بررسی تجربی ویژگیهای جریان در اطراف یک سیلندر بیضوی تحت

تأثير سيم اغتشاشساز

عبدالامیر بک خوشنویس ^۱، سجاد نظری ^۲ و محمدجواد ایزدی یزدی^۳

دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه حکیم سبزواری (تاریخ دریافت: ۱۹/۱/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۹/۳۰)

چکیدہ

واژههای کلیدی: سیم اغتشاشساز، ضریب پسا، دنباله سیلندر بیضوی، جریانسنج سیم داغ

Experimental Investigation of the Characteristics of the Flow around an Elliptic Cylinder in the Presence of a Tripping Wire

A.A. Bak Khoshnevis, S. Nazari, and M.J. Ezadi Yazdi

Mechanical Engineering Department Hakim Sabzevari University

(Received: 5/April/2016; Accepted: 20/December/2016)

ABSTRACT

In this research, the behavior and characteristics of the wake of the flow around an elliptic cylinder at zero angle of attack in the presence of a tripping wire of 1 mm diameter were investigated experimentally. An aluminum elliptic cylinder with major axis, minor axis, and height of 42.4 mm, 21.2mm, and 390 mm, respectively, was used for this purpose. The cylinder model was examined in the test section of a blower type wind tunnel. The Reynolds numbers of the experiment, based on major axis were 25700 and 51400 for 10 m/s and 20 m/s speeds, respectively. Tripping wire placed symmetrically at both sides of the cylinder, and each were tested at angles of zero, 23.7, and 40.9 degrees with respect to the stagnation point. The drag coefficient of the smooth cylinder for both of the Reynolds numbers was about 0.6. The results indicate that in the best possible case, the drag coefficient for the 1 mm wire reduces by 56.5% at angle of the 23.7 degree. In the best case, it also reduces by 8.6% for angle of the zero degree, while in the worst case, the drag coefficient for angle of 40. 9 degree increase by 20.7%.

Keywords: Trip Wire, Drag Coefficient, Wake of Elliptic Cylinder, Hot Wire Anemometry

khoshnevis@hsu.ac.ir -۱ دانشیار (نویسنده پاسخگو): ۱-

۲- کارشناسی ارشد: pixy64@gmail.com

javadezadi2013@yahoo.com - دانشجوى دكترى: -۳

فهرست علائم و اختصارات

Α	قطر بزرگ سیلندر بیضوی mm
AR	نسبت محورى سيلندر
В	قطر کوچک سیلندر بیضوی mm
C_{D_f}	ضريب پسا اصطكاكي
C_{D_p}	ضریب پسا فشاری
C_{D}	ضريب پسا
C_{f}	ضريب اصطكاك
C_p	ضريب فشار
е	گریز از مرکز بیضی
f	فرکانس ریزش گردابهها ¹⁻ s
H	ارتفاع دهانه اُتاق آزمون mm
p_1	فشار نقطه سکون جلویی ²⁻¹ kgm
p_2	فشار نقطه سكون عقبى ^{2-k} gm
Re	عدد رينولدز
St	عدد استروهال
%Tu	درصد شدّت اغتشاشها
II	m ^{c-1} sl:1 sl. a. " a. s
U ref	
O_{ms}	مربع توسانات سرعت الملا
<i>u</i> _i	مؤلفه افقی سرعت جریان آزاد ^{1۔} ms
и	سرعت درون دنباله ¹⁻ ms
\overline{u}	سرعت متوسط جريان ¹⁻ ms
u'	مؤلفه نوسانی سرعت ¹⁻ ms
w_0	پارامتر نقصان سرعت ¹⁻ ms
X	فاصله از نقطه سکون عقبی m
علائم بوناني	

	S	1.1.	
نسبت انسداد			β
نسبت محورها			ε
لزجت دینامیکی kgm ⁻¹ s ⁻¹			μ
چگالی ³⁻ kgm			ρ

۱– مقدمه

بررسی آیرودینامیک جریان پیرامون سیلندرهای دایرهای و بیضوی و همچنین کاربرد آنها در صنعت یک مسئله مهم و رایج است. از طرفی کاهش ضریب پسا (مقاومت در برابر هوا) در علوم و صنایع بسیاری کاربرد دارد. کاهش ضریب پسا در صنایع مختلف باعث کاهش مصرف سوخت، انتقال حرارت بهتر، کاهش سر و صدا، افزایش سرعت، افزایش پایداری سازهها و

غیره میشود. این در حالی است که لایهمرزی و جدایش آن سهم بسزایی در آیرودینامیک سیلندرها ایفا میکنند و همواره سعی شده است بهمنظور دستیابی به راندمان بالا، حتیالامکان از جدایش لایهمرزی جلوگیری شده و یا به تأخیر انداخته شود. این امر میتواند باعث بهینهسازی ضریب پسا گردد. روشهای مختلفی برای جلوگیری از جدایش لایهمرزی و یا به تأخیر انداختن آن وجود دارد. روشهایی مانند تولیدکنندههای تیغه-ای شکل گردابه، زبری سطح، سیم اغتشاش ساز، یونیزاسیون جریان هوا، تزریق یا مکش جریان سیال بر روی سطح و موارد دیگر را میتوان نام برد.

از کاربردهای سیلندر بیضوی میتوان به لولههای بهکاررفته در مبدلهای گرمایی، لبه حمله یک فلپ در یک ایرفویل چنـد جزئی و غیره اشاره کرد.

۱-۱- مروری بر کارهای گذشته

ایگاراشی^۱ [۱] یک سری مطالعات تجربی را بر روی جریان اطراف یک سیلندر دایرهای در محدودهی اعداد رینولدز زیربحرانی، تحت تأثیر تولیدکننده گردابهای^۲ انجام داد. در این تحقیق ضریب پسا در بهترین حالت در حدود ۵۳/۸ درصد کاهش یافت. همچنین ایگاراشی [۱] به بررسی تجربی تأثیر سیم اغتشاش ساز بر انتقال لایهمرزی بر روی یک سیلندر دایرهای پرداخت. نشان داد ضریب پسا در بهترین حالت در حدود ۷۰ درصد کاهش مییابد.

بههارا^۳ و میتال^۴ [۲] به بررسی عددی تأثیر سیم اغتشاش ساز بر روی یک سیلندر دایرهای، برای رژیمهای مختلف جریان پرداختند. نشان دادند برای رژیم جریان بحرانی، ضریب پسا بـه سرعت کاهش مییابد.

ژو⁴ و همکارانش [۳] به بررسی تأثیر سه نوع مختلف از سیمهای اغتشاش ساز که در نزدیکی نقطه سکون یک سیلندر دایرهای قرار گرفته بودند، پرداختند. هر سیم بهصورت یک جفت، متقارن در فاصلهای از سیلندر قرار گرفته بودند. نتایج آنها نشان داد که ضریب پسا برای ۲۰۰=Re در موقعیت ۵=۳۳ به میزان ۱۸٪ و برای ^۴ ۱۰×۵/۵ =Re در موقعیت ۵=۳۳ به میزان ۵۹٪ کاهش مییابد.

- 4- Mittal
- 5- Zhou

¹⁻ Igarashi

²⁻ Vortex Generator

³⁻ Behara

میس سرلیس ^۱ و همکاران [۴] در یک تحقیق تجربی و عددی، کاربرد سیلندر بیضوی را در یک مبدل حرارتی نشان دادند. نتایج آن ها نشان داد که استفاده از سیلندر بیضوی نسبت به سیلندر دایرهای باعث بهبود افت فشار و نیز انتقال حرارت جریان می شود.

هوور^۲ و همکاران [۵] با انجام تحقیقی درزمینهی تأثیر سیم اغتشاش ساز بر تحریک نوسانهای گردابهای تنها با یک جفت سیم در زاویه ۷۰ درجه نشان دادند که ضریب پسا تا حدود ۵۰٪ نسبت به حالت بدون سیم، کاهش مییابد.

آیبا^۳ و همکاران [۶] تأثیر سیم اغتشاش ساز در انتقال حرارت در اطراف یک سیلندر دایرهای را نشان دادند. یک جفت سیم به صورت متقارن در زاویه ۶۵ درجه بر روی سیلندر قرار دادند. آن ها نشان دادند که هرچه ضریب پسا کاهش یابد، عدد ناسلت افزایشیافته و به دنبال آن انتقال حرارت افزایش می یابد.

