J. of Marine Eng. Vol. 21, Iss. 45, 2025. (79-92)

Journal of Marine Engineering

Journal homepage: marine-eng.ir

Calculating the hydrodynamic Coefficients of the Hull and Propeller of Dhow Vessel Using Numerical Self-Propulsion Test

Abouzar Ebrahimi [1*], Hassan Sirousi [2], Mohammad Reza Negahdari [1], Mohammad Reza Zarei [1]

[1] *Assistant Professor, Chabahar Maritime University, ab_ebrahimi@cmu.ac.ir*
2 Sharif University of Technology, Tehran

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 28 Feb 2025
Last modification: 10 Apr 2025
Accepted: 23 Apr 2025
Available online: 23 Apr 2025

Article type:
Research paper

Keywords:
Dhow vessel
Hydrodynamic Coefficients
Self-Propulsion
Numerical Method
CFD

ABSTRACT

Dhow vessels are traditional vessels used for fishing or cargo transportation on short and medium routes, and according to statistics, more than 4,000 of these vessels operate in Iranian ports. These vessels use diesel engines and fixed-pitch propellers for propulsion. The design and selection of the propulsion system of these vessels is done entirely empirically, and in most cases, even the resistance and hull form of these vessels are not considered in the design of the propulsion system and propeller, which causes the propulsion system to not operating with optimum efficiency. In this paper, initially, numerical modeling of the resistance of a dhow vessel was performed using the computational fluid dynamics method. Then, by performing a self-propulsion test using the numerical method, the hydrodynamic coefficients of the hull and propeller of the vessel were calculated. The results of this research show that the thrust deduction factor for this vessel is 0.291 and the wake coefficient of a hull is 0.18. Further research on the hydrodynamics of this vessel can help in selecting a propeller and propulsion system with better efficiency and lower fuel consumption.

ISSN: 2645-8136

DOI: http://dx.doi.org/10.61186/marineeng.21.45.79

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license [https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/]

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-10-31]

[DOI: 10.61186/marineeng.21.45.79]

نشریه مهندسی دریا، جلد ۲۱، شماره ۴۵، ۱۴۰۴، (۹۲-۷۹)

نشریه مهندسی دریا

صفحه اصلی نشریه: marine-eng.ir

محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی بدنه و پروانه لنج با تست خود رانش عددی

ابوذر ابراهیمی [۱*]، حسن سیروسی [۲]، محمدرضا نگهداری [۱]، محمدرضا زارعی [۱]

[۱*] استادیار دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، ab_ebrahimi@cmu.ac.ir

[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی شریف، تهران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۲/۱۰

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۴۰۴/۰۱/۲۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۲/۰۳

تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۴/۰۲/۰۳

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

کلمات کلیدی:

شناور لنج

ضرایب هیدرودینامیکی

تست خودرانش

حل عددی

سی اف دی

چکیده

لنج ها شناورهای سنتی هستند که جهت صید آبزیان یا حمل بار در مسیرهای کوتاه و متوسط استفاده می‌شود و طبق آمارها بیش از ۴ هزار فروند از این نوع شناور در بنادر ایران فعالیت می‌کنند. این شناورها جهت رانش از موتور دیزل و پروانه های گام ثابت استفاده می‌کنند. طراحی و انتخاب سیستم رانش این شناورها بصورت کاملاً تجربی انجام می‌شود و در اغلب موارد حتی مقاومت بدنه و نیز فرم بدنه آنها در انتخاب سیستم رانش و پروانه لحاظ نمی‌شود که باعث می‌شود سیستم رانش بازدهی مطلوبی نداشته باشد. در این مقاله، در ابتدا مدلسازی عددی مقاومت یک شناور لنج به روش دینامیک سیالات محاسباتی انجام شد. سپس با انجام تست خودرانش به روش عددی، ضرایب هیدرودینامیکی بدنه و پروانه شناور محاسبه گردید. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد ضریب کسر تراست برای شناور لنج ۰/۲۹۱ و ضریب ویک بدنه ۰/۱۸ است. تحقیقات بیشتر در مورد هیدرودینامیک این شناور می‌تواند به انتخاب یک پروانه و سیستم رانش با بازدهی بهتر و مصرف سوخت کمتر کمک کند.

DOI: http://dx.doi.org/10.61186/marineeng.21.45.79

ISSN: 2645-8136

حق نشر: © ۲۰۲۵ توسط نویسندگان. این اثر برای انتشار با دسترسی آزاد، تحت شرایط و ضوابط مجوز (CC BY) ارسال شده است.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-10-31]

[DOI: 10.61186/marineeng.21.45.79]

۱ - مقدمه

دریا از قدیم الایام محل ارتزاق بخش زیادی از مردم جهان بوده است و کشتی ها وسایلی بوده اند که جهت صید ماهی و سایر آبزیان یا حمل بار از آنها استفاده می‌شده است. امروزه علاوه بر شناورهای تجاری بزرگ، شناورهای کوچک نیز در بخش های زیادی از ایران و سایر کشورها کاربرد دارند و بطور معمول جهت ماهیگیری یا حمل بار در فواصل کوتاه مورد استفاده قرار می‌گیرند. شناورهای مخصوص حمل بار دارای ظرفیتی بیش از ۷۰ تن و شناورهای ماهیگیری گنجایشی به مراتب کمتر از این مقدار دارند.

شناورهای چوبی را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم کرد:

- شناورهای چوبی منطقه سیستان و بلوچستان که با نام هایی مانند هبل، گالیت، لنج و یکدار شناخته می‌شوند.
- شناورهای مناطق هرمزگان، بوشهر و خوزستان که از معروف ترین این شناور می‌توان به سمبوک، پاکستانی، زاروغه، آمله، پرپری و ماشو اشاره کرد.

معروف‌ترین نوع شناورهای چوبی، لنج‌ها هستند. در واقع لنج نوعی کشتی کوچک یا قایق بزرگ باری و گاهی مسافری است که در مسیرهای دریایی خلیج فارس، دریای عمان و اقیانوس هند به تعداد زیاد دیده می‌شوند.

نویسنده کتاب از مروايد تا نفت درباره وجه تسمیه شناور لنج آورده است:

"در گذشته به تمام کشتی‌های بادی که با شراع و بادبان حرکت می‌کردند جهاز می‌گفتند و امروزه به کشتی هایی که با موتور رفت و آمد می‌کنند، لنج می‌گویند. لنج از دیدگاه لغت شناسی به معنای راه رفتن با ناز و کبر است و شاید از آن‌جا که لنج با آهستگی می‌خرامد و به جلو می‌رود به این نام خوانده می‌شود."

هنوز هم در گویش محلی برخی از بنادر جنوبی ایران، به جای لنج لنج سازی یکی از قدیمی‌ترین صنایع بومی جنوب ایران است و قدمت آن به دوره افشاریان برمی‌گردد. دانش ساخت و دریانوردی با لنج سنتی خلیج فارس در سال ۲۰۱۱ میلادی به عنوان هشتمین میراث ناملموس ایران در اجلاس اندونزی سازمان یونسکو به ثبت رسید[۱].

معیار فعلی مالکان جهت انتخاب پروانه برای لنج‌ها، ابعاد اصلی، تناژ و سرعت شناور مد نظر است که معیارهای دقیقی نیستند. زیرا فرم بدنه شناور نیز بر روی مقاومت هیدرودینامیکی و کارکرد پروانه آن موثر است. اطلاعات هیدرودینامیکی لنج بخصوص مقاومت کل آن مهم‌ترین فاکتور در طراحی یک سیستم رانش مناسب برای لنج است.

در این پژوهش، در ابتدا یک لنج نمونه بصورت عددی مدلسازی و مقاومت آن محاسبه می‌شود. سپس مدلسازی خودرانش لنج در حضور پروانه بصورت عددی انجام می‌شود. تفاوت تست خودرانش و تست مقاومت آن است که با انجام تست خودرانش، تاثیرات هیدرودینامیکی متقابل بدنه و پروانه بر روی مقاومت شناور و کارکرد پروانه لحاظ می‌شود. پس از انجام تست خودرانش، می‌توان ضرایب هیدرودینامیکی از قبیل ضریب کسر تراست، ضریب ویک بدنه و بازده پروانه در پشت بدنه را محاسبه کرد.

۲-پیشینه تحقیق

مدلسازی خود رانش یک کشتی به دلیل پیچیدگی هندسی و اندرکنش هیدرودینامیکی پیچیده بین کشتی و پروانه یک موضوع چالش برانگیز است. روش دینامیک سیالات محاسباتی (سی اف دی) با توجه به قابلیت های منحصربفردی که دارد، به محققان کمک می‌کند شبیه‌سازی جریان اطراف بدنه کشتی و پروانه را به روشی اقتصادی‌تر در مقایسه با روش‌تجربی انجام دهند.

ویژگی های روش سی اف دی برای مدلسازی خودرانش شناورها به شرح زیر است:

دقت نتایج: سی اف دی امکان شبیه سازی جریان سیال در اطراف کشتی و پروانه را فراهم می‌کند و در صورت اعمال صحیح شرایط مرزی و شبکه بندی مناسب، پیش بینی قابل قبولی از عملکرد سیستم رانش ارائه می‌دهد. این موضوع در بررسی اندرکنش بین بدنه و پروانه بسیار مفید و در طراحی بهینه بسیار مهم است.

پیش‌بینی‌های مقیاس واقعی: برخلاف روش تست مدل رایج، سی اف دی می‌تواند نتایج خودرانش در مقیاس کشتی واقعی را نیز ارائه کند و عدم قطعیت‌ها و خطاهای مربوط به اثرات مقیاس را کاهش دهد[۲].

