نشریه مباحث برگزیده در انرژی، دوره ۴، شماره ۱، سال ۱۴۰۲، صفحات ۴۴ تا ۵۵

مقاله پژوهشی

مطالعه عددی نرخ انتقال حرارت از سیلندر دایروی همدما در حضور و عدم حضور صفحه جداکننده تحت جریان پالسی

فاطمه قنبری، امیر امیدوار*

دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز، ایران

* نویسنده مسئول: omidvar@sutech.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۴ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱

چکیده

در این پژوهش، به بررسی اثرات دامنه بی‌بعد و فرکانس جریان پالسی برروی نرخ انتقال حرارت از سیلندر دایروی در حضور و عدم حضور صفحه جداکننده پرداخته شده است، بدین منظور، ابتدا به بررسی نرخ انتقال حرارت جریان غیرپالسی پرداخته شده و سپس با نتایج به‌دست آمده از جریان پالسی مقایسه شده است. جریان پالسی عبوری از یک سیلندر دایروی در محدوده عدد استروهال پالسی (۲-۰/۱) و دامنه بی‌بعد جریان پالسی A= ۰/۷۵ در عدد رینولدز Re =۱۰۰ مورد بررسی قرار گرفته است. جریان پالسی یکی از عواملی است که می‌تواند روی نرخ انتقال حرارت مؤثر واقع شود. اما به صورت کلی، تغییر در نرخ انتقال حرارت تحت جریان پالسی وابسته به دامنه بی‌بعد و فرکانس جریان پالسی می‌باشد. بهترین حالت جهت افزایش نرخ انتقال حرارت زمانی است که صفحه جداکننده به جسم چسبیده شده باشد. در تمام محدوده استروهال پالسی، افزایش در عدد ناسلت در حضور صفحه جداکننده نسبت به عدم حضور صفحه جداکننده تحت جریان پالسی گزارش شده است.

کلید واژگان: جریان پالسی، سیلندر دایروی، صفحه جداکننده، عدد ناسلت، دامنه، فرکانس

Numerical study of heat transfer rate of an isothermal circular cylinder in the presence and absence of a splitter plate under pulsating flow

F. Ghanbari, A. Omidvar*

Department of Mechanical Engineering, Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran

*Corresponding author: omidvar@sutech.ac.ir

Received: 05-07-2023 Accepted: 23-09-2023

Abstract

In this study, the effects of non-dimensional amplitude and frequency of pulsating flow are investigated on the heat transfer rate of a circular cylinder in the presence and absence of a splitter plate, for this purpose, at first the heat transfer rate of unpulsating flow is investigated and then compared with the results obtained from the pulsating flow. The pulsating flow over a circular cylinder is studied in the range of pulsating Strouhal number (0.1-2) and amplitude of pulsating flow A=0.75 in the Reynolds number of Re=100. Pulsating flow is one of the factors that can be effective on the heat transfer rate. But in general, the change in the heat transfer rate under pulsating flow depends on non-dimensional amplitude and frequency of pulsating flow. The best case for increasing the heat transfer rate is when the splitter plate is attached to the body. In all range of the pulsating Strouhal number, increase in the Nusselt number in the presence of a splitter plate is reported relative to the absence of splitter plate in pulsating flow.

Keywords: Pulsating flow, Circular cylinder, Splitter plate, Nusselt number, Amplitude, Frequency

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.61186/jste.4.1.44]

۱- مقدمه

افزایش انتقال حرارت یک موفقیت مهندسی قابل توجه می‌باشد و به عنوان پتانسیلی جهت کاهش مصرف انرژی در نظر گرفته می‌شود، که به ویژه در صنعت مورد نیاز است. افزایش انتقال حرارت سبب افزایش بازده سیستم‌های حرارتی می‌شود و بنابراین مصرف انرژی و هزینه‌های اقتصادی کاهش می‌یابد. جریان پالسی جریانی با دامنه و فرکانس مشخص است که از توابع مختلف سینوسی یا تابع پله و غیره استفاده می‌شود، سرعت در جریان پالسی شامل یک ترم ثابت به اضافه یک ترم نوسانی است. بررسی رفتار جریان و مطالعه برروی اعداد بدون بعد اطراف اجسام غوطه‌ور از مهم‌ترین مسائل مورد بررسی در مهندسی می‌باشد، بنابراین در این مطالعه به بررسی اثرات دامنه و فرکانس جریان پالسی بر نرخ انتقال حرارت سیلندر دایروی در حضور و عدم حضور صفحه جداکننده پرداخته شده است.

طبق مطالعات انجام گرفته روی جریان پالسی دیده شده، که در بعضی موارد جریان پالسی به عنوان یک عامل افزاینده نرخ انتقال حرارت معرفی شده است اما در برخی به عنوان عامل کاهنده نرخ انتقال حرارت و یا عاملی بی‌تأثیر نام برده می‌شود. در اکثر موارد جریان پالسی به عنوان یک عامل افزاینده نرخ انتقال حرارت در نظر گرفته می‌شود، چون جریان پالسی با ایجاد آشفتگی در خود جریان به عنوان یک روش مؤثر جهت بهبود در نرخ انتقال حرارت در نظر گرفته می‌شود.

جریان پالسی در بسیاری از زمینه‌های مهندسی کاربرد دارد، بنابراین می‌توان به مواردی از جمله جریان درون بدن انسان، مبدل‌های حرارتی فشرده، سیستم خنک‌سازی راکتور هسته‌ای، تولیدات صنعتی از جمله محفظه احتراق ضربانی، سیستم‌های خنک‌ساز برقی، صنایع ذوب فلزات، صنایع شیمیایی، تکنولوژی ساخت مواد غذایی، موتورهای سوخت داخلی، کمپرسورهای رفت و برگشتی اشاره کرد.

تحقیقات مختلفی روی جریان پالسی انجام شده است که برخی از آنها آورده شده است. ال‌سومیلی و تامپسون [۱] انتقال حرارت را از روی یک سیلندر دایروی در جریان پالسی در حضور و عدم حضور محیط متخلخل بررسی کردند. به طور کلی فاکتور افزایش انتقال حرارت در درجه اول به محدوده دامنه و بعد به عدد استروهال بستگی دارد. در حالت کلی می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از محیط متخلخل بالاترین افزایش انتقال حرارت را در جریان ضربانی می‌دهد. ال‌سومیلی و همکاران [۲] جابه‌جایی اجباری روی سیلندر دایروی با دمای ثابت در کانال متخلخل افقی را مورد مطالعه قرار دادند. برای جریان پالسی درجه غیرتعادل با افزایش دامنه ضربان و کاهش فرکانس ضربان کاهش می‌یابد.

