بررسی المان پایدارساز تور ماهیگیری بر رفتار پیچ شناور پروازی در امواج منظم

تقی علی اکبری[۱] ، مهدی عجمی[۲*]، محمد مونسان[۳]

[۱] دانشجوی دکتری/ دانشگاه صنعتی شاهرود، آزمایشگاه ملی دریایی شهدای خلیج فارس، Aliakbari_Taghi@yahoo.com
[۲*] استادیار دانشگاه صنعتی شاهرود، Mahdi.adjami@gmail.com
[۳] استادیار دانشگاه صنعتی شاهرود، m.moonesun@gmail.com

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۲۸
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۹/۰۹

کلمات کلیدی:
پایداری سازی
تور ماهیگیری
امواج منظم
دریامانی
پیچ

چکیده

این مقاله به ارائه یک روش جدید ابداعی برای کاهش غلتش و پایدارساز کشتی‌ها با استفاده از تورهای ماهیگیری معمولی می‌پردازد. بررسی و کنترل رفتار شناور در امواج، از دغدغه‌های اصلی طراحان کشتی بوده است. روشهای مختلفی برای پایدارسازی کشتی در امواج استفاده شده است مانند مخازن ضدغلتش، ژیرو استبلایزر و بالکهای ضدغلتش که هریک مزایا و معایب خاص خود را دارند. در این مقاله، بررسی المان تور جهت کاهش دامنه رفتار در امواج و در حالت ایستایی به روش آزمایشات مدل فیزیکی شناور انجام شده است. آزمایشات مدل در حوضچه کشش آزمایشگاه ملی دریایی شهدای خلیج فارس با استفاده از دو نمونه تور با مش مختلف جهت مقایسه رفتار تور، انجام شده است. ایده استفاده از المان تور جهت کاهش دامنه حرکات در امواج، برای اولین بار در این تحقیق ارائه شده و مشابه داخلی و خارجی ندارد. یافته های حاصل از این تحقیق برای شناور پروازی نشان از کاهش دامنه حرکات تا ۲۰ درصد در امواج منظم دارد. طول مدل درنظرگرفته شده برابر با ۲/۵ متر بوده و ملزومات روش انجام آزمایشات بر اساس دستورالعمل انجام آزمایشات دریامانی ITTC صورت گرفته است.

Evaluation of the Fishing Net Stabilizing Method on a Planning Craft in Regular Waves by Experimental Method

Taghi Aliakbari[1], Mahdi Adjami[2], Mohammad Moonesun[3]

[1] PHD student, Shahrood university of Technology (NIMALA); Aliakbari_taghi@yahoo.com
[2] Assistant Professor, Shahrood university of Technology; mahdi.adjami@gmail.com
[3] Assistant Professor, Shahrood university of Technology; m.moonesun@gmail.com

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 19 Sep. 2021
Accepted: 30 Nov. 2021

Keywords:
Stabilizer
Fishing Net
Regular Waves
Seakeeping
Pitch

ABSTRACT

This article presents a new innovative method to reduce the motions and stabilizing the ships using the ordinary fishing net. The study of ship motions in the waves has been the main concerns of ship designers. Some methods have been used to stabilize the ship in the waves, such as stabilizing tanks, gyro stabilizers and fin stabilizer, which these have their own advantages and disadvantages. In this paper, the study of the net element to reduce the amplitude of Pitch motion in the regular waves in the static state has been done by experiments in a towing tank. The model experiments were performed in the towing tank of National Iranian Marine Laboratory (NIMALA) using two kinds of net with different meshes to compare the effects. The innovative idea of using the fishing net element to reduce the ship motions in the waves was presented for the first time in this research. The findings of this study for the planing craft show a reduction in Pitch motion of up to 20% in regular waves. The length of the model is 2.5 meters and the requirements of the test method are based on the ITTC marine testing instructions.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-19]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.12.4]

