محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی شناور تندرو در حرکت سرج به روش شبیهسازی عددی

محمدحسین راستی^۱، سجاد حاجیزاده^۲*

۱ دانشجوی ارشد مهندسی دریا، دانشگاه خلیج فارس، mhrasti313@gmail.com ۲ استادیار مهندسی دریا، دانشگاه خلیج فارس، hajizadeh@pgu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیدہ
<i>ناریخچه مقاله:</i> تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۲۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۸/۲۲ تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۲/۰۸/۲۲	امروزه که ضرائب هیدرودینامیکی شناورهای تندرو به موضوعی مهم تبدیل شده است.روش های متفاوتی برای محاسبه این پارامترها وجود دارد. از جمله آنها می توان به محاسبه به روش تئوری نواری، آزمایش نوسان اجباری در حوضچه کشش و شبیه سازی عددی اشاره کرد. در پژوهش حاضر با استفاده از نرم افزار +STAR-CCM و روش دینامیک سیالات محاسباتی، به شبیه سازی عددی نوسان اجباری شناور اقدام
<i>کلمات کلیدی:</i> ضرایب هیدرودینامیکی جرم افزوده شناور تندرو نوسان اجباری ناوی استوکس بینولد: میانگین	شده است. سپس ضرایب هیدرودینامیکی جرم افزوده، میرایی و ضریب بازگرداننده محاسبه شدهاند. در انتها نیز نتایج بدست آمده با مقادیر آزمایشگاهی مقایسه شده و میزان خطای روش حاضر بررسی شد. همانطور که مشاهده میگردد درصد خطای نتایج حل عددی در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی کمتر از ده درصد بوده که میتوان از روش پیشنهاد شده برای بدست آوردن ضرائب هیدرودینامیکی شناور تندرو با دقت بالایی استفاده نمود.

Calculation of Hydrodynamic Coefficients of a High-Speed Boat in Surge Motion Using Numerical Simulation

First Author Full Name¹, Second Author Full Name^{2*}

¹ Marine engineering graduate student, Persian Gulf University; mhrasti313@gmail.com ² Associate Professor of Marine Engineering, Persian Gulf University; hajizadeh@pgu.ac.ir

ARTICLE INFO

Article History: Received: 14 Feb 2023 Accepted: 13 Nov 2023 Available online: 13 Nov 2023

Keywords: Hydrodynamic coefficients Added mass high speed boat Forced oscillation Reynolds Averaged Navier Stokes

ABSTRACT

Today, the issue of calculating the hydrodynamic coefficients of high-speed vessels is getting more attention. There are different methods for this purpose. Among these methods, one can mention strip theory, forced oscillation tests in the towing tank, and numerical simulation. In this research, STAR-CCM+ software utilized the computational fluid dynamics method to simulate the forced oscillation of the vessel. Subsequently, the added mass, damping, and restoring coefficients are computed. Finally, the obtained results have been compared with experimental values, and the accuracy of the current method has been examined.

میرایی و نیروی بازگرداننده سیال نیز حرکت متفاوتی نسبت به نوسان در خلاً دارد. او اینگونه مشاهده نمود که مقداری جرم، به جرم آونگ افزوده شده است[۱]. پس از وی اولین تحقیقات راجع به کارایی و عملکرد شناورهای تندرو را فانکارمن بر پایه تئوری

۱ – مقدمه

مدتی پس از کشف ضرایب میرایی و بازگرداننده و معادلـه نوسـان کنندهها، در سال ۱۸۲۸ فردریک بسل مفهوم جـرم افـزوده را ایـه کشف نمود. وی مشاهده نمود که آونگ نوسان کننده بـا احتسـاب

جرم افزوده در مدلسازی بارهای وارده بر شناور پروازی انجام داد. وی ابعاد مسئله را از سه بعد کاهش داده و به دو بعد تبدیل کرد. برای این کار که بعدها به تئوری ۲/۵ بعدی نیز مشهور شد، مسئله سهبعدی را به ورود دوبعدی مقاطع عرضی به آب تقریب زد. فرضهای ساده کننده وی تقریب مقاطع عرضی بدنه با گوه مثلثی شکل و برخورد متقارن و عمودی مقاطع به سطح آب بود [7]. تحقیقات وی همچنان پایه و اساس بسیاری از مدلهای تحلیلی است. جزئیات این روش در شکل (۱) آمده است.



