

بررسی عددی تأثیر مفتول کنترلگر روی مشخصه‌های جریان سیال-گرما حول استوانه دایروی محصور در کanal

سید اسماعیل رضوی
علی محمدی سفیدان*

استاد، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

چکیده

در پژوهش حاضر تأثیر حضور مفتول روی استوانه بدون مفتول با مقایسه با استوانه بدون مفتول ریخته از ضربی پسا و انتقال گرما برآورد شده و سپس تأثیر قطر و زاویه قرارگیری مفتول بررسی می‌شود. معادلات پیوستگی، مومنتوم و انرژی به همراه شرایط مرزی با روش حجم کنترل حل شده است. برای گسترش ابعاد از جابجایی از طرح بالا دست مرتبه دوم و برای پیوند سرعت و فشار الگوریتم PISO به کار رفته است. موقعیت زاویه ای قرارگیری مفتول، گستره ۰ تا ۱۸۰ درجه از نقطه سکون جلویی و نسبت قطر مفتول به قطر استوانه مقدار ۰/۰۵ تا ۰/۴ در عده‌های رینولدز جریان آرام کار شده است. افزودن مفتول تا موقعیت زاویه ای ۹۰ درجه موجب کاهش انتقال گرما نسبت به استوانه ساده می‌شود اما بعد از این زاویه، انتقال گرما نسبت به حالت ساده افزایش می‌یابد. همچنان با کاهش عدد رینولدز تأثیر افزودن مفتول بیشتر می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: استوانه دایروی، مفتول کنترلگر، جریان آرام، معادلات ناویر-استوکس، انتقال گرما.

Effect of a Controller Wire on the Hydro-thermal Characteristics Around Circular Cylinder in a Channel: Numerical Study

S. E. Razavi
A. Mohammadi Sefidan

Department of Mechanical Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran
Young Researchers and Elite Club, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

Abstract

In this work, the effect of a controller wire on the hydro-thermal flow characteristics around a circular cylinder in a channel was studied. The two-dimensional unsteady and incompressible flow with heat transfer was investigated by solving the Navier-Stokes and energy equations using control volume methodology. The second-order upwind scheme is used to discretize convective terms. The discretized equations are solved by PISO algorithm. The angular position for the wire investigated from 0° to 180° from the forward stagnation point and the diameter ratio for wire and the cylinder is set at 0.05 to 0.4, in laminar Reynolds numbers. The surface Nusselt number of cylinder is increased by adding a wire on the cylinder surface between 90° and 180° from the forward stagnation point. In addition, as the Reynolds number decreases, the effects of adding a wire on the main cylinder are becoming stronger.

Keywords: Circular cylinder, Controller wire, laminar flow, Navier-Stokes equations, Heat transfer.

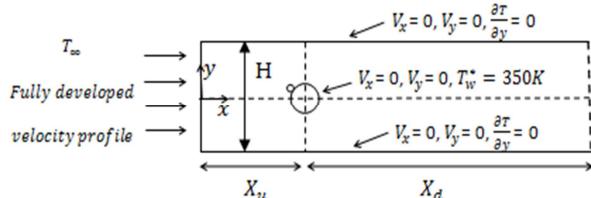
و با فناوری سینمایی (PIV) برای بررسی particle image velocity (PIV) اثرات مفتول در نزدیکی ناحیه دنباله و لایه مرزی جداده، دو موقعیت زاویه ای بحرانی وابسته به قطر مفتول تعریف کردند. معلوم شد که با کاهش قطر مفتول، زاویه بحرانی افزایش و دامنه پایداری نوسانات کاهش می‌یابد. تنش رینولدز، عدد استروهال و نوسانات لایه پرشی به موقعیت زاویه ای مفتول بستگی دارد. محبوب عالمو همکاران [۳] تأثیر دو مفتول دایروی چسبیده به استوانه را بر روی مشخصه‌های جریان سیال-گرما به صورت آزمایشگاهی مطالعه کرده‌اند. دو مفتول موجب تحريك لایه مرزی، افزایش آشفتگی و در نهایت بهبود انتقال گرما می‌شود. آنها برای محاسبه نیروها از کرنش سنج و برای آشکارسازی فیلم‌ها روش PIV را به کار برده‌اند. زو و همکاران [۴] اثرات هیدرودینامیکی دو مفتول متقاضن چسبیده به استوانه را بصورت عددی با روش حجم کنترل بررسی کرده‌اند. آنها در رژیم‌های آرام و آشفته با به کارگیری شبکه بی‌سازمان و طرح SIMPLE برای پیوند سرعت و فشار، مدل K-epsilon برای رژیم آشفته به این نتیجه رسیدند که بسته به عدد رینولدز و موقعیت قرارگیری مفتول‌ها، ضربی پسای

۱- مقدمه

مطالعه دینامیک سیال اطراف استوانه برای افزایش انتقال گرما و یا کاهش نیروی پسا از اهمیت زیادی برخوردار است. از جمله کاربردهای متعدد این نوع جریان در زمینه‌های مختلف مهندسی مانند جریان در اطراف کوبلهای مبدل‌های گرمایی، برج‌های خطوط انتقال برق فشار خنک کاری قطعات الکترونیکی و کابل‌های خطوط انتقال برق فشار قوی است. یک روش پیشنهادی برای کنترل جریان حول استوانه، استفاده از یک مفتول دایروی چسبیده به بدنه استوانه می‌باشد. این مفتول صدور گردابه‌ها و مشخصه‌های جریان سیال-گرما را تحت تأثیر قرار داده و موجب تغییر الگوهای جریان و بهبود انتقال گرمای همرفتی حول استوانه می‌شود.

