

بررسی پارامترهای یک بدنه استوانه‌ای شکل مارپیچ در حالت کاملاً مغروق

هاشم ملکی^۱، امین نجفی^۲

۱- کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، ha.maleki93@gmail.com

۲- استادیار، مهندسی دریا، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، najafi.sharif@yahoo.com

* نویسنده مسئول: 09128993511 - najafi.sharif@yahoo.com

چکیده:

یکی از مشکلات اساسی در شناورهای سواث افزایش بیش از اندازه سطح خیس به دلیل وجود بدنه‌های زیرین می‌باشد. افزایش سطح خیس سبب افزایش نیروی مقاومت و در نتیجه استفاده از موتورهای قوی در این نوع از شناورها می‌شود. هدف از مقاله حاضر بررسی تأثیر مارپیچ کردن بدنه‌های زیرین و تأثیر آن در کاهش نیروی مقاومت در حالت کاملاً مغروق می‌باشد. در این مقاله ابتدا به مقایسه تأثیر مارپیچ کردن بدنه‌های زیرین با استفاده از روش عددی پرداخته شده است. پس از اثبات مؤثر بودن روش ارائه شده پارامترهای مختلف بدنه مارپیچ نظیر عمق مارپیچ، طول مارپیچ و زاویه چرخش مورد بررسی قرار گرفت. با ادغام حالت بهینه شده هر کدام از پارامترها بدنه مارپیچ جدیدی ارائه گردید که در آن نیروی مقاومت نسبت به حالت ابتدایی کاهش محسوسی داشت.

واژه‌های کلیدی:

استوانه مارپیچ، مغروق، شبیه‌سازی عددی، بررسی پارامتری، استار سی‌سی‌ام

Investigation of the parameters of a spiral cylindrical body in a completely submerged state

Hashem, Maleki¹, Amin, Najafi²

1,2 Imam Hossein comprehensive university

Abstract

One of the main problems in SWATH ship is the excessive increase of the wet surface due to the presence of the hulls below. Increasing the wet surface increases the resistance force and as a result the use of powerful engines in this type of ship. The purpose of this paper is to investigate the effect of spiraling the lower bodies and its effect on reducing the resistance force in a completely submerged state. In this paper, first, the effect of spiraling the lower bodies using a numerical method is compared. After proving the effectiveness of the proposed method, various parameters of the spiral body such as spiral depth, spiral length and rotation angle were examined. By integrating the optimized state of each of the parameters, a new spiral body was presented in which the resistance force was significantly reduced compared to the initial state.

Keywords:

spiral cylinder submerged, numerical simulation, parametric investigation, Star CCM+

۱- مقدمه

یکی از مسائل مهم در شناورها، پایداری آنها می‌باشد. شناورهای سواث با داشتن دوبنده در زیر آب تعادل عرضی بالایی داشته و در نتیجه در امواج، بهتر می‌توانند تعادل خود را حفظ کنند. سطح خیس در این شناورها به دلیل وجود دوبنده در زیر آب افزایش یافته که این افزایش باعث افزایش نیروی مقاومت می‌گردد. مطالعات فراوانی بر روی کاهش و ارائه بدنه بهینه در این شناورها شده است که در ادامه به برخی از آنها اشاره شده است. برویزولا و همکارانش [۱] عملکرد میان یک شناور سواث و نیمه سواث رو مورد مقایسه قرار دادند. سعید کیاست و همکارانش [۲] به بررسی پارامترهای شناور سواث و تعیین نسبت‌های بهینه پرداختند. لیانگ و همکارانش [۳] به طراحی یک سیستم کنترل بهینه در شناور سواث همراه با فین تعادلی پرداختند. لین و همکارانش [۴] یک روش بهینه‌سازی طراحی خودکار برای شناور سواث ارائه نمودند. بگویک و