ایزدی یزدی و بک خوشنویس [۸- ۷] به بررسی تجربی ویژگیهای جریان اطراف یک سیلندر دایرهای صاف و چرخان در اعداد رینولدز و نسبت سرعتهای مختلف پرداختند. نتایج آنها نشان داد که با افزایش سرعت دورانی سیلندر، پارامترهای ضریب پسا و نقصان سرعت کاهش مییابند. همچنین بک خوشنویس و همکاران [۹]، روابط جدیدی برای پیشبینی مقادیر مرتبه بالای سرعت در دنباله تخت پشت یک سیلندر دایرهای ارائه دادند.

رامان[‡] و همکاران [۱۰] در یک بررسی عددی بر روی سیلندر بیضوی نشان دادند که در یک عدد رینولـدز خـاص، بـا کاهش نسبت قطر^۵ سیلندر مقدار ضـریب پسـا کـاهشیافتـه و مقدار عدد استروهال نیز افزایش مییابد.

اوتا⁵ و همکاران [۱۱] جریان اطراف یک سیلندر بیضوی با نسبت قطر ۱ به ۳ را بهصورت تجربی بررسی کردند. در این تحقیق زاویه حمله مناسب برای وقوع عدد رینولدز بحرانی و همچنین ریزش اولین گردابهها در پشت مدل به دست آمد.

ایـزدی یـزدی و بـک خوشـنویس [۱۲-۱۴]، ویژگـیهـای جریان در اطراف دنباله یک سیلندر بیضوی با نسبت محور ۱:۲ و همچنین حالتی که سیلندر بیضوی در نزدیکـی یـک صفحه

- 5- Axis Ratio (AR)
- 6- Ota

تخت قرار گرفته را بهصورت تجربی مـورد بررسـی قـرار دادنـد. نتایج آنها نشان داد که با افزایش نسبت فاصله، ضـریب پسـای سیلندر کاهش مییابد، اما عدد استروهال افزایش مییابد.

پاول^۷ و همکاران [۱۵] به بررسی عددی تأثیر زاویه حمله، نسبت محورها و عدد رینولدز در جریان آرام و ناپایدار بر روی مشخصههای جریان اطراف یک سیلندر بیضوی پرداختند. همچنین در این تحقیق، وابستگی پارامترهای جریان و ریزش گردابهها به مقدار زاویه حمله نشان داده شد.

پرومال^۸ و همکاران [۱۶] به روش شبیهسازی شبکه لتیس-بولتسمن^۹ بر روی یک سیلندر بیضوی تأثیر نسبت انسداد^{۱۰}، عدد رینولدز و طول کانال را بر مشخصههای جریان بررسی کردند. در این مطالعه نشان داده شد که با افزایش نسبت انسداد، فرکانس ریزش گردابهها^{۱۱} نیز افزایش مییابد.

با توجه به تحقیقات انجام شده درزمینه ی بررسی تأثیر سیم اغتشاش ساز بر روی ویژگیهای جریان، تاکنون تأثیر سیم اغتشاش ساز بر روی کمیتهای سرعت متوسط، سرعت نوسانی و ضریب پسا در یک سیلندر بیضوی، مورد بررسی قرار نگرفته است. لذا در این تحقیق به بررسی تجربی ویژگیهای دنباله جریان در یک سیلندر بیضوی تحت تأثیر سیم اغتشاش ساز پرداخته شده است.

۲- پارامترهای مورد بررسی

شدت آغتشاش ها پارامتر مهمی است که کیفیت جریان سیال را مشخص می کند. شدت اغتشاش ها به صورت زیر بیان می شود: $Tu = \frac{\sqrt{u'^2}}{U} \times 100.$ (۱)

پارامتر نقصان سرعت^{۱۲} بدون بعد از رابطه زیر به دست می آید:

$$\frac{W_0}{U_{ref}} = \frac{U_{ref} - U_{min}}{U_{ref}}.$$
(۲)

عدد استروهال از اعداد بدون بعد است که شدت فرکانس گردابههای کارمن تشکیل شده پشت مدل را بهصورت بیبعد بیان میکند و بهصورت زیر تعریف میشود: $St = \frac{(f \times d)}{U_{re}}.$ (۳)

- 9- Lattice Boltzmann Simulation
- 10- Blockage ratio
- 11- Frequency of the Vortex Shedding
- 12- Velocity Defect

¹⁻ Missirlis

²⁻Hover

³⁻ Aiba 4- Raman

⁷⁻ Paul

⁸⁻ Perumal

اگر سیلندر بیضوی به صورت افقی در راستای جریان قرار گیرد، نسبت انسداد را قطر کوچک سیلندر تقسیم بر ارتفاع دهانه تونل باد معرفی می کنند. از نتایج تحقیقهای انجامشده در این زمینه اگر نسبت انسداد سیلندر بیضوی کم تر از ۲۰۱۸ انتخاب شود، خطای آزمایشها ناچیز خواهد بود. برای اطلاعات بیش تر شود، خطای آزمایشها ناچیز خواهد بود. برای اطلاعات بیش تر شود، نسبت انسداد به صورت رابطه (۴) تعریف می شود: (۴) $\beta = \frac{B}{H}$ می باشد.

۳- تجهیزات آزمایشگاهی و روش آزمایش سرعتسنج سیم داغ یکی از ابزارهای اصلی اندازه گیری سرعت لحظهای جریان سیال میباشد. با توجه به ویژگیهای منحصربهفرد این دستگاه، اصلیترین و عمدهترین کاربرد آن انجام آزمایش برای جریانهای آشفته گاز و یا هوا است. سرعتسنج استفاده شده در این تحقیق از نوع دما ثابت بوده که توانایی اندازه گیری سرعت متوسط، اغتشاشها و فرکانس گردابههای خارج شونده از پشت مدل را دارد. تونل باد مورد استفاده در این آزمایش از نوع مدارباز و دمشی بوده که برای ایجاد جریان هوا در این دستگاه از یک موتور با قدرت kw که توانایی ایجاد جریان هوایی با سرعت som / را دارد، استفاده شده است. اتاقک آزمایش این تونل از جنس پلکسی گلاس با طول ۱۹۸ سانتیمتر، عرض ۴۰ سانتیمتر و ارتفاع ۲۰ سانتیمتر میباشد.

در شکل ۱ میزان اغتشاشهای جریان آزاد در اتاق آزمون در غیاب هرگونه مدلی برای سرعتهای ۱۰ و ۲۰ متر بر ثانیه ارائه شده است که مقدار آن کمتر از ۰/۱ درصد اندازه گیری شده است. پراب یک بعدی استفاده شده در این آزمایشها دارای سنسوری به طول ۱ میلیمتر و قطر ۵ میکرومتر می-باشد. برای حرکت پراب در نقاط مختلف از یک مکانیزم دقیق با سه درجه آزادی استفاده شده است. دقت این مکانیزم انتقال پراب ۰/۱ میلیمتر است. در شکل ۲ نمای شماتیکی از تونل با د به کار گرفته شده، ارائه شده است.

- 1- Alonso 2- Flynn
- 2- Flynn 3- Eisner
- 4- Constant Temperature Anemomtery (CTA)

سیلندر استفاده شده در آزمایشها از جنس آلومینیوم بوده و دارای طول ۳۹۰ mm، قطر بزرگ ۴۲/۴ mm و قطر کوچک ۲۱/۲ mm

در شکل ۳، نمای شماتیکی از هندسه مدل مورد آزمایش نشان داده شده است.





شکل (۳): نمای شماتیکی از هندسه مدل.

مدل مزبور در دو عدد رینولدز با مقادیر ۲۵٬۷۰۰ و ۵۱٬۴۰۰ و ۵۱٬۴۰۰ به ترتیب برای سرعتهای ۱۰ m/s و ۲۰ m/s مـورد آزمـایش قرار گرفته است.

همان طور که اشاره شد در این تحقیق به بررسی دنباله سیلندر بیضوی صاف با زاویه حمله صفر درجه نسبت به افق، تحت تأثیر سیم اغتشاش ساز با قطر ۱ میلیمتر، پرداخته شده است.

۴- نتایج و بحث

همان طور که اشاره شد در این تحقیق به بررسی دنباله سیلندر بیضوی با زاویه حمله صفر درجه تحت تأثیر سیم اغتشاش ساز در هفت موقعیت طولی مختلف و در اعـداد رینولـدز ۲۵٬۷۰۰ و ۵۱٬۴۰۰ پرداخته شده است.

۴-۱- توزیع پروفیل سرعت متوسط بیبعد

پروفیلهای سرعت با توجه به طبیعت متغیر و غیردائمی مؤلفههای نوسانی سرعت، در طول یک دوره تناوب، متقارن میباشند. شکل ۴ توزیع پروفیل سرعت متوسط بیبعد برای سیلندر بیضوی صاف در سه ایستگاه اوّل را نشان میدهد.



