

بررسی تجربی و عددی مشخصه‌ها و رفتار جریان در اطراف یک

استوانه مثلثی در زوایای حمله مختلف

علی جلالی^۳

دانشکده مهندسی مکانیک

دانشگاه صنعتی شاهرود

عبدالله شادآرام^۱ و علی اشرفی‌زاده^۲

دانشکده مهندسی مکانیک

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۸/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۱۰/۲۲)

چکیده

در این پژوهش، به بررسی رفتار و مشخصه‌های جریان در اطراف یک سیلندر مثلثی با استفاده از روش‌های تجربی و عددی پرداخته شده است. بدین منظور، یک استوانه با سطح مقطع مثلث متساوی‌الاضلاع از جنس پلکسی‌گلاس در تونل باد تحت اعداد رینولدز و زوایای حمله مختلف مورد آزمایش قرار گرفته و با استفاده از تکنیک‌های موجود، به بررسی مشخصه‌های جریان و ضرایب پسای این مدل در حالات مختلف پرداخته شده است. به منظور اندازه‌گیری سرعت و شدت اغتشاشات، از دستگاه جریان‌سنج سیم داغ به همراه یک پراب سه بعدی استفاده شده است. مقایسه نتایج تجربی و عددی بدست آمده با نتایج دیگران دقت قابل قبولی را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: تونل باد، جریان سنج سیم داغ، ضریب درگ، سیلندر مثلثی

An Experimental and Numerical Study of Flow around Triangular Prisms in Different Angles of Attack

A. Shadaram and A. Ashrafi-zadeh

Mech. Eng. Dep't.
K.N. Toosi Univ. of Tech.

A. Jalali

Mech. Eng. Dep't.
Shahrood Univ. of Tech.

ABSTRACT

This paper presents the results of a series of experimental and numerical studies concerning wake velocity profile, turbulent fluctuations, and the drag force associated with flow around a triangular prism. For this reason, a triangular cylinder with apex of 60° with various Reynolds numbers was tested. A 3-D hot wire probe was used to experimentally determine the velocity field around the cylinders in a low subsonic wind tunnel. Using the measured flow velocities behind and in front of the cylinder, drag coefficients were also calculated. The experimental results are in good agreements with the ones related to previous works.

Keywords: Wind Tunnel, Hot Wire Anemometry, Drag Coefficient, Triangular Cylinder

۱- دانشیار: Shadaram@kntu.ac.ir

۲- استادیار: aliash03@yahoo.com

۳- دانشجوی دکترا (نویسنده پاسخگو): Ali_mech79@yahoo.com

فهرست علائم :

b	قاعده سطح مقطع مدل
h	ارتفاع سطح مقطع مدل
k	انرژی جنبشی آشفتگی
ε	استهلاک آشفتگی
U_{in}	سرعت جریان آزاد
x^*	طول بی‌بعد در راستای غالب جریان (مبدأ اندازه‌گیری پشت مدل)
y^*	طول بی‌بعد در راستای عمود بر جریان (مبدأ اندازه‌گیری محور تقارن تونل باد)
α	زاویه حمله مدل
β	زاویه رأس مدل
Re	عدد رینولدز وابسته به ارتفاع مدل و سرعت جریان آزاد
$\frac{U}{U_{in}}$	سرعت بی‌بعد محلی
$\frac{u'^2}{U_{in}^2}$	متوسط مربعات سرعت نوسانی در جهت X
$\frac{v'^2}{U_{in}^2}$	متوسط مربعات سرعت نوسانی در جهت Y
$\frac{w'^2}{U_{in}^2}$	متوسط مربعات سرعت نوسانی در جهت Z
C_D	ضریب پسا

۱- مقدمه

بررسی مشخصه‌ها و رفتار جریان سیال و همچنین، بدست آوردن ضرایب بی‌بعد پیرامون اجسام غوطه‌ور، جزء مسائل مهم و قابل توجه در رشته‌های مهندسی به‌شمار می‌رود. در این حالت بین جسم و سیال، مبادله نیرو و انرژی رخ می‌دهد. تعیین این نیروها می‌تواند اساس حرکت جسم غوطه‌ور و یا پایه محاسبات لازم جهت مقاوم سازی ساختارهای مستغرق در سیال را مشخص نماید.

