

تحلیل عددی عملکرد و مقاومت شناور تندرو سرشی با اعمال

اسپری ریل

مهشید عمله کارسنگی^۱، سجاد حاجی زاده^۲

۲ و ۱ گروه مهندسی دریا- دانشکده مهندسی- دانشگاه خلیج فارس

چکیده:

در چند دهه اخیر شناورهای تندرو اهمیت فوق العاده‌ای پیدا کرده‌اند و برای دستیابی به سرعت‌های بالا فرم بدنه‌های مختلفی پیشنهاد، طراحی و ساخته شده‌اند. شناورهای تندرو به چهار گروه شناورهای تک بدنه، هیدروفویلی، اثر سطحی و چند بدنه تقسیم می‌شوند. در اینجا، تمرکز اصلی بر روی شناورهای سرشی (اسپری ریل) می‌باشد. شناورهای تندرو سرشی برای رسیدن به سرعت‌های بالا و مدنظر طراح، با چالش‌های مختلفی روبرو هستند. شناورهای با مقطع عرضی V شکل نیروی برای هیدرودینامیکی را به خوبی ایجاد نمی‌کنند. یک روش برای ایجاد نیروی برای هیدرودینامیکی در شناورهای تندرو، اضافه نمودن اسپری ریل در راستای طولی بدنه می‌باشد. هنگامیکه آب به طرف کناره شناور جریان می‌یابد؛ با استفاده از اسپری ریل جریان آب به سمت پایین هدایت داده شده و باعث نیروی برای هیدرودینامیکی می‌شود. در این کار با در دست داشتن تحلیل آزمایشگاهی شناور سرشی در شرایط آب آرام، یکبار با اسپری ریل در موقعیت مکانی ۲۴٪ آب‌خور و یکبار بدون نصب اسپری ریل، که شامل تریم، مقاومت و جابه‌جایی ارتفاع مرکز ثقل شناور می‌باشد؛ با تحلیل عددی آن در شرایط کاملاً یکسان مقایسه شده‌است که داری درصد خطای قابل قبولی می‌باشد. این بهینه‌سازی در شناور که با اعمال اسپری ریل انجام می‌شود، تریم و مقاومت را در سرعت‌های بالا به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد و همچنین تغییرات ارتفاع مرکز ثقل را نیز افزایش می‌دهد. کار حاضر، می‌تواند مرجع معتبری برای بهبود عملکرد شناورهای پروازی در آینده باشد.

واژه‌های کلیدی:

تحلیل عددی، تندرو سرشی، شبیه سازی عددی، شناور سرشی، اسپری ریل

Numerical analysis on resistance and seakeeping performance wave-piercing high speed vessels whit spray rails

Mahshid Amalehkarsangi¹, Sajad Hajizadeh²

Marine Engineering, Engineering Department, Persian Gulf University

Abstract:

In recent decades, speedboats have become extremely important and various hull shapes have been proposed, designed and built to achieve high speeds. High-speed vessels are divided into four groups: single-hull, hydrophilic, surface-effect and multi-hull vessels. Here, the main focus is on the wave piercing vessel with spray rail. Speedboats face various challenges to reach the high speeds intended by the designer. V-shaped transverse vessels do not generate hydrodynamic lifting force well. One way to create a hydrodynamic lifting force in fast vessels is to add a spray rail in the longitudinal direction of the hull. When water flows to the side of the float, the water flow is directed downwards using a spray rail, causing a hydrodynamic lifting force. In this dissertation, with the laboratory analysis of the wave piercing vessel, which includes trim, resistance and displacement of the height of the center of gravity (VCG) of vessel, once in calm water conditions with spray rail at a location of 24%T and once without installing spray rail, it has been compared by numerical analysis under exactly the same conditions, which has an acceptable error rate. This optimization, which is done by applying spray rail, significantly reduces trim and resistance at high speeds, as well as increasing center of gravity height changes. This dissertation can be a reliable reference for improving the performance of planning body vessels in the future.

Keywords:

Numerical analysis, wave-piercing high speed , spray rails

۱- مقدمه

شناورهای تندرو سرشی از جایگاه بسیار مهمی برخوردارند و به لحاظ فرم ویژه‌ای که بدنه آن‌ها دارد با افزایش سرعت خود مقدار قابل توجهی از وزنشان را به وسیله نیروی برآی هیدرودینامیکی جبران می‌کنند. در بعضی از این موارد نیروی برآی هیدرودینامیکی آن‌ها حتی تا نصف وزن نیز می‌رسد.

اگرچه هیدرودینامیک سطوح سرشی به طور کامل شناخته شده نیست و هنوز مجهولات زیادی در این رابطه وجود دارد ولی دانشمندان از سال‌های گذشته تاکنون تلاش زیادی کرده‌اند تا بتوانند با فرمول‌بندی تحلیلی، برخی از مشخصه‌های هیدرودینامیکی آن‌ها را بررسی کنند. به همین منظور به جهت سهولت، اغلب این تحقیقات بر روی سطوح سرشی منشوری صورت گرفته است. در سال‌های گذشته، با توسعه شناورهای تندرو سرشی، سرعت در شناورها افزایش چشمگیری پیدا کرده است.