شکل (۴): توزیع پروفیل سرعت متوسط بیبعد برای سیلندر بیضوی صاف در سه ایستگاه اوّل.

همان طور که میدانیم، گردابه ها به صورت لحظه ای و غیرمتقارن در پشت مدل تشکیل شده، ولی با توجه به شکل ۴ حتی در مقاطع اولیه نزدیک به سیلندر هم پروفیل های سرعت متوسط رسم شده، کاملاً متقارن می باشند.

توجیه این مطلب بدینصورت است که تشکیل گردابهها در پشت سیلندر، لحظهای بوده و بهصورت متناوب در طول دوره تناوب خود تکرار میشوند. حال اگر زمان دادهبرداری در یک نقطه از دوره تناوب تشکیل گردابهها بیشتر باشد، میتوان با محاسبه متوسط زمانی سرعت در نقاط مورد نظر، سرعت میانگین در هر نقطه را بهدست آورد که اثرات نامتقارن بودن سرعتهای لحظهای در آن مشاهده نمیشود. در شکل ۴ زمان دادهبرداری تقریباً ۵۰۰ برابر دوره تناوب تشکیل گردابهها میباشد.

نکته قابل توجه دیگری که در شکل ۴ مشاهده می شود، وجود دو ناحیه اکسترمم در پروفیل های سرعت مقاطع نزدیک به مدل می باشد. علت این مطلب را می توان در مومنتوم لایه مرزی ایجاد شده بر سطوح مدل دانست. بدین صورت که در مقاطع نزدیک به مدل، مومنتوم موجود در لایه مرزی تشکیل شده بر روی سطوح سیلندر، پس از انحلال لایه مرزی باعث افزایش انرژی نقاط مجاور و در نهایت افزایش سرعت آن ها می شود که این مطلب در مقاطع دورتر پشت مدل اثر خود را از دست داده و قادر به ایجاد تغییر در سرعت ذرات سیال نمی باشد.



شکل ۵ توزیع پروفیل سرعت متوسط بیبعد برای سیلندر بیضوی صاف در سه ایستگاه دوّم را نشان میدهد.

شکل (۵): توزیع پروفیل سرعت متوسط بیبعد برای سیلندر بیضوی صاف در سه ایستگاه دوّم.

www.SID.ir

نکته حائز اهمیت دیگر این است که با افزایش فاصله از پشت سیلندر، اختلاف سرعت در داخل و خارج دنباله کاهشیافته و عرض دنباله افزایش مییابد که نهایتاً پروفیل سرعت متوسط یکنواختتر میشود. در فاصلههای نزدیک به سیلندر به علت وجود جدائی و جریانهای برگشتی، افت جریان بیشتر میباشد که با دور شدن از مدل، این افت کمتر شده و جریان در داخل دنباله یکنواختتر میشود. این مسئله نیز در شکل **۵** مشخص است.

از طرفی در شکل **۵** مشخص است که نمودارها برای دو عدد رینولدز از ایستگاه ۵=X/R به بعد به هم بسیار نزدیک می شوند. این مسئله به این دلیل است که نرخ اضمحلال گردابه در عدد رینولدز ۲۵٬۷۰۰ ، بیشتر از مقدار آن برای عدد رینولدز ۵۱٬۴۰۰ می باشد. از طرفی از این ایستگاه به بعد به دلیل تغییرات رفتار جریان شامل از بین رفتن جریانهای درگشتی، یکنواخت شدن جریان و کم شدن اثرات جدائی جریان از موقعیتهای ابتدایی به موقعیتهای انتهایی داده-برداری، رفته رفته سرعت در داخل دنباله افزایش می یابد که این امر باعث تغییر پروفیل های سرعت متوسط برای تبدیل به خطوطی نسبتاً یکنواخت در انتهای ایستگاههای داده برداری می شود.

برای سیلندر بیضوی صاف در غیاب سیم اغتشاش ساز، جریان با گذر از سطح سیلندر باعث تشکیل لایهمرزی شده که در ادامه، جریان مزبور از سطح جدا می شود. این جدایش باعث شکل گیری ناحیه ای به نام دنباله در پشت سیلندر با مشخصات متفاوتی نسبت به جریان آزاد می شود.

از طرفی وقتی یک عامل جهش جریان در مسیر عبور آن قرار می گیرد، تغییرات مهمی بر روی مشخصات لایه مرزی و همچنین دنباله جریان رخ می دهد. در این بین سیم اغتشاش ساز به عنوان عامل جهش جریان که بر روی سطح سیلندر نصب می شود، سبب رخداد پدیده ای بنام انتقال لایه مرزی می شود. درواقع در حضور سیم اغتشاش ساز به دلیل برخورد خطوط جریان به سیم و در نتیجه انحراف آن ها به بالا، باعث می شود که جریان از سطح سیلندر جدا شده و در نقطه ای از پایین دست جریان بر روی سیلندر بنام نقطه الحاق مجدد، فرود بیاید. این نقطه ابتدای شکل گیری مجدد لایه مرزی است.

در ادامه شکل گیری لایهمرزی، یک نقطه جدایش نیز وجود دارد. پس به دلیل حضور سیم اغتشاشساز، لایهمرزی بر سطح

سیلندر نسبت به حالت بدون سیم در نقطهای از پاییندست جریان شکل می گیرد. لذا دنبالهای که شکل می گیرد، دارای عرض کمتری میباشد.

از طرفی سیم اغتشاش ساز باعث تغییرات اساسی در پروفیل سرعت متوسط می شود. البته باید اذعان کرد که به دلیل زیاد بودن تعداد نمودارها، فقط نمودارهای مربوط به جریان با عدد رینولدز ۵۱٬۴۰۰ از سیم در هر موقعیت ارائه شده است که تأثیر بیشتری را نسبت به جریان دیگر با عدد رینولدز ۲۵٬۷۰۰ بر روی مشخصههای جریان داشته است. تأثیر مثبت سیم بر روی مشخصههای جریان در دنباله پشت مدل، باعث افزایش نسبی پروفیل سرعت متوسط می شود.

این مسئله در ایستگاههای دورتر بیشتر به چشم میخورد. موقعیت سیم بسته به مکان نصب آن میتواند تأثیر مثبت و یا منفی بر مشخصههای جریان داشته باشد. اگر نصب سیم سبب افزایش در عرض دنباله شود، آنگاه گردابههای قدرتمندی در پشت مدل ایجاد میشوند [۱۹]. لذا با تکیه بر این نکته میتوان چهار الگو برای جریان تعریف کرد. الگوی A مربوط به حالتی است که سیم در نقطهای بعد از جدایش جریان قرار می گیرد. در این حالت سیم هیچ تأثیری بر پارامترهای مهم جریان مانند عدد استروهال، ضریب فشار و ضریب پسا ندارد.

الگوی C بهعنوان بهترین الگو شناخته می شود که به دنبال آن نقطه جدایش به گونهای اتفاق می فتد که دنباله ایجاد شده، کم ترین عرض را داشته باشد. بهترین مشخصات مربوط به جریان در این حالت رخ می دهد.

الگوی B که در حوزه ایجاد لایهمرزی قرار دارد، با حضور خود باعث تبدیل جریان آرام به درهم می شود. این الگو با تغییر عدد رینولدز جریان، بین دو الگوی C و A تغییر می کند. بهترین حالت ممکن برای این الگو مربوط به رخداد حالتی است که بر الگوی C منطبق شود.

الگوی D بدترین الگو برای جریان است که در آن سیم بر روی نقطهای قرار میگیرد که بر روی سیلندر صاف در آن نقطه، جدایش رخ میدهد. این امر باعث می شود که جریان به صورت بدترین حالت ممکن به بالا منحرف شده و لذا با شکل گیری جدایش جریان در این حالت، بزرگترین دنباله شکل می گیرد که به دنبال آن بیش ترین ضریب پسا نیز رخ می دهد. از آنجا که این تحقیق فقط مربوط به بررسی نتایچ تجربی است، لذا در غیاب مرئی سازی جریان و یا شبیه سازی آن، نمایش خطوط جریان امکان پذیر نیست و لذا نمی توان

www.SID.ir

مکان دقیق الگوی D جریان را نشان داد. ولی چون اکثر نتایج باعث بهبود مشخصههای جریان شدهاند، اغلب آزمایشها در حوزه الگوی B جریان قرار دارند.

در شکل ۶، پروفیلهای سرعت متوسط بیبعد در حضور سیم برای موقعیتهای مختلف با بهترین حالت تأثیر گذاری بر روی مشخصههای جریان در سه ایستگاه اوّل ارائه شده است.