از بین اشکال و هندسه‌های موجود در طبیعت، سیلندرها با مقطع مثلثی، جزء اشکال غیرآیرودینامیک به‌شمار می‌روند. به علت هندسه نامناسب این مقاطع، جریان سیال در همان رینولدزهای پایین هم دچار جدایش شده و موجب تشکیل دنباله و گردابه‌هایی در پشت مدل می‌شود. در این

حالت به منظور تحلیل جریان سیال و محاسبه ضرایب آیرودینامیکی جسم، روابط ساده تئوریک دیگری کارساز نبوده و مجبور به استفاده از روش‌های پیچیده عددی و یا روش‌های تجربی می‌باشیم. در روش‌های عددی، وجود برخی از ساده‌سازی‌ها در معادلات حاکم جهت تحلیل میدان جریان و همچنین خطاهای موجود در حل‌های عددی مانع از دقت و قطعیت بالای محاسبات شده و از این رو مقایسه نتایج با نتایج کارهای تجربی مشابه لازم بنظر می‌رسد. در این تحقیق با تکیه بر روش‌های تجربی و استفاده از تجهیزات آزمایشگاهی همچون، تونل باد و دستگاه جریان سنج سیم داغ به بررسی مشخصه‌های جریان در اطراف یک سیلندر با مقطع مثلثی پرداخته و در نهایت هندسه و شرایط حاکم را با روش‌های عددی نیز مورد تحلیل قرار می‌دهیم.

بررسی مکانیزم تشکیل گردابه‌ها در پشت یک سیلندر مثلثی ایستاده در جریان کم فشار حاصل از تشکیل گردابه‌ها در پشت آن توسط تاکو ناکاگاوا^۱ [۱] مطالعه شده است. ماساکازو^۲ و همکارانش [۲] پژوهشی درباره چگونگی پایداری یک سیلندر مربعی و یا مثلثی حول محور آن در جریان یکنواخت انجام دادند. در تحقیق آن‌ها، با استفاده از روش‌های تجربی به بررسی پایداری یک سیلندر مربعی و مثلثی در جریان آزاد پرداخته شده است.

ژانگ و پروت^۳ [۳] به بررسی عددی جریان سیال پیرامون یک سیلندر با مقطع مثلث متساوی‌الاضلاع پرداختند. در این تحقیق که در عدد رینولدز ۴۵,۰۰۰ بر اساس ارتفاع مثلث (طول مشخصه) و با استفاده از نرم‌افزارهای عددی و مدل درهمی $k-\varepsilon$ صورت پذیرفته است، پروفیل سرعت در مقاطع مختلف پشت مدل محاسبه و به صورت نمودار ارائه شده است.

در تحقیقی دیگر که در سال ۲۰۰۶ توسط النسو و مسجور^۴ [۴] به چاپ رسیده است، طی یک کار آزمایشگاهی،

1- Tako Nakagawa

2- Masakazu

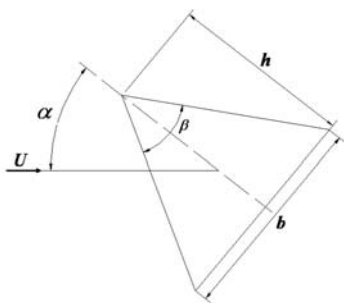
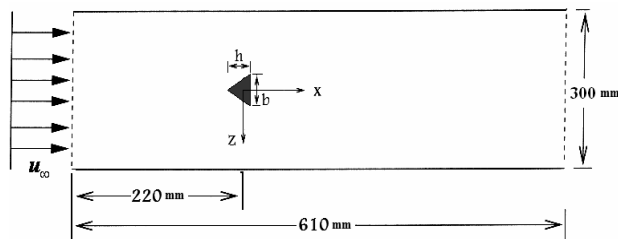
3- Zhang & Perot

4- Alonso & Meseguer

به نقاط مورد نظر توسط یک سیستم جابجا کننده پراب که قابلیت حرکت در سه راستای مختصات با دقت 0.01 میلیمتر را دارد، انجام شده است. قبل از شروع آزمایش می‌بایست پراب توسط یک کالیبراتور خارجی در دما و فشار محیط آزمایشگاه کالیبره شود.

بعد از قرارگیری پراب در موقعیت مناسب داخل تونل باد، با فرکانس 1 KHz شروع به داده برداری نموده، سپس پراب اطلاعات آنالوگ خود را به کارت A/D ارسال می‌نماید. در این مرحله داده‌ها تبدیل به داده‌های دیجیتال شده و به پردازشگر اصلی سیستم انتقال می‌یابند. در پردازشگر اصلی بعد از انجام محاسبات لازم، سرعت لحظه‌ای سیال در آن نقطه مشخص می‌شود. لازم به ذکر است که با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام شده، شدت آشفتگی جریان آزاد در حدود 2% بدست آمده است.

در شکل ۱، نمای جانبی مقطع آزمون تونل باد به همراه مدل مثلثی نشان داده شده است. در این مدل نسبت طول قاعده به ارتفاع (b/h) ، $1/15$ بوده و نسبت انسداد مقطع آزمون کمتر از 10% می‌باشد.



شکل (۱): نمای جانبی محفظه آزمون تونل باد به همراه مدل $(h = 25.9 \text{ mm}, b = 30 \text{ mm}, \beta = 60^\circ)$.