پس از فان كارمن محققينى همچون فالتينسن، ساتورف و رادراسترم نیز درزمینه برخورد مقاطع دوبعدی و سهبعدی بدنه به آب را بررسی کردند [۳-۵]. در این میان اما شاخصترین و مؤثرترین پژوهش، تحقیقات واگنر بر روی این موضوع بود. وی کار خود را بر روی شناورهای پروازی و نشست و برخاست هواپیماهای آبنشين انجام داد. نتايج وي مطابقت مناسبي با نتايج فانكارمن در محدوده چاین خشک داشت اما تفاوت کار وی با فان کارمن در نظر گرفتن اثر اسپری در جرم افزوده بود. او در این تقریب مقدار جرم افزوده ناشی از اسپری مقادیر را بسیار بزرگتر از مقادیر واقعی در نظر گرفت و همین موضوع باعث ایجاد مسیری اشتباه درزمینه تئوری جرم افزوده گشت. این موضوع در مطالعات پین مورد توجه قرار گرفت و اشکالات آن برطرف شد [۶،۷]. در سال-های بین ۱۹۶۰ تا ۱۹۹۰ میلادی موضوع جرم افـزوده، موضـوعی جذاب برای محققان بوده و آنها با روشهای مختلفی همچون روشهای تمام آزمایشگاهی، روشهای تمام تحلیلی و یا با روش-های نیمه تجربی، سعی در یافتن روابطی مناسب جهت تخمین یا بدست آوردن ضرایب هیدرودینامیکی شناورها نمودند. [۸-۱۱] روابط بدست آمده دارای نواقصی از جمله برآورد بیش از اندازه ضرایب، محدود بودن به شرایط عملکردی خاص و یا فرض فرکانس بی نهایت سطح آب، بودند.

با گسترش دینامیک سیالات محاسباتی در زمینههای مختلف، محققانی با استفاده از آن سعی در برآورد و محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی بدنه کردند. در این زمینه نیز تئوری نواری و شبیهسازی برخورد گوه دو بعدی به سطح آب پیشگام بود. یکی از

کامل ترین پژوهش های انجام شده در این زمینه مربوط به وینسنت و همکاران [۱۲] است. آنها ابتدا در آزمایشگاه یک گوه کوچک را به سطح آب برخورد داده و نیروهای وارد برآن و رفتار جریان آب بعد از برخورد را ثبت کردند. سپس با استفاده از شبیه سازی های عددی همان برخورد و همان تصاویر را شبیه سازی نمودند. در نهایت نیز مدلی ریاضی برای اسپری جریان به اطراف، پس از برخورد گوه به سطح آب، ارائه دادند.

در پژوهشی دیگر با استفاده از روش آزمایشگاهی و حوضچه کشش، تروش پس از تایید عملکرد حوضچه کشش دانشگاه میشیگان، ضرایب هیدرودینامیکی یک شناور را در محدوده رژیم جریان پروازی بدست آورد. وی با اعمال حرکت های اجباری به بدنه مورد نظر در رژیم جریان پروازی، نیرو ها و گشتاورهای وارد بر آن را اندازه گرفت. سپس با استغفاده از نیرو های بدست آمده

مقادیر ضرایب جرم افزوده و میرایی را بدست آورد [۱۳و ۱۴]. در سالهای اخیر بر اساس مدلهای ریاضی و شبیهسازی عددی پژوهشهایی در زمینه محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی شناورهای سطحی و شناورهای زیردریایی انجام شده است. این پژوهشها بیشتر با نگاه کنترل شناور و خودکار نمودن آنها انجام گرفته است. لازم به ذکر است که محدوده سرعت مورد استفاده در پژوهشهای صورت گرفته در محدوده رژیم جریان جابجایی است است [۰۲–۱۵]. همچنین در ایران نیز در زمینه محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی می توان به پژوهشهای جوانمرد، اباذری و اردشیری اشاره کرد[۲۱–۲۳].