$$(1)$$

$$(2)$$

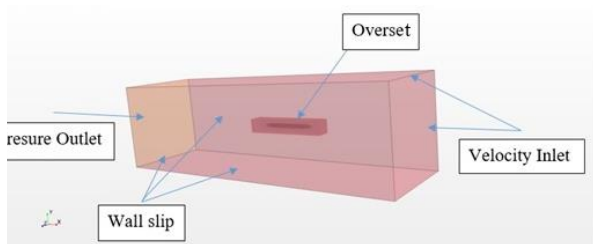
همکارانش [۵] به بررسی چهار فرم بدنه مختلف شناور سواث در امواج آرام و آشفته پرداختند. پرز و همکارانش [۶] به ارائه یک روش طراحی بدنه شناور سواث بر اساس مدل بی اسپیلاین^۱ پرداختند. یانگ و همکارانش [۷] یک روش بهینه‌سازی برای طراحی شناور سواث با استفاده از نمونه‌گیری متوالی ارائه دادند.

۲- معادلات

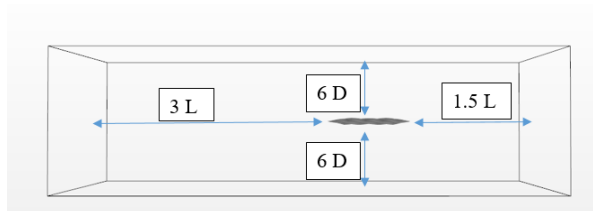
در این مقاله بررسی عددی در آب آرام مورد تحلیل قرار می‌گیرد. در حل عددی برای پیش‌بینی هیدرودینامیکی بدنه‌ها در آب آرام، بدنه‌ها را به صورت یک جسم صلب و ثابت در نظر گرفته و جریان به بدنه‌ها برخورد می‌کند؛ بنابراین برای شبیه‌سازی بدنه‌ها در نرم‌افزار از معادلات حاکم بر جریان آشفته در حالت تک فاز استفاده شده است. برای حل جریان سیال لازم است تا معادلات پیوستگی و معادلات ناویر استوکس حل گردند. این معادلات در شکل کلی در زیر آورده شده‌اند.

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

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + \frac{\partial (U_i U_j)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\nu \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \right] - \frac{\partial \overline{u_i u_j}}{\partial x_j}$$



شکل ۱: نمایش شرایط مرزی



شکل ۲: نمایش دامنه حل

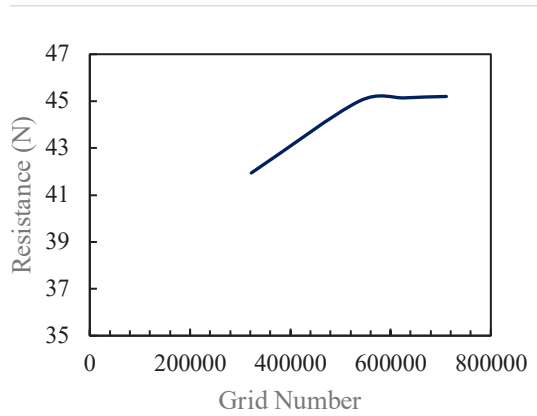
۲- شرایط مرزی و دامنه حل

یکی از مسائل مهم در حل‌های عددی، تعیین شرایط مرزی و همچنین دامنه حل مسئله می‌باشد. انتخاب شرایط مرزی باید به گونه‌ای باشد که به واقعیت مسئله نزدیک باشد. در شکل ۱ شرایط مرزی و نوع آن نمایش داده شده است. برای آنکه نتایج حل عددی از اعتبار کافی برخوردار باشد نیاز است تا ابعاد دامنه حل به نحوی انتخاب گردد تا تأثیری بر روی نتایج نداشته باشد. بدین منظور ابعاد دامنه حل را مشابه شکل ۲ انتخاب می‌نماییم. لازم به ذکر است برای صرفه‌جویی در زمان، ابعاد میدان حل بر اساس منبع ۸ انتخاب گردیده است.

