



مقاله پژوهشی

Available Online: <http://jmst.kmsu.ac.ir>



## مدل سازی و تحلیل عملکرد دریامانی یک شناور تندرو پروازی

محمد رضا نگهداری<sup>۱</sup>، روح اله کریم پور<sup>۱</sup>، ایمان خاتمی<sup>۲</sup>، بابک احمدپور<sup>۱</sup>

۱- گروه مهندسی دریا - کشتی سازی، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، چابهار، ایران.

۲- گروه مکانیک، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، چابهار، ایران.

\* نویسنده مسؤل، پست الکترونیک: [negahdari@cmu.ac.ir](mailto:negahdari@cmu.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۰۹

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۰۱/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۰۵

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22113/JMST.2020.213348.2340

### چکیده

کنترل حرکات شناور می تواند تحت تأثیر کاهش حرکات هیو و پیچ در شناورهای تندرو و به طور ویژه در بدنه پروازی باشد. به منظور کاهش این گونه حرکات، استفاده از فویل می تواند تکنیک مؤثری نسبت به سایر روش ها باشد. از آنجایی که شناورهای تندرو در آب های موج دچار مشکل می شوند می بایست حالت سازشی بین سرعت و عملکرد دریامانی وجود داشته باشد. هدف از این تحقیق پیش بینی عملکرد دریامانی یک شناور پروازی خاص در دو حالت بدون فویل و با فویل در پاشنه می باشد. مدل شناور در این تحقیق ابتدا در نرم افزار Rhino مدل سازی شده و سپس در نرم افزار Star-CCM+ با استفاده از معادلات حل کننده RANS شبیه سازی شده است. نتایج به صورت RAO حرکات هیو و پیچ در ضریب سرعت های مختلف به دست آمده است. به طور کلی مزایایی در رژیم سرشی شناور پروازی به واسطه اضافه نمودن فویل در پاشنه ایجاد می شود که بر طبق نتایج حاصله با افزایش سرعت شناور و در محدوده ای خاص می تواند در کاهش حرکات در صفحه عمودی مؤثر باشد. بطور مثال در سرعت ۴۰ نات در صورت نصب فویل پاشنه به ترتیب ۱۹/۳۱٪ و ۲۶/۴۴٪ کاهش RAO حرکات هیو و پیچ مشهود بوده است.

واژگان کلیدی: دریامانی، شناور تندرو پروازی، فویل پاشنه، RAO.

### Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



## ۱. مقدمه

در این پژوهش روش غیریکنواخت (Unsteady Reynolds Star-CCM+ در نرم‌افزار URANS (Averaged Navier-Stokes) به کار رفته است (Ahmadpour, 2019). در حل کننده های به کار برده شده این تحقیق، به منظور مدل کردن جریان سیال از روش حجم محدود استفاده شده که از فرم انتگرالی معادله بقاء استفاده نموده و دامنه محاسباتی را به چندین حجم کنترل پیوسته تقسیم می‌نماید (Tezdogan et al., 2016). برای مدل کردن آشفتگی جریان از مدل استاندارد  $k-\epsilon$  پرکاربرد در برنامه های صنعتی استفاده شده است (ITTC, 2014). به علاوه کوایرارد و همکارانش بیان کردند که این مدل آشفتگی در مقایسه با مدل آشفتگی SST، از نظر زمانی بسیار مقرون به صرفه تر بوده و زمان مورد نیاز برای شبیه‌سازی را تقریباً تا ۲۵ درصد کاهش می‌دهد (Que' rard et al., 2008). از این مدل آشفتگی در بسیاری از مطالعات مشابه مانند تحقیقات Lee و Kim (2011) و همچنین Larsson et al. (2013) استفاده شده است. همچنین Tezdogan et al. (2016) به منظور به دست آوردن هیو و پیچ یک شناور KCS از مدل فیزیکی URANS و مدل آشفتگی  $k-\epsilon$  برای شبیه‌سازی در نرم‌افزار استار استفاده کرده و به نتایج بسیار قابل قبولی در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی موجود دست یافته اند.

امروزه شناورهای با بدنه هیبریدی به عنوان شناورهای پیشرفته با عملکرد فوق العاده دریامانی شناخته شده و در اکثر این گونه شناورها از تکنولوژی سطوح لیفت ساز در کنار نصب فویل در پاشنه شناور بهره برده اند. در همین راستا ایده بررسی و مطالعه تکنیک استفاده از فویل در ترانزوم پاشنه شناورهای پروازی در جهت رسیدن به رفتار دینامیکی مطلوبتر کلید خورد. به وسیله ساز و کار فویل که تکنیک مؤثری نسبت به سایر روشها می باشد، دمپ نمودن حرکت‌های هیو و پیچ افزایش یافته و منجر به بهبود عملکرد شناور می‌گردد. در تحقیق Bero (2009)، تأثیر فویل پاشنه در عملکرد دریامانی یک نمونه شناور پروازی خاص در سرعت ۲۵ نات (ضریب سرعت ۱/۵) که آغاز مرحله سرشی می باشد، در دو حالتی که مدل شناور به فویل پاشنه مجهز شده یا نشده باشد، با روش تئوری نواری و نرم افزار SEAKEEPER با اعتبارسنجی روش تست مدل در حوضچه کشش دانشگاه صنعتی مالزی انجام شده است. لذا به عنوان نوآوری و خلاقیت در این تحقیق، با شبیه سازی مدل مورد تست بین برو در نرم‌افزار Star-CCM+ علاوه بر سرعت ۲۵ نات، در سرعت های ۳۳ نات (ضریب سرعت ۲) و ۴۰ نات (ضریب سرعت ۲/۴)، عملکرد دریامانی در محدوده رژیم سرشی شناور پروازی با تأثیر فویل پاشنه مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

## ۲. مواد و روش ها

جهت مدل‌سازی هندسی با انتخاب نرم افزار Rhino که یک نرم افزار طراحی سه بعدی بسیار قوی جهت مدل سازی صفحات و حجم های پیچیده می باشد، مدل شناور به نسبت مقیاس ۱:۱۵/۵ ابعاد شناور واقعی با توجه به جدول مشخصات (۱) بدون فویل پاشنه ترسیم شده است.

