مجله مهندسی مکانیک مدرس، آبان 1394، دوره 15، شماره 8، ص‌ص 29-40

ماهنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

بررسی تجربی میدان دنباله یک مدل زیردریایی به وسیله پراب پنج حفره در تونل باد

مجتبی دهقان منشادی[1*]، سعید اسفندیه[2]، علی اکبر دهقان[3]، علی سعیدی نژاد[4]

1- استادیار، مجتمع دانشگاهی مکانیک و هوافضا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، اصفهان
2- کارشناس ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، اصفهان
3- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یزد، یزد
4- دانشجوی دکتری، مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه یزد، یزد
* شاهین شهر، صندوق پستی 83145/115، mdmanshadi@mut-es.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل
دریافت: 31 فروردین 1394
پذیرش: 31 اردیبهشت 1394
ارائه در سایت: 30 خرداد 1394

کلید واژگان:
دنباله
مدل زیردریایی
پراب پنج حفره
تونل باد

چکیده

در پژوهش حاضر میدان دنباله جریان عبوری از روی یک مدل زیردریایی در تونل باد به صورت تجربی بررسی شده است. این آزمایش‌ها در 4 صفحه متفاوت پایین‌دست مدل در موقعیت‌های 1/5و 1/25، 1، 0/85=X/L در عدد رینولدز $5/78\times10^5$ (براساس طول مدل) به وسیله یک پراب پنج حفره انجام شده است. در این پژوهش اثر عوامل مختلف مانند تغییر عدد رینولدز، نصب زبری مصنوعی بر روی سطح دماغه مدل، نصب قسمت‌های اضافه روی مدل و تغییر شکل دماغه بر روی میدان جریان دنباله بررسی شده است. نتایج این بررسی‌ها نشان داده‌اند که نصب زبری مصنوعی اثر چندانی بر روند کلی توزیع سرعت در ناحیه دنباله مدل نداشته است. همچنین با افزایش عدد رینولدز میزان افت سرعت در مرکز ناحیه دنباله مدل به علت کوچک شدن ناحیه جدایش جریان بر روی سطح پاشنه مدل، کاهش یافته است. حضور قسمت‌های جانبی بر روی سطح مدل باعث رشد مساحت ناحیه دنباله می‌شود. بررسی اثر تغییر شکل دماغه مدل زیردریایی بر میدان دنباله که از مهمترین نوآوری‌های این تحقیق به‌شمار می‌رود، نشان می‌دهد که حضور دماغه غیر تقارن محوری (مدل تانگو) بر روی مدل باعث می‌شود که سرعت در مرکز کانتور نسبت به حالتی که دماغه‌ها با شکل تقارن محوری (استاندارد و سابوف) روی مدل نصب هستند، افت بیشتری داشته باشد.

Experimental investigation of the wake of a submarine model by five-hole probe in a wind tunnel

Mojtaba Dehghan Manshadi[1*], Saeid Esfandeh[1], Ali Akbar Dehghan[2], Ali Saeidinezhad[2]

1- Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Malek Ashtar University of Technology, Isfahan, Iran
2- Department of Mechanical Engineering, Yazd University, Yazd, Iran
* P.O.B. 83145/115, Shahinshahr, Iran, mdmanshadi@mut-es.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 20 April 2015
Accepted 21 May 2015
Available Online 20 June 2015

Keywords:
Wake
Submarine model
Five-hole probe
Wind tunnel

ABSTRACT

In present study, the wake flow field of a submarine model was investigated experimentally in a wind tunnel. These experiments were conducted in four different locations X/L= 0.85, 1, 1.25 and 1.5 downstream of the model at Reynolds number of 3.85×10^5 by a five hole probe. The effect of various factors such as the variation of Reynolds number, the installation of the trip strip on the model nose surface, the mounting of the appendages on the submarine bare hull model and the nose shape effect on the wake structure were investigated in this study. The results showed that the installation of the trip strip on the nose surface did not have recognizable effects. By Increasing the Reynolds number, the amount of the dropping velocity in the wake field decreased due to the decreasing of the separation region on the after-body section. Presentation of the appendages on the model surface lead to the increasing of the wake area. The effect of the nose shape on the wake of the submarine model is the main innovation in the present work. Investigations showed that the velocity in the central part of the wake for non-axisymmetric nose shape (TANGO) decreased in comparison with the axisymmetric nose shape (SUBOFF and STANDARD).

1- مقدمه

زیردریایی یکی از پیشرفته‌ترین تجهیزات متحرک دریایی است که از سطح تا اعماق دریا حرکت می‌کند. زیردریایی‌های مرسوم معمولا دارای بدنه‌ای تقارن محوری و به همراه قسمت‌های جانبی مانند سطوح کنترلی پاشنه، بالک‌های سینه، برجک و غیره هستند. گردابه‌های ایجاد شده در اطراف بدنه زیردریایی به علت شکل خط جریانی آن، تاثیر زیادی در عملکرد زیردریایی دارند. قسمت‌های جانبی اضافه شده به بدنه اصلی زیردریایی نیز به سهم خود باعث تغییر شکل جریان و ایجاد گردابه‌هایی در اطراف بدنه می‌شوند. این گردابه‌ها وارد جریان پروانه شده و آشفتگی‌هایی در جریان پروانه ایجاد می‌کنند که در عملکرد پروانه تاثیر می‌گذارند. برای زیردریایی‌ها بحث صوت یا نویز هم دارای اهمیت است. جدایش‌های جریان همراه با گردابه‌های بزرگ می‌توانند در تولید نویز که امر نامطلوبی است، سهیم باشند. یکنواختی میدان توزیع سرعت در ناحیه دنباله

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:
M. Dehghan Manshadi, S. Esfandeh, A.A. Dehghan, A. Saeidinezhad, Experimental investigation of the wake of a submarine model by five-hole probe in a wind tunnel, *Modares Mechanical Engineering,* Vol. 15, No. 8, pp. 29-40, 2015 (In Persian)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-03-29]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.8.41.1]

شناور (میدان جریان ورودی به پروانه) تاثیر فراوانی در بهینه سازی نویز زیردریایی دارد. در نتیجه بررسی گردابه‌ها ایجاد شده در اطراف بدنه و دنباله متاثر از آن‌ها دارای اهمیت زیادی در طراحی هیدرودینامیکی است. به‌منظور شبیه سازی میدان جریان دنباله یک زیردریایی می‌توان از روش‌های عددی (تحلیل‌های کامپیوتری) یا روش‌های آزمایشگاهی مبتنی بر آزمایش مدل کوچک شناور اصلی استفاده کرد. بهترین روش جهت بررسی اثر شکل بدنه بر روی ویژگی‌های هیدرودینامیکی قبل از ساخت یک شناور زیرسطحی، استفاده از روش‌های آزمایشگاهی می‌باشد. بدین منظور می‌توان مدل کوچک شده شناور را ساخته و روی بدنه آن آزمایش‌های مورد نظر را انجام داد. روش‌های آزمایشگاهی مرسوم برای انجام آزمایش‌های یک شناور زیرسطحی عبارتند از: حوضچه کشش و تونل باد. هر کدام از این روش‌ها مزایا و معایب مخصوص خود را دارد. تعدادی از تفاوت‌های اندازه‌گیری در تونل باد نسبت به انجام آزمایش در حوضچه کشش در ادامه آورده شده است.

مفهوم سطح آزاد (در ارتباط با جو) در تونل باد وجود ندارد. در نتیجه شبیه‌سازی حرکت زیر سطحی در تونل باد تنها در حالت کاملا مغروق امکان پذیر است. در صورتی که در آزمایش‌های حوضچه کشش آزمایش مدل هم به صورت سطحی و هم مغروق قابل انجام است. بعضی از پدیده‌های سیالاتی مانند کاویتاسیون یا نیروی شناوری و جرم افزوده در آزمایش‌های تونل باد قابل شبیه-سازی نیستند. البته باید توجه کرد که ایجاد جریان پایدار و کنترل شده بر روی مدل در داخل تونل باد راحت‌تر از تونل آب یا حوضچه کشش است.

به طورکلی تنوع آزمایش‌های قابل انجام از نظر زاویه دادن به مدل و نوع آزمایش‌ها (نیرویی، فشاری، سرعت و مرئی سازی) در تونل باد جهت بررسی ویژگی‌های هیدرودینامیکی اطراف بدنه یک مدل شناور زیرسطحی بسیار بیشتر از حوضچه کشش است. همچنین انجام آزمایش‌ها در تونل باد به علت تجهیزات الکتریکی به کار رفته در دستگاه‌های اندازه‌گیری، به مراتب ساده‌تر از آزمایش‌های داخل آب است.

با توجه به اهمیت فیزیکی میدان جریان اطراف یک وسیله زیرسطحی، در ادامه به تاریخچه‌ای در زمینه بررسی تجربی میدان جریان اطراف مدل زیرسطحی توسط محققین قبلی اشاره می‌شود.

مرز و همکاران [1] جریان دنباله در اطراف یک مدل دارای پاشنه بیضی‌گون متقارن را مورد بررسی قرار دادند. سرعت تونل باد در آزمایش مذکور 47 متر بر ثانیه بود. بررسی سرعت جریان میدان دنباله در این پژوهش به کمک جریان سنج سیم داغ انجام شد. توزیع فشار استاتیک بر روی سطح مدل و در میدان دنباله اخذ شد. نتایج این تحقیق نشان دادند که برای مدل با پاشنه پهن‌تر، بازیابی سرعت دیرتر اتفاق می‌افتد.

لوید و کمپل [2] در تحقیق خود بر روی یک جسم تقارن محوری نشان دادند که گرادیان فشار معکوس عرضی بر روی سطح مدل در زاویه حمله باعث ایجاد جدایش لایه مرزی شده و این جدایش با گذر از روی جسم و پیشروی به سمت انتهای بدنه تبدیل به دو گردابه با چرخش عکس می‌شود. هر چه این گردابه‌ها به سمت پایین دست حرکت می‌کنند میدان سیال بیشتری را تحت تاثیر قرار می‌دهند و این امر ادامه پیدا می‌کند تا زمانی که این گردابه‌ها به محل میدان دنباله انتهای مدل می‌رسند. لوید و کمپل علاوه بر گردابه اولیه، یک گردابه ثانویه نیز مشاهده کردند که ناشی از گردابه اولیه بود.

هووانگ و لیو [3] با قرار دادن مدل سابوف به همراه کلیه متعلقات بدنه در تونل باد، جریان محوری و میدان توزیع نسبت سرعت را در محل پروانه اندازه گیری کردند. اندازه‌گیری‌ها در محل پروانه و در صفحه‌ای به فاصله 0/7 شعاع زیردریایی با مقطع دایروی شکل انجام شد. شکل کلی این میدان جریان نشان داد که قسمت‌های جانبی بدنه بر روی ساختار توزیع سرعت تاثیر زیادی دارند. نتایج این آزمایش نشان داد که اثرات قسمت‌های جانبی مدل بر روی میدان جریان مانند یک ردپا تا قسمت انتهایی مدل در جریان باقی ماند و وارد جریان پروانه شده و راندمان آن را کاهش می‌دهد.

چسناکس و سیمسون [4] مطالعاتی را بر روی جدایش جریان سه بعدی اطراف یک مدل دوکی شکل انجام دادند. برای سنجش جریان در این تحقیق از روش داده برداری با لیزر استفاده شد. همچنین تمامی مولفه‌های سرعت در لایه مرزی محاسبه شد و نقطه‌ی جدایش گردابه‌ها در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت.

