

بررسی اثر اینترسپتور بر پایداری طولی شناور تندرو تک بدنه به

روش عددی

علی اشرفی پور^۱، محمد مرادی^۲

^۱ کارشناسی مکانیک دریایی، دانشکده شناوری، دانشگاه علوم و فنون دریایی امام خمینه‌ای (مدظله‌العالی)

^۲ مدرس گروه مکانیک، دانشکده شناوری دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (علیه‌السلام)؛

mohamad.moradi0932@gmail.com

چکیده:

شناورهای تندرو در حالت سرشی یا پروازی در صورت نبود سیستم‌های کنترلی لیفت، دچار عدم تعادل طولی (پورپوئینگ^۱) می‌شوند. یکی از سیستم‌های کنترل لیفت، اینترسپتور^۲ می‌باشد، اینترسپتور به‌عنوان یک قطعه اضافه‌شده به شناور جهت تأمین تعادل و کنترل تریم شناورهای تندرو مورد استفاده قرار می‌گیرد. این قطعه به‌صورت عمودی نسبت به کف شناور، در پاشنه شناور نصب می‌شود و بسیار کارآمد و مؤثر می‌باشد. اثر آن روی نیروی لیفت^۳ و مقاومت شناور به‌گونه‌ای است که می‌تواند مرکز فشار را به مرکز جرم نزدیک نموده و تریم شناور را کنترل نماید. در این مقاله عملکرد هیدرودینامیکی شناور در حضور اینترسپتور و همچنین بدون اینترسپتور بر اساس روش دینامیک سیالات محاسباتی^۴ مورد تحلیل قرار گرفته است. شبیه‌سازی شناور و افزودن اینترسپتور توسط نرم‌افزار راینو^۵ انجام گردیده است. شبیه‌سازی و تحلیل عددی به‌وسیله نرم‌افزار استار سی‌سی‌ام^۶ انجام شده است. شناور مدل شده دارای دو درجه آزادی در جهت هیو و پیچ^۷ است و با استفاده از روش اورست^۸ یا مش متحرک حل شده است. نتایج ارائه شده در این مقاله شامل نمودارهای مقاومت و تریم، موج اطراف شناور و توزیع فشار در کف می‌باشد. نتایج به دست آمده بیان‌کننده این است که شناور در حضور اینترسپتور با ارتفاع ۱ میلی‌متر در سرعت ۸ متر بر ثانیه دارای بهترین عملکرد، تریم ثابت و مقاومت کمتری است و شناور دارای تعادل طولی مناسبی می‌باشد. نتایج به دست آمده در هر دو حالت با یک مدل آزمایشگاهی که در حوضچه ملی شهدای خلیج فارس انجام گردیده است؛ جهت اعتبار سنجی مقایسه شده است.

واژه‌های کلیدی:

شناورهای تندرو، پورپوئینگ، مقاومت، تریم، لیفت، اینترسپتور

Numerical study of the effect of interceptor on the longitudinal stability of Mono-hull high speed craft

Ali Ashrafipour¹, mohammad Moradi²

¹ Bachelor of Marine Mechanics, College of Navigation, Imam Khamenei Maritime University

² Faculty of Sciences, Imam Hossein (AS) Officers and Guard Training University,

mohamad.moradi0932@gmail.com

Abstract:

High speed crafts by planning hull suffer from longitudinal imbalance or porpoising due to the lack of lift control systems. One of the lift control systems is interceptor, which is used as a piece attached to the craft to create balance and trim control. This piece is attached vertically in the stern that is very effective and efficient. Its effect on the lift force and the craft resistance is such that it can adjust the center of pressure to the center of mass and control the craft trim. In this paper, the hydrodynamic performance of a craft in the presence of an interceptor as well as without an interceptor is analyzed based on the computational fluid dynamics (CFD) methods. Craft

1 porpoising

2 interceptor

3 lift

4 CFD

5 Rhinoceros

6 STAR CCM⁺

7 Heave, pitch

8 overset

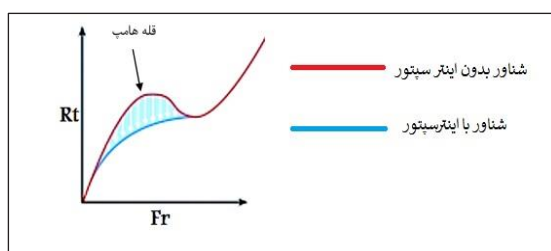
simulation and interceptor addition were done by Rhino software. Numerical simulation and numerical analysis and analysis of the results were performed by STAR CCM + software. The modeled craft has two degrees of freedom in the direction (heave and pitch) and is solved using the overset method. The results presented in this paper include flow distribution on the craft floor, pressure distribution, trim and drag. The results show that the craft in the presence of the interceptor with a height of 1 mm at a speed of 8 meters per second has the best performance, constant trim and good resistance and will be without porpoising. Compared to a craft without an interceptor whose performance is not suitable, it will suffer from longitudinal instability. The results obtained in both cases will be compared with the laboratory model and tested in the Persian Gulf traction basin. [9] The results show the effect of better craft performance with the interceptor.

Keywords:

high speed crafts, porpoising, longitudinal stability, resistance, trim, lift, interceptor

۱- مقدمه

در زمینه عملکرد، میزان اثر در لیفت و پایداری هریک از موارد فوق کارهای بسیاری صورت گرفته است. شکل ۲ تأثیر اینترسپتور بر روی کاهش میزان مقاومت در شناور تندرو را در محدوده قله هامپ نمایش می‌دهد.



