]





شکل ۱۱- تشکیل گردابه‌ها در اثر برخورد موج به موج‌شکن شناور پله‌ای (راست)، بازگشت و سرریزی دوباره موج از سطح پله‌ها (چپ)

دیگر بر عملکرد موج‌شکن‌های شناور پله‌ای، وضعیت قرارگیری پله‌ها در عمق آب می‌باشد. چراکه بر طبق نتایج بدست آمده، قرارگیری پله‌ها در آبخورهای نسبی بزرگ و در فاصله‌های بیشتر نسبت به سطح آب، منجر به کاهش تأثیر آنها می‌گردد.

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق با استفاده از روش مدل‌سازی فیزیکی، به ارزیابی عملکرد هیدرودینامیکی موج‌شکن‌های شناور پله‌ای و همچنین مقایسه عملکرد آنها با موج‌شکن شناور π شکل پرداخته شد. بدین منظور ۵ مدل مختلف آزمایشگاهی از موج‌شکن‌های شناور پله‌ای با تعداد دو و سه پله و همچنین موج‌شکن شناور π شکل با عرض و عمق آبخور مشابه انتخاب و عملکرد هیدرودینامیکی آنها از طریق انجام آزمایش در فلوم موج‌ساز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام شده برای مدل‌های مختلف با یافتن مقدار kH_{i50} برای هر مدل و مقایسه عملکرد مدل‌های مختلف به کمک آن ارزیابی شد. مهمترین نتایج بدست آمده از این تحقیق، به‌شرح زیر می‌باشند:

۱- بر اساس نتایج بدست آمده برای عملکرد هیدرودینامیکی مدل‌های مورد مطالعه در این تحقیق مشاهده شد که مدل‌های مختلف پله‌ای تحت شرایط مختلف هیدرودینامیکی، ۱۳ تا ۵۲ درصد بهبود عملکرد را نسبت به مدل π شکل با عرض و عمق آبخور مشابه ارائه کردند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد موج‌شکن شناور پله‌ای به جای موج‌شکن شناور π شکل، علاوه بر کاهش مصالح مصرفی برای ساخت موج‌شکن، منجربه بهبود عملکرد هیدرودینامیکی آن نیز می‌گردد.

۲- با افزایش گام پله‌ها، مقدار بهبود عملکرد هیدرودینامیکی موج‌شکن‌های شناور پله‌ای نسبت به مدل π شکل، افزایش می‌یابد.

۳- با مقایسه عملکرد مدل‌های دو پله‌ای و سه پله‌ای مشخص شد که مقدار تفاوت عملکرد آنها در مقدار کوچکتر گام‌های پله مطالعاتی بیشتر است اما با افزایش گام پله مقدار تفاوت عملکرد آنها کاهش می‌یابد. همچنین در این تحقیق به طور کلی در محدوده آبخورهای نسبی ۰/۴۷ و ۰/۵۶ مدل‌های سه پله‌ای عملکرد بهتری داشتند و در آبخور نسبی ۰/۷ مدل‌های دو پله‌ای عملکرد بهتری را نتیجه دادند.

۴- ارزیابی تأثیر آبخور نسبی بر عملکرد هیدرودینامیکی موج‌شکن‌های شناور پله‌ای نشان داد که مقدار بهبود عملکرد مدل‌های دو پله‌ای نسبت به مدل π شکل، با افزایش آبخور نسبی از ۰/۴۷ به ۰/۵۶ و ۰/۷ افزایش می‌یابد. اما در مدل‌های سه پله‌ای با افزایش آبخور نسبی از ۰/۴۷ به ۰/۵۶ مقدار بهبود عملکرد مدل‌ها افزایش و با افزایش آبخور نسبی از ۰/۵۶ به ۰/۷ مقدار بهبود عملکرد آنها کاهش می‌یابد. بنابراین به نظر می‌رسد قرارگیری پله‌ها در آبخورهای نسبی بزرگ و در فاصله‌های بیشتر نسبت به سطح آب منجر به کاهش تأثیر آنها می‌گردد.

۵- مراجع

1- Sutko, A. and Haden, E.L., (1974), *The effect of surge, heave and pitch on the performance of a floating breakwater*, floating breakwater conference, Rhode Island, p.41-53.