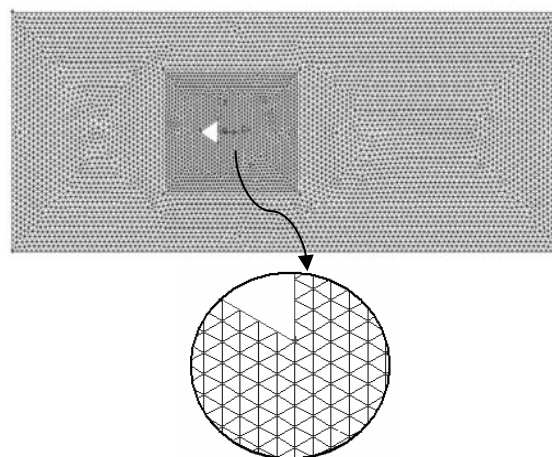
مدل‌های مثلثی ساخته شده با زوایای رأس متفاوت (نسبت b/h های مختلف) در جریان سیال قرار گرفته و با تغییر در زوایای حمله آنها، ضرایب بی‌بعدی همچون ضرایب لیفت و درگ، ضریب فشار و ضریب مومنتوم محاسبه و ارائه شده‌اند. در پژوهش حاضر نیز استوانه‌ای با مقطع مثلثی ساخته شده و در زوایای حمله مختلف و چند عدد رینولدز با استفاده از دو روش تجربی و عددی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است که مزیت این پژوهش نسبت به دیگر تحقیقات انجام شده در این زمینه، انجام کار تجربی همراه با کار عددی و همچنین استفاده از دستگاه جریان سنج سیم داغ به منظور اندازه‌گیری پروفیل‌های سرعت و نوسانات آن و همچنین نحوه محاسبه ضریب پسای آن می‌باشد. همچنین چگونگی تغییرات ضریب پسا در زوایای حمله مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. به‌طور کلی اطلاع از پروفیل‌های سرعت در دنباله سیلندر مثلثی و همچنین میزان وابستگی ضریب پسا سیلندر مثلثی به عدد رینولدز و همچنین زاویه حمله می‌تواند در طراحی و محاسبات مهندسی بعضی از ساختارها مشابه مانند ساختمان‌های بلند و یا پایه‌های پل مستغرق در آب مفید باشد. از طرف دیگر تحلیل و بررسی جریان اطراف این گونه از اشکال پایه هندسی می‌تواند از نظر مطالعات اولیه و مبنا مورد توجه قرار گیرد.

۲- تجهیزات آزمایشگاهی

به منظور بررسی تجربی مشخصه‌های جریان در اطراف یک سیلندر مثلثی دو بعدی، یک استوانه با سطح مقطع مثلث متساوی‌الاضلاع با طول اضلاع 30 میلیمتر و به عرض کانال و از جنس پلکسی گلاس ساخته شده است. سطوح مدل کاملاً صیقلی شده تا بتوان از اثرات زبری صرف نظر نمود. آزمایش‌ها در یک تونل باد مادون صوت مدار باز مکنده با مقطع آزمون 300×300 میلیمتر و محدوده‌ی سرعت 0.5 تا 40 متر بر ثانیه انجام گرفته است. برای اندازه‌گیری سرعت سیال در نقاط مورد نظر، از دستگاه جریان‌سنج سیم داغ به همراه یک پراب سه بعدی استفاده شده است. جابجایی پراب

۳- مدل سازی عددی

مدل سازی عددی انجام شده در این پژوهش در حالت دوبعدی و غیر دائم، توسط نرم افزار فلوئنت صورت پذیرفته است. شرایط مرزی مورد استفاده برای جریان غیرقابل تراکم، شرط مرزی سرعت ورودی برای ورودی کانال، جریان خروجی برپایه معادله بقای جرم و دیواره بدون لغزش می‌باشند. برای مدل سازی آشفتگی از مدل $k-\epsilon$ استاندارد استفاده شده است. فشار محیط به صورت ثابت و 650 mmHg در نظر گرفته شده است. به منظور حل معادلات جریان و فشار از الگوریتم سیمپل^۱ استفاده شده است. به منظور دستیابی به اطلاعات جریان در فواصل دور از پشت مدل و همچنین تأکید بر صحت شرط مرزی انتخاب شده در مرز خروجی، دامنه حل را در حدود 20 برابر ارتفاع مثلث در پشت مدل و در حدود 10 برابر ارتفاع مثلث قبل از مدل در نظر گرفته شده است. در شکل ۲ نمونه مدل طراحی شده به همراه مش بندی مثلثی مدل، دیده می‌شود.



شکل (۲): شبکه محاسباتی.