اگرچه سطح سرشی منشوری به طور کامل شبیه شناورهای تندرو نیست ولی می‌توان از نتایج آن برای تخمین عملکرد یک شناور تندروی واقعی استفاده کرد. این موضوع را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که اغلب شناورهای تندرو پس از رسیدن به حالت سرشی در وضعیتی قرار می‌گیرند که سطح فشاری آن‌ها بسیار شبیه سطح سرشی منشوری است.

شناورهای با مقطع عرضی V شکل نیروی برآی هیدرودینامیکی را به خوبی ایجاد نمی‌کنند. یک روش برای ایجاد نیروی برآی هیدرودینامیکی در شناورهای تندرو اضافه نمودن اسپری ریل در راستای طولی بدنه می‌باشد. هنگامی که آب به طرف کنار شناور جریان می‌یابد؛ با استفاده از اسپری ریل جریان آب به سمت پایین هدایت شده و باعث نیروی برآی هیدرودینامیکی می‌شود

۱-۱ شناورهای پروازی

شناورهای پیشرفته را می‌توان به چهار گروه شناور تک بدنه، هیدرو فویلی، اثر سطحی و چندبدنه تقسیم کرد.

۲-۱ نیروهای وارد بر شناورهای تندرو

بر اساس قانون ارشمیدس، یک جسم با سرعت صفر در سیال با استفاده از نیروی بویانسی، که برابر با وزن سیال جابجا شده است بر روی سطح آب باقی می‌ماند. زمانی که جسم شروع به حرکت می‌کند؛ جریان آب اطراف بدنه علاوه بر یک فشار بویانسی استاتیکی، فشار دینامیکی نیز تولید می‌کند. بدین وسیله، یک سیستم موج، شامل امواج عرضی و واگرا با زاویه معین نسبت به راستای حرکت جسم تشکیل می‌گردد.

امواج مستقیماً با تغییرات فشار در طول بدنه و برآی ایجاد شده، مرتبط می‌باشند. نیروی برآی در قله موج و مکش در قعر موج وجود دارد. در سرعت‌های پایین‌تر، آبخور و تریم شناور مشابه با حالت سرعت صفر هستند و وزن شناور به وسیله نیروهای بویانسی تحمل می‌شود. در این حالت قدرت مورد نیاز نسبتاً پایین بوده و بخش اعظم مقاومت هیدرودینامیکی، ناشی از اصطکاک است. شناوری که در این شرایط به فعالیت می‌پردازد، به عنوان شناور جابجایی شناخته می‌شود. در سرعت‌های بالاتر طول موج تولید شده، بلندتر از طول شناور خواهد بود و شناور بر روی امواج سینه، که به وسیله شناور تولید شده‌اند بالا می‌آید که در نتیجه باعث ایجاد یک فشار منفی در بخش انتهایی بدنه شده و شناور، زاویه یا تریمی^۱ به سمت پاشنه^۲ خواهد داشت و آبخور افزایش پیدا می‌کند. در صورتی که پاشنه ترانسوم^۴ دارای خطوط باتوک تخت باشد؛ جریان مجبور می‌شود تا به آرامی از پاشنه شناور جدا شده و یک فشار دینامیکی مثبت در سرتاسر کف بدنه گسترش یابد. افزایش سرعت در شناور تندرو باعث کاهش تریم و آبخور شناور می‌شود. در این شرایط، شناور از سطح آب جدا شده و اصطلاحاً به آن، حالت پروازی^۵ می‌گویند. در این حالت کل نیروی وارد شده به شناور از نوع نیروی دینامیکی می‌باشد.

زمانی که شناور از سطح آب برخاسته و در شرایط پروازی قرار می‌گیرد؛ تولید موج و مقاومت ناشی از آن به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. شکل (۱) نموداری از رابطه میان مقاومت کل و سرعت یک بدنه پروازی را در مقایسه با بدنه جابه‌جایی نشان می‌دهد. افزایش مقاومت

¹Lift

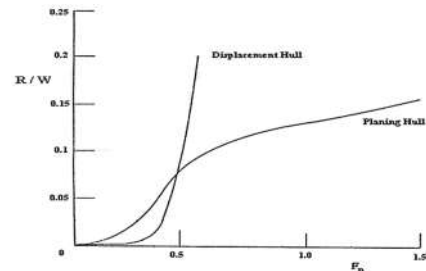
² Trim

³ Stern

⁴ Transom stream

⁵ Planing

در شناورهای جابه‌جایی، مانع از افزایش سرعت می‌شود. هامپ^۶ موجود در منحنی بدنه پروازی مربوط به کاهش مقاومت موج در انتقال میان حالت جابه‌جایی به پروازی است.



شکل (۱): رابطه بین سرعت و مقاومت کل بدنه‌های جابه‌جایی و پروازی

۲- مروری بر کارهای انجام‌شده

اولین سری مطالعات تجربی قابل‌ملاحظه بر روی سطح سرشی منشوری در سال ۱۹۱۰ میلادی توسط بیکر^۷ انجام گرفته‌است [1]؛ ولی اولین نتایج جامع ارائه‌شده تجربی، به‌وسیله سوتورف^۸ گردآوری شده‌است [2]. در همین راستا دانشمندانی نظیر سامبراس، سیدو و لوکو^۹ اقداماتی را انجام داده‌اند؛ بطوریکه حاصل کار همه آن‌ها منجر به تهیه یک مجموعه بزرگ از داده‌های آزمایشگاهی شده‌است [3].