فرخی و همکاران [5] تاثیر حضور یک سری مولدهای گردابه‌ای هوشمند بر روی سطح مدل زیردریایی را بر ضریب پسا این مدل به صورت تجربی در تونل باد بررسی کردند. در این مجموعه آزمایش‌ها از تکنیک مرئی سازی به وسیله روغن استفاده شد. نتایج آزمایش‌های مرئی سازی بر روی بدنه مدل زیردریایی در زوایای پیچ مختلف نشان داد که مولدهای تولید کننده گردابه می‌توانند جدایش گردابه‌ای قوی در پشت برجک و ناحیه جدایش گردابه‌ای سه‌بعدی بزرگ در قسمت پاشنه زیردریایی روی بدنه را کاهش دهند و باعث کاهش نیروی پسای مدل زیردریایی در زوایای مختلف شوند.

فرودنتال [6] تاثیر عدد رینولدز بر ضریب پسا یک مدل زیردریایی استاندارد در داخل تونل آب دانشگاه می سی سی پی را بررسی کرد. در این تحقیق ابتدا با استفاده از جریان سنج لیزری منحنی‌های سرعت دنباله مدل زیردریایی در فواصل 10 الی 28 = x/d در سرعت جریان بالادست 8/6 متر بر ثانیه اندازه‌گیری شده است. ضریب پسا مدل زیردریایی با استفاده از مقادیر سرعت متوسط جریان ناحیه دنباله مدل و روش اختلاف مومنتوم استخراج شده و با نتایج عددی تحقیق‌های دیگر مقایسه شده است. نتایج بررسی دنباله مدل زیردریایی نشان داده‌اند که دنباله مدل در فواصل مختلف (از انتهای مدل) دارای اثر خود تشابهی بوده و رفتار قانون توانی بر مولفه محوری سرعت ناحیه دنباله حاکم است.

پانتلاتوس و همکاران [7] نتایج تحقیق خود را بر روی یک جسم متقارن محوری با دماغه پهن ارائه کردند. آن‌ها در زوایای حمله بین صفر تا 40 درجه، جریان حول جسم را به وسیله یک پراب هفت حفره بررسی کردند. مرئی سازی جریان جهت مشاهده جریان روی سطح و محل جدایش‌ها جریان‌ها از نتایج این پژوهش بود. برای مرئی‌سازی از مایع کریستال و تیتانیم اکسید استفاده شد. نتایج نشان داد که هر چه میزان زاویه حمله بیشتر شود، جدایش عرضی در مکان‌های نزدیکتر به دماغه و با شدت بیشتری ایجاد می‌شود.

دموس [8] با استفاده از پراپ هفت حفره ناحیه دنباله و ضریب پسای یک مدل زیرسطحی بیضوی شکل را در دو سرعت 16 و 44 متر بر ثانیه و دو زاویه حمله صفر و 10 درجه بررسی کرد. این مدل با استفاده از هشت کابل نگهدارنده در تونل باد نصب شد. از جمله نتایج مهم این کار می‌توان به محاسبه ضرایب پسا مدل در سرعت‌های جریان آزاد و زوایای حمله مختلف اشاره کرد. همچنین بررسی نتایج این تحقیق در مورد تریپ استریپ نشان داد که نصب تریپ استریپ بر روی دماغه تاثیر چندانی بر ضریب پسا نداشته است.

بهشتی و همکاران نیز [9] نیروی وارد به یک مدل کشتی هوایی را در حوضچه کشش به صورت تجربی بررسی کردند. برای درک بیشتر ویژگی‌های آئرودینامیکی این وسیله و توضیح نتایج نیرویی اخذ شده، مرئی سازی جریان با استفاده از پخش ذرات فلورسنت در میدان جریان و نور لیزر انجام شد. فیزیک جریان شامل جدایش جریان، گذار لایه مرزی و تداخل بدنه با قسمت‌های جانبی با استفاده از آزمایش‌های مرئی سازی بررسی شد.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-03-29]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.8.41.1]

سوریانارینا و همکاران [10] میدان دنباله یک مدل زیرسطحی همراه با پروانه را در تونل باد با استفاده از پراب‌های فشار (پیتوت استاتیک و پراب پنج حفره) بررسی کرده‌اند. در مرحله بعد نتایج دنباله مدل (سه مولفه سرعت) با استفاده از روش افت مومنتوم جهت محاسبه نیروی جلوبرنده و گشتاور پروانه استفاده شده است. در نهایت راندمان جلوبرندگی وسیله زیرسطحی محاسبه شده است. نتایج این تحقیق تاثیر عدد رینولدز (براساس طول مدل) و حضور استاتور برای پروانه بر راندمان جلوبرندگی این وسیله زیر سطحی بررسی شده است.

جیمنز و همکاران [11] در تحقیقی میدان جریان پایین دست مدل زیردریایی استاندارد سابوف (بدون سطوح کنترل) در اعداد رینولدز بالا و محدوده $1/1\times10^6$ تا 67×10^6 بررسی کردند. آنها آزمایش‌های خود را در یک تونل باد مدار بسته و در اعداد رینولدز بالا در آزمایشگاه دینامیک گاز دانشگاه پرینستون انجام داده‌اند. بررسی میدان دنباله در فواصل مختلف از پشت مدل نشان داد که اثر خود تشابهی میدان سرعت دنباله در تمامی نواحی به غیر از ناحیه پایین دست پایه نگهدارنده مشاهده شد. پایه نگهدارنده باعث عدم تقارن جریان دنباله شده است.

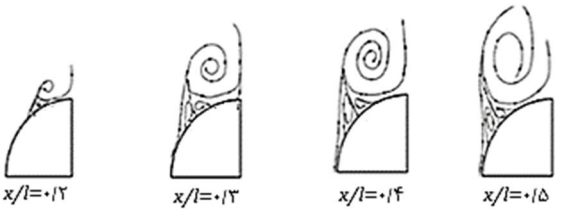
جیمنز و همکاران در یک تحقیق دیگر [12] میدان دنباله همان مدل همراه با سطوح کنترل را بررسی کرد. نتایج جدید آن‌ها نشان داد که حضور سطوح کنترلی بر روی سطح مدل باعث ایجاد تغییرات شدید در منحنی‌های سرعت خارج از ناحیه دنباله می‌شود و ناحیه پایین دست سطوح کنترل همراه با اغتشاش‌های شدید جریان بوده است.

کامر و همکاران [13] میدان جریان اطراف و ناحیه دنباله یک مدل زیردریایی را با استفاده از سیستم سرعت سنج تصویر برداری ذرات بررسی کردند. نتایج آنها نشان داده که گردابه‌های جدایش جریان عرضی در اطراف بدنه در زوایای پیچ ایجاد شود. همچنین با استفاده از این روش جدایش جریان بر روی پاشنه مدل مشخص شد.

آشوک و اسمیت [14] در تحقیق خود با استفاده از جریان سنج سیم داغ دو بعدی در تونل باد، به بررسی ناحیه دنباله یک مدل سابوف در عدد رینولدز $2/4\times10^6$ پرداختند. در این تحقیق ناحیه دنباله مدل زیردریایی در زوایای حمله و انحراف مختلف با استفاده از بردارها و توزیع سرعت در ناحیه دنباله مدل بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که حضور پایه نگهدارنده و گردابه‌های جدایش جریان عرضی باعث عدم تقارن دنباله مدل می‌شود.

بررسی میدان جریان قسمت انتهای مدل شامل پاشنه و دنباله مدل با استفاده از سیستم سرعت سنج تصویر برداری ذرات توسط مانوسکی و همکاران انجام شد [15]. نتایج این تحقیقات تنها به صورت گزارش به صورت مختصر ارائه شده است. بررسی میدان جریان در اطراف مدل بدون قسمت‌های جانبی با استفاده از آزمایش‌های مرئی سازی و سیستم سرعت سنج تصویر برداری ذرات در زاویه پیچ مختلف نشان می‌دهد که از زاویه پیچ $\alpha \geq 5°$ جدایش‌های جریان عرضی در قسمت انتهایی مدل مشاهده شده‌اند. با افزایش زاویه پیچ، این جدایش‌ها به سمت دماغه حرکت کرده‌اند.

سعیدی‌نژاد و همکاران [16] مطالعاتی را بر روی ساختار گردابه‌های اطراف یک مدل زیرسطحی به صورت تجربی انجام دادند. در این تحقیق با بهره‌گیری از روش مرئی سازی جریان دود توسط نور لیزر، در یک تونل عمودی ساختارهای گردابه‌ای اطراف مدل در زاویه حمله 40 درجه و در مقاطع مختلف مورد بررسی قرار گرفت. همچنین آشکارسازی خطوط میدان تنش برشی بر روی سطح مدل با استفاده از روغن و رنگدانه در زوایای حمله بین 0 تا 30 درجه از دیگر نتایج این تحقیق بود. در شکل 1 بخشی از نتایج این پژوهش نشان داده شده است.



شکل 1 ساختار گردابه‌ها در پژوهش سعیدی‌نژاد و همکاران [16]

در پژوهش سعیدی‌نژاد و همکاران [16] نحوه تشکیل و رشد گردابه‌های اولیه و ثانویه و مکان جدایش‌های اولیه و ثانویه در امتداد مدل نیز بررسی شده است.

دهقان منشادی و همکاران [17] نیز اثر نصب مولدهای گردابه بر جریان حول مدل سابوف را به صورت عددی و آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش مرئی‌سازی پدیده به وسیله روغن صورت پذیرفت. نتایج پژوهش مذکور نشان داد که نصب مولدهای گردابه باعث کاهش جدایش جریان، کاهش ابعاد گردابه‌های عرضی و کاهش نیروی پسا می‌شود.

با توجه به تاریخچه بیان شده سه روش تئوری، عددی و تجربی برای تحلیل مسائل آئرودینامیک وجود دارد اما می‌توان روش تجربی را مطمئن‌ترین روش برای تحلیل جریان حول اجسام متقارن محوری به حساب آورد. یکی از پارامترهای مهم در کارکرد بهینه و مناسب زیردریایی‌ها، ساختار جریان در ناحیه دنباله زیردریایی است. آگاهی از شکل کلی جریان دنباله به عنوان جریان ورودی به پروانه، قبل از ساخت نمونه اصلی یکی از نیازهای روز صنعت زیرسطحی کشور به شمار می‌آید. شکل این دنباله اثر فراوانی بر روی کارکرد پروانه، سطح نویز، ارتعاشات سیستم پروانه و قسمت‌های جانبی آن و نیز تاثیر زیادی بر روی اندازه ضریب پسای وسیله زیرسطحی دارد.

مروری بر پژوهش‌هایی که تاکنون بر روی ساختار جریان اطراف زیردریایی‌ها و اجسام تقارن محوری صورت گرفته، نشان می‌دهد که موارد معدودی از این پژوهش‌ها به استفاده از پراب پنج حفره جهت داده برداری اهتمام ورزیده‌اند. همچنین در موارد معدودی اثر نصب دماغه با هندسه‌های مختلف بر ساختار دنباله‌ی جریان مورد بررسی قرار گرفته است. در نتیجه بررسی تاثیر شکل دماغه بر ساختار میدان دنباله مهمترین نوآوری این تحقیق به‌شمار می‌رود. همچنین میزان اثرگذاری نصب تریپ استریپ بر شکل دنباله، اثر نصب قسمت‌های جانبی روی مدل بر شکل دنباله، اثر تغییر عدد رینولدز و اثر فاصله صفحه داده برداری از پشت مدل بر ساختار دنباله، از دیگر نتایج مهمی هستند که در این پژوهش به آن‌ها پرداخته شده است.