۴- شبکه‌بندی

مهم‌ترین عامل در شبیه‌سازی‌های عددی نحوه شبکه‌بندی می‌باشد. تعداد شبکه، نوع شبکه‌بندی و دقت آن تأثیر به‌سزایی در همگرایی و همچنین صحت نتایج دارد. در

¹ B Spiline

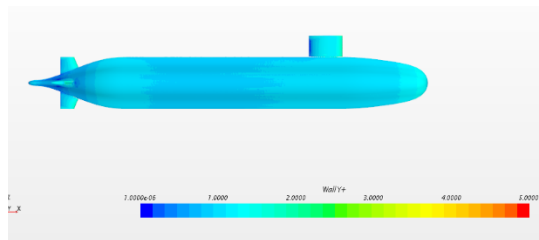


ب

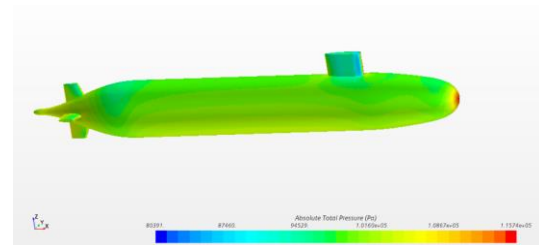
شکل ۴: نمودار استقلال از شبکه الف) بدنه ساده، ب) بدنه مارپیچ

۵- صحت‌سنجی

برای بررسی صحت‌سنجی روش حل عددی، به شبیه‌سازی زیرسطحی سابوف پرداخته شد و نتایج آن با داده‌های آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفت. در جدول ۱ میزان خطا در سرعت‌های مختلف برای شبیه‌سازی عددی و تجربی گزارش شده است. همچنین در شکل ۵ کانتور فشار و وای پلاس^۲ روی بدنه زیرسطحی سابوف نمایش داده شده است.



الف



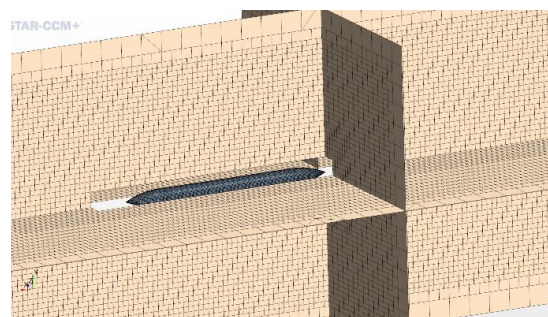
ب

شکل ۵: نمایش کانتور وای پلاس و فشار برای زیرسطحی سابوف

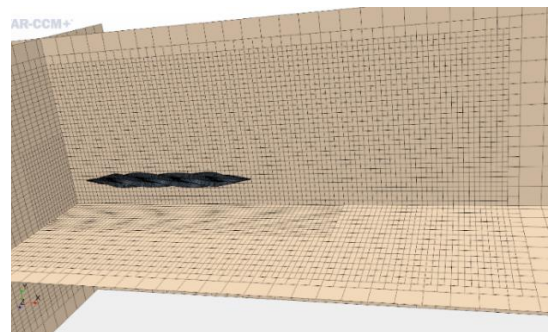
جدول ۱: مقایسه نتایج عددی و تجربی برای زیرسطحی سابوف

سرعت (نات)	نیروی مقاومت تجربی	نیروی مقاومت عددی	خطا %
۱۰	۲۸۳,۸	۲۷۷,۷۵	۲,۱۳
۱۶	۶۷۵,۶	۶۶۶,۲	۱,۹۳
۱۷,۷۹	۸۲۱,۱	۸۱۷,۲	۰,۴۹

پژوهش حاضر برای ایجاد شبکه‌بندی از شبکه‌بندی سازمان‌یافته شامل المان‌های مکعبی استفاده شده است. در شکل ۳ نمایی از نحوه شبکه‌بندی برای هر دودبند نشان داده شده است. پس از ایجاد شبکه‌بندی، برای آنکه بتوانیم از تأثیر نحوه شبکه‌بندی بر روی نتایج اطمینان خاطر حاصل کنیم نیروی مقاومت را در شبکه‌بندی‌های مختلف مورد ارزیابی قرار دادیم. در شکل ۴ نمودار نیروی مقاومت بر حسب تعداد شبکه برای بدنه ساده و مارپیچ رسم شده است.