مقرون به صرفه: انجام شبیه‌سازی‌های سی اف دی عموماً مقرون‌به‌صرفه‌تر از ساخت مدل و آزمایش مدل‌های فیزیکی است. به خصوص زمانی که نیاز به تغییر پارامترهای هندسی بدنه یا پروانه وجود دارد، این کار در روش سی اف دی با کمترین هزینه انجام می‌شود.

صرفه جویی در زمان: شبیه‌سازی‌های سی اف دی را می‌توان نسبتاً سریع انجام داد، که امکان تکرار سریع و اصلاحات طراحی را فراهم می‌کند. این روند طراحی را تسریع می‌کند و به دستیابی سریعتر به راه حل های بهینه کمک می‌کند.

تکرارپذیری: شبیه‌سازی‌های عددی در یک محیط کنترل‌شده انجام می‌شوند و دارای تکرارپذیری بالا و ثبات نتایج بالایی می‌باشند.

انعطاف‌پذیری: سی اف دی امکان تغییرات آسان در تنظیمات شبیه‌سازی، مانند تغییر طراحی پروانه، شکل بدنه یا شرایط عملیاتی را فراهم می‌کند. این انعطاف پذیری به بررسی طیف گسترده ای از گزینه ها و سناریوهای طراحی کمک می‌کند.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-10-31]
[DOI: 10.61186/marineeng.21.45.79]

پژوهش های زیادی بر روی مقاومت شناورهای لنج انجام نشده است. ابراهیمی و همکاران[۳] مقاومت افزوده یک شناور لنج را بصورت تجربی اندازه گیری کردند. این تست ها در سرعت های مختلف و در امواج با ارتفاع های مختلف انجام شده است. همچنین، نگهداری و همکاران[۴] تاثیر فرم های مختلف پاشنه را بر روی مقاومت لنج به روش عددی بررسی کردند. بر روی تست خودرانش لنج ها تاکنون تحقیقاتی انجام نشده است. در این بخش، تحقیقاتی که بر روی خودرانش سایر شناورها انجام شده است، ذکر می‌شود.

محمودی و همکاران [۵] در تحقیقی مانور شتابگیری را برای یک کشتی دو پروانه با استفاده از روش دینامیک سیالات محاسباتی مدلسازی کردند. برای این هدف شبیه سازی های خودرانش و شتابگیری با تداخل بین بدنه و پروانه برای شناور شناخته شده ONRT مورد بررسی قرار گرفت. تمام شبیه‌سازی‌ها با استفاده از نرم افزار استار سی سی ام انجام شده است.

گاگرو و همکاران[۶] با استفاده از اپن فوم، که یک نرم‌افزار سی اف دی منبع باز است، عملکرد خود رانش کشتی با استفاده از مدل‌های مختلف پروانه را پیش بینی کردند. هدف این مطالعه اعتبارسنجی این مدل‌ها در برابر داده‌های تجربی و ارزیابی دقت آنها در پیش‌بینی عملکرد پیشرانه است.

در مقاله دیگری، ویلا و همکاران[۷] روشهای مختلف سی اف دی را برای تجزیه و تحلیل خود رانش کشتی مورد مقایسه قرار دادند. این روشها شامل روشهایی مانند تئوری دیسک محرک تا حلگرهای ویسکوز و غیر ویسکوز بودند. هدف از این مطالعه، تعیین نقاط قوت و ضعف هر روش برای انواع مختلف شبیه سازی خود رانشی بوده است.

استاجودا و همکاران[۸] در مقاله خود یک مدل سی اف دی را که برای شبیه سازی عملکرد پروانه توسعه داده است، مورد بحث قرار داده اند. این مدل برای پیش‌بینی دقیق تراست، گشتاور و بازدهی پروانه ها در شرایط عملیاتی مختلف کاربرد دارد.

وریجداگ [۹] در مقاله خود یک روش سیستماتیک برای مدل‌سازی، صحت سنجی، کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل‌های شبیه‌سازی رانش کشتی ارائه می‌کند. این مطالعه بر اهمیت شبیه سازی دقیق برای پیش بینی عملکرد کشتی تاکید می‌کند.

دانیل ولنتاین[۱۰] یک روش تئوری برای تخمین و محاسبه نیروهای وارده بر بدنه کشتی از طرف پروانه ارائه کرده است. این روش دیدگاهی دقیق در مورد اندرکنش بین پروانه و بدنه ارائه می‌دهد که برای بهینه سازی راندمان پیشرانه بسیار مهم است.

۳ - معادلات اساسی حاکم

در این تحقیق، مدلسازی عددی خودرانش لنج به روش دینامیک سیالات محاسباتی انجام شده است. این روش مستلزم حل معادلات ناویر-استوکس است. این معادلات به شکل کلی زیر نوشته می‌شوند:

$$\frac{\partial U_i}{\partial t}+\frac{\partial\left(U_iU_j\right)}{\partial x_j}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x_i}+\frac{\partial\left(-\overline{u_i'u_j'}\right)}{\partial x_j}+\nu\frac{\partial^2 U_i}{\partial x_j^2} \qquad (۱)$$

که U_i سرعت متوسط در جهت i دستگاه مختصات، ρ چگالی، P فشار متوسط، $\overline{u_i'u_j'}$ تنش رینولدز و ν ویسکوزیته سینماتیکی است. در تحقیق حاضر، برای مدلسازی تنش رینولدز از مدل آشفتگی دو معادله ای $k-\omega$ استفاده شده است. در مدل $k-\omega$ استاندارد، تنش رینولدز بصورت خطی با نرخ کرنش مرتبط است:

$$\tau_{ij}=\overline{u_i'u_j'}=\frac{2}{3}k\delta_{ik}-\nu_t\left(\frac{\partial U_i}{\partial x_i}+\frac{\partial U_j}{\partial x_i}\right) \qquad (۲)$$

که δ_{ik} دلتای کرونکر و ν_t ویسکوزیته آشفتگی و برابر k/ω است. انرژی جنبشی آشفتگی (k) و نرخ اتلاف ویژه (ω) با استفاده از معادلات انتقال زیر بدست می‌آید:

$$\frac{\partial k}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x_j}\left(kU_j\right)=\tau_{ij}\frac{\partial U_i}{x_j}-\beta_k\omega k+\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\nu+\sigma_k\nu_t\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right]$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\omega U_j\right)=\frac{\gamma}{\nu_t}\tau_{ij}\frac{\partial U_i}{\partial x_j}-\beta_\omega\omega^2+\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\nu+\sigma_\omega\nu_t\right)\frac{\partial \omega}{\partial x_j}\right]+2(1-F_1)\sigma_{cd}\frac{1}{\omega}\frac{\partial k}{\partial x_j}\frac{\partial \omega}{\partial x_j} \qquad (۳)$$

ضرایب این مدل آشفتگی از روشهای آماری بدست می‌آید.

جهت مدلسازی سطح آزاد اطراف شناور در این تحقیق از روش کسر حجمی سیال[1] استفاده شده است. در دینامیک سیالات محاسباتی، از این روش برای مکان‌یابی سطح آزاد بین دو یا چند سیال غیر قابل اختلاط استفاده می‌شود که جزو روش‌های اویلری محسوب می‌شود.

در روش کسر حجمی سیال، علاوه بر معادلات بقای جرم و اندازه حرکت، به حل یک معادله انتقال اضافی برای مشخص شدن درصد هر یک از سیالات نیاز است که نتیجه آن عددی مثل α خواهد بود و بیانگر نسبت حجم دو فاز سیال درون هر یک از سلولهای محاسباتی می‌باشد. بعنوان مثال $\alpha=1$ بیانگر پر بودن سلول از آب و $\alpha=0$ بیانگر پربودن سلول از هوا می باشد. بدین ترتیب چگالی و لزجت دینامیکی سیال موثر در کل دامنه محاسباتی بصورت زیر قابل محاسبه است:

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-10-31]

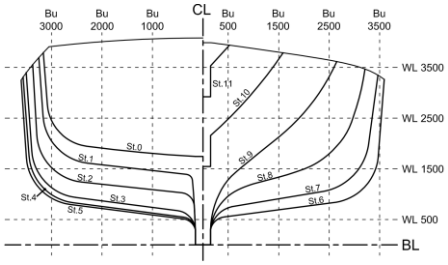
[DOI: 10.61186/marineeng.21.45.79]

$$\rho = \alpha\rho_1 + (1-\alpha)\rho_2$$
$$\mu = \alpha\mu_1 + (1-\alpha)\mu_2 \qquad (۴)$$

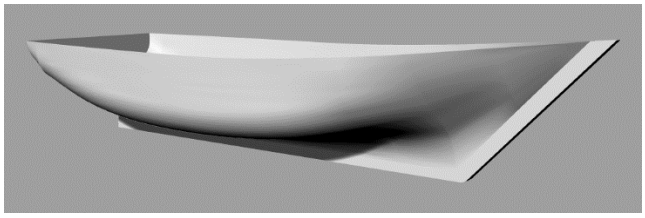
۴- معرفی شناور مورد مطالعه

شناور مورد بررسی در این پژوهش، یک لنج صیادی با جابجایی کل ۱۳۰ تن و طول کل ۲۶/۷ متر است که در یکی از کارگاه های لنج سازی جنوب کشور ساخته شده و در حال استفاده است. تصویر این لنج، نقشه خطوط بدنه و تصویر سه بعدی لنج به ترتیب در شکل-های ۱ تا ۳ نمایش داده شده است. همچنین، مشخصات اصلی این لنج در جدول ۱ آمده است.

