بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه یزد

دانشکده مکانیک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

گرایش تبدیل انرژی

بررسی عددی هیدرودینامیک جریان حول یک مدل زیردریایی استاندارد

استاد راهنما:

دکتر علی اکبر دهقان

استاد مشاور:

دکتر مجتبی دهقان منشادی

پژوهش و نگارش:

سعید عابدی

آذر ۹۲

تقدیم به

روح پاک شهیدان

مخصوصاً شهدای گمنام

آنهایی که از نفس افتادند تا ما از نفس نیفتیم

قامت در خون کشیدند تا ما قامت خم نکنیم

به خاک افتادند تا ما به خاک مذلت نیفتیم

تقدیر و تشکر

اکنون که با تأییدات الهی توفیق آن را یافتم که پایان نامه کارشناسی ارشد خود را به پایان برسانم، در اینجا بر خود لازم می‌دانم از خانواده مهربانم به‌خصوص از زحمات و حمایت‌های پدر و مادر گرامی‌ام کمال تشکر و قدردانی را بنمایم. از اساتید ارجمند جناب آقای دکتر علی‌اکبر دهقان و جناب آقای دکتر مجتبی دهقان منشادی که با راهنمایی‌های خود اینجانب را یاری نموده‌اند، تشکر و قدردانی می‌کنم. ضمناً از جناب آقای علی سعیدی‌نژاد که همواره از نظرات ایشان استفاده کرده‌ام، متشکرم. همچنین از دوست بسیار خوبم جناب آقای مهندس رسول معتمدی که همراهی بی‌نظیر در تمام مراحل انجام این پروژه بودند، بسیار سپاسگزارم و از خداوند متعال برای همه این عزیزان موفقیت در تمام مراحل زندگی را آرزو دارم. خدایا از تو می‌خواهم که چنان کنی که در تمامی مراحل زندگی در سایه الطاف تو باشم و جز در مسیر رضای تو گام برندارم.

چکیده

بررسی مشخصه‌ها و رفتار جریان سیال و همچنین، بدست‌آوردن ضرایب بی‌بعد پیرامون اجسام غوطه‌ور، جزء مسائل مهم و قابل‌توجه در رشته‌های مهندسی مکانیک و هوافضا به‌شمار می‌رود. در این حالت بین جسم و سیال، مبادله‌ی نیرو و انرژی رخ می‌دهد. تعیین این نیروها می‌تواند اساس حرکت جسم غوطه‌ور و یا پایه‌ی محاسبات لازم جهت مقاوم‌سازی ساختارهای مستغرق در سیال را مشخص نماید. صنایع دریایی نقش و تأثیر مهمی در زندگی انسان‌ها دارند. زیردریایی یکی از پیشرفته‌ترین تجهیزات متحرک دریایی است که از سطح آب تا اعماق دریا حرکت می‌کند و قادر به انجام عملیات‌های نظامی به صورت کاملاً مخفی و ناشناس است.

وسایل زیرسطحی بدنه‌ای خط جریان کشیده دارند. جریان سه‌بعدی ایجادشده در اطراف بدنه‌ی آنها دارای پیچیدگی‌هایی مانند ایجاد نقطه‌ی سکون، تشکیل لایه‌مرزی سه‌بعدی، جدایی آن در طول یک سطح محدب و تشکیل گردابه می‌باشد. شبیه‌سازی صحیح رفتار این وسایل به تعیین دقیق نیروها و ممان‌های هیدرودینامیکی وارد بر بدنه نیاز دارد. دینامیک سیالات محاسباتی بهترین راه پیش‌بینی نیروها در مقیاس کامل وسیله زیرسطحی را فراهم می‌کند. با استفاده از این روش می‌توان برای تمام اعداد رینولدز به حل رسید و اگر قدرت محاسباتی در دسترس باشد می‌توان اثرات دینامیکی را لحاظ کرد. در این پژوهش جریان سه بعدی متقارن محوری اطراف بدنه‌ی یک مدل زیردریایی استاندارد در حالت دائم و با کمک روش حجم محدود مبتنی بر المان بررسی شده است. برای این منظور جریان اطراف مدل با یک شبکه‌ی سازمان‌یافته و با استفاده از نرم‌افزار دینامیک سیالات محاسباتی ANSYS CFX در دو حالت زیردریایی بدون برجک و با برجک شبیه‌سازی شده است. ابتدا روش عددی درمقابل یافته‌های تجربی موجود اعتبارسنجی شده و سپس دو شکل دماغه استاندارد SUBOFF و DRDC STR برای این زیردریایی در زوایای حمله‌ی متفاوت درنظر گرفته شده است.

