



محاسبه ضرائب هیدرودینامیک جانبی با استفاده از روشهای دینامیک سیالات محاسباتی و Missile Datcom

یوسف زارع بیدکی^۱ ، محسن بیدکی^۲ ، ولی کلانتر^۳

آدرس : یزد- مهریز- خیابان شهید مطهری- کوچه شهید پلویی- پلاک ۱۴ - تلفن : ۰۳۵۲۵۲۲۲۹۶۱

پست الکترونیکی : yousefzb@yahoo.com

چکیده

تعیین دقیق ضرائب هیدرودینامیک جانبی نقش مهمی در مطالعات کنترل و مانورپذیری وسایل دریایی دارند ، در این مقاله ، برای محاسبه این ضرائب از روشهای دینامیک سیالات محاسباتی (CFD^4) بر اساس مدل سازی جریان مغشوش LES^5 و روابط نیمه تجربی MD^6 استفاده شده است . نتایج به دست آمده از این مدلها با نتایج موجود برای هندسه های مشابه که با فرض های ساده کننده ای بدست آمده بودند مقایسه شده است . در نهایت مشخص خواهد شد که روش های CFD و MD در تعیین ضریب خطی هیدرودینامیک دارای دقت بالایی هستند ولی در ضریب غیر خطی روش CFD نتایج دقیقتری نسبت به MD ارائه می دهد . همچنین غیر خطی بودن تغییرات نیروی پسا جانبی با سرعت جانبی در کارهای گذشته و مدلهای فعلی نشان داده شده است .

^۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک دانشگاه یزد

^۲ - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی هوا فضا دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

^۳ - استادیار دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه یزد

^۴ - Computational Fluid Dynamic

^۵ - Large Eddy Simulation

^۶ - Missile Datcom



کلمات کلیدی :

AUV-Missile Datcom - CFD - ضریب خطی هیدرودینامیک - ضریب غیر خطی هیدرودینامیک

۱. مقدمه

تعیین دقیق ضرایب هیدرودینامیک جانبی وسائیل اتوماتیک زیر آبی^۷ در پایداری، مانورپذیری و کنترل آنها نقش اساسی و عمده ای دارد. بنابراین ارائه روش کاربردی و مطمئن جهت محاسبه این ضرائب یکی از مسائلی است که در سالهای اخیر به آن پرداخته شده است و همچنان ادامه دارد. مرجع [1] محاسباتی بر اساس روابط تجربی مربوط به تئوری بالهای با نسبت منظری کوچک جونز^۸ و رگرسیون کلرک^۹ برای مدل‌های با مقطع دایره و بیضی با نسبت طول به قطر ۶ و ۱۰ انجام داده و فقط ضریب خطی هیدرودینامیک جانبی برای آن استخراج شده است. مرجع [2] نتایجی تجربی برای مدل Esso Osaka بدست آورد و ضرائب خطی و غیر خطی هیدرودینامیک جانبی را بدست آورد. مرجع [3] با استفاده از روشهای CFD برای یک جسم دارای تقارن محوری با نسبت طول به قطر ۴ و ۱۰ ضرائب خطی و غیر خطی هیدرو دینامیک جانبی را بدست آورد. مرجع [4] نتایجی تجربی را برای یک زیردریایی استخراج کرده و ضرایب خطی و غیر خطی هیدرودینامیک آن را بدست آورد مرجع [5] برای AUV با مدل‌های Kempf با نسبت طول به قطر ۶ و ۱۰ و مدل Blue eye که دارای مقطع بیضی و نسبت طول به قطر بزرگ ۶ و نسبت دو قطر ۲٫۸، با استفاده از حل کننده Fluent با مدل $\kappa - \varepsilon$ و با فرض اینکه دم AUV از حالت واقعی طولانی تر در نظر گرفته می شود، ضرائب خطی و غیر خطی هیدرودینامیک جانبی را استخراج کرد.

⁷ - AUV (Autonomous Underwater Vehicle)

⁸ - Jones low aspect ratio

⁹ - Clarke regression



هدف اصلی در این مقاله ، مدل کردن هر چه واقعی تر یک AUV نمونه با استفاده از روش CFD و MD و مقایسه آنها با کارهای گذشته است . همانطور که در بالا ذکر شد آخرین کار انجام شده [5] که یکی از جدید ترین کار انجام شده است و دارای دقت بالایی است . با در نظر گرفتن دم فرضی طولانی مسئله را ساده نموده است ، ولی پروژه حاضر با لحاظ کردن شکل واقعی یک AUV در صدد استخراج ضرائب خطی و غیر خطی هیدرو دینامیک است .