به منظور انتخاب شبکه محاسباتی مناسب که در آن خطاهای عددی به حداقل برسد و از طرف دیگر هزینه محاسبات بهینه شود، شبکه‌های مختلفی با تعداد گره‌های

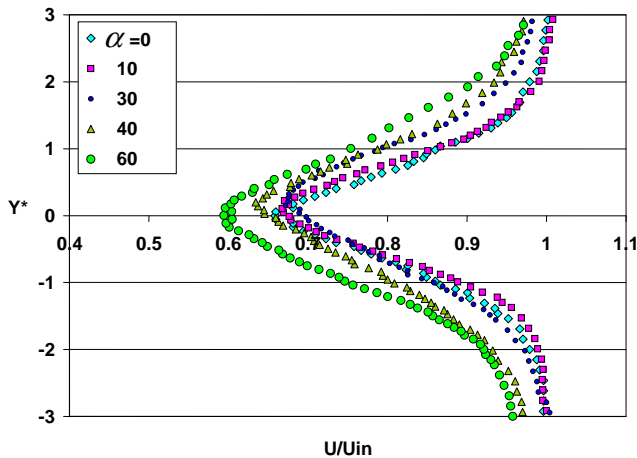
متفاوت برای این مسئله مورد بررسی قرار گرفته است که در نهایت شبکه فوق با گره‌های مثلثی و در دو سایز متفاوت که نزدیک به مدل با اندازه‌های کوچکتر و در فاصله دورتر با اندازه‌های نسبتاً بزرگتر به عنوان شبکه بهینه مد نظر قرار گرفته است. لازم به ذکر است کوچک تر کردن سایز گره‌ها از این حد، تغییرات خاصی در جواب‌ها ایجاد نمی‌کند و فقط باعث افزایش تعداد گره‌ها و بالا رفتن هزینه‌های محاسبات می‌شود.

۴- تحلیل نتایج

در این پژوهش، اندازه‌گیری‌ها و همچنین مدل‌سازی جریان به صورت دوبعدی بوده و کمیّت سرعت و تغییرات آن در راستای سوم ناچیز فرض شده است. صحت این فرض با به‌کارگیری یک پراب سه بعدی که قابلیت اندازه‌گیری و ثبت داده‌ها در سه بعد را دارد، مورد تأیید قرار گرفته است. آزمایش‌ها در اعداد رینولدز $20,000$ ، $35,000$ و $45,000$ بر اساس سرعت جریان آزاد و ارتفاع مقطع مثلثی انجام شده است. لازم به ذکر است ابعاد طولی به وسیله ارتفاع سطح مقطع مدل h بی‌بعد شده‌اند.

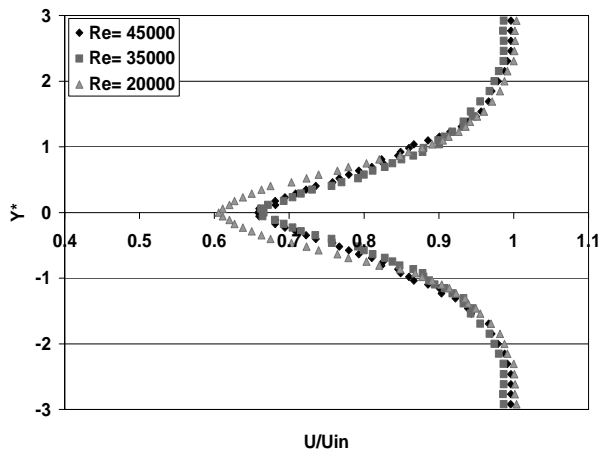
با اندازه‌گیری مؤلفه‌های سرعت و نوسانات آن در مقاطعی قبل و بعد از مدل و با استفاده از اصل بقا مومنوم سیال در گذر از جسم، ضریب پسای مدل در هر حالت محاسبه شده است. از طرف دیگر در مدل سازی عددی، انتگرال‌گیری مستقیم از میدان‌های فشار و تنش برشی روی جسم برای حساب کردن ضرایب آیرودینامیکی جسم، مدنظر می‌باشد.

با توجه به نوع پراب که قادر به اندازه‌گیری جریان برگشتی نمی‌باشد و همچنین حصول اطمینان از عدم وجود برگشت جریان در بازه مورد بررسی، داده برداری‌ها از نقطه $x^* = 1/5$ شروع شده است. به منظور تأیید نتایج تجربی، در شکل ۳ تغییرات سرعت سیال در امتداد خط مرکزی پشت مدل در زاویه حمله صفر درجه با نتایج عددی ژانگ^۲ [۳] مقایسه شده است. به نظر می‌رسد، کاهش سرعت در فاصله