و در پژوهش حاضر با شبیه سازی عددی نوسان اجباری به روش دینامیک سیالات محاسباتی، حجم محدود، شرایط آزمایشهای تروش معادل سازی شده است. سپس به همان روش ضرایب هیدرودینامیکی محاسبه و با مقادیر ارائه شده توسط تروش مقایسه گردیده است. هدف از انجام این پژوهش دست یابی به چینشی مناسب و سریع از شرایط حل و شبکه بندی، جهت محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی بدنه های مختلف است.

۲ - معادلات حاکم

معادلات اساسی حاکم بر این مسئله، به مانند دیگر مسائل سیالاتی معادلات پیوستگی و ناویر استوکس است. از آنجا که از تغییرات دمایی در طول جریان صرف نظر شده است لذا معادلات انرژی استفاده نشده اند. در ادامه معادلات ضرایب ارائه خواهد شد.

۲-۱- معادلات ضرایب هیدرودینامیکی

جرم اضافه شده یا جرم مجازی، اینرسی است که به یک سیستم اضافه می شود، زیرا جسم شتابدار باید مقداری از حجم سیال اطراف را در حین حرکت در آن حرکت دهد چراکه جسم و مایع

اطراف آن نمی توانند فضای فیزیکی یکسانی را بـه طـور همزمـان اشغال کنند. برای سادگی، می توان آن را به عنوان حجمی از سیال که با جسم حرکت می کند، مدلسازی کرد، اگرچه در واقعیت همه سیال به درجات مختلف شتاب می گیرد. به طور کلی، جرم افزوده یک تانسور مرتبه دوم است که بردار شتاب سیال را به بردار نیروی حاصله روی جسم مرتبط میکند. ضریب جرم افزوده بدون بعد نیز جرم افزوده تقسیم بر جرم سیال جابجا شده است به عبارتی از تقسیم جرم افزوده بر چگالی سیال ضربدر حجـم بدنـه حاصل میشود. لازم به ذکر است جرم افزوده غیرلزج بوده و ربطی به اصطکاک ندارد. معادله (۱) تانسور جرم افزوده را نشان میدهد:

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & A_{14} & A_{15} & A_{16} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} & A_{24} & A_{25} & A_{26} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} & A_{34} & A_{35} & A_{36} \\ A_{41} & A_{42} & A_{43} & A_{44} & A_{45} & A_{46} \\ A_{51} & A_{52} & A_{53} & A_{54} & A_{55} & A_{56} \\ A_{61} & A_{62} & A_{63} & A_{64} & A_{65} & A_{66} \end{bmatrix}$$
(1)

درنتیجه معادله ارتعاشی بدنه در هر راستا به شکل معادله (۲) خواهد بود:

$$(m + A_{ij})\ddot{x} + B_{ij}\dot{x} + k_{ij}x = f(t)$$
^(Y)

و فرکانس طبیعی سیستم نیز از معادله (۳) محاسبه خواهد شد:

$$\omega' = \sqrt{\frac{k}{m'}} = \sqrt{\frac{k}{m + A_{ij}}} \tag{(7)}$$

همچنین لازم به ذکر است B_{ii} ، A_{ii} و k_{ii} به ترتیب بیانگر تانسور جرم افزوده، تانسور میرایی و تانسور سختی میاشند و مىتوانند توابعي از x و \u026 باشند. همين مسئله باعث مى-شود كـه در عین حال که معادله(۲) به صورت خطی نوشته می-شود، معادلهای غیر خطی باشد. البته با استفاده از نتایج آزمایشگاهی و روابط تجربی بدست آمدہ از آن ھا می توان نشان داد کے معمـولاً این ضرایب در هندسه های منشوری، نوسانات کوچک و سرعت-های پایین تر از محدوده پروازی، تقریبا خطی عمل می کنند. واضح است که این فرضها در مورد رژیم جریان پروازی صدق نمی کنند، و به همین دلیل دینامیک شناور پروازی غیر خطی

۳ – شرایط حل

۱–۳– شناور مورد آزمایش

این شبیه سازی با بدنه ارائه شده در مقاله تروش[۱۴] انجام شده است. خصوصیات مدل در جدول ۱ آمده است. این بدنه از نوع منشوری بوده و دارای زاویه خیز کف ۲۰ درجه است. طول آن ۲ متر و عرض آن ۳۲ سانتی متر میباشد. حجم بدنه در شکل ۲ دیدہ می-شود.