2- تجهیزات آزمایشگاهی و روش انجام آزمایش

در پژوهش حاضر از تجهیزات آزمایشگاه آیرودینامیک دانشگاه یزد از قبیل تونل باد زیر صوت، وسایل اندازه‌گیری فشار مانند لوله پیتوت استاتیک و پراب پنج حفره، زبری مصنوعی، مبدل‌های الکترونیکی فشار، تجهیزات نگهداری و انتقال دهنده پراب و مدل زیرسطحی استفاده شد. مدل زیردریایی مورد استفاده دارای سه بخش دماغه (قسمت جلویی)، بدنه میانی، قسمت پاشنه است که بدنه میانی و پاشنه برای تمام مدل‌های مورد بررسی یکسان اما هندسه قسمت‌های دماغه برای مدل‌های مختلف مورد بررسی، متفاوت است.

2-1- مشخصات مدل‌های مورد بررسی

طراحی مدل زیردریایی سابوف توسط پژوهشکده دیوید تیلور انجام شد و آزمایش‌هایی توسط پژوهشکده مذکور بر روی این مدل صورت گرفته است [18]. نسبت طول به قطر برای این مدل $L/D=$ 8/575 می‌باشد. بدنه

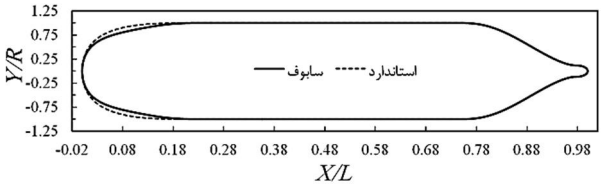
[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.8.41.1]

این مدل دارای سه قسمت دماغه، بدنه میانی و قسمت انتهایی (پاشنه) می‌باشد. مدل دیگر مورد بررسی در این پژوهش، مدل زیردریایی استاندارد است که توسط وزارت تحقیقات و توسعه کانادا طراحی شده است [19]. در شکل 2 منحنی هندسه مدل سابوف و استاندارد به‌صورت بدون بعد ارائه شده است. سومین مدل مورد بررسی در این پژوهش نیز یک مدل زیردریایی از کلاس تانگو است که شمایی از هندسه دماغه آن در مقایسه با دماغه استاندارد در شکل 3 مشاهده می‌شود. دماغه کلاس تانگو شکل تقارن محوری ندارد. شکل این دماغه به گونه‌ای است که در صفحه تقارن زاویه پیچ (صفحه تقارن عمودی) دارای منحنی پهن و در صفحه تقارن زاویه یاو (صفحه تقارن افقی) دارای منحنی گرد می‌باشد. تنها تفاوت مدل‌های استاندارد، تانگو و سابوف در آزمایش حاضر تنها در هندسه دماغه است و هندسه بدنه میانی و پاشنه آن کاملا مشابه یکدیگر است. همچنین به منظور بررسی اثر نصب زبری مصنوعی بر ساختار میدان دنباله، یک سیم از جنس سیم گیتار به ضخامت 1 میلی‌متر بر روی دماغه مدل و در موقعیت X/L=0/05 نصب شد.

2-2- مشخصات تونل باد

تمامی آزمایش‌ها در تونل باد دانشگاه یزد که از نوع مادون صوت مدار باز دمنده است، انجام شده است. قسمت‌های اصلی این تونل باد شامل یک فن سانتریفیوژ یک طرفه، دیفیوزر زاویه باز، اتاق آرامش، نازل و اتاق آزمون اول و دوم است. در شکل 4 شمایی از اتاق آزمون تونل باد و مکان مدل داخل آن نشان داده شده است. اتاق آزمون اول به انتهای نازل تونل باد وصل شده است. اتاق آزمون دوم نیز در امتداد اتاق آزمون اول و به انتهای آن وصل شده است. اتاق آزمون اول دارای پنجره‌هایی از جنس شیشه پلکسی شفاف است. دو عدد از این پنجره‌ها در طرفین اتاق آزمون برای دسترسی راحت به مدل و سنسور و یک پنجره با شیشه پلکسی متحرک در بالا برای ورود پراب و حرکت آن در اتاق آزمون، قرار دارد. کف اتاق آزمون نیز یک دریچه دایره‌ای به منظور عبور تکیه‌گاه و نگهدارنده مدل و اتصال آن به زمین تعبیه شده است. محل نصب مدل در اتاق آزمون اول است اما پراب پنج حفره برای مشاهده دنباله جسم در اتاق آزمون دوم قرار داده شد. موقعیت نصب مدل در شکل 4 نشان داده شده است.

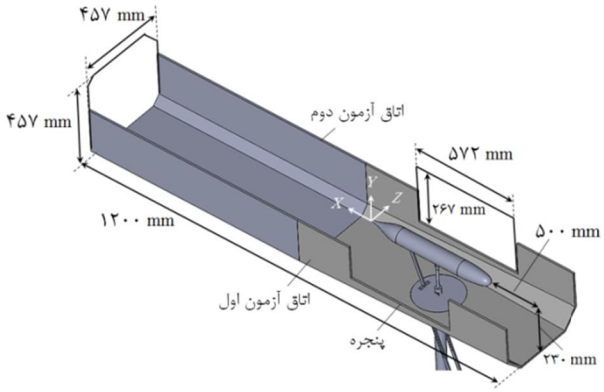
حداکثر سرعت جریان تونل باد دانشگاه یزد 25 متر بر ثانیه می‌باشد. انجام آزمایش‌های اولیه بررسی دنباله مدل زیردریایی در این تونل باد نشان داد که مدل در سرعت‌های بالاتر از 20 متر بر ثانیه دچار لرزش می‌شود. در نتیجه در ادامه به منظور انجام آزمایش‌های دقیق مدل زیردریایی در تونل باد، حداکثر سرعت20 متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. بعد از تعیین حداکثر سرعت مجاز جریان تونل باد، بررسی تاثیر عدد رینولدز بر نتایج دنباله مدل در سه سرعت جریان آزاد 10، 15 و 20 متر بر ثانیه به ترتیب متناسب با اعداد رینولدز $3/85\times10^5$، $5/78\times10^5$ و $7/70\times10^5$ انجام شده است. با توجه به کمینه بودن میزان اغتشاش‌های این تونل باد در سرعت 15 متر بر ثانیه، بررسی اثر دیگر عوامل بر میدان دنباله در عدد رینولدز $5/78\times10^5$ صورت پذیرفت.



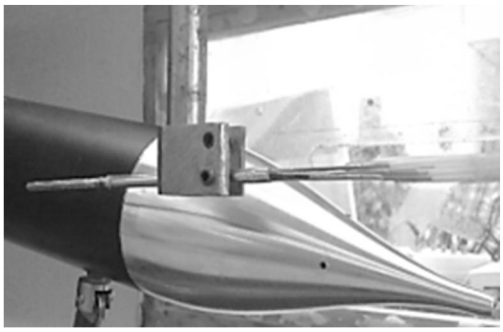
شکل 2 منحنی شکل دماغه مدل سابوف و استاندارد به صورت بدون بعد



شکل 3 مقایسه شکل دماغه مدل تانگو با دماغه مدل استاندارد



شکل 4 شمایی از اتاق آزمون تونل باد و مکان مدل داخل آن



شکل 5 نمایی از پراب در شرایط داده برداری

2-3- پراب 5 حفره و مکانیزم انتقال دهنده آن

پراب پنج حفره برای تعیین مشخصه‌های جریان از قبیل مولفه‌های سرعت در راستای محورهای مختصات، سرعت متوسط، فشار کل و فشار استاتیک در هر نقطه از جریان به کار می‌رود. با استفاده از این پراب پنج حفره، 5 فشار اندازه‌گیری شده و با استفاده از روابط مربوطه تغییرات فشار به سه مولفه سرعت تبدیل می‌شوند. این پراب تا بازه 40 درجه اختلاف زاویه بین جریان ورودی به پراب و سر پراب دقت خوبی دارد. پراب پنج حفره مورد استفاده در پژوهش حاضر از پنج لوله فولادی زنگ نزن با قطر خارجی 1 میلی متر تشکیل شده است. لوله‌ها با آرایش صلیبی مقابل یکدیگر و در اطراف لوله مرکزی قرار گرفته‌اند. لوله‌هایی که در صفحه افقی قرار گرفته‌اند از نوک پراب به طرف بیرون و به شکل متقارن با زاویه 45 درجه قطع شده‌اند. قطر خارجی کلی پراب 3 میلی‌متر است. در شکل 5 نمایی از پراب مورد استفاده مشاهده می‌شود. برای بررسی جریان در اطراف مدل و اندازه‌گیری پارامترهای دنباله اجسام، نیاز است تا کمیت‌های سرعت و فشار در نقاط مختلف اندازه‌گیری شوند. همچنین برای کالیبراسیون تونل باد و اندازه‌گیری مشخصات جریان هوا در مقاطع گوناگون اتاق آزمون، نیاز است تا پراب پنج حفره در نقاط مختلف X، Yو Z مقادیر سرعت و فشار را اندازه‌گیری نماید.

برای جابه‌جایی دقیق پراب و انتقال آن در سه جهت X، YوZ از سیستم مکانیزم انتقال دهنده پراب استفاده می‌شود. مکانیزم انتقال دهنده پراب

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.8.41.1]

آزمایشگاه دانشگاه یزد از سه محور و با سه درجه آزادی تشکیل شده است که این محورها با استفاده از موتورهای پله‌ای حرکت می‌کنند. با استفاده از مکانیزم انتقال دهنده پراب می‌توان پراب را در فضای سه‌بعدی با دقت بسیار بالایی در داخل اتاق آزمون جابجا کرد. دقت جابجایی مکانیزم انتقال دهنده پراب دانشگاه یزد 0/01 میلی‌متر می‌باشد.

2-4- موقعیت نصب مدل و پراب نسبت به هم در اتاق آزمون

در این تحقیق از سیستم مختصات کارتزین برای موقعیت‌یابی و انجام آزمایش‌ها استفاده شد. دستگاه انتقال پراب نیز برمبنای همین مختصات کار می‌کند. سیستم مختصات کارتزین از سه محور عمود بر هم (X, Y, Z) تشکیل شده است که طبق قانون دست راست نامگذاری می‌شود. محور X در راستای جریان و خلاف جهت آن، محور Y به سمت بالا و محور Z عمود بر صفحه X-Y است که جهت آن مطابق قانون دست راست تعیین می‌شود. در انجام کلیه آزمایش‌ها مبدا مختصات در انتهای پاشنه مدل زیرسطحی در نظر گرفته شده است.