۲. شرح مسئله

وقتی یک جسم کاملاً غوطه ور در محیط یک سیال با سرعت ثابت به حرکت در می آید ، دو نیروی هیدرو دینامیکی به آن وارد می شود که یکی در راستای جهت حرکت که به نیروی پسا^{۱۰} معروف است و دیگری در جهت عمود بر راستای حرکت که نیروی برآ^{۱۱} نام دارد . اگر یک AUV به مانند شکل (۱) در سیال با زاویه حمله α شروع به حرکت کند و محور در راستای طولی آن را X و در جهت عمود بر محور طولی آن را Y بنامیم ، نیروهای بدون بعد ایجاد شده در راستاهای محور های مختصات X - Y را می توان به صورت زیر نوشت :

$$X' = C_D \cos(\alpha) - C_L \sin(\alpha) \quad , \quad Y' = C_D \sin(\alpha) + C_L \cos(\alpha) \quad (1)$$

که در رابطه فوق X', Y' و CD (ضریب پسا) و CL (ضریب برآ) شکل بدون بعد به ترتیب L, D, Y, X هستند ، که Y, X نیرو در راستاهای y, x و L, D به ترتیب نیروی پسا و برآ هستند و با ضریب $\frac{1}{2} \rho \cdot V^2 \cdot L^2$ بدون بعد شده اند که ρ چگالی سیال و V سرعت جسم و L طول جسم است . برای β, z, x در شکل (۱) هم رابطه ای مانند رابطه (۱) برقرار است . روشهای مختلفی برای محاسبه CD و CL وجود دارد . برای جریان چسبیده به بدنه ، توزیع فشار می تواند با استفاده از تئوری جریان پتانسیل تعیین شود. اصطکاک پوسته در یک جریان ویسکوز را می توان با

¹⁰ - Drag Force

¹¹ - Lift Force



حل همزمان تئوری جریان پتانسیل و لایه مرزی بدست آورد. اما حل لایه مرزی برای وقتی که جدایی جریان وجود دارد مناسب نیست. با توجه به اوصاف فوق دو راه برای آوردن CL و CD از طریق محاسبه پیشنهاد می شود. یکی حل کامل معادلات ناویر استوکس همراه با مدلسازی توربولانسی و یا استفاده از روابط نیمه تجربی MD است. با محاسبه CL و CD از دو روش فوق می توان Y' را نیز با توجه به زوایای حمله مختلف به دست آورد. از طرفی برای Y' داریم:

$$Y' = Y'_v \cdot v' + Y'_{vv} \cdot v' |v'| \quad (2)$$

که در رابطه فوق Y'_v و Y'_{vv} به ترتیب ضرائب خطی و غیر خطی هیدرودینامیک جانبی است و v' سرعت بدون بعد در راستای Y (که از تقسیم مولفه سرعت در راستای Y بر سرعت کلی بدست می آید) یا همان $\sin(\alpha)$ است. بنابراین با به دست آوردن مقادیر Y' نسبت به سینوس زوایای حمله مختلف وبا گذراندن یک منحنی درجه دو بر روی این داده هائی توان ضرائب فوق را استخراج کرد.

۱.۲. جزئیات محاسباتی

AUV مورد بررسی در این مقاله دارای طول کلی ۳۰۶۷ میلیمتر و دماغه کروی به شعاع ۱۶۲ میلیمتر است و شکل (۲) شماتیک آن نشان میدهد. همانطور که در بخش قبلی ذکر شد، در این پروژه برای محاسبه ضرائب هیدرودینامیک از دو روش CFD و MD استفاده شده است که در ذیل توضیحاتی در مورد آنها آمده است.

۱.۱.۲. روش CFD:

اولین گام در محاسبه CFD تولید شبکه خوب است که بتواند جریان سیال مورد بحث را با دقت نسبتاً خوبی مدل کند. شبکه از یک طرف باید در نزدیک مرز جامد آنقدر ریز باشد تا بتواند لایه مرزی ایجاد شده را نشان دهد و از طرف دیگر باید میدان حل آنقدر بزرگ باشد که بیرون از میدان حل تغییراتی وجود نداشته باشد و بتوان از اثرات مرز جامد در آن صرف نظر کرد. شماتیکی از میدان حل و شرایط مرزی آن در شکل (۳) آمده است. توجه شود که شکل (۳) با دوران حول



محور X بصورت سه بعدی حل می شود. مهمترین بخش شبکه کنار مرز جامد (شرط مرزی دیوار)^{۱۲} یا همان بدنه AUV است. سرعتهای در نظر گرفته شده برای AUV برابر با $0.5 \frac{m}{s}$ و $2 \frac{m}{s}$ است و با تعریف عدد رینولدز به صورت:

$$Re = \frac{L.V}{\nu} \quad (3)$$

که L طول AUV و V سرعت آن و ν لزجت سینماتیکی آب است. با این حساب مقدار عدد رینولدز در محدوده 1.5×10^6 تا 5.9×10^6 قرار می گیرد که نمایانگر جریان کاملاً مغشوش است، بنابراین باید از مدل‌های توربولانسی برای حل جریان استفاده کرد. با توضیحات فوق می توان تخمینی از حداقل اندازه شبکه در مرز جامد به دست آورد. کوچکترین اندازه شبکه را می توان با y^+ که یک پارامتر بدون بعد و نشان دهنده عدد رینولدز محلی در نزدیک مرز جامد است نشان داد. این پارامتر به صورت زیر بیان می شود [6].