آنچه امروزه بیشتر موردتوجه است و نتایج قابل‌قبولی را ایجاد می‌کند معادلات و روش‌هایی است که بر اساس تحقیقات ساویتسکی^{۱۰} استوار شده‌است. اغلب تحقیقات صورت‌گرفته توسط این دانشمند در آزمایشگاه دیویدسون^{۱۱}، صورت گرفته که از سال ۱۹۴۷ تاکنون به‌طورجدی بر روش‌های تحلیلی و تجربی متمرکز شده- است و تا امروز نیز ادامه دارد. این دانشمند بزرگ هنوز هم به تصحیح نظرات و معادلات خود مشغول است.

در سال ۱۹۴۹، کوروین کروکوفسکی^{۱۲} و ساویتسکی گزارشی را ارائه کردند که در آن به‌طور کامل مشخصات سطح سرشی، درگ و سطح خیس چند بدنه شناور مورد

بررسی قرارگرفت [4]. در سال ۱۹۵۰، مواردی از این نتایج برای توسعه یک روش محاسباتی در تخمین مشخصه‌های سطح سرشی مورد استفاده قرار گرفت.

در سال ۱۹۵۴، ساویتسکی و نیدینگر^{۱۳} این مطالعات را توسعه داده و مطالعات تجربی سطح سرشی را که به معادلات ساویتسکی مشهورند ارائه کردند [5]. بطوریکه با این معادلات محدوده کاربرد متغیرها در پارامترهای سرشی افزایش یافت و بسیار بهتر از چیزی بود که تا قبل از آن ارائه‌شده بود. اگرچه این روش‌ها اصلاحاتی را به خود دیده‌اند ولی تا امروز همچنان معتبر بوده و به‌طور گسترده مورد استفاده هستند.

اولین بار اشتون^{۱۴} در سال ۱۹۴۹ اثر نوارهای اسپری را در طراحی شناورهای قدرتی^{۱۵} بررسی کرد [6]. در روش تخمینی مقاومت شناورهای سرشی که در اکتبر ۱۹۶۴ توسط ساویتسکی منتشرشده و تاکنون نیز مورد استفاده- می‌باشد، تنها به بررسی مؤلفه‌های درگ لزجی و فشاری پرداخته شده‌است [7] این نیروها به سطح کف بدنه سرشی، آن‌هم بعد از خط سکون^{۱۶} وارد می‌شوند. بنابراین لازم است مؤلفه‌های دیگر مقاومت، که سبب بروز خطا در روش ساویتسکی می‌شود مورد مطالعه قرار گیرد. یکی از مهم‌ترین این مؤلفه‌ها، نیروی درگ ناشی از اسپری جاروبکی^{۱۷} است که در جلوی خط سکون اتفاق می‌افتد. این در حالی است که در روش مذکور این مؤلفه به‌حساب نیامده‌است. البته در تحقیقات ساویتسکی - رأس^{۱۸} (۱۹۵۲) [9] و ساویتسکی - نیدینگر^{۱۹} (۱۹۵۴) نیز در مورد مؤلفه درگ اسپری جاروبکی اشاراتی شده‌است اما هیچ‌گاه نتایج تحلیلی کاملی ارائه نشده و مقدار بزرگی این مؤلفه نیز محاسبه نشده‌است.

در سال ۱۹۶۳ کلمنت^{۲۰} تست‌هایی را بر روی پنج مدل مختلف از شناورهای سری ۶۲ انجام داد و در آن‌ها اثرات افزودن نوارهای اسپری (اسپری ریل) در کف شناور را مورد بررسی قرار داد [10].

⁶ Hump: به تداخل نامطلوب امواج سینه و پاشنه شناور گویند، که باعث افزایش مقاومت موج سازی می‌شود.

⁷ Baker

⁸ Sottorf

⁹ Sambras , sedov & locko

¹⁰ Savitsky

¹¹ Davidson laboratory-new jersy-USA

¹² Krovin kroukovsky

¹³ Neidinger

¹⁴ Ashton

¹⁵ Power boat

¹⁶ Stagnation line

¹⁷ Whisker Spray

¹⁸ Ross

¹⁹ Neidinger

²⁰ Clement

روش ارائه شده توسط ساویتسکی برای تخمین میزان مقاومت بدنه سرشی تا سال ۲۰۰۷ به صورت جدی توسط طراحان بکار گرفته می شد؛ البته اکنون نیز با اصلاحاتی قابل استفاده است. در این سال خود ساویتسکی به اصلاحاتی در این روش دست زد و دقت بیشتری به آن بخشیده است. در این روش از مشخصه های هیدرودینامیکی یک سطح سرشی (نیروی برآ، سطح خیس شده، مرکز فشار و ...) برای تعیین شرایط کاری متعادل شناور (تربیم، آبخور، طول خیس شده کیل، طول چاین ها و مقاومت) استفاده شده است. همچنین در روش ارائه شده توسط ساویتسکی می توان با استفاده از بارگذاری ها، زاویه برخاست کف، ابعاد، موقعیت LCG و سرعت به بررسی پدیده ناپایداری طولی^{۲۱} نیز پرداخت. در این روش از معادلات هیدرودینامیکی تنها برای سطح فشاری کف شناور که در قسمت عقب خط سکون قرار دارد استفاده می کنند، اما مشخص است در جلوی خط سکون نیز سطح خیس شده ای وجود دارد که آن را سطح خیس اسپری جاروبکی می نامند. اگرچه این سطح در سال ۱۹۶۴ توسط ساویتسکی معرفی شده ولی تا سال ۲۰۰۷ سهم آن در مقاومت کل شناور به طور دقیق شناخته شده نبود.