۱ - مقدمه

هر شناور متناسب با جابجایی (تناژ) و مقدار پایداری در محدوده خاصی از تلاطم دریا [i] می‌تواند به طور ایمن حرکت کند[1,2]. اثراتی مانند نیروی امواج، جریانهای دریایی و باد باعث غلتش شناور می‌شوند که مشخصات مختلف غلتش از قبیل شتابها و دامنه غلتش نباید از حد مجاز تعریف شده برای شناور تجاوز کند[3-7] که دو عامل اصلی در آن در نظر گرفته می‌شود[8]: ۱) راحتی انسان و کارکرد ایمن خدمه که در کشتی‌ها. ۲) شرایط قابل تحمل دستگاهها و تجهیزات و بدنه خود کشتی. لذا اگر شناور در محدوده کاری خود (مطابق با سناریوی کاری تعریف شده)، مجبور به عبور از مناطق دریایی بسیار متلاطم در فصل‌های خاصی باشد که میزان پایداری شناور برای غلبه بر آنها مناسب نیست باید یکی از روشهای کاهش غلتش زیر را استفاده کند[9,10] : ۱- بالچه‌های کنار بدنه [ii] ۲- بال‌های ضد غلتش [iii] ۳- مخازن ضد غلتش [iv] ۴- ژیروسکوپ ضد غلتش[v]. هر یک از موارد فوق دارای مزایا و معایب خاص خود هستند که اشغال حجم و وزن در داخل کشتی و بعضا عدم کارایی در برخی فرکانسهای برخورد خاص از امواج دریا از جمله آنهاست. کشتی‌های قدیمی در زیر بدنه دارای یک کیل به صورت تیر بلندی بودند که این کیل اثر کاهش غلتش عرضی شناور را نیز انجام می‌داد [2,11]. پس از ساخته شدن کشتی‌های فلزی، برای کاهش غلتش، تیغه‌هایی به کنارها در قسمت پایین بدنه جوش داده شدند که به این تیغه‌ها «بالچه‌های کنار بدنه» می‌گویند. این بالچه‌ها به صورت عمود بر پوسته در طرفین بدنه نصب می‌شوند و به گونه‌ای قرار می‌گیرند که از حداکثر عرض بدنه تجاوز ننمایند[12]. این بالچه‌ها معمولاً از وسط تا $\frac{2}{3}$ طول بدنه (به سمت عقب) امتداد می‌یابند و حدود ۳۰-۲۰ درصد از غلتش بدنه را کاهش می‌دهند[2]. بالک‌های ضد غلتش نیز همانند زواید بلندی از کناره‌های زیر بدنه بیرون زده‌اند و برای کاهش بسیار مؤثر غلتش عرضی بکار می‌روند و اگر به خوبی طراحی شوند، کاهش غلتش به اندازه ۹۰ درصد را به دنبال دارند و در کشتی‌های مسافربری حرکات رول را بین ۴-۲ درجه محدود می‌کنند[3,13]. این بالکها بسیار پرهزینه هستند و معمولاً در کشتی‌های مسافربری و کانتینربر استفاده می‌شوند. این بالکها از حداکثر عرض بدنه تجاوز می‌کنند لذا برای جلوگیری از تصادم این بالکها با شناورهای دیگر و پایه‌های اسکله، در مواقعی که مورد نیاز نباشند به داخل بدنه جمع می‌شوند[14]. مخازن ضد غلتش از مواردی هستند که بین ۳۵ تا ۵۰ درصد غلتش‌های شناور را کاهش می‌دهند[2,7]. خاصیت ضد غلتش بودن این مخازن ارتباطی با سرعت حرکت شناور ندارد. لذا در کشتی‌هایی که برای مدت طولانی در یک محل توقف دارند می‌تواند مؤثر باشد. مانند کشتی‌های مسکونی کنار سکوهای دریایی و کشتی‌های حفاری[15-17]. این مخازن از سطح آزاد سیال برای کاهش غلتش استفاده می‌کنند. سطح آزاد مخازن دو اثر مهم بر شناور دارد: ۱) اثر سطح آزاد مخازن باعث کاهش پایداری می‌شود به طوری که در شناورهایی که دارای مخازن ضد غلتش هستند باید مقدار پایداری به حدی باشد که اثر سطح آزاد مخازن باعث حد بحرانی پایداری نگردد[4,18]. ۲) جابجایی سیال داخل مخازن از لختی و تأخیر فاز نسبت به جابجایی شناور برخوردار است. این تأخیر فاز به میزان آزادی سیال برای جابجا شدن بین دو ناحیه از مخزن بستگی دارد[3]. در مؤثرترین حالت، این تأخیر فاز به اندازه نصف پریود غلتش شناور می‌باشد. بدترین حالت نیز «هم فاز» شدن با پریود غلتش شناور است که نه تنها باعث کاهش غلتش نمی‌گردد بلکه دامنه غلتش را شدیدتر می‌نماید[19]. لذا برای ایجاد تأخیر فاز مناسب، مخازن ضد غلتش را معمولاً به شکل U می‌سازند که در قسمت بالا یا پایین بدنه قرار می‌گیرند. ژیروسکوپ ضد غلتش نیز از عوامل پایدارساز و ضدغلتش کشتی است که بر اساس تئوری ژیروسکوپ‌های معمولی می‌باشد[2]. ژیروسکوپ‌ها دارای دو نوع فعال و غیر فعال هستند و معمولاً در شناورهای متوسط و کوچک نصب می‌شوند مانند کشتی‌های راهنما [vi] و شناورهای تفریحی کرانه‌پیما. علت این امر این است که ژیروسکوپها معمولاً در اندازه‌های خیلی بزرگ ساخته نمی‌شوند که بتوانند بر روی شناورهای اقیانوس‌پیما نصب شده و بر کاهش غلتش نیز مؤثر باشند[20]. تاکنون بزرگترین شناوری که بر روی آن ژیروسکوپ ضد غلتش نصب شده است، کشتی لوکس مسافربری ایتالیایی *conte di savoia* با تناژ بیش از ۴۰ هزار تن می‌باشد. این کشتی دارای سه ژیروسکوپ ضد غلتش با قطر قسمت دوار حدود ۴ متر است. وزن هر ژیروسکوپ ۲۳۰ تن و مجموع ژیروسکوپ‌ها دارای وزن ۶۹۰ تن (یعنی حدود ۱/۷ درصد جابجایی کل کشتی !) هستند[2,3]. ژیروسکوپها معمولاً حدود ۶۰ درصد و در بهترین کارآیی تا ۸۰ درصد از غلتش عرضی شناور را می‌توانند کاهش دهند[21]. لندازه و جرم ژیروسکوپ‌ها و تعداد آنها بر کاهش غلتش شناور بسیار مهم هستند و از آنجا که ژیروسکوپها معمولاً دارای جرم خیلی زیاد نیستند لذا معمولاً در شناورهای کوچک و متوسط نصب می‌شوند که کارآیی لازم را داشته باشند. در شناورهای بزرگ معمولاً از روش مخازن و بالکهای ضد غلتش استفاده می‌شود. مزیت عمده این روش کارآیی بسیار زیاد در کاهش غلتش عرضی و عیب آن هزینه زیاد نصب و نگهداری می‌باشد[22]. برای کاهش غلتش طولی و عمودی و پایدارسازی حرکات پیچ و هیو نیز از روشهایی مانند بالک سینه و حبابی سینه استفاده می‌شود[5]. برای کاهش غلتش طولی شناور اقدام مؤثری همانند روشهای کاهش غلتش عرضی نمی‌توان انجام داد چرا که ممان‌های طولی خیلی بزرگتر از ممان‌های عرضی

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-19]

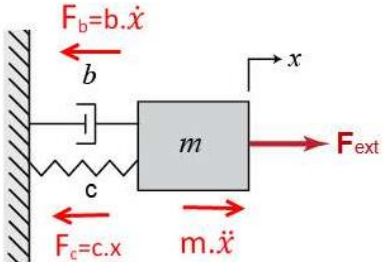
[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.12.4]