$$y^+ = \frac{y.u_*}{\nu} \quad (4)$$

که y فاصله عمودی از مرز جامد و $u_* = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}}$ و τ_w تنش برشی در مرز جامد و ρ چگالی سیال است. از آنجایی که نمی توان به طور مستقیم از رابطه (۴) استفاده کرد، می توان با در نظر گرفتن تئوری لایه مرزی روی صفحه تخت این پارامتر را تخمین زد.

$$y^+ = 0.172 \left(\frac{y}{L}\right) . Re^{0.9} \quad (5)$$

که با قرار دادن $y^+ = 1$ و $L = 3.067m$ و $Re = 5.9 \times 10^6$ و مقدار $y = 1.4^{-5}$ بدست می آید که نشان دهنده اولین اندازه شبکه در جهت عمود بر مرز جامد است. توصیفات فوق نشان می دهد در تولید شبکه و مدلسازی جریان مغشوش دقت زیادی شود.

¹² - Wall



دقیقترین مدل حل برای جریانهای مغشوش DNS¹³ است که با حل کامل و غیر دائم و سه بعدی معادلات ناویراستوکس نتایج دقیقی را ارائه می دهد. اما این روش باید به علت اینکه شبکه بسیار ریز باشد، حجم شبکه آن فوق العاده زیاد شده و حل آن برای مدل حاضر با توجه به گستردگی میدان حل و پیچیدگی شکل آن، تقریباً غیر ممکن است لذا از روش LES که نزدیکترین روش به DNS است، می توان استفاده نمود. این مدل نیز حل غیر دائم و سه بعدی معادلات ناویر استوکس را انجام می دهد، ولی با این تفاوت که سیال را به دو بخش ادی های زیر شبکه¹⁴ یا کوچک که همسانگرد¹⁵ هستند، و ادی های بزرگ تقسیم کرده و با مدل کردن ادی های کوچک و حل ادی های بزرگ نتایج نسبتاً خوبی ارائه می دهد [7],[8]. بقیه مدل های جریان مغشوش موجود از روش های DNS و LES دارای دقت کمتری هستند ولی هزینه محاسباتی آنها پائین تر است. الگوریتم حل نیز با توجه به خصوصیات جریان از روش سیمپل¹⁶ استفاده شده است. [9]

۲.۱.۲. روش (MD) Missile Datcom :

یکی از روشهای مناسب برای بدست آوردن ضرائب هیدرودینامیک استفاده از مرجع Datcom [10] است. این مرجع بر پایه روابط نیمه تجربی که تحت فرمولهای مشخصی تدوین شده اند بنا شده است. روابط موجود در این مرجع بر پایه آزمایشات مختلف و متعددی بر روی انواع وسایل تدوین شده که مرجع اخیر (MD) [11] روابط مربوط به انواع موشک را در خود دارد و به عنوان یک روش مناسب و سریع با دقت مهندسی در اکثر مراکز تحقیقات موشکی داخل و خارج از کشور مورد استفاده قرار می گیرد، همچنین در این راستا نرم افزاری برای محاسبه ضرائب تدوین شده است که با تعریف ابعاد فیزیکی، فرم بدنه، شرایط جریان و دیگر موارد می توان به این ضرائب دست یافت.

¹³ -Direct Numerical Simulation

¹⁴ - Subgrid scal

¹⁵ - Isotropic

¹⁶ - Simple



۲.۱.۲.۱. محاسبه نیروی برآی بدنه :

در مرجع (MD) روشهای مختلفی برای محاسبه ضریب برآ با فرض جریان پتانسیل حول یک جسم متقارن ارائه شده است که این ضریب از دو عامل منشا می گیرد. یکی ناشی از توزیع فشار در اطراف جسم در حال حرکت در سیال و دیگری ناشی از لزجت بین سیال و بدنه جسم می باشد. در این راستا دو روش برای محاسبه ضریب برآ ارائه شده است. روش اول بر پایه توان دو سوم حجم کل بدنه بوده و اعتبار و دقت این روش تا زاویه حمله ۱۲ درجه می باشد. در روش دوم مقدار ضریب برآ در زاویه حمله بر حسب مساحت تصویر شده کل بدنه بر صفحه افقی بدست می آید و مزیت این روش نسبت به روش اول این است که تغییرات ضریب برآ بر حسب زاویه حمله غیر خطی بوده و دقت آن تا زاویه ۲۰ درجه، بیشتر از روش اول می باشد.

۲.۲.۱.۲. محاسبه ضریب پسا بدنه در زاویه حمله صفر :

این ضریب مقدار نیروی پسا در زاویه حمله صفر را به ما می دهد که شامل دو قسمت است.

