بررسی حرکات شناور هیدروفویلی در امواج منظم و نامنظم

حسن کریمی باصری'، جلیل فریدونی'، محمد مونسان*"، مهدی عجمی[†]

^۱ کارشناسی ارشد مهندسی معماری دریایی، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی مکانیک، (hassankarimibaseri@gmail.com)

- ^۲ استادیار، مجتمع دانشگاهی مکانیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، (<u>i.fereidooni@gmail.com</u>)
 - ^۳ استادیار، دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده مهندسی عمران، (<u>m.moonesun@gmail.com</u>)
 - ^۴ استادیار، دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده مهندسی عمران، (<u>Mahdi.adjami@gmail.com</u>)

اطلاعات مقاله

ناریخچه مقاله: تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۱۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۱/۱۲

> *کلمات کلیدی:* تحلیل دریامانی شناور هیدروفویلی شناور سرشی امواج منظم و نامنظم

چکیدہ

در این مقاله مهمترین شاخص شناورهای هیدروفویلی یعنی دریامانی آنها در در معرض امواج منظم و نامنظم تحت زوایای مختلف برخورد موج با شناور مورد بررسی قرار گرفتهاست. شبیه سازی عددی با استفاده از نرم افزار +STAR CCM انجام شده است. حرکات سرج، هیو، رول و پیچ همزمان آزاد نگه داشته شدهاند و تاثیرات آنها بر روی یکدیگر لحاظ شدهاست. جهت صحتسنجی شبیهسازی انجام شده از مدل USV01 که نتایج تست آزمایشگاهی آن وجود دارد استفاده شدهاست. نتایج نشان میدهد که افزایش و تغییر در مؤلفههای موج منظم و سرعت شناور، باعث ایجاد تغییرات کمتری در حرکات شناور هیدروفویلی نسبت به شناور سرشی میشود بجز در مواجهه امواج پاشنه با شناور که در این حالت شناور سرشی در مجموع عملکرد بهتری از خود نشان میدهد. بنابراین باید گفت خطرناکترین حالت برای شناور هیدروفویلی روایای برخورد کمتر از ۹۰ درجه علیالخصوص زاویه برخورد صفر درجه یعنی امواج پاشنه است.

Analysis of Dynamics of hydrofoil craft in regular and irregular waves

Hassan Karimi Baseri¹, Jalil Fereidooni², Mohammad Moonesun^{3*}, Mehdi Adjami⁴

¹ MSC in Naval Architecture, Malek Ashtar University of Technology; <u>hassankarimibaseri@gmail.com</u>

² Department of Mechanical Engineering, Malek-Ashtar University of Technology, <u>j.fereidooni@gmail.com</u>

³ Faculty of Civil engineering, Shahrood University of Technology; <u>m.moonesun@gmail.com</u>

⁴ Faculty of Civil engineering, Shahrood University of Technology; <u>Mahdi.adjami@gmail.com</u>

ARTICLE INFO

Article History: Received: 06 Jan 2023 Accepted: 01 Apr 2023

Keywords: Seakeeping Analysis Hydrofoil Craft Planing Craft Regular and Irregular Waves

ABSTRACT

In this article, the most important specifications of hydrofoil floats, i.e. their seakeeping under regular and irregular waves under different encounter angles of wave, has been investigated. Numerical simulation has been done using STAR CCM+ software. Surge, heave, roll and pitch motions are kept free at the same time and their effects on each other are taken into account. USV01 model, whose laboratory test results are available, was used to validate the simulation. The results show that the increase and change in the regular wave components and speed of the craft, cause less changes in the movements of the hydrofoil craft compared to the planing craft, except in the following sea, where planing craft performs better overall. Therefore, it should be said that the most dangerous situation for a hydrofoil craft is encounter angles less than 90 degrees, especially zero-degree encounter angle, i.e. following sea.

۱– مقدمه

امروزه در کشور ما تعداد زیادی از شناورهای تک بدنه و دو بدنه نظامی و تجاری وجود دارند که بخش عمده از آنها در فورس دریایی بالا (بالاتر از ۳) دچار حرکات شدیدی شده و عملاً غیرقابل استفاده هستند. یک نقطه ضعف عمده در شناورهای تک بدنه، خواص دریامانی ضعیف و شدت زیاد حرکات در امواج میباشد تغواص دریامانی ضعیف و شدت زیاد حرکات در امواج میباشلا قایقهای تندرو نیز میباشد که در فورسهای دریایی متوسط و بالا دچار حرکات شدید شده و عملاً کارایی عملیاتی خود را از دست میدهند. همچنین ناوچهها و کشتیهای بزرگتر نیز در دریای عمان با این مشکل در برخی فصول سال مواجه هستند. این موضوع وقتی حادتر میشود که شناورهای مورد نظر در محدوده اقیانوسی (دریای عمان) بخواهند حرکت کنند این مسأله برای شناورهای نظامی از اهمیت دو چندانی برخوردار است چراکه شناورهای نظامی در شرایط جنگی نباید صحنه نبرد را به خاطر مواج شدن یا مواج بودن دریا ترک کنند.

شناورهای هیدروفویلی دارای دو یا چند بال با مقطع فویل (که بدان هیدروفویل گویند) در زیر بدنه هستند که به کمک این بالها، شناور از سطح آب جدا شده و میتواند با سرعت بالایی حرکت کند (شکل ۱). نیروی برآ ی تولید شده توسط هیدروفویل ها با سرعت شناور متناسب بوده و به توان دو آن افزایش خواهد داشت. با افزایش سرعت شناور، نیروی برآ نیز افزایش خواهد یافت و این افزایش به حدی خواهد بود که بدنه شناور از سطح آب جدا می شود که منجر به کاهش سطح خیس شناور و در نتیجه کاهش مقاومت می شود بنابراین شناور می تواند به سرعت های بالا برسد. در این زمان با توجه به جدا شدن بدنه از سطح آب، نیروی مقاوم یکباره کاهش خواهد یافت. پس از بلند شدن بدنه از سطح آب بایستی نیروی برآ ثابت باقی بماند[1]. ولی باید توجه داشت که فلسفه اصلی طراحی هیدروفویل در زیر بدنه صرفاً رسیدن به سرعتهای بالا نیست (چراکه این مزیت را با انواع دیگر شناورها نیز مى توان بدست آورد) بلكه علت عمده، خواص دريامانى خوب اين شناورها در حالت بلند شدن بدنه از سطح آب است. در این حالت، حجم بویانسی اصلی بدنه از سطح آب فاصله می گیرد و فقط فویلهایی کوچک در داخل آب باقی میمانند بطوریکه در معرض امواج، تغییرات بویانسی بسیار ناچیزی اتفاق میافتد که قابل صرف نظر است و شناور دارای حرکات بسیار آرام و پایدار خواهد بود. در نتيجه، اين شناورها سه مزيت عمده را توام باهم خواهند داشت: 1) رسیدن به سرعت بالا در آب آرام 2) حفظ این سرعت بالا در دریای مواج 3) نوسانات و تلاطم بسیار کم در معرض امواج بزرگ دريا.