2-5- نگهدارنده مدل و زاویه دهنده مدل

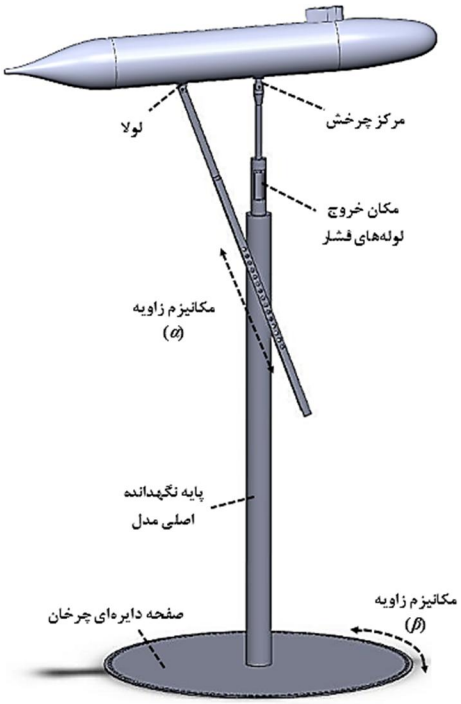
شماتیکی از نحوه استقرار مدل و مکانیزم زاویه دهنده آن در شکل 6 دیده می‌شود. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، قسمت اصلی این نگهدارنده که از یک لوله آهنی تشکیل شده است که وزن مدل را تحمل می‌کند و بوسیله صفحه دایره‌ای شکل بزرگی که در قسمت انتهایی آن قرار دارد بر روی زمین مستقر می‌شود. مکانیزم زاویه پیچ بوسیله تغییر طول یک اهرم انجام می‌شود و تغییر زاویه یاو با چرخش صفحه گردان صورت می‌پذیرد. همچنین بر روی بخشی از پایه نگهدارنده مدل که در اتاق آزمون تونل باد قرار داشت یک لایه پوششی با مقطع NACA0012 قرار داده شد که اثر حضور این لایه پوششی بر روی نتایج در قسمت‌های پایینی اکثر کانتورها مشاهده می‌شود.

2-6- مشخصات فیزیکی هوای محیط آزمایشگاه

برای بررسی و مطالعه جریان هوا در تونل باد و اطراف مدل نیاز به اندازه گیری مشخصات جریان هوا نظیر دما، فشار و سرعت می‌باشد. در تحقیق حاضر با توجه به شرایط هوای آزمایشگاه آیرودینامیک دانشگاه یزد می‌توان مشخصات فیزیکی هوا را در اکثر مواقع و با تقریب خوب به صورت جدول 1 بیان کرد.

2-7- کالیبراسیون پراب پنج حفره و نحوه استخراج داده‌ها

برای انجام آزمایش‌ها باید مدل زیردریایی در داخل اتاق آزمون تونل باد نصب شود. مدل بر روی پایه نگهدارنده به صورت کاملا تراز قرار داده شده و اتصالات مورد نیاز در جای خود قرار می‌گیرند. پراب پنج حفره بر روی پایه نگه دارنده دستگاه انتقال دهنده نصب می‌شود. در حالی که تونل باد روشن است، پراب توسط دستگاه جابجا کننده حرکت داده شده و در موقعیت‌های مختلف قرار گرفته و مقادیر فشار پراب پنج حفره را در هر مکان ذخیره می‌شوند. همچنین یک پراب استاتیکی پیتوت نیز در دهانه ورودی اتاق آزمون قرار گرفته و مقادیر فشارهای استاتیک و کل جریان آزاد بالادست مدل را اندازه‌گیری می‌کند. محدوده اندازه‌گیری میدان جریان توسط پراب پنج حفره در یک صفحه عمود بر محور مدل زیردریایی (X ثابت) در شکل 7 نشان داده شده است. مکان نقاط اندازه‌گیری داده‌های فشار پراب پنج حفره در این شکل با نقاط سیاه رنگ مشخص شده است.

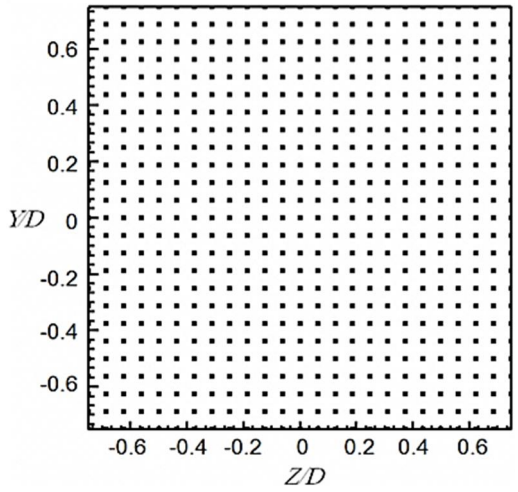


شکل 6 مکانیزم نگهدارنده و زاویه دهنده مدل

جدول 1 جدول مشخصات فیزیکی هوای محیط آزمایش

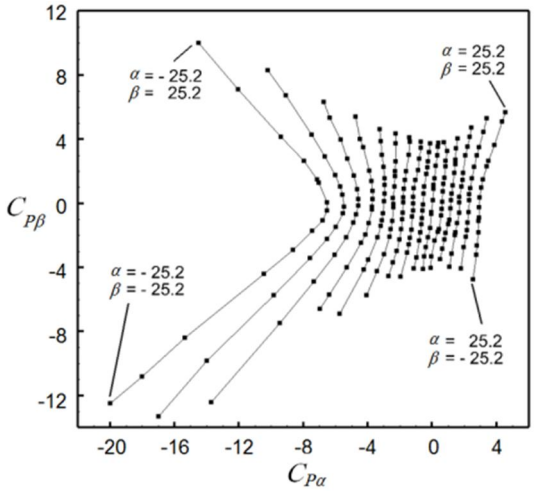
متغیر	مقدار
دما (C°)	25
چگالی (ρ) (kg/m^3)	1/0125
ویسکوزیته سینماتیکی (υ)(m^2/s)	0/00001783

بعد از فرایند داده‌برداری از تمامی نقاط مورد نظر، داده‌های فشار شامل: پنج داده فشار مربوط به پراب پنج حفره و دو داده فشار مربوط به پراب استاتیکی پیتوت برای هر نقطه وارد نرم افزار کالیبراسیون می‌شوند. این نرم‌افزار مقادیر فشار کل و استاتیک و زوایای پیچ (α) و یاو (β) مربوط به هر نقطه (نقطه سیاه رنگ در شکل 7) را به عنوان خروجی در اختیار کاربر قرار می‌دهد. نحوه کالیبراسیون این پراب پنج حفره در مرجع [20] آورده شده است. در این قسمت به طور خلاصه نحوه کالیبراسیون پراب پنج حفره و روابط حاکم بر آن ارائه می‌شوند.

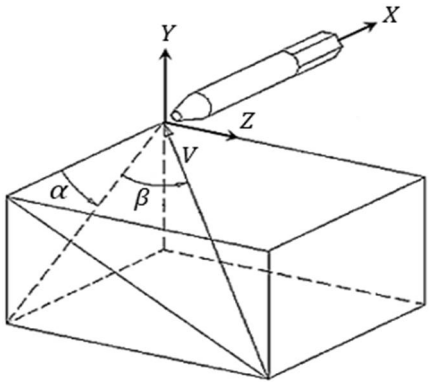


شکل 7 بازه اندازه‌گیری میدان جریان دنباله و نقاط اندازه‌گیری (نقطه‌های سیاه) در یک صفحه X ثابت

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.8.41.1]



شکل 8 منحنی کالیبراسیون پراب پنج حفره برای ضرایب فشار زاویه پیچ و یاو



شکل 9 نمایی از بردار سرعت کلی برخورد کننده به پراب پنج حفره و زوایای جریان

به طورکلی فرآیند کالیبراسیون پراب پنج حفره به این صورت است که ابتدا پراب پنج حفره درون اتاق آزمون تونل باد بدون حضور مدل (که از یکنواخت بودن جریان آن اطمینان حاصل شده است) بر روی دستگاه زاویه دهنده پراب نصب شده و سوراخ‌های فشار پراب پنج حفره به دستگاه مبدل الکترونیکی فشار متصل می‌شوند. پس از آن با قرار دادن پراب در زاویای پیچ و یاو مختلف فشارها در هر موقعیت اندازه گیری می‌شوند.

در طی فرایند کالیبراسیون از یک پراب استاتیکی پیتوت که در بالادست جریان نصب شده است نیز برای تعیین مقادیر فشار استاتیک و کل جریان استفاده می‌شود. برای اینکه بتوان زوایای پیچ و یاو را به فشارهای اخذ شده توسط حفره‌های پراب ربط داد، نیاز است تا ضرایب بدون بعد فشار تعریف شوند. برای تعریف ضرایب بدون بعد فشار چند روش وجود دارد. در این تحقیق از روابط ارائه شده توسط تراستر و یوکوم [21] استفاده شده است. ضرایب فشار حاکم بر منحنی‌های کالیبراسیون در فرمول (1) براساس پنج فشار خروجی پراب پنج حفره، P_1 تا P_5 و فشار استاتیک P_S و فشار کل P_t خروجی پراب پیتوت ارائه شده‌اند. طی فرآیند کالیبراسیون انجام شده، این ضرایب فشار برای زوایای مختلف پیچ (α) و یاو (β) به دست آمده‌اند. شکل 8 منحنی کالیبراسیون پراب تحقیق حاضر برای ضرایب فشار زاویه پیچ ($C_{P\alpha}$) و زاویه یاو ($C_{P\beta}$) را نشان می‌دهد. در این شکل برای مقادیر مختلف زوایای پیچ و یاو، ضرایب فشار به دست آمده رسم شده‌اند. خطوط رسم شده در این شکل، خطوط α ثابت هستند. محدوده تغییرات زوایای پیچ و یاو در این مطالعه بین 25/2 و 25/2- درجه بوده است.

$$\bar{P} = \frac{(P_1 + P_2 + p_3 + p_4)}{4} \quad \text{(1- الف)}$$

$$C_{P_\alpha} = \frac{P_3 - P_1}{P_5 - \bar{P}} \quad \text{(1- ب)}$$

$$C_{P_\beta} = \frac{P_4 - P_2}{P_5 - \bar{P}} \quad \text{(1- ج)}$$

$$C_{P_t} = \frac{P_5 - P_t}{P_5 - \bar{P}} \quad \text{(1- د)}$$

$$C_{P_s} = \frac{\bar{P} - P_s}{P_5 - \bar{P}} \quad \text{(1- و)}$$

همان‌گونه که بیان شد، بعد از فرایند داده‌برداری از تمامی نقاط مورد نظر، با استفاده از داده‌های فشار شامل: پنج داده فشار مربوط به پراب پنج حفره و دو داده فشار مربوط به پراب استاتیکی پیتوت برای هر نقطه اندازه‌گیری (نقطه-های سیاه رنگ در شکل 7) ضرایب بدون بعد فشار استخراج می‌شوند. این ضرایب وارد نرم‌افزار کالیبراسیون شده و به ازای هر نقطه اندازه‌گیری شده در میدان دنباله مدل، مقادیر ضرایب فشار کل و استاتیک و زوایای پیچ (α) و یاو (β) به عنوان خروجی در اختیار کاربر قرار می‌گیرد. اکنون با استفاده از فرمول (2) می‌توان مقادیر فشار سکون و استاتیک برای هر نقطه مورد آزمایش و در نتیجه مقدار سرعت کل را محاسبه کرد. اکنون با استفاده از فشار کل، فشار استاتیک، فشار دینامیک (q) و مقدار سرعت متوسط جریان عبوری از پراب (V) را می‌توان محاسبه کرد. در شکل 9 نمایی از بردار سرعت کلی برخورد کننده به پراب پنج حفره و زوایای جریان نشان داده شده است. با استفاده از فرمول (3) و زوایای پیچ (α) و یاو (β)، سرعت جریان در سه جهت‌های محور مختصات و در نقاط مختلف به دست می‌آید.

$$P_t = P_5 - C_{P_t}(P_5 - \bar{P}) \quad \text{(2- الف)}$$

$$P_s = \bar{P} - C_{P_s}(P_5 - \bar{P}) \quad \text{(2- ب)}$$

$$V = \sqrt{\frac{2 \times (P_t - P_S)}{\rho}} \quad \text{(2- ج)}$$

$$u = V \times \cos\alpha \times \cos\beta \quad \text{(3- الف)}$$

$$v = V \times \sin\alpha \times \cos\beta \quad \text{(3- ب)}$$

$$w = -V \sin\alpha \quad \text{(3- ج)}$$

مقادیر مختصات هر نقطه مورد آزمایش و مولفه‌ها و مقدار سرعت و همچنین مقادیر فشارهای کل و استاتیک که در هر نقطه محاسبه شده، در یک فایل داده در نرم افزار اکسل وارد می‌شوند بعد از این‌که تمامی نقاط مورد آزمایش در این فایل ذخیره شدند، این فایل وارد نرم افزار تک‌پلات می‌شود. بعد از ورود فایل داده‌ها به این نرم افزار، یک شبکه با المان‌های مثلثی بر روی تمامی محیط اندازه‌گیری ایجاد می‌شود تا نرم‌افزار تک‌پلات قادر باشد مقادیر پارامترهای مختلف را در مکان‌هایی که داده وجود ندارد، میانیابی کند. در انتها شبکه‌ای از مقادیر پارامترهای مختلف وجود دارد که به کمک آنها می-توان کانتور هر پارامتر مانند سرعت متوسط را رسم کرد.