الف - نیروی پسای حاصل از توزیع فشار بر روی بدنه.

ب- نیروی پسا حاصل از اصطکاک بین سطح و سیال

در سرعتهای پایین قسمت (ب) اهمیت بیشتری داشته و در سرعتهای بالا بخصوص وقتی که پدیده جدایی اتفاق می افتد، ترم اول از اهمیت بیشتری برخوردار می باشد. البته برای یک سیال با

لزجت کم، اصطکاک ناشی از سطح تقریباً صفر بوده و معمولاً برای مقادیر $\frac{L}{D}$ بیشتر از ۴ قابل

صرفنظر کردن است، که البته در مواردی که جسم دارای نوک غیر تیز باشد (مانند فرم بدنه مورد نظر) صدق نمی کند. این روش بر پایه سطح مقطع ماکزیمم بدنه یعنی سطح مقطع قسمت استوانه

ای بدست می آید و دقت نتایج این فرمول برای $\frac{L}{D} \geq 15$ با جواب حاصل از آزمایش بسیار نزدیک

است.



۲.۱. ۲. محاسبه ضریب پسا بدنه تحت زاویه حمله :

چهار روش برای بدست آوردن این ضریب با توجه به ابعاد بدنه ارائه شده است . روش اول برای بدنه های بزرگ و کوچک متقارن ارائه شده ، که در آن جریان پتانسیل غیر لزج حول دماغه آن و انتهای بدنه جریان لزج فرض شده است . روش دوم برای بدنه با بالهایی با نسبت منظری زیاد با ده درصد خطا بوده که در این حالت جریان ناشی از لزجت سیال در هر مقطع از بدنه مشابه جریان روی یک استوانه با طول بی نهایت بوده و نسبت به زمان ثابت فرض می شود . روش سوم برای زوایای حمله کم و نسبت منظری متوسط در نظر گرفته می شود و روش چهارم برای اجسام لاغر می باشد که دارای زوایای حمله از صفر تا ۱۸۰ درجه با مقطع دایره ای شکل می باشد . حال با توجه به توضیحات بالا و به دلیل متقارن بودن شکل بدنه و فرض وجود یک جریان پتانسیل حول دماغه به علت نازک بودن ضخامت لایه مرزی (به علت افزایش سرعت و کاهش فشار در این ناحیه) و جریان لزج در انتها به علت حالت معکوس جریان نسبت به قسمت سر ، از روش اول استفاده می شود . حال با توجه به روابط بالا در مورد ضریب پسا می توان مقدار کل ضریب پسا را بدست آورد ، بطوریکه ضریب پسا کل برابر است با ضریب پسا در زاویه حمله صفر به علاوه ضریب پسا بدنه تحت زاویه حمله [12] .

۳. نتایج و بحث روی آنها:

در حالت کلی وقتی که یک AUV با زاویه حمله کوچک (تقریباً صفر) در حال حرکت باشد ، با افزایش زاویه حمله در ابتدای امر تغییرات نیروی پسا جانبی با سرعت جانبی (یا تغییرات نیروی جانبی بدون بعد با $\sin(\alpha)$) به صورت خطی خواهد بود . اما زمانی که زاویه حمله اندکی بزرگ می شود ، این تغییرات از حالت خطی خارج شده و به حالت غیر خطی تبدیل می شود . طبق رابطه (۲) می توان این نیرو را به صورت جمع دو بخش خطی و غیر خطی نوشت و ضرائب مربوطه (Y_v) و (Y_{vv}) را با استفاده از گذراندن یک منحنی هموار درجه ۲ بصورت معادله (۲) با حداقل مربعات



خطا استخراج کرد. حتی می توان معادله (۲) را به صورت توان سوم یا مکعبی در نظر گرفت و ضریب غیر خطی آن را بدست آورد. علت اینکه با افزایش زاویه حمله تغییرات نیروی پسا جانبی با سرعت جانبی از حالت خطی به غیر خطی تبدیل می شود این است که در زوایای حمله کوچک جدایی جریان در جهت جانبی وجود ندارد و حتی می توان با تقریب خوبی جریان را به صورت جریان پتانسیل یا غیر لزج حل کرد. اما با افزایش زاویه حمله جریان جانبی از روی پوسته جدا شده و باعث می شود که یک جانبی پشت AUV ایجاد شود و هر چه زاویه حمله بزرگ تر شود این ویک نیز بزرگتر شده و از طرفی پدیده جدایش گردابه ها^{۱۷} نیز این عامل را تشدید کرده و نرخ افزایش نیرو را در برابر سرعت جانبی افزایش داده و از حالت خطی به غیرخطی تبدیل می کند.

با توجه به توصیفات فوق در این قسمت به تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده در این تحقیق پرداخته می شود. در جدول (۱) توضیحاتی در مورد منبع استخراج نتایج مختلف و سمبل آنها در شکلهای رسم شده آمده است.