در شکل ۶، در بین پروفیلهای سرعت متوسط بیبعد در ایستگاه ۱=Bx مشاهده میشود که پیک سرعت در مقاطع نزدیک به مدل در پروفیل مربوط به سیلندر صاف، بیشتر از بقیه پروفیلهای دیگر است. دلیل این است که لایهمرزی ایجاد شده بر روی سیلندر صاف دارای مقداری مومنتوم است که بعد نده بر روی سیلندر صاف دارای مقداری مومنتوم است که بعد نتیجه افزایش سرعت آنها میشود. این مسئله در ایستگاههای دورتر در پشت مدل، اثر خود را از دست میدهد و لذا در پروفیلهای سرعت ایستگاههای بعدی، پیک وجود ندارد. این پروفیلهای سرعت ایستگاههای بعدی، پیک وجود ندارد. این مقداری از سرعت خود را از دست میدهد که این مسئله باعث مقداری از سرعت خود را از دست میدهد که این مسئله باعث مدر فت مومنتوم جریان میشود. در نتیجه میتوان چنین استدلال کرد که ایجاد نقطه الحاق مجدد برای لایهمرزی باعث



شکل (۶): توزیع پروفیل سرعت متوسط بیبعد در موقعیتهای مختلف در سه ایستگاه اوّل در عدد رینولدز ۵۱٬۴۰۰.

نکته دیگر اینکه هرگاه لایه مرزی بر روی سطح در نقطهای دورتر از بالادست جریان جدا می شود، دنباله ای با عرض بزرگ-

تر ایجاد می شود. لذا گردابه های قدر تمندتری شکل می گیرد و در آن ها سرعت جریان نسبت به نمونه های دیگر از دنباله هایی با عرض کوچکتر، کم تر است [۱۹]. این مسئله در شکل ۶ و در ایستگاه ۲/۵=x/8 بیش تر به چشم می خورد. در این شکل مشخص است که برای پروفیل مربوط به موقعیت °θ=۲۳/۷ سرعت دارای مقدار بیش تری نسبت به پروفیل های دیگر است و لذا تأثیر بهتری بر مشخصه های جریان دارد.

در شکل ۷ پروفیلهای سرعت متوسط بیبعد در حضور سیم برای موقعیتهای مختلف با بهترین حالت تأثیرگذاری بر روی مشخصههای جریان در سه ایستگاه دوّم ارائه شده است.

نکته دیگر اینکه به موازات زیاد شدن فاصله از مدل، پهنای دنباله یا همان نصف دهانه در نصف عرض ⁽ زیاد می شود و اختلاف بین سرعت در دنباله و سرعت در خارج از آن کوچک تر می گردد. این نکته در شکل ۷ مشخص است. در تحلیل این که چرا با فاصله گرفتن از پشت مدل، دنباله آن از بین می رود می توان گفت که لایه برشی دنباله موجود تحت تأثیر جریان آزاد قرار گرفته و در نتیجه جریان آزاد سعی بر مستهلک ساختن لایه برشی تحت نام دنباله را دارد.



موقعیتهای مختلف در سه ایستگاه دوّم در عدد رینولدز ۵۱٫۴۰۰

در رژیم زیربحرانی ً، لایهمرزی در بالا و پایین سطح مـدل دستخوش جدایش آرام است و سیم اغتشاش ساز تأثیر مهمی را در جریان نشان نمیدهد. لذا اکنون که جریـان تحـت تـأثیر سیم با تغییر در مشخصات آن همـراه اسـت، مـیتـوان چنـین

1- Half width

2- Subcritical Regime

استدلال کرد که جریان از رژیم زیربحرانی گذر کـرده و وارد رژیم بحرانی شده است [۲].

۲-۴- پروفیل شدت اغتشاشهای بیبعد

پروفیل شدت اغتشاش ها برای دنباله پشت یک جسم، با ورود خطوط جریان آزاد به دنباله و تغییر به صورت خطوط جریان گردابهای، تولید می شوند. پروفیل شدت اغتشاش ها به نقطه جدایش جریان و به تبع آن به قدرت گردابه های ایجادشده در پشت مدل وابسته است.

رابطه مستقیم اضمحلال انرژی با گرادیان سرعت متوسط رابطه مستقیم اضمحلال انرژی با گرادیان سرعت متوسط $\frac{\partial \overline{u}}{\partial y}$ در $\frac{\partial \overline{u}}{\partial y}$ و نیز با گرادیان مؤلف و نوسانی سرعت $\frac{\partial \overline{u}}{\partial y}$ در شکلهای **۸** و **۹** از این حقیقت حکایت دارد که دنباله جریان برای عدد رینولدز ۲۵٬۷۰۰ رشد سریعتری از انحلال را داراست. از اینرو از ایستگاه ۵=X به بعد پروفیلهای سرعت متوسط و اغتشاشی مربوط به عدد رینولدز ۲۵٬۲۰۰ بر اثر اضمحلال به پروفیلهای مربوط به عدد رینولدز ۵۱٬۴۰۰ نزدیک شده و بر روی آن منطبق می شود. همچنین، با فاصله گرفتن از مدل، مراه است.

در شـکل ۸ دو اکسـترمم در پروفیـل درصـد شـدت اغتشاشهای بـیبعـد در عـدد رینولـدز ۵۱٬۴۰۰ در ایسـتگاه ۲/B=۱ مشاهده مـیشـود کـه بـا دور شـدن از مـدل، ایـن دو اکسترمم به دلیل یکنواخت شدن جریان از بین مـیرونـد. ایـن پدیده ناشی از وجود جریانهای گردابی و چرخشـی در نزدیـک سیلندر و جریانهای یکنواخـت در فاصـلههـای دور از سـیلندر میباشد.



شکل (۸): توزیع شدّت اغتشاشهای بیبعد برای سیلندر بیضوی صاف در سه ایستگاه اوّل.



بیضوی صاف در سه ایستگاه دوّم.

با توجه به شکلهای \mathbf{i} و \mathbf{i} مشخص است که در هر ایستگاه یک رفتار مشابه مشاهده میشود. از این لحاظ که اگر در ایستگاه $\Delta = X/B$ هر دو پروفیل سرعت متوسط تقریباً بر هم منطبق شوند، از طرفی دقیقاً در همان ایستگاه نیز دو پروفیل اغتشاشی تقریباً بر هم منطبق میشوند. این در حالی است که مقدار سرعت متوسط در شکل \mathbf{i} در دنباله در حال افزایش مقدار سرعت متوسط در شکل \mathbf{i} در دنباله در حال کاهش است. ولی اغتشاشها در شکل \mathbf{i} در دنباله در حال کاهش است. دلیل این امر تأثیر اضمحلال انرژی بر روی مشخصههای است. دلیل این امر تأثیر اضمحلال انرژی بر دوی مشخصههای متوسط \overline{u} و کاهش اغتشاشهای u جریان در دنباله با نرخ یکنواخت صورت میپذیرد. به گونهای که آهنگ این تغییرات یکسان است.

نکته قابل توجه دیگر این است که پیک اغتشاشهای جریان در پروفیل اغتشاشی در دنباله پشت مدل، شرایط نقطهای از دنباله را نشان میدهد که بیشترین اغتشاشهای جریان در آن وجود دارد. از طرفی با ترسیم پروفیل سرعت و چند برابر کردن اغتشاشهای جریان در یک نمودار، پیک اغتشاشها بر روی نقطه عطف پروفیل سرعت قرار می گیرد.

خط نقطهچین در شکل ۱۰ خط نصف دهانه در نصف عرض است که از نقطه عطف پروفیل سرعت میگذرد. این خط برای دقت بیشتر در تشخیص برای چگونگی انطباق دو پروفیل سرعت متوسط و اغتشاشهای جریان در نقط ه عطف پروفیل سرعت مشخص شده است. همان طور که مشخص است، پیک پروفیل اغتشاش ه ای جریان از نقط ه عطف پروفیل سرعت می گذرد.

در شکلهای **۱۲ - ۱۱** پروفیل شدت اغتشاشهای بیبعد در حضور سیم برای موقعیتهای مختلف در سه ایستگاه اوّل و دوم ارائه شده است. همانطور که مشخص است، تأثیر سیم در موقعیت [°]۲۳/۷=θ بیشتر از دیگر موارد، باعث کاهش عرض دنباله، کاهش نقصان سرعت و همچنین کاهش شدت اغتشاشهای بیبعد جریان شده است.