هستند و براحتی نمی‌توان بر آنها غلبه کرد. در برخی مواقع که حرکات غلتش طولی شناور بسیار شدید باشد می‌توان از بالکهایی در منتهی‌الیه جلوی سینه استفاده کرد. این بالکها در کاهش غلتش طولی شناور بسیار مؤثر هستند ولی دو ایراد اصلی دارند[3]: اولاً: باعث ایجاد ارتعاش زیاد در بدنه می‌شوند و ثانیاً در بسیاری موارد این بالکها در اثر حرکات شدید سینه دچار شکست شده‌اند لذا باید دارای سازه بسیار محکم و سنگین باشند. حبابی سینه [vi i] نیز دارای کاربردهای هیدرودینامیکی زیادی است ولی در کنترل غلتش طولی نیز بسیار مؤثر است چرا که به عنوان یک حجم بویانسی بزرگ در منتهی‌الیه جلوی سینه می‌باشد که ممان طولی زیادی برای برگرداندن شناور در حالت اولیه ایجاد می‌کند[23]. در حالت کلی، شناورهایی که دارای سینه باریک و تیز (همانند کشتی‌های نظامی) هستند دارای غلتش طولی (حرکات پیچ) شدیدتری نسبت به شناورهای دارای سینه توپر (همانند نفتکش‌ها) هستند. اشکال عمده این روش، تغییرات کلی شکل بدنه و تحمیل حجم بزرگ در قسمت سینه و کارایی نه چندان بالا می‌باشد. بنابراین روش استفاده از تور در این زمینه و بخصوص در کاهش نوسانات طولی و عمودی (حرکات پیچ و هیو) بسیار بسیار موثر و کارآمد است. مزایای استفاده از تورهای ضدغلتش که شبیه تورهای ماهیگیری معمولی است مزایای بزرگ زیر را به دنبال دارد: ۱- پوشش دادن معایب و نواقص سایر روشهای پایدارساز بخصوص در حرکات عمودی و طولی. ۲- تحمیل حجم و وزن بسیار اندک چراکه تورها در داخل یک حجم بسیار کوچک در طرفین بدنه قابل جمع شدن هستند. ۳-هزینه بسیار ناچیز در مقایسه با سایر روشهای پایدارساز چراکه جنس و مشخصات این تورها همانند تورهای ماهیگیری تجاری موجود در بازار هستند. ۴-کارایی در همه فرکانسهای برخورد موج و عدم ایجاد رزنانس در هیچ شرایطی. این تورها در دو یا چهار یا شش محل مجزا (وابسته به طول شناور) در طرفین بدنه و در قسمت سینه و میانی و پاشنه شناور در داخل محفظه‌های استوانه‌ای کامپوزیتی سبک قابل نصب هستند و فقط در شرایط اضطراری باز شده و تورها به داخل آب انداخته می‌شوند. برای اینکه تورها در اثر حرکات کشتی و برخورد امواج در هم گره نخورند و بتوانند کارایی موثری داشته باشند، در انتهای آنها یک میله صلب قرار میگیرد تا تور همیشه باز و پهن باشد و بیشترین سطح در معرض سیال را داشته باشد.

در این مقاله، به بیان روش جدیدی از پایدار کردن شناور در حالت ایستایی و در مواجهه با موج پرداخته شده است. این روش تاکنون در هیچ یک از منابع تحقیقاتی جهانی ذکر و ثبت نشده است و نمونه مشابه جهت بررسی تاریخچه وجود ندارد.

۲- معادلات حاکم

اکثر سیستم‌های مکانیکی را می‌توان با تقریب بسیار خوبی با سیستم جرم-فنر-دمپر، بصورت خطی مدل‌سازی کرد. در شکل زیر (شکل --)جرم m توسط فنر با سختی c (معادل ضرایب پایداری استاتیکی در شناورها) و میراگر با ضریب میرایی b (مانند نیروهای مقاومت و میرایی حرکت در شناورها ناشی از بدنه شناور و تور متصل به بدنه) است. نیروی تحریک F (مانند نیروی تحریک موج) در جهت محور x به جرم وارد می‌شود. دیاگرام آزاد نیروهای وارد بر جرم به صورت شکل -- است.



شکل ۱: دیاگرام آزاد و ضرایب هیدرودینامیکی(a,b) و هیدرواستاتیکی(c) وارد بر سیستم (شناور)

مطابق با شکل فوق، نیروهای وارد شده به جرم، در چنین سیستمی را می‌توان با استفاده از قانون دوم نیوتن، به شکل زیر نشان داد :

$$\sum F = ma \Rightarrow F_{ext} - F_b - F_c = m\ddot{x} \Rightarrow F_{ext} = m\ddot{x} + F_b + F_c$$

$$\Rightarrow F_{ext} = m\ddot{x} + b\dot{x} + cx \quad (۱)$$

در واقع نیروی تحریک خارجی (F) باعث حرکت جسم می شود و نیروی بازگرداننده فنر (F_c)و نیروی میرا کننده(F_b) باعث جلوگیری از حرکت جسم می شوند. اگر نوسان در داخل آب انجام شود جرم افزوده نیز به نیروی اینرسی جسم، اضافه می شود:

$$\Rightarrow F_{ext} = (m + a)\ddot{x} + b\dot{x} + cx \quad (۲)$$

a ضریب جرم افزوده است. معادله فوق برای حرکات خطی شناور صادق است همچنین می توان به روش مشابه برای حرکات دورانی نیز معادله حرکت (پیچ) را بدست آورد:

$$\Rightarrow M_{ext} = (I + \delta I)\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + c\theta \quad (۳)$$

که در این معادله I ممان اینرسی جرمی کشتی است و δI ممان اینرسی افزوده (در نقش a) و θ دوران شناور (در حرکت پیچ) است. در مفروضات این مسئله فرض می‌کنیم که سمت چپ معادله که همان نیروها و ممان‌های ناشی از امواج دریا در یک فورس دریایی مشخص است، ثابت باشد. یعنی کشتی در یک منطقه دریایی با یک ارتفاع موج مشخص در حرکت است. به

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-19]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.12.4]

عنوان مثال ممان تحریک حرکت پیچ از رابطه ای زیر بدست می آید[2]:

$$M_\theta = \left(\frac{2}{3}\rho g k \zeta_a \sin(\mu) \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \cos\left(kxcos(\mu)\right) y^3 . dx\right) \sin(\omega_e t) \quad (۴)$$

در این رابطه مشخصات موج برخوردی و هندسه بدنه وجود دارد که ثابت فرض می‌شود. هم اکنون کشتی دارای حرکات شدید ناشی از امواج شده است. مسئله اینست که چگونه با یک روش پایدارساز مانند تور میتوان این حرکات را کاهش داد؟. در معادله ۲ یا ۳، مجموع عوامل سمت راست معادله باید برابر یک مقدار ثابت شود. لذا هرچه مقدار جرم افزوده (a) بیشتر شود، مقادیر شتاب $\ddot{\theta}$ کمتر می‌شود و همچنین هرچه مقدار ضریب میرایی (b) بیشتر شود، مقادیر سرعت $\dot{\theta}$ کاهش می‌یابد. مقدار ضریب بازگردانده (ضریب سختی) وابسته به مشخصات هیدرواستاتیکی و ارتفاع متاسنتری است. لذا در اینجا ضرایب هیدرودینامیکی (a , b) اگر افزایش یابند مستقیما باعث کاهش شتابها و سرعتها و در نتیجه کاهش دامنه نوسانات می‌شوند. المان تور (که ممکن است قطر و ابعاد و شکلهای متفاوتی داشته باشد) وقتی در معرض جریان سیال (ناشی از حرکات کشتی) قرار میگیرد مسلما باعث افزایش جرم افزوده و افزایش مقاومت (همان میرایی) می‌گردد. این معادلات به روشنی تاثیر تور بر کاهش غلتش و پایدارسازی کشتی را نشان می‌دهند. در مطالعات تکمیلی باید بتوان شکل و شمایلی از تور را طراحی کرد به گونه‌ای که دارای بیشترین جرم افزوده و میرایی باشند.