۱-۱- پیشنهاد پژوهش

Ekmekci و همکاران [۱] مفتول چسبیده به استوانه را تنها از دیدگاه هیدرودینامیکی بررسی نموده‌اند. آنها با انجام آزمایشات تجربی



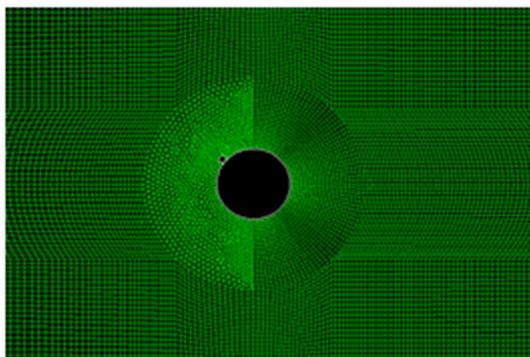
شکل ۱ - طرحواره مسأله و شرایط مرزی

طول کانال L و دهانه کانال H بوده و استوانه در موقعیت $X_u = 45D$ از ورودی کانال و $X_d = 5D$ از خروجی کانال قرار دارد. با گذشت زمان بدليل تقارن صدور گردابهایها در قسمت بالای و پایینی استوانه، تاثیر موقعیت زاویهای قرارگیری مفتول از صفر تا 180° بررسی شده است که قابل تعیین به موقعیت زاویهای 180° تا 360° است. نسبت قطر مفتول به استوانه برای مقادیر $d/D = 0.05, 0.1, 0.4$ در رینولدزهای $200, 400, 600$ و 800 کار شده است. (طول مشخصه در عدد رینولدز دهانه کانال درنظر گرفته شده است). نسبت دهانه کانال به قطر استوانه مقدار ثابت $H/D = 5$ است. شرایط عدم لغش در دیوارهای کانال و سطح استوانه و مفتول برقرارند. شرط مرزی دما ثابت برای استوانه و مفتول و شرط عایق برای دیوارهای کانال درنظر گرفته شده‌اند. در خروجی کانال شرط مرزی دیریکله برقرار است و سیال به محیط اتمسفر تخلیه می‌شود. در ورودی کانال نیز سرعت ورودی با پروفیل توسعه یافته مربوط به جریان آرام با رابطه

$$V_x(y) = V_{x_{max}} \left(1 - \left(\frac{y}{H_{1/2}}\right)^2\right), \frac{H}{2} \leq y \leq \frac{H}{2}, V_y = 0 \quad (8)$$

۱-۴ - شبکه بندی

شکل زیر بخشی از شبکه تولید شده با مفتوح در موقعیت زاویه ۵۰ را نشان می دهد. برای این هندسه ترکیبی از شبکه با سازمان و بی سازمان به کار رفته است. در نزدیکی استوانه شبکه بندی به اندازه کافی ریز در نظر گرفته شده است که به تعداد ۲۷۸۸۶ سلول وجود دارد.



شکل ۲- بخشی از شبکه تولید شده اطراف استوانه همراه با مفتول

- نتائج

برای بررسی عدم وابستگی جواب‌ها به شبکه، ۱۷ شبکه با ابعاد مختلف را، حالت استوانه هم‌با مفته $(d/D=0.1)$ د. معمقیت

استوانه به میزان قابل توجهی کاهش می یابد. موقعیت زاویه‌ای مفتول ها از 20° تا 60° نسبت قطر مفتول به قطر استوانه نیز $0.1 \dots 0.8$ و $12 \dots 40$ در نظر گرفته شده است. **شیو [۵]** استوانه ای با سه مفتول دایروی که به صورت الگوی مارپیچی روی سطح خارجی استوانه پیچیده شده اند را بررسی کردند. آنها تأثیر مفتول ها بر روی الگوهای جریان، صدور گردابه ها و تشکیل خیابان فون کارمن را به صورت آزمایشگاهی مطالعه نمودند. آنها برای ظاهرسازی از روش *PIV* استفاده شد. **کیم و همکاران [۶]** برای کنترل ارتعاشات دو استوانه دایروی پشت سر هم واقع در جریان از دو مفتول چسبیده به استوانه ها استفاده کردند. آنها موقعیت زاویه ای مناسب برای مفتول ها و موقعیت متقابل دو استوانه را برای کمترین ارتعاشات با انجام آزمایشات تجربی در داخل یک کanal آبی ارائه شد. هورور و همکاران [۷] برای کنترل ارتعاشات ناشی از صدور گردابه ها از دو مفتول دایروی به قطر 0.125 ± 0.01 برابر قطر استوانه در موقعیت زاویه ای 70° روی استوانه عایق استفاده کردند. آنها به صورت تجربی و با تجهیز *MIT Testing Tank* با مقایسه ارتعاشات استوانه ساده، شاهد کاهش دامنه نوسانات شدند. نبرس و همکاران [۸] تأثیر افزودن مفتول دایروی را روی توزیع فشار، عدد استروهال و ضربی پسا به صورت تجربی مطالعه کردند و به این نتیجه رسیدند که در موقعیت زاویه ای 20° تا 70° عدد استروهال و ضربی پسا به شدت از موقعیت زاویه ای تأثیر پذیرند و همچنین مفتول واقع در موقعیت زاویه ای نزدیک نقطه سکون جلویی رفتار گردابه های پشت استوانه را تحت تأثیر قرار می دهد.