تغییرات نیروی پسا جانبی بر حسب سرعت جانبی برای مدل مورد بررسی در این مقاله MD, Y0.5, Y2 و در کنار آنها برای مقایسه کارهای تحقیقاتی اخیر برای مدل های K2, K1, BE در شکل ۴ رسم شده است.

برای بررسی نتایج یک تحقیق CFD می بایست نتایج مشابهی جهت مقایسه در کنار آن قرار داده شود. متأسفانه در این زمینه در گذشته فعالیت زیادی صورت نگرفته است و مراجع کمی در این زمینه وجود دارد. یکی از کارهای نسبتاً معتبر و دقیقی که در سال ۲۰۰۵ منتشر شده است [5] استخراج ضرائب هیدرودینامیک با استفاده از Fluent برای مدل های K2, K1 است که پرفیل پوسته آن مشابه مدل مورد بررسی در این مقاله است. اما تحقیق مذکور با یک فرض ساده کننده اقدام به حل مسئله نموده است و آن فرض در نظر گرفتن یک دم فرضی طولانی است که این خود

¹⁷ - Vortex Shadding



روی نتایج تاثیر گذاشته است. در شکل ۴ نمایشی از کار فعلی و مقاله مذکور را نشان داده شده است. مدل Y2، MD و K1 هر سه شرایط مشابهی دارند، تنها تفاوت Y0.5 با سه مورد قبلی در سرعت آن است که به جای سرعت $2 \frac{m}{s}$ سرعت آن $0.5 \frac{m}{s}$ بوده است. مدل K2 دارای $\frac{L}{D}=6$ و مدل BE دارای مقطع بیضی شکل می باشد. شکل (۵) رسم تغییرات خطی نیروهای جانبی با سرعت است. در این شکل مشاهده می شود که MD و Y2 نتایج بسیار نزدیکی دارند و این نشان می دهد که روابط نیمه تجربی MD و نتایج CFD در قسمت خطی نتایج مشابهی ارائه می دهند و این بیانگر این مطلب است که روش MD می تواند در زمینه استخراج ضرائب خطی، دقت خیلی خوبی داشته باشد. اما نتیجه Y0.5 با دو نتیجه قبلی متفاوت است و این قابل پیش بینی بود. چون سرعت در این مورد بسیار کمتر از حالت قبلی است و همانطور که واضح است ضرائب پسا اعم از طولی یا جانبی با افزایش سرعت کم می شوند و این مورد نیز این مطلب را تصدیق می کند. اما بحث اصلی در مورد اختلاف نتیجه ایجاد شده بین Y2 و MD با K1 است. چون K1 شرایط هندسی و فیزیکی مشابهی با Y2 و MD دارد. علت را می تواند طولانی فرض کردن دم توسط مدل K1 باشد، زیرا این امر باعث افزایش نسبت طول به قطر شده و نسبت لاغری افزایش می یابد. با افزایش نسبت لاغری مقدار نیروهای بدون بعد نیز کاهش می یابد که این امر در شکل ۵ واضح است. در مورد مدل‌های BE و K2 نیز همین مطلب صادق است. شکل (۶) رسم تغییرات نیروهای غیر خطی پسا جانبی با سرعت است. این شکل تاثیر لزجت سیال را نیز نشان می دهد. در این شکل نتایج Y2 و Y0.5 و MD با هم شرایط متفاوتی دارند. در Y0.5 که کمترین مقدار را دارد این نکته را نشان می دهد که هر چه سرعت پایین تر باشد، به علت اینکه پدیده جدایی و گردابه دارای شدت کمتری است بنابراین نیروها کوچکتر خواهد بود.

اما در مورد MD نیز بیانگر این مطلب است که روابط نیمه تجربی مربوط در مورد جریان لزج و جدایی جریان دارای دقت کمتری نسبت به جریان غیر لزج است. در مورد اختلاف نتایج ایجاد شده



بین $Y2$ و $K1$ که دارای شرایط یکسانی هستند این مطلب را می توان گفت که هر چند در مورد شکل ۵ مقادیر $Y2$ نسبت به $K1$ برای جریان غیر لزج به علت دلایل ذکر شده بیشتر بود اما در آنجا به علت اینکه $K1$ دارای دم فرضی طولانی است و جدایی جریان جانبی و گردابه از دماغه تا انتهای دم وجود دارد ، و یک ایجاد شده بزرگتر خواهد بود و در نتیجه انتظار می رود که نیرو های لزج در مورد آن از $Y2$ بزرگتر شود . اما از طرفی چون دم طولانی آن دارای قطر خیلی کمتری از بدنه اصلی است ، لذا ویک و جدایی جریان و گردابه در این منطقه بسیار کوچک خواهد بود و در کل تاثیر کمی روی نیروی پسا جانبی لزج خواهد داشت و این اختلاف کم در شکل (۶) کاملاً واضح است . در مورد BE نیز همین مطلب صادق است ، اما در مورد $K2$ چون نسبت $\frac{L}{D} = 6$ است و در نتیجه نسبت لاغری آن نسبت به موارد فوق کمتر است بنابراین وجود مقادیر بزرگتر نیروی پسا جانبی برای آن قابل پیش بینی است . نکته دیگر تطابق $K2$ با MD است ، که این امر اتفاقی است ، زیرا MD دارای $\frac{L}{D} = 10$ است . مجموع نتایج شکل های (۵) و (۶) را در شکل (۴) که نیروی کلی را بیان می کند ، می توان مشاهده نمود . نتایج تحقیق حاضر در کنار نتایج معدود و معتبر که تاکنون انجام شده است در شکل های (۷) و (۸) و (۹) قابل مشاهده است، که در تمامی این شکلها می توان روند تغییرات غیر خطی نیروی جانبی با سرعت جانبی را دید . جدول (۲) نیز هدف نهایی این تحقیق را که استخراج ضرائب هیدرودینامیک بوده است را در کنار نتایج قبلی ، ارائه میدهد .