شکل ۱: مشخصات ظاهری شناور هیدروفویلی (کاملاً مغروق)

دو نوع سیستم هیدروفویلی که امروزه بیشتر مورد توجه قرار گرفتهاند سیستم هیدروفویلی شکافنده سطح و سیستم هیدروفویلی کاملاً مغروق میباشد که از آنها برای پیکر بندی شناورهای هیدروفویلی استفاده میشود. با تغییر عمق غوطهوری هیدروفویل های شکافنده سطح، مساحت سطح خیس آنها افزایش و کاهش مییابد و به طور خودکار تثبیت ارتفاع را فراهم می کنند. ممچنین به دلیل V شکل بودن، میتوانند ثبات جانبی خود را داشته باشند. اما هیدروفویل های کاملاً مغروق نمیتوانند به تنهایی پایداری هیدرودینامیکی کافی داشته باشند. با این حال، کنترل و تثبیت پیکربندی هیدروفویل های کاملاً مغروق با استفاده از یک سیستم کنترل «مصنوعی» مناسب امکانپذیر استفاده از یک سیستم کنترل «مصنوعی» مناسب امکانپذیر کنترل از راه دور (مکانیکی، الکتریکی، و غیره) انجام میشود توجه داشت که حفظ پایداری هیدرودینامیکی در هیدروفویل های کاملاً مغروق دشوار است.

شناور دارای هیدروفویل کاملاً مغروق نیروی مقاوم بالاتری در منحنی هامپ و سرعت برخاستن کمتری نسبت به شناور دارای هیدروفویل شکافنده سطح دارد. این نیروی پسای اضافی که برای هیدروفویلهای کاملاً مغروق به وجود میآید به علت نیاز آنها به تولید نیروی بالابرنده لازم برای رسیدن به سرعت بالابرنده طراحی شده است که از طریق تغییر زاویه حمله (افزایش آن) به وجود میآید و در نتیجه نیروی پسای بیشتری بطور همزمان تولید مینماید[2].

در زمینه شناورهای هیدروفویلی و تحلیل حرکات آنها در معرض امواج مطالعات نسبتاً خوبی در خارج از کشور انجام گرفته است ولی متأسفانه در داخل کشور در این زمینه دانش اندکی موجود است. با بررسی برخی مقالات انجام شده در این زمینه، این مطلب دریافت شد که تا به امروز تحقیقات صورت گرفته بدین گونه بوده است که عمدتاً خواص دریامانی یک شناور تندرو مانند شناور سرشی یا کاتاماران نسبت به زمانی که یک تک فویل در سینه شناور نصب شده باشد، بررسی و مقایسه شده است[5–3]. بعلاوه اینکه فقط برخورد موج از رو به رو مورد بررسی قرار گرفته است و پاسخ شناور به دیگر زوایای برخورد موج از جمله موج از بغل (موج

با زاویه 90 درجه) مورد توجه نبوده است. که البته این خود نشان از اهمیت تحقیق و به روز بودن موضوع دارد. اگر چه مطالعات بر روی دریامانی شناورهای هیدروفویلی و حتی به طور کلی شناورهای هیدروفویلی بسیار محدود صورت پذیرفته است، اما مطالعات زیادی چه در خارج از کشور و چه در داخل کشور بر روی پدیدههای مربوط به هیدروفویل ها مانند کاویتاسیون، اثرات سطح آزاد بر روی نیروی برآ ی هیدروفویل ها و ... انجام شده است[11–6].

وجه تمایز شاخص این تحقیق استفاده از دو هیدروفویل بر روی بدنه اصلی شناور است که یکی در عقب شناور و دیگری در قسمت جلوی شناور قرار میگیرد. استفاده از دو هیدروفویل تأمین پایداری طولی را به شدت سخت میکند. بعلاوه اینکه در این پژوهش از سیستم کاملاً مغروق استفاده شده است که نسبت به سیستم شکافنده سطح پایداری عرضی کمتری دارد. اما دلیل اینکه این نوع سیستم در سالهای اخیر بیشتر مورد توجه قرار گرفته است این است که هیدروفویل های کاملاً مغروق نسبت به هیدروفویل های شکافنده سطح در سرعت کمتری شناور را از آب جدا میکند و در سرعتهای بالاتر دارای مقاومت کمتری هستند. علاوه بر این هیدروفویل های شکافنده سطح سبب بالا و پایین شدن و تکانهای شدید در شناور شده و در شناورهای بزرگ

۲_شرح فیزیک مسئله و اعتبار سنجی

۱_۲ مشخصات شناور

بدنه اصلی که برای قایق هیدروفویلی استفاده می شود تقریباً همان عملکرد سایر شناورهای دریایی را دارد، یعنی حمایت شناوری (در حالت شناور یا در حالت استراحت)، و ایجاد فضای بسته و غیره. به طور تقریبی، بدنهای که ثابت شده باشد بدون فویل با سرعت نزدیک به سرعت برخاستن موفقیت آمیز است، در صورت برآورده شدن برخی دیگر از الزامات، برای بدنه اصلی یک شناور هیدروفویلی مناسب است. بنابراین بدنهای که برای یک شناور قایق معمولی مناسب است ممکن است به طور کلی شبیه یک مدد است[21]. در این پژوهش یک مدل آزمایشگاهی از شناور شده است[21]. در این پژوهش یک مدل آزمایشگاهی از شناور استرات ها بر روی آن نصب شوند انتخاب شده است. این شناور یک شناور سرشی است. مدل سه بعدی این شناور در نرم افزار مشخصات آن آورده شده است که درشکل ۲ و شکل ۳ و جدول ۱ مشخصات آن آورده شده است که درشکل ۲ و شکل ۳ و جدول ۱



شکل ۲ : شناور USV01 طراحی شده در نرم افزار Rhino



شکل ۳: خطوط بدنه شناور USV01 [3]

	1-1		
0	زاويه تريم اوليه (درجه)	2.75	طول سراسری (متر)
1.048	مر کز ثقل طولی (متر)	0.87	عرض (متر)
58.6	اینرسی چرخشی	0.325	عمق قالببندى شده
	(كيلوگرم بر متر مربع)		(متر)
18	زاويه خيز كف (درجه)	125.4	جابجایی (کیلوگرم)
0.1334	ارتفاع عمودي مركز ثقل	0.132	آبخور (متر)
	(متر) *		
*ارتفاع عمودی مرکز ثقل با استفاده از دیگر مشخصات شناور محاسبه شده			
			است.