سلیمفندیجال و همکاران [۳] انتقال حرارت ناپایا از یک سیلندر دایروی در جریان پالسی را بررسی کردند. هدف به دست آوردن مدل غیرخطی دینامیکی از انتقال حرارت جریان پالسی است که راه‌های متفاوتی از سیستم غیرخطی به دست آمده است. سلیمفندیجال و اوزتاپ [۴] با استفاده از شبیه‌سازی به پیش‌بینی عملکرد حرارتی از جریان پالسی اجباری در یک پله عقب‌رو با یک استوانه ثابت در معرض جریان نانوسیال پرداختند. نتایج نشان می‌دهد با افزایش فرکانس، کسرحجمی نانوذرات و عدد رینولدز انتقال حرارت افزایش می‌یابد. یک افزایش خطی در نرخ انتقال حرارت با افزایش کسرحجمی نانوذرات مشاهده می‌شود چون افزایش کسر حجمی نانوذرات هدایت حرارتی را بالا می‌برد. سلیمفندیجال و اوزتاپ [۵] شبیه‌سازی عددی جهت شناسایی خنک‌سازی بلوک‌های گرم‌شده در جریان کانال پالسی با یک سیلندر چرخان انجام شده است. نرخ انتقال حرارت برای هر صفحه از بلوک‌ها با افزایش عدد رینولدز افزایش می‌یابد.

هانگ و همکاران [۶] جریان جابه‌جایی طبیعی ناپایا متناوب و انتقال حرارت در یک محفظه بسته شامل یک سیلندر دایروی مرکزی را به صورت عددی مورد بررسی قرار دادند. نرخ انتقال حرارت با افزایش عدد رایلی و دامنه دمای پالسی افزایش می‌یابد.

سونگ و همکاران [۷] انتقال جرم از یک سیلندر دایروی تحت جریان پالسی را به صورت آزمایشگاهی بررسی کردند. عدد شرود با افزایش دامنه جریان پالسی افزایش می‌یابد و در اعداد رینولدز بالا، اثر ضربان روی شرود کاهش می‌یابد. پروایز و بیس [۸] نشان دادند که انتقال حرارت جابه‌جایی از سیلندر و لوله فین‌دار خیلی حساس به فرکانس جریان پالسی می‌باشد. اگر از لوله پره‌دار استفاده شود، افزایش بسزایی در نرخ انتقال حرارت در فرکانس‌های بالا مشاهده می‌شود و در فرکانس‌های پایین انتقال حرارت خیلی محسوس نمی‌باشد. در حالت کلی می‌توان گفت که انتقال حرارت در فرکانس بالا افزایش یافته و در فرکانس‌های کمتر کاهش می‌یابد. هوجای و همکاران [۹] آزمایشی روی نرخ انتقال حرارت از سیلندر مربعی گرم‌شده در یک کانال با وجود جریان پالسی را انجام دادند. پدیده قفل‌شدگی[1] برای سیلندر مربعی در حضور جریان

[1]. Lock-on

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.61186/jste.4.1.44]

پالسی مشاهده می‌شود. وقتی که فرکانس پالسی در محدوده قفل‌شدگی باشد، انتقال حرارت از سیلندر مربعی افزایش می‌یابد. آوایی و همکاران [۱۰] انتقال حرارت جابه‌جایی آرام از یک سیلندر دایروی در معرض جریان نوسانی در فرکانس پایین با متوسط سرعت صفر را بررسی کردند. لایه مرزی حرارتی روی سطح سیلندر در جریان نوسانی کمتر از جریان پایا در یک دوره زمانی می‌باشد. هنگامی که سرعت متوسط عبوری کوچک باشد یا هنگامی که از مقدار کم افزایش می‌یابد، انتقال حرارت افزایش می‌یابد. استگل [۱۱] بررسی عددی از جریان اطراف تک سیلندرهایی را در جریان پالسی و نوسانی مورد بررسی قرار داد. شش سیلندر مختلف برای شبیه‌سازی جریان پالسی انتخاب شده است، یک سیلندر دایروی و سیلندرهای مستطیلی با نسبت طول به عرض ۰/۶۲، ۱، ۲ و۳ =B/A می‌باشد و یک سیلندر در۱=B/A در جریان با زاویه 45° مورد بررسی قرار گرفته است. در سیلندرهای دایروی، لوزی و ۲=B/A نوع شبه متقارن را نشان می‌دهد که دنباله نزدیک، ظاهری متقارن دارد و گردابه دور تنش ورتکس نامتقارنی را نشان می‌دهد. برای سیلندرهایی با ۱و ۰/۶۲=B/A نیروی لیفت نسبت به جریان یکنواخت کاهش می‌یابد که رفتار شبه متقارن در دامنه نیروها ایجاد می‌شود.

بوریاس و کونستانتینیدس [۱۲] مطالعه عددی از نیروهای سیال و الگوهای گردابه از یک سیلندر دایروی که در جریان هارمونیک و غیرهارمونیک قرار گرفته را انجام دادند. الگوی موج غیرهارمونیک که اثر قابل ملاحظه‌ای روی مکانیزم تشکیل گردابه و نیروهای اعمال شده روی سیلندر دارد، اختلالات را کنترل می‌کند. لاین و همکاران [۱۳] جریان پالسی عبوری از یک سیلندر را به عنوان یک مدل آزمایشگاهی و عددی از جریان خون در یک شش مصنوعی مورد بررسی قرار دادند. در اعداد استوکس بزرگ تشکیل گردابه بعد از سیلندر مشاهده می‌شود جایی که اختلاط اکسیژن در خون افزایش پیدا می‌کند. لاین و همکاران [۱۴] جریان پالسی عبوری از دو سیلندر با آرایش مختلف را به طور آزمایشگاهی و عددی بررسی کردند. ساختار گردابه وابستگی زیادی به آرایش سیلندرها دارد، اندازه و استحکام گردابه به عدد رینولدز و عدد استوکس بستگی دارد.