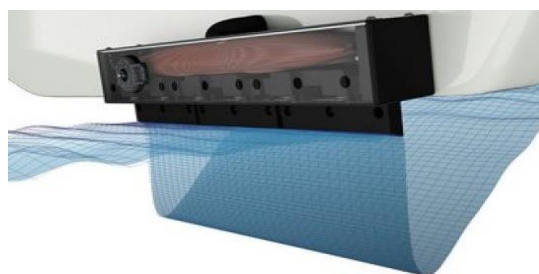
شکل ۲- تأثیر اینترسپتور بر روی مقاومت شناور تندرو [۴]

از اولین کسانی که در زمینه ناپایداری طولی (پروپویزینگ) کارهای تحلیلی انجام داد، می‌توان مارتین را نام برد. ایشان در سال ۱۹۷۶ یک روش ریاضی برای حرکت هیو و پیچ با فرض خطی بودن نیروها را توسعه داد [۵].

همچنین قدیمی و همکاران بر روی پدیده ناپایداری طولی بررسی‌هایی انجام دادند. آن‌ها این بررسی را برای شناوری با زاویه هیل متغیر انجام دادند و به روش تحلیلی متوجه شدند نیروهای هیدرودینامیکی به شدت به زاویه هیل وابسته می‌باشند [۳].

در ابتدا نتایج تست انجام شده بر روی یک مدل شناور تندرو که در حوضچه کشش ملی خلیج فارس انجام شده است [۶-۹]، ذکر می‌گردد و سپس همان شناور در نرم افزار راینو مدل‌سازی شده و به کمک نرم افزار استار سی‌سی‌ام مورد تحلیل عددی قرار می‌گیرد. نتایج این تحلیل عددی با نتایج تست تجربی جهت اعتبار سنجی مقایسه می‌گردد. در مرحله نهایی اینترسپتور به پاشنه شناور اضافه شده و نتایج

شناورهای تندرو به دلیل سرعت، مانورینگ بالا، صرفه اقتصادی، تغییر کاربری آسان و سایر ویژگی‌های خاص، مورد توجه بسیاری از کشورها در حوزه‌های مختلف قرار گرفته است. امروزه شناورهای تندرو رکن اساسی زمینه‌های تفریحی، اقتصادی و نظامی کشورها هستند. شناورهای تندرو در کنار مزیت‌های مفیدی که دارند، با مشکلات عمده‌ای نیز مواجه هستند. یکی از مشکلات مهم شناور تندرو، افزایش زاویه‌تریم شناور در سرعت‌های بعد از اسکی شناور می‌باشد [۱]. این زاویه‌تریم می‌تواند باعث افزایش مقاومت شناور شود به علت افزایش سطح آب در قسمت پاشنه و همچنین نیروهای مقاومت اصطکاکی و مقاومت‌های موج سازی در نتیجه می‌تواند در پایداری طولی و عرضی شناور تأثیر مستقیم داشته باشد [۲]. برای کنترل تریم در شناورهای تندرو از عناصر مختلفی استفاده می‌شود، یکی از این عناصر، اینترسپتور است. اینترسپتور به صورت عمود در پاشنه شناور اضافه می‌شود تا با ایجاد نیروی لیفت در پاشنه، باعث کاهش تریم و آبخور و در نهایت منجر به کاهش نیروی مقاومت گردد. شکل ۱ نمایانگر عملکرد اینترسپتور و نحوه‌ی ایجاد نیرو بر شناور و جریان آب عبوری است [۳].



شکل ۱- عملکرد اینترسپتور

تحلیل عددی استخراج می‌گردد. در نهایت بررسی‌ها به صورت جمع بندی کلی ارائه می‌گردد.

۲- معادلات حاکم

مدل سازی سطح آزاد سیال در نزدیکی اطراف جسم صلب از مسائل بسیار مهم سیالاتی به شمار می‌رود. جریان سیال در اطراف بدنه‌ی یک شناور، رفتاری پیچیده داشته و می‌تواند همراه با برخی پدیده‌های فیزیکی مانند شکست امواج باشد. از این رو بررسی دقیق جریان سطح آزاد از دیر باز به عنوان یکی از مسائل چالش برانگیز برای طراحان کشتی مطرح بوده است. امروزه یکی از جنبه‌های مهم در بررسی مسائل هیدرودینامیکی، پیش بینی موقعیت دقیق سطح آزاد و تغییر شکل‌های آن می‌باشد. در روش‌های معمول در شبیه سازی حرکات شناور عموماً از تغییر شکل سازه شناور و تأثیر آن بر نتایج صرف نظر شده و سازه به صورت جسم صلب فرض می‌گردد. بدین ترتیب شبیه سازی حرکات اجسام شناور را می‌توان به سه مسئله اصلی تقسیم نمود که عبارت‌اند از [۶]:

۱) معادلات اساسی حاکم بر جریان سیال (معادلات ناویر- استوکس و پیوستگی) ۲) معادلات آشفتگی ۳) مدل سازی سطح آزاد.