۳ - روش انجام کار

جهت بررسی اثرات تور بر رفتار قائم شناور در موج منظم، از امکانات انجام آزمایشات دریامانی در آزمایشگاه ملی دریایی شهدای خلیج فارس بهره برده شده است. دقت ساخت مدل در ابعاد عرض و آبخور، حداکثر برابر با ۱ میلیمتر و در طول مدل برابر با ۰/۰۵LPP می‌باشد[24]. د آزمایشات دریامانی، توزیع وزنی از اهمیت خاصی برخوردار است. زمانیکه توزیع وزنی برای ممان اینرسی طولی شناور موجود نباشد، مقدار آن برابر با ۰/۲۵ LPP در نظر گرفته می شود[25]. روش انجام آزمایشات مدل، بر اساس دستورالعمل های جهانی ITTC صورت گرفته است. مشخصات آزمایشگاه درجدول ۱ و شکل ۲، مدل در جدول ۴ و شکل ۵ ارایه گردیده است. اندازه گیری ارتفاع و پریود موج توسط موج نگار صورت می گیرد. موج ساز آزمایشگاه از نوع پدالی و با حرکت رفت و برگشتی است (شکل ۳) و برای تولید امواج در حالت آب عمیق بکار می رود. حداکثر طول موج تولیدی در حلت آب عمیق، برابر با ۸ متر است و در صورتیکه بیشتر از آن تولید شود، موج تولیدی از نوع آب کم عمق خواهد شد. کالیبراسیون موج ساز به این نحو است که ابتدا کورس و فرکانس پدال موج ساز تعریف می شود و سپس به ازای مقادیر فوق، ارتفاع و فرکانس موج تولیدی توسط موج نگار ثبت و ضبط می شود. سپس مقادیر جدید کورس و فرکانس موج ساز تا زمانیکه به موج دلخواه حاصل شود تغییر می کند (شکل ۴).

جدول ۱ – مشخصات کلی آزمایشگاه ملی دریایی شهدای خلیج فارس

مشخصه	مقدار
طول حوضچه کشش $[m]$	۴۰۰
عرض حوضچه کشش$[m]$	۶
عمق حوضچه کشش $[m]$	۴
نوع موج ساز	۶ پدال، رفت و برگشتی



شکل ۲ – آزمایشگاه ملی دریایی شهدای خلیج فارس

جدول ۲ – مشخصات موج ساز آزمایشگاه

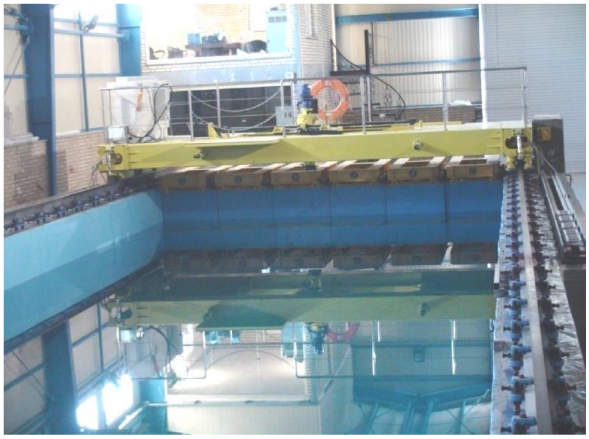
مشخصه	مقدار
محدوده ارتفاع موج امواج منظم تولیدی موج ساز $[m]$	تا ۰/۵
محدوده طول موج امواج منظم تولیدی موج ساز $[m]$	۸ -۰/۲
محدوده ارتفاع موثر موج امواج نامنظم تولیدی موج ساز $[m]$	تا ۰/۶
محدوده فرکانس موج امواج نامنظم تولیدی موج ساز $[rad/sec]$	۱۸ -۱/۸
طیف موج های تولیدی	Neumann, Pierson-Moskowitz, ITTC 2-p , Bretschneider , ISSC , Bretschneider-Mitsuyasu , Jonswap , ITTC 1984 , Ochi-hubble 6-p

جدول ۳ – مشخصات موج نگارآزمایشگاه

مشخصه	مقدار
محدوده اندازه گیری ارتفاع موج $[mm]$	۱۰۰۰
خطی بودن کالیبراسیون $[\%FS]$	±۰/۳
دقت $[\%FS]$	±۰/۵
فرکانس داده برداری $[Hz]$	۵۰

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.12.4]



شکل ۳ – موج ساز آزمایشگاه ملی دریایی شهدای خلیج فارس



شکل ۴ – حداکثر طول موج منظم تولیدی در آزمایشگاه

جدول ۴ – مشخصات مدل شناور

مشخصه	مقدار
طول $[m]$	۲/۶۳۹
طول بین دوعمود$[m]$	۲/۴۱۲
عرض$[m]$	۰/۵۴۷
مرکز جرم طولی $[m]$	۰/۷۹۳
آبخور سینه $[m]$	۰/۰۵۳۷
آبخور پاشنه $[m]$	۰/۱۳۹۲
وزن $[kg]$	۴۰
تریم $[deg]$	۲/۰۳
گشتاور اینرسی طولی$[kg.m^2]$	۱۴



شکل ۵ – مدل شناور و در حال اندازه گیری ممان اینرسی

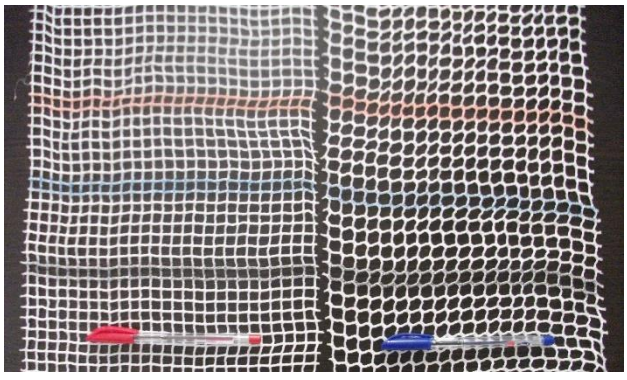
تور استفاده شده در آزمایشات از دو نوع شبکه بندی متفاوت است و جهت حفظ کشیدگی تور در راستای قائم، از المان میله در ضلع پایینی تور استفاده شده است(جدول۳ و شکل ۶ و شکل ۷). تورها از قسمت سینه شناور و از سمت چپ و راست مدل آویزان شده اند (شکل ۷).