به‌منظور بررسی کامل رفتار جریان در اطراف مدل، نیروهای هیدرودینامیکی طولی محاسبه و ساختار دنباله در پشت مدل برای دو دماغه بررسی شده است. نتایج محاسباتی شامل مکان

جدایش جریان، خطوط تنش برشی دیوار، توزیع فشار و اصطکاک سطح، قدرت و مکان مراکز گردابه در زاویه حمله ۲۰ درجه ارائه و رژیم جریان برای دو زاویه ۱۰ و ۲۰ درجه مقایسه شده است. با مقایسه‌ی دو دماغه، در حالت دماغه‌ی DRDC STR خط جدایی جریان به‌سمت موافق جریان حرکت کرده، جدایش جریان در زوایای کمتری رخ داده، اندازه‌ی ناحیه‌ی جدایی افزایش یافته، منجر به تشکیل گردابه‌های قوی‌تر شده و باعث افزایش نیروی درگ و لیفت می‌شود.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول

شناخت و مفاهیم اولیه ۱

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- تشریح دینامیک سیالات محاسباتی و ویژگی‌های آن ۲

۱-۳- معرفی پارامترها ۴

۱-۴- شناسایی نیروها ۷

۱-۴-۱- نیروی رانش ۸

۱-۴-۲- نیروهای درگ و لیفت هیدرودینامیکی ۹

۱-۴-۳- نیروی جرم افزوده ۹

۱-۵- دنباله ۱۰

۱-۶- میدان جریان زیردریایی ۱۱

۱-۷- رژیم جریان ۱۳

۱-۸- مروری بر کارهای انجام شده ۱۵

۱-۹- تأثیر شکل بدنه و ملحقات بدنه در کنترل دینامیک زیردریایی ۲۲

۱-۹-۱- بدنه‌ی اصلی ۲۳

۱-۹-۲- برجک ۲۵

۱-۱۰- پژوهش حاضر ۲۶

فصل دوم

معادلات حاکم بر جریان ۲۹

۲-۱- مقدمه ۲۹
۲-۲- اثر آشفتگی ۳۰
۲-۳- معادلات حاکم ۳۱
۲-۳-۱- بدست‌آوردن معادلات متوسط زمانی ۳۲
۲-۳-۲- مدل‌کردن تنش‌های رینولدز ۳۳
۲-۴- بررسی مدل‌های جریان آشفته ۳۴
۲-۴-۱- مدل آشفتگی Spalart-Allmaras ۳۵
۲-۴-۲- مدل آشفتگی k–ε ۳۵
۲-۴-۳- مدل آشفتگی RNG k–ε ۳۶
۲-۴-۴- مدل آشفتگی k–ω ۳۶
۲-۴-۵- مدل آشفتگی انتقال تنش برشی ۳۶
۲-۴-۶- مدل‌های آشفتگی تنش رینولدز ۳۷
۲-۵- مدل‌کردن جریان نزدیک دیواره ۳۷
۲-۵-۱- توابع دیواره ۳۹
۲-۵-۲- توابع دیوار مقیاس‌پذیر ۴۰
۲-۵-۳- رفتار نزدیک دیوار اتوماتیک ۴۱