جدول ۱. خصوصيات بدنه شناور.

مقدار	پارامتر
۲/۱	طول (متر)
• /٣٢	عرض (متر)
۲.	زاویه خیز کف (درجه)
۴ و ۶	زاویه تریم (درجه)
٣	طول خیس به عرض (lw/ B)
١/۴٧	طول مرکز ثقل به عرض(lcg /
• /۶۵	عرض مرکز ثقل به عرض(vcg /



شکل ۲. حجم توپر بدنه شناور.

۲-۳- شرایط جریان

در این شبیه سازی از شرایط تست تروش استفاده شده است. تروش آزمایشاتش را در در پنج فرکانس، چهار سرعت و سه زاویـه تریم انجام داده است. وی این ۱۲ آزمایش را برای چهار ضریب هیدرودینامیکی مختلف تکرار کرده است. این ضرایب عباتند از: و B_{35} و B_{35} و B_{35} و B_{35} و B_{35} و B_{35} و B_{35} و B_{35} را نیز معادل مقدار هیدرواستاتیکی لحاظ شده است. با اینحال $C_{i,i}$ در این پژوهش تنها به محدوده سرعت جریان پروازی اکتف شده درنتیجه، محدوده های زیر پروازی سرعت و تریم ۸ درجه حذف شده اند. بدین ترتیب شبیه سازی تنها در شرایط تریم ۴ و ۶ درجه، با ضریب سرعت ۲/۵ انجام شده است. شرایط جریان مورد استفاده در شبیه سازی های این پژوهش در جدول ۲ ارائه شده

جدول ۲. خصوصيات جريان مورد مطالعه.

مقدار	پارامتر
۲/۵	ضریب سرعت(C v)
۴/۷۲ و ۶/۱۱ و ۷/۷۷ و ۹/۴۴ و ۱۱/۱۱	فرکانس (Hz)
·/·۳۸۱۶	دامنه حرکت هیو خالص (متر)
•/٩	دامنه حرکت پیچ خالص (درجه)

Simcenter STAR-CCM+

۳-۳- شرایط حل عددی

شبیه سازیهای این پژوهش در نرم افزار تجاری دینامیک سیالات محاسباتی +Star CCM انجام شده است. در این شبیهسازی از شبکه بندی جابجا شونده استفاده شده است. دلیل انتخاب این شبکه بندی حساسیت کمتر به حرکات شناور و عدم تغییر تعداد سلول شبکه بندی در حین حل است. به دلیل اینکه این نوعع از شبکه بندی در حین حل تغییر نمی یابد یا اصطلاحاً ریمش نمی شود، زمان حل نسبت به شبکه بندی های تغییر شکل دهنده و شبکه بندی های انطباقی کاهش می یابد.

از آنجا که این شبیه سازیها پایا نبوده اما با فرکانسی مشخص در حال تکرار است، حلگر زمانی انتخاب شده از نوع ناپایدار ضمنی^۱با گام زمانی ۲۰۰۰۱ انتخاب شده است. همچنین از آنجا که حرکات جسم اجباری است نیازی به ارائه جرم و ممان اینرسی به نرم افزار نیست. مدل آشفتگی مورد استفاده در این تحقیق – *K* ع است و از مدل Flat VOF Wave استفاده شده است. فاز های سیالاتی مورد استفاده نیز از نوع اویلری و غیر قابل تراکم و غیر قابل انحلال در یکدیگر می باشند. خلاصه شرایط حل عددی در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. خصوصیات و چیدمان حل عددی.

مقدار	پارامتر
۱۲×۴×۸	ابعاد دامنه محاسباتی(متر)
•/•• 1	گام زمانی(ثانیه)
~•/••1	اندازه کوچک ترین سلول(متر)
~1	تعداد کل سلول های شبکه بندی
κ-ε	مدل توربولانسى

دامنه محاسباتی مورد استفاده در این پژوهش مشابه دامنه محاسباتی شینگارت [۱۵] انتخاب شده است. دامنه محاسباتی و شبکه بندی آن نیز در شکل ۳ و ۴ نشان داده شده است.