یکی از جنبه‌های مهم هیدرودینامیکی شناورهای تندرو بررسی عملکرد دریامانی (رفتار دینامیکی شناور در برخورد با امواج: Seakeeping) است. هر شناور متناسب با جابه جایی و مقدار پایداری در محدوده خاصی از تلاطم دریا می تواند به طور ایمن حرکت کند (Shadkam et al., 2017). هرچند که سرعت فاکتور بسیار مهمی است ولی باید با شرایط امن و ایمنی که از جنبه های دریامانی است متابعت داشته باشد. در اثر کوپل شدن حرکات عمودی نظیر هیو و پیچ، می تواند نتایج منفی را برای شناور مانند محدود نمودن سرعت، آسیب‌های سازه ای یا به مخاطره انداختن ایمنی به دنبال داشته باشد و نیز وقتی فرکانس‌ها در این شرایط تقریباً یک رادیان بر ثانیه می‌شود، باعث دریازدگی خدمه یا مسافران می‌گردد. معمولاً عملکرد شناورهای تندرو پروازی در آب‌های موج دچار مشکل می‌شود. با توجه به هدف ساخت و نوع کاربری در یک سری شناورهای خاص، ضروری به نظر می‌رسد یک حد میانه ای بین سرعت دلخواه و عملکرد دریامانی وجود داشته باشد (Bero, 2009) اولین کارهای انجام شده روی عملکردهای مختلف شناورهای پروازی در آب‌های موج روش‌های آزمایشی و شبه تجربی بودند که بیشتر روی مدل‌سازی ریاضی پیچیده دریامانی بدنه‌های پروازی صورت گرفته است (Begovic et al., 2014a). نتایج آزمایشگاهی و فرمول‌های تجربی که به فریدسما نسبت داده می‌شود، بوسیله تست مدل‌های سیستماتیک در امواج منظم در سال (Fridsma, 1969) و امواج غیر منظم (Fridsma, 1971) انجام گرفته و ادامه کارهای ایشان که توسط Savitsky و Brown (1976) و Savitsky و Koebel (1993) بازنگری شده است، هنوز هم نقطه عطفی در جهت سنجش عملکرد هیدرودینامیکی مقاومت اضافی و مقادیر شتاب در نقاط مرکز جرم و سینه شناور بدنه های پروازی منشوری در رژیم های سرعتی مختلف می‌باشد (Begovic et al., 2014a). همچنین در تحقیقی دیگر Begovic et al. (2014b) تأثیر تغییر دادن زاویه رأس در طول بدنه روی حرکات هیو، پیچ و نیز شتاب مرکز جرم و سینه شناور برای سری های سیستماتیک کوچک سه نوع بدنه مختلف پروازی موج (warped hull) و نیز یک بدنه پروازی منشوری در امواج منظم را که امکان محک آن با تست نرم افزاری وجود داشت، انجام داده اند. پیشرفت های پیوسته تکنولوژی قدرت محاسبات روزافزونی را ارائه می‌دهد که می تواند برای شبیه‌سازی جریان ویسکوز با استفاده از معادلات حل کننده (Reynolds Averaged Navier-Stokes) RANS مورد استفاده قرار گیرد. همچنین استفاده از این حل کننده در (CFD) Computational Fluid Dynamics برای برنامه‌های دریایی از سرعت و محبوبیت بیشتری برخوردارند. این روش‌ها دارای مزیت های مشخصی بوده که به طراحان اجازه می‌دهد تا عملکرد دریایی شناور پیشنهادی را در مرحله طراحی مورد ارزیابی قرار داده و بنابراین قبل از ساخت شناور می‌توان اقدامات اصلاحی را بر روی طرح انجام داد.

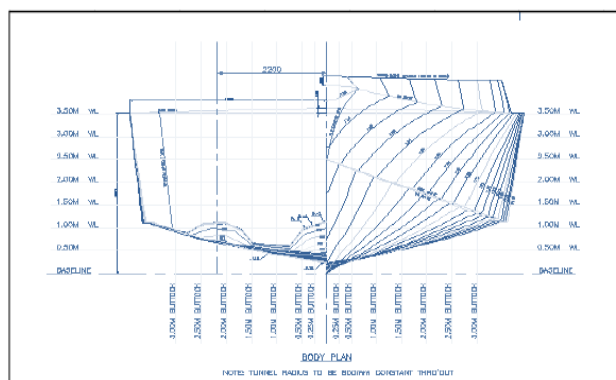
سیستم کلی هیدروفویل نقشی را ایفا نمی‌کنند. در این تحقیق از سری های استاندارد NACA 0012 جهت طراحی مقاطع فویل پاشنه و استرات استفاده شده است.

نمای **body plan** شناور پروازی در شکل (۱) و طراحی مدل شناور پروازی در محیط Rhino در شکل (۲) نشان داده شده است.

قدم بعدی شامل طراحی و جانمایی یک سیستم فویل مناسب در پاشنه مدل پروازی می باشد. فویل های مغروق جهت انجام فعالیت های مداوم در زیر سطح آب طراحی شده و استرات(Strut) ابزاری جهت اتصال فویل به بدنه می باشد. استرات ها به عنوان تکیه گاه در حالتی که شناور بر فویل سوار است عمل نموده و در نیروی لیفت

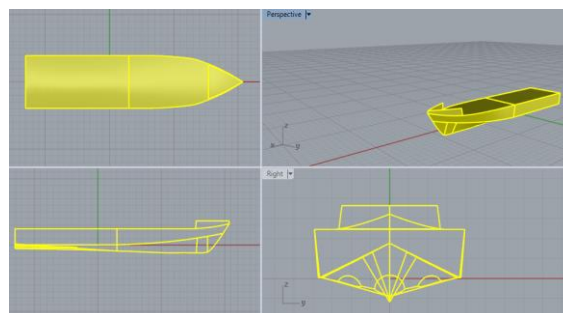
جدول ۱- مختصات اصلی شناور پروازی مورد تحقیق  
Table 1- Main Particular of Planning Craft (M Hull)

پارامترها	شناور	مدل
طول کلی (متر)	۳۴	۲/۱۹۴
طول خط آبخور(متر)	۳۱/۶۶۷	۲/۰۴۳
عرض خط آبخور(متر)	۷/۴۱۶۷	۰/۴۷۸۵
آبخور طراحی (متر)	۱/۳۶۵	۰/۰۸۸۱
ارتفاع ساختمانی عرشه تا کیل (متر)	۳/۳	۰/۲۱۲۹
مساحت سطح خیس (مترمربع)	۲۲۰	۰/۹۱۵۷
ضریب بلوکی	۰/۴۶	۰/۴۶
ضریب صفحه مقطع میانی	۰/۶۹۵	۰/۶۹۵
ضریب مساحت صفحه آبخور	۰/۸۱۷	۰/۸۱۷
وزن جابه جایی (تن)	۱۳۰/۲۷۵	۰/۰۳۴۱



شکل ۱- نمای **body plan** شناور پروازی

Fig. 1- Body plan of Planing Craft (M Hull) without Stern foil



شکل ۲- مدل ترسیم شده شناور پروازی در محیط Rhino

Fig. 2- A 3-D view of Planing hull modelled using Rhinoceros Software

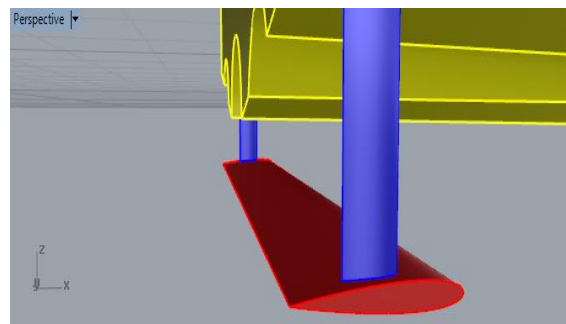
جدول ۲- پارامترهای فویل پاشنه  
Stern Foil Parameters-Table 2

مشخصات فویل	مدل مورد تست	شناور
ارتفاع (متر)	0.071	1.1
طول کورد (متر)	0.065	1
طول اسپان (متر)	0.452	7
ضخامت (متر)	0.008	0.12

جدول ۳- پارامترهای استرات (پایه اتصال فویل به بدنه)