جدول ۱: مشخصات شناور USV01 [3]

۲_۲ معادلات حاکم

معادله پیوستگی و معادله N-S (معادله ناویر_استوک) به عنوان معادلات حاکم در نظر گرفته شدند. برای جریان ویسکوز و تراکم ناپذیر معادلات پیوستگی و حرکت میتوانند به شرح زیر باشند: $\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0$ (1)

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(v \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho \overline{u'_i u'_j} \right) + S_i$$
^(Y)

که در آن $p_i, j = 1, 2, 3$ چگالی سیال، ϑ ضریب ویسکوزیته سینماتیک و u_i , u_j مؤلفه سرعت گذرا هستند و u_i' , u_j مؤلفه سرعت نوسانی (بالا رونده و پایین رونده) و $\overline{u_i'u_j'}$ مؤلفه سرعت متوسط هستند همچنین S_i چشمه (منبع) است[13].

۲_۳ رفتار سطح آزاد چگونگی ردیابی دقیق محل اتصال دو سیال یک بخش تحقیقاتی مهم برای مسئله جریان دو فازی است. در پژوهش حاضر، از روش

nter STAR-CCM+



شکل ۵: نمای از رو به رو و نمایش ابعاد دامنه محاسباتی در کلیه حالتها برای ورودی و کلیه مرزهای جانبی دامنه، شرط مرزی سرعت ورودی^۱ و برای مرز خروجی جریان، شرط مرزی فشار خروجی^۲اعمال گردید. شرط مرزی شناور نیز دیواره بدون لغزش خواهد بود. دامنه محاسباتی و شرایط مرزی حل نیز در شکل ۶ آورده شدهاست.



شکل ۶: دامنه محاسباتی و شرایط مرزی حل

۲_^۵ شبکه بندی و استقلال از شبکه شناور سرشی

اولین مرحله جهت انجام شبیهسازی عددی جریان در داخل یک میدان، که بهویژه در مورد جریانهای لزج، بایستی به دقت انجام گیرد، شبکهبندی میدان و تبدیل آن از یک محیط پیوسته به محیط گسسته به منظور اعمال روشهای عددی میباشد. در این پژوهش، از شبکهبندی هیبرید استفاده شدهاست. شبکه در نرم افزار +STAR CCM به روش تریمر تولید شدهاست.

شبکه اطراف سطح شناور ریزتر شده تا حدی که تغییرات به خوبی دیده شوند. همچنین شبکه مربوط به سطح آزاد آب ریز می شود تا امواج ب درستی شکل بگیرند. از آنجایی که از مدل شبکه تریمر

¹ Velocity Inlet

- ² Pressure outlet
- ³ Trimmer

حجم محدود برای گسسته سازی معادله حاکم استفاده شده است

و رایج ترین روش تعقیب سطح آزاد سیال، روش VOF است. روش VOF (حجم سیال) که توسط نیکولز و هیرت [14] در سال 1981 پیشنهاد شد، عمدتاً از ردیابی ناحیه مایع برای ثبت شکل سطح آزاد سیال و مکان آن استفاده می کند. اصل اساسی روش VOF محاسبه تابع نسبت حجمی F یک سیال در یک سلول شبکه است. در اینجا تابع F برای تعیین سطح مرزی جریان دو فازی، با درک تغییر حجم سطح آزاد سیال استفاده میشود[15]. فضای سلول شبکه تعریف میشود. به طور خلاصه، اگر مایع فضای سلول شبکه تعریف میشود. به طور خلاصه، اگر مایع مشخصی در سلول وجود نداشته باشد، 0 = F. اگر مرزی بین سیال مشخص شده و سیال دیگر در سلول شبکه وجود داشته باشد، 1 > F > 0 . اگر سلول شبکه پر از سیال مشخص شده باشد، 1 = F. تابع F معادله دیفرانسیل زیر را برآورده می کند:

$$\frac{\partial F}{\partial t} + u \frac{\partial F}{\partial x} + \vartheta \frac{\partial F}{\partial y} + w \frac{\partial F}{\partial z} = 0 \qquad (r)$$

۲_۶ دامنه محاسباتی و شرایط مرزی

میدان محاسباتی و شبکه اطراف شناور در نرم افزار -STAR + CCM ساخته شده و جریان سیال در آن دامنه تحلیل شده است. برای تأیید صحت محاسبات عددی، ابعاد شبکه سطح بدنه و سطح مرزی دامنه محاسباتی همگی به صورت نسبتی از طول شناور (L) بیان شده است. همچنین برای جلوگیری از مشکلات احتمالی جریان مانند بازتاب موج، مرزهای دامنه محاسباتی باید به اندازه کافی دور از بدنه کشتی قرار گیرد. علاوه بر این برای شبیه سازی حرکت کشتی درشرایط امواج، دامنه محاسباتی باید بتواند حداقل پنچ طول موج کامل را در خود جای بدهد با توجه به این نکته ابعاد انتخاب شده دامنه محاسباتی همانند آنچه در شکل ۴ و شکل ۵ نشان داده شده است تنظیم میشود. مربع کوچکی که در اطراف شناور دیده میشود حجم کنترل است که در بخش شبکه بندی توضیح داده خواهد شد.



شکل ۴: نمای جانبی و نمایش ابعاد دامنه محاسباتی

استفاده می شود، به کمک ایجاد هندسه های غیر دامنه ای و کنترل حجمی شبکه^۴ ایجاد شبکه با دقت و کنترل بسیار زیادی امکان یذیر است. شکل ۷، شکل ۸ و شکل ۹ شبکهبندی دامنه را همراه با کنترلهای حجمی نشان میدهد.



شکل ۷: شبکهبندی اطراف شناور سرشی از نمای بالا



شکل ۸: شبکهبندی اطراف شناور سرشی از نمای جانبی



شکل ۹: شبکهبندی روی بدنه شناور سرشی در ناحیه سینه و پاشنه

هرچقدر سلولهای شبکه ریزتر شوند، دقت محاسبات و همچنین هزینه محاسبات افزایش می یابد؛ بنابراین یافتن شبکهای که از نظر هزینه محاسباتی و دقت در یک نقطه بهینه قرار داشته باشد، حائز اهميت است.

نتایج نهایی مطالعه شبکه در شکل ۱۰ آورده شدهاست (مقادیر هيو و پيچ فاصله قله تا قعر حركت سينوسي ميباشد كه در بخش

⁴ Volumetric Control

یافتههای تحقیق توضیح داده خواهد شد). شبکه بندی در پنج سطح انجام شده است که درشتترین سطح آن، حدود 130 هزار سلول دارد و ریزترین سطح آن، تقریباً 2 میلیون سلول را شامل می شود. طبق این نمودار، سطح شبکهبندی شماره 4 (با تعداد سلول حدود یک میلیون و دویست و پنجاه هزار) اندازه بهینه می باشد و به عنوان شبکهبندی نهایی انتخاب می گردد. تصاویر مربوط به شبکه بندی سطح 4 در شکل ۴، شکل ۵، شکل ۷، شکل ۸ و شکل ۹ قابل مشاهده است.



شکل ۱۰: نمودار هیو و پیچ برحسب تعداد سلولهای شبکه

برای محاسبات کلی هیدرودینامیکی، مقدار +Y بین 30 تا 300 کنترل می شود، به این ترتیب، مقدار +Y روی 250، برای مدل مبتنى بر تابع ديواره، پنج لايه با نرخ رشد شبكه 1.3 تنظيم شد [۳]. در شکل ۱۱ کانتور +Y ارائه شده است.