زدراوکویچ [۱۵] دو سیلندر موازی در آرایش متفاوت تحت نوسان ایجاد شده در جریان را مورد بررسی قرارداد. نتایج نشان می‌دهد که تداخل جریان به فاصله بین دو سیلندر و جهت جریان آزاد وابسته می‌باشد. ریزش گردابه زمانی ایجاد می‌شود که فرکانس نوسان ریزش گردابه به فرکانس طبیعی نزدیک باشد.

کونستانتینیدس و همکاران [۱۶] ویژگی‌های جریان ریزش گردابه از دسته‌لوله هم‌راستا[1]را در جریان پالسی و پایا مورد بررسی قرار دادند. با افزایش در عدد رینولدز، دامنه نوسانات سرعت در رابطه با ریزش گردابه و سطح آشفتگی در دسته لوله افزایش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد جریان پالسی، ریزش گردابه از ردیف اول و قفل‌شدگی را تحریک می‌کند. در هر موقعیت، اولین ردیف در دسته‌لوله‌ها یک گردابه مؤثری را ایجاد می‌کند که باعث می‌شود سطح آشفتگی در دسته‌لوله‌ها افزایش یابد. کونستانتینیدس و همکاران [۱۷] آزمایشی روی ریزش گردابه در آرایش دسته‌لوله جابه‌جاشده[2]برای جریان پالسی و پایا انجام دادند. جریان پالسی باعث می‌شود که فرکانس ریزش گردابه در فرکانس‌های مختلفی نسبت به فرکانس طبیعی در جریان پایا تشکیل شود. کونستانتینیدس و همکاران [۱۸] آزمایشی روی جریان پالسی و پایا شبه‌شطرنجی[3]انجام دادند. در جریان پایا آرایش شبه‌شطرنجی اثرات مخربی روی ریزش گردابه متناوبی در مقایسه با حالت هم‌راستا و جابه‌جا شده دارد. اما آرایش شبه شطرنجی نسبت به آرایش هم راستا نتیجه بهتری روی نرخ رسوب‌گذاری و انتقال حرارت دارد. کونستانتینیدس و همکاران [۱۹] مطالعه آزمایشگاهی و عددی روی اثرات جریان پالسی عبوری از دسته‌لوله‌ها در رژیم زیر بحرانی انجام دادند. سه آرایش هم‌راستا، جابه‌جاشده و نامتقارن در دو بعد بررسی شده است. دامنه نوسانات سرعت با قفل‌شدگی افزایش می‌یابد وقتی که فرکانس پالسی تقریباً دو برابر فرکانس ریزش گردابه باشد اولین مود قفل‌شدگی ایجاد می‌شود و هنگامی که فرکانس پالسی نزدیک به فرکانس ریزش باشد، دومین مود قفل‌شدگی مشاهده می‌شود. کونستانتینیدس و همکاران [۲۰] ارتباط بین قفل‌شدگی ریزش گردابه و انتقال حرارت از دسته لوله‌ها را مورد بررسی قرار دادند. مشاهده شد پالسی بودن جریان، عامل افزاینده انتقال حرارت محسوب می‌شود. در جریان عبوری پالسی، قفل‌شدگی باعث می‌شود که فشار روی لوله‌ها افزایش پیدا کند.

2. In-line
3. staggered
4. Semi-staggered

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.61186/jste.4.1.44]

خایبالینا و همکاران [۲۱] به طور آزمایشگاهی ضریب انتقال حرارت از دسته‌لوله‌ها را بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد که فرآیند افزایش انتقال حرارت با پالسی کردن جریان سیال در مقایسه با تبادل حرارت در جریان پایا تقریباً ٪۱۷ افزایش می‌یابد و بیشترین اثر در فرکانس ۰/۵ و دامنه ۱/۲D به دست می‌آید. مولکاهی و همکاران [۲۲] اثر جریان پالسی روی ضریب پسا و انتقال حرارت در سیلندرهای مربعی گرم‌شده هم‌راستا را به طور آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش رابطه ضریب اصطکاک و عدد رینولدز بر حسب فرکانس و عدد رینولدز برای ردیف‌های مختلف آرایش لوله‌های مربعی بیان شده است. لی‌یانگ [۲۳] به بررسی الگوی جریان اطراف دسته‌لوله‌های هم‌راستا، جابه‌جاشده در جریان پایا و پالسی آشفته پرداخت. پالسی بودن باعث می‌شود انتقال حرارت در ناحیه جلویی ردیف دوم لوله‌ها افزایش یابد، چون پالسی بودن باعث ریزش گردابه متناوب پشت اولین سیلندر و باعث اختلاط بیشتر سیال می‌شود و بنابراین انتظار می‌رود که نرخ انتقال حرارت در جلوی سیلندر دوم افزایش یابد.

در مورد صفحه جداکننده‌ها مطالعاتی صورت گرفته که در زیر بیان شده است. تحقیقات انجام شده روی تک لوله با حضور صفحات جداکننده به شرح زیر می‌باشد. تیواری و همکاران [۲۴] مطالعه عددی از جریان و انتقال حرارت در یک کانال شامل صفحه جداکننده متصل به سیلندر دایروی پرداختند. صفحات جداکننده یک جریان خطی شکل گسترده از سیلندر دایروی را تشکیل می‌دهد که باعث افزایش انتقال حرارت از سطح لوله می‌شود و اندازه دنباله در مقایسه با دنباله سیلندر بدون صفحه جداکننده کاهش می‌یابد. مدسری و همکاران [۲۵] انتقال حرارت از تک لوله و دسته‌لوله‌ها را با وجود صفحات جداکننده متصل به تمام ردیف‌ها بررسی کردند. عدد ناسلت محلی پشت تک لوله هنگامی که صفحه جداکننده به لوله متصل می‌شود کاهش می‌یابد، در ناحیه پشت نقطه جدایش کاهش بیشتری می‌یابد، اما عدد ناسلت یکنواخت از پایه به صفحه جداکننده افزایش می‌یابد.