در پژوهش حاضر جریان حول استوانه مفتول دار در رژیم‌های آرام

- ۲ - ۱ معادلات حاکم

معادلات حاکم بر جریان دو بعدی، ناپایا، لزج، آرام و تراکم ناپذیر،
علاوه بر این:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = - \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{1}{B_0} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$\frac{dt}{\tilde{\alpha}^2} + u \frac{dx}{\tilde{\alpha}} + v \frac{dy}{\tilde{\alpha}} = - \frac{\partial P}{\tilde{\alpha}} + \frac{1}{\tilde{\alpha}} \left(\frac{\partial^2 v}{\tilde{\alpha}^2} + \frac{\partial^2 u}{\tilde{\alpha}^2} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\partial t}{\partial \theta} + \frac{\partial(u\theta)}{\partial x} + \frac{\partial(v\theta)}{\partial y} = \frac{1}{RePr} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$

کمیت‌های بی‌بعد در بالا مانند زیر تعریف می‌شوند:

$$x = \frac{x^*}{D}, \quad y = \frac{y^*}{D}, \quad u = \frac{u^*}{u_\infty} \\ v = \frac{v^*}{u_\infty}, \quad P = \frac{P^*}{\rho u_{avg}^2}, \quad \theta = \frac{T^* - T_\infty}{T_w^* - T_\infty}$$

$$\rho u_{avg} H / \rho$$

$$Re_{channel} = \frac{u_{avg}}{\mu}$$

۳-۱ هندسه و شرایط مرزی

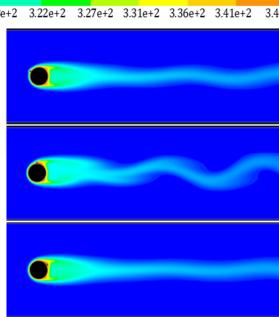
شکل ۱ هندسه مسئله و شرایط مرزی حاکم را نشان می دهد.

۱-۲- نتایج برای تغییرات موقعیت زاویه‌ای مفتول

شکل ۶ کانتور دمای استوانه مفتول دار را در موقعیت‌های زاویه‌ای مختلف مفتول در دو عدد رینولدز متفاوت نشان می‌دهد. نمودار عدد استروهال استوانه مفتول دار در موقعیت‌های زاویه‌ای مختلف مفتول در رینولدزهای متفاوت نیز آورده شده است.

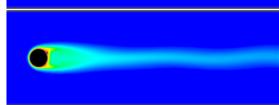


$\alpha = 30$

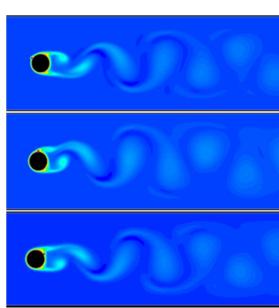


(الف)

$\alpha = 90$



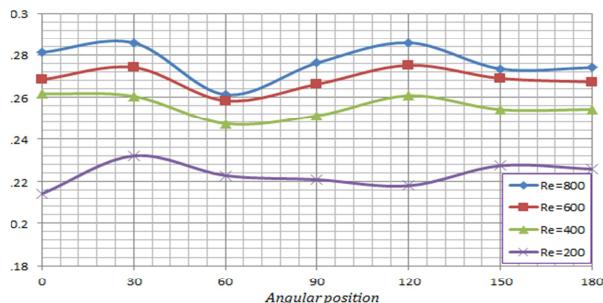
$\alpha = 150$



(ب)

شکل ۶- کانتورهای دما در موقعیت‌های زاویه‌ای مختلف مفتول

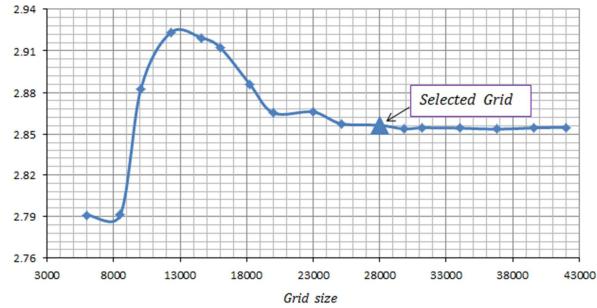
(الف) $Re_{ch}=600$ (ب) $Re_{ch}=200$



شکل ۷- نمودار عدد استروهال استوانه مفتول دار در موقعیت‌های زاویه‌ای مختلف مختلف مفتول برای رینولدزهای مختلف

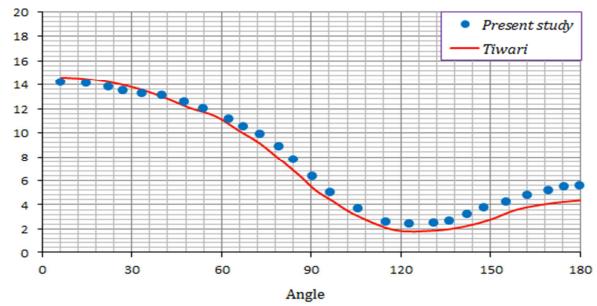
همان‌گونه که مشاهده می‌شود تغییر موقعیت زاویه‌ای مفتول با قطر ثابت، موجب تغییر الگوی صدور گردابه‌ها شده است. با انتقال مفتول به محدوده زاویه‌ای 60° تا 120° اغتشاش صدور گردابه افزایش می‌یابد. عدد استروهال بیان کننده فرکانس بی‌بعد صدور گردابه‌های است. با مقایسه نمودار عدد استروهال در حالت‌های مختلف، گردابه‌های این تأثیر موقعیت زاویه‌ای قرارگیری مفتول را بر فرکانس و الگوی صدور گردابه‌ها بهتر درک کرد. مطابق شکل با انتقال مفتول به موقعیت 60° فرکانس صدور گردابه‌ها کاهش یافته و تا موقعیت 120° افزایش