۲ ⁹ شرایط و تنطیمات شبیه سازی

تحلیل جریان به صورت گذرا با چگالی ثابت تنظیم گردیده است. در جدول ۲ خلاصهای از شرایط حل آمده است.

جدول ۲: تنظيمات حل

مورد	تنظيمات	توضيح	
Space	Three-Dimensional	مدل سەبعدى	
Time	Implicit Unsteady	زمانبندی در حالت ناپایا	
Material	Multiphase	ماده: چند فازی (دوفازی)	
Multiphase Model	Volume of Fluid (VOF)	مدل چند فازی: حجم سیال (VOF)	
Viscous Regime	Turbulent	نوع جريان: مغشوش	
Turbulence Models	RANSE k – ω Realizable	مدل اغتشاشی: رنز	

در شبیهسازیهای گذرا، باید تعداد تکرار در هر گام زمانی نیز مشخص شود. در این پژوهش هر گام زمانی در ۵ تکرار حل می شود. چگالی آب ۹۹۷٬۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب و ویسکوزیته ديناميكي آب ۰٫۰۰۰۸۸۹ ياسكال ثانيه تنظيم شده است.

۲ ۷ استقلال از گام زمانی

در شبیه سازی های گذرا علاوه بر تعریف گام زمانی^۵میبایست استقلال از گام زمانی نیز انجام شود. بدین منظور گام زمانی را در هر مرحله کوچک میکنیم تا جایی که نتایج (در این جا حرکات هيو، پيچ و شتاب مركز ثقل) تقريباً ثابت شوند. نتيجه اين كار برای پژوهش حاضر در شکل ۱۲ آورده شده است. با توجه به نمودار، حركات براى مقادير كمتر از 0.002 ثانيه (يعنى مقادير 0.001 ثانيه و 0.0005 ثانيه) تقريباً ثابت است. بنابراين مقدار 0.002 ثانيه براي گام زماني تنظيم مي شود.



شکل ۱۲: استقلال از گام زمانی

۲_^ اعتبارسنجی (مقایسه نتایج تجربی و عددی)

در شروع فرآیند شبیهسازی عددی و پیش از حل مسئله اصلی، معمولاً شبیهسازی یک آزمایش تجربی که جزئیات و نتایج آن در دسترس است، انجام می شود و نتایجی که به دست می آید با نتایج آزمایش مقایسه می گردد تا میزان خطا و دقت روش حل مشخص شود. این فرایند، اعتبار سنجی ^عنامیده می شود.

آزمایش تجربی که برای اعتبارسنجی استفاده شده در آزمایشگاه هيدروديناميكي پرسرعت موسسه تحقيقات ويژه هواپيماهاي چین $^{\gamma}$ (موسسه شماره 605) انجام شده است. این آزمایشات به منظور بررسی عملکرد دریامانی و مقاومت شناور سرشی در امواج منظم انجام شده است[3].

آزمایشات تجربی برای سرعت 8 متر بر ثانیه و ارتفاع موج 0.07 متر انجام شده است و نتایج حرکات هیو، پیچ و شتاب عمودی مرکز ثقل استخراج شده است. حل عددی نیز برای همین سرعت و ارتفاعات موج، با تنظماتی که گفته شد انجام شده است. نتایج در شکل ۱۳ ارائه شده است.

Downloaded from marine-eng.ir on 2025-07-03]



شکل ۱۳: نمودار مقایسه نتایج تجربی (مرجع [3]) و عددی در سرعت ۸ متر بر ثانیه و ارتفاع موج ۰٫۰۷ متر

توزیع فشار بر روی بدنه مدل سرشی با توجه به گذرا بودن شبیه سازی و همچین به علت وجود موج متغیر است در شکل ۱۴ در چند لحظه مختلف کانتور فشار آورده شده است.



۳ تخمین مشخصات هندسی و مکان قرارگیری هیدروفویل ها و استرات ها

تخمین مشخصات هندسی و مکان قرارگیری هیدروفویلها و استراتهای شناورهای هیدروفویلی به دلیل تأثیر بسیار زیادی که بر مشخصات هیدرودینامیکی شناور از جمله سرعت، دریامانی، مانور و ... دارند، بسیار دارای اهمیت است.

در شناورهای هیدروفویلی نیاز به نیروی برآ ی زیاد و معمولاً در یک جهت وجود دارد از این رو در این نوع شناورها معمولاً فویلهای نامتقارن به کار برده میشوند. در این پژوهش از فویل فویلهای نامتقارن به کار برده میشوند. در این پژوهش از فویل فویلهای نامتقارن به کار برده میشوند. در این این پژوهش از فویل میکنیم. شکل مقطع این فویل به صورت آنچه در شکل ۱۵ نشان داده شده است[17].



شكل 18: مقطع فويل fx63137sm-il [17]

همچنین مشخصات هندسی و مکان قرارگیری هیدروفویلها و استراتها در مقاله دیگری تحت عنوان «تخمین مشخصات هندسی و مکان قرارگیری هیدروفویلها و استرات های یک نمونه شناور هیدروفویلی» که توسط نویسندگان این مقاله نگارش شده است، ارائه شده است[18]. این مقادیر در جدول ۳ آورده شده است.

یل انتخاب شد	مشخصات فو	ل ۳:	جدوا
--------------	-----------	------	------

مقدار	كميت	مقدار	كميت
0.19	وتر هيدروفويل جلو	0.19	وتر هيدروفويل عقب
6	زاويه حمله هيدروفويل جلو (درجه)	8	زاویه حمله هیدروفویل عقب (درجه)
1.331	ضریب برآ ی هیدروفویل جلو	1.475	ضریب برآ ی هیدروفویل عقب
0.026	ضریب پسای هیدروفویل جلو	0.033	ضریب پسای هیدروفویل عقب
0.586	دهانه هيدروفويل جلو	0.79	دهانه هيدروفويل عقب

در نهایت با توجه به بدست آمدن مشخصات هیدروفویل ها و استرات ها، میتوان مدل سه بعدی شناور هیدروفویلی را در نرم افزار STAR CCM+ طراحی کرد. تصاویری از نماهای مختلف شناور هیدروفویلی طراحی شده در شکل ۱۶ و شکل ۱۷ ارائه شده است.



شکل ۱۶: نمای سه بعدی ونمای از رو به روی شناور هیدروفویلی طراحی شده



شکل ۱۷: نمای نزدیک هیدروفویل جلو و عقب ۲_۱ شبکه بندی و استقلال از شبکه شناور هیدروفویلی

پس از قرار دادن هیدروفویل ها و استرات ها بر روی مدل سه بعدی بدنه شناور لازم است تا شبکه اطراف هیدروفویل ها و استرات ها کوچکتر شوند. علاوه براین تلاطم جریان (در سرعتهای بالاتر گردابهها) به وجود آمده در اثر حرکت هیدروفویل جلو در سیال بر روی نیروی برآ و پسای هیدروفویل و استرات های عقب تأثیر میگذارد بنابراین شبکه بندی ناحیه مابین هیدروفویل جلو و عقب نیز باید ریزتر شوند.