چکرابارتی و ونخدی [۲۶] جریان و انتقال حرارت از تک لوله دایروی و دسته‌لوله با وجود صفحه جداکننده را مورد بررسی قرار دادند. انتقال حرارت و افت فشار وابسته به الگوی جریان سیال اطراف دسته‌لوله می‌باشد در حالی که افت فشار به طور مستقیم وابسته به ظرفیت پمپاژ سیال می‌باشد. هنگامی که صفحه جداکننده بکار برده می‌شود افزایش در انتقال حرارت کل مشاهده می-شود.

دهکردی و حوری‌جعفری [۲۷] شبیه‌سازی عددی جهت خنثی کردن ریزش گردابه از سیلندرهای دایروی با استفاده از صفحه جداکننده انجام دادند. بهینه موقعیت صفحات جداکننده با بیشینه افت در نیروهای برآ و پسا بدست آمده است. صفحه جداکننده در عدد Re= ۴۰ باعث کمی تغییر در نیروی پسا می‌شود. در اعداد Re= ۱۵۰و۱۰۰ مشاهده می‌شود که نیروهای ایجاد شده روی سیلندر خیلی وابسته به موقعیت صفحه جداکننده از سیلندر می‌باشد.

اوروک و همکاران [۲۸] یک صفحه جداکننده در فاصله بین دو سیلندر با فاصله مختلف را آزمایش کردند. نتایج آزمایش نشان می‌دهد فاصله بین دو سیلندر در کنار هم روی ساختار جریان اطراف سیلندرها مؤثر می‌باشد. استفاده از صفحه جداکننده دو نتیجه مهم را می‌دهد: اول، از انحراف جریان رو به جلو هر سیلندر جلوگیری می‌شود، بنابراین ناحیه دنباله پشت سیلندر متقارن می‌باشد که هیچ تداخلی بین آنها نیست. دوم، تشکیل گردابه بعد از هر سیلندر فرو می‌نشاند که منجر به تشکیل تنش رینولدز خیلی ضعیفی در مقایسه با حالت طبیعی می‌شود.

کیو و همکاران [۲۹] به بررسی اثر صفحات جداکننده و عدد رینولدز روی بارهای آیرودینامیکی از سیلندر دایروی پرداختند، هدف کاهش نیروهای پسا و حذف شدن ریزش گردابه از سیلندر دایروی با به کار بردن صفحه جداکننده می‌باشد. در مقایسه با نتایج تک سیلندر، صفحه جداکننده در سمت جلو سیلندر باعث تولید لایه مرزی آشفته و جدایی لایه برشی می‌شود.

اسی و برمن [۳۰] حرکت عرضی از سیلندرهای دایروی را برای سه نوع صفحه جداکننده را بررسی کردند. قرار دادن صفحه جداکننده جامد و باریک با نسبت تخلخل ٪۳۰ منجر به تولید ارتعاش می‌شود، اما با کاهش در نرخ افزایش سرعت جریان مواجه می‌شود. متخلخل بودن صفحه باعث می‌شود میرایی هیدرودینامیکی افزایش پیدا کند و اختلاف فشار از صفحه جداکننده را کاهش می‌دهد.

جایاول و تایاری [۳۱] اثر هر دو مولدگردابه[1] و صفحه جداکننده متصل به دسته لوله روی انتقال حرارت و افت فشار برای جریان آرام عبوری را بررسی کرده‌اند. مولدگردابه سبب افزایش انتقال حرارت و صفحه جداکننده سبب کاهش افت

[2]. Vortex generator

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.61186/jste.4.1.44]

فشار می‌شود. در حضور صفحه جداکننده و مولدگردابه انتقال حرارت به طور برجسته به علت حضور مولدگردابه‌ها افزایش می‌یابد. از طرف دیگر صفحه جداکننده به عنوان سطح گسترش‌یافته انتقال حرارت را افزایش می‌دهد اما یک اثر منفی در افت فشار برای اعداد رینولدز پایین دارد. انتقال حرارت کلی برای آرایش جابه‌جاشده همیشه بیشتر از آرایش هم‌راستا با کمترین افزایش در افت فشار می‌باشد.

۲- بیان مساله

به منظور بررسی عددی مشخصه‌های جریان در اطراف سیلندر دایروی، یک استوانه با سطح مقطع دایروی به قطر D در داخل دامنه محاسباتی با شرط ورودی سرعت، خروجی فشار ثابت و محدوده بالا و پایین سیلندر با شرط سرعت در راستای x شبیه‌سازی شده است. پیکره دامنه محاسباتی در شکل۱ قابل مشاهده است، صفحه جداکننده در کنار سیلندر دایروی قرار داده شده است، این صفحه در فواصل مختلف از جسم گذاشته شده است، بر طبق شکل، فاصله افقی صفحه از سیلندر G و فاصله عمودی از سیلندر Z نام‌گذاری شده است، طول صفحه جداکننده برابر با قطر سیلندر دایروی و عرض آن $0/05D$ می‌باشد. 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 ۳۰ برابر قطر سیلندر در پشت مدل درنظر گرفته شده است و پس از آن به بررسی فواصل ورودی، بالاو پایینی سیلندر پرداخته شده است. بنابراین فاصله $x_2 = ۳۰\ D$ در تمام محاسبات ثابت و فواصل x_1 و y_1 متغیر در نظر گرفته شده است تا جایی که اثرات این فواصل روی نتایج حاصل از جریان از بین برود. بنابراین ابتدا در فواصل ۱۴و ۱۲، ۱۰، ۶ = x_1/D به بررسی ضریب پسا و عدد ناسلت استوانه پرداخته شد و از ۱۲ = x_1/D به بعد تغییری روی عدد پسا سیلندر مشاهده نمی‌شود،بنابراین در x_1/D به بررسی y_1/D در مقادیر ۱۴و ۱۲، ۷ پرداخته شد و بنابراین در فاصله مناسب۱۲= y_1/D نتایج حاصل از جریان مورد بررسی قرار گرفته شده است. مدلسازی در این پژوهش دو بعدی و غیر قابل تراکم می‌باشد. شبکه محاسباتی توسط نرم افزار گمبیت تهیه شده است و حل مساله و بررسی نتایج با نرم افزار فلوئنت به دست آمده است.