زاویه‌ای صفر درجه در رینولدز مورد تحلیل قرار گرفت. با توجه به گردابانهای بالای سرعت، فشار و دما در اعداد رینولدز بالاتر، این تحلیل در بالاترین عدد رینولدز کار شده انجام گرفته است که نتایج حاصل در رینولدزهای پایین تر هم قابل استفاده است. شکل زیر ضریب پسای متوسط استوانه را در شبکه بندی‌های مختلف نشان می‌دهد. همان‌طوری که ملاحظه می‌شود جوابها از شبکه یازدهم به بعد تغییر نمی‌کند و این نشان‌دهنده استقلال نتایج از شبکه می‌باشد.

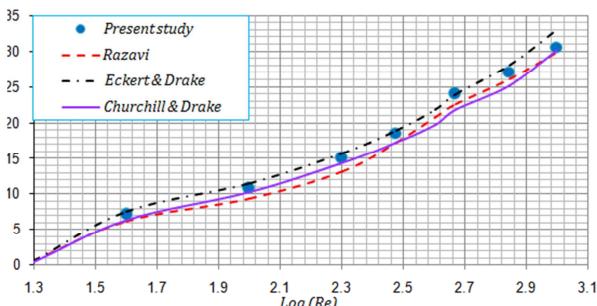


شکل ۳- نیروی پسای متوسط استوانه بر حسب تعداد المانهای شبکه

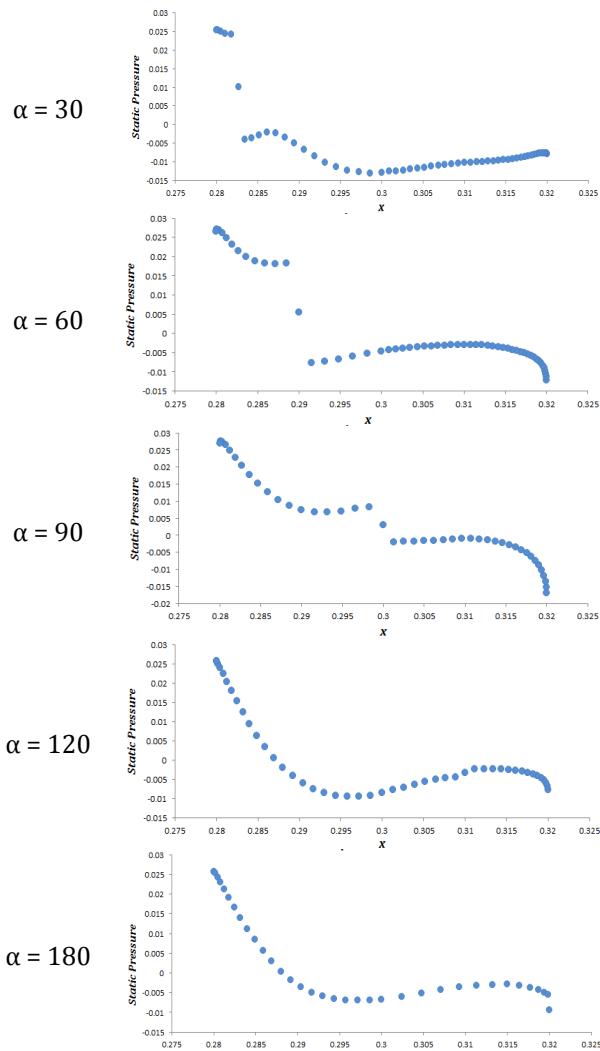
برای اعتبار دهی به روش عددی حاضر، با توجه به عدم وجود داده‌های کاملاً مشابه، یک بار نتایج مربوط به عدد نوسلت محلی استوانه ساده درون کانال [۹] و بار دیگر عدد نوسلت متوسط استوانه ساده‌ی آزاد در رینولدزهای مختلف [۱۰-۱۲] با تحقیقات قبلی مقایسه شد. مطابق شکل نتایج تطبیق خوبی باهم دارند.