مراجع

- [1] Lewis, E.V., Principles of Naval Architecture, Volume III: Motions in Waves and Controllability. The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New York, USA, 1989.
- [2] Roderick Barr, A., Review and comparison of ship maneuvering simulation methods. SNAME Transaction 101, 609–635, 1993.
- [3] Lin, C.W., Perival, S., Gotimer, E.H., Viscous Drag Calculation for Ship Hull Geometry (Technical report), Design Evaluation Branch, David Taylor Model Basin, MD USA, 2004.
- [4] Sen, D., A study on sensitivity of maneuverability performance on the hydrodynamic coefficients for submerged bodies. Journal of Ship Research 44 (3), 186–196, 2000.
- [5] Tyagi, A., Sen, D., Calculation of transverse hydrodynamic coefficients using computational fluid dynamic approach, Ocean Engineering xx (2005) 1–12.
- [6] Schlichting, H., Boundary Layer Theory. McGraw-Hill, New York, NY, 1966.
- [7] A. Yakhot, S. A. Orszag, V. Yakhot, and M. Israeli. Renormalization Group Formulation of Large-Eddy Simulation. Journal of Scientific Computing, 4:139–158, 1989.
- [8] B. A. Galperin and S. A. Orszag. Large Eddy Simulation of Complex Engineering and Geophysical Flows. Cambridge University Press, 1993.
- [9] J. P. Vandoormaal and G. D. Raithby. Enhancements of the SIMPLE Method for Predicting Incompressible Fluid Flows. Numer. Heat Transfer, 7:147–163, 1984.
- [10] Hoak, DE., Finck, RD., USAF. Stability and Control Datcom. McDonnell Douglas Corporation, Wright – Paterson Airforce Base, Ohio. 1978.
- [11] MISSILE DATCOM USER'S MANUAL - 1997 FORTRAN 90 REVISION
- [12] William B. Blake Air Force Research Laboratory Air Vehicles Directorate Wright-Patterson Air Force Base, Ohio 45433-7531 FEBRUARY 1998 FINAL REPORT FOR PERIOD APRIL 1993-DECEMBER 1997

**۵. تشکر و قدردانی**

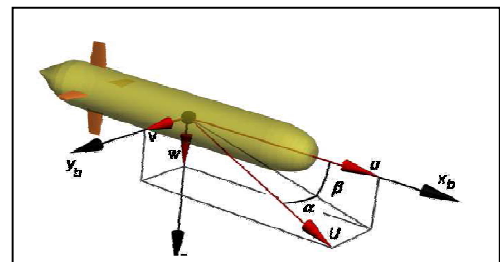
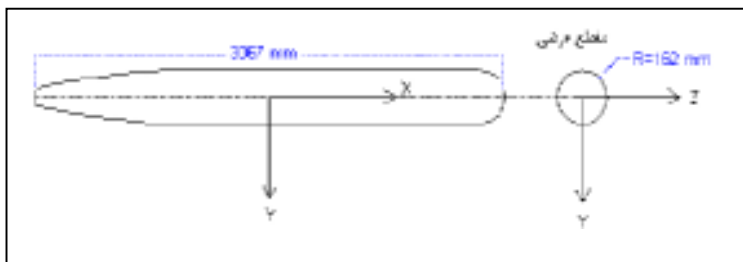
از آقایان دکتر احمد سوهانکار و دکتر محمد سفید از اعضای محترم هیئت علمی دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه یزد و آقایان مهندس شاهی فر و مهندس تقی نسب که ما را در انجام این تحقیق یاری فرمودند کمال تشکر و قدر دانی می نماییم و از درگاه خداوند برای آنان توفیق روز افزون خواستاریم.