حجم کنترل را به گونهای ایجاد میکنیم که با ایجاد حرکات هیو، پیچ و رول شناور همچنان شبکه اطراف شناور کوچک بماند. ابعاد حجم کنترل در شکل ۱۸ آورده شده است (ابعاد بر حسب متر میباشد).



شکل ۱۸: ابعاد حجم کنترل اطراف هیدروفویل ها و استرات ها

شبکه کوچک میشود و نمودار آن برحسب تعداد سلول بدست میآید. (شکل ۱۹)



شکل ۱۹: مجموع نیروی بر آی هیدروفویل ها بر حسب تعداد سلول

بنابراین شبکه بندی سطح ۴ به عنوان مبنای محاسبات قرار می گیرد. تصاویر مربوط به این شبکه بندی در شکل ۲۰ و شکل ۲۱ قابل مشاهده است.



شکل ۲۰: نمای کنار شبکه بندی دامنه حل



شکل ۲۱: شبکه بندی اطراف هیدروفویل ها و استرات ها

۴ نتایج

در این بخش ابتدا نمودار سرعت بر حسب مقاومت برای هر دو شناور سرشی و هیدروفویلی استخراج می شود پس از آن روند انجام شبیه سازی ها و در نهایت تأثیر پارامترهای مختلف بر حرکات (دریامانی) شناور مورد بررسی قرار می گیرد.

۴_۱ نمودار مقاومت_سرعت

قبل از شروع شبیه سازی های مربوط به تحلیل دریامانی شناور، نمودار مقاومت_سرعت هم برای شناور هیدروفویلی و هم برای شناور سرشی استخراج شده است تا هم مقایسهای باشد بین میزان مقاومت این دو نوع شناور و هم تاییدی باشد بر شبیه سازی های انجام شده بر روی شناور هیدروفویلی.

برای استخراج نمودار مقاومت سرعت شناور هیدروفویلی به صورت عددی، شناور را در سرعتهای مختلف حرکت میدهیم در واقع هر شبیه سازی برای یک سرعت مشخص انجام میشود. در این شبیه سازی ها از شش درجه آزادی شناور هیدروفویلی فقط حرکت انتقالی در جهت محور Z (یعنی حرکت هیو شناور) آزاد گذاشته میشود تا شناور موقعیت جدید خود را پیدا کند و در آنجا میزان مقاومت شناور مشخص شود.

نمودار مقاومت بر حسب سرعت شناور، برای شناورهای هیدروفویلی و سرشی در شکل ۲۲ ارائه شده است.





۴_۲ روند انجام شبیه سازی ها

برای اینکه بتوان تعادل شناور هیدروفویلی (در آب آرام) حفظ شود و شناور در حالت foil borne باقی بماند باید گشتاور وارده به شناور صفر باشد بدین منظور مراحل زیر به منظور انجام شبیه سازی ها در مواجهه با امواج باید انجام شود:

 ۱) ابتدا در آب بدون موج (آب آرام) و در سرعت مورد نظر پس از گذشت چند ثانیه که نیروها و گشتاورها بر روی هیدروفویل ها شکل گرفت (تقریباً 1 ثانیه (بسته به سرعت شناور)) حرکت هیو شناور را آزاد میکنیم تا موقعیت دقیق قرارگیری شناور در راستای محور Z مشخص شود.

۲) سپس در موقعیت جدید با بسته بودن حرکات هیو، پیچ، رول و دیگر حرکات شناور شبیه سازی را تا آنجایی که گشتاور پیچ (و رول) وارده به شناور تقریباً مقدار ثابتی شود ادامه میدهیم. معکوس این گشتاور را در شبیه سازی در حضور امواج به عنوان گشتاور خارجی به شناور اعمال میکنیم تا شناور بتواند تعادل خود را حفظ کند.

۳) شبیه سازی را در امواج با اعمال گشتاور خارجی به شناور انجام میدهیم. همانند قبل لازم است زمانی بگذرد تا نیروها بر روی هیدروفویل ها شکل بگیرد.

پارامترهای خروجی شامل هیو، پیچ، رول، شتاب عمودی مرکز ثقل و شتاب سینه شناور میباشد. با توجه به این که این حرکات در مواجهه با امواج منظم اکثراً رفتاری سینوسی دارند، فاصله قله تا قعر را ملاک محاسبات قرار میدهیم. پس از گذشت سه الی چهار طول موج تقریباً فاصله قله تا قعر موج سینوسی ثابت میشود و مبنای محاسبات قرار میگیرد. در مواردی که رفتار شناور به طور کامل سینوسی نباشد، پس از گذشت دو الی سه طول موج فاصله دو قله و قعر متوالی موج ملاک محاسبات قرار میگیرد.

***_* حرکت رول** نتایج خروجیها نشان میدهد که با برخورد امواج منظم به شناور، خروجی حرکت رول سینوسی و منظم نخواهد شد البته این امر برای زوایای برخورد 180 درجه و 0 درجه طبیعی است چرا که راستای برخورد موج و راستای محور دوران حرکت رول (محور x) یکسان است اما برای زاویه برخورد 90 درجه انتظار میرفت که حرکات سینوسی منظم باشند که اینگونه نبود (شکل ۲۳).



شکل ۲۳: حرکت رول شناور برای زوایایی مختلف در سرعت ۱۰ گره و نسبت طول موج به طول شناور ۱٫۵

علت را میتوان در ممان بازگرداننده حرکت رول جستجو کرد از آنجایی که ممان بازگرداننده مستقیماً با مقاومت اصطکاکی و مقاومت اصطکاکی نیز مستقیماً با زبری سطح در ارتباط است میتوان گفت یکی از علل شکل نگرفتن کامل حرکت رول لحاظ نکردن زبری سطح در طراحی سه بعدی هیدروفویل ها است. یکی دیگر از علتهای شکل نگرفتن کامل حرکت رول را میتوان بزرگ بودن اندازه شبکه زده شده روی سطح و اطراف هیدروفویل ها بیان کرد. بنابراین نمیتوان حرکت رول را به خوبی تحلیل کرد و انتظار نتایج دقیقی از آن داشت. همچنین حرکت پیچ برای زاویه





۴_۴ تأثیر طول موج بر حرکات شناور

در این بخش تأثیر طول موج بر هرکدام از حرکات هیو، پیچ، شتاب عمودی مرکز ثقل و شتاب سینه شناور مورد بررسی قرار

می گیرد. تمام شبیه سازی های این بخش در سرعت 10 گره، زاویه برخورد 180 درجه و ارتفاع موج m = 0.0625 m انجام شده است. شکل ۲۵ تأثیر افزایش طول موج بر حرکات هیو، پیچ، شتاب عمودی مرکز ثقل و شتاب نسبی سینه شناورهای هیدروفویلی و سرشی در مواجهه با امواج از رو به رو را نشان میدهد.