در این مقاله و آزمایشات، مسایل مربوط به جنس تور و ضخامت تور مورد بررسی قرار نگرفته و تنها اثر اندازه مش تور و طول موج برخوردی به مدل شناور، مدنظر بوده است.

جدول ۳ – مشخصات سیستم تورهای پایدارساز

مشخصه	مقدار	
	۱	۲
ارتفاع تور $[mm]$	۴۹۵	۴۹۵
عرض تور$[mm]$	۲۳۰	۲۳۰
ابعاد مش $[mm\times mm]$	۱۱/۱×۱۱/۱	۹/۵×۹/۵
ارتفاع مغروق تور $[mm]$	۲۸۵	۲۸۵
وزن تور $[gr/m^2]$	۳۰۹	۲۸۶
طول میله $[mm]$	۲۵۵	۲۵۵
قطر میله $[mm]$	۸	۸
وزن میله $[gr]$	۱۰۴	۱۰۴

الف ب

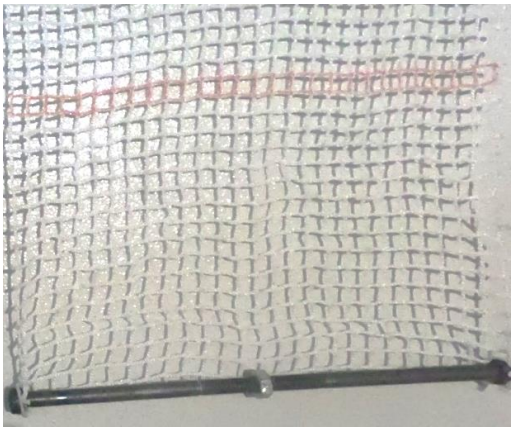


شکل ۶– تور استفاده شده بعنوان پایدارساز (از نمای دید یکسان)

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.12.4]

(الف): تور با مش ۱۱/۱×۱۱/۱، (ب): تور با مش ۹/۵×۹/۵ میلیمتر مربع



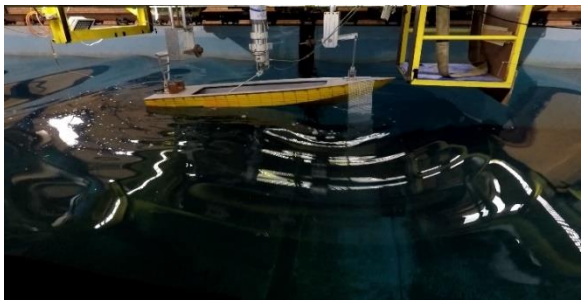
شکل ۷– میله نصب شده در پایین تور جهت حفظ حالت تور



شکل ۸– نصب تور بر روی مدل شناور



شکل ۹– موج منظم تولیدی توسط موج ساز با ارتفاع ۱۰سانتیمتر



شکل ۱۰– رفتار مدل بهمراه المان تور در موج منظم

جدول ۴ – مشخصات امواج برخوردی به مدل

مشخصه	مقدار
ارتفاع موج $[m]$	۰/۱
طول موج اول$[m]$	۱/۲
طول موج دوم$[m]$	۲/۴
طول موج سوم$[m]$	۳/۶

امواجی که به مدل شناور در حالت ایستا، برخورد داده می شود بر اســـاس جدول ۴ می باشـــد. در تمامی حالتها، ارتفاع موج ثابت و طول موج تغییر میکند.

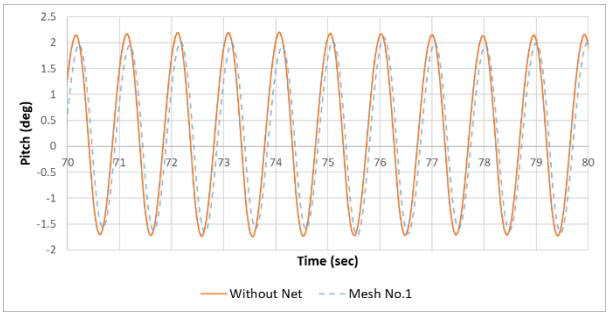
سناریویی که برای انجام آزمایشات گرفته شده مطابق جدول ۵ می باشد.

جدول ۵ – سناریوی انجام آزمایشات

حالت	مش تور	طول موج(m)
۱	بدون مش	۱/۲
۲	بدون مش	۲/۴
۳	بدون مش	۳/۶
۴	۱	۱/۲
۵	۱	۲/۴
۶	۱	۳/۶
۷	۲	۱/۲
۸	۲	۲/۴
۹	۲	۳/۶

۴- نتایج

نتایج حاصل از انجام آزمایشات مطابق اشکال ذیل است:

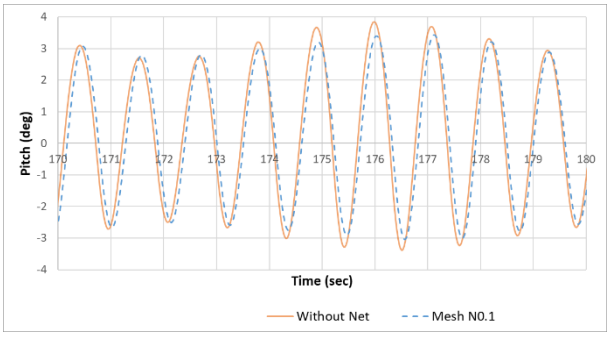


شکل ۱۱– مقایسه سری زمانی پیچ شناور مابین حالت ۱ و حالت ۴ مطابق با جدول ۵

شکل ۱۱، نشان دهنده برخورد مدل با طول موجی معادل با نصف طول شـــناور اســـت،مش تور نصـــب شـــده از نوع درشـــت می باشـــد.مقایســـه دامنه حرکات میان دو حالت مش درشـــت و بدون مش در این طول موج، حـاکی از تـاثیر کم تور در کـاهش دامنـه حرکات اسـت. نکته مهم این اسـت که این تاثیر همواره در راسـتای کاهش دامنه حرکات بوده است.