شکل ۴- مقایسه عدد نوسلت محلی استوانه ساده درون کانال در $Pr=0.7$ و $Re_{ch}=218$

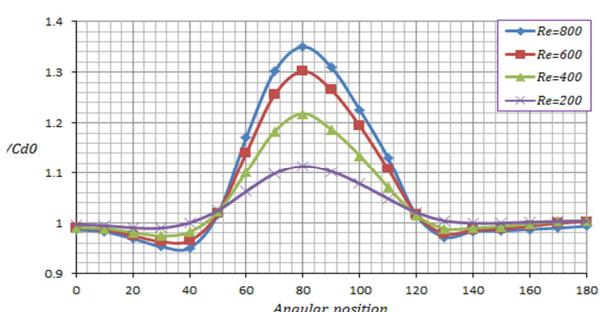


شکل ۵- مقایسه عدد نوسلت استوانه ساده‌ی آزاد در رینولدزهای مختلف



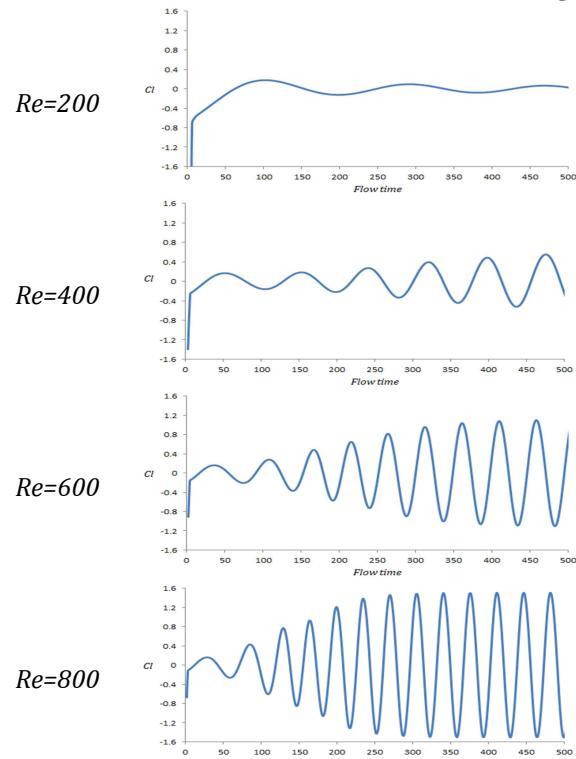
شکل ۹- توزیع فشار روی سطح استوانه مفتول دار در موقعیت‌های زاویه‌ای مختلف مفتول در رینولدز ثابت

شکل ۱۰ ضریب پسای استوانه مفتول دار به استوانه ساده را در موقعیت‌های زاویه‌ای مفتول در رینولدز‌های مختلف نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود وقتی مفتول در موقعیت‌های حدود ۵۰° تا ۱۲۰° قرار می‌گیرد به دلیل قرارگیری مفتول در موقعیتی نزدیکتر به دیواره کانال و درنتیجه تلفات اینرسی شدیدتر سیال، نیروی پسا افزایش قابل توجهی دارد. که این اتفاف اینرسی با افزایش عدد رینولدز افزایش می‌یابد.



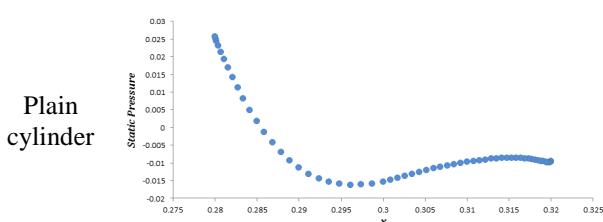
شکل ۱۰- نسبت ضرایب پسای استوانه مفتول دار به استوانه ساده بر حسب موقعیت‌های زاویه‌ای مفتول در رینولدز‌های مختلف

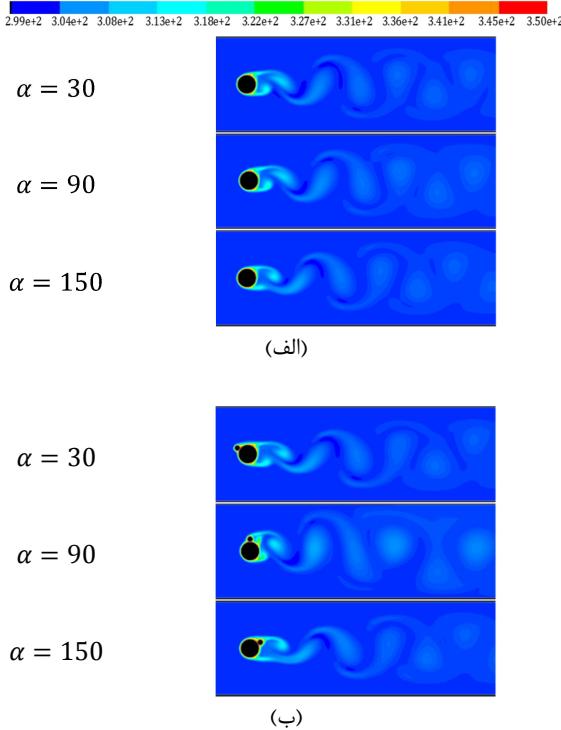
می‌یابد. همچنین افزایش عدد رینولدز موجب افزایش فرکانس صدور گردابه‌ها شده است. بدیهی است که فرکانس تغییرات ضریب برآی استوانه برابر فرکانس صدور گردابه‌ها خواهد بود. شکل زیر نمودار تغییرات ضریب برآی استوانه ساده را بر حسب زمان در چهار عدد رینولدز متفاوت نشان می‌دهد. با افزایش عدد رینولدز فرکانس و همچنین دامنه نوسانات ضریب برآ و درنتیجه صدور گردابه‌ها افزایش می‌یابد.