شکل ۳. دامنه محاسباتی. در این شکل دیواره های ورودی به رنگ قرمز و دیواره متقارن به رنگ آبی است.همچین دیواره روبرو به دیواره متقارن و دیواره کف نیز از نوع ورودی مماسی بوده و دیواره انتهایی دامنه محاسباتی از نوع خروجی تعیین شده است.



شکل ۴. شبکه بندی اطراف بدنه و دامنه محاسباتی.





از آنجا که در این شبیهسازی اندازه سلولهای چسبیده به دیواره درشت است، لذا از تابع دیواره جریان با +y بالا آستفاده شده است. شکل ۶ مقادیر +y روی بدنه را نشان میدهد.



شکل ۶. مقدار تابع دیواره + y روی بدنه.

۴ – نتايج

در این مطالعه ابتدا نیروهای وارد برشناور در حالت آب آرام، در سرعت و تریمهای مشخص شده، بدست آمد. این نیروها جهت محاسبه نیروهای وارد بر شناور با حرکت اجباری مورد نیاز بوده و از نتیجه نیروهای شبیهسازی های دارای حرکت اجباری کسر می-شود. شکل ۵ نمای زیر بدنه شناور را در این بخش از شبیه سازی نشان میدهد. همچنین شکل ۶ سطح آزاد در این شبیه سازی ها را نشان میدهد. نتایج این شبیه سازی ها در جدول ۴ آمده است.



شکل ^۷. نمای *VOF* در زیر بدنه در شبیه سازی حرکت اجباری در خط مستقیم با تریم و عمق مغروق ثابت.



شکل <mark>۸</mark>. نمایی از سطح آزاد آب در شبیه سازی حرکت اجباری در خط مستقیم با تریم و عمق مغروق ثابت.

ز خط	اجباری در	ر حرکت	آمده در	نیروهای بدست	مقادير	۴. جدول	جدول
------	-----------	--------	---------	--------------	--------	---------	------

	دار	مق		پارامتر	
r/Δ		٢		Cv	
۶	۴	۶	۴	τ	
٨۶/۴۳	۵۱/۲۱	<u> </u> ۶۸/۷۹	۴۰/۵۵	F ₁₁	
14/80	٨/٧١	1./48	۶/۳۲	F ₃₁	

در جـدول F ، C_v ضریب سـرعت شـبیهسـازی و τ زاویـه تـریم اجباری برحسب درجه است. F_{11} همان نیروی مقاومت سـیال در برابر حرکت بدنه است. F_{31} نیروی وارد شده به بدنه در راستای z به دلیل حرکت سرج است.

پس از آن حرکت پیچ و هیو خالص به شناور اعمال شد. این حرکات هرکدام در دو سرعت و پنج فرکانس بررسی شد. نتایج محاسبه ضرایب در حوضچه کشش و شبیه سازی عددی در حرکت هیو خالص در جدول ۵ آمده است. نتایج محاسبه ضرایب در حوضچه کشش و شبیه سازی عددی در حرکت پیچ خالص نیز در جدول ۶ آمده است. در شکل ۷ نمایی از شبیه سازی حرکت هیو اجباری در ضریب سرعت ۲/۵ با تریم ثابت ۴ درجه ارائه شده است. در این نما میدان سرعت و VOF زیر بدنه مشاهده می شود.

جدول ۵. نتایج محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی بدنه در حرکت هیو خالص و تریم ۴ درجه.

	سچه کشش	نتايج حوذ		
B ₃₅	B ₃₃	A ₃₅	A ₃₃	فركانس
-۳1/۴۷	177/74	$-\mathfrak{r}/\mathfrak{r}$	36/18	4/12
-۲٩/٨٠	178/71	۲/۳۱	۳۱/۳۱	۶/۱۱

DOI: 10.61186/marineeng.19.40.9

-۳1/۴۷	۱۳۳/۸۸	۲/۳۱	29	٩/۴۴
-٣٢/۵λ	۱۳۹/۷۰	۲/۳۱	78/88	11/11
	ل عددی	نتايج ح		
-۳۳/۱۶	۱۲۸/۸۰	-٣/٢ ١	۳۸/۲۱	4/11
-۳1/۴•	۱۳۳/۰۹	۲/۴۳	۳۲/۹۹	۶/۱۱
-۳۳/1۶	141/•8	۲/۴۳	۳۰/۵۶	٩/۴۴
-٣۴/٧٢	141/19	۲/۴۳	TV/YY	11/11

جدول ۶. نتایج محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی بدنه در حرکت هیو خالص و تریم ۶ درجه.