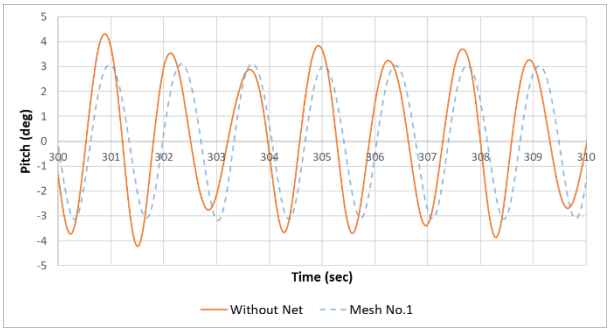
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.12.4]



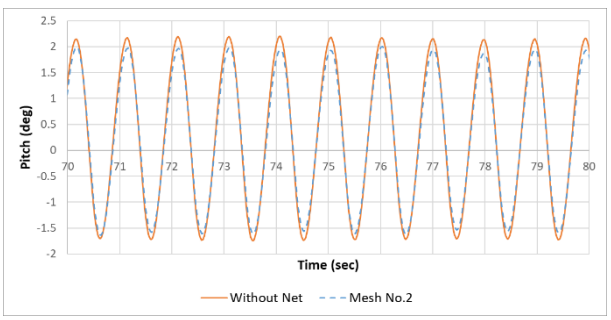
شکل ۱۲– مقایسه سری زمانی پیچ [viii] شناور مابین حالت۲ و حالت ۵ مطابق با جدول ۵

شکل ۱۲، نشان دهنده برخورد مدل با طول موجی معادل با طول شناور است،مش تور نصب شده از نوع درشت می باشد.مقایسه دامنه حرکات میان دو حالت مش درشت و بدون مش در این طول موج، حاکی از تاثیر تور در کاهش دامنه حرکات در نقاط بیشتر مقدار است. نکته مهم این است که این تاثیر همواره در راستای کاهش دامنه حرکات بوده است. و با گذشت زمان این اثرات بیشتر می شود.



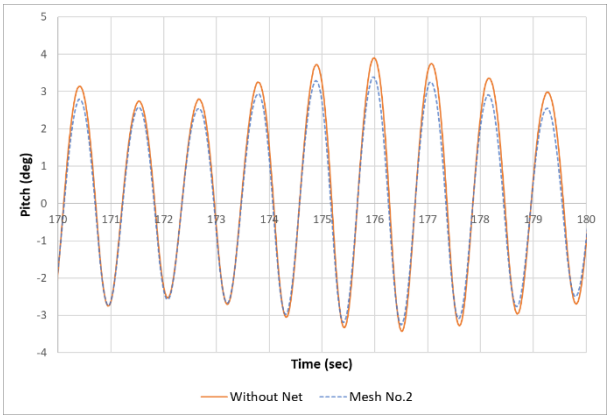
شکل ۱۳– مقایسه سری زمانی پیچ شناور مابین حالت۳ و حالت ۶ مطابق با جدول ۵

شکل ۱۳، نشان دهنده برخورد مدل با طول موجی معادل با یک و نیم برابر طول شناور است،مش تور نصب شده از نوع درشت می باشد.مقایسه دامنه حرکات میان دو حالت مش درشت و بدون مش در این طول موج، حاکی از تاثیر تور در کاهش دامنه حرکات در نقاط بیشینه مقدار است ولی این اثرات در تمامی نقاط بیشینه اتفاق نمی افتد.



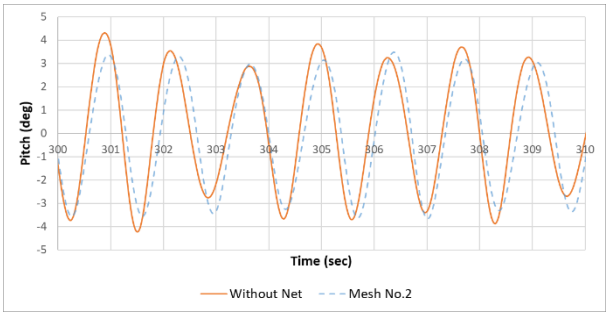
شکل ۱۴– مقایسه سری زمانی پیچ شناور مابین حالت ۱ و حالت ۷ مطابق با جدول ۵

شکل ۱۴، نشان دهنده برخورد مدل با طول موجی معادل با نیم برابر طول شناور است،مش تور نصب شده از نوع ریز می باشد.مقایسه دامنه حرکات میان دو حالت مش درشت و بدون مش در این طول موج، حاکی از تاثیر تور در کاهش دامنه حرکات در کلیه نقاط است. این تاثیر نسبت به حالت طول موج مشابه ولی با مش تور درشت، بیشتر است.



شکل ۱۵– مقایسه سری زمانی پیچ شناور مابین حالت ۲ و حالت ۸ مطابق با جدول ۵

شکل ۱۵، نشان دهنده برخورد مدل با طول موجی معادل با طول شناور است،مش تور نصب شده از نوع ریز می باشد.مقایسه دامنه حرکات میان دو حالت مش درشت و بدون مش در این طول موج، حاکی از تاثیر تور در کاهش دامنه حرکات در کلیه نقاط است. این تاثیر نسبت به حالت طول موج مشابه ولی با مش تور درشت، بیشتر است.



شکل ۱۶– مقایسه سری زمانی پیچ شناور مابین حالت ۳ و حالت ۹ مطابق با جدول ۵

شکل ۱۶، نشان دهنده برخورد مدل با طول موجی معادل با یک و نیم برابر طول شناور است،مش تور نصب شده از نوع ریز می باشد.مقایسه دامنه حرکات میان دو حالت مش درشت و بدون

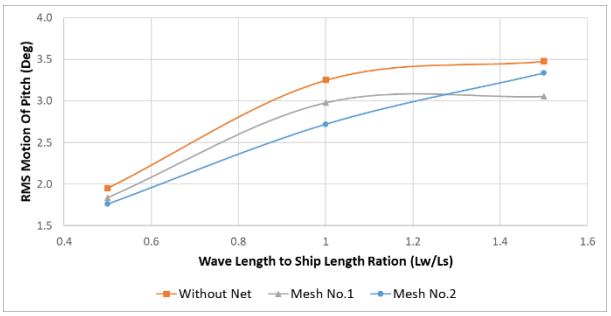
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.12.4]

مش در این طول موج، حاکی از تاثیر تور در کاهش دامنه حرکات در نقاط با پیچ بیشینه است. این تاثیر نسبت به حالت طول موج مشابه ولی با مش تور درشت، کمتر است.