شکل ۱ - تصویر واقعی لنج



شکل ۲- نقشه خطوط بدنه لنج



شکل ۳ - تصویر سه بعدی لنج در نرم افزار راینو

جدول ۱- مشخصات لنج مورد مطالعه

پارامتر	مقدار
طول سرتاسری	۲۶/۷۰ متر
عرض	۷/۱۰ متر
ارتفاع	۳/۳۰ متر
آبخور	۲/۲۰ متر
سرعت طراحی	۱۰ گره دریایی

جهت انجام مدلسازی شناور لنج به روش[۲] DFBI، اطلاعات مرکز ثقل و ممان اینرسی آن مورد نیاز است. اطلاعات مرکز ثقل لنج از کتابچه پایداری آن و ممان اینرسی از روابط تقریبی زیر بدست آمده [۱۱] و در جدول ۲ ارائه شده است:

$$K_{xx} = 0.4B \quad K_{yy} = 0.5L_{BP} \quad K_{zz} = 0.5L_{BP}$$
$$I_{xx} = mK_{xx}^2 \quad I_{yy} = mK_{yy}^2 \quad I_{zz} = mK_{zz}^2 \qquad (۵)$$

جدول ۲- اطلاعات مرکز ثقل و ممان اینرسی جرمی لنج

پارامتر	مقدار
وزن کل	۱۳۰ تن
KG	۲/۷ متر
LCG	۱۰/۷ متر
I_{xx}	۵۲۴۰۰۰
I_{yy}	۱۱×۱۰^۶
I_{zz}	۱۱×۱۰^۶

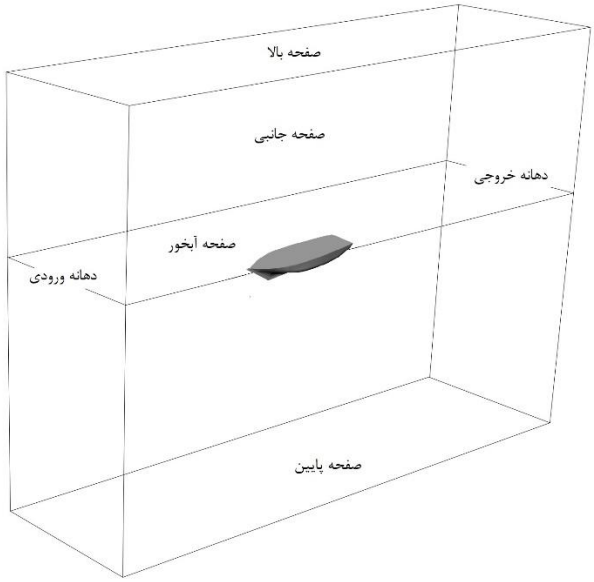
۵- نتایج عددی مقاومت لنج

در این بخش نتایج مدلسازی عددی مقاومت شناور لنج در حالت بدون پروانه در مقیاس واقعی مورد بررسی قرار می‌گیرد. مدلسازی عددی در ۳ سرعت مختلف انجام شده است اما ضرایب هیدرودینامیکی فقط برای سرعت طراحی لنج (۵/۱۴ متر بر ثانیه) محاسبه شده است. مدلسازی در مقیاس واقعی نسبت به مقیاس مدل این مزیت را دارد که نیاز به تعمیم نتایج مدل به لنج واقعی نیست و اثرات مقیاس نیز خطایی در اندازه گیری ها ایجاد نمی‌کند.

۵-۱- انتخاب دامنه محاسباتی

برای حل عددی جریان اطراف بدنه شناور ابتدا باید ابعاد دامنه محاسباتی مورد نیاز را با توجه به هندسه و ابعاد شناور تعیین کرد. ابعاد دامنه محاسباتی نباید به قدری کوچک انتخاب شود که نزدیکی بودن مرزها روی جواب نهایی مسئله تاثیر منفی داشته باشد و نه بیش از حد بزرگ باشد که باعث افزایش حجم محاسبات شده و زمان لازم برای حل مسئله را افزایش دهد. بنابراین باید دامنه محاسباتی بصورت بهینه انتخاب شود. در این تحقیق، ابعاد دامنه حل با استفاده از ابعاد توصیه شده در تحقیقات پیشین و نیز توصیه های کنفرانس بین المللی حوضچه کشش[۱۲] تعیین شده است. دامنه محاسبانی در شکل ۴ و ابعاد آن بصورت ضریبی از طول شناور(L) در جدول ۳ ارائه شده است.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-10-31]
[DOI: 10.61186/marineeng.21.45.79]



شکل ۴ - دامنه محاسباتی استفاده شده در مدلسازی عددی

جدول ۳- ابعاد دامنه محاسباتی

ابعاد دامنه	مقدار
فاصله دهانه ورودی تا سینه شناور	۱/۵L
فاصله دهانه خروجی تا پاشنه شناور	۳ L
فاصله صفحه پایین دامنه تا صفحه آبخور	۲/۵ L
فاصله صفحه بالای دامنه تا صفحه آبخور	۱ L
فاصله صفحه کناری تا بدنه شناور	۲/۵ L

۵-۲- شرایط مرزی

تعیین شرایط مرزی مناسب یکی از مهمترین بخشهای مدلسازی عددی است. در این قسمت با توجه به تجربیات قبلی شرایط مرزی زیر برای مرزها انتخاب شده است:

- ورودی دامنه: ورودی سرعت
- خروجی دامنه: جریان خروجی
- صفحات بالا و پایین دامنه: ورودی سرعت
- صفحه تقارن دامنه: شرط مرزی تقارن
- بدنه شناور: دیواره بدون لغزش

۵-۳-بررسی استقلال شبکه

شبکه بندی نامناسب دامنه حل باعث افزایش خطا در محاسبات و حتی واگرایی جواب مسئله می‌شود. اگرچه ریز کردن سلولها می‌تواند دقت نتایج را تا حدودی افزایش دهد اما این موضوع می‌تواند سبب افزایش حجم محاسبات و زمان حل شود. بطور معمول، جهت رسیدن به یک مش بهینه از لحاظ دقت و زمان حل، استقلال حل از شبکه بندی مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدین منظور، چند شبکه بندی مختلف بررسی و با مقایسه جوابها، شبکه بندی که دقت قابل قبول و زمان حل مناسبی دارد، مشخص می‌شود. در این تحقیق، ۳ شبکه بندی مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. تعداد سلولهای هر شبکه بندی در جدول ۴ جدول آمده است.

جدول ۴- مشخصات ۳ مش بررسی شده

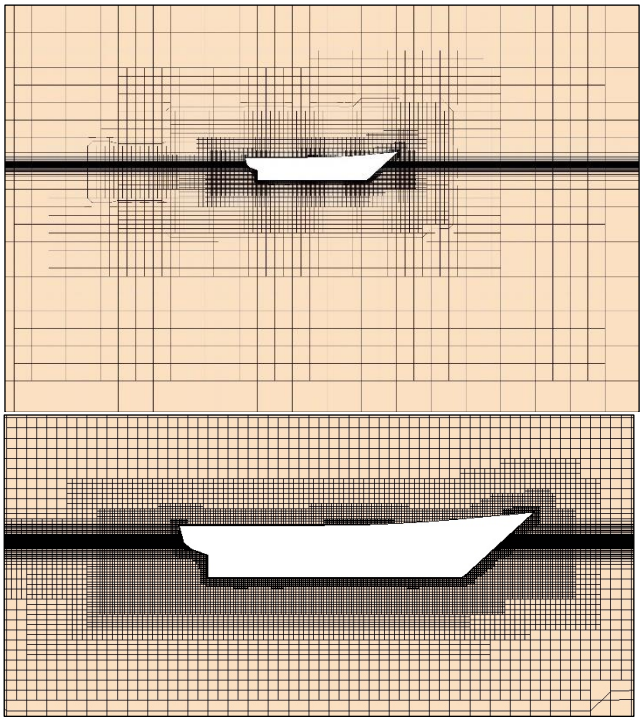
نوع شبکه بندی	تعداد سلولها
مش درشت	۰/۷ میلیون
مش متوسط	۱/۸ میلیون
مش ریز	۳/۱ میلیون

پس از مدلسازی شناور با هرکدام از مش های فوق، مقدار مقاومت شناور محاسبه شده است. درجدول جدول ۵ مقدار مقاومت کل لنج در سرعت طراحی (۵/۱۴ متر بر ثانیه) مربوط به شبکه بندی-های مختلف آمده است.

جدول ۵- مقاومت کل لنج حاصل مش بندی های مختلف

شبکه بندی	مقاومت کل (نیوتن)	اختلاف نسبت به مش ریز (٪)
مش درشت	۲۳۶۳۰	۴/۸
مش متوسط	۲۴۸۰۰	۰/۷
مش ریز	۲۴۹۸۰	-

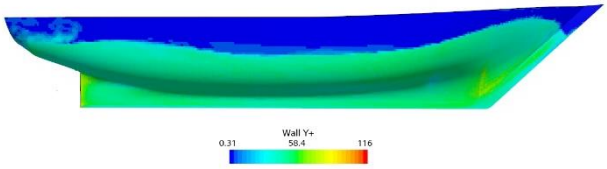
همانگونه که ملاحظه می شود، اختلاف مقاومت بدست آمده از مش ریز و مش متوسط کمتر از ۱ درصد است ولی مقاومت حاصل از مش درشت نسبت به مش ریز ۴/۷ درصد است. بنابراین با توجه به زمان حل خیلی کوتاه تر مش متوسط و نیز دقت قابل قبول نتایج آن، از مش متوسط استفاده خواهد شد. در شکل ۵ شبکه بندی دامنه حل با مش متوسط نمایش داده شده است.