مشاهده میشود که با افزایش طول موج، هیو شناور نیز افزایش مییابد. افزایش حرکت هیو شناور سرشی تقریباً به صورت خطی و شناور هیدروفویلی غیرخطی اتفاق افتاده است. همچنین عملکرد شناور هیدروفویلی بسیار بهتر بوده است. همچنین مشاهده میشود که در طول موج برابر با طول شناور و 1.5 برابر آن هیو شناور هیدروفویلی بسیار کمتر از هیو شناور سرشی میباشد.

با توجه به نمودار تغییرات حرکت پیچ برای طول موجهای نزدیک به طول شناور عملکرد هر دو شناور تقریباً یکسان است. ولی برای $\lambda/L = 2.5$ (و احتمالاً بیشتر از آن) شناور هیدروفویلی عملکرد بهتری دارد. در مجموع پیچ هر دو شناور با افزایش طول موج، افزایش یافته است.

همانطور که در نمودارهای شتابها مشاهده می شود در مجموع می توان گفت با افزایش طول موج، شتاب عمودی مرکز ثقل و شتاب سینه برای هر دو شناورهیدروفویلی و سرشی افزایش می یابند. افزایش شتاب عمودی مرکز ثقل با افزایش طول موج برای شناور سرشی بسیار بیشتر از شناور هیدروفویلی است که این برای شناور سرشی احتمال دریازدگی خدمه یا مسافران، افزایش احتمال صدمه به تجهیزات الکرونیکی و ... در شناور سرشی می باشد.



شکل ۲۵: تغییرات هیو، پیچ، شتاب عمودی مرکز ثقل و شتاب نسبی سینه شناور با افزایش طول موج

۴_^۵ تأثیر زاویه برخورد بر حرکات شناور

اینکه امواج از چه سمتی (سینه، پاشنه و یا از کنار) به شناور وارد شود دارای اهمیت است و میتواند شرایط خاصی را در هر حالت ایجاد کند لذا لازم است تا زوایای مختلف برخورد موج به شناور مورد بررسی قرار بگیرند. شبیه سازی ها در سرعت 10 گره، ارتفاع موج m و نسبت طول موج به طول شناور 1 در زوایای برخورد مختلف انجام شده است و نمودارهای آن در شکل ۲۶ آورده شده است. در منحنی حرکت هیو مشاهده میشود که امواجی که تحت زاویه 90 درجه یا کمتر از آن به شناور برخورد میکنند هیو بیشتری به شناورها اعمال میکنند و بیشترین

حرکت هیو اعمالی در زاویه 90 درجه اتفاق می افتد. با توجه به نمودار حرکت پیچ، امواج پاشنه خطرناکتر از امواج سینه به نظر میرسند. همچنین امواجی که تحت زاویه برخورد 45 تا 90 درجه به شناور برخورد میکنند برای پیچ شناور هیدروفویلی خطرناکتر از شناور سرشی است. شتاب عمودی مرکز ثقل و شتاب نسبی سینه شناور در زاویه 90 درجه برای شناورسرشی و هیدروفویلی تقریباً برابر است. در امواج برخوردی با زوایای بیشتر از 90 درجه، شناور هیدروفویلی عمکرد مطلوبتری دارد. همچنین در زاویه 90 درجه شتاب اعمال شده به شناورها کمترین مقدار است.



شکل ۲۶: تغییرات هیو، پیچ، شتاب عمودی مرکز ثقل و شتاب نسبی سینه شناور هیدروفویلی و سرشی با تغییر زاویه برخورد موج به شناور

4_⁰_۱ امواج پاشنه (زاویه برخورد 0 درجه)

امواج پاشنه می توانند شرایط خطرناکی را برای شناور هیدروفویلی رقم بزنند. در صورتی که سرعت موج پاشنه از سرعت شناور کمتر باشد، شناور به موج برخورد می کند که تقریباً می توان گفت حالتی شبیه به امواج از رو به رو اتفاق می افتد. اما در صورتی که سرعت موج پاشنه از سرعت شناور بیشتر باشد موج به شناور بر خورد می کند که حالت خطرناکتری است. در پژوهش حاضر، این دو مورد را شبیه سازی شده است.

سرعت موج کمتر از سرعت شناور

برای اینکه سرعت موج کمتر از سرعت شناور باشد میبایست طول موج کوتاه باشد از این رو $0.5 = rac{\lambda}{L}$ را شبیه سازی میکنیم. همچنین سرعت شناور 10 گره، ارتفاع موج $m = 0.0625 \, m$ و



زاویه برخورد موج به شناور هم صفر درجه تنظیم شده است. نتایج این شبیه سازی ها در شکل ۲۷ برای حرکات هیو، پیچ و شتابها آورده شده است.

علت آنکه حد متوسط نمودار حرکت هیو و نمودار شتاب عمودی مرکز ثقل پایین تر از صفر می باشد این است که شناور در مکان دقیق تعادل عمودی قرار نگرفته است یعنی جایی که مجموع نیروی لیفت هیدروفویل های جلو و عقب برابر با نیروی وزن شناور باشد همانطور که گفته شد مکان تعادل عمودی شناور در دریای باشد همانطور که گفته شد مکان تعادل عمودی شناور در دریای شده است که اختلاف به وجود آمده ناشی از این موضوع است و اجتناب ناپذیر است.



شکل ۲۷: تغییرات حرکات هیو، پیچ، شتاب مرکز ثقل و شتاب نسبی سینه شناور هیدروفویلی و سرشی در معرض امواج از پاشنه (سرعت موج



شکل ۲۸: تغییرات حرکات هیو، پیچ، شتاب مرکز ثقل و شتاب نسبی سینه شناور هیدروفویلی و سرشی در معرض امواج از پاشنه (سرعت موج بیشتر از سرعت شناور)

> در مجموع باید گفت خطرناکترین زاویه برخورد به شناور هیدروفویلی زاویه برخورد صفر درجه یعنی امواج پاشنه است. بنابراین در مواقعی که امواج از پاشنه به سمت شناور میآیند بهتر آن است که در مسیر حرکت تغییری ایجاد شود که یکسان بودن راستای انتشار موج و حرکت کشتی از بین برود و زاویه برخورد موج به شناور تغییر کند.

۴_۲ تأثیر ارتفاع امواج بر حرکات شناور

یکی از پارامترهای بسیار مهم در تحلیل دریامانی یک شناور ارتفاع موج برخوردی است که میتواند به یک باره شتاب و ضربه بزرگ به شناور وارد کند. از این رو شبیه سازی ها برای ارتفاع موجهای مختلف انجام شده است. همچنین سرعت شناور 10 گره و زاویه برخورد 180 لحاظ شده است.