معادلات ناویر- استوکس و پیوستگی به صورت زیر قابل بیان است:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_i \partial x_j} + g_i \quad (۱)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0$$

در این معادلات u_i مؤلفه سرعت، P فشار و g_i مؤلفه نیروی ثقل می‌باشد. در این مقاله این معادلات با استفاده از روش حجم محدود گسسته شده و از رویکرد گام جزئی برای کوپل میدان سرعت و فشار استفاده شده است. در روش گام جزئی با یک بار حل معادله فشار در هر گام زمانی، شرط پیوستگی ارضا شده و لذا این روش انتخاب مناسبی برای حل مسائل گذرا محسوب می‌شود. معادلات مهم دیگر، معادلات آشفتگی می‌باشند؛ که یکی از مهم‌ترین آن‌ها معادله $k-\epsilon$ است که در زیر آمده است:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho\epsilon)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U \epsilon) \\ = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \nabla \epsilon \right] \end{aligned} \quad (۲)$$

$$+ \frac{\epsilon}{k} (C_{\epsilon 1} (P_K + P_{\epsilon b}) - C_{\epsilon 2} \rho \epsilon)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U k) \\ = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \nabla k \right] \\ + P_k + P_{kb} - \rho \epsilon \end{aligned} \quad (۳)$$

فرم بهبود یافته‌ای نیز از معادلات آشفتگی بنام معادله $k-\epsilon$ RNG وجود دارد که با توجه به شرایط مسئله و تحقیقات مشابه انجام شده، در این تحقیق از این رابطه برای مدل سازی آشفتگی استفاده شده است:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho\epsilon)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U \epsilon) \\ = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{\epsilon RNG}} \right) \nabla \epsilon \right] \\ + \frac{\epsilon}{k} (C_{\epsilon 1 RNG} (P_K + P_{\epsilon b}) - C_{\epsilon 2 RNG} \rho \epsilon) \end{aligned} \quad (۴)$$

به طوری که:

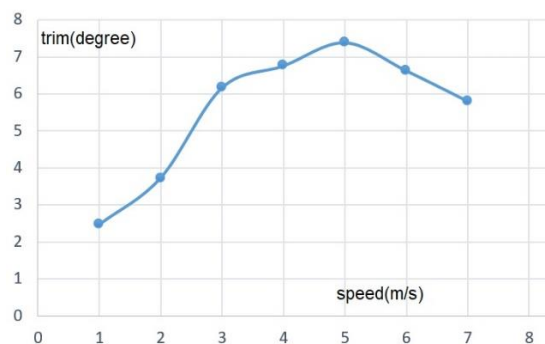
$$C_{\epsilon 1 RNG} = 1.42 - f_\eta \quad (۵)$$

$$\begin{aligned} f_\eta \\ = \frac{\eta \left(1 - \frac{\eta}{4.38} \right)}{(1 + \beta_{RNG} \eta^3)} \end{aligned} \quad (۶)$$

$$\begin{aligned} \eta \\ = \sqrt{\frac{P_k}{\rho C_{\mu} \epsilon}} \end{aligned} \quad (۷)$$

مسئله مهم دیگر مدل سازی سطح آزاد می‌باشد که به منظور شبیه سازی تغییر شکل‌های پیچیده در سطح مشترک دو سیال، از روش حجمی مدل سازی سطح آزاد استفاده شده است. در این حالت یک معادله انتقال برای محاسبه نسبت حجمی دو فاز سیال (برای مثال آب و هوا) به صورت زیر در هر گام زمانی حل می‌شود.

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\vec{u}) = 0 \quad (۸)$$



شکل ۴- نمودار تریم مدل [6]

۴- مطالعه عددی شناور مدل

در این قسمت شناور تست شده در آزمایشگاه پس از مدل‌سازی در نرم افزار راینو، در نرم افزار استار سی‌ام مورد تحلیل عددی قرار می‌گیرد و جهت اعتبار سنجی نتایج عددی با تست تجربی انجام شده مقایسه می‌گردد. این نرم افزار بر پایه حجم محدود می‌باشد.

۵- هندسه مدل

شناور مدل دارای مشخصات زیر می‌باشد:
مقیاس ۵:۱، شناور تک بدنه پروازی V شکل از جنس کامپوزیت، جنس آن فایبرگلاس، بدون پله‌های طولی و عرضی، طول ۲۶۴۰ میلی‌متر و نسبت طول به عرض شناور ۴/۷۸ می‌باشد.

جدول ۱- مشخصات شناور مدل

INDEX	CASE	SIZE
1	LOA	2640 mm
2	LCG	791mm of transom
3	VCG	184 mm
4	LBP	2368mm
5	C _A	0.5
6	Mass	86kg
7	V	0.08585 mm ³
8	Draft(forward)	186.45 mm
9	Draft (transom)	89.81 mm
10	Statics trim	2.34 deg
11	Design draft	146.57 mm
12	beam	551.9 mm
13	C _v	0-4.29
14	F _{TL}	0-2.35

پس از حل معادله انتقال نسبت حجمی، چگالی و لزجت سیال معادل طبق رابطه زیر محاسبه گردیده و در دیگر محاسبات لحاظ می‌شود.

(۹)

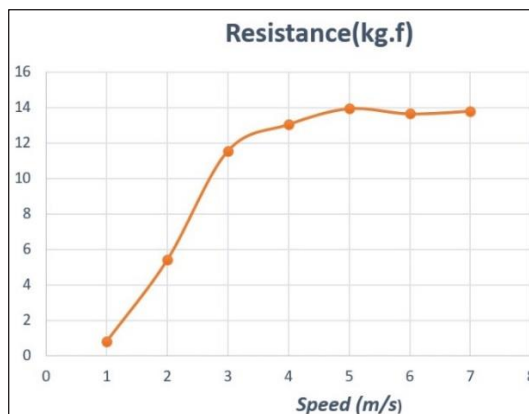
$$\rho_{eff} = \alpha\rho_1 + (1-\alpha)\rho_2$$

۳- آزمایش تجربی و نتایج آن

تست تجربی بر روی یک مدل شناور تندرو با مشخصات زیر انجام شده است: مقیاس ۵:۱، شناور تک بدنه پروازی V شکل از جنس کامپوزیت، جنس آن فایبرگلاس، بدون پله‌های طولی و عرضی طول ۲۶۴۰ میلی‌متر و نسبت طول به عرض شناور ۴،۷۸ می‌باشد. [۹-۶]