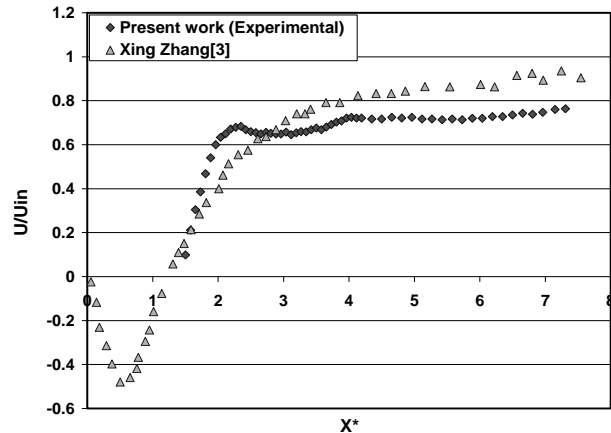
شکل (۴): سرعت متوسط اندازه گیری شده در مقطع $x = 6h$ پشت مدل، $Re = 45000$.

باتوجه به وجود گوشه‌های تیز در مدل، حتی در رینولدزهای پایین هم جریان سیال از روی جسم جدا شده و باعث بوجود آمدن جریان‌های برگشتی در پشت مدل می‌گردد. لذا، در محدوده عدد رینولدز $20,000 - 45,000$ تغییراتی در رژیم جریان مشاهده نشده و صرفاً تغییراتی در اندازه سرعت‌ها به وجود می‌آید. الگوی مشابه پروفیل‌های سرعت در این محدوده سرعت، در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل (۵): سرعت‌های متوسط اندازه گیری شده در مقطع $x = 6h$ پشت مدل، در زاویه حمله صفر.

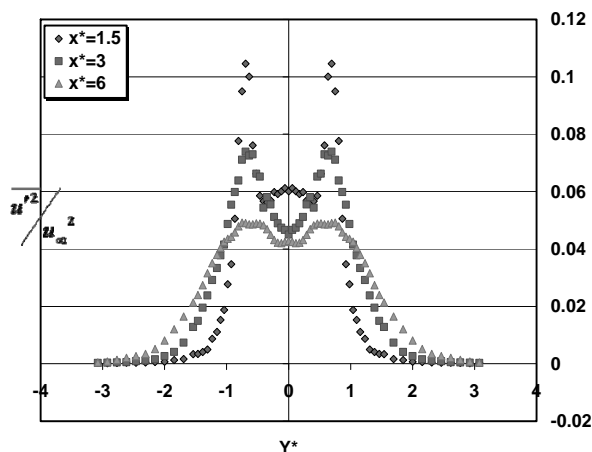
$2 < x^* < 3$ ناشی از به هم رسیدن و اختلاط گردابه‌ها در خلاف جهت یکدیگر از لبه بالا و پایین مدل می‌باشد. در فواصل دورتر از مدل، گردابه‌ها خرد شده و از مومنتوم چرخشی ذرات داخلی گردابه‌ها کاسته می‌شود، لذا اثرات کاهش سرعت ناچیز می‌شود.



شکل (۶): سرعت متوسط نقاط واقع در محور مرکزی پشت مدل، $Re = 45000, \alpha = 0^\circ$.

در شکل ۴ پروفیل‌های سرعت مربوط به مقطع $x^* = 6$ و عدد رینولدز $45,000$ در زوایای حمله مختلف نشان داده شده است. در این مدل با افزایش زاویه حمله تا زاویه 30° درجه، سطحی از مدل که در مقابل جریان قرار می‌گیرد کمتر می‌شود ولی از زاویه 30° درجه به بعد، با افزایش زاویه حمله، سطح مواجهه مدل مجدداً افزایش پیدا کرده تا در نهایت به همان مقدار اولیه خود یعنی سطح مواجهه در زاویه حمله صفر درجه می‌رسد. به عبارت دیگر با کاهش سطح مواجهه، جدایش در وسعت کمتری در پشت مدل اتفاق افتاده و با افزایش آن، وسعت ناحیه جدایش و جریان‌های برگشتی در پشت مدل بیشتر می‌شود. از این‌رو منطقه‌ای پشت مدل که سرعت آن نقاط تحت تأثیر مدل قرار گرفته، وسیع شده و پروفیل سرعت در زوایای حمله بزرگتر، شیب کمتری نسبت به حالات قبل پیدا می‌کند.

تداخل گردابه‌های تشکیل شده در لبه فرار بالا و پایین مدل می‌باشد. با افزایش فاصله مقطع از مدل در امتداد جریان، مقادیر بیشینه $\overline{u'^2}$ کاهش یافته و در فواصل دور از شدت تغییرات آن کاسته می‌شود. علت این امر نیز کاهش قدرت گردابه‌ها در مقاطع دورتر از مدل می‌باشد. نمودارهای مربوط به مقادیر $\overline{v'^2}$ و $\overline{w'^2}$ نیز رفتاری مشابه را نشان می‌دهند.