شکل ۵ -شبکه‌بندی دامنه حل

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-10-31]
[DOI: 10.61186/marineeng.21.45.79]

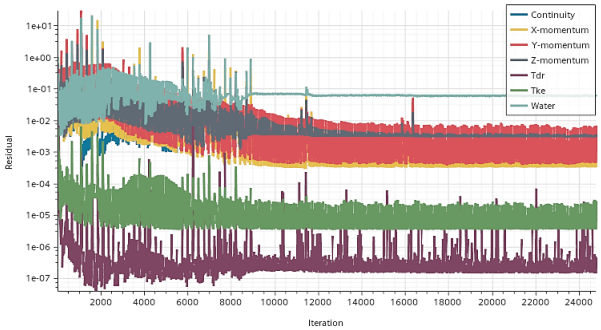
مقدار y^+ معیار مهمی برای اندازه گیری کیفیت مش لایه مرزی کشتی است که بر روی دقت نتایج و بخصوص مقاومت اصطکاکی کشتی تاثیر گذار است. کانتور y^+ بر روی بدنه شناور در شکل ۶ نمایش داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، مقدار y^+ در محدوده قابل قبولی است و با تحقیقات قبلی[۱۳] [۱۴] مطابقت دارد.



شکل ۶ - مقدار y^+ بر روی بدنه لنج

۵-۴- تاریخچه همگرایی

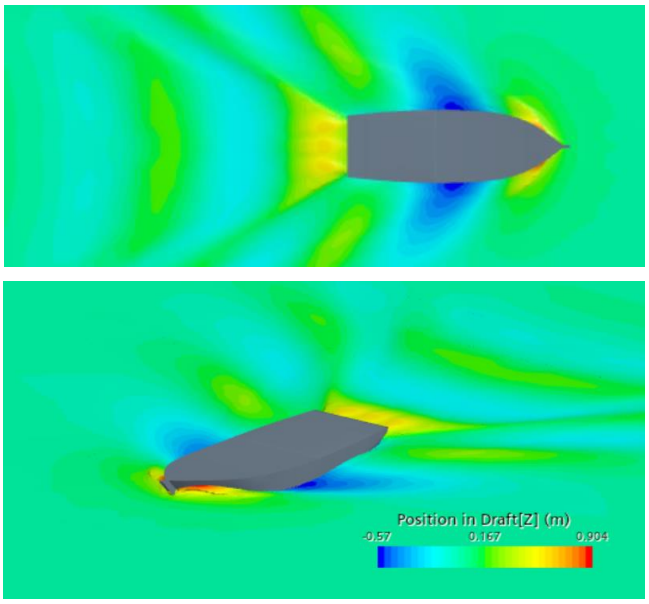
یکی از مهمترین معیارهای همگرایی در حل گذرای معادلات ناویراستوکس، بررسی مقادیر باقیمانده ها بر حسب زمان است. برای هر کدام از معادلات سرعت در جهات x ، y و z و نیز معادله پیوستگی می‌توان معیاری را برای همگرایی تعریف کرد که با رسیدن مقدار باقیمانده به این معیار، همگرایی محقق گردد. در شکل ۷ مقدار باقیمانده معادلات مختلف بر حسب تکرار نمایش داده شده است.



شکل ۷ - تاریخچه همگرایی و مقادیر باقیمانده معادلات حاکم

همانگونه که در شکل فوق مشاهده می‌شود، روند تغییرات باقیمانده ها کاملاً نزولی است و این نشان دهنده همگرایی خوب معادلات است.

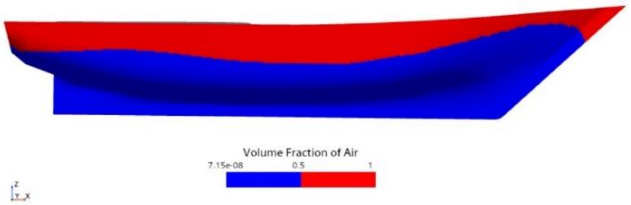
همانگونه که در بخشهای قبل ذکر شد، برای مدلسازی سطح آزاد اطراف شناور در نرم افزار استار سی سی ام از مدل کسر حجمی سیال استفاده شده است. سطح آزاد در واقع امواج تشکیل شده اطراف بدنه شناور هستند که هر چه ارتفاع این امواج بیشتر باشد، نشان می‌دهد مقاومت موج سازی شناور بیشتر است. شکل امواج اطراف بدنه علاوه بر فرم بدنه، به سرعت حرکت نیز بستگی دارد. در شکل ۸ امواج تشکیل شده اطراف بدنه لنج در سرعت طراحی نمایش داده شده است. همانگونه که در این شکل مشاهده می‌شود، بزرگترین قعر موج ایجاد شده ۵۷ سانتیمتر و بلندترین قله موج ۹۰ سانتیمتر ارتفاع دارد.



شکل ۸ - امواج تولید شده اطراف بدنه لنج در سرعت ۵/۱۴ m/s

۵-۵- کانتور کسر حجمی سیال

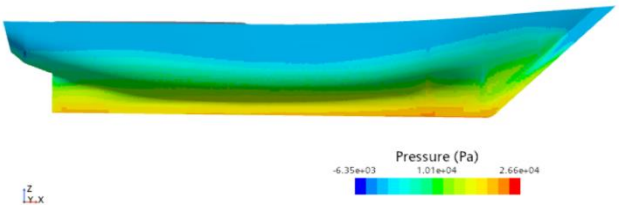
یکی از پارامترهای قابل بررسی در مدلسازی عددی، تعیین قله و قعر امواج در کنار بدنه لنج است که با استفاده از کانتور کسر حجمی سیال قابل دستیابی است. با توجه به معادلات مربوط به مدل VOF، کسر حجمی صفر به معنی خالی بودن سلول و کسر حجمی به معنی پر بودن سلول است. بنابراین، با این کانتور می‌توان خط آب روی بدنه لنج را بدست آورد. در شکل ۹ کانتور کسر حجمی سیال هوا برای سرعتهای مختلف نمایش داده شده است.



شکل ۹ - کانتور کسر حجمی سیال روی بدنه لنج در سرعت ۵/۱۴ m/s

۵-۶- توزیع فشار

در شکل ۱۰ توزیع فشار روی بدنه لنج در سرعت طراحی نمایش داده شده است.



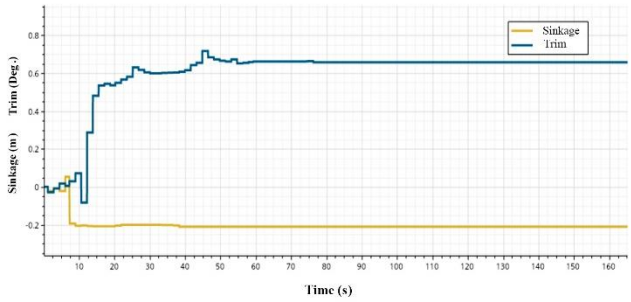
شکل ۱۰ - توزیع فشار روی بدنه لنج در سرعت ۵/۱۴ m/s

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-10-31]
[DOI: 10.61186/marineeng.21.45.79]

بررسی توزیع فشار در سرعت های مختلف نشان می‌دهد بیشترین مقدار فشار در ناحیه کف و سینه شناور ایجاد شده است. دلیل افزایش فشار در کف شناور، فاصله از سطح آب است که سبب می‌شود فشار هیدرواستاتیک در این ناحیه بیشترین مقدار را داشته باشد.

۵-۷-تغییرات تریم و سینکیج شناور

در این پژوهش، جهت شبیه سازی حرکات دینامیکی لنج از مدل DFBI استفاده شده است. بدین منظور، از شش درجه آزادی، حرکت لنج در راستای قائم (حرکت هیو یا سینکیج) و نیز دوران حول محور عرضی (حرکت پیچ یا زاویه تریم) آزاد گذاشته شده و سایر درجات آزادی مقید شده است. دلیل این موضوع، تاثیر زیاد سینکیج و تریم بر مقاومت کل شناور است. آزاد گذاشتن سایر درجات آزادی سبب می‌شود زمان حل طولانی‌تر شود. در شکل ۱۱ تریم و سینکیج لنج در سرعت ۵/۱۴ متر بر ثانیه بر حسب زمان نمایش داده شده است. شایان ذکر است که با توجه به جهت محورهای مختصات، تریم مثبت به معنی تریم به سمت پاشنه و سینکیج مثبت به معنی بالا آمدن شناور (کاهش آبخور) است.