۳- معادلات حاکم

معادله ۱ تا ۴ به ترتیب بیانگر معادله پیوستگی، معادله مومنتوم در راستای x، معادله مومنتوم در راستای y و معادله انرژی می‌باشد:

معادله پیوستگی:

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}=0 \qquad (۱)$$

معادله مومنتوم در راستای x:

$$\frac{\partial u}{\partial t}+\frac{\partial (uu)}{\partial x}+\frac{\partial (uv)}{\partial y}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x}+\nu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)+S \qquad (۲)$$

معادله مومنتوم در راستای y:

$$\frac{\partial v}{\partial t}+\frac{\partial (uv)}{\partial x}+\frac{\partial (vv)}{\partial y}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial y}+\nu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)+S \qquad (۳)$$

معادله انرژی:

$$\frac{\partial T}{\partial t}+\frac{\partial (Tu)}{\partial x}+\frac{\partial (Tv)}{\partial y}=\alpha\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right)+S \qquad (۴)$$

در تمام این روابط خواص سیال ثابت فرض شده است. عدد رینولدز جریان تنها پارامتر حاکم بر جریان است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mathrm{Re}=\frac{\rho u_\infty D}{\mu} \qquad (۵)$$

متوسط ضریب پسا سیلندر دایروی که تابعی از سرعت متوسط u_∞ و قطر سیلندر D می‌باشد پس از طی بازه زمانی به صورت زیر متوسط‌گیری شده است:

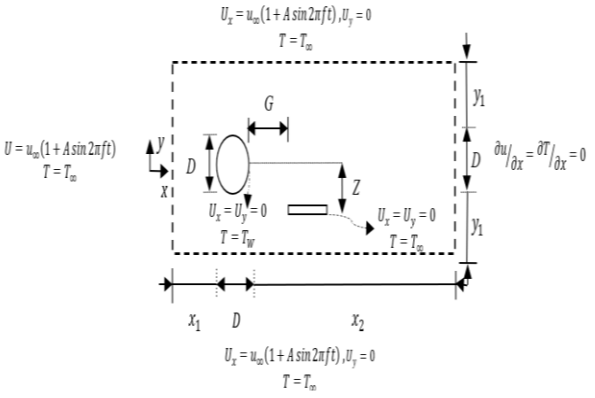
$$C_D=\frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho {u_\infty}^2 D}=\frac{1}{t_2-t_1}\int_{t_1}^{t_2} C_D dt \qquad (۶)$$

همچنین، عدد ناسلت که تابعی از ضریب انتقال حرارت h و قطر سیلندر D و ضریب هدایت حرارتی سیال k می‌باشد، پی از طی سیکل زمانی متوسط-گیری شده است:

$$\overline{Nu}=\frac{\bar{h}D}{k}=\frac{1}{t_2-t_1}\int_{t_1}^{t_2} Nu_D dt \qquad (۸)$$

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.61186/jste.4.1.44]



شکل ۱- پیکره دامنه محاسباتی اطراف سیلندر دایروی و صفحه جداکننده و شرایط مرزی

برای بررسی جریان پالسی اطراف سیلندر، عدد استروهال مهم واقع می‌شود، عدد استروهال تابعی از فرکانس ریزش گردابه f، قطر D و سرعت متوسط جریان u_∞ می‌باشد که به صورت زیر مورد محاسبه قرار گرفته است:

$$St = \frac{fD}{u_\infty} \quad (۹)$$

۳-۱- شرایط مرزی

در مسائل گذرا لازم است، مقادیر اولیه تمام متغیرهای جریان در تمام میدان حل مشخص شود. آب به عنوان سیال‌کاری درنظر گرفته شده است. خصوصیات آب در دمای فیلم سیال طبق رابطه ۱۰ براساس مرجع [۳۲] بیان شده است.

$$T_f = \frac{T_W + T_\infty}{2} \quad (۱۰)$$

شرط عدم لغزش طبق رابطه ۱۱ یک شرط اختصاصی برای مولفه‌های سرعت در دیوارهای جامد می‌باشد. بنابراین دیواره سیلندر و صفحات جداکننده دارای شرط عدم لغزش در دمای ثابت می‌باشند.

$$U_x = 0, U_y = 0 \quad (۱۱)$$

ورودی و مرز بالا و پایین سیلندر، در ابتدا تحت جریانی با سرعت ثابت و سپس جهت اعمال جریان پالسی با سرعت پالسی در نظر گرفته می‌شود. تابع سرعت در جریان پالسی شامل یک ترم ثابت به اضافه یک ترم نوسانی می‌باشد [۱] که به صورت رابطه ۱۲ نشان داده می‌شود.

$$U = u_\infty\left(1 + A\sin(2\pi ft)\right) \quad (۱۲)$$

در حالی که u_∞ سرعت ثابت، A دامنه بی‌بعد جریان پالسی، f فرکانس جریان پالسی و t زمان می‌باشد. در مرز بالا و پایین سیلندر هم همین سرعت ورودی اعمال می‌شود با این تفاوت که سرعت در این دو مرز در راستای موازی با مرزها اعمال شده است و سرعت در راستای عمود بر مرز صفر در نظر گرفته شده است:

در مرز خروجی دامنه محاسباتی، تغییرات سرعت و دما در راستای x صفر می‌باشد، بنابراین:

$$\partial u/\partial x = \partial T/\partial x = 0 \quad (۱۳)$$

۴- نتایج و بحث

ابتدا شبکه محاسباتی مناسب اطراف سیلندر انتخاب شده و پس از آن به بررسی عدد ناسلت تحت جریان پالسی اطراف سیلندر در حضور و عدم حضور صفحه جداکننده پرداخته شده است.

۴-۱- تعیین شبکه محاسباتی اطراف سیلندر

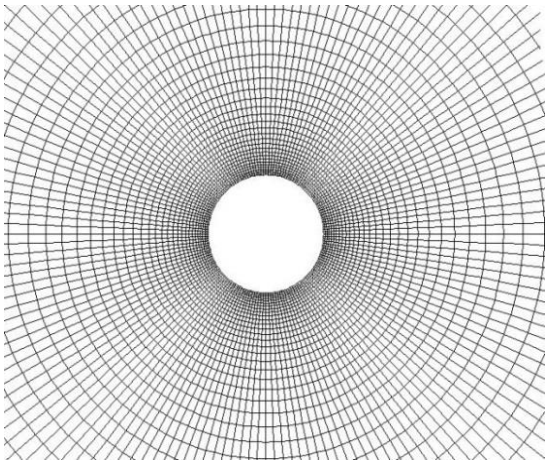
شبکه تولید شده و تعداد حجم کنترل‌های به وجود آمده تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر نتایج بدست آمده و مدت زمان اجرای برنامه کامپیوتری دارند. با افزایش تعداد حجم‌کنترل‌ها در جهت‌های x , y و کوچک‌تر نمودن ابعاد حجم‌کنترل‌ها، خصوصاً در نزدیکی مرزهای جامد، می‌توان رفتار جریان را بطور دقیق و به همراه جزئیات بیشتر بررسی نمود.