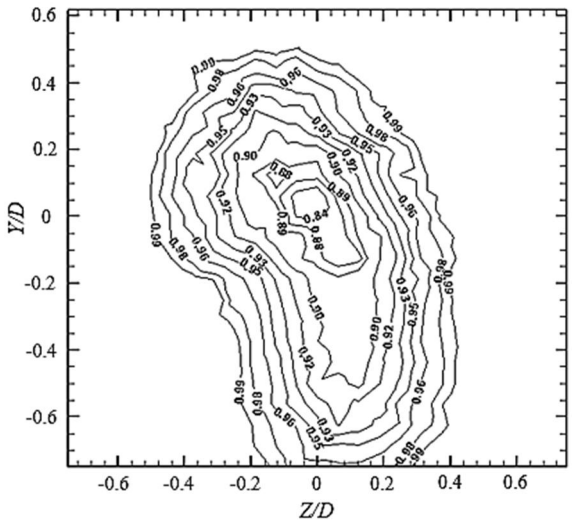
2-8- عدم قطعیت نتایج

با توجه به روابط پراب پنج حفره مقادیر عدم قطعیت نسبی پارامترهای مهم در جدول 2 آورده شده است. در این جدول پارامتر u_{Re}، عدم قطعیت عدد رینولدز، $u_{U\infty}$ عدم قطعیت سرعت بالادست و u_U عدم قطعیت سرعت می‌باشد.

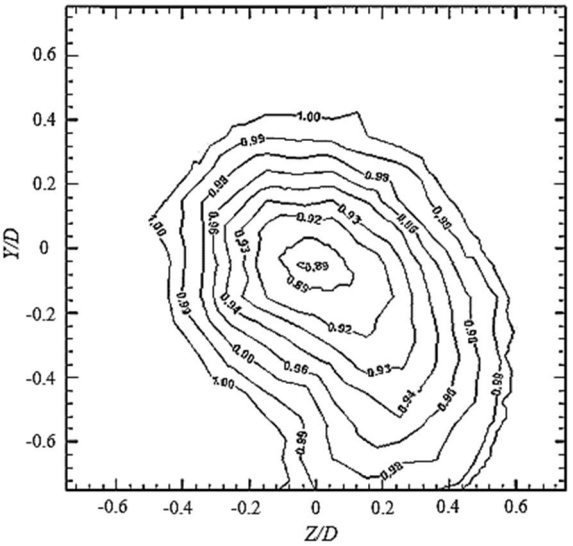
3- بررسی و تحلیل نتایج

در این پژوهش تاثیر عوامل مختلفی مانند فاصله صفحه داده برداری از پشت مدل، حضور قسمت‌های جانبی (برجک و سطوح کنترلی پاشنه) بر روی مدل، تغییر عدد رینولدز، تغییر هندسه دماغه زیردریایی و اثر حضور زبری مصنوعی روی دماغه، بر ساختار دنباله در یک فضایی مکعبی شکل مورد بررسی قرار گرفت.

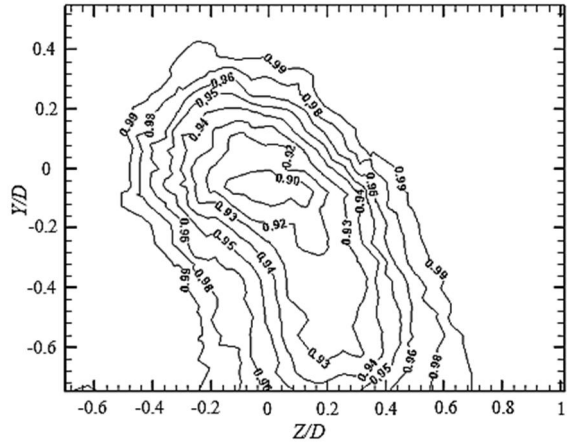
[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.8.41.1]



شکل 10 توزیع نسبت سرعت (U/U_∞) در مقطع X/L=0/85 پشت مدل سابوف



شکل 11 توزیع نسبت سرعت (U/U_∞) در فاصله X/L=1 پشت مدل سابوف



شکل 12 توزیع نسبت سرعت(U/U_∞) در فاصله X/L=1/25 پشت مدل سابوف

جدول 2 مقادیر عدم قطعیت نسبی پارامترهای مهم

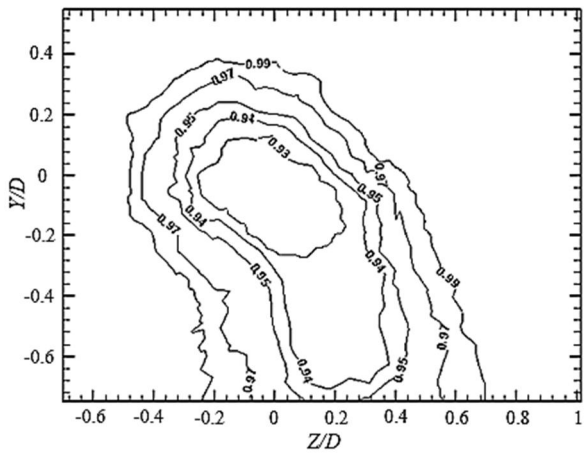
پارامترهای مهم جریان	مقدار عدم قطعیت نسبی
عدد رینولدز	$\frac{u_{Re}}{Re}$=0/7 %
سرعت جریان آزاد (m/s)	$\frac{u_{U_\infty}}{U_\infty}$=0/4 %
سرعت (m/s)	$\frac{u_U}{U}$=4/7 %

تغییرات سرعت سیال در ناحیه دنباله جسم می‌تواند عوامل مختلفی داشته باشد. برای نمونه اگر یک کشتی یا یک وسیله زیرسطحی، با سرعت V_s حرکت کند، سرعت سیالی که وارد پروانه می‌شود برابر V_s نخواهد بود بلکه مقدار کمتری است. این امر ناشی از حضور قسمت‌های جانبی (مانند برجک و سطوح کنترلی) نصب شده روی بدنه و گردابه‌های ناشی از آن‌ها و همچنین ناشی از حضور خود بدنه در مقابل جریان سیال است. در فرمول (4) نسبت این دو سرعت معرفی شده است. در این رابطه V_a معرف سرعت جریان سیال در موقعیت مقطع پروانه و V_s بیانگر سرعت جریان آزاد سیال است.

$$W = \frac{V_a}{V_s} \qquad (4)$$

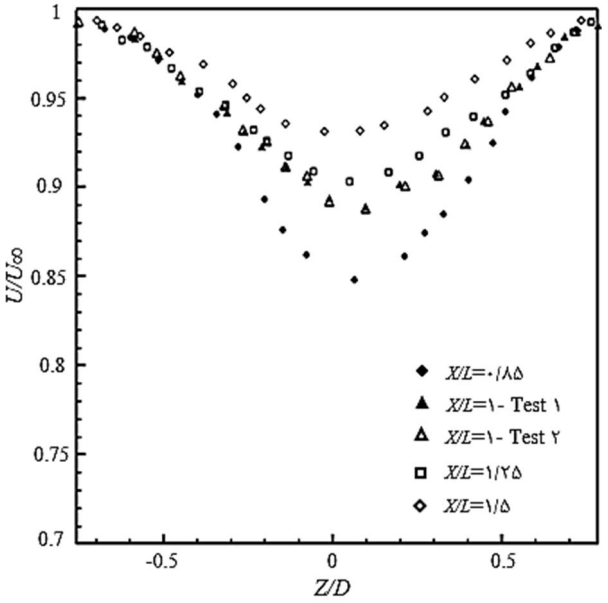
3-1- اثر فاصله صفحه داده برداری از پشت مدل بر روی شکل دنباله

به منظور بررسی تاثیر فاصله صفحه داده‌برداری بر روی ساختار میدان دنباله، اندازه‌گیری میدان دنباله پشت مدل در 4 فاصله طولی مختلف 1/5 و 1/25، 1، X/L=0/85 انجام شد. سرعت جریان آزاد 15 متر بر ثانیه و متناسب با عدد رینولدز $5/78\times10^5$ است. فاصله نقاط داده برداری شده از یکدیگر 5 میلی‌متر در نظر گرفته شده است. کانتورهای توزیع سرعت بدون بعد (U/U_∞) در 4 فاصله پشت مدل سابوف و در مکان‌های 1/5، 1/25، 1، X/L=0/85، به ترتیب در شکل‌های 10، 11، 12 و 13 نشان داده شده‌اند. محورهای مختصات Y و Z با استفاده از قطر ماکزیمم مدل (80 میلی‌متر) بدون بعد شده‌اند. مقایسه نتایج نشان می‌دهد که در تمامی فاصله‌ها، مقدار نسبت سرعت معرفی شده در فرمول (4)، در مرکز کانتور نسبت به نواحی دیگر کمینه مقدار را دارد. علت افت بیشتر مقدار سرعت سیال در نواحی مرکزی کانتور، حضور بدنه زیردریایی در مقابل جریان عبوری است که در مقابل عبور سیال به صورت یک مانع عمل می‌کند. همچنین با افزایش فاصله ناحیه داده برداری از پشت مدل، مینیمم مقدار نسبت سرعت بدون بعد در مرکز کانتور از مقدار 0/84 در فاصله‌ی داده برداری X/L=0/85 به مقدار 0/93 در فاصله‌ی X/L=1/5 افزایش یافته است. همچنین کمینه نسبت سرعت در مرکز کانتورهای توزیع سرعت میدان دنباله در فواصل X/L=1 و X/L=1/25 به ترتیب دارای مقادیر 0/89 و 0/9 است. منحنی‌های توزیع سرعت در دنباله مدل سابوف و مکان Y/D=0، برای چهار فاصله 1/5، 1/25، 1، X/L=0/85 پشت مدل و در عدد رینولدز $5/78\times10^5$ در شکل 14 نشان داده شده است و همچنین تکرارپذیری نتایج در موقعیت داده‌برداری X/L=1 در این شکل نشان داده شده است. منحنی‌های توزیع سرعت ناحیه‌ی دنباله مدل سابوف در عدد رینولدز $1/1\times10^6$، حاصل از آزمایش‌های جیمنز و همکاران [11] نیز در شکل 15 ارائه شده است.

