

تأثیر فرم بدنه بر عملکرد هیدرودینامیکی شناورهای بومی لنج

محمدرضا بابایی^۱، محمدرضا نگهداری^{۲*}، عطاءاله قره چائی^۲، ابوذر ابراهیمی^۲^۱ فارغ التحصیل کارشناسی ارشد/مهندسی دریا، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار
^۲ عضو هیئت علمی دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار (m.r.negahdari@gmail.com)

اطلاعات مقاله

چکیده

ناریخچه مقاله:

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۹/۰۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۲/۰۷

تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۳/۰۲/۰۹

کلمات کلیدی:

شناور لنج

فرم بدنه

STAR CCM+

کاهش مصرف سوخت

چندین هزار فروند شناور سنتی ایرانی از نوع لنج در خلیج فارس و دریای عمان تردد می کنند و نقش مهمی در معیشت مستقیم صدها هزار نفر در این پهنه ساحلی دارند. ساخت شناورهای سنتی بیشتر بر اساس تجربه بوده و بر خلاف شناورهای تجاری مدرن، در طراحی آنها از محاسبات پیشرفته مهندسی، مدل سازی های پیچیده کامپیوتری و تست های آزمایشگاهی استفاده نمی شود؛ بنابراین بهینه سازی و کاهش سوخت مصرفی آنها حائز اهمیت بوده و اگر بتوان به گونه ای بازدهی این نوع شناورها را افزایش داد، قدمی بزرگ در راستای افزایش کارایی آنها است.

در این تحقیق با در نظر گرفتن فرم بدنه شناور نمونه و ارائه چند فرم بدنه اصلاح شده، با مدل سازی عددی در نرم افزار STAR CCM+، فرم بدنه بهینه با کمترین مقاومت هیدرودینامیکی مشخص شد. نتایج نشان می دهد مقاومت بدنه شناور با اصلاح فرم پاشنه حدود ۱۰ درصد کاهش یافته، که این مقدار با اصلاح فرم سینه به حدود ۲۰ درصد می رسد. بدین ترتیب با اصلاح فرم پاشنه مصرف سوخت ۱۳ درصد کاهش می یابد، و با اعمال اصلاح فرم سینه این مقدار به حدود ۳۰ درصد می رسد.

The effects of hullform on the hydrodynamic performance of dhows

Mohammadreza Babaei¹, Mohammadreza Negahdari^{2*}, Ataollah Gharechae², Abuzar Ebrahimi²¹Master of science in marine engineering; Chabahar Maritime University²Faculty member of Chabahar Maritime University (m.r.negahdari@gmail.com)

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 24 Nov 2023

Accepted: 26 Apr 2024

Available online: 28 Apr 2024

Keywords:

dhow

Hull Form

STAR CCM+

Fuel Consumption Reduction

ABSTRACT

Several thousand traditional Iranian dhows navigate the Persian Gulf and Oman Sea and play an important role in the livelihood of hundreds of thousands of people in this coastal area. The construction of these traditional vessels is more based on experience and unlike modern commercial vessels, advanced engineering calculations, complex computer modeling, and laboratory tests are not used in their design; Therefore, optimizing and reducing their fuel consumption is important, and if it is possible to increase the efficiency of these types of vessels, it is a big step towards increasing their efficiency.

In this research, the optimal body form with the least hydrodynamic resistance was determined by considering the sample dhow body form and presenting several modified body forms, with numerical modeling in STAR CCM+ software.

The results show that the resistance of the vessel is reduced by 10% by modifying the aft body, and this value reaches 20% by modifying the shape of the bow. Thus, by modifying the vessel aft, fuel consumption is reduced by 13%, and by applying the modification of the vessel bow, this value reaches about 30%.

۱- مقدمه

صنایع دریایی در تمام دنیا و همچنین در ایران یکی از صنایع حیاتی و با اشتغالزایی بالا است. در جنوب و شمال کشور ایران، اشتغال بسیاری از مردم وابسته به دریا و صنایع جانبی آن است. انواع مختلفی از شناورها به لحاظ اندازه و کاربری در این مناطق فعالیت می‌کنند که نقش ویژه‌ای در اقتصاد دریای کشور ایفا می‌کنند. اندازه این شناورها از شناورهای صیادی کوچک با تناژ کمتر از ۳ تن (طول حدود ۶ متر) تا نفتکش‌های ULCC با تناژ حداقل ۳۰۰ هزار تن (طول بیش از ۳۰۰ متر) متغیر است. یکی از پرکاربردترین شناورهای مورد استفاده در دریاهای جنوب ایران و به خصوص منطقه دریای مکران، لنج‌ها هستند. لنج‌ها جزو شناورهای بومی اندازه متوسط تقسیم‌بندی می‌شوند و می‌توانند به فعالیت صیادی یا تجاری (حمل و نقل بار بین بنادر داخلی و کشورهای همسایه) بپردازند. طبق آمارهای سازمان بنادر و دریانوردی، بیش از ۱۰ هزار فروند لنج در کل کشور فعالیت می‌کنند که اغلب آنها دارای تناژ بین ۲۰ تا ۴۰۰ تن هستند.