۳- معادلات حاکم

اکنون به بررسی معادلات حاکم بر دینامیک سیالات محاسباتی پرداخته می شود. در ادامه مقدمه ای از معادلات مورد استفاده در علم دینامیک سیالات محاسباتی ارائه خواهد شد.

۱-۳ معادله بقای جرم و پیوستگی

معادله بقای جرم پیوستگی را می توان به صورت زیر نوشت:

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

ρ چگالی سیال و u_i مؤلفه سرعت در جهت i می باشد. این معادله به شکل عمومی معادله بقای جرم بوده و برای هر دو جریان تراکم پذیر و تراکم ناپذیر اعتبار دارد. جمله اول سمت چپ، نرخ تغییر چگالی در واحد زمان را بیان می -

کند و جمله دوم بیانگر جریان خالص عبوری از المان- هاست که جابه جایی^{۲۲} نامیده می شود.

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(u_i) = 0 \quad (2)$$

۲-۳ معادله بقای مومنوم

قانون دوم نیوتون بیان می کند که نرخ تغییر اندازه حرکت یک ذره سیال برابر با برآیند نیروهای وارد شده بر ذره است. در نتیجه معادلات بقای مومنوم در جهت کلی i به صورت معادله زیر است:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_j) \\ = -\frac{\partial \rho}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_i} \\ + \rho g_i + F_i \end{aligned} \quad (3)$$

که P فشار استاتیک، تانسور تنش τ_{ij} (که در زیر توضیح داده شده است)، ρg_i و F_i نیروهای جسمی گرانشی جسمی خارجی در جهت i می باشند. F_i همچنین می تواند شامل ترم هایی نظیر مدل محیط متخلخل شود. تانسور تنش τ_{ij} به صورت زیر است:

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

که μ لزجت مولکولی و ترم دوم در سمت راست تأثیرپذیری ناشی از انبساط حجمی می باشد. برای شبیه سازی جریان اطراف شناور تندرو، سیال تراکم ناپذیر در نظر گرفته می شود و جریان سیال ناپایاست.

۳-۳ معادلات حاکم بر جریان آشسته

ابتدا معادلات برای کمیت های لحظه ای، یعنی کمیت های متوسط همراه کمیت های نوسانی نوشته می شود. آنگاه از طرفین هر معادله متوسط گیری زمانی گرفته می شود. البته در این رابطه باید به این نکته توجه نمود که چنانچه تساوی برای معادلات لحظه ای برقرار باشد؛ این تساوی برای متوسط زمانی آن (برای دامنه مشخصی از زمان) نیز برقرار خواهد بود. در نهایت معادلات را ساده سازی کرده تا جایی که کمیت های متوسط زمانی ظاهر گردند.

۱-۳-۳ معادلات پیوستگی برای جریا آشسته

²² convection

²¹ Propoising

برای جریان تراکم پذیر داریم:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \bar{u}_i) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\overline{p'u'_i}) = 0 \quad (5)$$

برای جریان تراکم‌ناپذیر از آنجایی که $\rho=0$ می‌باشد، معادله فوق به صورت زیر در خواهد آمد.

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (6)$$

۲-۳-۳ معادله مومنتوم برای جریان آشفته

$$\rho \left[\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right] \quad (7)$$

$$= \bar{B}_i - \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} - \overline{\rho u'_i u'_j} \right]$$

تنها تفاوت معادله مومنتوم فوق با معادله مومنتوم با کمیت‌های لحظه‌ای، اضافه شدن عبارت آخر در سمت راست معادله یعنی $\overline{\rho u'_i u'_j}$ می‌باشد. این عبارت را اصطلاحاً تنش آشفتگی یا تنش رینولدز می‌گویند. تنها تفاوت معادله جریان آرام با آشفته نیز فقط حضور همین عبارت می‌باشد. به‌طور کلی این عبارت از لحاظ فیزیکی یک تنش نیست، بلکه بیانگر اثر تبادل اینرسی (مومنتوم) می‌باشد. فراموش نشود که این عبارت از سمت چپ معادله مومنتوم یعنی جایی که با عبارت‌های اینرسی سروکار داریم به سمت راست منتقل شده‌است. بنابراین ریشه و بنیان این عبارت از جنس اینرسی مومنتوم می‌باشد.

۴-موقعیت نصب و طراحی اسپری ریل‌ها

می‌توان مرزهای جریان اسپری جاروبکی در طول کف بدنه را چنین بیان کرد.

۱-۴ موقعیت و سطح اسپری ریل‌ها

(۱) محاسبات مقاومت بدنه بدون ریل با طول کیل خیس عملکردی L_K و طول خیس چاین L_C به‌عنوان تابعی از سرعت به دست می‌آید. خط پیوسته L_K و L_C در طول کف بدنه معرف مرز عقبی اسپری جاروبکی است و در صفحه عمودی نسبت به طول مرکزی صفحه، زاویه‌ای برابر α می‌سازد.