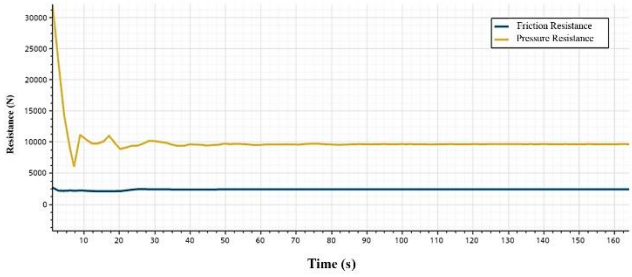


شکل ۱۱- تغییرات تریم و سینکیج بدنه لنج در سرعت ۵/۱۴ m/s

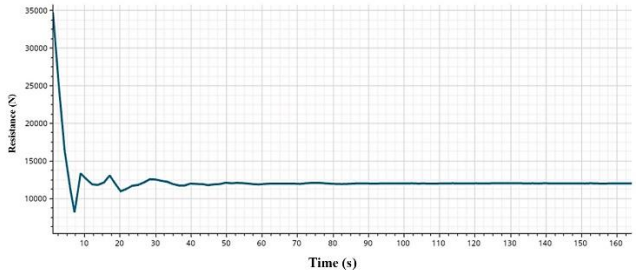
همانگونه که در شکل مشاهده می‌شود، در سرعت طراحی لنج، تریم نهایی ۰/۶۲ درجه و سینکیج نهایی ۰/۲- متر (افزایش آبخور به اندازه ۲۰ سانتیمتر) می‌شود.

۵-۸- مقاومت لنج

پس از بررسی جزئیات جریان اطراف بدنه لنج، نیروی مقاومت کل بدست آمده در سرعتهای مختلف را مورد بررسی قرار می‌دهیم. نرم افزار استار سی سی ام نیروی مقاومت را به تفکیک مقاومت فشاری و اصطکاکی ارائه می‌دهد. در شکل ۱۲ مقاومت اصطکاکی و فشاری لنج در سرعت طراحی نمایش داده شده است. همچنین، مقاومت کل لنج در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود. اگر چه مدلسازی ها در سه سرعت مختلف انجام شده است، اما مقاومت کل در سرعت طراحی برای طراحی سیستم رانش اهمیت بیشتری دارد. نکته مهم در مورد این نمودارها آن است که با توجه به مدلسازی نصف بدنه لنج (به دلیل تقارن)، مولفه های مقاومت و نیز مقاومت کل نهایتاً باید در ۲ ضرب شوند.



شکل ۱۲- تغییرات مولفه های مقاومت لنج در سرعت ۵/۱۴ m/s



شکل ۱۳- تغییرات مقاومت کل لنج در سرعت ۵/۱۴ m/s

همانگونه که مشاهده می‌شود، در سرعت ۵/۱۴ متر بر ثانیه، سهم مقاومت فشاری از مقاومت کل به حدود ۸۰ درصد می‌رسد. دلیل این افزایش، موج های بزرگ تشکیل شده در اطراف بدنه لنج در سرعت ۵/۱۴ متر بر ثانیه است. نتایج مقاومت کل لنج در سرعتهای مختلف در جدول ۶ نمایش داده شده است.

جدول ۶ - مقدار مقاومت کل لنج در سرعتهای مختلف

سرعت (m/s)	مقاومت کل (نیوتن)
۲	۱۵۵۰
۴	۹۲۲۰
۵/۱۴	۲۴۸۰۰

۶- تست خودرانش لنج به روش عددی

جهت بررسی اثرات متقابل پروانه و بدنه شناور از تست خودرانش استفاده می‌شود. کارکرد پروانه سبب تغییر مقاومت شناور می‌شود و بدنه نیز بر روی کارکرد و بازده پروانه موثر است. انجام تست خودرانش شناورها در مقیاس واقعی به روش تجربی بسیار سخت و پر هزینه است اما امروزه با استفاده از روشهای حل عددی می‌توان این تست را برای شناورها مدلسازی کرد. جهت انجام این مدلسازی، علاوه بر هندسه شناور، به مشخصات و هندسه پروانه نیز نیاز است.

۶-۱-مشخصات پروانه

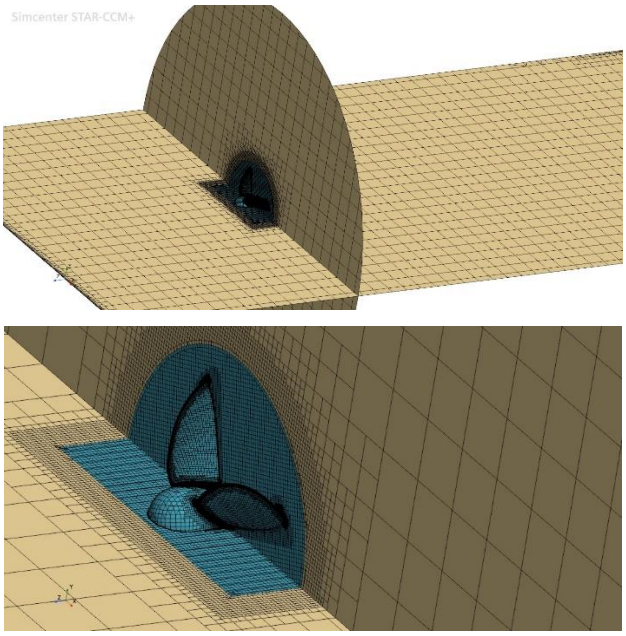
جهت مدلسازی عددی خودرانش لنج، باید پروانه مورد استفاده بر روی لنج معرفی شود. با بررسی هایی که انجام شد، مشخص گردید برای رانش این لنج از یک پروانه ۴ پره با قطر حدود ۱۰۰ سانتیمتر

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-10-31]
[DOI: 10.61186/marineeng.21.45.79]

استفاده شده است. اگرچه هندسه دقیق این پروانه در دسترس نیست اما با توجه به شکل ظاهری، به نظر می‌رسد پروانه استفاده شده از سری استاندارد B است. این پروانه در شکل ۱۴ نمایش داده شده است. گام این پروانه ۳۲ اینچ معادل ۸۱ سانتیمتر است. با آنالیز تصویر پروانه، نسبت سطح پروانه (EAR) این پروانه حدود ۰/۶ است. این پروانه توسط یک گیریکس با نسبت ۳/۰۳ به موتور لنج متصل می‌شود و دور موتور ۱۸۰۰ دور در دقیقه است. بنابراین پروانه با سرعت ۹/۹ دور در ثانیه خواهد چرخید.

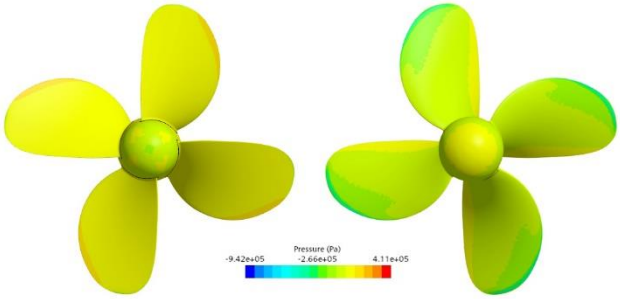
شکل ۱۴- پروانه استفاده شده بر روی لنج

در گام نخست، جهت دستیابی به نمودارهای کارکرد در آب آزاد[۳]، این پروانه به روش حل عددی مدلسازی و ضرایب هیدرودینامیکی آن در ۲۵ ضریب پیشروی[۴] مختلف محاسبه گردید. در شکل ۱۵ شبکه بندی دامنه حل اطراف این پروانه نمایش داده شده است.



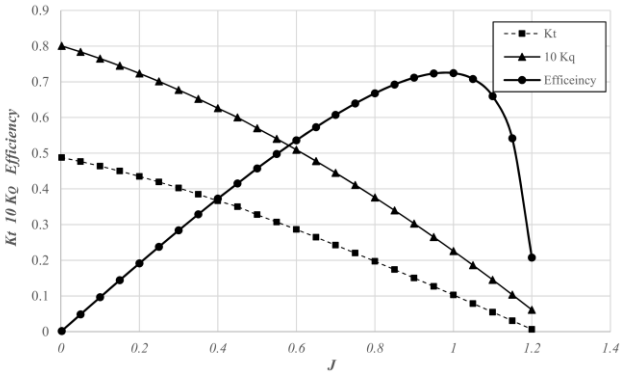
شکل ۱۵- شبکه بندی دامنه حل اطراف پروانه

با توجه به سرعت شناور، قطر پروانه و سرعت چرخش پروانه، مقدار ضریب پیشروی آن در حالت آب آزاد (بدون ویک شناور) برابر با ۰/۵۱۹ است. توزیع فشار بر روی پره های پروانه در این ضریب پیشروی در شکل ۱۶ مشاهده می‌شود.



شکل ۱۶- توزیع فشار اطراف پروانه در حالت آب آزاد (J=۰/۵۱۹)

نمودار کارکرد پروانه در شکل ۱۷ نمایش داده شده است.



شکل ۱۷- نمودار ضرایب هیدرودینامیکی پروانه در حالت آب آزاد

با توجه به نمودار فوق، مشاهده می‌شود بازده پروانه در ضریب پیشروی طراحی در حدود ۴۶ درصد است.