اثر نقاط شبکه محاسباتی به تعداد ۴۴۵۰، ۹۱۴۰، ۱۸۰۸۰و ۲۶۱۷۸ بر مقادیر ضریب پسا و عدد ناسلت سیلندر دایروی در حضور و عدم حضور صفحه جداکننده بررسی شده است. در تمام حالات حساسیت شبکه محاسباتی به ضریب پسا بیشتر از عدد ناسلت بوده است، بنابراین ضریب پسا به عنوان پارامتر اصلی جهت تعیین شبکه محاسباتی در نظر گرفته شده است. زمانیکه تعداد نقاط شبکه محاسباتی ۱۸۰۸۰ عدد می‌باشد تغییر کمی در مشخصه‌های جریان با نتایج حاصل از شبکه بزرگتر مشاهده می‌شود، پس این حالت به عنوان شبکه نهایی جهت انجام محاسبات در نظر گرفته شده است. از شبکه ساختاری[1] جهت حل مساله استفاده شده است و اندازه تمام سلول‌ها در اطراف جسم به یک اندازه می‌باشد، که در شکل ۲ نشان داده شده است.

1. Structure mesh

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.61186/jste.4.1.44]



شکل ۲- شبکه محاسباتی اطراف سیلندر

۴-۲- اعتبارسنجی حل عددی

بایستی روش حل عددی انتخاب‌شده اعتبارسنجی شود. پس از اطمینان از صحت روش حل عددی، همگرایی جواب مساله تا رسیدن به تناوب در جواب مسئله‌ی مطرح‌شده مورد بررسی قرار می‌گیرد. بنابراین ابتدا نتایج حاصل از جریان آرام ناپایا روی سیلندر دایروی اعتبارسنجی می‌شود. چرچیل و برنشتاین [۳۳] رابطه زیر را جهت بررسی عدد ناسلت روی سیلندر دایروی ارائه دادند:

$$\overline{Nu} = 0.3 + \frac{0.62 \times \mathrm{Re}_D^{0.5} \times \mathrm{Pr}^{\frac{1}{3}}}{\left[1+\left(\frac{0.4}{\mathrm{Pr}}\right)^{\frac{2}{3}}\right]^{\frac{1}{4}}} \times \left[1+\left(\frac{\mathrm{Re}_D}{282000}\right)^{\frac{5}{8}}\right]^{\frac{4}{5}} \qquad (۱۵)$$

این رابطه برای تمام گستره $Re_D Pr > 0.2$ استفاده می‌شود که در آن خواص سیال در دمای فیلم محاسبه می‌شوند. طبق این رابطه در عدد رینولدز ۱۰۰ عدد ناسلت ۱۰/۸۳۳ می‌باشد و طبق شبیه‌سازی انجام شده در این پژوهش عدد ناسلت ۱۱/۱۰۰۹ گزارش شده است که خطای حاصل از محاسبات با مرجع بیان شده ۲/۴٪ می‌باشد.

قدیری‌دهکردی و حوری‌جعفری [۲۷] جریان اطراف سیلندر دایروی در حضور صفحه جداکننده را مورد مطالعه قرار داده‌اند. در جدول ۱ به اعتبارسنجی ضریب پسا سیلندر دایروی پرداخته شده است:

جدول ۱- مقایسه ضریب پسای سیلندر دایروی در حضور صفحه جداکننده

مکان صفحه تقسیم	ضریب پسا حاضر	ضریب پسا مرجع [۲۷]
Z=۰D,G=۰	۱/۲۱۳۰	۱/۱۹
Z=۰/۵D,G=۰	۱/۱۸۱۲	۱/۱۸۱
Z=۰/۷۵D,G=۰	۱/۱۵۴۷	۱/۱۵
Z=۱/۲۵D,G=۰	۱/۲۱۵۵	۱/۲۱
Z=۰/۷۵D,G=۵D	۱/۳۵۵۰	۱/۲۹
Z=± ۰/۷۵D,G=۰	۱/۰۹۰۷	۱/۰۷
Z=±۰/۷۵D,G=۵D	۱/۳۴۵۰	۱/۲۸

لیانگ و پاپاداکیس [۳۴] جریان پالسی روی سیلندر دایروی در عدد رینولدز بحرانی ۲۵۸۰ را بررسی کردند، که برای اعتبارسنجی ضریب پسا جسم تحت جریان پالسی از این کار استفاده شده است. طبق نتایج مقدار ضریب پسا سیلندر دایروی مقادیر ۱/۵۷ و ۱/۵۵ گزارش شده است بر طبق نتیجه به دست‌آمده در تحقیق حاضر مقدار ضریب پسا ۱/۵۳۹ به دست‌آمده است که درصد خطای کمی مشاهده می‌شود. جهت اعتبارسنجی عدد ناسلت روی سیلندر دایروی تحت جریان پالسی از نتایج مقاله آل‌سامالی و تامسون [۱] استفاده شده است، در این مقاله سیلندر دایروی بین دو تا صفحه با نسبت انسداد[1] ۰/۲۵ در آب مورد مطالعه قرار گرفته است که نسبت انسداد به نسبت دهانه ورودی به قطر سیلندر تعریف می‌شود، نتایج در جدول ۲ گزارش شده است.