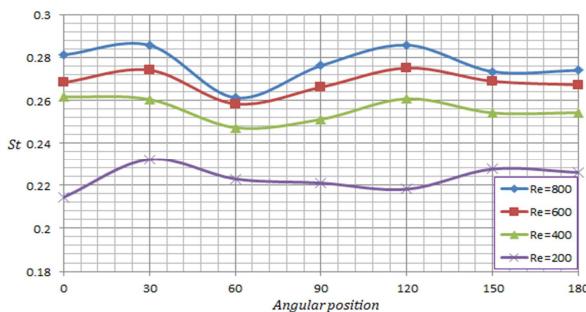
شکل ۸- تغییرات ضریب برآ بر حسب زمان در رینولدز‌های مختلف

مطالعه توزیع فشار روی سطح استوانه یکی از عوامل مهم تعیین خصوصیات جریان می‌باشد. شکل ۹ منحنی توزیع فشار استاتیک روی سطح استوانه را در موقعیت‌های زاویه‌ای مختلف مفتول و در رینولدز ۸۰۰ با منحنی توزیع فشار مریوط به استوانه ساده مقایسه می‌کند. مشاهده می‌شود که مفتول موجب ایجاد ناپیوستگی در فشار می‌شود به طوری که با نزدیک شدن به مفتول به عنوان یک مانع، فشار نسبت به حالت بدون مفتول کمی افزایش می‌یابد اما بعد از عبور از مفتول فشار استاتیک بطور قابل ملاحظه‌ای افت پیدا می‌کند. با قرارگیری مفتول در دنباله (موقعیت ۹۰° تا ۱۸۰°) به دلیل ایجاد جریان برگشتی پشت استوانه، مفتول افت شدیدی روی توزیع فشار سطح استوانه ایجاد نمی‌کند.





شکل ۱۲- کانتورهای دما در موقعیت‌های زاویه‌ای مختلف مفتول
 $d/D=0.3$, $d/D=0.05$



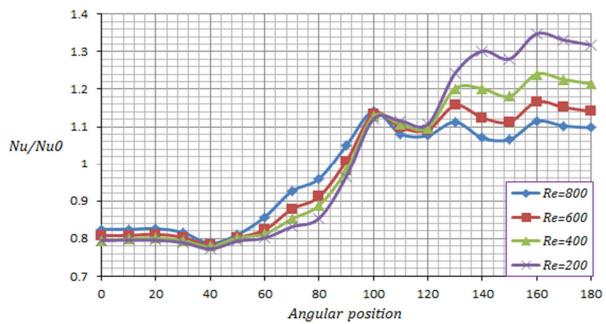
شکل ۱۳- نمودار عدد استروهال استوانه مفتول دار در موقعیت‌های زاویه‌ای و رینولدزهای مختلف مفتول

مطابق نمودار، شکل کلی تغییرات عدد استروهال در قطرهای مختلف مفتول یکسان است. اما با افزایش قطر مفتول و در نتیجه افزایش افت اینرسی سیال، فرکانس صدور گردابه‌ها کاهش می‌یابد. به طوری که در قطرهای خیلی کم مفتول تغییرات فرکانس گردابه‌ها به دلیل تأثیر کم مفتول کمتر است.

شکل ۱۴ ضریب پسای استوانه مفتول دار به استوانه ساده را بر حسب موقعیت زاویه‌ای مفتول در قطرهای مختلف و در رینولدز ۸۰۰ نشان می‌دهد. همانند حالت قبل با قرارگیری مفتول در موقعیت حدوداً 50° تا 120° افت اینرسی شدیدتر شده و ضریب پسا افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش قطر مفتول، محدوده‌ای از موقعیت زاویه‌ای مفتول که در آن افت اینرسی شدیدتر است افزایش می‌یابد. بدیهی است این افت اینرسی با افزایش قطر مفتول افزایش می‌یابد.

در حالت کلی افزودن مفتول به استوانه موجب تغییر الگوی صدور گردابه‌ها و همچنین لایه مرزی تشکیل شده حول استوانه می‌شود که تشویش جریان حول استوانه را به همراه دارد. با توجه به این که انتقال گرمای جابجایی استوانه از رفتار صدور گردابه‌ها تاثیر می‌پذیرد، افزودن مفتول موجب تغییر الگوی انتقال گرمای جابجایی استوانه می‌شود.

شکل ۱۱ تغییرات عدد نوسلت متوسط استوانه مفتول دار نسبت به استوانه ساده را در موقعیت‌های زاویه‌ای قرارگیری مفتول نشان می-دهد. وقتی مفتول در موقعیت جلوی استوانه قرار دارد (0° تا 90°) به عنوان مانع جلوی حرکت سیال بوده و موجب سکون سیال و ایجاد نقاطی با سرعت صفر (در ناحیه جلو و پشت مفتول) می‌شود. بنابراین مکانیزم انتقال گرمای دار این نقاط از حالت جابجایی به هدایت تبدیل می‌شود که در حالت کلی سبب کاهش انتقال گرمای استوانه می‌شود. اما از حدود زاویه 100° به بعد و با وارد شدن مفتول به ناحیه دنباله، صدور گردابه‌های پشت استوانه تحت تاثیر قرار می‌گیرد. در این حالت با تشکیل یک ناحیه دنباله در پشت مفتول و درنتیجه تشدید تلاطم ایجاد شده در دنباله استوانه انتقال گرمای جابجایی نسبت به استوانه ساده افزایش می‌یابد. وقتی مفتول در موقعیت جلوی استوانه قرار دارد، افزایش عدد رینولدز سبب آشفتگی بیشتر در نقاط سرعت صفر شده و انتقال گرمای افزایش می‌یابد. در حالتی که مفتول در دنباله استوانه قرار دارد، در رینولدزهای پایین با به تأخیر افتادن جدایش، انتقال گرمای جابجایی ضعیف است، اما با قرارگیری مفتول در ناحیه دنباله، جدایش زودتر روی داده و تاثیر افزودن مفتول در انتقال گرمای در رینولدزهای پایین بیشتر است.