باتوجه به اینکه مصرف سوخت، بیش از نیمی از کل هزینه‌های عملیاتی یک کشتی را به خود اختصاص می‌دهد، مسئله کاهش مصرف سوخت همواره در کانون توجه بوده است و مالکان و کاربران کشتی‌ها در جهت کسب حداکثر بازده از سوخت مصرفی شناورهای خود تلاش می‌کنند. از سوی دیگر، باتوجه به تعداد بسیار زیاد شناورهای لنج در حوضه خلیج فارس و دریای عمان، مقوله مصرف سوخت و آلودگی ناشی از آن بسیار حائز اهمیت و قابل مطالعه است. در ادامه به برخی از پژوهش‌های اخیر در راستای کاهش مصرف سوخت کشتی‌های دریایی پرداختیم:

عمری‌اکوب و همکارانش در سال ۲۰۰۴ به بررسی کاهش مقاومت شناورهای پلنینگ با اضافه کردن یک باله پاشنه بر روی بدنه پرداختند [1].

توکلی و سیف در سال ۱۳۸۴ مهمترین فاکتور در مصرف سوخت را مقاومت شناور بیان نمودند. آنان در تحقیقات خود استفاده از پوشش‌های جدید، کاهش وزن، بهبود فرم بدنه، تزریق حباب هوا، استفاده از سیستم‌های پیش‌برنده جدید، بهبود عملکرد سیستم رانش، و دقت در نگهداری و بهره‌برداری شناور را از عوامل مهم در کاهش مصرف سوخت اعلام نمودند [2].

احمدزاده و موسوی در سال ۱۳۹۵ با روش دینامیک سیالات محاسباتی به بررسی اثر خزه‌های دریایی (فولینگ) بر روی مقاومت شناورها پرداختند. مدل‌سازی‌ها در درجه‌های مختلف نشان داد که وجود یک لایه بسیار نازک از لجن و گل لای بر بدنه شناور موجب افزایش ۴/۵۸ درصدی نیروی درگ می‌شود [3]. همچنین با

استفاده از پوشش‌های نوین ضد خزه نیروی درگ ناشی از فولینگ‌ها تا ۳۷ درصد کاهش می‌یابد.

سیف و همکاران در سال ۱۳۹۶ بر روی بهینه‌سازی تریم شناور در آب‌خور طراحی به منظور کاهش مصرف سوخت مطالعه نمودند [4]. در این راستا مقاومت بدنه یک شناور کانتینربر مدل، تحت عنوان KCS، در آب‌خور طراحی محاسبه شد. این تحلیل به صورت حل عددی در نرم‌افزار STAR CCM+، برای تریم‌های ۰/۱- تا ۰/۱+ انجام شد. سپس نتایج به بدنه شناور اصلی تعمیم داده شد و با مدل‌سازی سیستم رانش در تریم‌های مختلف، میزان مصرف سوخت شناور محاسبه شد. با توجه به نتایج مدل‌سازی و شبیه‌سازی بدنه شناور، بهینه‌سازی تریم شناور منجر به کاهش ۱/۰۲ درصدی مصرف سوخت شد.

رضا درستکار و همکاران در سال ۱۴۰۱ از یک لنج فایبرگلاس مدلی با طول ۹۵ سانتی‌متر ساخته و در حوضچه کشش آزمایشگاه ملی دریایی شهیدای خلیج فارس مورد آزمایش قرار دادند [5]. ابعاد شناور مورد مطالعه در شکل ۱ و خلاصه نتایج تست کشش در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: خلاصه نتایج آزمایش مدل شناور لنج [5]	
سرعت (m/s)	مقاومت (N)
۰.۵	۰.۲۶۳
۰.۸	۰.۸۰۵
۱.۱	۲.۴۷۷
۱.۵	۱۵.۶۲

۲- معادلات اساسی حاکم

خصوصیات جریان از قبیل سرعت‌ها، فشار و دیگر متغیرها را می‌توان از طریق معادلات حاکم بر جریان سیال به دست آورد. چالش مهم، چگونگی حل این معادلات است. برای هندسه‌ها و میدان‌های جریان و یا جریان‌های مغشوش حل تحلیلی این معادلات امکان‌پذیر نیست. بنابراین، حل عددی این معادلات بهترین گزینه پیش‌رو است. محققان در مسائل جریان‌های مغشوش سعی بر آن دارند تا با تکنیک‌های موجود، معادلات حاکم بر جریان، را به شکل مناسب و قابل حل تبدیل نموده، سپس با استفاده از امکانات موجود، معادلات حاصل را حل، و نتایج مورد نیاز را بدست آورند. هر چه طبیعت جریان در روش حل بهتر مدل شود، نتایج دقیق‌تر خواهد بود. [6,7,8]

معادله پیوستگی، معادلات مومنتوم (معادلات ناوراستوکس) و معادله انرژی، معادلات حاکم بر حرکت سیال هستند.

جدول ۲: اطلاعات شناور

طول	۲۱/۱ متر
عرض	۷/۱ متر
ارتفاع	۳/۳ متر
آبخور	۲/۲ متر
سرعت طراحی	۵/۱۴ m/s (10 Kn)

۴- فرم‌های ارائه شده

طراحی فرم بدنه برای شناورها از اهمیت بسزایی برخوردار است به گونه‌ای که فرایند طراحی تأثیر زیادی بر روی وزن شناور، مشخصات هیدرودینامیکی آن و در نهایت هزینه ساخت و میزان بار قابل حمل آن دارد.