شکل (۱۰): تلاقی بیش ترین اغتشاش های جریان با نقطه عطف پروفیل سرعت متوسط.

در شکلهای **۱۲** – **۱۱** مشخص است که عرض پروفیل اغتشاشها برای سیلندر تحت تأثیر سیم در موقعیت $^{\circ}$ ۴۰/۹= θ ، بسیار بیشتر از بقیه پروفیلهای دیگر است. این مسئله به این دلیل است که نقطه جدایش برای این حالت در نقطه بالاتر از بالادست جریان رخ میدهد و لذا گردابههای نقطه بالاتر از بالادست جریان رخ میدهد و لذا گردابههای بزرگتری ایجاد میشود. پس عرض دهانه پروفیل اغتشاشی آن بزرگتر است. این مسئله در شکل \mathcal{P} برای پروفیل سرعت نیز اتفاق افتاده است.

همانطور که در شکل **۱۲** مشخص است، پروفیل اغتشاشی برای موقعیت (77.4 = 0) از بقیه پروفیلهای اغتشاشی دیگر خیلی کوچکتر است و دنباله مربوط به سیلندر تحت تأثیر سیم در این موقعیت، زودتر از حالتهای دیگر برای بقیه موقعیتها، در حال انحلال است. درواقع دنباله در این حالت عرض کمتری دارد که گردابههای آن نسبت به بقیه ضعیفتر بوده و لذا زودتر از دیگر حالتها از بین می روند. در حالی که برای کوچک شدن عرض دنباله تحت تأثیر سیم اغتشاش ساز

باید نقطه الحاق مجدد برای شکل گیری لایهمرزی در نقطهای دورتر از پایین دست جریان رخ دهد که با توجه به شکل **۱۲** این مسئله برای موقعیت $(77)^2 = 0$ نسبت به دیگر موقعیتها، بهتر اتفاق افتاده است. چرا که اختلاف سرعت یا همان نقصان سرعت در دنباله برای آن کمتر از بقیه موارد است.



شکل (۱۱): توزیع شدت اغتشاشهای بیبعد در موقعیتهای مختلف در سه ایستگاه اوّل در عدد رینولدز ۵۱٬۴۰۰.



شکل (۱۲): توزیع شدت اغتشاشهای بیبعد در موقعیتهای مختلف در سه ایستگاه دوّم در عدد رینولدز ۵۱٬۴۰۰.

همچنین، در شکل **۱۳** بیشینه شدت اغتشاشها برای حالتهای مختلف بر حسب ایستگاههای اندازه گیری در عدد رینولدز ۵۱٬۴۰۰ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود بیشینه شدت اغتشاشها در موقعیت [°]۳/۲۲= بسیار کمتر می باشد که باعث کاهش ضریب پسا می گردد. همان طور که از شکل **۱۴** مشخص است، شیب تغییرات پروفیلهای نقصان سرعت از ایستگاه $\Delta = x/B$ به بعد برای هر دو نمودار یکسان است و این دو نمودار بر هم منطبقاند. این مسئله نشان میدهد که از این ایستگاه به بعد پروفیلهای سرعت به هم بسیار نزدیک میشوند که این مهم در شکل **۴** مشخص است. از طرفی در دو ایستگاه قبل در شکل **۴** مشخص است از طرفی در دو ایستگاه قبل در شکل **۴** مشخص است در بنولدی در دو ایستگاه قبل در شکل **۴** مشخص است در نولونی در دو ایستگاه قبل در شکل **۲** مشخص است داز طرفی در دو ایستگاه قبل در شکل **۴** مشخص است در پروفیل نقصان سرعت از نرخ تغییر سرعت یعنی شیب شدید در پروفیل نقصان سرعت از نرخ تغییر سرعت یعنی رابطه دارد. لذا باید نرخ اضمحلال در این پروفیل بیشتر از رابطه دارد. لذا باید نرخ اضمحلال در این پروفیل سرعت برای دیگری باشد که این مهم با توجه به شکلهای **۵** – **۴** قابل تشخیص است که کمترین مقدار مربوط به پروفیل سرعت برای عدد رینولدز ۲۵٬۲۰۰ در ایستگاههای دور از مدل بر دیگر پروفیل سرعت برای عدد رینولدز ۵۱٬۴۰۰ منطبق میشود.

در شکل **۱۵** پروفیل نقصان سرعت بیبعد برای حالتهایی که سیم بهترین تأثیر را در بین موقعیتهای دیگر بر مشخصههای جریان دارد، نسبت به ایستگاههای دادهبرداری ارائه شده است.



شکل (۱۵): تغییرات نقصان سرعت بیبعد برحسب ایستگاههای اندازه گیری شده در موقعیتهای مختلف در عدد رینولدز ۵۱٬۴۰۰.



۴-۳- پروفیل نقصان سرعت بیبعد

اختلاف سرعت بین جریان آزاد و کمترین سرعت در دنباله برای هر ایستگاه از ابتدای آنها در نزدیکی مدل تا ائتهای آنها در ناحیهای دور از پاییندست جریان، نرخ کاهشی دارد. این اختلاف سرعت را نقصان سرعت مینامند.

در شکل **۱۴** پروفیلهای نقصان سرعت بیبعد برای سیلندر بیضوی صاف برحسب ایستگاههای دادهبرداری ارائه شدهاند.



شکل (۱۴): تغییرات نقصان سرعت بیبعد برحسب ایستگاههای اندازه گیری شده برای سیلندر بیضوی صاف.

www.SID.ir

از طرفی به دلیل کم بودن اختلاف سرعت جریان آزاد با حداقل سرعت در دنباله برای پروفیل سرعت مربوط به موقعیت ° ۲۳/۷=θ نسبت به بقیه موقعیتهای دیگر، لازم است که در شکل **۵۱** برای این موقعیت یک افت شدید در نمودار نقصان سرعت رخ دهد تا منحنی در زیر دیگر منحنیها قرار گیرد. دلیل این امر این است که گردابههای پشت مدل برای این حالت ضعیفتر از بقیه حالتهای دیگر است و همچنین، نرخ اضمحلال برای ایستگاههای نزدیک به مدل به دلیل افت شدید در پشت مدل و نیز بالا بودن شیب پروفیل سرعت، بیشتر از دیگر ایستگاهها میباشد.. در نتیجه، با فاصله گرفتن از مدل، دیگر ایستگاهها میباشد.. در نتیجه، با فاصله گرفتن از مدل، مربوط به این سیم رخ میدهد.

نکته دیگر این که هرقدر منحنیهای نقصان سرعت به منحنی ۱/x نزدیک شوند، شرایط بهینه تر خواهد بود. چراکه برای یک منحنی در حالت ۱/x اختلاف سرعت در دنباله حداقل است. در نتیجه سرعت در دنباله حداکثر خواهد بود.

۴-۴- عدد استروهال

شدت فرکانس ریزش گردابهها در پشت مدل به وسیله عدد بی بعدی که عدد استروهال نام دارد، مشخص می شود. همان طور که قبلاً در رابطه (۳) اشاره شد، این عدد به صورت $St = \frac{fd}{U_{ref}}$ بیان می شود که در آن f فرکانس ریزش گردابهها، D قطر بزرگ بیضی و در نهایت U_{ref} سرعت جریان آزاد است.

این پارامتر از مشخصه های جریان است و ارزیابی این پارامتر در کاربردهای مهندسی یک مسئله مهم به شمار می آید. در دینامیک سیالات ریزش گردابه ها یک جریان نوسانی است که زمانی اتفاق می افتد که سیالی مانند هوا یا آب در یک سرعت مشخص از روی یک جسم پهن ^۱ عبور کند که این ریزش وابسته به اندازه و شکل جسم است. فشار و نیروهای عرضی وارد بر ناحیه پشت سیلندر در فرکانسی برابر با فرکانس ارتعاشات گردابه جاری شونده در پشت مدل، نوسان میکنند [۲۰].

رشد گردابهها و همچنین استمرار و بقای چرخش آنها، از لایه برشی دنباله و ورود خطوط جریان به دنباله که باعث

شکل گیری آنها می شود، ادامه می یابد تا اینکه گرادبه ها به اندازه کافی قدر تمند می شوند. خطوط جریان با ورود به دنباله، به یک ناحیه کم فشار سقوط می کنند که به دنبال آن گردابه های کم فشاری ایجاد می شود. این گردابه ها در طول دنباله بر اثر اتلاف انرژی به گردابه های کوچک تری شکسته شده و نهایتاً گردابه های کولموگروف^۲ ایجاد شده که مستقیماً بر اثر استهلاک به انرژی گرمایی تبدیل می شوند [۲۱].