همانطور که انتظار میرفت و از نمودارهای شکل ۲۹ نیز مشخص است با افزایش ارتفاع امواج حرکت هیو شناورهای هیدروفویلی و سرشی نیز افزایش مییابد که علت آن را میتوان افزایش حجم بویانسی ناشی از افزایش ارتفاع موج بیان کرد. همچنین مشاهده میشود که در طول موجهای بزرگتر، تأثیر افزایش ارتفاع موج بر روی حرکت هیو شناور سرشی بیشتر است.

افزایش ارتفاع بر روی حرکت پیچ شناور نیز تأثیر میگذارد و باعث افزایش آن میشود. (شکل ۲۹) همچنین به علت بیشتر بودن حجم بویانسی شناور سرشی نسبت به شناور هیدروفویلی، تأثیر افزایش ارتفاع موج بر حرکات هیو و پیچ شناور سرشی بسیار بیشتر از شناور هیدروفویلی است. همانند حرکت هیو، در طول موجهای بزرگتر، تأثیر افزایش ارتفاع موج بر روی حرکت پیچ شناور بیشتر است که این امر در شناور سرشی بیشتر نیز میباشد. هيدروفويلى تقريباً يكسان باشد اما نرخ افزايش شتاب سينه شناور

هيدروفويلى كمتر از شناور سرشى است. البته براى $\frac{\lambda}{L}=0.5$ اينگونه

نمودارهای مربوط به شتاب عمودی مرکز ثقل و شتاب نسبی سینه در شکل ۳۰ آورده شده است همانطور که از نمودارها مشخص است با افزایش ارتفاع موج شتاب نیز افزایش مییابد. به نظر میرسد نرخ افزایش شتاب عمودی مرکز ثقل برای هر دو شناور سرشی و

14

14



شکل ۲۹: مقایسه تغییرات هیو و پیچ شناورهای هیدروفویلی و سرشی با افزایش ارتفاع موج



شکل ۳۰: مقایسه تغییرات شتاب عمودی مرکز ثقل و شتاب نسبی سینه شناور هیدروفویلی و سرشی با افزایش ارتفاع موج

۴_^۷ تأثیر سرعت حرکت شناور بر حرکات شناور

تأثیر سرعت شناور بر حرکات آن در معرض امواج دریا مورد بررسی قرار گرفته شده است. برای این منظور شبیه سازی های در سرعتهای 10، 11 و 12 گره انجام شده است. در ادامه حرکات هیو، پیچ و شتابهای وارده به شناور تحت زاویه برخورد 135 $\frac{\lambda}{L} = 2.5 = H = 0.0625 m$ و 2.5 H = 0.0625 m و 2.5 H = 0.0625 m بررسی شده است.

با افزایش سرعت شناور، حرکت هیو شناور سرشی تقریباً به صورت خطی افزایش مییابد (شکل ۳۱) اما حرکت هیو شناور هیدروفویلی در این سه سرعت مختلف شناور، تقریباً ثابت است. پیچ شناور همانطور که در شکل ۳۱ بررسی شده است با افزایش سرعت شناور افزایش یافته که این افزایش تقریباً برای هر دو



شناور یکسان است. علت یکسان بودن تقریبی حرکت پیچ برای هر دو شناور هیدروفویلی و سرشی این است که در نسبت طول موج به طول شناور 2.5 (2.5 $= \frac{\lambda}{L}$) شناورها به علت زیاد بودن طول موج اصطلاحاً بر موج سوار میشوند و از حرکت موج پیروی میکنند.

شتابهای وارد بر شناور در هر دو شناور هیدروفویلی و سرشی نیز با افزایش سرعت، افزایش مییابند. البته همانطور که در شکل ۳۱ نشان داده شده است، افزایش شتاب شناور سرشی بیشتر از شناور هیدروفویلی است که البته این اختلاف در شتاب سینه بسیار بیشتر است.



شکل ۳۱: تغییرات هیو، پیچ، شتاب عمودی مرکز ثقل و شتاب نسبی سینه شناور هیدروفویلی و سرشی با افزایش عدد فرود

۴_^ امواج نامنظم

امواج دریا امواج نامنظم هستند بنابراین بررسی امواج نامنظم نیز میتواند کمک کننده باشد. از این رو شبیه سازی ها برای موج نامنظم با مشخصات ارائه شده در جدول ۴ و در سرعت 10 گره شناور برای هر دو شناور سرشی و هیدروفویلی انجام شده است.

سازی شدہ	شبيه	نامنظم	موج	مشخصات	:۴	دول
----------	------	--------	-----	--------	----	-----

پيرسون موسكويچ	طيف موج		
0.0625	ارتفاع مشخصه امواج (متر)		
6	پريود موج بين دو قله متوالي (ثانيه)		
۱۸۰	زاويه برخورد موج (درجه)		

با توجه به اینکه موقعیت اولیه شناور سرشی تغییر میکند همچنین به دلیل تریم اولیه ناشی از موقعیت افقی مرکز ثقل

شناور سرشی امکان مقایسه بهتر حرکات شناور سرشی با شناور هیدروفویلی از بین میرود بدین منظور انحراف از مقدار میانگین حرکات معیار قرار گرفته و نمودارها را بر این اساس رسم شدهاند. انحراف از مقدار میانگین حرکت هیو و پیچ در شکل ۳۲ و شکل ۳۳ آورده شده است.

حرکت هیو هر دو شناور در ابتدا شبیه به هم بود اما رفته رفته شناور هیدروفویلی عملکرد بهتری از خود نشان داده است. اما در حرکت پیچ شناور هیدروفویلی کاملاً بر شناور سرشی غلبه دارد. این عملکرد خوب شناور هیدروفویلی در بررسی شتاب عمودی مرکز ثقل و شتاب عمودی سینه بهتر قابل مشاهده است (شکل ۳۴ و شکل ۳۵).

Downloaded from marine-eng.ir on 2025-07-03]







شکل ۳۳: انحراف حرکت پیچ شناور هیدروفویلی و سرشی از مقدار میانگین خود در معرض امواج نامنظم (بر حسب درجه)



شکل ۳۴: انحراف شتاب عمودی مرکز ثقل شناور هیدروفویلی و سرشی از مقدار میانگین خود در معرض امواج نامنظم



شکل ۳۵: انحراف شتاب سینه شناور هیدروفویلی و سرشی از مقدار میانگین خود در معرض امواج نامنظم

۵ جمع بندی و نتیجه گیری

در این پژوهش رفتار دریامانی شناور هیدروفویلی و شناور سرشی و همچنین تغییرات مقاومت این دو شناور با افزایش سرعت مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. شبیه سازی های عددی برای نشان دادن تأثیر مؤلفههای امواج منظم و همچنین سرعت شناور بر روی مؤلفههای دریامانی شناورهای هیدروفویلی و سرشی انجام شد. بر اساس نتایج حاصل از افزایش طول موج و ارتفاع موج مشخص گردید که با افزایش این دو مؤلفه موج منظم، همه حرکات شناورهای هیدروفویلی و سرشی افزایش مییابد که این افزایش در حرکات شناور سرشی قابل توجهتر است.