فصل سوم

نحوه گسسته‌سازی و حل معادلات جریان ۴۳
۳-۱- مقدمه ۴۳
۳-۲- گسسته‌سازی عددی ۴۴
۳-۲-۱- گسسته‌سازی معادلات حاکم ۴۴
۳-۲-۲- مرتبه دقت ۴۷

۳-۳- توابع شکل ۴۸
۳-۳-۱- گرادیان‌های حجم کنترل ۴۹
۳-۴- جمله جابجایی سیال ۵۰
۳-۴-۱- طرح مرتبه یک اختلاف بالادست ۵۱
۳-۴-۲- فاکتور ترکیبی مشخص ۵۳
۳-۴-۳- طرح اختلاف مرکزی ۵۲
۳-۴-۴- طرح دقت بالا ۵۲
۳-۵- جملات نفوذ ۵۳
۳-۶- جمله گرادیان فشار ۵۳
۳-۷- دبی‌های جرمی ۵۴
۳-۸- دستگاه معادلات کوپل ۵۶
۳-۹- استراتژی حل ۵۷
۳-۹-۱- جواب کلی ۵۷
۳-۹-۲- حل معادله خطی ۵۸
۳-۱۰- روند حل عددی پژوهش حاضر ۶۰
۳-۱۰-۱- مدل‌سازی ریاضی و مشخصات هندسی ۶۰
۳-۱۰-۲- تولید شبکه ۶۲
۳-۱۰-۳- گسسته‌سازی و حل معادلات ۶۳
۳-۱۱- معرفی ضرایب هیدرودینامیکی ۶۳

فصل چهارم

بررسی نتایج نیروی طولی مدل ۶۵
۴-۱- مقدمه ۶۵

۴-۲- ارائه نتایج مدل‌سازی عددی برای مدل زیردریایی مورد استفاده در مراجع گذشته ۶۶
۴-۳- مدل‌سازی عددی مدل زیردریایی مورد مطالعه تجربی در تونل باد ۷۶

فصل پنجم

بررسی نتایج میدان جریان پشت مدل ۸۱
۵-۱- مقدمه ۸۱
۵-۲- بررسی نتایج ۸۲

فصل ششم

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۱۰۳
۶-۱- جمع‌بندی ۱۰۳
۶-۲- نتیجه‌گیری ۱۰۴
۶-۳- پیشنهادها ۱۰۶

مراجع ۱۰۹

فهرست جداول

عنوان صفحه

جدول (۴-۱) مختصات برجک ۶۷

جدول (۴-۲) مشخصات سیال ۷۰

جدول (۴-۳) مطالعه شبکه ۷۰

جدول (۴-۴) مقایسه مقادیر عددی نتایج حاضر و نتایج تجربی ضریب نیروی طولی ۷۱

جدول (۴-۵) مقایسه مقادیر ضریب نیروی طولی برای زیردریایی با دو دماغه ۷۴

جدول (۴-۶) مشخصات مدل زیردریایی و تونل باد ۷۷

جدول (۴-۷) ضریب درگ حاصل از نتایج عددی و آزمایشگاهی برای سرعت ورودی ۷ متر بر ثانیه ۷۸

جدول (۴-۸) ضریب درگ حاصل از نتایج عددی و آزمایشگاهی برای سرعت ورودی ۱۰ متر بر ثانیه ۷۹