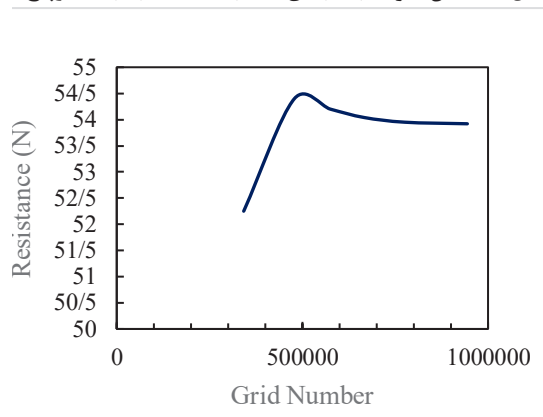


الف



ب

شکل ۳: نمایش نحوه شبکه‌بندی الف) بدنه ساده، ب) بدنه مارپیچ

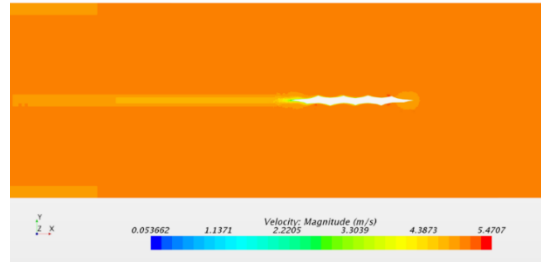


الف

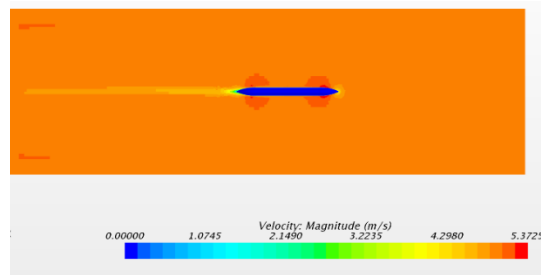
² Wall Y+

۶- شبیه‌سازی بدنه ساده و مارپیچ

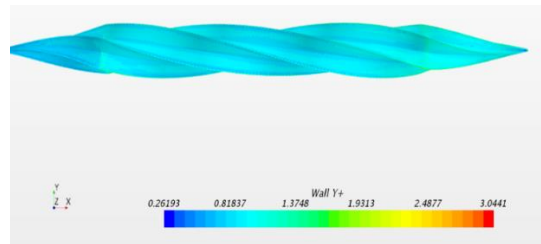
پس از اطمینان از صحت روش حل عددی و همچنین اطمینان از عدم تأثیر شبکه‌بندی بر روی نتایج، شبیه‌سازی برای سرعت‌های مختلف انجام گردید. در شکل ۶ نتایج برای سرعت ۱۰ نات و در شکل ۷ نمودار نیروی مقاومت بر حسب سرعت ارائه گردیده است.



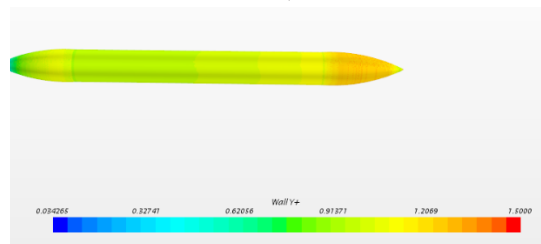
الف



ب

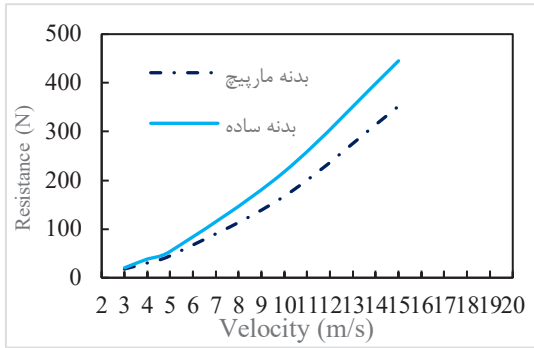


پ



ت

شکل ۶: نمایش نتایج بدنه ساده و مارپیچ در سرعت ۱۰ نات، الف و ب) کانتور سرعت، پ و ت) کانتور وای پلاس