طراحی خطوط بدنه برای انواع شناور یکی از چالش‌های اصلی برای طراحان کشتی است. بر اساس دانش هیدرودینامیک، نتایج آزمایش‌های حوضچه کشش و در برخی موارد حس شهودی، طراحان می‌توانند خطوط بدنه را بهبود بخشند. ولی، این فرآیند پرهزینه و اغلب زمان‌بر است. همچنین در انتها، به داده‌های اعتبارسنجی از آزمایش‌های دریایی نیاز دارد. با معرفی روش‌های CFD ارزیابی تعداد زیادی فرم بدنه با هزینه کمتر امکان پذیر شده است و نسل‌های جدید کشتی‌ها را می‌توان سریع‌تر و با دقت بیشتر توسعه داد.

در این پژوهش با توجه به مبانی علم هیدرودینامیک و نبود داده‌های تجربی تست مدل برای انواع فرم‌های پاشنه، با الهام گرفتن از فرم پاشنه چند نمونه شناور مانند یدک‌کش و گونه‌های دیگر شناورهای باری تعدادی فرم پاشنه پیشنهاد شده است.

با توجه به این که جریان مورد بررسی در این پژوهش جریان آشفته است، این معادلات را می‌توان به فرم زیر نوشت:

معادله پیوستگی:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

معادله مومنتوم:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_j) \\ = -\frac{\partial p}{\partial x_i} \\ + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u_i u_j} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

معادله انرژی:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho(h + 0.5u_i^2)) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j(h + 0.5u_i^2)) \\ = \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(u_i \tau_{ij} - \rho \overline{u_i u_j}) \end{aligned} \quad (3)$$

که در آن تانسور تنش τ_{ij} و رابطه آنتالپی h به فرم زیر بیان می‌شود:

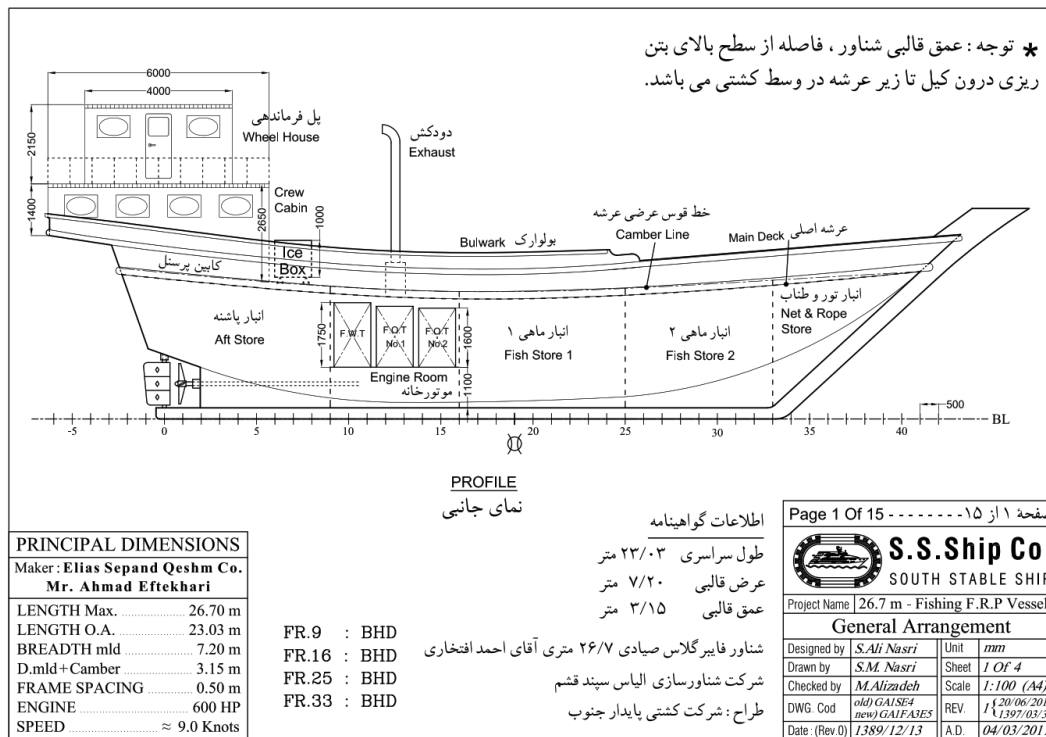
$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \mu \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \delta_{ij} \quad (4)$$