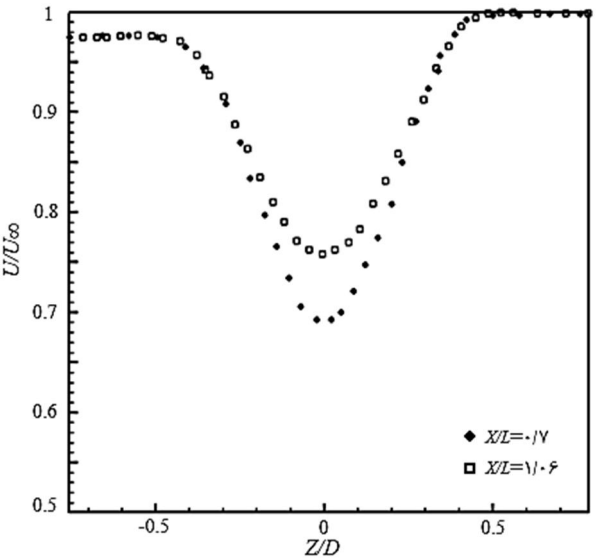


شکل 13 توزیع نسبت سرعت (U/U_∞) در فاصله X/L=1/5 پشت مدل سابوف

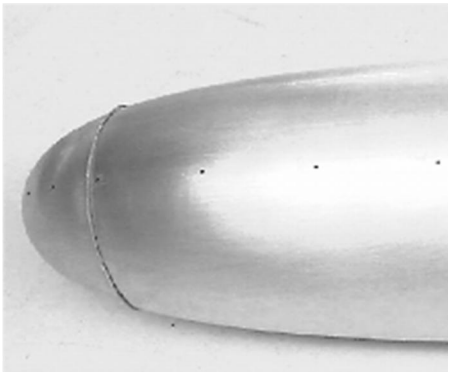
[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.8.41.1]



شکل 14 مقایسه نسبت سرعت‌ها (U/U_∞) در $Y/D=0$ به ازای فواصل داده برداری مختلف پشت مدل سابوف



شکل 15 مقایسه نسبت سرعت‌ها (U/U_∞) در $Y/D0$ =درمقاطع مختلف پشت مدل سابوف در عدد رینولدز $1/1\times10^6$ [11]



شکل 16 نمایی از زبری مصنوعی نصب شده بر روی دماغه مدل

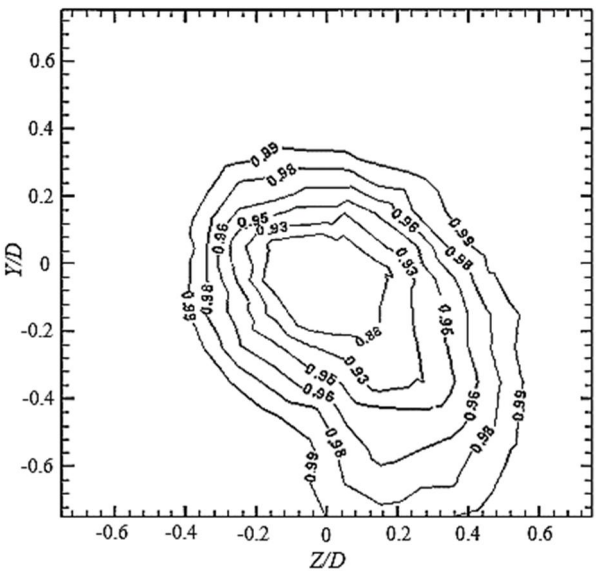
مقایسه نتایج شکل‌های 14 و 15 نشان می‌دهد که از نظر روند تغییرات سرعت و شکل کلی منحنی‌های توزیع سرعت تشابه مناسبی وجود دارد.

3-2- تاثیر نصب زبری مصنوعی روی دماغه مدل سابوف بر روی شکل میدان دنباله در فاصله مشخص از پشت مدل

تاثیر نصب زبری مصنوعی بر میدان دنباله، که در مکان $X/L=0/05$ بر روی سطح دماغه مدل نصب شده است، از دیگر گزینه‌های مورد بررسی در این پژوهش است. عدد رینولدز در این بخش از پژوهش $5/78\times10^5$ در نظر گرفته شد. در شکل 16 موقعیت نصب زبری مصنوعی بر روی دماغه مدل نشان داده شده است. نصب زبری مصنوعی با هدف ایجاد لایه مرزی آشفته در جریان اطراف مدل و شبیه‌سازی آن، مطابق با جریان روی سطح مدل اصلی انجام شده است. در شکل 17 نیز کانتور توزیع سرعت در فاصله $X/L=1$ پشت مدل سابوف با حضور زبری مصنوعی به ضخامت 1 میلی‌متر بر روی دماغه مدل آورده شده است. مقایسه شکل‌های 11 و 17 به خوبی گویای این موضوع است که زبری مصنوعی تاثیر کمی بر توزیع سرعت داشته است. در شکل 18 نیز منحنی توزیع نسبت سرعت برای $Y/D=0$ در حالات بدون و با زبری مصنوعی ارائه شده است. همان‌طور که از شکل مشخص است، توزیع نسبت سرعت در دو حالت با و بدون زبری مصنوعی بسیار شبیه و نزدیک به یکدیگر است. در تبیین علت این شباهت می‌توان به شکل 19 اشاره داشت که در آن، توزیع سرعت در لایه مرزی اطراف مدل سابوف در مکان $X/L=0/14$ ارائه شده است. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، این پروفیل سرعت مشابه پروفیل سرعت جریان آشفته است. در نتیجه می‌توان دریافت که جریان عبوری از روی مدل مورد بررسی در پژوهش حاضر، از نواحی ابتدایی دماغه حتی بدون حضور زبری مصنوعی نیز حالت آشفته داشته است. به همین دلیل میدان جریان کمترین تاثیر را از زبری مصنوعی (که با هدف آشفته کردن جریان و مشابه سازی آن با جریان واقعی حول مدل به کار رفته است) پذیرفته است.

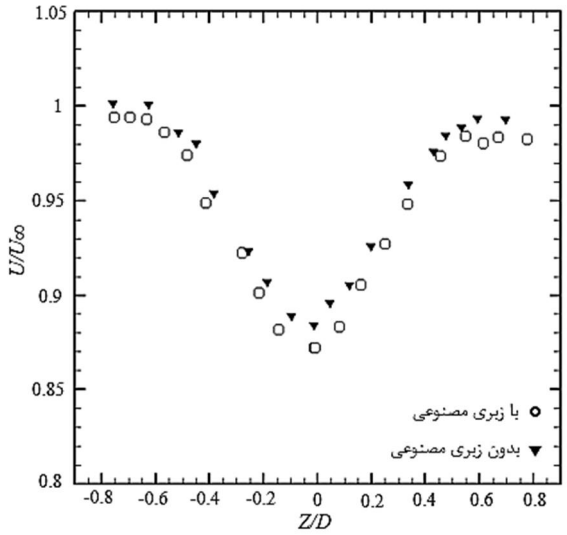
3-3- تاثیر عدد رینولدز بر شکل دنباله در یک فاصله مشخص از پشت مدل

به منظور بررسی تاثیر عددهای رینولدز متفاوت بر ساختار توزیع سرعت در دنباله جریان، اندازه‌گیری دنباله مدل در موقعیت $X/L=1$، برای سه سرعت جریان آزاد 10، 15 و 20 متر بر ثانیه و به ترتیب متناسب با اعداد رینولدز $3/85\times10^5$، $5/78\times10^5$ و $7/70\times10^5$ انجام شده است.

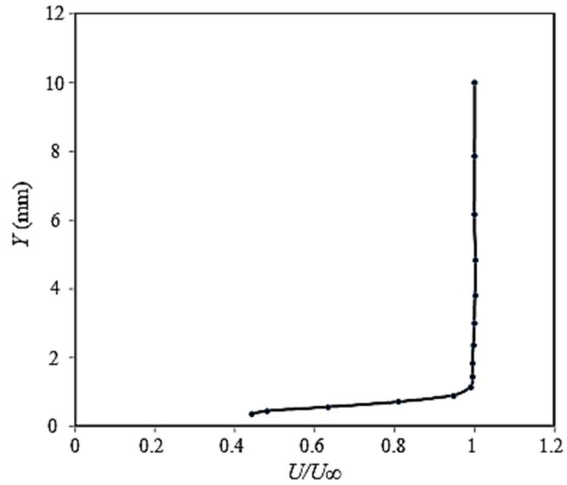


شکل 17 توزیع نسبت سرعت (U/U_∞) در فاصله $X/L=1$ پشت مدل سابوف، با زبری مصنوعی به ضخامت 1 میلی‌متر

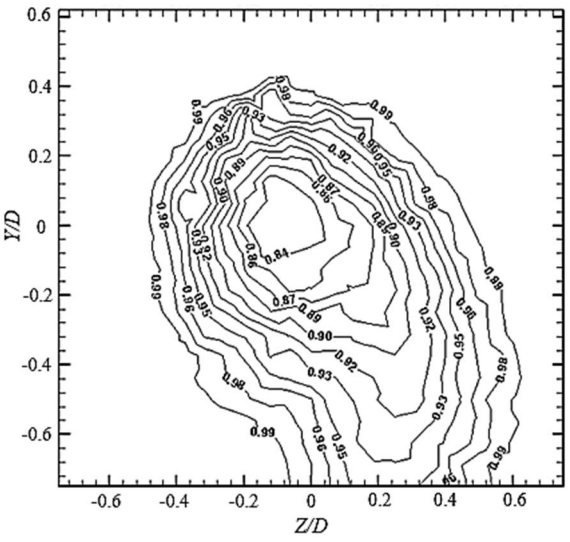
[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.8.41.1]



شکل 18 مقایسه نسبت سرعت‌ها در $Y/D=0$ در حالات بدون و با نصب زبری مصنوعی



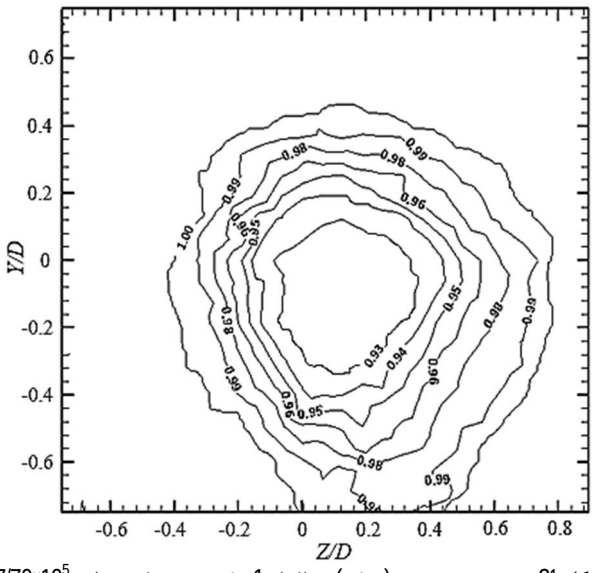
شکل 19 توزیع سرعت در لایه مرزی روی مدل سابوف در مقطع $X/L=0/14$