در خصوص زاویه برخورد موج به شناور، زوایای برخورد ۴۵، ۹۰، ۱۳۵ و ۱۸۰ درجه مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که حرکت هیو ناشی از امواج تحت زاویه 90 درجه یا کمتر، شدیدتر است و بیشترین مقدار آن در زاویه 90 درجه اتفاق می افتد. با توجه به منحنی حرکت پیچ، امواج پاشنه خطرناکتر از امواج سینه به نظر میرسند. همچنین امواجی که تحت زاویه برخورد 45 تا 90 درجه به شناور برخورد میکنند برای پیچ شناور هیدروفویلی خطرناکتر از شناور سرشی است. در زاویه 90 درجه شتاب عمودی مرکز ثقل و شتاب نسبی سینه شناورها کمترین مقدار را دارد. و در امواج برخوردی با زوایای بیشتر از 90 درجه، شناور هیدروفویلی عمکرد مطلوبتری دارد.

امواج پاشنه به دلیل اهمیت به صورت جداگانه در دو حالت مورد بررسی قرار گرفت. مشخص گردید در حالتی که سرعت موج از سرعت شناور کمتر است، فاصله قله تا قعر حرکت هیو شناور هیدروفویلی کمتر از شناور سرشی است و از این نظر عملکرد بهتری دارد. اما در مورد حرکات پیچ، شتاب عمودی مرکز ثقل و شتاب نسبی سینه قضیه برعکس است و شناور سرشی عملکرد بهتری دارد. و در حالتی که سرعت موج بیشتر از سرعت شناور است عملکرد هیو و پیچ شناور سرشی مطلوبتر از شناور هیدروفویلی به نظر میرسد از طرفی به شناور هیدروفویلی شتاب کمتری وارد میشود.

با افزایش سرعت شناور، حرکت هیو شناور سرشی تقریباً به صورت خطی افزایش مییابد اما حرکت هیو شناور هیدروفویلی تقریباً ثابت است. همچنین پیچ شناور افزایش یافته که این افزایش تقریباً برای هر دو شناور یکسان است. شتاب عمودی مرکز ثقل و شتاب نسبی سینه در هر دو شناور هیدروفویلی و سرشی نیز با افزایش سرعت، افزایش مییابند. البته افزایش شتاب شناور سرشی بیشتر از شناور هیدروفویلی است که این اختلاف در شتاب نسبی سینه بسیار بیشتر است.

در بررسی موج نامنظم مشخص شد که حرکت هیو هر دو شناور در ابتدا شبیه به هم بوده اما رفته رفته شناور هیدروفویلی عملکرد بهتری از خود نشان داده است. در حرکت پیچ اما شناور 11- ح. ژرفی, م. ندایی بنه و م. اسدی, تحلیل و شبیه سازی پدیده کاویتاسیون حول هیدروفویل توسط نرم افزار انسیس فلوئنت ۲۰۱۷.

12- I. GIBBS AND COX, *HYDROFOIL HANDBOOK VOLUME 1*. 1954.

13- S. L. Tolentino, O. González, and J. Mírez, *Comparative evaluation of DES and SAS turbulence models for incompressible flow in a Venturi tube* INCAS Bulletin 14-2 (2022) 87–101.

14- C. W. Hirt and B. D. Nichols, *Volume of fluid* (*VOF*) method for the dynamics of free boundaries, Journal of Computational Physics 39-1 (1981) 201–225.

15- R. Scardovelli and S. Zaleski, Direct numerical simulation of free-surface and interfacial flow, Annual Review of Fluid Mechanics 31 (1999) 567–603.

16- S. L. Chen, S. L. Yang, and Q. Ma, *An experimental study on hydrodynamic characteristics of Gliding-Hydrofoil Craft*, Journal of Marine Science and Technology 19-1 (2011) 89–96.

17- *No Title*. [Online]. Available: http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=fx63137s m-il.

۱۸ - ح. کریمی و م. مونسان, تخمین مشخصات هندسی و مکان قرارگیری هیدروفویلها و استراتهای یک نمونه شناور هیدروفویلی Marine Industries Conference ۲۲

(MIC2022) (2022).

هیدروفویلی کاملاً بر شناور سرشی غلبه دارد. این عملکرد خوب شناور هیدروفویلی در بررسی شتاب عمودی مرکز ثقل و شتاب نسبی سینه بهتر قابل مشاهده است.

در مجموع باید گفت خطرناکترین حالت برای شناور هیدروفویلی زوایای برخورد کمتر از ۹۰ درجه علی الخصوص زاویه برخورد صفر درجه یعنی امواج پاشنه است. بنابراین در مواقعی که امواج از پاشنه به سمت شناور هیدروفویلی میآیند بهتر آن است که در مسیر حرکت تغییری ایجاد شود که یکسان بودن راستای انتشار موج و حرکت کشتی از بین برود و زاویه برخورد موج به شناور تغییر کند.

۶ - مراجع 1- م. مونسان, *کتاب جامع مهندسی معماری دریای<u>ی ویری</u>ش دوم_فصل چهارم*. کانون پژوهش, ۱۳۹۱. 2- ک. عالم پور و ع. دهقانیان, *اصول طراحی شناور های هیدروفویل*. ۱۳۹۰.

3- X. Bi, H. Shen, J. Zhou, and Y. Su, *Numerical analysis of the influence of fixed hydrofoil installation position on seakeeping of the planing craft*, Applied Ocean Research 90 (2019).

4- M. Torabi Azad, A. Nowruzi, and M. Sadeghi, A numerical analysis of hydrofoil operation near the water surface and development of a method to calculate the HYSUCAT dynamic performance in the conceptual design phase, Indian Journal of Geo-Marine Sciences (2018).

5- N. Kornev, K. Günter Hoppe, A. Nesterova, and G. Migeotte, *Design of Hydrofoil Assisted Catamarans using a Non-Linear Vortex Lattice Method, Marine-Engineering YR - 2005*, 2. 37-54 K1-Catamaran K1-Hydrofoil K1-Vortex La.

6- M. H. Chung, *Numerical study of rowing hydrofoil performance at low Reynolds numbers* Journal of Fluids and Structures (2008).

7- G. D. Xu and Q. Meng, *Waves induced by a twodimensional foil advancing in shallow water* Engineering Analysis with Boundary Elements (2016).

8- Q. Wu, B. Huang, G. Wang, and Y. Gao, *Experimental and numerical investigation of hydroelastic response of a flexible hydrofoil in cavitating flow*, International Journal of Multiphase Flow (2015).

9- E. Esmaeilifar, M. H. Djavareshkian, B. F. Feshalami, and A. Esmaeili, *Hydrodynamic simulation of an oscillating hydrofoil near free surface in critical unsteady parameter*, Ocean Engineering (2017).

10- م. ۱. صالحی, تحلیل عددی تاثیر توامان تغییرات عمق نسبی و زاویه حمله بر مشخصه های هیدرودینامیکی یک هیدروفویل متحرک در نزدیک سطح دریا ۱۳۹۸.