$$h = c_p T \quad (5)$$

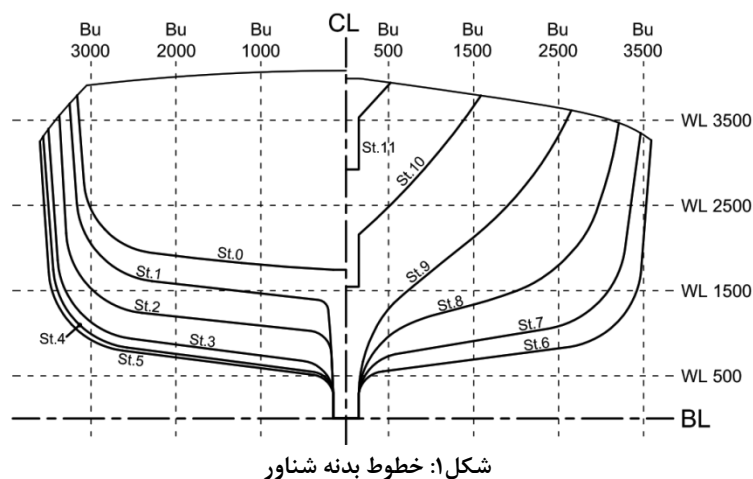
معادلات فوق به صورت کوپل معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی شامل ۵ معادله و ۶ مجهول T, u, w, p, v, ρ است. [9,10] معادلات RANS، معادلات متوسط زمانی برای حرکت جریان سیال هستند که برای توصیف جریان‌های آشفته استفاده می‌شوند. این معادلات تقریبی از حل‌های متوسط زمانی معادلات ناویرا-ستوکس را بر اساس خواص جریان آشفته، ارائه می‌دهند. تغییرات مومنتوم اجزای سیال با توجه به ناپایداری و جابه‌جایی در جریان متوسط را می‌توان در سمت چپ این معادله دید که به وسیله نیروهای جسمی، تنش‌های آیزونتروپیک مربوط به میدان فشار، تنش‌های لزجی و تنش‌های ظاهری مربوط به سرعت نوسانی (که به تنش رینولدز معروفاند) متوازن می‌شوند. [11,12] این عبارت تنش رینولدز غیرخطی، نیاز به مدل‌سازی اضافی به منظور نزدیکی به معادله RANS برای حل آن دارد و مدل‌های آشفتگی مختلفی را ایجاد می‌کنند.

۳- هندسه مساله

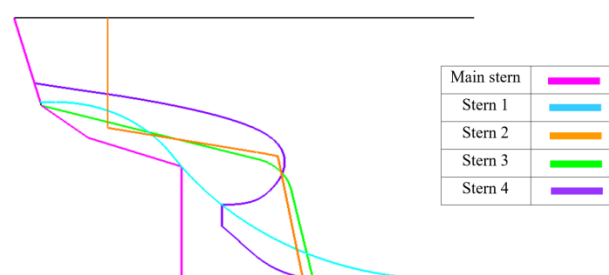
شناور مورد مطالعه یک لنج صیادی فایبرگلاس است که در یک کارگاه لنج‌سازی در جزیره قشم ساخته شده است. در جدول ۲ و نیز شکل ۱ و ۲ مشخصات شناور آورده شده است.



شکل ۱: نقشه جانمایی عمومی شناورمورد مطالعه



	حجم جابه جایی (V) m^3	مساحت سطح خیس (S) m^2	درصد تفاوت حجم جابه جایی با شناور اصلی
شناور اصلی	۱۳۱,۳۱۲	۱۶۱,۵۷۱	
استرن ۱	۱۲۹,۳۶۸	۱۵۹,۱۵۲	-۱.۵۵۶٪
استرن ۲	۱۳۱,۶۵	۱۶۴,۲۲۶	+۰.۲۵۷٪
استرن ۳	۱۲۶,۷۰۹	۱۵۷,۷۹۲	-۳.۵۲٪
استرن ۴	۱۲۱,۵۲۲	۱۴۸,۵۶	-۷.۴۳٪
موج شکن	۱۴۳,۱۶۸	۱۵۹,۱۵۳	+۹.۰۲٪



شکل ۲: پاشنه های پیشنهادی

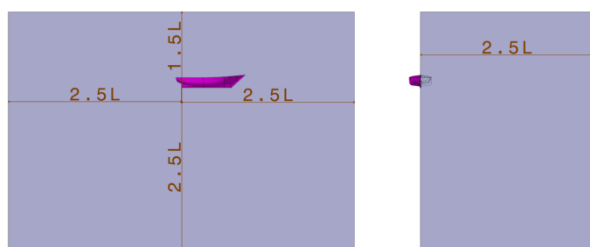
۵- شبیه سازی عددی

در میان شیوه های عددی قابل دسترس در CFD روش حجم کنترل به صرفه است. در این روش محدوده محاسباتی به حجم کنترل های کوچک تقسیم شده که اصطلاحاً به آنها سلول گویند و معادلات RANS به صورت مجزا برای هر یک از آنها حل می شود.

۵-۱- دامنه محاسباتی و شرایط مرزی

محدوده محاسباتی باید به گونه ای انتخاب شود تا از جریان برگشتی در مرز خروجی، واگرا شدن موج در مرز دیواره ها و اثرات آب کم عمق در مرز پایینی جلوگیری کند، همچنین باعث افزایش بیپهودة تعداد شبکه نگردد.

ابعاد دامنه محاسباتی (حو ضچه کشش) باتوجه به ابعاد شناور، بر اساس استانداردها و توصیه های ITTC در نظر گرفته شده است.

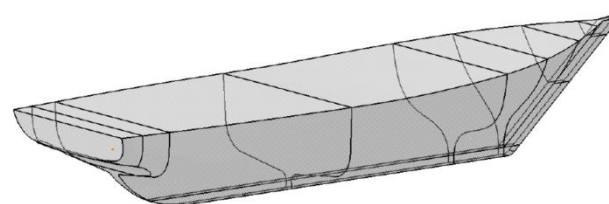


شکل ۳: ابعاد دامنه محاسباتی

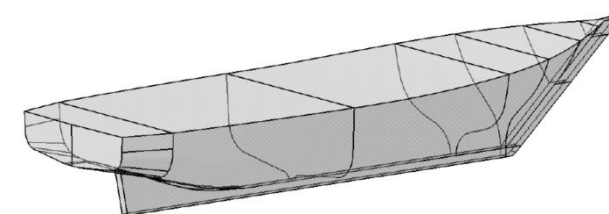
برای شبیه سازی نیاز است تا مرزهای دامنه محاسباتی مشخص و شرایط اولیه بر روی آنها اعمال گردد. شکل ۶ مرزهای دامنه محاسباتی را نشان می دهد. همچنین نوع این مرزها در جدول ۴ آورده شده است.