(۲) محاسبات مقاومت اسپری جاروبکی مقدار زاویه $\theta = 2\alpha$ را تعریف می‌کند که همان زاویه بین لبه جلویی اسپری و کیل می‌باشد. این مقدار در یک صفحه عمودی نسبت به صفحه مرکزی بدنه (طولی) اندازه‌گیری می‌شود.

(۳) مساحت خیس شده کف توسط اسپری جاروبکی، با لبه‌های جلویی و عقبی اسپری و چاین‌ها مرزبندی می‌شود.

۲-۴ چینش و اندازه اسپری ریل‌ها

بهترین موقعیت عرضی اسپری ریل‌ها تقریباً برابر 0.25 ، 0.5 و 0.75 از کیل در نظر گرفته می‌شوند و موقعیت طولی هر یک از این اسپری ریل‌ها نیز تا کمی بعد از خط سکون ادامه پیدا می‌کند.

چون موقعیت و جهت اسپری تابعی از سرعت و بارگذاری است بنابراین طراحان باید موقعیت مناسب منحرف‌کننده‌ها را برای داشتن بهترین وضعیت در ماکزیمم سرعت در نظر بگیرند. نتایج کلمنت و مطالعات ارائه‌شده، تشریح می‌کند که منحرف‌کننده‌های اسپری، بایستی نسبتاً کوتاه باشند. زیرا اگر آن‌ها دراز باشند و به ناحیه سطح فشار، یعنی جایکه جریان سیال در یک جهت طولی حرکت می‌کند برسند؛ این دراز بودن نه تنها اثری بر جدایش اسپری از بدنه ندارد بلکه بر مقاومت کل شناور نیز می‌افزاید.

۳-۴ شکل مقطع عرضی اسپری ریل‌ها

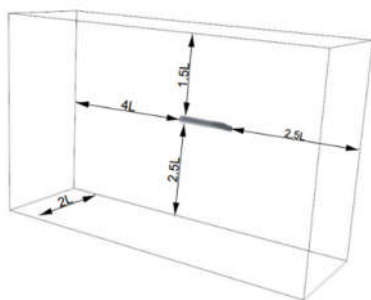
مولرگراف نتایجی را از یک سری مدل تست ارائه کرده‌اند که به‌عنوان سیستم‌های اسپری ریل پیشرفته برای بدنه‌های نیمه جابجایی شناخته شده‌اند. بر همین اساس انجمن بدنه‌های سرشی نیز شکل‌هایی با مقطع مثلثی را برای منحرف‌کننده‌ها پیشنهاد می‌کند که در شکل (۲) آمده است. تیز بودن لبه‌های خارجی برای تسهیل جدایش اسپری از بدنه الزامی است.

مشخصه این مقاطع عبارت‌اند از:

$\xi = 90^\circ$ زاویه شکست منحرف‌کننده اسپری که بزرگ‌تر از 90° درجه است.
 $\delta = 8^\circ$ زاویه کف منحرف‌کننده اسپری که تقریباً برابر 8° درجه است.

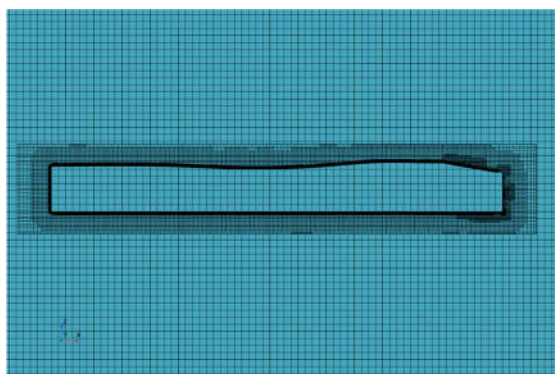
دامنه محاسباتی، ناحیه در فضای سه بعدی است که شبیه سازی در آن صورت می گیرد. چون در شبیه سازی آزمایش مقاومت، مدل ثابت نگه داشته می شود و سیال با سرعت تعیین شده (سرعتی برابر با حرکت مدل در حوضچه کشش) به آن برخورد می کند؛ اندازه دامنه محاسباتی به مراتب از زمانی که مدل با سرعت مشخص در آب آرام حرکت کند کوچک تر است.

Simcenter STAR-CCM+



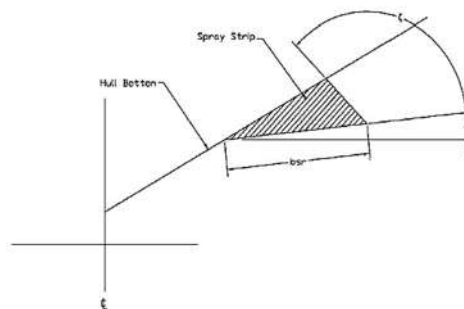
شکل (۴) ابعاد دامنه محاسباتی آزمایش برحسب طول بین دو عمود طبق استاندارد ITTC

شبکه بندی حجمی شامل شبکه های شش وجهی است که به صورت غیر سازمان یافته^{۲۵} تولید می شود به منظور ایجاد چنین شبکه ای، نرم افزار STAR CCM+ از تابع شبکه تراش خورده^{۲۶} استفاده می نماید. همچنین جهت دستیابی به تخمینی مناسب از تنش های برشی، بر روی سطح بدنه از شبکه بندی لایه مرزی^{۲۷} جهت گسسته سازی استفاده می گردد [11].