از طرفی، اگر جسم بهخوبی نصب نشود و فرکانس ریزش گردابهها به فرکانس نوسان جسم نزدیک شده و با هم برابر شوند، تشدید رخ داده و لذا آثار مخربی را میتواند به همراه داشته باشد. شکل **۱۶** تغییرات عدد استروهال را نشان میدهد.



شکل (۱۶): تغییرات عدد استروهال برحسب زاویه نصب سیم.

همان طور که در شکل **۱۶** مشاهده می شود، فرکانس ریزش گردابه ها برای سیلندر صاف در عدد رینولدز ۵۱,۴۰۰ نسبت به عدد رینولدز ۲۵,۷۰۰ مقداری بیشتر است. این اختلاف آن قدر کم است که می توان چنین استدلال کرد که تغییر عدد رینولدز جریان، تأثیر چندانی بر روی عدد استروهال در سیلندر صاف ندارد.

همان طور که مشخص است، در عدد رینولدز ۵۱٬۴۰۰ برای زاویه نصب سیم در موقعیت [°]۳۲/۷ = θ نسبت به عـدد رینولـدز ۲۵٬۷۰۰ عدد استروهال مقادیر بزرگتری دارد. از طرفی سرعت

متوسط در دنباله در این موقعیت برای نصب سیم، دارای بیش-ترین مقدار سرعت است که از بهینهترین شرایط موجود حکایت دارد. لذا میتوان چنین نتیجه گرفت که عدد استروهال با مقدار بزرگتر، مطلوبتر است. این در حالی است که برای زاویه نصب سیم در °۲۰۹۹=θ برای عدد رینولدز ۵۱٬۴۰۰، مقدار عدد استروهال کمتر از مقدار آن برای عدد رینولدز ۲۵٬۷۰۰ است.

۴-۵- بررسی ضریب پسا با استفاده از روش اختلاف مومنتوم^۱ معادلههایی که برای اندازه گیری نیروی پسا استفاده میشوند، به راحتی با اعمال قانونهای مومنتوم و بقای جرم در یک حجم کنترل، قابل استخراج هستند.

نیروی پسا از دو نوع مختلف تشکیل میشود. نوع اول نیروی پسا فشاری است. این نیروی پسا در اجسام پهن قسمت اعظم نیروی پسا کل را شامل میشود. درواقع، با به کار بردن سیم اغتشاش ساز، جریان در راستای کاهش اختلاف فشار بین نقطه سکون جلویی و عقبی مدل بهبود مییابد.

لذا با به کارگیری سیم اغتشاش ساز و به تبع آن ایجاد نقط ه الحاق مجدد، عرض دنباله کاهشیافته و در نتیجه فشار در پشت مدل افزایش مییابد. این افزایش فشار، باعث کاهش اختلاف فشار وارد بر مدل شده که به تبع آن، نیروی وارد بر مدل از طریق فشار وارد شده بر آن کاهش مییابد. ضریب پسا فشاری با رابطه زیر بیان می شود:

$$C_{D_{p}} = \int_{0}^{h} C_{p} \cos \theta \sqrt{1 - e^{2} \cos^{2} \theta} d\theta, \qquad (\Delta)$$

$$\varepsilon = \frac{b}{a} \quad \text{(\Delta)}$$

$$\varepsilon = \frac{b}{a} \quad \text{(\Delta)}$$

$$\varepsilon = \sqrt{1 - \varepsilon^{7}} \quad \text{(\Delta)}$$

نوع دیگر این نیرو را پسا اصطکاکی مینامند. پسا اصطکاکی بـه جهـت نیروهـای برشـی ویسـکوز در سـطح سـیلندر تولیـد میشود که نتیجه شـکلگیـری لایـهمـرزی بـر سـطح سـیلندر میباشد. ضریب پسا اصطکاکی با رابطه زیر بیان میشود:

$$\mathbf{C}_{\mathbf{D}_{\mathrm{f}}} = \int_{0}^{n} \mathbf{C}_{\mathrm{f}} \sin \theta \mathrm{d}\theta. \tag{(7)}$$

لو^۲ و براگ^۳ [۲۲] تحقیقهای زیادی در بررسی عوامل مؤثر در محاسبه ضریب پسا داشتهاند. همچنین، آنها اثرات اغتشاش و

www.SID.ir

نوسانهای جریان را مورد بررسی قرار داده و به نتیجههای مهمی دست یافتهاند.

وندام^۲ [۲۳] معادلهای برای محاسبه ضریب نیروی پسا به دست آورد کـه در آن تـرمهـای تـنش رینولـدزی و شـدت اغتشاشهای جریان وجود داشتند، اما از تغییرات چگالی جریان و ترم لزج $\mu^{\partial u}_{\partial x}$ صرفنظر شده بود. اجزاء معادله بـهصورت زیر بیان میشود: جزء اول مربوط به ترم فشار است:

$$\int_{w} \left(\frac{p_{s,e} - p_{s,w}}{q_{ref}} \right) d\left(\frac{z}{L} \right), \qquad (intersection - Y)$$

جزء دوم مربوط به ترم مومنتم است:

$$2\int_{w} \frac{\overline{u}}{U_{ref}} \left(1 - \frac{\overline{u}}{U_{ref}}\right) d\left(\frac{z}{L}\right), \qquad (-Y)$$

جزء سوم مربوط به ترم تنش رینولدز است:

$$-2\int_{w} \frac{\overline{u'^{2}}}{U_{ref}^{2}} d\left(\frac{z}{L}\right).$$
 (z -Y)

از طرفی، به دلیل این که محاسبه دقیق فشار استاتیک در درون دنباله یک امر دشوار است، لذا بر اساس چندین فرض که مهم ترین آنها این است که اجزاء سرعت متوسط $\overline{v} \in \overline{w}$ بسیار کوچک و قابل صرفنظر باشند و این که مجموع فشار در امتداد خط جریان ثابت باشد، معادله ساده می شود. در نتیجه معادله اصلی ون دام به فرم نهایی زیر درمی آید:

$$C_{d} = 2 \int_{w} \sqrt{\frac{\overline{q}}{q_{ref}}} \left(1 - \sqrt{\frac{\overline{q}}{q_{ref}}} \right) d\left(\frac{z}{L}\right) + \frac{1}{3} \int_{w} \frac{\overline{q'}}{q_{ref}} d\left(\frac{z}{L}\right), \tag{A}$$

که در آن، ۲ / $\sqrt{q'} = \rho \left(\overline{u''} + \overline{w''} + \overline{w''} \right)^{\prime}$ و در آن فرض بر ایـن است که در فاصلهای دور از پاییندست، جریان همگـن بـوده و لذا 'w = v' = w' . از طرفی $\overline{q} = \frac{1}{\gamma} \rho \overline{V}^{\prime}$ فشار دینامیکی متوسـط

زمانی و $q_{ref} = \frac{1}{7}
ho V^{r}$ فشار دینامیکی میباشد.

روش اختلاف مومنتوم بر اساس فرضهایی کـه دارد، بـرای جریان دائمی کاربرد دارد و این روش بـرای جریـان غیردائمـی محدودیت داشته و با خطا همراه است.

از طرفی خـان^۵ و همکـاران [۲۴] در مقالـهای بـرای یـک سیلندر بیضوی صاف نشان دادنـد کـه ضـریب پسـا اصـطکاکی

5- Khan

¹⁻ Wake-Survey

²⁻ Lu

³⁻ Bragg

⁴⁻ Van Dam

برای نسبت محورهای مختلف $\frac{b}{a} = \varepsilon = 2$ که در آن b نصف قطر کوچک بیضی و a نیـز نصـف قطـر بـزرگ بیضـی مـیباشـد، به صورت زیر ارائه می شود:

$$C_{D_f} = \frac{1.353 + 4.43\epsilon^{1.35}}{\sqrt{Re_L}},$$
 (i.i.)

که در آن، $Re_{\rm L} = \frac{LU_{\rm ref}}{v}$ همان عدد رینولدز است که در آن L برابر قطر بزرگ بیضی ۲۵ میباشد. از طرفی ضریب پسا فشاری نیز بهصورت زیر ارائه میشود:

$$C_{D_p} = \left(1.1526 + \frac{1.26}{Re_L}\right) \epsilon^{0.95}, \qquad (-9)$$

که در نهایت، ضریب پسا کل برابر مجموع ضریب پسا فشاری و ضریب پسا اصطکاکی خواهد بود که بهصورت زیر ارائه میشود: $C_{\rm D} = \frac{1.353 + 4.43 \varepsilon^{1.35}}{\sqrt{Re_{\rm L}}} + \left(1.1526 + \frac{1.26}{Re_{\rm L}}\right) \varepsilon^{0.95}.$ (۱۰)

در مطالعهٔ حاضر ضریب پسا با استفاده از رابطهٔ ۸ و با فرض شدت اغتشاش¬های همگن در ایستگاه x/B=۲۵ محاسبه شده است. در شکل ۱۷، تغییرات ضریب پسا برای سیلندر صاف را برحسب x/B نشان میدهد.