جدول ۱. روشهای مختلف حل و علامت مربوط به آنها

علامت مدل حل	توضیحات مربوط به روش حل
Y2	محاسبات با استفاده از Fluent برای مدل مورد بحث در این مقاله با $L/D=10$ و سرعت 2m/s
Y0.5	محاسبات با استفاده از Fluent برای مدل مورد بحث در این مقاله با $L/D=10$ و سرعت 0.5m/s
MD	محاسبات بر پایه روابط نیمه تجربی Missile Datcom برای مدل مورد بحث در این مقاله $L/D=10$ و سرعت 2m/s
K1	محاسبات با استفاده از Fluent برای مدل Kempf با $L/D = 10$ و سرعت 2m/s [5]
K2	محاسبات با استفاده از Fluent برای مدل Kempf با $L/D = 6$ و سرعت 2m/s [5]
BE	محاسبات با استفاده از Fluent برای مدل BelueEyes با $2b/c= 2.8$ و $L/2c = 6$ و سرعت 2m/s [5]
A1	محاسبات با استفاده از روش CFD برای یک جسم متقارن محوری با $L/D = 10$ [3]
A2	محاسبات با استفاده از روش CFD برای یک جسم متقارن محوری با $L/D = 4$ [3]
Sub	نتایج حاصل از آزمایش بر روی یک زیر دریایی [4]
EO1	نتایج حاصل از آزمایش برای مدل ESSO OSACA (Post-Test) [2]
EO1A	نتایج حاصل از آزمایش برای مدل ESSO OSACA (Pri-Test) [2]
C(K1)	محاسبات بر پایه روابط تجربی رگرسیون Clarke برای مدل Kempf با $L/D = 10$ $(T=D/2)$ [1]
C(K2)	محاسبات بر پایه روابط تجربی رگرسیون Clarke برای مدل Kempf با $L/D = 6$ $(T=D/2)$ [1]
C(BE)	محاسبات بر پایه روابط تجربی رگرسیون Clarke برای مدل BelueEyes با $2b/c= 2.8$ و $L/2c = 6$ $(T= c)$ [1]
WT(K1)	محاسبات بر پایه تئوری بالها با نسبت منظری پایین ، برای مدل Kempf با $L/D = 10$ $(T=D/2)$ [1]
WT(K2)	محاسبات بر پایه تئوری بالها با نسبت منظری پایین برای مدل Kempf با $L/D = 6$ $(T=D/2)$ [1]
WT(BE)	محاسبات بر پایه تئوری بالها با نسبت منظری پایین برای مدل BelueEyes با $2b/c= 2.8$ و $L/2c = 6$ $(T= c)$ [1]

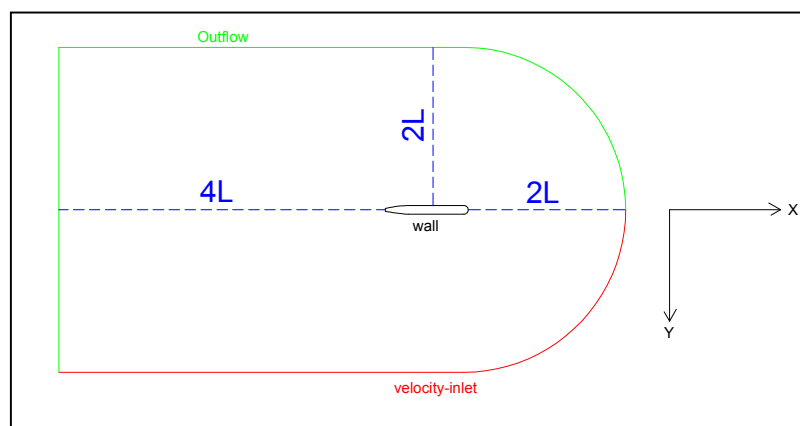
جدول ۲. نتایج نهایی

مدل	Y'_v	Y'_{vv}
Y2	0.0167	0.0256
Y0.5	0.0279	0.0072
MD	0.0172	0.0761
K1	0.0073	0.0363
K2	0.0094	0.0767
BE	0.0109	0.0454
A1	0.0021	0.0519
A2	0.0148	0.1045
Sub	0.0456	0.0736
EO1	0.0205	0.0338
EO1A	0.0157	0.058
C(K1)	0.0107	-----
C(K2)	0.0276	-----
C(BE)	0.0379	-----
WT(K1)	0.0078	-----
WT(K2)	0.0218	-----
WT(BE)	0.0218	-----