جدول (۵-۱) مشخصات میدان حل و مدل زیردریایی ۸۲

جدول (۵-۲) مکان مراکز گردابه برای زیردریایی سابوف ۸۴

فهرست اشکال

عنوان صفحه

شکل (۱-۱) زیردریایی و حرکت‌های آن ۶

شکل (۱-۲) تشکیل گردابه و توزیع سرعت پشت استوانه ۱۰

شکل (۱-۳) نمایی از میدان جریان پیچیده‌ی یک زیردریایی ۱۲

شکل (۱-۴) گردابه‌ی نعل اسبی در اتصال برجک با بدنه ۱۳

شکل (۱-۵) تأثیر زاویه حمله بر میدان جریان ۱۴

شکل (۱-۶) مدل SHG با بافل کنترل گردابه ۲۰

شکل (۱-۷) شکل نامتقارن بدنه زیردریایی ۲۳

شکل (۱-۸) شکل چند دماغه ۲۴

شکل (۱-۹) مدل زیردریایی سابوف ۲۷

شکل (۲-۱) دو ناحیه‌ای بودن مدل انتقال تنش برشی ۳۷

شکل (۲-۲) تقسیم‌بندی ناحیه‌ی نزدیک دیوار ۳۸

شکل (۳-۱) ایجاد حجم کنترل در یک شبکه دوبعدی ۴۵

شکل (۳-۲) المان شبکه ۴۶

شکل (۳-۳) المان شش‌وجهی ۴۹

شکل (۳-۴) اعمال خطای پخش به گرادیان‌های شدید در طرح مرتبه یک اختلاف بالادست ۵۱

شکل (۳-۵) اعمال خطای پخش به گرادیان‌های شدید در حالت $\beta=1$ ۵۲

شکل (۳-۶) رویکرد حل در نرم افزار ANSYS CFX ۵۸

شکل (۳-۷) مدل زیردریایی سابوف ۶۰

شکل (۳-۸) دو دوماغه مورد مطالعه ۶۱

شکل (۳-۹) نمادگذاری و دستگاه مختصات روی بدنه زیردریایی سابوف ۶۱

شکل (۴-۱) دامنه سیال محاسباتی ۶۷

شکل (۴-۲) شبکه روی سطح زیردریایی بدون برجک ۶۸
شکل (۴-۳) شبکه روی سطح زیردریایی با برجک ۶۸
شکل (۴-۴) شبکه O اطراف زیردریایی ۶۸
شکل (۴-۵) نمایی از شبکه کل دامنه محاسباتی ۶۹
شکل (۴-۶) کانتور y^+ روی بدنه زیردریایی ۶۹
شکل (۴-۷) ضریب فشار در طول بدنه بدون متعلقات ۷۳
شکل (۴-۸) ضریب فشار در طول بدنه با برجک ۷۳
شکل (۴-۹) مقایسه توزیع ضریب فشار در طول بدنه در زاویه $\theta=180^o$ برای دو دماغه در حالت زیردریایی بدون برجک ۷۵
شکل (۴-۱۰) مقایسه توزیع فشار در طول بدنه در زاویه $\theta=180^o$ برای دو دماغه در حالت زیردریایی با برجک ۷۶
شکل (۴-۱۱) مدل زیردریایی در تونل باد ۷۷
شکل (۴-۱۲) هندسه شبیه‌سازی شده ۷۷
شکل (۴-۱۳) مقایسه کانتور سرعت بدون بعد ($\frac{u}{U_\infty}$) در فاصله‌ی x/d=7.0 از انتهای مدل ۸۰
شکل (۵-۱) نمایی از شبکه دامنه حل در یک صفحه عمودی در زاویه حمله ۱۰ درجه ۸۲
شکل (۵-۲) مقایسه نتایج عددی و تجربی میدان گردابه برای زیردریایی سابوف در صفحه عرضی X/L=0.6 ..... ۸۳
شکل (۵-۳) کانتور توزیع فشار در یک صفحه عمودی برای زیردریایی با دماغه سابوف ۸۴
شکل (۵-۴) کانتور توزیع فشار در یک صفحه عمودی برای زیردریایی با دماغه DRDC STR. ۸۵
شکل (۵-۵) کانتور توزیع سرعت در یک صفحه عمودی برای زیردریایی با دماغه سابوف ۸۵
شکل (۵-۶) کانتور توزیع سرعت در یک صفحه عمودی برای زیردریایی با دماغه DRDC STR ۸۵
شکل (۵-۷) کانتور فشار کلی روی سطح مدل و در صفحات جانبی مختلف برای مدل سابوف ..۸۶