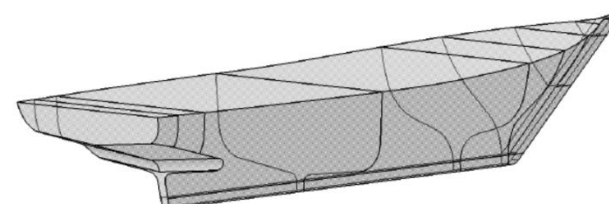
شکل ۶: مرزهای دامنه محاسباتی



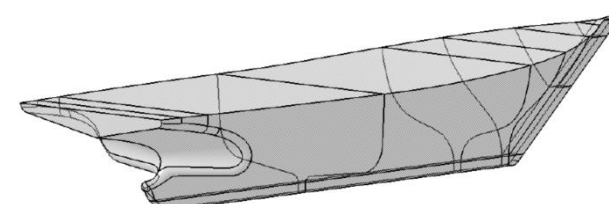
استرن ۱



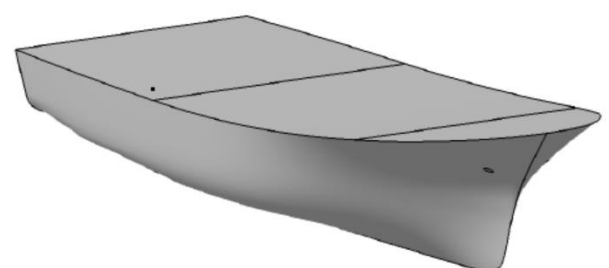
استرن ۲



استرن ۳



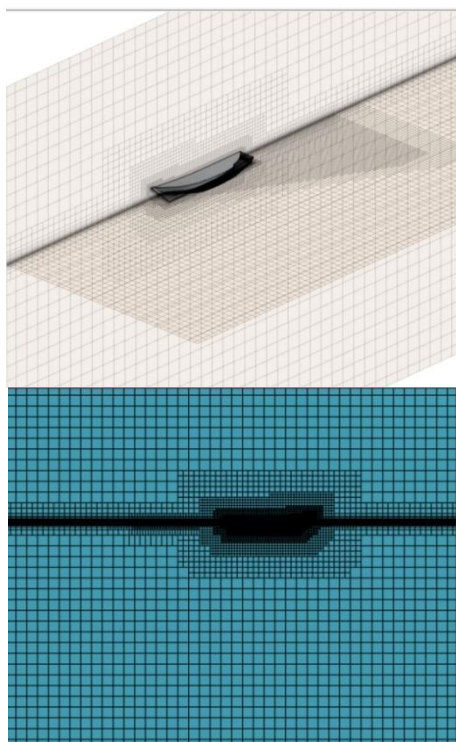
استرن ۴



سینه بافرم موج شکن

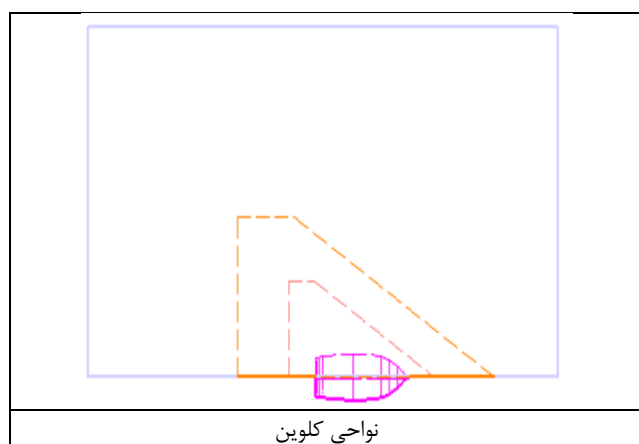
شکل ۴: شکل سه بعدی فرم های پیشنهادی

جدول ۳: حجم جابه جایی استرن های پیشنهادی



شکل ۷: شبکه بندی دامنه محاسباتی

باتوجه به دوفازی بودن مسئله و اهمیت امواج ایجاد شده در محدوده اطراف شناور و بهبود ناحیه سطح آزاد همچنین جهت بهبود وضوح ویژگی های جریان (مانند جریان جدایی و دنباله کلون^۱)، شبکه بندی در این نواحی باید به اندازه کافی ریز باشد، بدین منظور می توان از اصلاحات حجمی^۲ (مطابق با شکل ۸) بر روی شبکه استفاده نمود.



جدول ۴: شرایط اولیه حاکم بر مرزها

نام مرز	شرایط مرزی
بالا	سرعت ورودی
کف	سرعت ورودی
ورودی	سرعت ورودی
خروجی	فشار خروجی
پهلوی	سرعت ورودی
تقارن	صفحه تقارن

۵-۲- مدل سازی فیزیکی

در این شبیه سازی از جریان توربولانس ناپایدار^۱ و مدل آشفتگی متداول کی اِپسِلین در اطراف بدنه شناور، همچنین از مدل دوفازی اوایلر جهت شبیه سازی جریان دوفازی آب و هوا استفاده شده است. به منظور شبیه سازی سطح آزاد نیز از روش کسر حجمی سیال در حالت موج صاف استفاده شده است.