Table 3- Strut Parameters

مشخصات استرات	مدل مورد تست	شناور
ارتفاع (متر)	0.071	1.1
طول کورد (متر)	0.021	0.326
ضخامت (متر)	0.006	0.093



شکل ۳- طراحی فویل و استرات روی مدل در محیط Rhino

Fig. 3- Modelig of Foil and Strut on Planing hull modeled using Rhino-Ceros Software

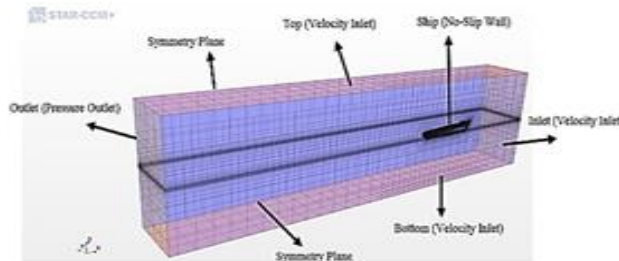
توقف نیز، از دو معیار تکرار داخلی و زمان فیزیکی برابر ۱۰ استفاده شده است. با اجرای شبیه‌سازی مشاهده می‌شود که زمان فیزیکی تعیین شده برای همگرا شدن راه حل کافی می‌باشد (Ahmadpour, 2019). انتخاب صحیح نوع مرزها یکی از مهمترین بخش های شبیه‌سازی می‌باشد. در حقیقت شرایط مرزی تعیین کننده روند شبیه‌سازی می‌باشد که در شکل (۴) نمایش داده شده است.

سایز دامنه حل در محیط نرم افزاری Star-CCM+ در هر نمونه شبیه سازی با طول موج ( $\lambda$ ) وارده به شناور تغییر می نماید. در این تحقیق ابعاد دامنه محاسباتی در عمق و عرض شناور نیز به اندازه طول شناور در نظر گرفته شده است. طبق شکل (۴) بر اساس کاهش دامنه محاسباتی پیچیده در راستای  $y$ ، فقط نیمی از شناور مدل سازی شده و در نتیجه مرز کناری شناور از نوع متقارن (Plane Symmetry) انتخاب گردیده است. هم چنین موقعیت مرزهای بکار رفته در راستای  $x$  و  $z$  طبق شکل (۵) نشان داده شده است.

شبیه‌سازی مدل شناور پروازی در برخورد با امواج و استخراج دامنه هیو و پیچ در نرم‌افزار Star-CCM+ انجام گرفته است. در این محیط برای مدل کردن سطح آزاد و موج منظم از مدل نسبت حجمی سیال (Volume of Fluid) استفاده شده است. با توجه به داده های امواج در این تحقیق، تئوری موج استوکس درجه اول به کار رفته که با انتخاب آن می‌بایست داده هایی از جمله طول موج یا پرپود، دامنه موج و نیز سرعت جریان را تعیین نمود. به منظور شبیه‌سازی رفتار شناور در حوزه شبیه‌سازی مدل DFBI (Dynamic Fluid Body Interaction) به کار رفته است. با فعال نمودن این مدل می‌توان اطلاعات مربوط به شناور مانند وزن سازه، درجات آزادی، ممان اینرسی، جهت حرکت و راستای شناور را تعیین کرد. عدد کورانت یک ابزار مناسب برای تعیین گام زمانی است. بر اساس پیشنهاد ITTC (2014)، برای تعیین گام زمانی، پرپود موج بر حداقل عدد ۱۰۰ تقسیم می‌شود. همچنین بر اساس راهنمایی‌های موجود برای تعیین گام زمانی می‌توان از فرمول  $time - step = \frac{p}{2.4n}$  استفاده نمود؛ که در آن  $p$  پرپود موج و  $n$  عددی است که در مش بندی سطح آزاد، طول موج بر آن تقسیم شده است. برای تعیین معیار

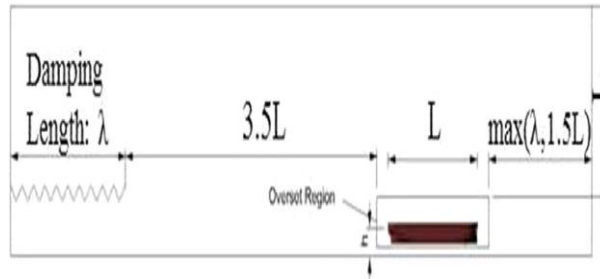
های ۶ و ۷ به ترتیب نشان دهنده مش سطحی و حجمی حوزه شبیه‌سازی می‌باشد. در شکل (۸) کیفیت کلی مش حوزه شبیه‌سازی حاصل از استقلال شبکه به منظور دستیابی به نتایج حاصل نشان داده شده است. در حالی که کیفیت سلولی از ۰ تا ۱ متغیر بوده و تعداد سلول‌هایی که در بالاترین کیفیت وجود دارد، بیش از ۹۸٪ از سلول‌های حوزه شبیه‌سازی را شامل می‌شود. اگر در مش بندی ایجاد شده تعداد مش‌های کمتری انتخاب می‌شد که استقلال شبکه را دچار خدشه می‌نمود، مطمئناً کیفیت سلولی پایین‌تری به دست می‌آمد. بدین ترتیب در مدل‌سازی هندسی شناور در هر مرحله فرآیند مش بندی بصورت خودکار تا حصول به نتایج قابل قبول انجام گرفته است. مشابه این عمل در سایر فرآیندهای مدل‌سازی در محیط نرم‌افزاری Star-CCM+ قابل اجرا می‌باشد. لذا سهولت در انجام شبکه بندی مبتنی بر استقلال شبکه از ویژگی‌های این نرم‌افزار می‌باشد.

در این تحقیق مش بندی اتوماتیک به کار رفته و در مدل‌سازی مش سطحی برای مش بندی سطحی، مش تریم سل (Trimmed Cell) برای مش بندی حجمی و لایه منشوری برای لایه مرزی انتخاب شده است. برای پالایش مش در ناحیه اطراف شناور و ناحیه سطح آزاد موج می‌بایست بلاک‌هایی را با اندازه‌های مناسب ایجاد نمود. ابعاد بلاک برای سطح آزاد موج باید به گونه‌ای باشد که تمام قله‌ها و قعرهای موجود در کل حوزه شبیه‌سازی را شامل گشته و برای دقت بیشتر ده درصد فضای بیشتر نیز در نظر گرفته شده است (Ahmadpour, 2019). به منظور پالایش مش با راهنمایی‌های موجود در ITTC (2014)، برای مش بندی سطح آزاد، حداقل اندازه سلول‌های مش در راستای جریان موج بایستی یک هشتم طول موج باشد. تعداد سلول‌های ایجاد شده در حوزه شبیه‌سازی تقریباً بین ۵۰۰۰۰۰ الی ۷۵۰۰۰۰ سلول می‌باشد. شکل



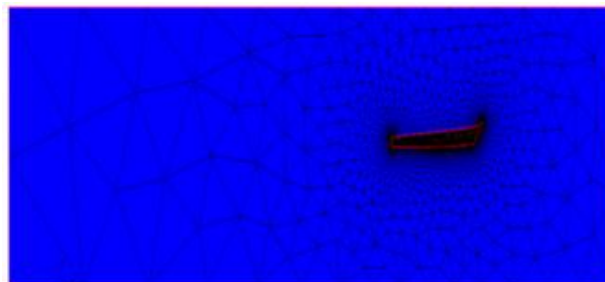
شکل ۴- شرایط مرزی مورد استفاده در مدل‌سازی شناور در نرم‌افزار استار

Fig. 4- A general view of the background and overset regions and the applied boundary conditions.