مطابق آزمایشات تجربی انجام شده از سرعت ۵ متر بر ثانیه به بعد شناور دارای پورپوزینگ می‌باشد، لذا به دلیل عدم تعادل طولی نمی‌توان به سرعت‌های بالاتر رسید. یکی از دلایل اصلی وقوع پورپوزینگ عقب بودن مرکز ثقل یا نزدیک بودن آن به ترانزوم می‌باشد. مرکز ثقل شناور در ۳۰ درصدی پاشنه یعنی $LCG=791.49mm$ قرار دارد. در شناور اصلی بنا به دلایل مختلف از جمله محدودیت جای موتور، شاید تغییر موقعیت ثقل سخت‌تر از تغییرات جزئی در بدنه شناور باشد. طول آبخور شناور برای محاسبه عدد فرود $2.31 m$ برابر با آبخور استاتیکی می‌باشد. [۹-۶]

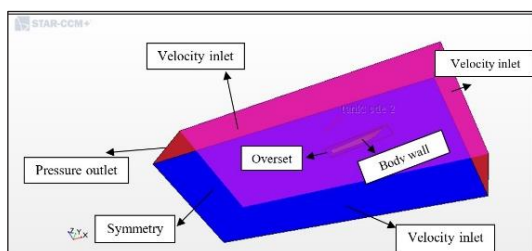
نتایج به دست آمده به صورت نمودار نشان داده شده است



شکل ۳- نمودار مقاومت به سرعت مدل [6]

جدول ۲- شرایط مرزی

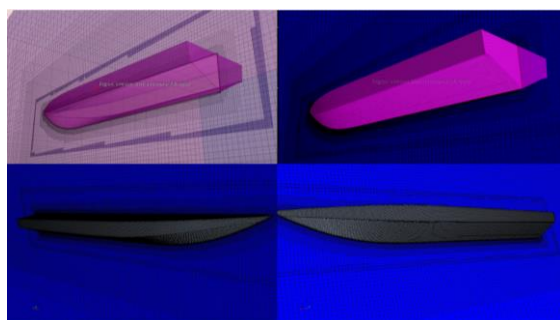
شرایط مرزی	نما
Velocity inlet	inlet
Pressure outlet	outlet
Velocity inlet	Top & bottom
wall	boat
symmetry	symmetry
Overset	Overset



شکل ۷- شرایط مرزی شبیه سازی شده

۸- تولید مش

دامنه محاسباتی به وسیله شبکه های ساختار یافته مش بندی شده است. برای دامنه محاسباتی نزدیک بدنه شناور و سطح آب مناطقی تعیین شده است که به صورت مناسبی شبکه بندی شده است. برای تعیین تکنیک مش متحرک از روش اورست استفاده شده است. حرکات دو درجه آزادی شناور، هیو و پیچ تعیین شده است. دو دامنه اورست^۹ و پشت زمینه^{۱۰} به صورت اینترفیس^{۱۱} خطی به هم متصل می شود. مش تولید شده در شکل ۸ آورده شده است.



شکل ۸- مش تولید شده

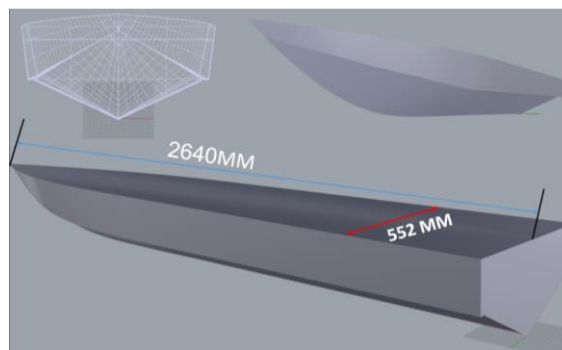
۹- استقلال از شبکه

جهت کسب نتایج مطلوب و اطمینان از صحت عملکرد، مش بندی به سه صورت انجام شد. مرتبه اول با تعداد

9 overset

10 Background

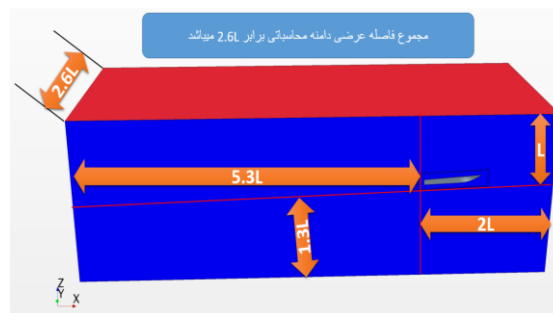
11 interface



شکل ۵- نمای روبرو و سه بعدی شناور

۶- دامنه محاسباتی

دامنه محاسباتی به گونه ای تعیین می شود که تأثیر مرزها بر روی دامنه حل کمترین تأثیر را داشته باشد. در شکل ۶ دامنه محاسباتی به صورت بی بعد نشان داده شده است. شکل ۷ نیز شرایط مرزی شبیه سازی شده را نشان می دهد.