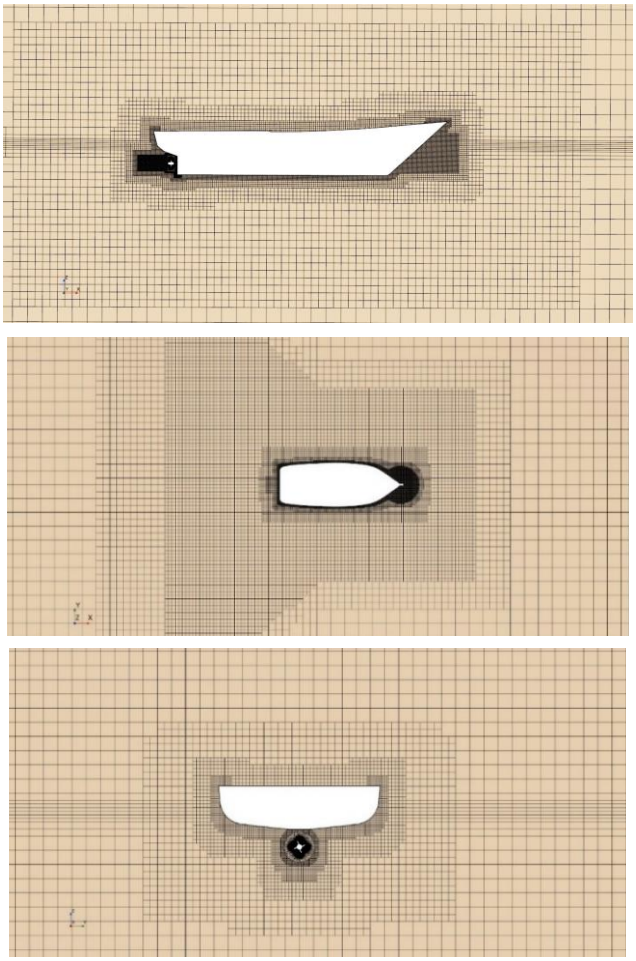
۶-۲- شبکه بندی دامنه حل جهت تست خودرانش

در مرحله قبل، مدلسازی حرکت لنج بدون حضور پروانه بصورت عددی انجام شد و مقاومت کل لنج در سرعت طراحی آن محاسبه شد. در این مرحله از تحقیق، مدلسازی خودرانش لنج انجام خواهد شد. در این مرحله نیز همانند مرحله قبل، مدلسازی در مقیاس واقعی انجام می‌شود. بنابراین، با توجه به مشابهت ابعاد لنج و دامنه محاسباتی، مجددا نیاز به بررسی استقلال شبکه نیست و می‌توان از همان چیدمان مش که در مرحله قبل استفاده شده است، در این مرحله نیز استفاده کرد. تنها تفاوت مدلسازی در این مرحله با مرحله قبل، وجود پروانه بر روی لنج است که طبیعتاً به مش مجزا نیاز دارد و باعث خواهد شد تعداد مش از مرحله قبل اندکی بیشتر شود. در شکل ۱۸ مش تولید شده اطراف بدنه لنج و پروانه نمایش داده شده است.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-10-31]
[DOI: 10.61186/marineeng.21.45.79]

شکل ۱۸- شبکه بندی اطراف لنج و پروانه جهت تست خودرانش

همچنین در شکل ۱۹ جزئیات مش در صفحات مختلف نمایش داده شده است.



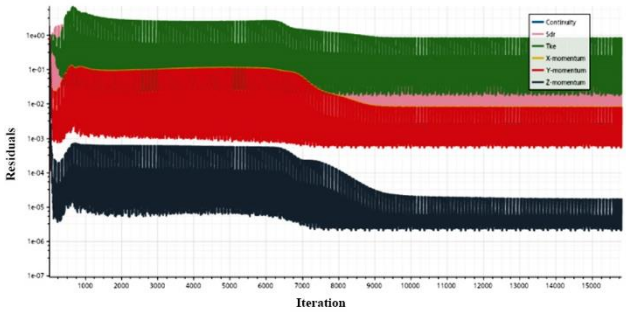
شکل ۱۹ - جزئیات شبکه بندی اطراف لنج و پروانه در صفحات مختلف

۶-۳- نتایج حل عددی خودرانش

در این بخش نتایج مدلسازی عددی شناور لنج مورد بررسی قرار می‌گیرد. تفاوت محاسبه عددی مقاومت و تست خودرانش در این است که در تست مقاومت، سرعت طراحی مشخص است و مقاومت در این سرعت محاسبه می‌شود. اما در تست خودرانش، چرخش پروانه و نیروی تراست ایجاد شده سبب حرکت شناور شده و سرعت نهایی پس از همگرا شدن نتایج مشخص می‌شود. بنابراین یکی از راه های بررسی کارکرد صحیح پروانه آن است که سرعت نهایی باید نزدیک به سرعت طراحی شناور باشد. با توجه به اینکه سرعت طراحی لنج ۵/۱۴ متر بر ثانیه است، پس از همگرایی حل، لنج باید تقریباً به این سرعت برسد.

۶-۳-۱- تاریخچه همگرایی

در شکل ۲۰ مقدار باقیمانده معادلات مختلف نمایش داده شده است.



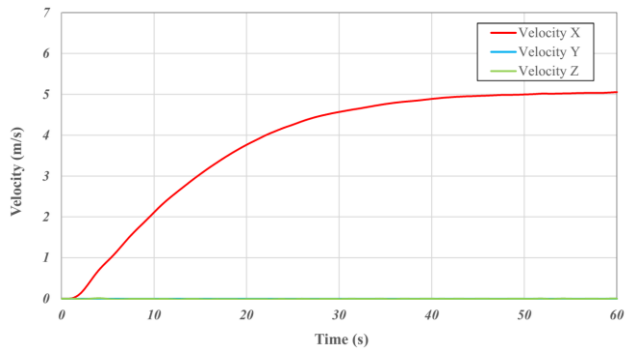
شکل ۲۰- تاریخچه همگرایی و مقادیر باقیمانده معادلات حاکم

همانگونه که در شکل فوق مشاهده می‌شود، روند تغییرات باقیمانده ها کاملاً نزولی است و این نشان دهنده همگرایی مناسب معادلات حاکم است.

۶-۳-۲- بررسی سرعت نهایی

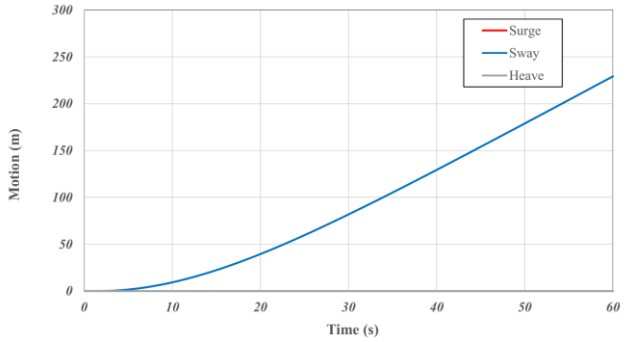
یکی از راه های بررسی انتخاب صحیح پروانه در شناورها، انجام تست خودرانش است. با کارکرد پروانه پشت بدنه لنج، تراست ایجاد شده به بدنه اعمال و سبب حرکت لنج می‌شود. با اعمال این تراست، لنج حرکت می‌کند و سرعت آن به تدریج افزایش می‌یابد و افزایش سرعت نیز با افزایش مقاومت همراه است. بنابراین این افزایش سرعت تا جایی ادامه می‌یابد که تراست پروانه بتواند به مقاومت کل لنج غلبه کند. در واقع، سرعتی که تراست پروانه و مقاومت لنج با هم برابر شوند، سرعت نهایی لنج خواهد بود. آنچه در طراحی پروانه مهم است، آن است که سرعت نهایی که لنج به آن می‌رسد باید تقریباً با سرعت طراحی آن برابر باشد؛ در غیر اینصورت پروانه مناسبی انتخاب نشده است. در شکل ۲۱ روند افزایش سرعت لنج بر اثر اعمال تراست پروانه نمایش داده شده است.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-10-31]
[DOI: 10.61186/marineeng.21.45.79]



شکل ۲۱- نمودار تغییرات سرعت لنج در جهات مختلف بر حسب زمان

همانگونه که مشاهده می‌شود، پس از حدود ۶۰ ثانیه، لنج به یک سرعت ثابت رسیده است که مقدار آن حدود ۵/۱ متر بر ثانیه است. این سرعت با سرعت طراحی لنج (۵/۱۴ متر بر ثانیه) تفاوت بسیار ناچیزی دارد. در شکل ۲۲ نمودار حرکات مختلف لنج بر حسب زمان نمایش داده شده است.

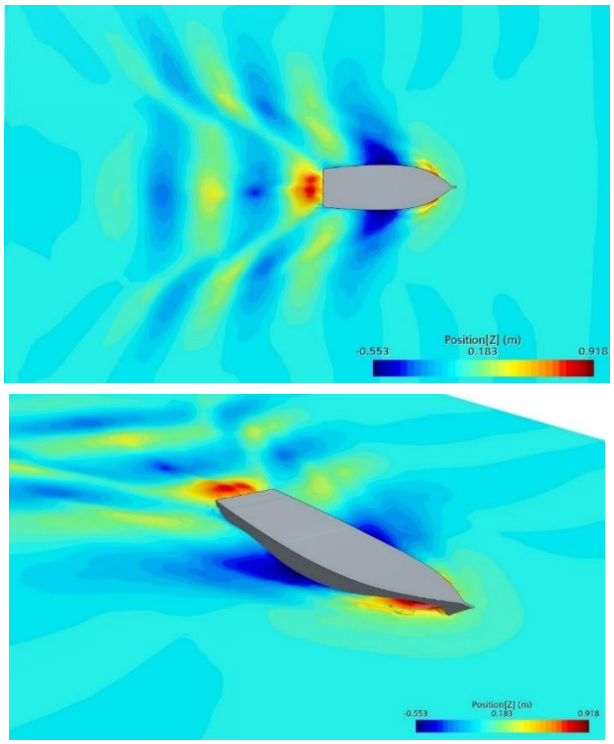


شکل ۲۲ - نمودار حرکات خطی لنج در جهات مختلف بر حسب زمان

این نمودار نشان می‌دهد که شناور لنج تا حدود ۶۰ ثانیه، مسافتی در حدود ۲۵۰ متر را پیموده است. همچنین، جابجایی لنج در جهت عرضی و عمودی تقریباً صفر بوده است.