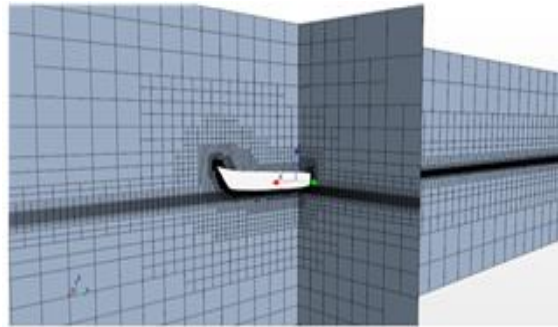
شکل ۵- ابعاد دامنه محاسباتی در راستای x و z جهت شبیه‌سازی دریامانی در نرم‌افزار استار

Fig. 5- The dimensions of the computational domain for the seakeeping simulation



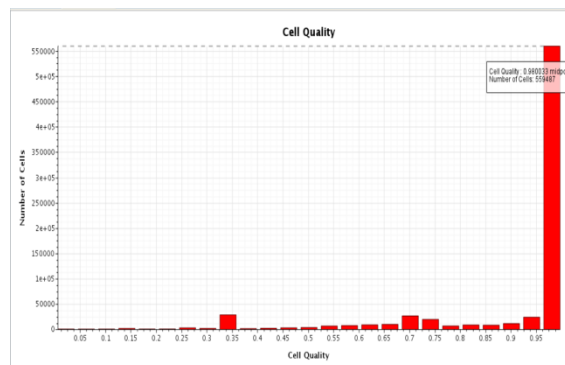
شکل ۶- مش سطحی اعمال شده در حوزه شبیه‌سازی

Fig. 6 - Surface mesh generated around the vessel geometry



شکل ۷- نمای سه بعدی مش بندی حجمی حوزه شبیه‌سازی

Fig. 7- Volume mesh generated around the vessel geometry



شکل ۸- کیفیت سلولی مش بندی

Fig. 8- Cell Quality of meshing

در فرآیند طراحی یک شناور دریایی، استخراج ضرائب هیدرودینامیکی معادلات حرکت شناور بسیار حائز اهمیت می باشد. برای استخراج این ضرائب هیدرودینامیکی می توان از روشهای تحلیلی- تجربی، دینامیک سیالات محاسباتی و تست مدل استفاده نمود که در این میان با توجه به محدودیت‌های موجود در دو روش نخست، تست مدل دقیق ترین روش استخراج این ضرائب می باشد (Moghaddas Ahangari et al., 2018). روابط حرکات جابجایی قائم و غلتش طولی شناورها به هم مرتبط می شوند و از یکدیگر تأثیر می پذیرند. روابط این دو حرکت به صورت روابط ۱ و ۲ بیان می شود.

در صورت نصب فویل در پاشنه شناور، روابط کوپل حرکات جابجایی قائم و غلتش طولی به صورت روابط ۳ و ۴ تغییر می نماید:

$$\left(\frac{\Delta}{g} + a_{zz}\right) \ddot{z} + b_{zz} \dot{z} + c_{zz} z + a_{z\theta} \ddot{\theta} + b_{z\theta} \dot{\theta} + c_{z\theta} \theta = F(t) \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$(I_{\theta\theta} + a_{\theta\theta}) \ddot{\theta} + b_{\theta\theta} \dot{\theta} + c_{\theta\theta} \theta + a_{\theta z} \ddot{z} + b_{\theta z} \dot{z} + c_{\theta z} z = M(t) \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\left(\frac{\Delta}{g} + a_{zz}\right) \ddot{z} + b_{zz} \dot{z} + c_{zz} z + a_{z\theta} \ddot{\theta} + b_{z\theta} \dot{\theta} + c_{z\theta} \theta = F(t) + \Delta F \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$(I_{\theta\theta} + a_{\theta\theta}) \ddot{\theta} + b_{\theta\theta} \dot{\theta} + c_{\theta\theta} \theta + a_{\theta z} \ddot{z} + b_{\theta z} \dot{z} + c_{\theta z} z = M(t) + \Delta M \quad \text{رابطه (۴)}$$

( $z, \dot{z}, \ddot{z}$ ) به ترتیب شتاب، سرعت و جابه جایی هیو)

( $\theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta}$ ) به ترتیب شتاب، سرعت زاویه ای و زاویه پیچ)

( $\frac{\Delta}{g}$ : جرم شناور)

( $I_{\theta\theta}$ : ممان اینرسی غلتش طولی شناور)

( $a_{zz}, b_{zz}, c_{zz}, a_{z\theta}, b_{z\theta}, c_{z\theta}, a_{\theta\theta}, b_{\theta\theta}, c_{\theta\theta}, a_{\theta z}, b_{\theta z}, c_{\theta z}$ : مشتقات پایداری)

( $\Delta F$ : نیروی تحریک هیدرودینامیکی فویل)

( $\Delta M$ : ممان تحریک هیدرودینامیکی فویل)

### ۳. اعتبارسنجی و نتایج

جهت اعتبارسنجی و نزدیک شدن به نتایج آزمایشگاهی در محیط Star-CCM+، ابتدا مدل شناور بدون زاویه تریم و سپس زوایای تریم اولیه ۲/۴ و ۳ درجه اعمال گردید. در مطالعه Bero (2009)، تأثیر فویل پاشنه در عملکرد دریامانی شناور را فقط در سرعت ۲۵ نات و در سه روش آزمایشگاهی، تئوری نواری و نرم افزار SEAKEEPER انجام شده بود که نتایج آنها به صورت نموداری در شکل (۹) ارائه شده است. طبق نتایج به دست آمده که در شکل های (۱۰) و (۱۱) نشان داده شده، در بازه ۰ تا ۳ درجه با افزایش زاویه تریم اولیه، کاهش حرکات در صفحه عمودی شناور را در پی داشته است. طبق معادلات ارائه شده توسط Savitsky (1964)، جهت محاسبه و اعمال زاویه تریم اولیه در سرعت های مختلف طبق جدول (۴) و مشخصات موج منظم طبق جدول (۵) و ممان اینرسی بر اساس جدول (۶) در شبیه سازی شناور به کار گرفته شده است. در ادامه با قرار دادن شرایط اولیه نظیر آبخور، زاویه تریم و ممان اینرسی، شبیه سازی در سرعت های ۲۵، ۳۳ و ۴۰ نات انجام شده و متحنی های RAO حرکات هیو و پیچ در دو حالت با و بدون فویل به دست آمده است. در معادله (۵) رابطه درصد اختلاف RAO ذکر شده است.

نمودار شکل ۱۲ در نسبت های  $\frac{\text{طول موج}}{\text{طول شناور}}$  ۲/۲، ۳ و ۴ سرعت ۲۵ نات به واسطه اضافه نمودن فویل پاشنه به ترتیب ۳/۵٪، ۲/۷۹٪ و ۴/۰۵٪ کاهش حرکت هیو را نشان می دهد.