شکل (۱۷): تغییرات ضریب پسا برای سیلندر بیضوی صاف برحسب x/B.

همان طور که در شکل **۱۷** مشاهده می شود، ضریب پسا برای عدد رینول دز ۲۵,۲۰۰ نسبت به عدد رینول دز ۵۱,۴۰۰ مقداری بیشتر است. این مسئله به این دلیل است که هرچه جدایش جریان دیرتر اتفاق بیافتد، عرض دنباله کمتر شده و لذا به دلیل کم شدن فضای دنباله، فشار پشت مدل افزایشیافته و

به تبع آن اختلاف فشار برای مدل کاهش مییابد. ایـن درحـالی است که مقدار $C_p = \frac{p_i - p_\tau}{\sqrt{\rho U_{ref}^{\tau}}}$ در رابطه (۵) بـا کـاهش ایـن اختلاف فشار، کم می شود. چراکـه طبـق تحقیـق خـان، مقـدار p_i - p_τ برابر اختلاف فشار در سطوح بالادسـت و پـاییندست جریان در سیلندر بیضوی است. پس طبق رابطه (۵) همین امر موجب کاهش ضریب پسا می شود.

مقدار ضریب پسا برای عـدد رینولـدز ۲۵٬۷۰۰ برابـر مقـدار ۱/۶۲ و برای عدد رینولدز ۵۱٬۴۰۰ برابر ۰/۵۸ میباشد.

همان طور که در شـکل ۱۸ نشـان داده شـده اسـت، مقـدار ضریب پسا برای موقعیت [°]۲۳/۷ = θ نسبت به همه موقعیتهای دیگر کمتر است. اگر به نمودارهای سرعت در شکلهای ۶ و ۷ مراجعه شود، مشخص است کـه سـرعت در دنبالـه بـرای ایـن موقعیت بیشتر از بقیه موارد دیگر است. از طرفی در شکلهای ۱۱ و ۱۲ مشخص است که میزان اغتشاش نیز برای این موقعیت کمتر از بقیه موارد است. نتیجه نهایی این که هرچند با کوچـک شدن عرض دنباله، مقدار فشار در پشت مدل افزایش یافته و لذا اختلاف فشار بهبود می یابد که بـهتبع آن پسای فشـاری کـم میشود، همچنین، میتوان چنـین اسـتدلال کـرد کـه بهبود شرایط برای ضریب پسا با کاهش میزان اغتشاش هـای جریان

در واقع، در مواقعی که جریان توسط یک عامل خارجی مانند سیم اغتشاش ساز دست خوش جدایش قرار می گیرد، برای جریانی که جدایش در آن دیرتر از بقیه موارد رخ می دهد، عرض دنباله کمتر، مقدار سرعت متوسط در آن بیش تر و میزان اغتشاش در آن کمتر خواهد بود. همچنین گردابهای که شکل می گیرد، کوچک تر است. لذا کاهش ضریب پسا رابطهای مستقیم با مقدار سرعت متوسط و همچنین اغتشاش های جریان دارد.

نهایتاً، با مقایسه بین شکلهای ۱۶ و ۱۸ می توان دریافت که کاهش ضریب پسا با افزایش عدد استروهال رابط ه مستقیم دارد. همان طور که مشخص است، برای موقعیت [°]۳/۲۷ ضریب پسا کمترین مقدار را دارد، در حالی که در همین موقعیت برای عدد استروهال بیشترین مقدار مشاهده می شود.



لیندسی^۱ [۲۵] در سازمان ناسا^۲ به صورت تجربی مجموعه-ای از تحقیقات جامع را بر روی ضریب پسای اجسام مختلف انجام داد. در این بین نتایج به دست آمده برای سیلندر بیضوی صاف با نسبت ابعادی ۱ به ۲ با زاویه حمله صفر برای اعداد رینولدز مختلف به صورت زیر می باشد.

ازآنجاکه تاکنون هیچ تحقیقی در زمینه تأثیر سیم اغتشاش ساز در انتقال لایهمرزی بر روی سیلندر بیضوی انجام نشده است، لذا طبق شکل **۱۹** فقط اعتبارسنجی برای دادههای مربوط به سیلندر بیضوی صاف ممکن بود.



1- Lindsey

2- NASA

جدول ۱ تغییرات ضریب پسا برای موقعیتهای مختلف از تأثیر سیم بر مشخصههای جریان را نشان میدهد.

نتایج جدول (نشان میدهد که بهینهترین حالت ممکن برای زاویه نصب سیم اغتشاش ساز با قطر (میلیمتر باید در بازه نصب $0 \le \theta \le 1$ باشد.

جدول (۱): نتایج کاهش یا افزایش ضریب پسا در موقعیتهای مختلف.

درصد تغييرات	ضريب پسا	زاويه نصب	رديف
۱۰/۳٪ کاهش	۰/۵۲	$\theta = \cdot \circ$	١
۵۶/۹٪ کاهش	۰/۲۵	$\theta = \gamma \gamma \gamma^{\circ}$	٢
۲۰/۶٪ افزایش	• /Y	$\theta = r \cdot / q^{\circ}$	٣

۴-۶- اصلاح پروفیل نقصان سرعت شلختینگ ً

شلختینگ [۲۶] برای دنباله اجسام دوبعدی برای ایستگاههایی دور که در آنها فشار استاتیک دنباله با مقدار آن در بیرون از دنباله برابر است، رابطهای را بیان کرد که میتوان بر اساس آن برای پروفیل سرعت، معادلهای برحسب نقصان سرعت نسبت به نصف دهانه در نصف عرض به دست آورد.

مشکل اساسی این معادله، ناتوان بودن آن برای ایستگاه-های نزدیک به مدل است که در این صورت قابلیت استفاده ندارد.

در اینجا با افزودن دو ضریب به معادله، می توان آن را چنان بهینه کرد که برای هر ایستگاهی معادله مزبور با تقریب بسیار خوبی به دست آید که به صورت زیر بیان می شود:

$$\frac{U_{ref} - u}{U_{ref}} = \frac{S_1}{18b_{1/2}} \left(10C_D d\right) \left(1 - \left(\frac{S_2 y}{b_{1/2}}\right)^{3/2}\right)^2, \quad (11)$$

که در آن، d قطر بزرگ بیضی است. در معادله بالا ضریب تصحیح S_{γ} پروفیل سرعت را در جهت Y و ضریب تصحیح S_{γ} پروفیل سرعت را در جهت X تغییر میدهد. در این بین ضریب S_{n} بهصورت زیر تعریف می شود:

$$S_n = \frac{aC_D d}{X} \qquad n = 1, 2, \qquad (1)$$

که در آن، ضریب a بسته به نوع سیم، موقعیت آن و شرایط موجود قابل تغییر است.

همان طور که در شکل ۲۰ مشاهده می شود تطابق خوبی بین نتیجه کار حاضر با رابطه شلختینگ [۲۶] وجود دارد. لازم

3- Schlichting

به ذکر است که نتایج در ایستگاه x/B=۲۰ با رابطه شـلختینگ مقایسه شده است.

معادله بهدست آمده از رابطه (۱۱) برای پروفیل شکل ۲۰ به صورت زیر بهدست آمده است:

$$\frac{U_{ref} - u}{U_{ref}} = 0.365 \left(1 - \left(0.692 \frac{y}{b_{1/2}} \right)^{3/2} \right)^2.$$
 (17)



شکل (۲۰): مقایسهی پروفیل سرعت دنباله برای مطالعه حاضر و رابطهی شلختینگ [۲۶].

مقادیر a در رابطه بالا به ترتیب برای S₁ برابر ۷۵۰ و برای مقادیر ۲۵۰ و برای S₇ برابر ۲۵۰

۵- نتیجهگیری

در تحقیق حاضر به بررسی تأثیر سیم اغتشاش ساز بر روی ویژگیهای دنباله جریان اطراف یک سیلندر بیضوی صاف با زاویه حمله صفر درجه پرداخته شد. در این پژوهش بهمنظور ایجاد جریان هوا از یک تونل باد مدارباز و دمنده استفاده شد. همچنین ایستگاههای دادهبرداری در ۲ موقعیت طولی مختلف انتخاب شدند.