	ضچه کشش	نتايج حوذ		
B ₃₅	B ₃₃	A ₃₅	A ₃₃	فركانس
- 1 • 7/7 1	400/21	٠/٨١	27/96	۴/۷۲
- 1 • 7/7 1	421/21	• / ٨ ١	۲٩/٩٠	۶/۱۱
-9 <i>۶</i> /۵۴	448/44	٠/٨١	۳۰/۵۴	٩/۴۴
- 1 • 7/7 1	484/20	٠/٨١	۳۰/۱۹	11/11
	ىل عددى	نتايج ح		
- ۱ • ۹/۳۲	410/41	٠/٩	۳۸/۲۱	4/11
- ۱ • ۹/۳۲	484/29	٠/٩	۳۲/۹۹	۶/۱۱
- ۱ • ۹/۳۲	487/88	٠/٩	۳۰/۵۶	٩/۴۴
- ۱ • ۹/۳۲	۴۸۷/۳۷	٠/٩	20/22	11/11

جدول ۷. نتایج محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی بدنه در حرکت پیچ خالص.

	وضچه کشش	نتايج ح		
B ₅₃	B ₅₅	A ₅₃	A ₅₅	فركانس
511	۱۸۰/۵۳	۱/•۵	٠/٧٣	۴/۷۲
۵۴۸/۸	١۶٨/۵٠	١/۶٢	١	۶/۱۱
۵۲۹/۸۶	۱۶۰/۳۸	٠/٧٣	• /88	٩/۴۴
۵۳۲/۳۲	108/48	۰/۵۲	٠/٧٣	11/11
	حل عددی	نتايج		
547/24	۱۹۳/۸۳	١/١٣	•/YA	۴/۷۲
۵۸۹/۲۲	۱۸۰/۹۱	١/٧٩	١/•٧	۶/۱۱
۵۶۸/۸۸	۱۷۲/۱۹	• /YA	•/۶٨	٩/۴۴

۵۷۹/۰۵ ۱۶۷/۹۸ ۰/۵۶ ۰/۷۸ ۱۱/۱۱

طبق جداول ۵ تا ۷ نتایج شبیه سازی عددی نسبت به آزمایشات مرجع [۱۴] از دقت مناسبی برخوردار است. لذا می توان نتیجه گرفت که با استفاده از روش شبیه سازی عددی می توان به نتایج مناسبی رسید.



شکل <u>۹</u>. نمایی از حرکت بدنه در شبیه سازی حرکت هیو اجباری. در این نما میدان سرعت و VoF زیر بدنه دیده می-شود. خط رنگی پایین معرف سرعت است.

۵ – نتیجه گیری

چنانچه پیش از این نیز اشاره شد، هدف از این پژوهش دستیابی به مدلی مناسب جهت شبیه سازی حرکت هیو و پیچ اجباری، جهت محاسبه ضرایب هیدرودینامیکی بدنه شناور، در رژیم جریان پروازی است. با توجه به نتایج و نرخ پایین خطای آن، این مهم حاصل شده است. همچنین در آینده می توان از این چینش حل، جهت بدست آوردن ضرایب هیدرودینامیکی دیگر بدنه ها و استفاده از آن ها در معادلات کنترلی استفاده نمود. از دیگر نتایج ناپایداری شناور نیز اشاره کرد. چرا که در چینشهایی که در آنها بدنه در شرایط حرکت آزاد قرار دارد، در شرایط ناپایدار بدنه باعث نرایانهای مواجه می شوان ناپایداریهایی همچون چاینروی را نیز پژوهشهای آتی، میتوان ناپایداریهایی همچون چاینروی را نیز شبیهسازی کرده و ضرایب بدنه و تغییرات آنها را نیز بدست آورد.