۵-۳- شبکه بندی

شبکه بندی به منظور تبدیل دامنه محاسباتی به زیر دامنه های کوچک تر برای حل معادلات مومنتوم، آشفتگی، انرژی و در انتها به دست آوردن نتایج برای تمامی سطوح مدل شبیه سازی شده استفاده می شود. شبکه بندی مهم ترین بخش یک شبیه سازی در حیطه دینامیک سیالات محاسباتی است که عدم آشنایی و تسلط کافی موجب خطا و شبیه سازی نادرست می شود. به طور کلی آنالیز مقاومت در نرم افزار استار سی سی ام با استفاده از شبکه بندی حجمی^۳ ترسیم بر روی سطح خیس بدنه صورت می گیرد. استفاده از این نوع شبکه بندی به معنی توزیع غیریکنواخت سطح در دامنه محاسباتی است.

^۱ Volume of Fluid

^۳ Free Surface

^۴ Kelvin Wake

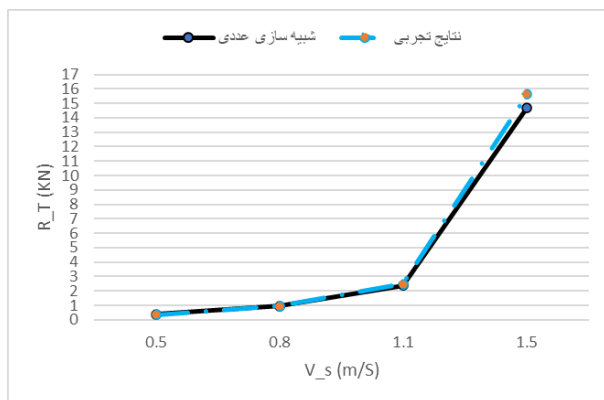
^۵ Volumetric Refinement

^۱ unsteady turbulent

مرحله	تعداد سلول	تعداد صفحه	تعداد نقاط	مقاومت (نیوتن)
۱	۱۰۵۳۰۷۸	۳۰۱۴۲۰۷۲۲	۱۰۱۰۹۰۵۴۴	۲۵۰۴۴۹۰۶۷
۲	۱۰۲۳۷۰۱۱۷	۳۰۴۹۶۰۴۴۰	۱۰۲۹۵۰۶۶۰	۲۴۰۸۵۵۰۷۸
☒	۱۰۹۲۷۲۶۷	۵۰۷۳۸۰۳۱۱	۱۰۹۸۷۰۴۶۰	۲۴۰۷۸۴۰۳۷
۴	۳۰۲۱۲۰۸۴۱	۹۰۵۷۱۰۳۲۰	۳۰۲۹۵۰۹۶۶	۲۴۰۷۰۶۰۱۵
۵	۴۰۴۹۸۰۴۱۴	۱۳۰۴۰۴۰۳۲۸	۴۰۶۰۴۰۴۷۱	۲۴۰۶۲۷۰۹۳

۶- اعتبار سنجی

برای اطمینان از صحت شبیه سازی نتایج حاصل از آن با داده های آزمایشگاهی موجود (مرجع [5]) مقایسه و در شکل ۴ نشان داده شده اند. همانطور که نتایج نشان می دهد، بیشترین اختلاف بین نتایج حل عددی و تست تجربی مدل حدود ۶٪ است که دقت قابل قبول نتایج شبیه سازی را نشان می دهد.



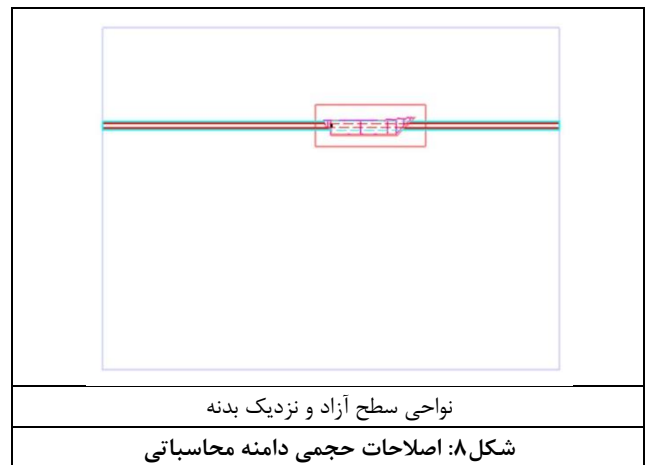
شکل ۴: مقایسه نتایج تحلیل عددی و تجربی شناور مدل

۷- نتایج شبیه سازی

باتوجه به اهمیت سرعت طراحی، و همچنین کاهش حجم محاسبات، به شبیه سازی مقاومت هیدرودینامیکی فرم های پیشنهادی در سرعت طراحی (5.14 m/s) می پردازیم. نتایج مویده آن است که تغییر فرم بدنه بر روی مقاومت فشاری بیشتر از مقاومت اصطکاکی تأثیر می گذارد.