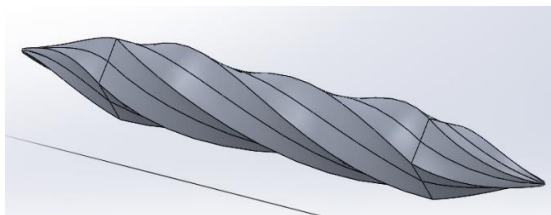
شکل ۷: نمودار نیروی مقاومت بر حسب سرعت

۷- بررسی پارامتری

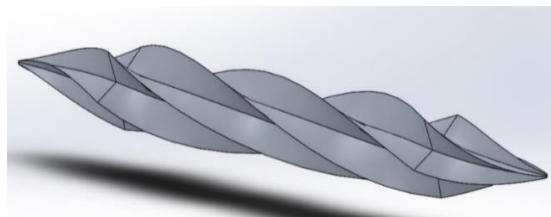
در طراحی بدنه مارپیچ سه پارامتر عمق مارپیچ، زاویه مارپیچ و طول مارپیچ مؤثر است. برای بررسی تأثیر هر کدام از پارامترها و سهم آن در نیروی مقاومت از حل عددی استفاده می‌نماییم. بدین منظور در هر مرحله با ثابت در نظر گرفتن دو پارامتر، پارامتر سوم را تغییر داده و تأثیر آن بر روی نیروی مقاومت ثبت می‌گردد.

۷-۱- عمق مارپیچ

اولین پارامتر مؤثر در بدنه مارپیچ میزان عمق مارپیچ می‌باشد. برای بررسی تأثیر عمق مارپیچ پارامترهای زاویه مارپیچ و طول مارپیچ را به صورت ثابت فرض کرده و مقدار عمق مارپیچ را در هر مرحله از شبیه‌سازی افزایش می‌دهیم. در تمامی شبیه‌سازی‌های سرعت جریان را ثابت و برابر ۱۰ نات در نظر می‌گیریم. در شکل ۸ بدنه مارپیچ در عمق‌های ۱۰ و ۷۰ میلی‌متر نشان داده شده است. پس از انجام شبیه‌سازی و استخراج نتایج هر مرحله نمودار نیروی مقاومت بر حسب عمق مارپیچ (d) در شکل ۹ نمایش داده شده است.