در نمودار شکل ۱۳ در نسبت های  $\frac{\text{طول موج}}{\text{طول شناور}}$  ۲/۲، ۳ و ۴ سرعت ۲۵ نات نیز به واسطه اضافه نمودن فویل پاشنه به ترتیب ۸/۷۸٪، ۸/۵۷٪ و ۴/۴۳٪ کاهش حرکت پیچ را نشان می دهد.

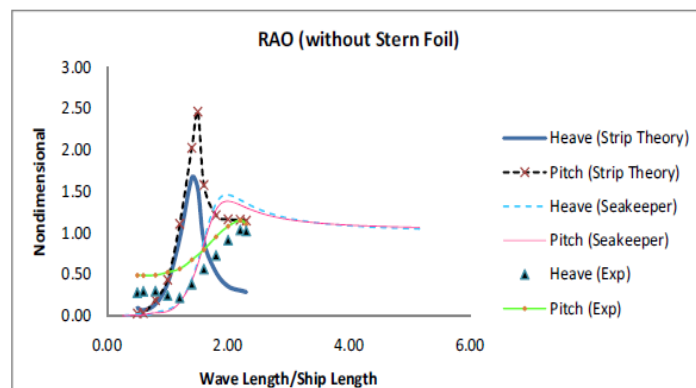
در نمودار شکل ۱۴ در نسبت های  $\frac{\text{طول موج}}{\text{طول شناور}}$  ۳ و ۴ سرعت ۳۳ نات با وجود فویل پاشنه به ترتیب ۹/۸۱٪ و ۴/۷۱٪ کاهش حرکت هیو به دست آمده است.

در نمودار شکل ۱۵ در نسبت های  $\frac{\text{طول موج}}{\text{طول شناور}}$  ۳، ۴ سرعت ۳۳ نات با نصب فویل در پاشنه شناور پروازی به ترتیب ۱۶/۸۸٪، ۱۴/۱۸٪ کاهش حرکت پیچ را نشان می دهد.

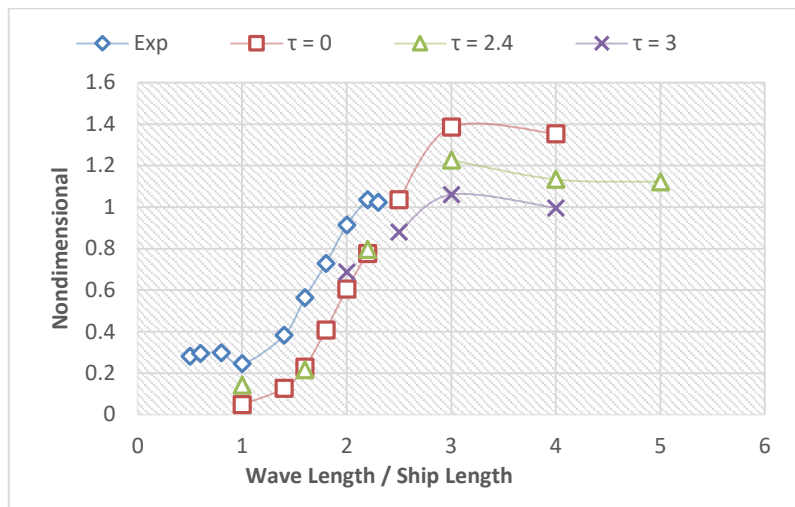
در نمودار شکل (۱۶) در صورت نصب فویل در پاشنه شناور پروازی در نسبت های  $\frac{\text{طول موج}}{\text{طول شناور}}$  ۲/۲، ۳ و ۴ در سرعت ۴۰ نات به ترتیب ۱۵/۹۸٪، ۱۹/۳۱٪ و ۱۴/۷۹٪ کاهش حرکت هیو حاصل شده است. همچنین در نمودار شکل (۱۷) در نسبت های

$\frac{\text{طول موج}}{\text{طول شناور}}$  ۲/۲، ۳ و ۴ در سرعت ۴۰ نات به واسطه اضافه نمودن فویل پاشنه به ترتیب ۲۲/۶٪، ۲۶/۴۴٪ و ۲۳/۸۶٪ کاهش حرکت پیچ را نشان می دهد. نکته قابل توجه در سرعت ۴۰ نات در مورد کاهش حرکات هیو و پیچ این است که در صورت استفاده از فویل پاشنه همچنان تا نسبت  $\frac{\text{طول موج}}{\text{طول شناور}}$  ۵، شاهد کاهش حرکات در صفحه عمودی شناور بوده و در نسبت های به مراتب بالاتر  $\frac{\text{طول موج}}{\text{طول شناور}}$ ، شاهد بی تأثیر بودن فویل پاشنه خواهیم بود.

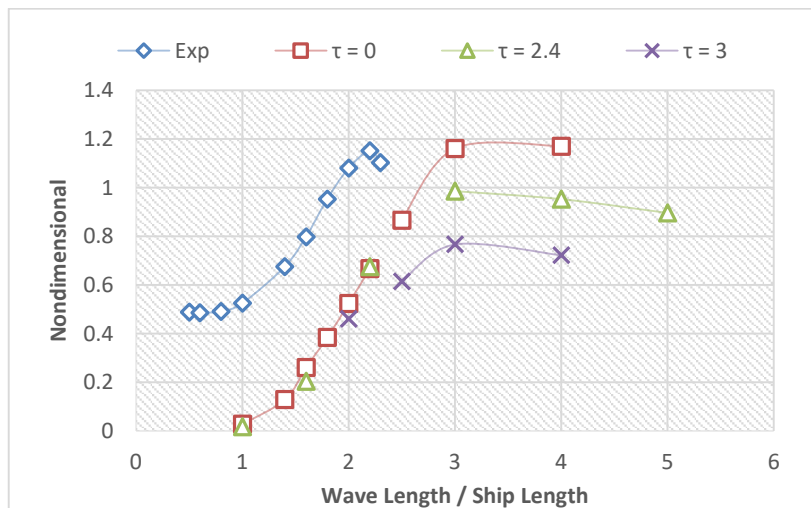
در شکل های (۱۸) و (۱۹) نمودار مقایسه ای RAO حرکات هیو و پیچ در وضعیتی که شناور پروازی بصورت بدنه خالی و بدون فویل پاشنه می باشد، در سرعت های ۲۵، ۳۳ و ۴۰ نات معادل ضریب سرعت-های ۱/۵، ۲ و ۲/۴ نشان داده شده است که به طور مثال می تواند با نتایج تحقیق آزمایشگاهی مدل تک بدنه منشوری ارائه شده توسط Begovic et al. (2014b) مقایسه گردد. با توجه به مقایسه نتایج RAO حرکات هیو و پیچ در ضریب سرعت های مختلف، با افزایش سرعت شناور در محدوده رژیم سرشی شناور پروازی، دامنه حرکات هیو و پیچ افزایش یافته و مقادیر پیک نمودار در نسبت های  $\frac{\text{طول موج}}{\text{طول شناور}}$  بالاتری اتفاق می افتد.