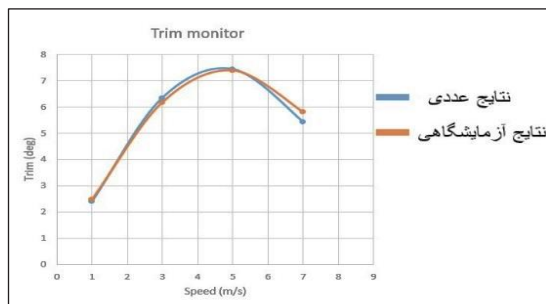
شکل ۶- ابعاد اصلی دامنه محاسباتی

۷- شرایط مرزی

- ۱) برای سه نما جلو، بالا و کف از شرایط مرزی سرعت ثابت و یکنواخت استفاده شده است.
- ۲) برای نمای چپ از شرایط مرزی سیمتری استفاده شده است.
- ۳) برای مدل شناور شرایط دیوار و عدم لغزش انتخاب شده است.
- ۴) برای سطح انتهایی، شرایط فشاری به کار برده شده است.



شکل ۱۰- نمودار مقاومت عددی و آزمایشگاهی



شکل ۱۱- نمودار تریم عددی و آزمایشگاهی

۱۱- اعتبار سنجی

برای کالیبراسیون و اعتبارسنجی، نتایج درگ و تریم شناور با حالت آزمایشگاهی مقایسه شده است. نتایج به صورت جداول ۴ و ۵ آورده شده است.

جدول ۴- مقایسه درگ آزمایشگاهی و عددی [۹]

درصد خطا	درگ آزمایشگاهی (KG.F)	درگ عددی (KG.F)	سرعت (M/S)
6	0.8	0.75	1
1	11.55	11.72	3
4	13.94	13.35	5
PROP	PROP	PROP	8

جدول ۵- مقایسه تریم آزمایشگاهی و عددی [۹]

درصد خطا	تریم آزمایشگاهی (درجه)	تریم عددی (درجه)	سرعت (M/S)
2.8	2.47	2.4	1
6	6.17	6.34	3
0.6	7.39	7.44	5
6	5.81	5.44	7
PROP	PROP	PROP	8

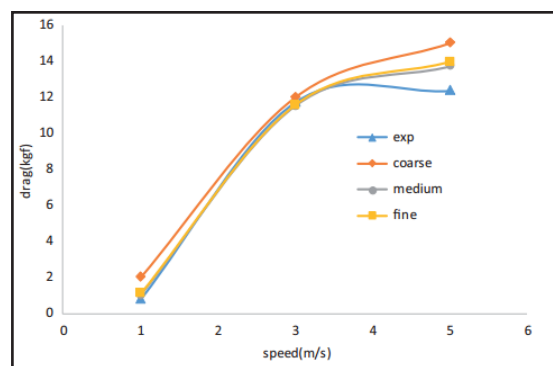
همان طور که در «جدول ۴ و ۵» ملاحظه می گردد دامنه خطاها از کمتر از یک درصد تا ۶ درصد می باشد. نتایج توافق خوبی با روش تجربی دارد که باعث ایجاد اطمینان به تحلیل

سلول های ۱,۹۰۰,۰۰۰، مرتبه دوم با تعداد سلول های ۳,۰۰۰,۰۰۰ و مرتبه سوم با تعداد سلول های ۵,۰۰۰,۰۰۰ صورت پذیرفته است.

جدول ۳- تعداد سلول های سه مدل مش بندی

cases	sel
coarse	1.900.000
Medium	3.000.000
fin	5.000.000

در این سه حالت تا سرعت ۵ متر بر ثانیه نتایج مقاومت استخراج شد که در شکل ۹ به صورت نمودار مشاهده می شود.



شکل ۹- نمودار استقلال از شبکه

با توجه به نمودار ملاحظه می شود در این سه حالت اعداد مربوط به مقاومت نزدیک به هم می باشد؛ لذا از آنجایی که در حالت سوم با توجه به مشخصات فنی رایانه، استخراج نتایج بسیار زمان بر بوده و نتایج به دست آمده از حالت دوم تقریباً تطابق داشته است؛ لذا تمامی مراحل تحلیل و استخراج نتایج از حالت دوم انتخاب شده است.

۱۰- نمودارهای مقاومت و تریم عددی و آزمایشگاهی

پس از مش بندی مقدار مقاومت و تریم در سرعت هایی که در آزمایشگاه تست شده بود، استخراج گردید و مقدار آن ها در نمودارهای زیر مشخص است. آنچه دو نتیجه را به هم نزدیک می کند این است که در تست عددی نیز در سرعت ۸ متر بر ثانیه شناور دارای ناپایداری طولی خواهد بود و تعادل طولی ندارد. سایر نتایج هم با درصد اندکی اختلاف به هم نزدیک اند. نمودارهای مقاومت و تریم هر دو تست عددی و آزمایشگاهی مطابق شکل ۱۰ و ۱۱ می باشد.

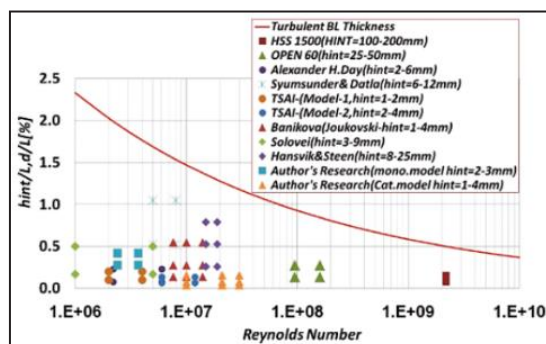
عددی و قابل ملاحظه بودن آن جهت تحقیق و پژوهش می‌شود.