9 - مراجع

1- Stokes, G. G. (1851). On the effect of the internal
friction of fluids on the motion of pendulums.
2- Schneekluth, Herbert, Volker Bertram.(1998) Ship
design for efficiency and economy. Vol. 218. Oxford
Butterworth Heinemann

3- Ross, W.J., Bicycle. (1948), Google Patents.

4- Faltinsen, Ö. M. (2007). Challenges in hydrodynamics of ships and ocean structures.

waves. Journal of Marine Science and Engineering, 7(11), 418.

21- Ardeshiri S, Yari E. Calculation Submarine Hydrodynamic Coefficient by Hybrid Method. Marine Engineering 2023; 19 (38) :38-50(In Persian) 22- Abazari A, Behzad M. A review of the researches on the added mass and damping coefficients for the heave plates of the offshore platforms at translational and rotational oscillations. Marine Engineering 2020; 16 (31) :65-81(In Persian)

23- Javanmard E, Mansoorzadeh S. Numerical Investigation of an Underwater Vehicle Accelerated Motion and Determination of Its Added Mass Coefficients. Marine Engineering 2016; 11 (22) :1-13(In Persian) Brodogradnja: Teorija i praksa brodogradnje i pomorske tehnike, 58(3), 268-277.

5- Patel, P., & Premchand, M. (2015). *Numerical Investigation of the Influence of Water Depth on Ship Resistance*. International Journal of Computer Applications, 116, 10-17.

6- Wagner, H. (1931). Landing of seaplanes (No. NACA-TM-622).

7- Payne, P. R. (1974). *Coupled pitch and heave porpoising instability in hydrodynamic planing*. Journal of Hydronautics, 8(2), 58-71..

8- Khazaee, R., Rahmansetayesh, M. A., & Hajizadeh, S. (2019). *Hydrodynamic evaluation of a planing hull in calm water using RANS and Savitsky's method*. Ocean Engineering, 187, 106221.

9- Hajizadeh, S., Seif, M., & Mehdigholi, H. (2016). Determination of ship maneuvering hydrodynamic coecients using system identication technique based on free-running model test. Scientia Iranica, 23(5), 2154-2165.

10- Savitsky, D. (1964). *Hydrodynamic design of planing hulls*. Marine Technology and SNAME News, 1(04), 71-95.

11- Martin, M. (1978). *Theoretical determination of porpoising instability of high-speed planing boats*. Journal of ship research, 22(01), 32-53..

12- Vincent, L., Xiao, T., Yohann, D., Jung, S., & Kanso, E. (2018). *Dynamics of water entry*. Journal of Fluid Mechanics, 846, 508-535.

13- Troesch, A. W., & Falzarano, J. M. (1993). *Modern nonlinear dynamical analysis of vertical plane motion of planing hulls*. Journal of ship research, 37(03), 189-199.

14- Troesch, A. W. (1992). On the hydrodynamics of vertically oscillating planing hulls. Journal of Ship Research, 36(04), 317-331.

15- Sheingart, Z. (2014). *Hydrodynamics of high speed planing hulls with partially ventilated bottom and hydrofoils* (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology).

16- Ling, X., Leong, Z. Q., Chin, C., Woodward, M., & Duffy, J. (2022). Regression analysis and curve fitting for the hydrodynamic coefficients of an underwater vehicle undergoing straight-ahead motion. Ocean Engineering, 262, 112135.

17- Huang, H., Zhou, Z., Li, H., Zhou, H., & Xu, Y. (2020). The effects of the circulating water tunnel wall and support struts on hydrodynamic coefficients estimation for autonomous underwater vehicles. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 12, 1-10.

18- Cely, J. S., Saltaren, R., Portilla, G., Yakrangi, O., & Rodriguez-Barroso, A. (2019). Experimental and computational methodology for the determination of hydrodynamic coefficients based on free decay test: Application to conception and control of underwater robots. Sensors, 19(17), 3631.

19- Xu, H., & Soares, C. G. (2019). Hydrodynamic coefficient estimation for ship manoeuvring in shallow water using an optimal truncated LS-SVM. Ocean Engineering, 191, 106488.

20- Zhao, Y. P., Chen, Q. P., Bi, C. W., & Cui, Y. (2019). Experimental investigation on hydrodynamic coefficients of a column-stabilized fish cage in