شکل (۵-۸) کانتور فشار کلی صفحات جانبی $X/L\geq1$ برای مدل سابوف ۸۶
شکل (۵-۹) مکان مراکز گردابه در طول مدل برای دو شکل دماغه ۸۷
شکل (۵-۱۰) توزیع فشار در طول مدل برای دو شکل دماغه ۸۷
شکل (۵-۱۱) خطوط تنش برشی روی سطح مدل برای دو دماغه ۸۹
شکل (۵-۱۲) زاویه‌ی جدایش جریان برای زیردریایی با دو دماغه ۸۹
شکل (۵-۱۳) کانتور قدرت گردابه در صفحه جانبی ($X/L=0.6$) برای زیردریایی با دماغه DRDC STR ۹۰
شکل (۵-۱۴) نمودار قدرت مراکز گردابه برحسب فاصله محوری برای دو دماغه ۹۱
شکل (۵-۱۵) توزیع فشار اطراف بدنه در فواصل محوری مختلف برای دماغه سابوف ۹۲
شکل (۵-۱۶) توزیع فشار اطراف بدنه در فواصل محوری مختلف برای دماغه DRDC STR ۹۲
شکل (۵-۱۷) توزیع فشار اطراف بدنه در $X/L=0.1$ برای دو شکل دماغه ۹۳
شکل (۵-۱۸) توزیع اصطکاک سطح اطراف بدنه در فواصل محوری مختلف برای دماغه سابوف .۹۴
شکل (۵-۱۹) توزیع اصطکاک سطح اطراف بدنه در فواصل محوری مختلف برای دماغه DRDC STR ۹۵
شکل (۵-۲۰) توزیع اصطکاک پوستی اطراف بدنه در $X/L=0.2$ برای دو شکل دماغه ۹۵
شکل (۵-۲۱) مکان جدایش و چسبیدن جریان برای زیردریایی سابوف ۹۶
شکل (۵-۲۲) کانتور فشار کلی روی سطح مدل و در صفحات جانبی برای مدل زیردریایی سابوف در دو زاویه حمله ۱۰ و ۲۰ درجه ۹۷
شکل (۵-۲۳) خطوط تنش برشی روی سطح مدل برای زیردریایی سابوف در دو زاویه حمله ده و بیست درجه ۹۷
شکل (۵-۲۴) توزیع فشار اطراف بدنه در فاصله محوری $X/L=0.3$ در دو زاویه حمله ده و بیست درجه ۹۸

شکل (۵-۲۵) توزیع فشار اطراف بدنه در فاصله محوری X/L=0.5 در دو زاویه حمله ده و بیست درجه ۹۸
شکل (۵-۲۶) توزیع فشار اطراف بدنه در فاصله محوری X/L=0.7 در دو زاویه حمله ده و بیست درجه ۹۹
شکل (۵-۲۷) توزیع اصطکاک اطراف بدنه در فاصله محوری X/L=0.3 در دو زاویه حمله ده و بیست درجه ۱۰۰
شکل(۵-۲۸) توزیع اصطکاک اطراف بدنه در فاصله محوری X/L=0.5 در دو زاویه حمله ده و بیست درجه ۱۰۰
شکل (۵-۲۹) توزیع اصطکاک طراف بدنه در فاصله محوری X/L=0.7 در دو زاویه حمله ده و بیست درجه ۱۰۱

فهرست علائم

نمادها

C	ثابت لایه‌ی لگاریتمی
D	قطر بیشینه‌ی زیردریایی
K	انرژی جنبشی آشفتگی
K	ثابت ون‌کارمن
L	طول مدل زیردریایی
P	فشار متوسط سیال
U	سرعت زیردریایی
U_t	سرعت مماسی
u_τ	سرعت اصطکاکی
$\bar{u}_i$	سرعت‌های متوسط
u_i'	مؤلفه‌ی نوسانی سرعت‌ها
f_i	نیروی خارجی