۶-۳-۳- بررسی امواج بدنه

سطح آزاد و امواج تشکیل شده اطراف بدنه لنج در مدلسازی عددی به روش کسر حجمی سیال بدست می‌آید. در شکل ۲۳ امواج تشکیل شده اطراف بدنه لنج در سرعت نهایی نمایش داده شده است. مقایسه امواج اطراف بدنه در حالت تست خودرانش و تست مقاومت بدون حضور پروانه نشان می‌دهد اگر چه امواج سینه لنج تغییر محسوسی نداشته است اما در قسمت پاشنه، سطح آب پشت لنج در تست خودرانش بدلیل کارکرد پروانه نسبت به تست مقاومت بالاتر آمده است. همچنین، جریان پشت بدنه در تست مقاومت نسبت به تست خودرانش بسیار منظم تر است که دلیل این امر نیز ایجاد ویک و گردابه های ناشی از کارکرد پروانه است.

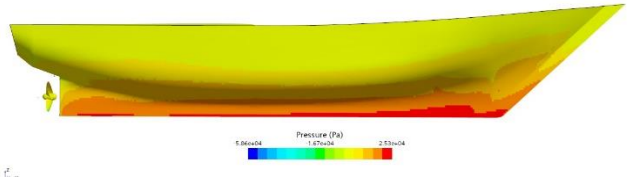


شکل ۲۳ - امواج تولید شده اطراف بدنه لنج در سرعت نهایی (تست خودرانش)

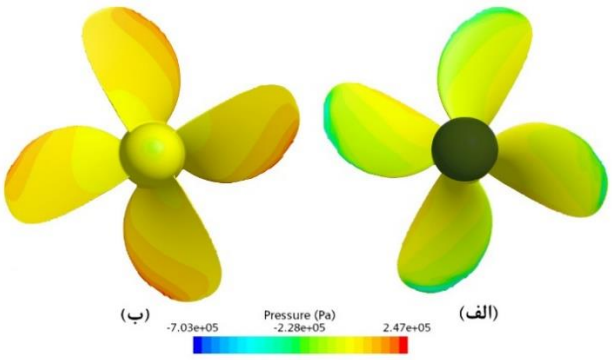
همانگونه که در شکل فوق مشاهده می‌شود، در سرعت نهایی لنج، بیشترین قعر موج حدود ۵۵ سانتیمتر و بلندترین قله موج حدود ۹۲ سانتیمتر ارتفاع دارد.

۶-۳-۴- توزیع فشار

در شکل ۲۴ توزیع فشار روی بدنه لنج در سرعت نهایی نمایش داده شده است. همچنین توزیع فشار روی پروانه در شکل ۲۵ مشاهده می‌شود.



شکل ۲۴- توزیع فشار روی بدنه لنج در سرعت نهایی



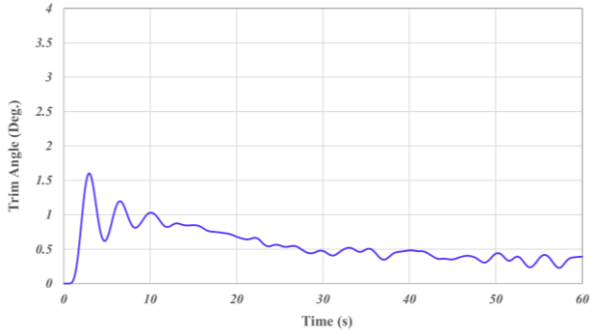
شکل ۲۵ - توزیع فشار روی پروانه لنج (الف) پشت پره (ب) وجه پره

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-10-31]
[DOI: 10.61186/marineeng.21.45.79]

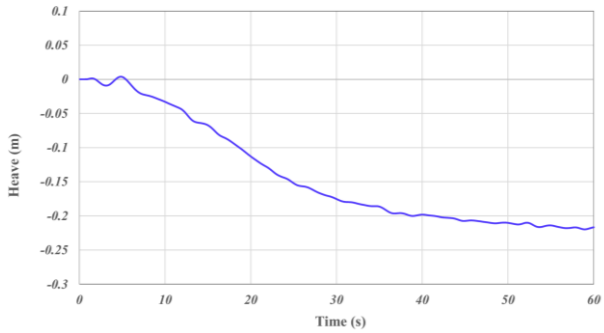
بررسی توزیع فشار در سرعت های مختلف نشان می‌دهد بیشترین مقدار فشار در ناحیه کف و سینه شناور ایجاد شده است. دلیل افزایش فشار در کف شناور، فاصله از سطح آب است که سبب می‌شود فشار هیدرواستاتیک در این ناحیه بیشترین مقدار را داشته باشد.

۶-۳-۵- تغییرات زاویه تریم و هیو شناور

در شکل های ۲۶ و ۲۷ به ترتیب تغییرات زاویه تریم و هیو لنج بر حسب زمان نمایش داده شده است. با توجه به جهت محورهای مختصات، تریم مثبت به معنی تریم به سمت پاشنه و هیو مثبت به معنی بالا آمدن بدنه لنج است.



شکل ۲۶- تغییرات زاویه تریم بدنه لنج بر حسب زمان

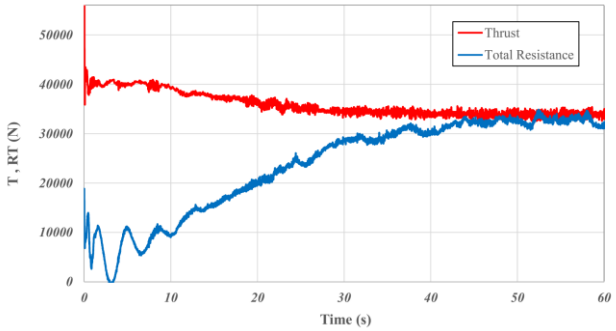


شکل ۲۷ - تغییرات هیو بدنه لنج بر حسب زمان

همانگونه که مشاهده می‌شود، زاویه تریم از حدود ۱ درجه در شروع حرکت، در انتها به حدود ۰/۵ درجه همگرا می‌شود. همچنین، آبخور لنج در سرعت نهایی حدود ۲۲ سانتیمتر نسبت به حالت سکون افزایش یافته است.

۶-۳-۶- تغییرات تراست و مقاومت شناور

جهت بررسی همگرایی نتایج تست خودرانش، تراست پروانه و مقاومت شناور را باید مقایسه کرد. وقتی تراست تقریباً با مقاومت کل برابر باشد، بدان معنی است که نتایج همگرا شده است. در شکل ۲۸ تغییرات مقاومت شناور و تراست پروانه بر حسب زمان نمایش داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، پس از حدود ۶۰ ثانیه، مقاومت کل و تراست پروانه تقریباً مساوی شده است و این بدان معنی است که سرعت لنج از این زمان به بعد تقریباً ثابت خواهد ماند. در سرعت نهایی، تراست پروانه لنج حدوداً ۳۵۰۰۰ نیوتن و مقاومت کل آن ۳۴۵۰۰ نیوتن است. سهم مقاومت اصطکاکی حدود ۵۰۰۰ نیوتن و مقاومت فشاری حدود ۲۹۵۰۰ نیوتن است.



شکل ۲۸- نمودار تراست پروانه و مقاومت کل لنج بر حسب زمان

۷- محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی بدنه

کارکرد پروانه در حالت آب آزاد با کارکرد آن پشت بدنه کشتی با هم متفاوت است. اثرات متقابل پروانه و بدنه همواره از موضوعات مهم و مورد توجه محققین بوده است. چرخش پروانه سبب تغییر توزیع سرعت و فشار اطراف بدنه کشتی و در نتیجه سبب افزایش مقاومت هیدرودینامیکی بدنه می‌شود. از سوی دیگر، وجود بدنه باعث می‌شود سرعت جریان ورودی به پروانه تغییر کند و ضرایب هیدرودینامیکی پروانه از قبیل ضریب تراست، گشتاور و بازده با حالت آب آزاد متفاوت باشد. جهت محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی پروانه پشت بدنه از قبیل ضریب ویک، ضریب کسر تراست و ضریب پیشروی در شرایط پشت بدنه می‌توان از روش تطابق تراست[۵] یا تطابق گشتاور[۶] استفاده کرد.