جدول ۲- مقایسه عدد ناسلت سیلندر دایروی تحت جریان پالسی

عدد رینولدز	دامنه جریان پالسی	عدد استروهال	عدد ناسلت حاضر	عدد ناسلت مرجع [۱]
۱	۰/۷	غیرپالسی	۲/۴۰۶۰	۳۸/۲
		۰/۱	۲/۳۵۸۰	۲/۳۲
		۲	۲/۳۸۰۰	۲/۳۸
۱۰۰	۰/۵	غیرپالسی	۱۵/۳۷۶۸	۱۵/۲۲
		۰/۵	۱۵/۵۰۰۴	۱۵/۳۳
		۱	۱۵/۸۰۲۸	۱۵/۵۵
		۱/۵	۱۵/۵۷۶۷	۱۵/۴۱
		۲	۱۵/۵۳۲۰	۱۵/۳۱
۲۵۰	۰/۷	غیرپالسی	۲۳/۸۳۹۰	۲۳/۸۵
		۰/۱	۲۴/۲۲۰۰	۲۴/۰۰
		۰/۳	۲۶/۷۶۹۰	۲۶/۱۷
		۰/۵	۲۴/۷۰۹۷	۲۴/۲۷
		۰/۸	۲۶/۳۲۵۶	۲۶/۰۶
		۲	۲۴/۳۸۰۰	۲۴/۳۷

[1]. Blockage ratio

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.61186/jste.4.1.44]

۴-۳- نتایج جریان غیرپالسی

یک صفحه جداکننده به طول مشابه با قطر سیلندر در فواصل مختلف از سیلندر دایروی بکار برده شده است، دیده شده هر چه صفحه جداکننده به جسم جریان‌بند نزدیکتر باشد تأثیر بیشتری روی جریان اطراف جسم گذاشته و باعث تغییراتی در ریزش گردابه و همچنین نتایج مربوط به ضریب پسا و عدد ناسلت مربوطه خواهد شد در اینجا از دو فاصله افقی G=۰ و D ۵ =G استفاده شده است. G=۰ به عنوان حالتی در نظر گرفته شده است که تأثیر صفحه جداکننده روی مقدار ضریب پسا جسم مورد نظر زیاد می‌باشد و G=۵D مکانی از صفحه جداکننده می‌باشد که تأثیر ناچیزی روی مقادیر حاصل از ضریب پسای جسم داشته باشد، این نتیجه براساس کاری از قدیری‌دهکردی و حوری‌جعفری [۲۷] مورد استفاده قرار گرفته است؛ که در اینجا به بررسی نرخ انتقال حرارت در کنار ضریب پسا پرداخته شده است. براساس نتایج جدول ۳ دیده می‌شود زمانی که فاصله افقی صفحه جداکننده کم باشد مقدار ضریب پسا کمتر از حالتی است که هیچ صفحه جداکننده‌ای در مسیر جریان وجود نداشته باشد و هر چه فاصله افقی بیشتر شود مقدار ضریب پسا به سمت حالتی خواهد رفت که هیچ صفحه‌ای در جریان نباشد بنابراین تأثیر مثبتی جهت کاهش نیروهای آیرودینامیکی جسم جریان‌بند خواهد داشت؛ اما از طرفی دیگر، وجود این صفحه سبب کاهش در عدد ناسلت سیلندر دایروی شده است. زمانی که صفحه جداکننده متصل به سیلندر باشد به عنوان بهترین حالت جهت افزایش انتقال حرارت و کاهش ضریب پسا می‌باشد، در این حالت نتایج نشان می‌دهد که عدد ناسلت ۱۱/۰۷۲٪ افزایش و ضریب پسا ۹/۸۶۱٪ کاهش دارد نسبت به حالتی که صفحه جداکننده وجود نداشته باشد. مثلاً در حالتی که یک صفحه در جریان وجود داشته باشد در فاصله Z=۰/۷۵D، G=۰ ضریب پسا ۱۴/۱۹٪ کاهش داشته که بیشترین افت در مقدار ضریب پسا دیده شده است، اما عدد ناسلت هم ۱۱/۱۱٪ افت داشته است. در همین حالت که یک صفحه در جریان وجود داشته باشد، در G=۰،Z=۰/۵D ضریب پسا ۱۲/۲۲٪ کاهش داشته و در مقابل کاهش در عدد ناسلت ۲/۴۴٪ می‌باشد که کاهش کمتری در عدد ناسلت نسبت به حالت قبل مشاهده می‌شود. بنابراین در زمانی که یک صفحه جدا از سیلندر در جریان وجود دارد بهترین فاصله صفحه از سیلندر دایروی G=۰،Z=۰/۵D می‌باشد. زمانی که دو صفحه جداکننده در جریان وجود دارد بهترین حالت Z=۰±/۷۵D، G=۰ جهت کاهش در مقدار ضریب پسا مشاهده شده است اما در این حالت با وجود کاهش ۱۸/۹۴٪ در مقدار ضریب پسا، عدد ناسلت هم کاهش ۱۲/۳۸٪ دارد. بنابراین در حالتی که از دوصفحه جداکننده استفاده می‌شود بهتر است صفحات در Z=۰±/۵D، G=۰ قرار داشته باشند چون در این حالت ضریب پسا ۱۶٪ کاهش دارد و در مقابل ۱/۱٪ کاهش در عدد ناسلت گزارش شده است و کاهش خیلی کمتری در عدد ناسلت نسبت به حالت قبل دارد.

جدول ۳- ضریب پسا و عدد ناسلت سیلندر دایروی در حضور صفحه جداکننده

فاصله افقی G	فاصله عمودی Z	ضریب پسا	عدد ناسلت
۰	۰	۱/۲۱۳۰	۱۲/۳۳۰۰
	۰/۵D	۱/۱۸۱۲	۱۰/۸۳۰۰
	۰/۷۵D	۱/۱۵۴۷	۹/۸۶۷۰
	۱/۲۵D	۱/۲۱۵۵	۱۰/۸۴۰۰
	±/۷۵D	۱/۰۹۰۷	۹/۷۲۵۶
	±/۵D	۱/۱۳۰۳	۱۰/۹۷۸۷
۵D	۰/۷۵D	۱/۳۵۵۰	۱۱/۲۵۰۰
	±/۷۵D	۱/۳۴۵۰	۱۱/۲۳۰۰
بدون حضور صفحه جداکننده		۱/۳۴۵۷	۱۱/۱۰۰۹