نمادهای یونانی

Ω	اتلاف مخصوص
A	زاویه حمله
B	زاویه دریفت
ε	نرخ اتلاف انرژی آشفتگی
θ_s	زاویه جدایی جریان
μ	لزجت مولکولی
μ_T	لزجت ادی

P	چگالی
τ_{ij}	تنش کلی
τ_w	تنش برشی دیوار
τ_θ	تنش برشی عرضی

اعداد بدون بعد

C_D	ضریب درگ
C_f	ضریب اصطکاک پوستی عرضی
C_P	ضریب فشار
Re	عدد رینولدز
X'	ضریب نیروی طولی
u^+	سرعت نزدیک دیوار
y^+	فاصله‌ی بدون بعد از سطح

بالا نویسها

O	گام زمانی قبلی
_	مقدار متوسط

فصل اول
شناخت و مفاهیم اولیه

۱-۱- مقدمه

بیش از ۷۰ درصد سطح زمین توسط آب پوشیده شده است. منابع و صنایع دریایی نقش و تأثیر مهمی در زندگی انسان‌ها دارند. به همین دلیل مطالعه و بررسی بسیاری از مسائل مهندسی، زیست‌شناسی، تجاری و نظامی مرتبط با دریا، همواره مورد توجه محققان بوده است. با توسعه و گسترش صنایع دریایی و علوم مرتبط با دریا، امروزه برای انجام بسیاری از کاربردهای کشف و استخراج منابع زیرسطحی، بازرسی و جمع‌آوری اطلاعات زیست‌محیطی و تحقیقاتی و نیز نصب، تعمیر و نگهداری سازه‌های ساحلی و دریایی، به‌کارگیری تکنولوژی خاص و جدیدی برای پاسخ‌گویی به نیازهای روزافزون پیش‌آمده، ضروری می‌نماید. استفاده از وسایل و ابزارآلات مهندسی که قابلیت به‌کارگیری در اعماق آب را دارند و کاربری‌های متنوع در فضا و بستر دریا را ممکن می‌سازند، چنان در سال‌های اخیر توسعه و گسترش یافته که توانایی بشر را در بررسی، تحقیق و کار در اعماق دریا، به‌شدت متحول نموده است.

۱-۲- تشریح دینامیک سیالات محاسباتی و ویژگی‌های آن

مسئله‌ی طراحی وسایل زیرسطحی[1] برای درگ کم و حرکت خوب و پایداری آن موضوع خیلی از مطالعات در سال‌های گذشته بوده است. این وسایل به قابلیت مانور و همچنین کنترل آسان نیاز دارند. شبیه‌سازی رفتار این وسایل به تعیین دقیق بارهای هیدرودینامیکی نیاز دارد که به‌وسیله‌ی تست مدل یا روش تجربی، روش عددی و یا ترکیبی از هر دو محاسبه می‌شوند. روش‌های دینامیک سیالات محاسباتی[2] می‌تواند در اینجا با ارائه‌ی یک محاسبه‌ی دقیق‌تر و آسان‌تر نیروها روی وسیله‌ی زیرسطحی تحت شرایط جریان متفاوت نقش مهمی ایفا کند. ابزار دینامیک سیالات محاسباتی برای این هدف از ابتدای سال ۱۹۹۰ به‌کار برده شده است، و با به‌کاربردن روش‌های مدل متوسط رینولدز ناویراستوکس[3]، شبیه‌سازی ادی‌های بزرگ[4] و شبیه‌سازی جداگانه‌ی ادی‌ها[5] یک روش کامل شده است [۱].

تست مدل برای زیردریایی سخت و گران است و برای نگهداری مدل نیاز به تکیه‌گاه دارد. روش‌های شبه‌تجربی بعضی اوقات اثرات غیرخطی را نادیده می‌گیرند و غالباً بر فرض جریان پتانسیل استوار هستند. دینامیک سیالات محاسباتی به تعدادی تقریب نیاز دارد، اثر ویسکوزیته را در بر دارد، می‌تواند برای تمام اعداد رینولدز به حل برسد و اگر قدرت محاسباتی در دسترس باشد می‌تواند اثرات دینامیکی را لحاظ کند [۱].