شکل ۱۱- نسبت عدد نوسلت استوانه مفتول دار به استوانه ساده در موقعیت‌های زاویه‌ای مختلف مفتول

۲-۲- نتایج برای تغییرات موقعیت قطر مفتول

شکل ۱۲ کانتور دمای استوانه مفتول دار در موقعیت‌های زاویه‌ای مختلف مفتول را در دو قطر متفاوت مفتول نشان می‌دهد. برای بررسی تأثیر افزایش قطر مفتول روی فرکانس صدور گردابه‌ها، نمودار عدد استروهال استوانه مفتول دار در موقعیت‌های زاویه‌ای مختلف در قطرهای مختلف نیز آورده شده است.

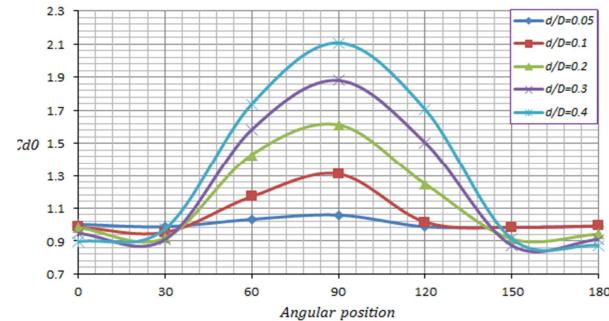
۱۶۰° تا ۲۰۰° برای مفتول‌های با قطر کوچکتر از $1/10$ برابر قطر استوانه خواهد بود.

۴- نمادها

قطر استوانه (m)	D
قطر مفتول (m)	d
ارتفاع کanal (m)	H
موقعیت زاویه‌ای مفتول روی سطح استوانه	α
طول ناحیه بالادست (m)	X_u
طول ناحیه پایین دست (m)	X_d
سرعت در راستای x (m/s)	V_x
سرعت در راستای y (m/s)	V_y
عدد رینولدز	Re
عدد نوسلت استوانه مفتول دار	Nu
عدد نوسلت استوانه ساده	Nu_0
عدد استروهال	St
سرعت بی بعد در جهت x	u
سرعت بی بعد در جهت y	v
دما بی بعد	θ
فشار بی بعد	P
میانگین سرعت پروفیل ورودی سیال (m/s)	u_{avg}
بیشینه سرعت سیال در توزیع پروفیل سهمومی در ورودی (m/s)	u_{max}
دما سیال در ورودی (K)	T_∞
دما سطح استوانه (K)	T_w^*
فرکانس صدور گردابه‌ها ($1/s$)	f
زمان (s)	t
گام زمانی (s)	T
ضریب پسای کلی	C_D
ضریب برآ	C_l
کمیت‌های با بعد	*

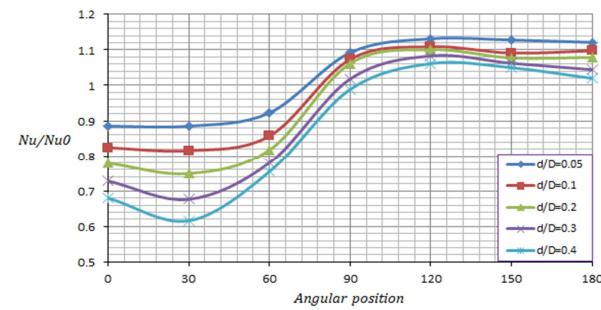
۵- مراجع

- [1] Ekmekci A., Rockwell D., Control of flow past a circular cylinder via a spanwise surface wire: effect of the wire scale, J. Exp. Fluids, Vol. 51, pp 753-769, 2011.
- [2] Ekmekci A., Rockwell D., Effects of a geometrical surface disturbance on flow past a circular cylinder: a large-scale spanwise wire, J. Fluid Mech., Vol 666, pp 120-157, 2010.
- [3] MahbubAlam Md., Zhou Y., Zhao J.M., Flamand O., Boujard O., Classification of the tripped cylinder wake and bi-stable phenomenon, Int. J. of Heat and Fluid Flow, Vol. 31, pp 545-560, 2010.
- [4] Zhou C. y., Wang L., Huang W., Numerical study of fluid force reduction on a circular cylinder using tripping rods, Journal of Mechanical science and technology, Vol. 21, pp 1425-1434, 2007.
- [5] Chyu C.-K. and Rockwell D., Near-wake flow structure of a cylinder with a helical surface perturbation, Journal of Fluids and Structures, Vol. 16, pp 263-269, 2002.
- [6] Sangil Kim, Md. MahbubAlam, Hiroshi Sakamoto, Yu Zhou, Flow-induced vibration of two circular cylinders in tandem



شکل ۱۴- ضریب پسای استوانه مفتولدار به استوانه ساده بر حسب موقعیت زاویه‌ای مفتول در قطرهای مختلف و $Re=800$

شکل ۱۵- تغییرات عدد نوسلت متوسط استوانه مفتولدار نسبت به استوانه ساده بر حسب موقعیت زاویه‌ای مفتول در قطرهای مختلف برای عدد رینولدز ۸۰۰ را نشان می‌دهد. مطابق نمودار افزایش قطر مفتول سبب کاهش انتقال حرارت از استوانه می‌شود. وقتی مفتول در ناحیه جلویی استوانه قرار دارد کاهش شدیدتر عدد نوسلت با افزایش قطر به دلیل ایجاد نقاط سرعت صفر است و در دنباله به دلیل کاهش برخورد سیال به استوانه انتقال گرما کاهش می‌یابد ولی این کاهش به اندازه وقتی که مفتول در موقعیت جلویی قرار دارد نیست.