شکل (۶): تغییرات تنش رینولدزی $\overline{u'^2}$ در مقاطع پشت مدل، $Re = 45000$ ، $\alpha = 0^\circ$.

با اندازه‌گیری مؤلفه‌های نوسانی u' و w' ، روند تغییرات انرژی آشفتگی ذرات در مقاطع مختلف پشت مدل $k = \frac{1}{2}(\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2})$ در شکل ۷ نشان داده شده است. همانطور که انتظار می‌رود در مقاطع اولیه پشت مدل، به علت حضور گردابه‌های بزرگتر و پر قدرت‌تر، انرژی آشفتگی ذرات نسبت به مقاطع دورتر به مدل بیشتر است.

تأثیر زاویه حمله بر مؤلفه نوسانی سرعت در شکل ۸ نشان داده شده است. با چرخش مدل به اندازه 60° درجه، دقیقاً یک ضلع مدل عمود بر جهت جریان قرار گرفته و این مسئله باعث بزرگتر و پر قدرت‌تر شدن گردابه‌های تشکیل شده در پشت مدل می‌گردد. با بزرگتر شدن گردابه‌ها، مؤلفه نوسانی سرعت در راستای جریان (u') بزرگتر شده و در پی آن متوسط مربعات این جزء نوسانی نیز افزایش پیدا می‌کند.

همانطور که در توضیحات بیان شد است و در شکل ۵ نیز مشخص است، افزایش عدد رینولدز در بازه مورد نظر، تنها سرعت متوسط جریان را افزایش می‌دهد که تأثیری در نوع و رژیم جریان ندارد. با توجه به اینکه پروفیل‌های سرعت رسم شده هر کدام با سرعت متوسط ورودی در همان جریان رینولدز بی‌بعد شده‌اند در نتیجه، اندازه سرعت بی‌بعد هم در این اعداد رینولدز متفاوت نمی‌باشد.

۵- ضریب درگ

برای محاسبه ضریب درگ، با صرف نظر کردن از تراکم پذیری و ترم لزج $\left(\mu \frac{\partial u}{\partial x}\right)$ ، از رابطه پیشنهادی وان دام [۵] به صورت زیر استفاده می‌شود:

$$C_D = 2 \int \sqrt{\frac{q}{q_\infty}} \left(1 - \sqrt{\frac{q}{q_\infty}}\right) d\left(\frac{y}{b}\right) + \int \frac{(\overline{v'^2} + \overline{w'^2} - \overline{u'^2})}{U_\infty^2} d\left(\frac{y}{b}\right). \quad (1)$$

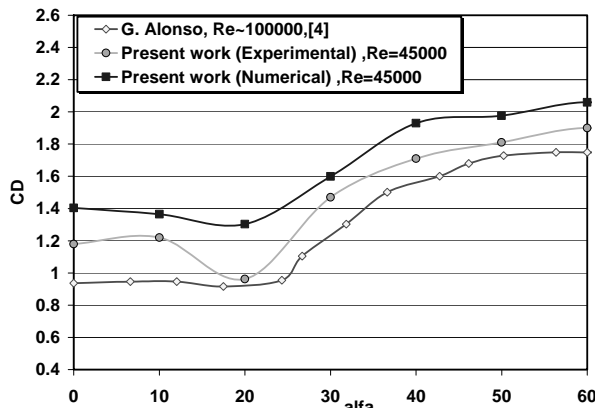
در این رابطه، y فاصله از محور و b طول قاعده مدل می‌باشد. همچنین، داریم:

$$\overline{q} = \frac{1}{2} \rho (\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2}). \quad (2)$$

همانطور که از رابطه (۲) پیداست، در جریان‌های درهم قسمت عمده‌ای از تبدلات مومنتوم صورت گرفته بین جسم و سیال، ناشی از مؤلفه‌های نوسانی سرعت می‌باشد. از اینرو بررسی مؤلفه‌های نوسانی سرعت و نحوه تغییرات مؤلفه‌های سرعت در اطراف مدل لازم بنظر می‌رسد.