۱۲- اضافه نمودن اینترسپتور به پاشنه شناور

در بررسی‌های انجام شده در بالا مشخص گردید، رفتار شناور از سرعت ۸ متر بر ثانیه به بعد دارای پورپویزینگ می‌باشد، لذا نمی‌توان به سرعت‌های بالاتر رسید. باید در ابتدا پورپویزینگ را حذف و بعد با حفظ تعادل به سرعت‌های بالا رسید. یکی از دلایل اصلی وقوع پورپویزینگ عقب بودن مرکز ثقل یا نزدیک بودن آن به ترانزوم^{۱۲} می‌باشد، در شناور اصلی بنا به دلایل مختلف از جمله محدودیت جای موتور، شاید تغییر موقعیت ثقل سخت‌تر از تغییرات جزئی در بدنه شناور باشد. در این تحقیق ارتفاع اینترسپتور در سرعت‌های مختلف با توجه وجود لایه مرزی و ارتباط مستقیم با عدد رینولدز دارد انتخاب می‌شود، با محاسبه‌ی ضخامت لایه مرزی در پاشنه شناور، ارتفاع ۱ میلی متر برای اینترسپتور انتخاب می‌گردد. موقعیت و شکل اینترسپتور در شکل ۱۲ آورده شده است. ارتفاع اینترسپتور را با توجه به رابطه ارتفاع لایه مرزی به صورت زیر به دست می‌آوریم.

$$\delta(x) = 0.37Re^{-1.5} \quad (10)$$

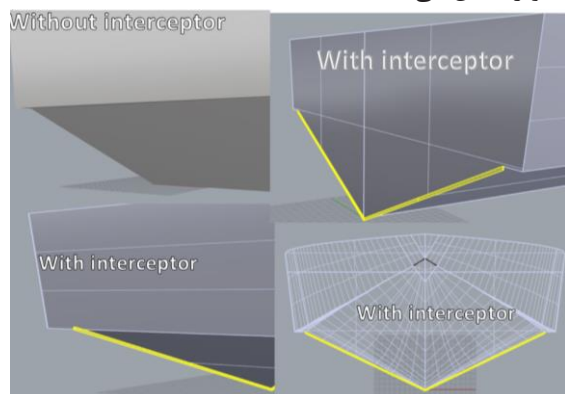
برای سرعت ۱۰ متر بر ثانیه ارتفاع لایه مرزی حدوداً ۱۰ میلی‌متر برای پاشنه شناور به دست می‌آید، لذا می‌توان از این معیار برای شروع کار استفاده نمود. باید توجه داشت در زیر آب عدد بی‌بعد حاکم، رینولدز می‌باشد. پس باید ارتفاع‌هایی را در نظر گرفته شود که در محدوده لایه مرزی باشد. با توجه به تجربیات ارتفاع‌های پیشنهادی برای اینترسپتور را ۱ میلی متر در نظر گرفته می‌شود و نتایج را بررسی می‌شود. از طرف دیگر به کمک داده‌های آماری ارتفاع اینترسپتور در یک محدوده و مطابق شکل ۱۲ ارتفاع در حدود نیم درصدی طول واتر لاین^{۱۳} شناور می‌باشد.



شکل ۱۲- تعیین ارتفاع اینترسپتور و اینترسپتور با توجه به داده‌های آماری در اعداد رینولدز مختلف [۹]

مهم‌ترین معیاری که در انتخاب اینترسپتور مد نظر قرار گیرد این است که کدام اینترسپتور مقاومت را هم‌زمان با از بین بردن پورپویزینگ کاهش می‌دهد.

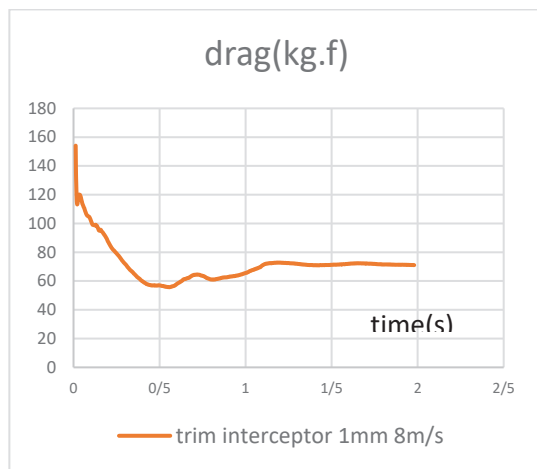
مکان اینترسپتور در پاشنه شناور می‌باشد زیرا بیشترین فاصله با مرکز لیفت دارد و می‌تواند اثر بیشتری در کاهش پورپویزینگ داشته باشد. این عمل باعث می‌شود مرکز ثقل به صورت مجازی نزدیک به مرکز لیفت شناور شود و پورپویزینگ را کاهش چشم‌گیری دهد. شکل ۱۳ موقعیت و شکل اینترسپتور در پاشنه شناور مدل شده در نرم افزار راینو را نشان می‌دهد.



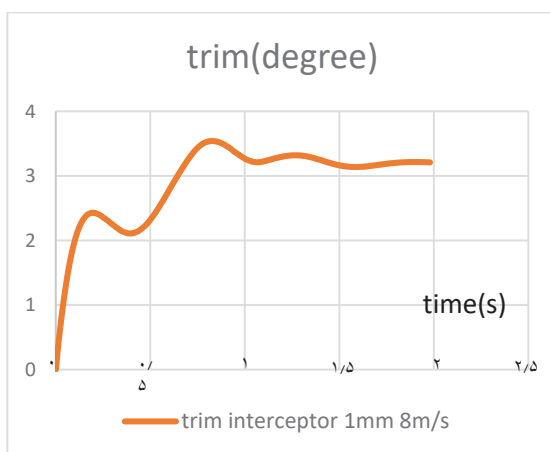
شکل ۱۳- تصویر موقعیت اینترسپتور

۱۳- نمودارهای عددی مقاومت و تریم شناور

بررسی‌های عددی انجام شده در دو حالت بدون اینترسپتور و با اینترسپتور انجام شده است. در حالت بدون اینترسپتور شناور در سرعت ۵ متر بر ثانیه آزمایش شد و پس از این سرعت شناور بشدت ناپایدار شده و امکان افزایش سرعت وجود ندارد یا به عبارتی پدیده پورپویزینگ رخ