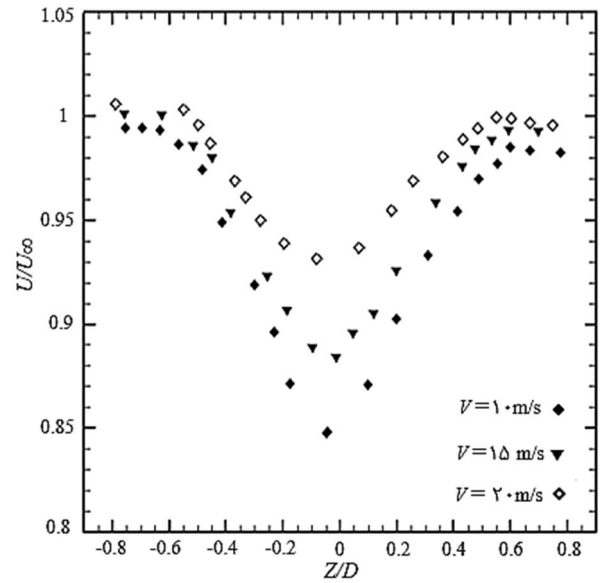
شکل 20 توزیع نسبت سرعت (U/U_∞) در فاصله $X/L=1$ پشت مدل، رینولدز $3/85\times10^5$

این توزیع سرعت‌ها به ترتیب در شکل‌های 20، 11 و 21 ارائه شده است. همان‌طور که در شکل 20 مشاهده می‌شود وسعت نواحی دارای کمینه مقدار نسبت سرعت در مرکز کانتور در عدد رینولدز $3/85\times10^5$ در مقایسه با وسعت این ناحیه در شکل 21 (مربوط به عدد رینولدز $7/70\times10^5$) بیشتر است. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش عدد رینولدز مساحت ناحیه‌ای از میدان توزیع سرعت دنباله که دارای کمترین مقدار سرعت است، کاهش می‌یابد. علت این امر به تاخیر افتادن جدایش جریان در اطراف مدل و در ناحیه پاشنه در سرعت‌های جریان آزاد بالاتر می‌باشد. در واقع در اثر به تاخیر افتادن جدایش جریان بر روی سطح پاشنه مدل، وسعت ناحیه دارای کمینه مقدار نسبت سرعت در مرکز کانتور، کاهش می‌یابد. همچنین مقایسه شکل‌های 11، 20 و 21 نشان می‌دهد که افزایش عدد رینولدز، افزایش کمینه مقدار سرعت در مرکز کانتور را سبب می‌شود.

شکل 22 نیز نسبت سرعت به ازای $Y/D=0$، برای سه سرعت جریان آزاد مختلف و به ترتیب متناسب با اعداد رینولدز $3/85\times10^5$، $5/78\times10^5$ و $7/70\times10^5$، را نشان می‌دهد. کمینه مقدار نسبت سرعت از مقدار 0/84 در رینولدز جریان آزاد $3/85\times10^5$ به مقدار 0/93 در عدد رینولدز جریان آزاد $7/70\times10^5$ افزایش یافت، که نشان از تاثیر فراوان سرعت جریان آزاد بر توزیع سرعت در میدان دنباله دارد.



شکل 21 توزیع نسبت سرعت (U/U_∞) در فاصله $X/L=1$ پشت مدل، رینولدز $7/70\times10^5$

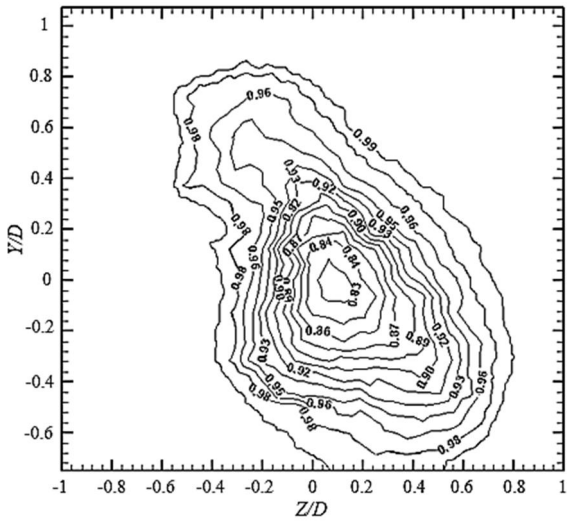


شکل 22 مقایسه نسبت سرعت‌ها در $Y/D=0$ به ازای سه سرعت جریان آزاد متفاوت

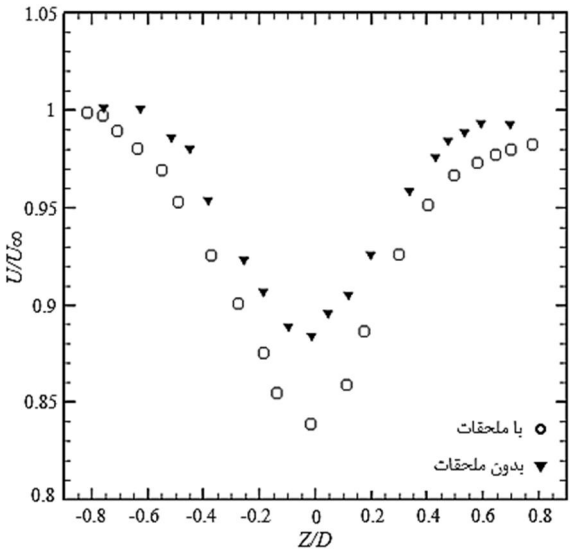
[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.8.41.1]

3-4- تاثیر نصب قسمت‌های جانبی روی میدان دنباله در فاصله مشخص پشت مدل

قسمت‌های جانبی زیردریایی شامل برجک و سطوح کنترلی سینه و پاشنه از جمله اجزای جدایی ناپذیر زیردریایی هستند. مسلما نصب این قسمت‌های جانبی بر روی زیردریایی باعث افزایش سطح مقطع جلویی زیردریایی می‌شود. شکل 23 توزیع نسبت سرعت دنباله مدل سابوف در فاصله X/L=1 ، به همراه قسمت‌های جانبی نصب شده بر روی آن در عدد رینولدز $5/78\times10^5$ را نشان می‌دهد. افزایش ابعادی دنباله در این شکل نسبت به شکل 11 (حالت بدون حضور قسمت‌های جانبی بر روی مدل) کاملا مشهود است. در واقع با نصب قسمت‌های جانبی، نواحی از جریان پشت مدل که با افت سرعت مواجه می‌شوند، افزایش می‌یابند. کمینه مقدار نسبت سرعت در مرکز کانتور نیز پس از نصب قسمت‌های جانبی نسبت به حالت بدون نصب قسمت‌های جانبی، از خود کاهش نشان می‌دهد. شکل 24 بصورت واضح‌تر این تفاوت را در Y/D= 0 نمایش می‌دهد. کاهش کمینه مقدار نسبت سرعت در مرکز کانتور توزیع سرعت از مقدار 0/89 در حالت بدون نصب قسمت‌های جانبی (شکل 11) به مقدار 0/83 بعد از نصب قسمت‌های جانبی، به خوبی گویای این موضوع است.



شکل 23 توزیع نسبت سرعت (U/U_∞) در فاصله X/L=1 پشت مدل سابوف، با قسمت‌های جانبی (برجک، سطوح کنترل پاشنه)

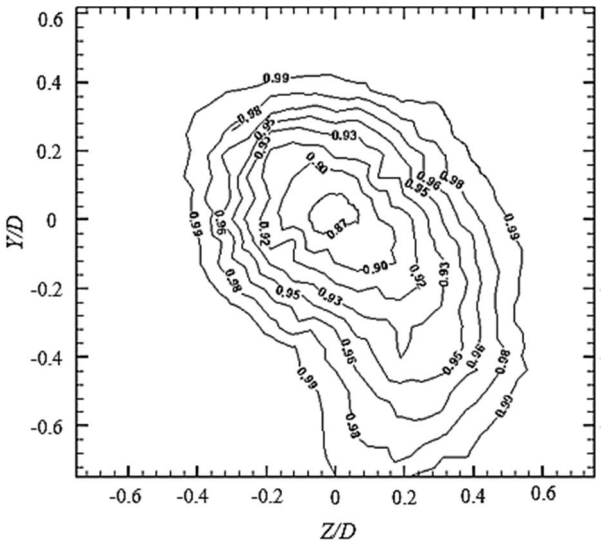


شکل 24 مقایسه نسبت سرعت‌ها در Y/D= 0 برای زیردریایی با و بدون قسمت‌های جانبی

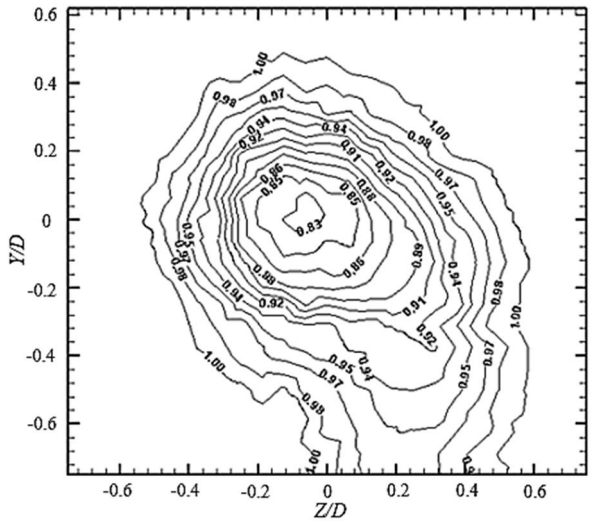
3-5- تاثیر نصب دماغه با هندسه‌های مختلف بر روی شکل دنباله در فاصله مشخص از پشت مدل در یک عدد رینولدز مشخص

نصب دماغه با هندسه‌های متفاوت بر روی زیردریایی، تغییراتی در شکل دنباله جریان پشت مدل ایجاد کرد. شکل‌های 11، 25 و 26 به ترتیب توزیع سرعت در میدان دنباله جریان در فاصله X/L=1 پشت مدل را برای دماغه‌های سابوف، استاندارد و تانگو نشان می‌دهند. افزایش مساحت ناحیه دارای کمینه مقدار نسبت سرعت در مرکز کانتور برای دماغه تانگو نسبت به دو نوع دماغه دیگر مشهود است. همچنین کمینه مقدار نسبت سرعت در مرکز کانتور مربوط به مدل تانگو نسبت به دماغه‌های سابوف و استاندارد مقدار کمتری دارد. این کمینه مقدار نسبت سرعت از 0/89 برای حالت نصب دماغه سابوف به مقدار 0/87 برای دماغه استاندارد و 0/83 در حالت نصب دماغه تانگو بر روی مدل می‌رسد. علت کاهش بیشتر نسبت سرعت در مرکز کانتور برای حالت نصب دماغه تانگو را می‌توان متقارن محوری نبودن این دماغه دانست، در حالی که دو دماغه سابوف و استاندارد هندسه‌هایی متقارن محوری دارند.

همچنین شکل 27 توزیع سرعت‌ها در موقعیتY/D= 0 به ازای سه دماغه مختلف نصب شده بر روی مدل را نشان می‌دهد.