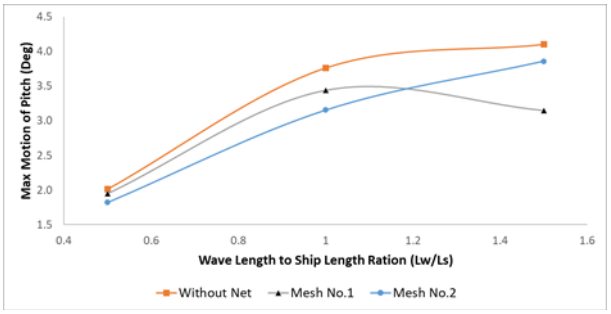
۵- تحلیل نتایج و جمع بندی

نتایج حاصل از آزمایشات نشان می دهد، در صورتیکه از تور در سینه شناور استفاده شود، به کاهش دامنه حرکات پیچ شناور در برخورد با امواج، منجر می شود. میزان کاهش دامنه حرکات پیچ در اشکال و نمودارهای ذیل قابل مشاهده است.



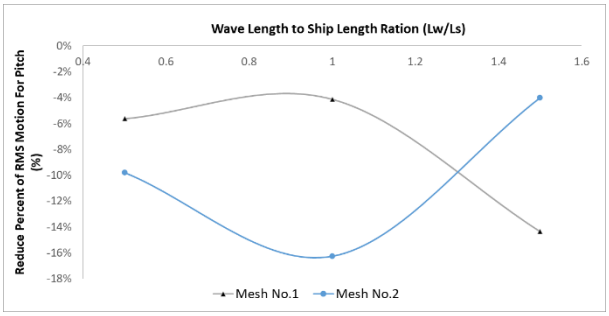
شکل ۱۷– مقایسه RMS حرکت پیچ مدل، مابین تور با مش ۱ و مش ۲ با بدنه بدون تور

در شکل ۱۷، تاثیر تور بر مقدار RMS حرکت پیچ شناور نشان داده شده است. مش ریزتر در طول موج بزرگتر، از تاثیر کمتری نسبت به مش بزرگتر برخوردار شده است.



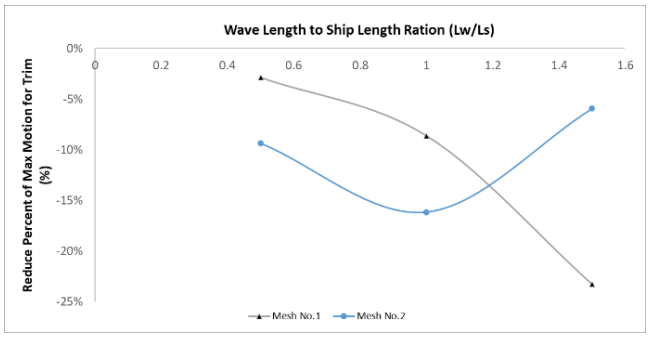
شکل ۱۸– مقایسه ماکزیمم حرکت پیچ مدل، مابین تور با مش ۱ و مش ۲ با بدنه بدون تور

در شکل ۱۸، تاثیر تور بر مقدار بیشینه حرکت پیچ شناور نشان داده شده است. این تاثیر به نسبت مقدار RMS پیچ، بیشتر است و نشان می دهد که تور توانسته است بر حرکات ماکزیمم بیشتر تاثیرگذار باشد.



شکل ۱۹– مقایسه درصد کاهش RMS حرکت پیچ مدل، مابین تور با مش ۱ و مش ۲ نسبت با بدنه بدون تور

در شکل ۱۹، نتیجه جالبی که وجود دارد، مربوط به نقاط ماکزیمم و مینیمم مقدار درصد کاهش RMS دامنه حرکات است که در طول موج برابر ولی با شبکه بندی مختلف، خلاف یکدیگر رفتار می کنند. بطوریکه برای مش ریز، در این طول موج، بیشترین تاثیر و برای مش درشت، کمترین تاثیر طول بر رفتار شناور مشاهده می شود.



شکل ۲۰– مقایسه درصد کاهش ماکزیمم حرکت پیچ مدل، مابین تور با مش ۱ و مش ۲ نسبت با بدنه بدون تور

در شکل ۲۰، و در نسبت طول موج به شناور برابر با یک، مش ریزتر، بیشینه مقدار حرکت پیچ را با بیشترین تاثیر، توانسته است کاهش بدهد ولی در طول موج های بزرگتر، از تاثیر آن کاسته شده است. البته برای مش درشت، نمودار بصورت افزایشی در راستای تاثیر بیشتر پیش می رود ولی البته بدیهی است که با افزایش طول موج و ثابت نگهداشتن ارتفاع موج، این تاثیر به کمترین مقدار و نزدیک به صفر خواهد رسید و سرانجام مش درشت تر نیز نقطه تاثیر ماکزیمم را خواهد داشت و پس از آن از تاثیراتش کاسته خواهد شد.

جدول ۶ – مقادیر کاهش حرکت پیچ با المان تور

مشخصه	بدون مش	مش شماره ۱	مش شماره ۲	طول موج (متر)
RMS پیچ (درجه)	۱/۹۵	۱/۸۴	۱/۷۶	۱/۲
	۳/۲۵	۲/۹۸	۲/۷۲	۲/۴
	۳/۴۸	۳/۰۵	۳/۳۴	۳/۶

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-19]

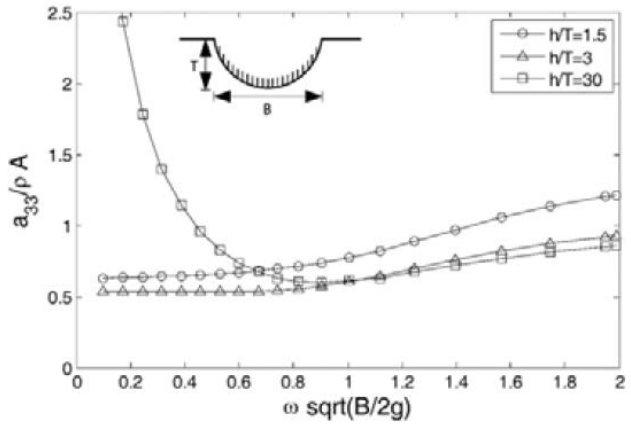
[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.12.4]

ماکزیمم پیچ (درجه)	۲/۰۱	۱/۹۵	۱/۸۲	۱/۲
	۳/۷۶	۳/۴۴	۳/۱۵	۲/۴
	۴/۱۰	۳/۱۵	۳/۸۶	۳/۶

افزایش طول موج با کاهش فرکانس موج همراه است و طبق نمودار شکل ۲۱، کاهش فرکانس با افزایش جرم افزوده همراه است و این باعث می شود که مقاومت در برابر حرکت پیچ بیشتر شود.
حال در شکل ۱۹ و ۲۰، این موضوع نمایان است. البته باید نتیجه نمودار مذکور را برای تنها یک استوانه با سطح مقطع دایره در نظر گرفت و همانطور که نتایج آزمایشات نشان می دهد، روند نتایج مرجع مذکور برای شبکه ای از استوانه ها (همانند تور)، فقط در بازه ای از طول موج ها صحت دارد.