تغییرات مؤلفه تنش رینولدزی $\overline{u'^2}$ در سه مقطع مختلف پشت مدل در شکل ۶ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل دیده می‌شود، به علت تقارن مدل، نمودار دارای دو مقدار ماکزیمم می‌باشند. مقادیر بیشینه مؤلفه‌های نوسانی سرعت در حوالی خط مرکزی، ناشی از

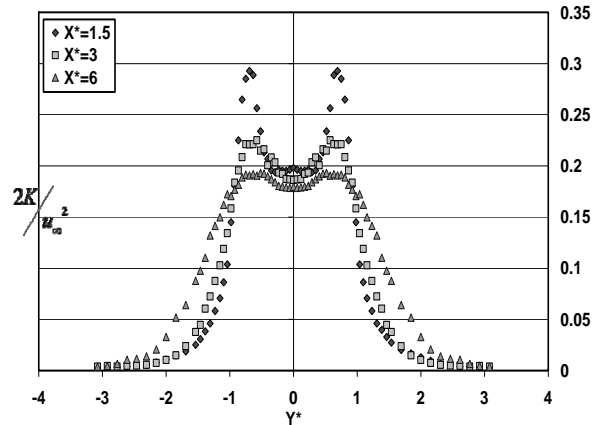
خطای ذاتی جریان سنج سیم‌داغ از مقادیر اغتشاشات و مؤلفه‌های سرعت در فواصل دور از مدل استفاده شده است. همان‌گونه که در شکل ۹ دیده می‌شود در زوایای حمله کم به‌علت تشابه پروفیل‌های سرعت در نواحی دور از مدل ضریب درگ تقریباً ثابت می‌ماند. در زوایای حمله ۲۰-۱۰ درجه ریزش گردابه‌های از لبه فرار بالایی بزرگتر شده و در عوض در لبه فرار پایینی کوچک تر می‌شود و جدایش را به تأخیر می‌اندازد که این باعث کاهش جزئی در ضریب درگ می‌شود. با افزایش زاویه حمله گستردگی ناحیه دنباله افزایش یافته و این باعث ایجاد ناحیه کم فشار در پشت و در نتیجه افزایش ضریب درگ می‌شود. با توجه به متساوی‌الاضلاع بودن مقطع مدل با افزایش زاویه حمله از ۶۰ درجه، تناوبی در تغییرات ضریب درگ مشاهده می‌شود.



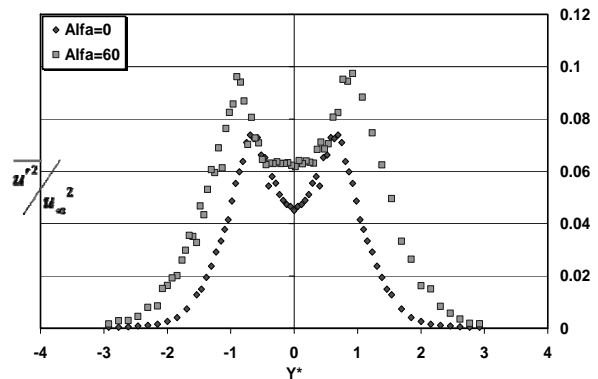
شکل (۹): ضرایب درگ مربوط به مدل در زوایای حمله مختلف.

عوامل موثر در اختلاف نتایج تجربی و عددی حاضر با نتایج آلنسون [۴] در شکل ۹، تفاوت در اعداد رینولدز و همچنین متفاوت بودن روش‌های محاسبه ضرایب درگ می‌باشد. موضوع قابل توجه دیگر بیشتر بودن ضرایب درگ حاصل از مدل‌سازی عددی نسبت به مقادیر متناظر خود در تحقیق تجربی می‌باشد. همان‌طور که گفته شد، محاسبه ضرایب درگ به روش تجربی بر پایه تغییرات مومنتوم سیال در گذر از جسم می‌باشد. اما در محاسبه ضرایب درگ با

در ضمن، به علت وسیع‌تر بودن ناحیه دنباله مربوط به زاویه حمله ۶۰ درجه، محل برهم‌کنش لایه مرزی جدا شده از بالا و پایین مدل و ناحیه دنباله که نقاط بیشینه نمودار را بوجود می‌آورند به نواحی دورتری نسبت به محور مرکزی مدل منتقل می‌شود.



شکل (۷): تغییرات انرژی آشفته‌گی در مقاطع مختلف پشت مدل، $Re = 45000, \alpha = 0^\circ$.



شکل (۸): تغییرات تنش رینولدزی $\overline{u'^2}$ در مقطع $6h$ پشت مدل، در $Re = 45000$.

در شکل ۹ ضریب درگ در زوایای حمله مختلف و با استفاده از رابطه وان‌دام [۵] نشان داده شده است. با توجه به شدت زیاد اغتشاشات مؤلفه‌های سرعت در نزدیکی مدل و