الف

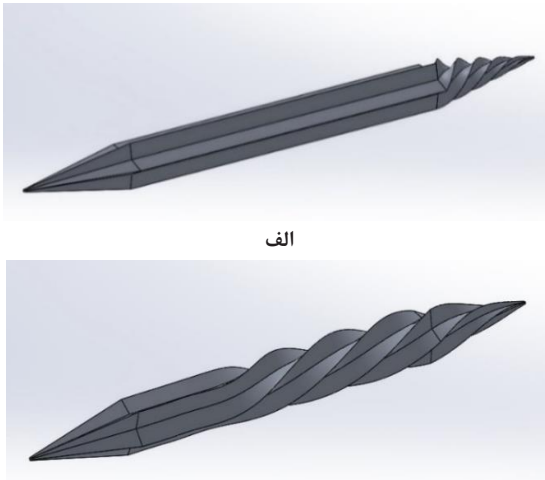


ب

شکل ۸: نمایش بدنه مارپیچ، الف) عمق مارپیچ ۱۰ میلی‌متر، ب) عمق مارپیچ ۷۰ میلی‌متر

۳-۷ طول مارپیچ

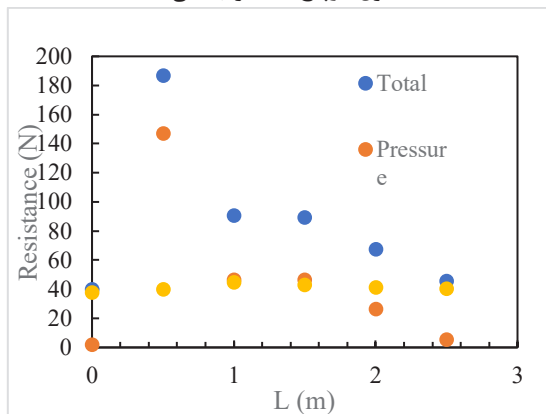
آخرین پارامتر مؤثر در بدنه مارپیچ میزان طول مارپیچ (L) است. در این مرحله نیز همانند قبل دو پارامتر زاویه مارپیچ و عمق مارپیچ را ثابت در نظر گرفته و میزان طول مارپیچ را در هر مرحله تغییر می‌دهیم. نتایج حاصل از شبیه‌سازی این مرحله در شکل ۱۳ گزارش شده است. همچنین در شکل ۱۲ بدنه مارپیچ در دو طول مارپیچ مختلف نمایش داده شده است.



الف

ب

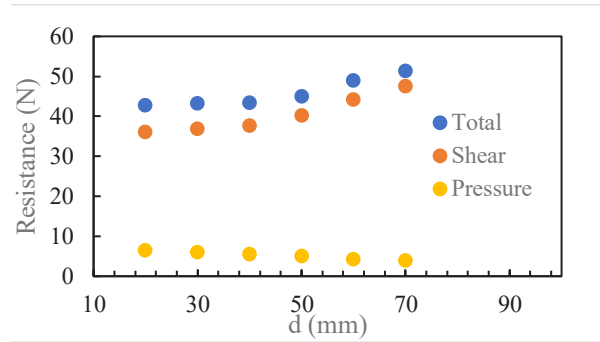
شکل ۱۲: نمایش بدنه مارپیچ، الف) طول مارپیچ ۰٫۵ متر ابتدایی، ب) طول مارپیچ ۱٫۵ متر ابتدایی



شکل ۱۳: نمودار نیروی مقاومت بر حسب طول مارپیچ

۸- ارائه بدنه بهینه

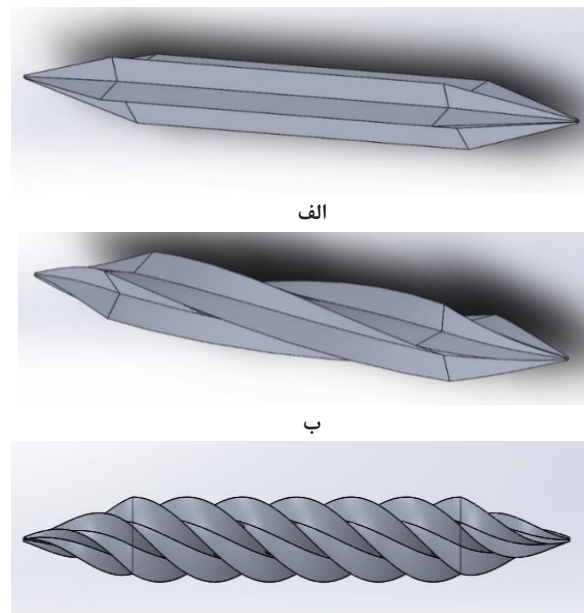
در این مرحله حالت بهینه هر کدام از پارامترهای مؤثر در بدنه مارپیچ را انتخاب نموده و به طراحی بدنه‌ای بهینه‌شده پرداخته می‌شود. پس از ادغام پارامترها و طراحی بدنه جدید شبیه‌سازی آن در نرم‌افزار برای سرعت‌های مختلف جریان انجام گردید. بدنه بهینه طراحی شده در نرم‌افزار در شکل ۱۴ و نمودار نیروی مقاومت بر حسب سرعت برای بدنه بهینه در شکل ۱۵ نمایش داده شده است.