همانطور که نتایج ارائه شده در شکل ۹ نشان می دهد، مقاومت اصطکاکی پاشنه ۲ به دلیل افزایش سطح خیس حدود ۰.۶۵٪ افزایش داشته، اما مقاومت فشاری آن حدود ۱۳.۳۵٪ کاهش داشته که در مجموع موجب کاهش مقاومت کل شناور در حدود ۱۰.۳٪ نسبت به شناور اصلی شده است.

همچنین مشاهده می شود که افزودن فرم موج شکن، باعث تغییرات جزئی در مقاومت اصطکاکی شناور شده، اما مقاومت فشاری شناور را دچار تغییرات زیادی می کند که در مجموع باعث کاهش ۲۱.۵٪



شکل ۸: اصلاحات حجمی دامنه محاسباتی
نواحی سطح آزاد و نزدیک بدنه

۱-۳-۵ تنظیمات حل، استقلال از گام زمانی

در این بخش با هدف بررسی کاهش گام زمانی بر روی نتایج حاصل از شبیه سازی، شبیه سازی را با دو گام زمانی متفاوت انجام و نتایج حاصل را با یکدیگر مقایسه می نماییم. با مشاهده نتایج موجود در جدول ۵ ملاحظه می شود که بعد از آزمون و خطای دوم تغییر چشمگیری در نتیجه شبیه سازی مشاهده نمی شود، بنابراین گام زمانی مرحله ۱ برای شبیه سازی مدل مناسب است.

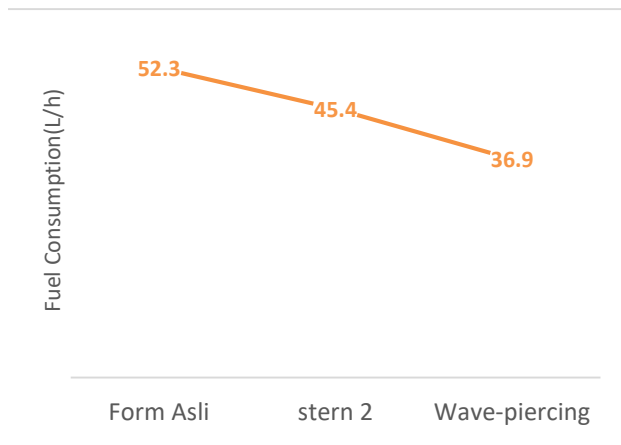
جدول ۵: اطلاعات مربوط به استقلال شبکه

مقاومت (N)	گام زمانی (s)	مرحله
۲۰۳۸۶۶۰۰۰	۰.۰۱	☒
۲۰۳۸۴۶۳۲۸	۰.۰۰۵	۲

۲-۳-۵- استقلال شبکه

جهت صحت سنجی شبیه سازی شناور مدل، با تغییر ابعاد و اندازه شبکه ها در بخش اندازه مبنای فرم افزاری توان به حجم شبکه بهینه دست یافت. این تغییرات، تا زمانی که با افزایش اندازه شبکه در مجهولات شبیه سازی تغییر چندانی ایجاد نشود، ادامه پیدا می کند و سایر شبیه سازی ها با همین میزان شبکه صورت می گیرد. همانطور که در جدول ۶ مشاهده می شود، بعد از آزمون خطای سوم تغییر چشمگیری در نتایج مشاهده نمی شود. بنابراین به عنوان شبکه بندی بهینه از آن استفاده شده و سایر شبیه سازی ها براساس این تنظیمات انجام می شود.

جدول ۶: شرایط اولیه حاکم بر مرزها



شکل ۵: مصرف سوخت فرم‌های بهینه

۹- نتیجه گیری

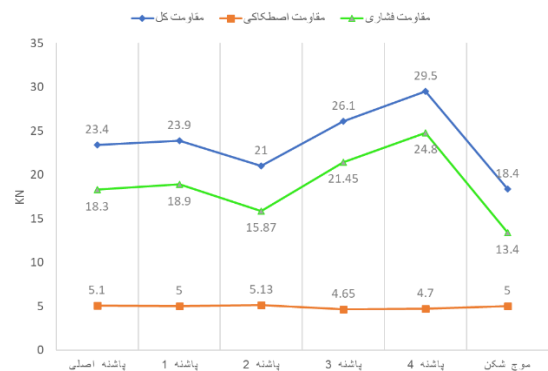
فرم بدنه شناور یکی از مهمترین پارامترهایی است که می‌تواند بر روی مقاومت هیدرودینامیکی آن تاثیر بگذارد. با توجه به اینکه سهم مقاومت فشاری بسیار بیشتر از مقاومت اصطکاکی است لذا اصلاح فرم بدنه در جهت کاهش مقاومت فشاری بسیار ضروری است.

در این پژوهش با در نظر گرفتن فرم بدنه یک لنج صیادی فایبرگلاس به عنوان شناور نمونه و ارائه چند فرم بدنه اصلاح شده، با مدل سازی عددی در نرم افزار STAR CCM+، فرم بدنه بهینه با کمترین مقاومت هیدرودینامیکی مشخص شد. نتایج نشان می‌دهد مقاومت بدنه شناور با اصلاح فرم پاشنه حدود ۱۰ درصد کاهش یافته، که این مقدار با اصلاح فرم سینه به حدود ۲۰ درصد می‌رسد. بدین ترتیب با اصلاح فرم پاشنه مصرف سوخت شناور حدود ۱۳ درصد کاهش می‌یابد که برای شناور فوق معادل حدود ۷ لیتر در ساعت است و با در نظر گرفتن ۱۸ ساعت کاری در شبانه روز، حدود ۱۲۶ لیتر مصرف سوخت روزانه شناور کاهش می‌یابد و در طول یک ماه برابر با ۳۷۸۰ لیتر است. که با توجه به قیمت جهانی سوخت، این مقدار کاهش مصرف سوخت دارای ارزش اقتصادی بالایی است.