۶- نتیجه گیری

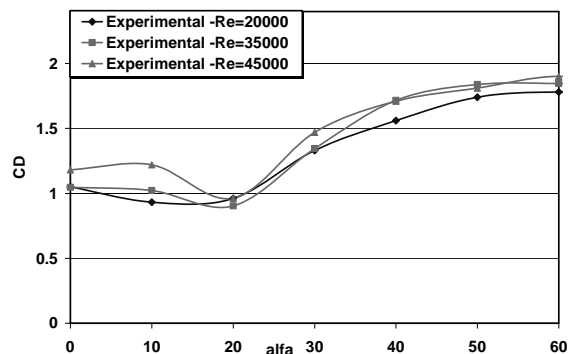
در این تحقیق، تغییرات نوسانی مؤلفه‌های سرعت و همچنین، ضریب درگ سیلندر با مقطع مثلثی واقع در جریان سیال تحت زوایای حمله مختلف با استفاده از روش تجربی و عددی مورد مطالعه قرار گرفت. در این راستا با استفاده از داده‌های تجربی بدست آمده و با محاسبه تغییرات مومنوم سیال در مقاطعی قبل و بعد از جسم توسط رابطه وان‌دام، ضریب درگ مدل در زوایای حمله مختلف محاسبه شد. اگر حالت قرارگیری مدل باعث تشدید در تشکیل گردابه‌ها شود ضریب درگ مربوط به آن حالت افزایش یافته و بالعکس با کم شدن گستره گردابه‌ها، ضریب درگ کاهش می‌یابد. البته در اکثر حالات، تمامی علل بیان شده در راستای افزایش و یا همه آن‌ها در راستای کاهش ضریب درگ قرار نمی‌گیرند. در این حالت شدت پدیده‌های موجود در کاهش و افزایش ضریب درگ موثر می‌باشد. در مورد نحوه تغییرات ضریب درگ با عدد رینولدز در زوایای حمله بزرگ ضریب درگ افزایش یافته، در حالیکه در زوایای حمله کوچک تغییرات این ضریب به چگونگی تشکیل و شدت گردابه‌ها بستگی دارد.

مراجع

1. Nakagawa, T., " Vortex Shedding Mechanism from a Triangular Prism in a Subsonic Flow", Fluid Dynamics Research, Vol. 5, No. 2, North-Holland, pp. 69-81, 1989.
2. Tatsuno, M., Takayama, T., Amamoto, H., and Ishi-I, K., "On the Stable Posture of a Triangular or a Square Cylinder about its Central Axis in a Uniform Flow", Fluid Dyn. Research, Vol. 6, No's. 3-4, pp. 201-207, 1990.
3. Zhang, X. and Perot, B., "Turbulent Vortex Shedding From Triangle Cylinder, Using the Turbulent Body Force Potential Model", ASME 2000 Fluids Eng., Summer Meeting, June 11-15, 2000.
4. Alonso, G. and Meseguer, J., "A Parametric Study of the Galloping Stability of Two-dimensional Triangular Cross-section Bodies", J. Wind Eng. and Indust. Aerodyn., Vol. 94, No 4, pp. 241-253, April 2006.
5. Van-Dam, C.P., "Recent Experience with Different Methods of Drag Prediction", Progress in Aerospace, Vol. 35, No. 8, pp. 751-798, 1999.

استفاده از مدل‌سازی عددی، انتگرال‌گیری مستقیم از میدان‌های فشار و تنش برشی در اطراف جسم مدنظر قرار می‌گیرد. از طرف دیگر وجود مقداری خطا در داده‌برداری‌های تجربی و وجود برخی از ساده‌سازی‌ها در مدل‌سازی‌های عددی، پیدایش مقداری اختلاف در نتایج بدست آمده را ناگزیر می‌سازد. بیشترین تفاوت مشاهده شده بین نتایج تجربی و عددی مربوط به ضریب پسا در زاویه حمله ۲۰ درجه می‌باشد که مقدار آن در حدود ۲۶٪ محاسبه شده است و کمترین تفاوت مربوط به زاویه حمله ۳۰ درجه با مقدار ۸٪ می‌باشد. لازم به ذکر است، به دلیل معتبرتر و قابل استنادتر بودن نتایج تجربی، این نتایج میزان محاسبه خطا قرار گرفته است. در ضمن، به علت متفاوت بودن اعداد رینولدز در این تحقیق و تحقیق مربوط به مرجع [۴]، مقایسه‌های انجام شده در این خصوص به صورت کیفی بوده و هیچ مقایسه کمی و یا سنجش خطا بین این مقادیر صورت نپذیرفته است.

در شکل ۱۰، تغییرات ضرایب درگ مربوط به مدل در زوایای حمله مختلف و سه عدد رینولدز ۲۰,۰۰۰ و ۳۵,۰۰۰ و ۴۵,۰۰۰ حاصل از تحقیق تجربی نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود نحوه تغییرات ضریب درگ مربوط به مدل در سه عدد رینولدز یکسان می‌باشد. علت این مطلب را نیز می‌توان در عدم تغییر مرتبه بزرگی رینولدز دانست. در هر سه عدد رینولدز مورد آزمایش، رژیم جریان درهم بوده و جدایش از لبه‌های انتهایی مثلث آغاز می‌شود.



شکل (۱۰): ضرایب درگ مربوط به مدل در سه رینولدز.