شکل (۵): شبکه بندی لایه مرزی پیرامون بدنه مدل (نما از بغل)

$bsr =$ پهنای منحرف کننده اسپری که تقریباً $0.005LWL$ است.

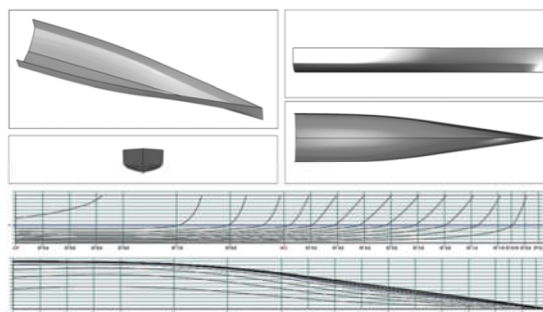


شکل (۲): هندسه نمای جانبی اسپری ریل های مرسوم

۵- شبیه سازی های هندسی و عددی

۵-۱ مدل سازی هندسی مسئله مورد نظر

شناور مورد مطالعه طبق ابعاد مدل مورد بررسی در مقاله ی مورد نظر با استفاده از خطوط بدنه ی ارائه شده در مقاله رسم و مدل سازی هندسی شده است.



شکل (۳): مشخصات هندسی ارائه شده از شناور مورد مطالعه [8]

۵-۲ شبیه سازی عددی مسئله مورد نظر

در این شبیه سازی جهت مدل سازی جریان آشفته از مدل آشفته گی $K - \epsilon$ دو لایه تحقق پذیر استفاده شده است. همچنین به منظور مدل سازی سطح آزاد سیال مدل VOF مورد استفاده قرار گرفته است. رفتار دینامیکی مدل دارای دو درجه آزادی هیو^{۲۳} و پیچ^{۲۴} است. در نتیجه برای مدل سازی این درجات آزادی از به کارگیری مدل DFBI شبیه سازی می شود. ابتدا نیاز است هندسه ی مدل سازی شده از بخش قبل را با دقت مورد نیاز به محیط نرم افزار شبیه سازی عددی وارد کنیم. دقت ترسیم هندسه یا تolerانس طراحی طبق استاندارد و راهنمای نرم افزار استار-سی سی ام، 10^{-6} میلی متر در نظر گرفته می شود.

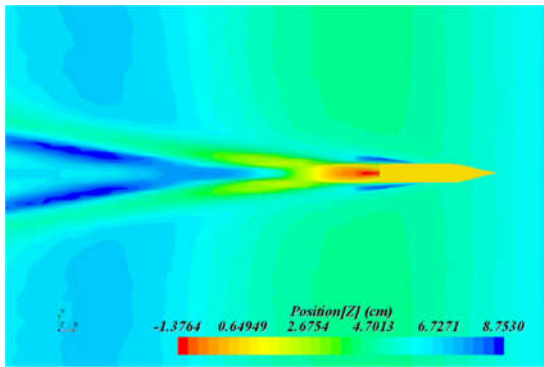
²⁵ Unstructured

²⁶ Trimmer Mesh

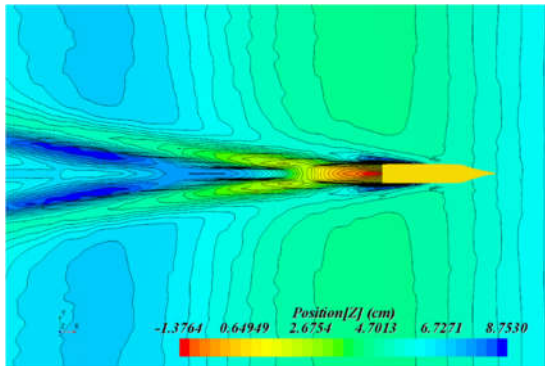
²⁷ Prism Layer

²³ Heave

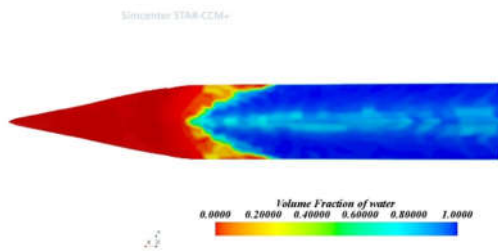
²⁴ Pitch



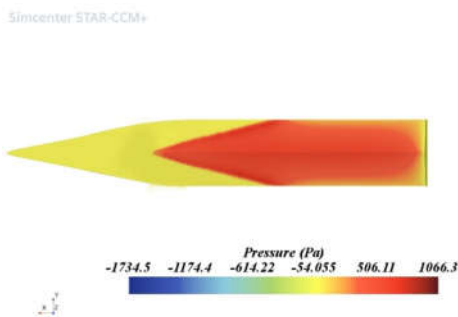
شکل (۸): سیستم موج کلوین به وجود آمده در سطح آزاد حاصل از آزمایش



شکل (۹): سیستم موج کلوین به وجود آمده در سطح آزاد نمایش به صورت وکتور



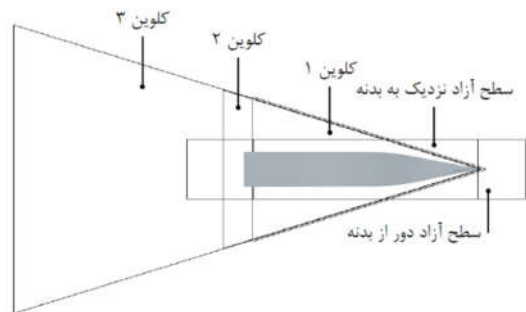
شکل (۱۰): نسبت حجمی آب و هوا در کف مدل پس از شرایط پایا