شکل ۹: نمایش نیروی مقاومت بر حسب عمق مارپیچ

۲-۷ زاویه مارپیچ

در این حالت مقدار عمق و طول مارپیچ را ثابت فرض کرده و در هر مرحله از شبیه‌سازی مقدار زاویه مارپیچ (α) را تغییر می‌دهیم. برای بررسی تأثیر زاویه مارپیچ بر روی نیروی مقاومت نمودار تغییرات آن بر حسب عمق مارپیچ در شکل ۱۱ نمایش داده شده است. همچنین در شکل ۱۰ بدنه مارپیچ در سه زاویه پیش‌گام مختلف نمایش داده شده است.



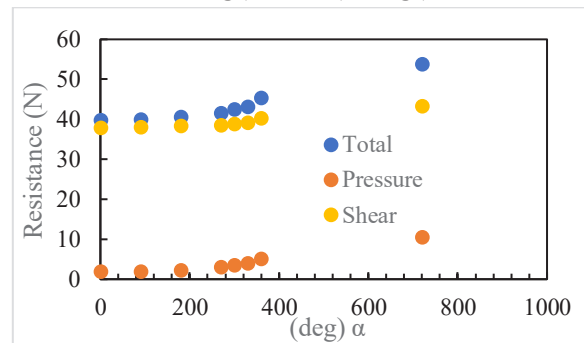
الف

ب

پ

شکل ۱۰: نمایش بدنه مارپیچ، الف) زاویه مارپیچ صفر، ب) زاویه

مارپیچ ۱۸۰، پ) زاویه مارپیچ ۷۲۰



شکل ۱۱: نمودار نیروی مقاومت بر حسب زاویه مارپیچ

۱۰- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به بررسی عددی تأثیر مارپیچ کردن بدنه‌های زیرین در شناور سواث و کاهش آن بر روی نیروی مقاومت پرداخته شد. نتایج حاصل از تست تجربی حاکی از کاهش ۲۵ درصدی نیروی مقاومت در شناور با بدنه مارپیچ نسبت به شناور با بدنه ساده بود. در بخش عددی به بررسی پارامترهای مؤثر در بدنه مارپیچ پرداخته شد. نتایج شبیه‌سازی عددی حاکی از آن بود که در بین پارامترهای مؤثر طول مارپیچ بیش‌ترین تأثیر را بر روی نیروی مقاومت دارد همچنین نتایج حاکی از کاهش ۱۶ درصدی نیروی مقاومت در بدنه مارپیچ بهینه نسبت به بدنه مارپیچ ابتدایی داشت.

مراجع

[1] Brizzolara, S., et al. "Comparative performance of optimum high speed swath and semi-swath in calm water and in waves." *Trans-Soc Naval Architects Mar Eng* 123 (2015): 273-286.

[۲] سعید کیاست، مهدی و خدمتی، محمدرضا و اکبری وکیل‌آبادی، کریم و قصاب‌زاده، مرتضی، ۱۳۸۸، بررسی پارامتری دینامیک شناور SWATH به کمک تست مدل و تعیین نسبت‌های بی‌بعد بهینه، هفدهمین کنفرانس سالانه مهندسی مکانیک، تهران.

[3] Liang, Lihua, et al. "Stabilizer fin effect on SWATH ship motions and disturbance observer based control design." 2013 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation. IEEE, 2013.

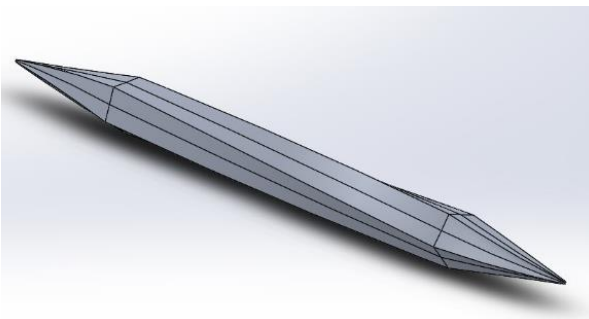
[4] Y. Lin, Q. Yang, G. Guan, Automatic design optimization of SWATH applying CFD and RSM model, *Ocean Eng.* 172 (2019) 146–154.