جدول ۷ – درصد کاهش حرکت پیچ با الماس تور نسبت به بدون تور

مشخصه	مش شماره ۱	مش شماره ۲	طول موج (متر)	$\omega\sqrt{\frac{B}{2g}}$
RMS پیچ (٪)	۵/۹۷	۹/۷۹	۱/۲	۰/۰۷۲
	۸/۳۱	۱۶/۲۵	۲/۴	۰/۰۵۱
	۱۲/۱۲	۴/۰۱	۳/۶	۰/۰۴۲
ماکزیمم پیچ (٪)	۲/۸۷	۹/۳۴	۱/۲	۰/۰۷۲
	۸/۶۲	۱۶/۱۴	۲/۴	۰/۰۵۱
	۲۳/۲۶	۵/۹۱	۳/۶	۰/۰۴۲



شکل ۲۱– ضریب جرم افزوده سطح مقطع دایره ای در فرکانس [۲۶]

ولی در مش ۲، بعداز افزایش طول موج (طول موج برابر با طول خیس طراحی)، درصد تغییرات پیچ مدل، کاهش یافته است. این امر نشان دهنده این است که در این حالت، اغتشاش جریان ناشی از تراکم مش بر روند نمودار تاثیر گذار است.

۶- نتیجه گیری

نتایج نشان داده است که استفاده از تور و یا شبکه متخلخل منعطف در کاهش دامنه حرکات شناور در حالت ایستا و در مواجهه با امواج، قادر است تا ۱۸درصد، موثر است. البته در این مقاله، به بررسی جنس و ضخامت تور پرداخته نشده است. عوامل دیگری از جمله، نوع گره تور، اثر جلبک روی تور، شکل تور(در اینجا صفحه تور استفاده شده است)، شکل شبکه تور نیز می تواند بر رفتار تاثیرگذار باشد. نتایج نشان داده است که اندازه مش تور در طول موج های خاصی، از تاثیر بسزایی برخوردار است و لازم است که برای هر اندازه مش تور، این طول موج شناسایی شود.
همچنین در تمامی نتایج مقایسه میان مدل توردار و بدون تور، پریود حرکت پیچ تغییر نمی کند و این امر بدیهی است زیرا همواره پریود تحریک با پاسخ، برابر است و پریود تحریک در هر دو حالت برابر بوده است.

۷- مراجع

[1] Principles of Naval Architecture/ Vol.1/E.N.Lewis/1988
[2] Dynamics of Marine Vehicles/
[3] Fossen.T.I, *Guidance and Control of Ocean Vehicles, John* Wiley and Sons Ltd, 1999.
[4] Fossen.T.I, *Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control*, John Wiley and Sons Ltd, 2011.
[5] Mechanics of Marine Vehicles/ B.R.Clayton-E.D.Bishop/1982
[6] Ship Stability for Masters and Mates/ D.R.Derrett/2001
[7] Modern Ship Design/ T.C.Gillmer/1975
[8] Naval Architecture for non-Naval Architecture/ H.Benford/1991
[9] Principles of Ship Performance/ Rob Vroman/2003
[10] Introduction to Naval Architecture/ Eric Tupper/2002
[11] Practical Ship Design/vol 1/ G.M.Watson/2002
[12] Merchant Ship Stability/ A.R.Lester/1992
[13] Creative Naval Architure/ G.N.Hatch/1971
[14] Basic Ship Theory / Vol.1/K.J.Rawson-E.C.Tupper/2001
[15] Ship Design for Efficiency and Economy
[16] Hydrodynamics in Ship Design-Vol2 / H.E.Saunders/ 1979
[17] Introduction in Ship Hydrodynamics/ J.M.Juree-J.Pinkster
[18] Thurman, Harold V.; Trujillo, Alan P. "*Essentials of Oceanography*", Edition 5, Prentice Hall, 2001, pp.240-243.
[19] Chaplin, JR (1984). "*Nonlinear Forces on a Horizontal Cylinder Beneath Waves*," J Fluid Mech, Vol 147, pp 449-464.
[20] Etienne Guerber, Michel Benoit, Stéphan T. Grilli, Clément Buvat, *Modeling of Fully Nonlinear Wave Interactions with Moving Submerged Structures*, Proceedings of the Twentieth (2010)

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-19]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.12.4]

International Offshore and Polar Engineering Conference Beijing, China, June 20-25, 2010, pp.529-536.

[21] D Dessi, A Carcaterra, and G Diodati, *Experimental investigation versus numerical simulation of the dynamic response of a moored floating structure to waves*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment, September 1, 2004; vol. 218, 3: pp. 153-165.

[22] S H Salter, J R M Taylor, and N J Caldwell, *Power conversion mechanisms for wave energy*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment, June 1, 2002; vol. 216, 1: pp. 1-27.

[23] D Neulist, *Experimental Investigation into the Hydrodynamic Characteristics of a Submarine Operating Near the Free Surface*, Australian Maritime College, Launceston (2011).

[24] ITTC, 2017, ''*Recommended Procedures and Guidelines for Ship Models*'', Proceeding of the 28th international Towing Tank Conference (ITTC), Wuxi, China, Vol.7.5-02-07-03.6

[25] ITTC, 2021, ''*Recommended Procedures and Guidelines for Seakeeping Experiments*'', Proceeding of the 29th international Towing Tank Conference (ITTC), Virtual event, France, Vol.7.5-02-07-02.1

[26] Weoncheol Koo, Jun-Dong Kim, (2015), *Simplified formulas of heave added mass coefficients at high frequency for various two-dimensional bodies in a finite water depth*, Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng, Vol.7, p.115-127

- Sea force[i]
- Bilge Keel[ii]
- Controllable fin – stabilizer fin[iii]
- Anti-Rolling tanks[iv]
- Gyrostabilizer[v]
- pilot ship[vi]
- Bulbous bow[vii]
Pitch [viii]

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-19]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1400.17.34.12.4]