شکل ۱۶- نمودار مقاومت با اینترسپتور در واحد زمان



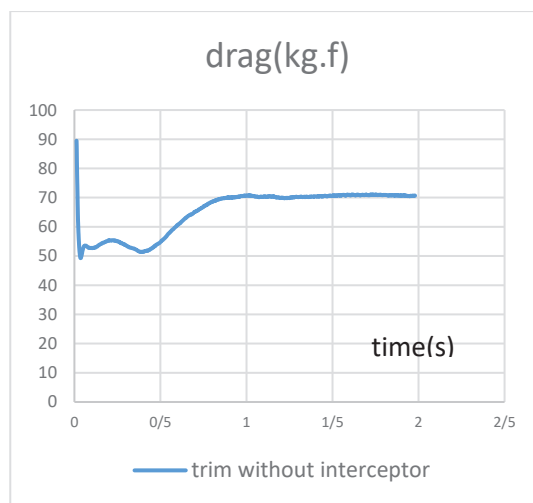
شکل ۱۷- نمودار تریم با اینترسپتور در واحد زمان

آنچه از نمودار تریم در حالت با اینترسپتور مشهود است کاهش مشهود تریم شناور است که نتیجه آن کاهش مقاومت و افزایش پایداری شناور می‌باشد.

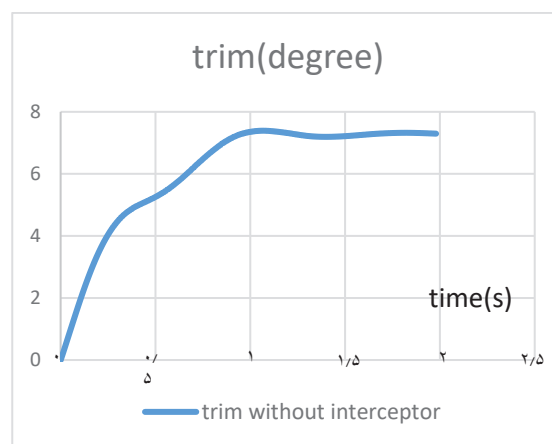
۱۴- موج اطراف شناور

موج اطراف شناور یکی از مواردی می‌باشد که مورد بررسی در کارهای عددی قرار می‌گیرد در شکل ۱۸ مقایسه‌ای بین شناور اینترسپتوردار و بدون اینترسپتور انجام شده است. موج تشکیل شده در سرعت مذکور نشان داده شده است. در این مقایسه، در حالت با اینترسپتور، موج از نمای بالا زاویه کمتری را با شناور تولید می‌کند یا به عبارتی این موج جمع‌تر می‌شود. این امر در اثر کاهش آبخور شناور در پاشنه به وجود می‌آید به این دلیل که زاویه تریم شناور، به کمک اینترسپتور کاهش می‌یابد و سرعت جریان خروجی از شناور بیشتر است.

می‌دهد و به دلیل این ناپایداری امکان افزایش سرعت نیست. نمودارهای مقاومت و تریم در این حالت در شکل ۱۴ و ۱۵ نشان داده شده است.



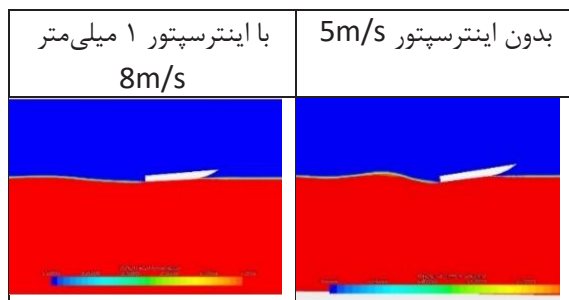
شکل ۱۴- نمودار مقاومت در واحد زمان



شکل ۱۵- نمودار تریم در واحد زمان

در حالت اینترسپتوردار با ارتفاع ۱ میلیمتر، شناور تا سرعت ۸ متر بر ثانیه پایدار بوده و میزان مقاومت و تریم کاهش محسوسی داشته است. زمانی که اینترسپتور به پاشنه شناور اضافه می‌گردد مرکز فشار هیدرودینامیکی به سمت پاشنه حرکت کرده و این رخداد باعث کاهش تریم شناور شده و به تبع آن مقاومت شناور کاهش می‌یابد. نمودارهای مقاومت و تریم در واحد زمان در سرعت ۸ متر بر ثانیه در شکل ۱۶ و ۱۷ نشان داده شده است.

طولی شفت از ترانزوم نسبت حالت بدون اینترسپتور بیشتر می‌تواند باشد. در شکل ۲۰ نمایش داده شده است.