شکل (۱۱): توزیع ضریب فشار بر روی بدنه در حالت پایا

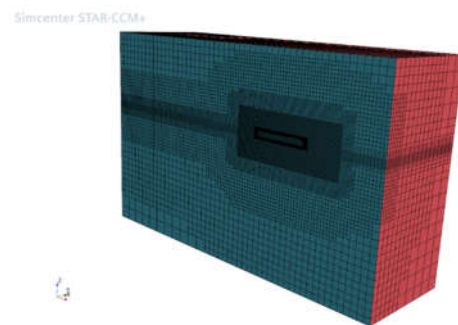
مدل ابتدا در آب آرام و یکبار با پوسته خالی و یکبار با موقعیت‌های مکانی اسپری ریل ۲۴٪ آب‌خور در حوضچه

ناحیه‌های کلوین ۱، کلوین ۲، کلوین ۳ جهت مدل‌سازی موج کلوین تعریف و ابعاد آن بر اساس نظریه موج کلوین تعیین شده‌است.



شکل (۶): نواحی بهبود شبکه در محیط شبیه‌سازی عددی (نما از بالا)

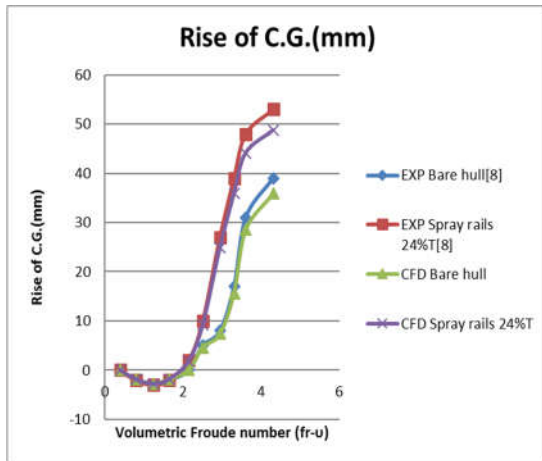
نمای کلی شبکه‌بندی حجمی دامنه‌ی محاسباتی در صفحه‌ی تقارن ارائه گردیده است.



شکل (۷): نمای کلی شبکه‌بندی حجمی دامنه‌ی محاسباتی (نما از صفحه‌ی تقارن)

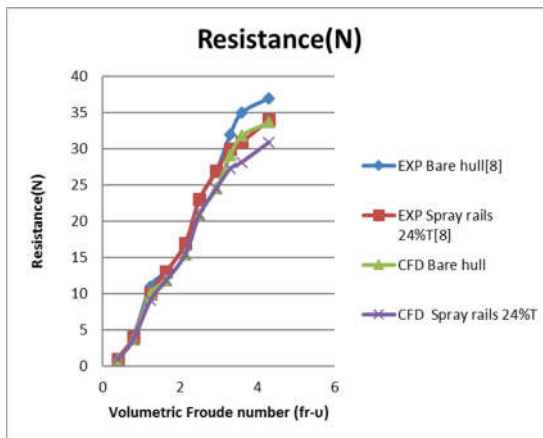
۶- نتایج

یکی از ویژگی‌های رسیدن به حالت پایا در شبیه‌سازی آزمایش مقاومت، تشکیل سیستم موج کلوین است. شکل ۸ و شکل ۹ موج کلوین تشکیل شده ناشی از برخورد سیال به مدل را در حالت پایا به نمایش می‌گذارد. در این شکل نقاط پرفشار در سینه و پاشنه شناور که موج ایجاد قله موج ایجاد گردیده، قابل مشاهده است. در انتهای دامنه محاسباتی شرایطی در نظر گرفته شده است که موج انتشاری پس از توسعه میرا گردد. این امر از برخورد امواج به خروجی دامنه و بازگشت مجدد آن به سوی شناور جلوگیری می‌کند.



شکل (۱۳): مقایسه‌ی نتایج عددی و آزمایشگاهی برای افزایش ارتفاع مرکز ثقل شناور در حالت نصب اسپری ریل و پوسته خالی بدنه

با مقایسه شرایط آزمایشگاهی مشاهده می‌شود که مقاومت شناور در سرعت‌های بالا در بدنه دارای اسپری-ریل، کمتر از بدنه بدون اسپری ریل است. در تست عددی شناور هم این نتایج با درصد خطای ۰,۰۹ که در محدوده قابل قبولی قرار دارد نمایش داده شده است.

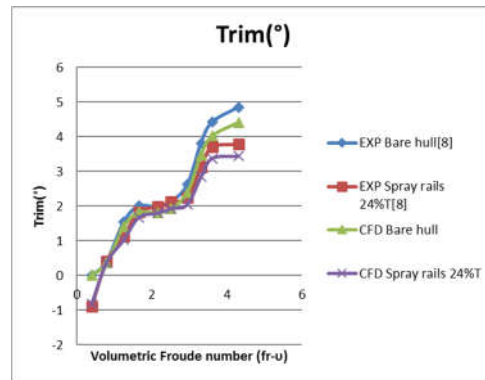


شکل (۱۴): مقایسه‌ی نتایج عددی و آزمایشگاهی برای مقاومت شناور در حالت نصب اسپری ریل و پوسته خالی بدنه میزان درصد خطای نتایج عددی با آزمایشگاهی در نمودار تریم حدود ۹ درصد است که از رابطه‌ی زیر محاسبه شده است.

$$Error = \frac{Exp\ value - Nom\ value}{Exp\ value} \times 100 \quad (۸)$$

کشش تست شده است و تریم، مقاومت و افزایش مرکز ثقل^{۲۸} محاسبه شده است.