۷-۱- روش تطابق تراست

در این روش، فرض می‌شود تراست تولید شده پروانه پشت بدنه (که از تست خودرانش بدست می‌آید) با تراست تولید شده در حالت آب آزاد برابر است. بنابراین، با استفاده از تراست اندازه گیری شده در تست خودرانش(T_{SP}) و نیز مقادیر قطر(D) و دور پروانه(n) ، ضریب تراست خودرانش ($K_{T,SP}$) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$K_{T,SP} = \frac{T_{SP}}{\rho n^2 D^4}$$

حال بر روی نمودار کارکرد پروانه در آب آزاد، بررسی می‌شود که این مقدار ضریب تراست مربوط به کدام ضریب پیشروی است. با مشخص شدن ضریب پیشروی پروانه، مقدار بازدهی پروانه در شرایط پشت بدنه و نیز ضریب ویک بدست می‌آید. ضریب کسر تراست نیز با استفاده از مقاومت کل در تست خودرانش و مقاومت در حالت بدون پروانه بدست می‌آید.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-10-31]
[DOI: 10.61186/marineeng.21.45.79]

۷-۲- روش تطابق گشتاور

در این روش، فرض می‌شود گشتاور پروانه در حالت پشت بدنه با گشتاور آن در حالت آب آزاد برابر است. بنابراین، با استفاده از گشتاور اندازه گیری شده در تست خودرانش(Q_{SP}) و نیز مقادیر قطر(D) و دور پروانه(n) ، ضریب گشتاور خودرانش ($K_{Q,SP}$) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

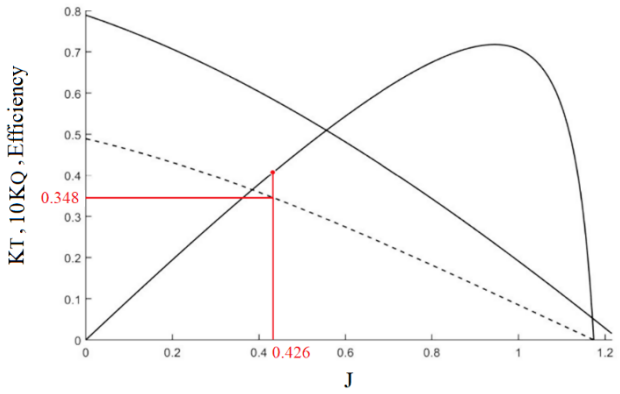
$$K_{Q,SP} = \frac{Q_{SP}}{\rho n^2 D^5}$$

حال بر روی نمودار کارکرد پروانه در آب آزاد، بررسی می‌شود که این مقدار ضریب گشتاور مربوط به کدام ضریب پیشروی است. با بدست آوردن ضریب پیشروی پروانه، مقدار بازدهی پروانه در شرایط پشت بدنه و نیز ضریب ویک بدست می‌آید.

روش تطابق گشتاور نسبت به روش تطابق تراست در کشتی ها راحت تر قابل انجام است، زیرا اندازه گیری گشتاور نسبت به تراست ساده تر است. با این وجود، کنفرانس بین المللی حوضچه کشش، روش تطابق تراست را به دلیل دقت بالاتر آن توصیه می‌کند[۱۵]. در این تحقیق نیز از روش تطابق تراست جهت تخمین ضرایب هیدرودینامیکی بدنه و پروانه استفاده شده است.

۷-۳- محاسبات پروانه شناور مورد مطالعه

اولین گام در روش تطابق تراست، اندازه گیری تراست در حالت خودرانش است. همانگونه که در شکل ۲۸ مشاهده می‌شود، شناور پس از رسیدن به سرعت ثابت، دارای تراست پروانه ۳۵۰۰۰ نیوتن است. با توجه به این مقدار تراست، ضریب تراست آن ۰/۳۴۸ بدست می‌آید. جهت محاسبه ضریب پیشروی و بازدهی پشت بدنه، نمودار کارکرد پروانه در حالت آب آزاد در شکل ۲۹ نمایش داده شده است.



شکل ۲۹- نمودار کارکرد پروانه اولیه و محاسبه ضریب پیشروی و بازده پشت بدنه

همانگونه که در شکل فوق مشاهده می‌شود، ضریب تراست خودرانش ۰/۳۴۸ مربوط به ضریب پیشروی ۰/۴۲۶ است. همچنین بازده پروانه در این ضریب پیشروی حدود ۴۰ درصد خواهد بود. با توجه به ضریب پیشروی، مقدار سرعت پیشروی و ضریب ویک بصورت زیر بدست خواهد آمد:

$$J = \frac{V_A}{n.D} \Rightarrow V_A = J.n.D = 0.426 \times 9.9 \times 1 = 4.217\ m/s$$

$$V_A = V_S(1-w) \Rightarrow 1-w = 4.217/5.144 = 0.82 \Rightarrow w = 0.18$$

$$R_T = T(1-t) \Rightarrow t = 1 - R_T/T$$
$$= 1 - 24800/35000 = 0.291$$

بنابراین مقادیر هیدرودینامیکی بدنه و پروانه مطابق جدول ۷ خواهد بود.

جدول ۷- مقادیر هیدرودینامیکی بدنه و پروانه لنج

پارامتر	مقدار
تراست	۳۵۰۰۰ نیوتن
گشتاور	۶۲۰۰ نیوتن متر
سرعت دورانی	۹/۹ دور در ثانیه
ضریب پیشروی	۰/۴۲۶
ضریب تراست	۰/۳۴۸
ضریب گشتاور	۰/۰۶۱۷
ضریب ویک (w)	۰/۱۸
ضریب کسر تراست(t)	۰/۲۹۱
بازده پروانه	۴۰ درصد

۸- جمع بندی و نتیجه گیری

در این مقاله، مقادیر ضریب کسر تراست و ضریب ویک و نیز بازده پشت بدنه پروانه یک شناور لنج بصورت عددی محاسبه گردید. در ابتدا مقاومت لنج در سرعت طراحی آن (۵/۱۴ متر بر ثانیه) با استفاده از روش دینامیک سیالات محاسباتی اندازه گیری شد. سپس تست خودرانش این لنج در حضور پروانه انجام شد. نتایج این تحقیق را می‌توان بصورت زیر خلاصه کرد:

- مقاومت لنج در حالت خودرانش، در مقایسه با تست کشش بیشتر است. دلیل این موضوع، تاثیر کارکرد پروانه بر روی جریان اطراف بدنه و در نتیجه افزایش مقاومت لنج است که این موضوع با ضریب کسر تراست نمایش داده می‌شود.
- بازده پروانه نیز در حالت آب آزاد و حالت پشت بدنه محاسبه شد که نتایج نشان می‌دهد بازده در حالت واقعی (پشت بدنه) نسبت به حالت آب آزاد حدود ۶ درصد کاهش یافته است.
- با مقایسه حالت پشت بدنه و آب آزاد، ضریب ویک شناور ۰/۱۸ و ضریب کسر تراست ۰/۲۹۱ بدست آمد.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-10-31]
[DOI: 10.61186/marineeng.21.45.79]

-کارکرد پروانه تاثیر زیادی بر روی زاویه تریم و سینکیج شناور لنج نداشته است.

۹-تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت مادی و معنوی شرکت شهرک هـای صـنعتی استان سیستان و بلوچستان انجام شده اسـت کـه بـدین وسـیله از زحمات ایشان قدردانی می‌گردد.

۱۰- کلید واژگان

1-Volume of Fluid (VOF)
2- Dynamic Fluid Body Interaction
3- Open Water
4- Advance Ratio
5-Thrust Identity
6- Torque Identity

۱۱ – مراجع

1-https://www.isna.ir/news/1402101812655, *Dhow Building, a 3000 Years Old Art in Iran.(In Persian)* https://www.isna.ir/news/1402101812655.

2- Niklas, K. and H. Pruszko, (2019), *Full-scale CFD simulations for the determination of ship resistance as a rational, alternative method to towing tank experiments* .Ocean Engineering, 190: p. 106435. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.106435

3- Ebrahimi, A., Dorostkar, Reza, (2022), *Measurement of Added Resistance and Trim of Dhow Vessel in the Waves of the Persian Gulf by Experimental Method*. Journal of High Speed Vessels, 61. (In Persian)

4- Negahdari, M.R., et al ,.(2024), *the effects of hull form on the hydrodynamic performance of launch.* Journal of Marine Engineering, 20(42): p. 46-54. (In Persian) http://dx.doi.org/10.61186/marineeng.20.42.46

5- Mahmoodi, H. and M.S. Seif, (2023), *Numerical simulation of hull and propeller interaction in acceleration maneuver.* Journal Of Marine Engineering, 19(38): p. 1-15. (In Persian) http://dx.doi.org/10.61186/marineeng.19.38.1

6- Gaggero, S., et al., (2018), *Ship self-propulsion performance prediction by using OpenFOAM and different simplified propeller models.* In Progress in Maritime Technology and Engineering. 2018, CRC Press. p. 195-203.

7- Gaggero, S., D. Villa, and M. Viviani, (2017), *an extensive analysis of numerical ship self-propulsion prediction via a coupled BEM/RANS approach.* Applied Ocean Research, 66: p. 55-78. https://doi.org/10.1016/j.apor.2017.05.005

8- Stajuda, M., et al., (2016), *Development of a CFD model for propeller simulation* . Mechanics & Mechanical Engineering, 20.(۴)

9- Vrijdag, A., D. Stapersma, and T. Van Terwisga, (2009), S*ystematic modelling, verification, calibration and validation of a ship propulsion simulation model.* Journal of Marine Engineering & Technology, 8(3 :(p. 3-20. https://doi.org/10.1080/20464177.2009.11020223

10- Tsakonas, S. and D. Valentine, (1980), *A Theoretical Procedure for Calculating Propeller-induced Hull Forces*.

11- Yu, A., D. Wan, and G. Chen. (2019), V*erification and Validation for the Resistance of a KRISO Container Ship in Calm Water*. in ISOPE International Ocean and Polar Engineering Conference. ISOPE.

12- ITTC, (2011), *Practical guidelines for ship CFD applications.* 26th ITTC.

13- Song, K., et al., (2021), *Simulation strategy of the full-scale ship resistance and propulsion performance. Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 15(1): p. 1321-1342. https://doi.org/10.1080/19942060.2021.1974091

14- Nadery, A., H. Ghassemi, and H. Nowruzi, (2021), *Enhancement of the ship propeller hydrodynamic performance by different energy-saving devices mounted at the upstream zone.* Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 43: p. 1-25. https://doi.org/10.1007/s40430-021-03179-y

15- Birk, L., (2019), F*undamentals of ship hydrodynamics: Fluid mechanics, ship resistance and propulsion*: John Wiley & Sons.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-10-31]

[DOI: 10.61186/marineeng.21.45.79]