شکل ۱۵- تغییرات عدد نوسلت متوسط استوانه با مفتول نسبت به استوانه ساده بر حسب موقعیت زاویه‌ای مفتول در قطرهای مختلف

۳- نتیجه‌گیری

تجه به نتایج شبیه‌سازی، افزودن مفتول در موقعیت‌های زاویه‌ای مختلف به استوانه داخل کanal موجب تغییر در الگوی صدور گردابه‌ها و انتقال نقطه جدایش شده، ضریب پسا و انتقال گرما را تحت تاثیر قرار می‌دهد. افزودن مفتول به استوانه در حالت کلی به دلیل تحریک لایه مرزی و ایجاد آشفتگی بیشتر، موجب افزایش ضریب پسا می‌گردد. به-ویژه قرارگیری مفتول در موقعیت‌های زاویه‌ای حدود ۶۰° تا ۱۲۰° به دلیل افت اینرسی بیشتر ناشی از موقعیت مفتول، موجب افزایش شدید ضریب پسا می‌شود که با افزایش قطر مفتول گرما و در استوانه (موقعیت‌های بزرگتر از ۱۰۰°) موجب بهبود انتقال گرما و در موقعیت جلویی استوانه (موقعیت ۰° تا ۹۰°) سبب کاهش انتقال گرما نسبت به استوانه ساده می‌شود. همچنانی مفتول با قطر بزرگتر موجب کاهش انتقال گرما می‌شود. بنابراین برای بهینه‌سازی انتقال گرما از سطح استوانه مفتولدار، بهترین موقعیت زاویه‌ای مفتول، موقعیت

arrangement. Part 2: Suppression of vibrations, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn., Vol. 97, pp 312–319, 2009.

- [7] By F. S. Hover, H. Tvedt, M. S. Triantafyllou, Vortex-induced vibrations of a cylinder with tripping wires, J. Fluid Mech., Vol. 448, pp 175–195, 2001.
- [8]Nebres, J., Batill, S., Flow about a circular cylinder with a single large-scale surface perturbation, J. Exp. Fluids, Vol.15, pp 369–379, 1993.
- [9]Tiwari D., Chakraborty G., Biswas P.K., Panigrahi, Numerical prediction of flow and heat transfer in a channel in the presence of a built-in circular tube with and without an integral wake splitter, Int. J. of Heat and Mass Transfer, Vol. 48, pp 439-453, 2005.
- [10] Razavi S.E., Farhangmehr V., Barar F., Impact of the splitter plate on flow and heat transfer around circular cylinder at low Reynolds numbers, J. Appl. Sci. ,Vol. 8, No. 7, pp 1286-1292, 2008.
- [11]Eckert R.M., Drake, Analysis of heat and mass transfer , McGraw-Hill, New York, 1972.
- [12]Churchill M., Bernstein, A correlating equation for forced convection from gasses and liquids to circular cylinder in cross flow, J. of Heat Transfer, Vol. 99, pp 300-306, 1977.
- [13]Zukauskas J., Ziugzda, Heat transfer of a cylinder in cross flow, Hemisphere publishing crop, Washington DC, 1985.
- [14] MahbubAlam Md., Sakamoto H., Moriya M., Reduction of fluid forces acting on a single circular cylinder and two circular cylinders by using tripping rods, Journal of Fluids and Structures, Vol. 18, pp 347–366, 2003.
- [15] Romberg O., Popp K., The influence of trip-wires on the fluid-dampingcontrolled instability of a flexible tube in a bundle, J. Fluids Struct, Vol 12, pp 17-32, 1998.
- [16] Nigim H. H., Battil S. M., Flow about cylinders with surface perturbations, Journal of Fluids and Structures, Vol. 11, pp 893-907, 1997.
- [17] MahbubAlam Md., Zhou, Suppression of fluid forces on two staggered cylinders, Vol. 56, pp 173 – 178, 2013.
- [18] Paranthoen P., Browne L.W.B., Massona S. Le, Dumouchel F., Lecordier J.C., Characteristics of the near wake of a cylinder at low Reynolds numbers, Vol. 18, pp 659–674, 1999.
- [19] Lam K.M., To A.P., Interference effect of an upstream larger cylinder on the lock-in vibration of a flexiblymounted circular cylinder, Vol. 17, pp 1059–1078, 2003.
- [20] Olsen J.F., Rajagopalan S., Vortex shedding behind modified circular cylinders, Vol.86, pp 55-63, 2000.
- [21] Sirisup S., Karniadakis G.E., Saelim N., Rockwell D., DNS and experiments of flow past a wired cylinder at low Reynolds number, Vol. 23, pp 181-188, 2004.
- [22] Dong By S., Karniadakis G. E., Ekmekci A., Rockwell D., A combined direct numerical simulation-particle image velocimetry study of the turbulent near wake, Vol. 569, pp185–207, 2006.