برای مدل تجربی هزینه‌ی زمانی و اقتصادی زیادی وجود دارد، بنابراین در مرحله‌ی اول طراحی زیردریایی[6]، به دلیل تغییرات زیاد در طراحی روش چندان مناسبی نیست. هم‌چنین روش‌های تخمین شبه‌تجربی برای پیش‌بینی هیدرودینامیک مانور زیردریایی فقط شکل ساده دارند و شامل پارامترهای طراحی ساده هستند و آن‌ها نمی‌توانند اثرات پارامترهای مورد نیاز

[1] Underwater Vehicles
[2] Computational Fluid Dynamics (CFD)
[3] Reynolds Averaged Navier Stokes (RANS)
[4] Large Eddy Simulation (LES)
[5] Detached Eddy Simulation (DES)
[6] Submarine

زیردریایی در توانایی مانور[1] را به قدر کافی منعکس کنند و منجر به نتایج پیش‌بینی با دقت کمتر می‌شوند [۲].

یک نوع شبیه‌سازی، معادلات نیروها و ممان‌های هیدرودینامیکی را به‌عنوان توابع متغیرهای حالت زیردریایی و مشتق‌هایشان مدل می‌کند که به‌وسیله‌ی بسط تیلور قطع‌شده تقریب زده شده‌اند. چون ترم‌ها در سری تیلور به‌وسیله‌ی ضرایب ثابت ضرب شده‌اند، این شبیه‌سازی‌ها به‌عنوان شبیه‌سازی‌های ضریب‌مبنا[2] معرفی شده‌اند. ضرایب نامعلومی در شبیه‌سازی‌های ضریب‌مبنا وجود دارد. خیلی از این ضرایب به‌وسیله‌ی تست مدل آزمایشی محاسبه می‌شوند که معمولاً با عددهای رینولدز خیلی کمتر نسبت به مانور زیردریایی در مقیاس کامل محدود شده‌اند. چون عدد رینولدز بر خطوط جدایی و گذار اثر می‌گذارد و این به نوبه‌ی خود بر نیروها و ممان‌های کلی اثر می‌گذارد، بعضی عدم قطعیت‌ها در دقت ضرایب وقتی در مقیاس کامل به‌کار می‌روند وجود دارد. چالش دیگر برای شبیه‌سازی‌های ضریب‌مبنا مدل‌نکردن اثرات غیردائم است. این اثرات مانند ریزش گردابه از برجک و تعامل با ویک بعد از مدتی تأخیر زمانی می‌تواند در حرکت‌های به‌شدت غیردائم قابل توجه باشد [۳].

دینامیک سیالات محاسباتی یک روش عددی جایگزین است که می‌تواند اثرات غیردائم را گزارش دهد و بهترین راه پیش‌بینی نیروهای مقیاس کامل زیردریایی را فراهم کند. شبیه‌سازی‌های مانوری شش درجه آزادی مبتنی بر CFD بر محاسبه‌ی معادلات بقا برای سیال مانند معادلات RANS همراه با معادلات حرکت بدنه‌ی جامد زیردریایی استوار است. این دیدگاه مبتنی بر فیزیک، نسبت به روش‌های تجربی ارزان‌تر است و خیلی از جزئیات ریز جریان شامل فشار، سرعت، گردابه، تنش برشی و سطح آشفتگی به عنوان بخشی از خروجی می‌باشد. همان سطح جزئیات با روش‌های تجربی قابل حصول نیست. البته آزمایش بهترین مدل را برای فیزیک جریان فراهم می‌کند و برای اعتباربخشی به شبیه‌سازی‌های مبتنی بر CFD ضروری است [۳].

[1] Maneuver ability
[2] coefficient-based simulations