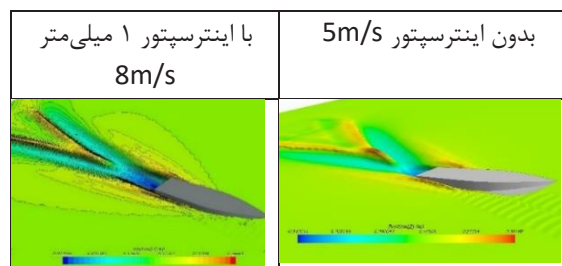
شکل ۲۰- شکل آب در پاشنه شناور

۱۷- نتیجه گیری

در این مقاله جهت افزایش پایداری شناور و حذف پروپیزینگ از اضافه نمودن اینترسپتور به پاشنه شناور استفاده گردید که نتایج به دست آمده نشان داد اینترسپتور تأثیر مثبتی در کاهش تریم شناور در اثر افزایش نیروی لیفت در پاشنه دارد؛ علاوه بر این با کاهش تریم و کم شدن سطح خیس نیروی مقاومت نیز کاهش پیدا کرده است؛ لذا در شناور اصلی که جابه‌جایی مرکز ثقل به دلیل محدودیت جای موتور، سخت‌تر از تغییرات جزئی در بدنه شناور می‌باشد؛ می‌تواند راه حل مناسبی جهت افزایش پایداری شناور و رسیدن به سرعت‌های بالاتر باشد. برای رسیدن به تریم مناسب‌تر، تعادل طولی بیشتر و دسترسی به سرعت‌های بیشتر، نیاز است اینترسپتور با ارتفاع‌های متفاوت، تست و ارزیابی گردد تا به طراحی مطلوب رسید؛ بنابراین در ادامه این کار پیشنهاد می‌گردد؛ اینترسپتور با ارتفاع ۰٫۵ و ۱٫۵ میلی‌متر نیز تحلیل گردد تا میزان نیروی لیفت و مقاومت ارزیابی گردد.

مراجع

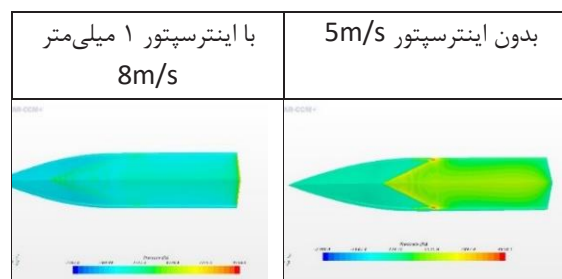
- [1] M. Martin, Theoretical prediction of proposing instability of high-speed planing boats. David W. Taylor Naval Ship Research and Development Center. Report No. 76-0068. 1976.
- [2] Parviz Ghadimi, Sasan Tavakolia, Abbas Dashtimanesh, coupled heave and pitch motions of planing hulls at non-zero heel angle, Applied Ocean Research 59 (2016) 286-303
- [3] Daniel savitsky, p. word Brown (1976) procedures for hydrodynamic evaluation of planing hulls in smooth and rough water. Marine technology, Vol 13, NO 4. pp 381-400



شکل ۱۸- موج اطراف شناور

۱۵- توزیع فشار کف شناور

توزیع فشار کف شناور در دو حالت کاملاً متفاوت می‌باشد. نتایج فشار کف شناور در شکل ۱۹ در سرعت‌های مذکور در دو حالت با اینترسپتور و بدون اینترسپتور نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، تمرکز فشار برای شناور اینترسپتور دار بر روی کف در انتها می‌باشد چون که در قسمت انتهایی اینترسپتور وجود دارد و این اینترسپتور دارای یک زاویه می‌باشد که یک تمرکز فشار ایجاد می‌کند. دقیقه به علت همین تمرکز فشار یک نیروی لیفت در پاشنه ایجاد می‌کند و تریم شناور کاهش می‌یابد که در انتها می‌تواند پروپیزینگ شناور را از بین ببرد. شناور اینترسپتور دار به علت فشار بالا در قسمت پاشنه مرکز فشار را به سمت پاشنه می‌کشد. این امر باعث می‌گردد فاصله مرکز فشار و مرکز ثقل کمتر شود و در نتیجه باعث پایداری طولی شناور شود.



شکل ۱۹- توزیع فشار در کف

۱۶- شکل سطح آب در قسمت پاشنه شناور

در حالت بدون اینترسپتور دم خروسی پشت شناور، فاصله کمی از پاشنه دارد و با توجه به تریمی که دارد سیستم رانش می‌بایست در این حالت با شیب بیشتری نسبت به حالت با اینترسپتور نصب گردد و فاصله طولی شفت از ترانزوم باید کمتر باشد اما در حالت با اینترسپتور فاصله دم خروسی از پاشنه بیشتر بوده و با توجه به تریم کمتر شیب طولی شفت کمتر از حالت بدون اینترسپتور بوده و فاصله

[۷] لونی افشین، "بررسی تأثیرات پله و تریم و تب بر عملکرد شناورهای پروازی با استفاده از مدل ریاضی"، پایان نامه کارشناسی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۲

[۸] مرادی محمد، "تحلیل هیدرودینامیکی اثر وج^{۱۴} بر عملکرد شناور تندرو تک بدنه"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه امام خمینی (ره)، ۱۳۹۸

[۹] ساجدی سید مهدی، شیخ الاسلامی محمد، "مطالعه تجربی تأثیر هیدرودینامیکی تغییر زاویه پاشنه به کمک و دج در شناور تندرو تک بدنه"، مقاله علمی پژوهشی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۹

[4] Gaber karafiath, Steven Fisher (1987). THE EFFECT OF STERN WEDGES ON SHIP POWERING PERFORMANCE. Naval Engineers Journal Volume 99, Issue 3 May 1987 Pages 27-38

[5] N. JENSEN and R. LATORRE (1992) PREDICTION OF INFLUENCE OF STERN WEDGES ON POWER BOAT PERFORMANCE. Ocean Engng, Vol. 19, No 3, pp. 303-312, 1992

[۶] Parviz Ghadimi, Sayyed Mahdi Sajedi, Sasan Tavakoli, Experimental Study of the Wedge Effects on the Performance of a Hard-chine Planning Craft in Calm Water, June 2018