مشخص است که سیم اغتشاش ساز بر مشخصههای جریان و کاهش نیروی سیال، تأثیر قابل ملاحظهای دارد و این امر به شدت به مکان نصب سیم بر روی مدل بستگی دارد.

نتایج نشان میدهند که در سیلندر صاف با افزایش عدد رینولدز جریان، مقدار ضریب پسا کاهش و برای عدد استروهال اندکی افزایش یافته است.

همچنین، برای دستیابی به مقدار صحیح ضریب پسا بایـد مکانهای دادهبرداری در نقـاطی دور از مـدل انتخـاب شـود تـا جریان تا حد امکان همگن شود.

نتایج نشان میدهند که کاهش ضریب پسا با افزایش سرعت متوسط در دنباله و نیز کاهش مقدار اغتشاش های جریان همراه است. از طرفی مشخص است که افزایش عدد استروهال با کاهش ضریب پسا رابطه مستقیم دارد. لذا کاهش اغتشاش های جریان که با افزایش سرعت متوسط در دنباله متناسب است، باعث افزایش عدد استروهال می شود.

مقدار عدد استروهال برای نصب سیم در زاویه ۴۰/۹ درجه در هر دو عدد رینولدز، کاهش قابل ملاحظهای دارد. لذا باید عرض دنباله جریان بزرگتر از مقدار آن نسبت به سیلندر صاف باشد. این مهم از آنجا تایید میشود که در حالت ذکرشده نسبت به سیلندر صاف، اغتشاشهای جریان بیشتر و سرعت متوسط در دنباله کمتر است.

نکته دیگر این که کاهش ضریب پسا با افزایش عدد ناسلت جریان رابطه مستقیم دارد. لذا نتایج این آزمایش برای بهینه-سازی یک مبدل حرارتی که برای بهینه شدن آن، لولههایش را به شکل سیلندر بیضوی طراحی میکنند، میتواند مفید واقع شود.

8- مراجع

- 1. Igarashi, T., "Effect of Vortex Generators on the Flow around a Circular Cylinder Normal to an Airstream", Int. J. Bulletin of JSME, Vol. 28, No. 236, pp. 274-282, 1985.
- 2. Behara, S. and Mittal, S., "Transition of the Boundary Layer on a Circular Cylinder in the Presence of a Trip", Int. J. Journal of Fluids and Structures, Vol. 27, No. 5, pp. 702-715, 2011.
- Zhou, C., Wang, L., and Huang, W., "Numerical Study of Fluid Force Reduction on a Circular Cylinder, Using Tripping Rods", Int. Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 21, No. 9, pp. 1425-1434, 2007.
- Missirlis, D., Yakinthos, K., Palikaras, A., Katheder, K., and Goulas, A., "Experimental and Numerical Investigation of the Flow Field Through a Heat Exchanger for Aero-Engine Applications", Int. J. Heat and Fluid Flow, Vol. 26, No. 3, pp. 440-458, 2005.

- 15. Paul, I., Arul Prakash, K., and Vengadesan, S., "Numerical Analysis of Laminar Fluid Flow Characteristics Past an Elliptic Cylinder: A Parametric Study", Int. J. Numerical Methods for Heat & Fluid Flow, Vol. 24, No. 7, pp. 1570-1594, 2014.
- Perumal, D.A., VS Kumar, G., and Dass, A.K., "Lattice Boltzmann Simulation of Viscous Flow Past Elliptical Cylinder", Int. J. CFD Letters, Vol. 4, No. 3, pp. 127-139, 2012.
- Alonso, G., Meseguer, J., Sanz-Andrés, A., and Valero, E., "On the Galloping Instability of Two-Dimensional Bodies Having Elliptical Cross-Sections", Int. J. Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol .98, No. 8, pp. 438-448, 2010.
- Flynn, M.R. and Eisner, A.D., "Verification and Validation Studies of the Time-averaged Velocity Field in the Very Near-Wake of a Finite Elliptical Cylinder", Int. J. Fluid Dynamics Research, Vol. 34, No. 4, pp. 273-288, 2004.
- Alam, M.M., Sakamoto, H., and Moriya, M., "Reduction of Fluid Forces Acting on a Single Circular Cylinder and Two Circular Cylinders, Using Tripping Rods", Int. J. Fluids and Structures, Vol. 18, No. 3, pp. 347-366, 2003.
- Lotfollahi Yaghin, M.A. and Mojtahedi, A., "Hydrodynamic Parameter of Flow around a Cylindrical Pile and Its Numerical and Experimental Modeling", Int. Journal of Marine Engineering, Vol. 5, No. 10, pp. 97-104, 2010.
- 21. Sanieaineghad, M., "Foundations and Modeling of Turbulent Flows", Daneshnegar, Tehran, 2009.
- 22. Lu, B. and Bragg, M.B., "Experimental Investigation of the Wake-Survey Method for a Bluff Body with Highly Turbulent Wake", AIAA-3060, 2002.
- 23. Van Dam, C. P., "Recent Experience with Different Methods of Drag Prediction", Int. J. Progress in Aerospace Sciences, Vol. 35, No. 8, pp. 751-798, 1999.
- Khan, W.A., Culham, R.J., and Yovanovich, M.M., "Fluid Flow around and Heat Transfer from Elliptical Cylinders: Analytical Approach", Int. J. Thermophysics and Heat Transfer, Vol. 19, No. 2, pp. 178-185, 2005.
- 25. Lindsey, W., "Drag of Cylinders of Simple Shapes", Citeseer, NACA Report No. 619, 1938.
- 26. Schlichting, H., "Boundary-Layer Theory", Springer Science & Business Media, 2003.

- 5. Hover, F., Tvedt, H., and Triantafyllou, M., "Vortex-Induced Vibrations of a Cylinder with Tripping Wires", Int. J. Fluid Mechanics, Vol. 448, pp. 175-195, 2001.
- Aiba, S., Ota, T., and Tsuchida, H., "Heat Transfer and Flow around a Circular Cylinder with Tripping-Wires", Int. J. Heat and Mass Transfer, Vol. 12, No .3, pp. 221-231, 1979.
- Ezadi Yazdi, M.J., and Bak Khoshnevis, A., "Experimental Investigation of the Characteristics of the Wake of a Rotating Circular Cylinder at Different Reynolds Numbers and Speed Ratios", J. Fluid Mechanics & Aerodynamics, Vol. 4, No. 1, pp. 51-64, 2016 (In persion).
- Ezadi Yazdi, M. J., and Bak Khoshnevis, A., "Experimental Investigation of the Effect of Reducing the Drag Coefficient on the Cylinder by Hot-Wire Anemometry", J. Mechanical Engineering, Vol. 46, No. 2, pp. 19-30, 2016 (In persion).
- Ezadi Yazdi, M.J., Bak Khoshnevis, A., and Gholiepour Asrami, E., "Introducing New Relationship Between High-order Moments in the Turbulent Plain Wake behind a Circular Cylinder", J. Mechanical Engineering, Vol. 45, No. 3, pp. 39-49, 2015 (In persion).
- Raman, S.K., Prakash, K.A., and Vengadesan, S., "Effect of Axis Ratio on Fluid Flow around an Elliptic Cylinder-A Numerical Study", Int. J. Fluids Engineering, Vol. 135, No. 11, pp. 111-201, 2013.
- 11. Ota, T., Nishiyama, H., and Taoka, Y., "Flow around an Elliptic Cylinder in the Critical Reynolds Number Regime", Int. J. Fluids Engineering, Vol. 109, No. 2, pp. 149-155, 1987.
- Ezadi Yazdi, M.J., Safavi Rad, A., and Bak Khoshnevis, A., " Experimental Investigation of Mean Velocity Profiles and Turbulence Intensities Around an Elliptic Cylinder in Different Reynolds Numbers", The 1st International Conference on Mechanical and Aerospace Engineering, Tehran University, Tehran, 2016.
- Ezadi Yazdi, M.J., Bak Khoshnevis, A., Nazari, S., and Neshat, A.R., "Experimental Investigation of Flow Past an Elliptic Cylinder near a Plane wall", 24th Annual International Conference on The Mechanical Engineering, ISME2016, Yazd University, Yazd, Iran, 2016.
- Ezadi Yazdi, M.J. and Bak Khoshnevis, A., "Experimental Investigation of Flow Characteristics around an Elliptic Cylinder near a Flat Plate", J. Fluid Mechanics & Aerodynamics, Vol. 4, No. 2, pp. 19-35, 2016 (In persion).