آزمایش‌های مقاومت در شرایط آب آرام در حالت پوسته خالی نشان می‌دهد که تریم در سرعت‌های بالا افزایش پیدا می‌کند (در عدد‌های فرود بالای ۳/۳۲۶ که معادل سرعت ۴۰ نات در شناور اصلی است). بیرون آمدن سینه شناور به دلیل تریم بیش از اندازه و برخورد کف سینه شناور به جای لبه‌ی تیز سینه شناور باعث اسپری و پاشش آب به اطراف بدنه می‌شود. با مقایسه شرایط آزمایشگاهی مشاهده می‌شود که تریم در سرعت‌های بالا در بدنه دارای اسپری ریل، کاهش قابل توجهی نسبت به بدنه بدون اسپری ریل دارد. در تست عددی شناور هم این نتایج با درصد خطای ۰,۰۹ که در محدوده قابل قبولی قرار دارد نمایش داده شده است.



شکل (۱۲): مقایسه‌ی نتایج عددی و آزمایشگاهی برای تریم شناور در حالت نصب اسپری ریل و پوسته خالی بدنه با مقایسه شرایط آزمایشگاهی مشاهده می‌شود که ارتفاع مرکز ثقل در سرعت‌های بالا در بدنه دارای اسپری ریل، بیشتر از بدنه بدون اسپری ریل است. در تست عددی شناور هم این نتایج با درصد خطای ۰,۰۸ که در محدوده قابل قبولی قرار دارد نمایش داده شده است.

²⁸ Rise of CG

[۶] Ikeda, Y, Katayma, T. porpoising oscillations of very-high-speed marine craft, Phil.Trans.R.Soc.Land.A.358, 2000.

[۷] Savitsky.D ,Morabito,Morabito,M. Surface wavecontors associated with the forebody wake of stepped planing hull, Meeting of the NEW YORK Metropolitan Section of The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 2009.

[۸] Jeonghwa Seo, Hak-Kyu Choi, Uh-Cheul Jeong, Dong Kun Lee, Shin Hyung Rhee, Chul-Min Jung, Jaehoon Yoo. Model tests on resistance and seakeeping performance of wave-piercing high-speed vessel with spray rails. *Ocean Engineering July 2016*.

[۹] Savitsky. Daniel, Michael F. DeLorme, and Raju Datla. Inclusion of whisker spray drag in performance prediction method for high-speed planing hulls. *Marine Technology* 44.1, 2007.

[۱۰] Pierson,J.D.and Leshnover S, An analysis of fluid flow in the spray root and wade region of flat planing surface. Davidson Laboratory Technology Report NO.382, 1958.

[۱۱] ITTC – Recommended Procedures and Guidelines (Practical Guidelines for Ship Self-Propulsion CFD), 2014.

۷- نتیجه گیری:

جهت مشاهده و مقایسه‌ی رفتار شناور تندرو ویو پیرسینگ، این بدنه در محیط نرم‌افزار Star CCM ، یک‌بار بدون نصب اسپری ریل و بار دیگر با نصب اسپری- ریل تست شده است و در نهایت نتایج بدست‌آمده از این تست با نمونه‌ی آزمایشگاهی خود مقایسه شده‌است. تست‌هایی که از بدنه گرفته شده‌است به شرح زیر می-باشند:

۱-تست زاویه‌تیریم شناور

۲-تست ارتفاع مرکز ثقل شناور

۳-تست مقاومت شناور

در هر سه تست شناور در محیط نرم افزاری، بهبود در شرح‌حال‌های بالا حاصل شده‌است. به این صورت که تیریم و مقاومت شناور در سرعت‌های بالا در بدنه دارای اسپری- ریل، کمتر از بدنه بدون اسپری ریل شده است. همچنین مشاهده می‌شود که ارتفاع مرکز ثقل در سرعت‌های بالا در بدنه دارای اسپری ریل، بیشتر از بدنه بدون اسپری ریل است.

منابع:

[1] Holloway, Damien Scott. A high froude number time domain strip theory applied to the seakeeping of semi-SWATHs. Diss. University of Tasmania, 1999.

[۲] Savisky,d. chapter iv planning craft of modern ship and craft, Naval Engineers Journul, 1985.

[۳] Pierson,JD. and Leshnover, An Analysis of fluid flow the spray root and wade region of flat planing surface davidson laboratory technical report No.335, 1948.

[۴] Smiley, Robert F. A Semiempirical Procedure for Computing the Water-Pressure Distribution on Flat and V-Bottom Prismatic Surfaces During Impact or Planing. No. NACA-TN-2583. NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION WASHINGTON DC, 1951.

[۵] Shoemaker, J.M. Tank tests of flate and V-bottom planing Surface , NACA TN 509, 1934.