شکل ۹- گرافهای مقایسه ای RAO حرکات هیو و پیچ به سه روش مختلف جهت اعتبارسنجی  
Fig. 9- Graphs on Comparison of Heave and Pitch RAO in different method



شکل ۱۰- نمودار مقایسه ای RAO حرکت هیو در سرعت ۲۵ نات با روش آزمایشگاهی و تأثیر زاویه تریم به درجه  
 Fig. 10- Comparison of the RAO heave for V=25 knots by effect of Trim angle



شکل ۱۱- مقایسه نتایج RAO حرکت پیچ در سرعت ۲۵ نات با روش آزمایشگاهی و تأثیر زاویه تریم به درجه  
 Fig. 11- Comparison of the RAO pitch for V=25 knots by effect of Trim angle

جدول ۴- زاویه تریم اولیه شناور در سرعت های مختلف

Table 4- Trim angle for various Speed of Planning hull

سرعت شناور (نات)	سرعت شناور ( $\frac{m}{s}$ )	سرعت مدل ( $\frac{m}{s}$ )	زاویه تریم (درجه)
25	12.86	3.266	2.4
33	16.975	4.312	2.86
40	20.576	5.226	3



جدول ۵ - مشخصات موج منظم وارده در ابعاد واقعی شناور

Table 5- Regular Wave Characteristics

$\lambda/L$	طول آب‌خور	طول موج	پریود موج	ارتفاع موج
0.5	31.667	15.8335	3.183712	0.31667
0.6	31.667	19.0002	3.487582	0.380004
0.8	31.667	25.3336	4.027113	0.506672
1	31.667	31.667	4.502449	0.63334
1.2	31.667	38.0004	4.932186	0.760008
1.4	31.667	44.3338	5.327369	0.886676
1.6	31.667	50.6672	5.695197	1.013344
1.8	31.667	57.0006	6.040669	1.140012
2	31.667	63.334	6.367424	1.26668
2.2	31.667	69.6674	6.678211	1.393348
2.5	31.667	79.1675	7.118997	1.58335
3	31.667	95.001	7.79847	1.90002
4	31.667	126.668	9.004898	2.53336
5	31.667	158.335	10.06778	3.1667

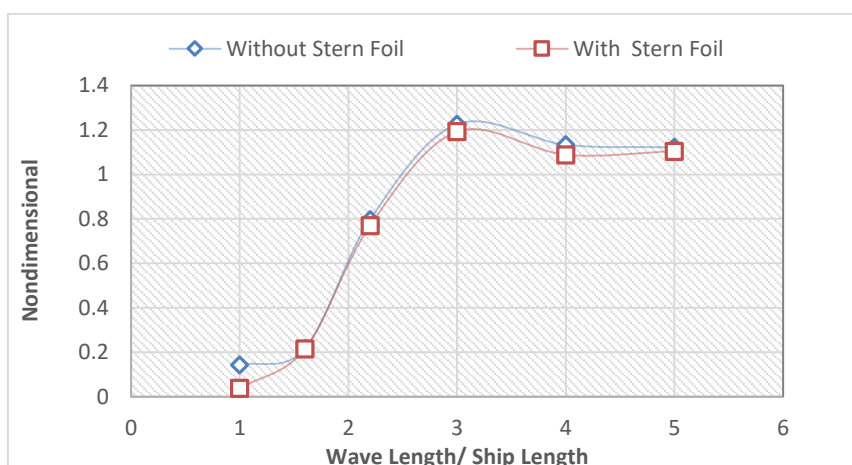
جدول ۶- ممان اینرسی تقریبی شناور

Table 6- Inertia Moment of Planning hull

$(I_{xx})_s$	$(I_{yy})_s$	$(I_{zz})_s$
537000 $kg.m^2$	8164977 $kg.m^2$	9095490 $kg.m^2$

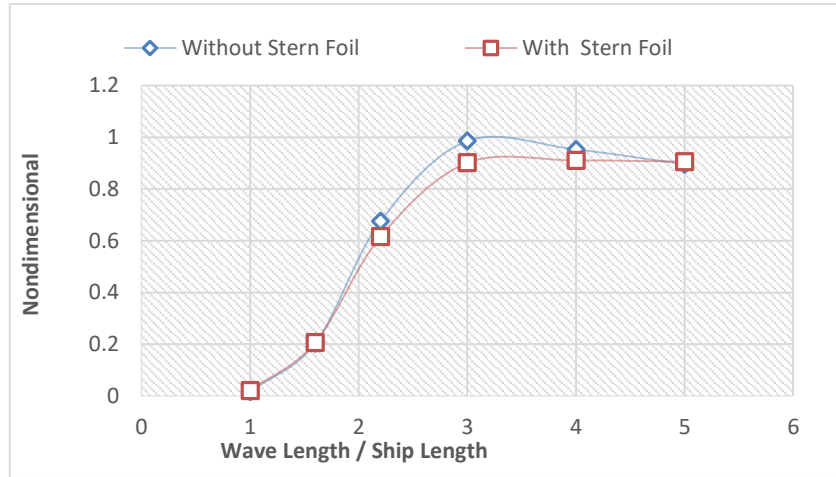
$$\text{RAO اختلاف} = \left| \frac{\text{مقدار RAO همراه فویل} - \text{مقدار RAO بدون فویل}}{\text{مقدار RAO بدون فویل}} \right|$$

رابطه (۵)

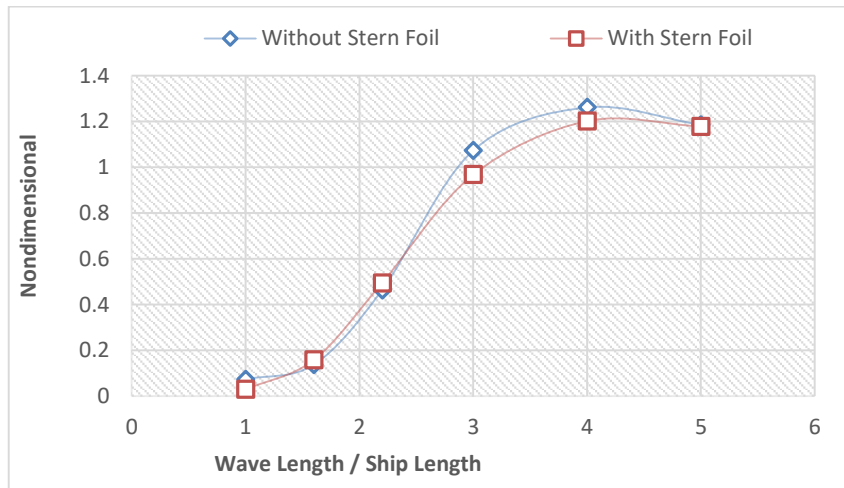


شکل ۱۲- نتایج RAO حرکت هیو در سرعت ۲۵ نود در دو حالت با و بدون فویل پاشنه

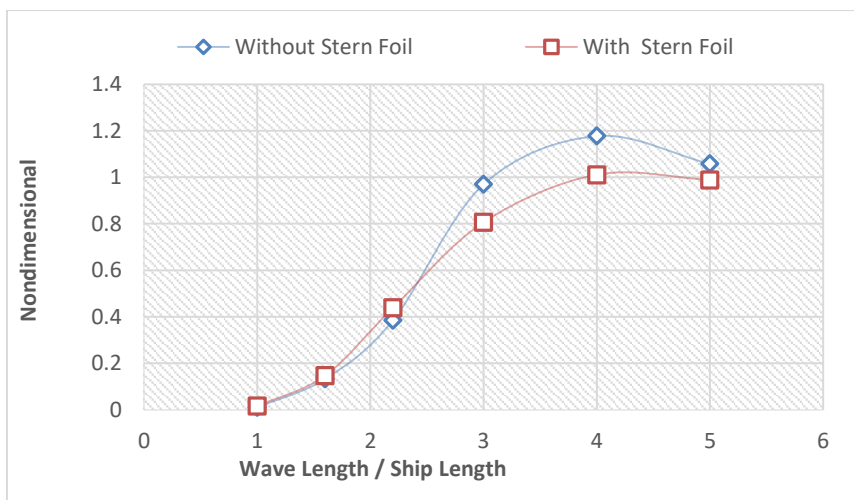
Fig. 12- Graphs on Comparison Heave RAO for V=25 knots by effect of Stern Foil