۱۰- مراجع

- 1-Yaakob, O., Shamsuddin, S., & King, K. K. (2004). Stern Flap for Resistance Reduction of Planning Hull Craft, Journal Technology, Vol. 41(A) Dis, pp. 43-52.
- 2-Tavakli, M., Saif, M. (1384). Methods of reducing fuel consumption in vessels. The 7th National Conference of Marine Industries of Iran.(In Persian) [/https://civilica.com/doc/7177](https://civilica.com/doc/7177)
- 3- Ahmadzadeh Talatepe, M., Mousavi, M. (2015). Numerical simulation of sea moss attached to the hull of vessels and application of practical and modern methods in order to reduce the drag force caused by them. Marine Engineering, 12(23): 81-92 (In Persian)

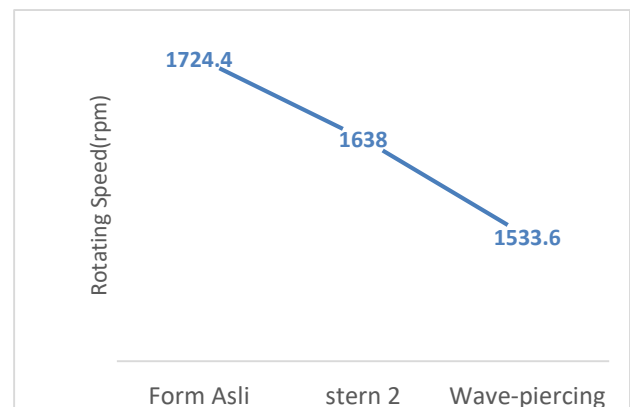
مقاومت کل نسبت به مقاومت کل شناور اصلی می‌شود (شکل ۱۰).
ملاحظه شود).



شکل ۱۰: مقاومت فرم‌های مختلف

۸- مصرف سوخت

کاهش مقاومت در فرم‌های پیشنهادی، سبب کاهش دور موتور و در نتیجه کاهش مصرف سوخت می‌گردد؛ و با توجه به منحنی مصرف سوخت موتور شناور می‌توان مصرف سوخت شناور را به دست آورد. شکل ۱۱ سرعت دور موتور برای رسیدن به توان مورد نیاز در هر کدام از فرم‌های بدنه پیشنهادی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱: سرعت دورانی فرم‌های بهینه

نتایج شکل ۱۱ نشان می‌دهد که فرم بدنه در مصرف سوخت شناور بسیار تاثیر گذار است، به گونه‌ای که با اصلاح فرم پاشنه حدود ۱۳ درصد و با اصلاح فرم سینه حدود ۳۰ درصد مصرف سوخت نسبت به شناور اصلی کاهش یافته است.

- 4- Saif Mohammad, S., Kazemipour Esfarjani, A., Zulfiqaransab, F. (2016). Reducing floating fuel consumption by optimizing trim. The 1st National Marine Industry Conference. (In Persian)
- 5-- Dorastkar, Reza, Ebrahimi, Abuzar. Experimental investigation of added resistance and barge floating movements in regular waves (1401). Chabahar University of Maritime and Marine Sciences, Master's Thesis. (In Persian)
- 6-Rhee, S. H., Kawamura, T., & Li, H, (2005). Propeller cavitation study using an unstructured grid based navier-stoker solver, <https://doi.org/10.1115/1.1989370>.
- 7- Taheri, R., & Mazaheri, K. (2012). Blade Shape Optimization of Marine Propeller via *Genetic Algorithm for Efficiency Improvement*. Paper presented at the Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air, <https://doi.org/10.1115/GT2012-68183>.
- 8-Vessaz, C., Tournier, C., Münch, C., & Avellan, F. (2013). Design optimization of a 2D blade by means of milling tool path. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 6(3), 157-166, <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2013.05.002>.
- 9-Wang, J., Zhao, W., & Wan, D. (2019). Simulations of Self-Propelled Fully Appended Ship Model at Different Speeds. *International Journal of Computational Methods*, 16(05), 1840015 .
- 10-Watanabe, T., Kawamura, T., Takekoshi, Y., Maeda, M., & Rhee, S. H. (2003). Simulation of steady and unsteady cavitation on a marine propeller using a RANS CFD code. Paper presented at the Proceedings of The Fifth International Symposium on Cavitation (Cav).
- 11-Zhang, F., Chen, S., & Khalid, M. (2002). Optimizations of airfoil and wing using genetic algorithm. Paper presented at the 23rd Congress of International Council of the Aeronautical Sciences, Toronto, Canada.
- 12-Razaghian, A., Ebrahimi, A., Zahedi, F., Javanmardi, M., & Seif, M. (2021) Investigating the effect of geometric parameters on hydrodynamic and hydro-acoustic performances of submerged propellers. *Applied Ocean Research*, 114, 102773, <https://doi.org/10.1016/j.apor.2021.102773>.