2- Mastunaga, N., Hashida, M. and Uzaki, K., (2002), *Performance of Wave Absorption by a Steel Floating Breakwater with Truss Structure*, International Offshore and Polar Engineering Conference, Kitakyushu, Japan, p.768-772.

3- Mani, J., (1991), *Design of Y-Frame Floating Breakwater*, Journal of Waterway, Ports, Coastal and Ocean Engineering, Vol.117, No.2, p.105-119.

4- Sundar, V. and Sundaravadivelu, R., (2003), *Hydrodynamic characteristics of moored floating pipe breakwaters in random waves*, Journal of Engineering for the Maritime Environment, Vol.31, p.95-110.

5- Gunaydin, K. and Kabdasli, M., (2004), *Performance of solid and perforated U-type breakwaters under regular and irregular waves*, Journal of Ocean Engineering, Vol.31, p.1377-1405.

6- Koutandos, E., Prinos, P. and Gironella, X., (2005), *Floating breakwaters under regular and irregular wave forcing: reflection and transmission*

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.19.6.9]

rigid wave boards, Journal of Applied Ocean Research, Vol.28, p.327–338.

16- Amer, S. and Mani, J., (2006), *performance of Multiple Pontoons Floating Breakwater- A Numerical Approach*, Journal of civil Engineering in the oceans, Vol.111, p.342-355.

17- Pena, E., Ferreras, j. and Sanchez, F., (2011), *Experimental study on wave transmission coefficient, mooring lines and module connector forces with different designs of floating breakwaters*, Journal of ocean engineering, Vol.38, p.1150-1160.

18- Hosseinzadeh, H., Vafaee, F. and Aghtouman, P., (2010), *experimental investigation of optimum skirt height on waves transmission from skirt pontoon type floating breakwaters*, Journal of Marine Engineering, Vol.11, p.71-78. (In Persian)

19- Forouzandeh, N., Hakimzadeh, H., Aghtouman, P. and Karamikhaniki, A., (2011), *Experimental investigation on effect of draught, mass and sheet height in pontoon floating sheet breakwaters on transmission and reflection coefficients subject to irregular waves*, Journal of Marine Engineering, Vol.13, p.17-28. (In Persian)

20- Abdolali, A. and Kolahdoozan, M., (2011), *Comparison of analytical methods of wave decomposition*, Journal of Marine Engineering, Vol.14, p.105-116. (In Persian)

21- FDN Engineering, *Dutch floating breakwater technical information*, Available from http://www.fdnengineering.nl.

22- Carr, J., Healy, J. and Stelzriede, M., (1950), *Reflection and transmission of water wave by floating and fixed rigid surface barrier*, Progress report for July 1950, Hydraulic Laboratory, California Institute of Technology, Contract NOy-12561.

characteristics, Journal of Hydraulic Research, Vol.43, p.174-188.

7- Wang, H. and Sun, Z., (2010), *Experimental study of a porous floating breakwater*, Journal of Ocean Engineering, Vol.37, p.520-527.

8- Isaacson, M. and Bhat, S., (1998), *Wave propagation past a pile-restrained floating breakwater*, International Journal of Offshore and Polar Engineering, Vol.8, p.265-269.

9- Koftis, T. and Prinos, P., (2005), *On the hydrodynamic efficiency of floating breakwaters*, International Conference on Coastal Zone Management and Engineering in the Middle East, Dubai, United Arab Emirates.

10- Drimer, N., Agnon, Y. and Stiassnie, M., (1991), *A simplified analytical model for a floating breakwater in water of finite depth*, Journal of Applied Ocean Research, Vol.14, p.33-41.

11- silander, J., (1999), *Performance of floating breakwaters*, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol.123, p.172-179.

12- Tolba, E., (1998), *Behaviour of floating breakwaters under wave action*, PhD thesis, Suez Canal University, Panama.

13- Behzad, M. and Akbari, M., (2007), *Experimental investigation on response and efficiency of moored pontoon type floating breakwaters*, Iranian Journal of Science and Technology, Transaction B: Engineering, Vol.31(1), p.95–99.

14- Koftis, T. and Prinos, P., (2005), *2D-V Hydrodynamics of Double Floating Breakwaters*, Coastal Dynamics conference, ASCE, p.1-14.

15- Gesraha, M.R., (2006), *Analysis of P shaped floating breakwater in oblique waves: I. Impervious*

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1393.10.19.6.9]