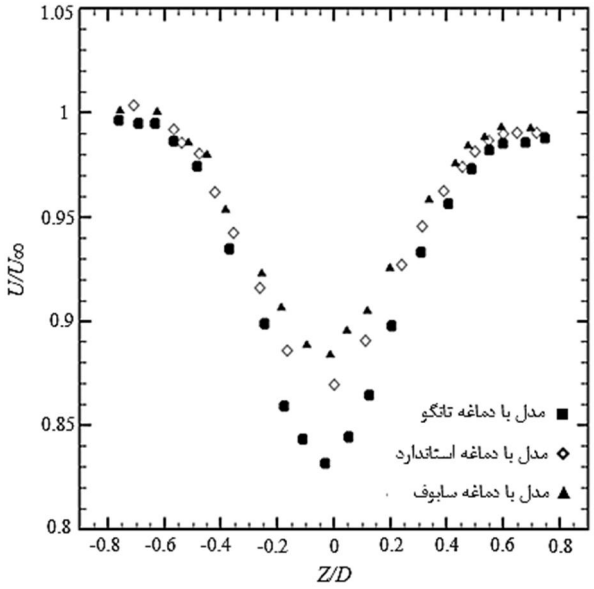


شکل 25 توزیع نسبت سرعت (U/U_∞) در فاصله X/L=1 پشت مدل زیردریایی استاندارد



شکل 26 توزیع نسبت سرعت (U/U_∞) در فاصله X/L=1 پشت مدل زیردریایی تانگو

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.8.41.1]



شکل 27 مقایسه نسبت سرعت‌ها در $Y/d=0$ به ازای سه نوع دماغه متفاوت نصب شده بر روی بدنه

همان طور که مشاهده می‌شود کمینه مقدار نسبت سرعت در مرکز کانتور توزیع سرعت در حالت نصب دماغه تانگو بر روی مدل در مقایسه با دو دماغه دیگر، کمتر است. همچنین کمینه مقدار نسبت سرعت در مرکز کانتور در حالت نصب دماغه استاندارد نیز افت سرعت بیشتری را نسبت به حالت نصب دماغه سابوف بر روی مدل از خود نشان داد.

4- نتیجه گیری

در پژوهش حاضر، مطالعه اثر عوامل مختلف بر روی شکل میدان دنباله یک مدل زیرسطحی مورد بررسی قرار گرفت. در زیر خلاصه‌ای از نتایج حاصله ارائه شده است.

1- افزایش فاصله ناحیه داده برداری از پشت مدل، باعث افزایش مینیمم مقدار نسبت سرعت بدون بعد در مرکز کانتور شد. در نتیجه افزایش مینیمم مقدار نسبت سرعت در مرکز میدان توزیع سرعت، با افزایش فاصله صفحه داده برداری از انتهای مدل رابطه مستقیم دارد.

2- اثر نصب زبری مصنوعی بر روی شکل دنباله جریان نیز تاثیری اندک و قابل چشم پوشی بر روی شکل میدان دنباله داشت. بررسی آزمایش‌های صورت گرفته در پژوهش حاضر نشان داد که جریان بر روی سطح مدل بدون استفاده از زبری مصنوعی از ابتدا آشفته بوده و به همین علت نصب زبری مصنوعی کمترین میزان تاثیرگذاری را بر روی شکل میدان دنباله دارد.

3- بررسی اثر تغییرات سرعت جریان آزاد سیال بر روی شکل دنباله جریان مدل زیردریایی نیز نشان داد که افزایش سرعت جریان آزاد سیال (افزایش عدد رینولدز) باعث رشد کمینه مقدار نسبت سرعت در مرکز کانتور می‌گردد.

4- اثر نصب قسمت‌های جانبی بر روی شکل میدان دنباله از دیگر موارد مورد بررسی در این پژوهش بود. بررسی‌ها نشان از رشد چشم‌گیر مساحت ناحیه تحت اثر حضور زیردریایی در مقابل جریان سیال پس از نصب قسمت‌های جانبی داشت، به گونه‌ای که افت سرعت ناشی از حضور جسم در مقابل جریان سیال تا شعاع‌های بزرگ‌تر و فواصل دورتری از بدنه مشاهده شد. کاهش کمینه مقدار نسبت سرعت در مرکز کانتور توزیع سرعت از مقدار 0/89 در حالت بدون نصب قسمت‌های جانبی به مقدار 0/83 پس از نصب قسمت‌های جانبی از دیگر نتایج مهم این بخش از پژوهش بود. رشد محسوس وسعت ناحیه دارای کمینه مقدار نسبت سرعت در مرکز کانتور، پس از نصب قسمت‌های جانبی نیز کاملا مشهود است.

5- با مقایسه توزیع نسبت سرعت‌ها به ازای سه دماغه مختلف نصب شده بر روی مدل، پایین‌ترین مقدار کمینه نسبت سرعت در مرکز کانتورهای توزیع سرعت در حالت نصب دماغه تانگو مشاهده شد. کمینه مقدار نسبت سرعت در مرکز کانتور در حالت نصب دماغه استاندارد نیز افت سرعت بیشتری را نسبت به حالت نصب دماغه سابوف بر روی مدل از خود نشان داد.

5- فهرست علائم

$C_{P\alpha}$	ضریب فشار زاویه پیچ
$C_{P\beta}$	ضریب فشار زاویه یاو
C_{Pt}	ضریب فشار کل
C_{Ps}	ضریب فشار استاتیک
D	قطر زیردریایی (m)
L	طول مدل (m)
$\bar{P}$	فشار متوسط (Pa)
Ps	فشار استاتیک (Pa)
P_t	فشار کل (Pa)
Q	فشار دینامیکی (Pa)
R	شعاع ماکزیمم مدل زیردریایی (m)
Re	عدد رینولدز
T	دما (K)
V_a	سرعت جریان سیال در موقعیت مقطع پروانه
V_s	سرعت جریان آزاد سیال
$U\& u$	سرعت در نقطه و موقعیت مد نظر پشت مدل (m/s)
U_∞	سرعت جریان آزاد بالادست (m/s)
U/U_∞	نسبت سرعت
u_{Re}	عدم قطعیت عدد رینولدز
$u_{U\infty}$	عدم قطعیت سرعت بالادست
u_U	عدم قطعیت سرعت
u	سرعت در راستای X (m/s)
v	سرعت در راستای Y (m/s)
w	سرعت در راستای Z (m/s)
W	نسبت سرعت جریان سیال در موقعیت مقطع پروانه به سرعت جریان آزاد
X	فاصله نقطه مورد بررسی از پاشنه مدل (m)
$Z\&Y$	فاصله عرضی نقطه مورد بررسی از محور طولی مدل (m)

علایم یونانی

α	زاویه پیچ (degree)
β	زاویه یاو (degree)
ρ	چگالی (kgm^{-3})
U	لزجت دینامیکی ($kgm^{-1}s^{-1}$)

6- مراجع

[1] R. A. Merz, C. H. YI, C. E. G. Przirembel, The subsonic near-wake of an axisymmetric semielliptical afterbody, *AIAA Journal,* Vol. 23, No. 10, pp. 1512-1517, 1985.

[2] A. R. J. M. Lloyd, I. M. C. Campbell, Experiments to investigate the vortices shed from a submarine-like body of revolution, in *Proceedings of the 59th meeting of AGARD Fluid Dynamics Panel Symposium,* Monterey, CA, 1986.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.8.41.1]

[3] T. Huang, H. L. Liu, Measurements of flows over an axisymmetric body with various appendages in a wind tunnel: the darpa suboff experimental program, In *The 19th Symposium on Naval Hydrodynamics*, Seoul, Korea, 1994.

[4] C. Chesnakas, R. L. Simpson, Detailed investigation of the three-dimensional separation about a 6:1 prolate spheroid, *AIAA journal,* Vol. 35, No. 6, pp. 990–999, 1997.

[5] S. Farokhi, R. Taghavi, R. Barrett, Pressure drag reduction concepts for maneuvering submarines, in *10th European Drag Reduction Working Meeting,* Berlin, Germany, 1997.

[6] J. L. Freudenthal, *Experimental studies of the drag of an axisymmetric submarine hull,* MSc Thesis, Department of Aerospace Engineering, University of Mississippi State, Mississippi, 2002.

[7] D. K. Pantelatos, D. S. Mathioulakis, Experimental flow study over a blunt-nosed axisymmetric body at incidence, *Journal of Fluids and Structures,* Vol. 19, No. 8, pp. 1103-1115, 2004.

[8] J. A. DeMoss, *Drag measurements on an ellipsoidal body,* MSc Thesis, Department of Aerospace Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, 2007.

[9] B. H. Beheshti, F. Wittmer, R. S. Abhari, Flow visualization study of an airship model using a water towing tank*, Aerospace Science and Technology,* Vol. 13, No. 8, pp. 450-458, 2009.

[10] C. Suryanarayana, B. Satyanarayana, K. Ramji, a. Saiju, Experimental evaluation of pumpjet propulsor for an axisymmetric body in wind tunnel, *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering,* Vol. 2, pp. 24-33, 2010.

[11] J. M. Jimenez, M. Hultmark, A. I. Smits, The intermediate wake of a body of revolution at high Reynolds number, *Journal of Fluid Mechanics,* Vol. 659, pp. 516–539, 2010.

[12] J. M. Jimenez, R. T. Reynolds, A. J. Smits, The effects of fins on the intermediate wake of a submarine model, *Journal of Fluids Engineering,* Vol. 132, 2010.

[13] C. Kumar, P. Manovski, M. Giacobello, Particle image velocimetry measurements on a generic submarine hull form, In *The 18th Australasian Fluid Mechanics Conference,* Launceston, Australia, 2012.

[14] A. Ashok, A. J. Smits, The turbulent wake of a submarine model in pitch and yaw, in *The 51st AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition,* Grapevine (Dallas/Ft. Worth Region), Texas, 2013.

[15] P. Manovski, M. Giacobello, P. Jacquemin, *Smoke flow visualisation and particle image velocimetry measurements over a generic submarine model*, Report DSTO-TR-2944, March, 2014.

[16] A. Saeidinezhad, A. A. Dehghan , M. Dehghan Manshadi, M. Kazemi Esfeh, Experimental investigation of the vortex structure on a submersible model. *Modares Mechanical Engineering,* Vol. 13, No. 15, pp. 98–109, 2014. (In Persian)

[17] M. Dehghan Manshadi, K. Hejranfar, A. Farajollahi, Numerical and experimental investigation of effect of vortex generators on flow over suboff bare hull model. *Modares Mechanical Engineering,* Vol. 15, No. 6, pp. 81-90, 2015. (In Persian)

[18] N. C. Groves, T. T. Huang, M. S. Chang, *Geometric Characteristics of DARPA SUBOFF Models (DTRC Model Nos. 5470 and 5471)*, Report DTRC/SHD-1298-01, March, 1989.

[19] M. Mackay, *The Standard Submarine Model: ASurvey of Static Hydrodynamic Experiments and Semiempirical Predictions,* DRDC Atlantic TR 03-079, Defence R&D Canada-Atlantic, 2003.

[20] S. M. Beigi, M. Dehghan Manshadi, A. Saeidinezhad and A. A. Dehghan, Experimental investigation of the sail position of a submarine on the downstream flow field, *Journal of Applied and computional Sciences in Mechanics,* Vol. 26, No. 2, 2015. (In Persian)

[21] A. L. Treaster, A. M. Yocum. *The calibration and application of five-hole probes,* Report No. TM-78-10. Pennsylvania State University Park Applied Research Lab, 1978.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-03-29]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1394.15.8.41.1]