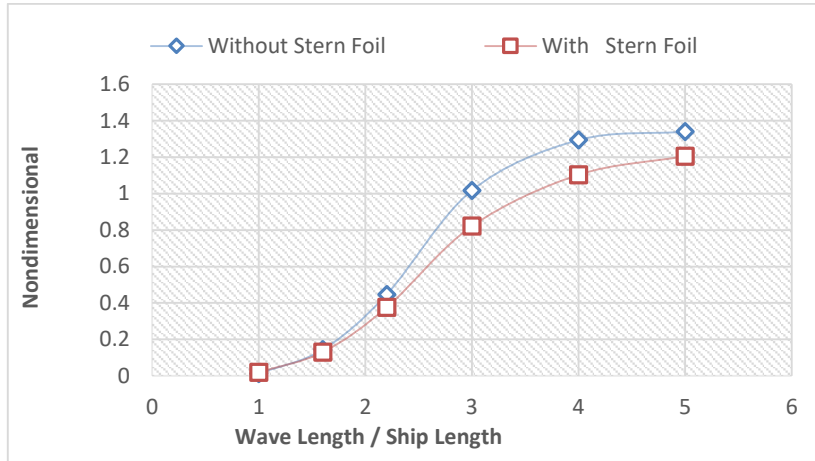
شکل ۱۳- نتایج RAO حرکت غلتش طولی در سرعت ۲۵ نات در دو حالت با و بدون فویل پاشنه  
 Fig. 13- Graphs on Comparison Heave RAO for V=25 knots by effect of Stern Foil



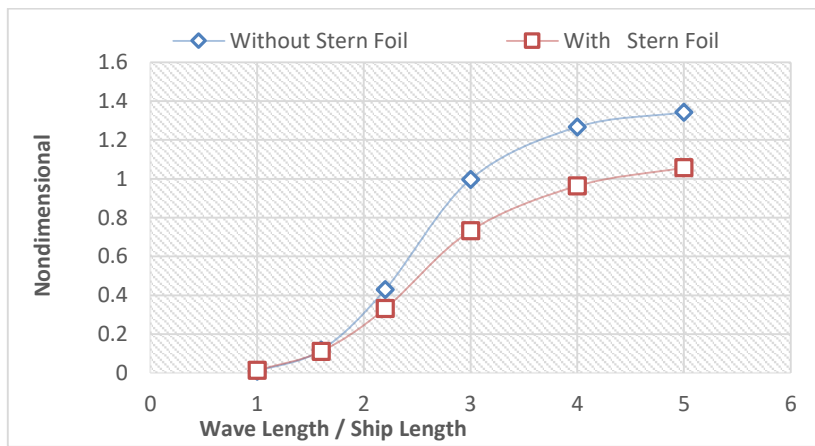
شکل ۱۴- نتایج RAO حرکت جابه جایی قائم در سرعت ۳۳ نات در دو حالت با و بدون فویل پاشنه  
 Fig. 14- Graphs on Comparison Heave RAO for V=33 knots by effect of Stern Foil



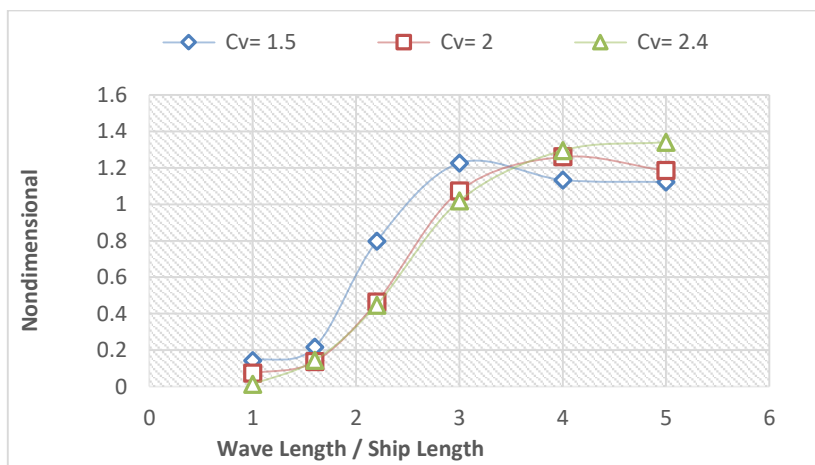
شکل ۱۵- نتایج RAO هیو در سرعت ۳۳ نات در دو حالت با و بدون فویل پاشنه  
 Fig. 15- Graphs on Comparison Heave RAO for V=33 knots by effect of Stern F



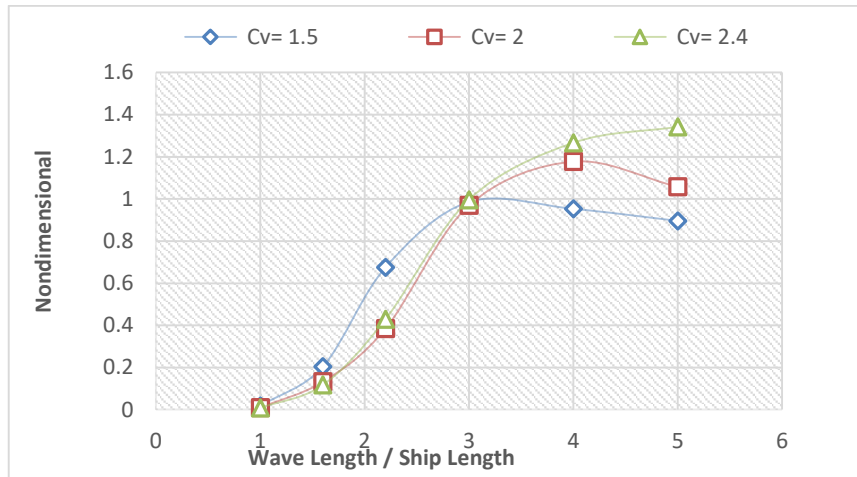
شکل ۱۶- نتایج RAO هیو در سرعت ۴۰ نات در دو حالت با و بدون فویل پاشنه  
 Fig. 16- Graphs on Comparison Heave RAO for V=40 knots by effect of Stern Foil



شکل ۱۷- نتایج RAO پیچ در سرعت ۴۰ نات در دو حالت با و بدون فویل پاشنه  
 Fig.17- Graphs on Comparison Heave RAO for V=40 knots by effect of Stern Foil