[5] E. Begovic, C. Bertorello, A. Bove, F. De Luca, Experimental study on hydrodynamic performance of SWATH vessels in calm water and in head waves, *Appl. Ocean Res.* 85 (2019) 88–106.

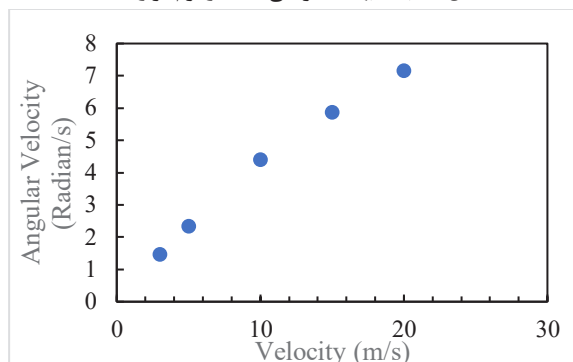
[6] F. Pérez-Arribas, J. Calderon-Sanchez, A parametric methodology for the preliminary design of SWATH hulls, *Ocean Eng.* 197 (2020).

[7] Q. Yang, Y. Lin, G. Guan, Improved sequential sampling for meta-modeling promotes design optimization of SWATH, *Ocean Eng.* 198 (2020) 106958.

[8] Pan, Yu-cun, Huai-xin Zhang, and Qi-dou Zhou. "Numerical prediction of submarine hydrodynamic coefficients using CFD simulation." *Journal of Hydrodynamics* 24.6 (2012): 840-847



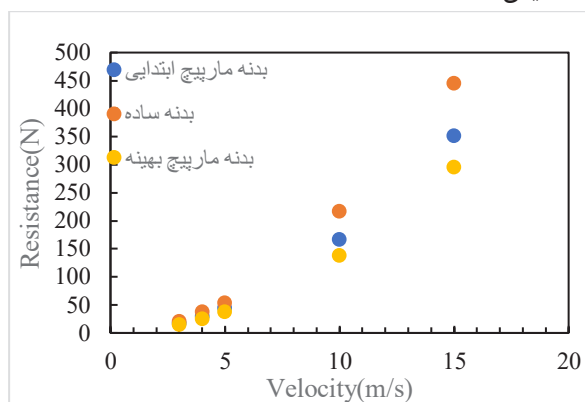
شکل ۱۴: بدنه بهینه طراحی شده در نرم‌افزار



شکل ۱۵: نمودار نیروی مقاومت بر حسب سرعت

۹- تحلیل نتایج

برای اینکه بتوانیم نتایج بدنه مارپیچ بهینه‌شده را با بدنه مارپیچ ابتدایی و همچنین بدنه ساده مقایسه نماییم نمودار نیروی مقاومت بر حسب سرعت برای هر سه حالت در شکل ۱۶ نمایش داده شده است.



شکل ۱۶: نمودار نیروی مقاومت برای بدنه مارپیچ بهینه، مارپیچ ابتدایی و بدنه ساده

همان‌طور که در شکل ۱۶ مشخص است مقدار نیروی مقاومت در بدنه مارپیچ بهینه در تمامی سرعت‌ها کمتر از بدنه مارپیچ ابتدایی و بدنه ساده می‌باشد. مقدار کاهش نیروی مقاومت در بدنه مارپیچ بهینه نسبت به بدنه مارپیچ ابتدایی و بدنه ساده به‌طور میانگین ۱۶ و ۳۴٫۶ درصد می‌باشد که با توجه به الگوی نمودارها این مقدار با افزایش سرعت افزایش پیدا می‌کند.