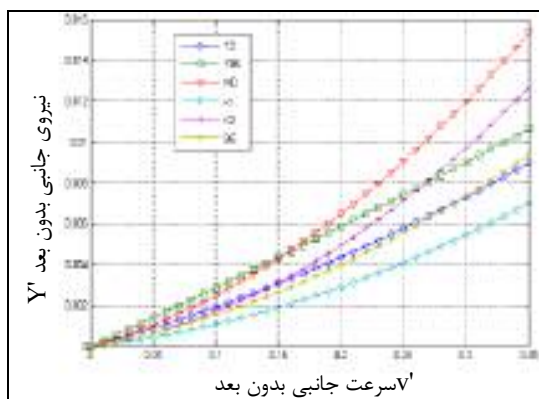


شکل ۲. ابعاد مدل مورد بررسی

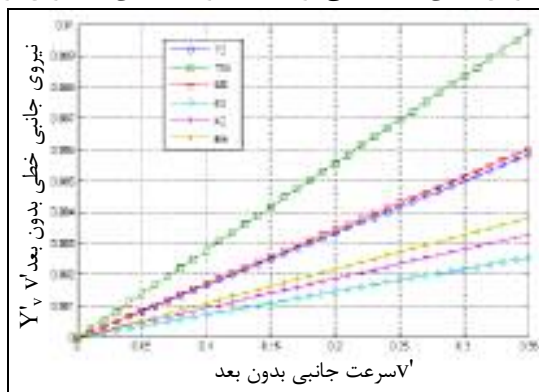
شکل ۱. نمایی از مسئله



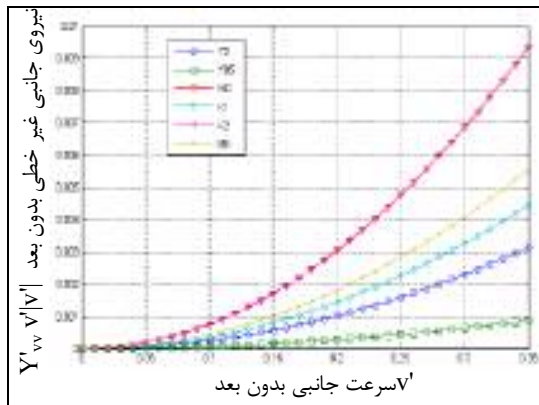
شکل ۳. نمایی از میدان حل و شرایط مرزی (L طول کل AUV است)



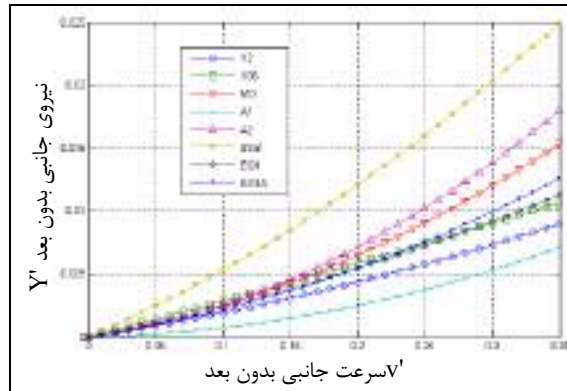
شکل ۴. تغییرات نیروی بدون بعد جانبی بر حسب سرعت بدون بعد برای نرخ چرخش صفر



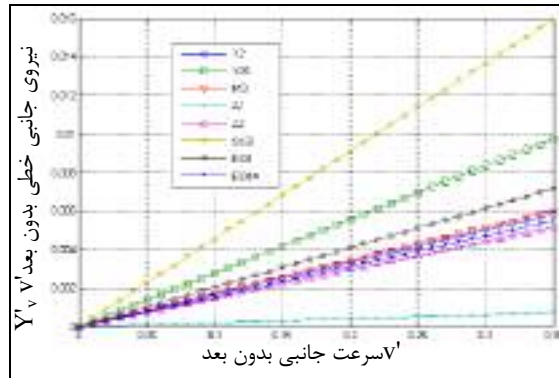
شکل ۵. تغییرات مولفه خطی نیروی بدون بعد جانبی بر حسب سرعت بدون بعد برای نرخ چرخش صفر



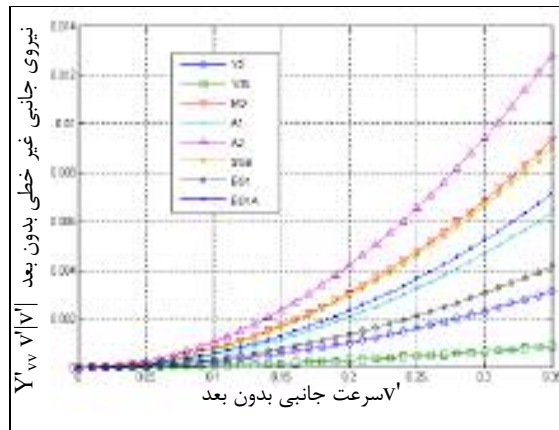
شکل ۶. تغییرات مولفه غیر خطی نیروی بدون بعد جانبی بر حسب سرعت بدون بعد برای نرخ چرخش صفر



شکل ۷. تغییرات نیروی بدون بعد جانبی بر حسب سرعت بدون بعد برای نرخ چرخش صفر



شکل ۸. تغییرات مولفه خطی نیروی بدون بعد جانبی بر حسب سرعت بدون بعد برای نرخ چرخش صفر



شکل ۹. تغییرات مولفه غیر خطی نیروی بدون بعد جانبی بر حسب سرعت بدون بعد برای نرخ چرخش صفر