شکل ۱۸- نتایج RAO حرکت هیو شناور بدون فویل پاشنه در ضریب سرعت‌های مختلف  
 Fig. 18 - Comparison of the RAO heave at various Speed Coefficient without Stern foil



شکل ۱۹- نتایج RAO حرکت پیچ شناور بدون فویل پاشنه در ضریب سرعت‌های مختلف

Fig.19- Comparison of the RAO pitch at various Speed Coefficient without Stern foil

نوآوری و خلاقیت در سرعت‌های ۳۳ و ۴۰ نات بررسی و تحلیل عملکرد دریامانی با تأثیر فویل پاشنه انجام گرفته است. در این محیط برای شبیه‌سازی جریان ویسکوز از روش غیریکنواخت URANS و به منظور شبیه‌سازی رفتار شناور در حوزه شبیه‌سازی از مدل DFBI با دو درجه آزادی و برای مدل کردن سطح آزاد و موج منظم از مدل نسبت حجمی سیال (VOF) استفاده شده است. بر اساس یافته‌های تحقیق به وضوح تأثیر فویل پاشنه در کاهش دامنه حرکات هیو و پیچ شناور پروازی و به تبع آن عملکرد مطلوبتر دریامانی در رژیم سرشی شناور به خصوص با افزایش سرعت در محدوده ای از نسبت‌های  $\frac{\text{طول موج}}{\text{طول شناور}}$  به دست آمده است.

#### ۴. بحث و نتیجه گیری

روش حل در این تحقیق از بین روش‌های پیش بینی کننده دریامانی شناورها، حل عددی توسط نرم‌افزار با تعیین واکنش‌های شناور به امواج منظم برخوردی از روبرو به شناور با طول موج‌های مختلف می‌باشد. به علت این که مدل آزمایشگاهی شناور پروازی مورد تحقیق در حوضچه کشش دانشگاه صنعتی مالزی در سرعتی معادل ۲۵ نات شناور مورد تست قرار گرفته و رفتار شناور در هر دو حالت با و بدون فویل در سرعت‌های بالاتر در محدوده رژیم سرشی شناور مبهم بوده است؛ با شبیه‌سازی مدل شناور مربوطه در نرم افزار Star-CCM+، ابتدا مدل سازی در سرعت ۲۵ نات جهت صحت سنجی نتایج صورت گرفته و در ادامه به عنوان

#### References:

Ahmadpour B. 2019. Modeling of Dual Purpose Caisson Breakwater (semi-circular) and Energy Generator System, M.Sc. Thesis, Chabahar Maritime University, Iran.

Begovic, E., Bertorello, C. and Pennino, S., 2014a. Experimental seakeeping assessment of a warped planing hull model series. *Ocean Engineering*, 83, pp.1-15.

Begovic E and Luca L and Pennino S. 2014b. Vertical Motion Assessment for Planing Hulls. 5-13p.

BERO, A.B., 2009. *Performance Prediction for High Speed Craft* (Doctoral dissertation, Universiti Teknologi Malaysia).

Fridsma, G., 1969. *A systematic study of the rough-water performance of planing boats*. Stevens Inst of Tech Hoboken NJ Davidson Lab.

Fridsma, G., 1971. *A Systematic Study of the Rough-Water Performance of Planing Boats*.

*Irregular Waves-Part 2*. STEVENS INST OF TECH HOBOKEN NJ DAVIDSON LAB.

International Towing Tank Conference (ITTC), 2014. Ocean Engineering Committee, Final report and recommendation to the 27th ITTC. In: Proceedings of the 27th ITTC, Copenhagen.

Kim, S. and Lee, H.H., 2011, June. Fully nonlinear seakeeping analysis based on CFD simulations. In *The Twenty-first International Offshore and Polar Engineering Conference*. OnePetro.

Larsson, L., Stern, F. and Visonneau, M., 2013. CFD in ship hydrodynamics—results of the Gothenburg 2010 workshop. In *MARINE 2011, IV International Conference on Computational Methods in Marine Engineering: Selected Papers* (pp. 237-259). Springer Netherlands.

Moghaddas Ahangari, A., Zeraatgar, H. and Shariati, S.K., 2018. Experimental measuring of Esso Osaka maneuvering hydrodynamic coefficients in towing tank. *Journal of Marine*

*Science and Technology*, 17(1), pp.110-122. (In Persian).

Que´rard, A., Temarel, P. and Turnock, S.R., 2008, January. Influence of viscous effects on the hydrodynamics of ship-like sections undergoing symmetric and anti-symmetric motions, using RANS. In *International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering* (Vol. 48227, pp. 683-692).

Savitsky, D., 1964. Hydrodynamic design of planing hulls. *Marine Technology and SNAME News*, 1(04), pp.71-95.

Savitsky, D. and Brown, P.W., 1976. Procedures for hydrodynamic evaluation of planing hulls in smooth and rough water. *Marine Technology and SNAME News*, 13(04), pp.381-400.

Savitsky, D. and Koelbel, J.G., 1993. *Seakeeping of hard chine planing hulls*. SNAME.

Shadkam, S., Gholami, E.D. and Al Ali, N., 2017. Gyroscope and activated anti-rolling tank equations in ship roll damping. *Journal of Marine Science and Technology*, 15(4), pp.97-103. (In Persian).

Tezdogan, T., Incecik, A. and Turan, O., 2016. Full-scale unsteady RANS simulations of vertical ship motions in shallow water. *Ocean Engineering*, 123, pp.131-145.



Available Online: <http://jmst.kmsu.ac.ir>  
Original Article



## Modeling and Analysis of planing hull seakeeping performance

Mohammadreza Negahdari <sup>1\*</sup>, Roholla Karimpour <sup>1</sup>, Iman Khatami <sup>2</sup>, Babak Ahmadpoor <sup>1</sup>

1. Department of Marine Engineering, Faculty of Marine Engineering, Chabahar Maritime University, Chabahar, Iran.

2- Department of Mechanics, Faculty of Marine Engineering, Chabahar Maritime University, Chabahar, Iran.

\*Corresponding author E-mail: negahdari@cmu.ac.ir

Received: 26 September 2019

Revise Date: 24 March 2020

Accepted: 28 April 2020

DOI: 10.22113/JMST.2020.213348.2340

### Abstract

Motion control may be effective by reducing the heave and pitch of a high speed vessel especially in planing hull. In order to decrease these motions, the foil was effective technique rather than other methods. High speed crafts are known to have rough water problem is essentially one of compromise between speed and seakeeping performance. The objective of this research is to predict the performance of the planing craft M Hull in term of seakeeping before and after incorporating with stern foil. Prototypes of the hull have been modeled in 3D using Rhino and is running at the head sea of the regular wave and its responses are obtained by unsteady RANS simulations using StarCCM+ software. The obtained results of RAO heave and pitch motions are presented at various Speed Coefficient. Basically, there are advantages by incorporating the stern foil at aft of the vessel to achieve the planing mode which it gives significant effect to motion reduction by increase of speed in special region. For example, at speed 40 knots by adapting with Stern foil the heave & pitch RAO trim down by 19.31% and 26.44% respectively.

**Keywords:** Seakeeping, Planing hull, RAO, Stern foil

### Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