۴-۴- نتایج جریان پالسی

در این قسمت به بررسی جریان پالسی در دامنه بی‌بعد ۰/۷۵ و عدد استروهال پالسی در محدوده ۲-۰/۱ پرداخته شده است، این نتایج مربوط به جریان پالسی در شکل ۳ گزارش شده است. با توجه به شکل ۳، استفاده از یک صفحه جداکننده متصل به سیلندر دایروی (۰ = Z و G=۰) درمقایسه با عدم حضور صفحه جداکننده سبب افزایش عدد ناسلت شده است. با اعمال جریان پالسی در حضور صفحه جداکننده در تمام اعداد استروهال پالسی افزایش در عدد ناسلت بیشتر از حالتی است که صفحه جداکننده وجود نداشته باشد، در این حالت صفحه جداکننده نقش فین را ایفا می‌کند و باعث افزایش نرخ انتقال حرارت می‌شود. وجود صفحه جداکننده باعث می‌شود که ریزش گردابه اطراف سیلندر کمتر شود. پیک عدد ناسلت در حضور صفحه جداکننده در عدد استروهال پالسی ۰/۴، همانند عدم حضور صفحه جداکننده تحت جریان پالسی است که ۱۴/۱۱٪ افزایش نسبت به جریان

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.61186/jste.4.1.44]

غیرپالسی در حضور صفحه جداکننده دارد و نسبت به عدم حضور صفحه جداکننده در جریان پالسی ۹/۵۸٪ افزایش دارد.

در زمانی که از یک صفحه جداکننده در فاصله عمودی Z =۰/۵D و فاصله افقی G=۰ تحت جریان پالسی استفاده می‌شود در استروهال‌های پالسی تقریباً بزرگتر از ۰/۸ و بیشتر از ۱/۶ عدد ناسلت نسبت به جریان غیرپالسی در حضور صفحه جداکننده افزایش داشته است. اما در تمام استروهال‌های پالسی عدد ناسلت نسبت به جریان پالسی بدون حضور صفحه جداکننده کاهش داشته است. پیک مربوط به عدد ناسلت تحت جریان پالسی در حضور صفحه جداکننده در استروهال پالسی ۰/۲ می‌باشد که با پیک مربوط به جریان پالسی و عدم حضور صفحه جداکننده در یک استروهال اتفاق نمی‌افتد، که ۱۲٪/۷۸ افزایش نسبت به حضور صفحه جداکننده در جریان غیرپالسی داشته و ۰/۹۹٪ کاهش نسبت به جریان پالسی و عدم حضور صفحه جداکننده دارد.

استفاده از دو صفحه جداکننده در فاصله عمودی ±۰/۵D = Z و فاصله افقی G=۰ تحت جریان پالسی از عدد استروهال پالسی ۰/۱ تا ۰/۵ افزایش در عدد ناسلت نسبت به جریان غیرپالسی و حضور صفحه جداکننده مشاهده می‌شود اما از این عدد استروهال به بعد عدد ناسلت کمتر شده است. در تمام اعداد استروهال آزمایش شده عدد ناسلت تحت جریان پالسی در حضور صفحه جداکننده نسبت به عدم حضور صفحه جداکننده کاهش یافته است. در زمانی که از صفحه جداکننده استفاده می‌شود نسبت به عدم حضور صفحه جداکننده تحت جریان پالسی عدد ناسلت در تمام استروهال‌های پالسی مقدار کمتری دارد. پیک مربوط به عدد ناسلت در حضور صفحه جداکننده تحت جریان پالسی در عدد استروهال ۰/۲ ایجاد می‌شود که ۸/۳٪ افزایش نسبت به جریان غیرپالسی در حضور صفحه جداکننده دارد و مقدار ۳/۶۲٪ کاهش نسبت به جریان پالسی و عدم حضور صفحه جداکننده مشاهده شده است.

در زمانی که از یک صفحه جداکننده در فاصله Z ۰/۷۵D = و G= ۰ استفاده می‌شود طبق نتایج ارائه شده در شکل ۳ دیده می‌شود که عدد ناسلت در تمام استروهال‌های پالسی نسبت به جریان غیرپالسی و حضور صفحه جداکننده روند افزایشی داشته است اما نسبت به جریان پالسی و عدم حضور صفحه جداکننده در تمام استروهال‌های پالسی کاهش یافته است. پیک مربوط به عدد ناسلت در جریان پالسی و حضور صفحه جداکننده در استروهال ۰/۲ ایجاد شده است که ۱۸٪/۲۲ افزایش نسبت به جریان غیرپالسی و حضور صفحه جداکننده دارد. در این حالت ناسلت نسبت به جریان پالسی در همان استروهال کاهش و نسبت به جریان غیرپالسی و حضور صفحه جداکننده افزایش داشته است.

طبق نتایج ارائه شده در شکل ۳ در حالی که صفحه جداکننده در Z = ±۰/۷۵D و G=۰ استفاده شود روند تغییرات مثل حالتی است که از یک صفحه جداکننده در همین فاصله بکار گرفته باشد. در این حالت پیک مربوط به عدد ناسلت در استروهال پالسی ۰/۲ با ۱۷/۷۳٪ افزایش نسبت به جریان غیرپالسی در حضور صفحه جداکننده و ۷/۱۹٪ کاهش نسبت به جریان پالسی و عدم حضور صفحه جداکننده در همین عدد استروهال را دارد. در شکل ۳ نیز نتایج مربوط به یک و دو صفحه جداکننده در فاصله Z = ۰/۷۵D و در فاصله افقیG=۵D آورده شده است. در مورد عدد ناسلت از عدد استروهال پالسی ۱ به بعد روند تغییرات ناسلت رو به افزایش می‌باشد. اما در اعداد استروهال کمتر، پس از همگرایی جواب‌ها اختلاف در نتایج مربوط به عدد ناسلت در حضور و عدم حضور صفحه جداکننده بسیار ناچیز است و حتی به صفر می‌رسد.

در مورد جریان پالسی در حضور صفحه جداکننده در Z = ۱/۲۵D و فاصله افقی صفر طبق نمودار موجود در شکل ۳ تغییرات عدد ناسلت از عدد استروهال پالسی تقریباً ۰/۳۸ تا ۱/۶ عدد ناسلت کمتر از زمانی است که صفحه جداکننده وجود نداشته باشد و از عدد استروهال ۱/۶ به بعد عدد ناسلت روند افزایشی داشته است و پیک عدد ناسلت بسیار نزدیک به پیک عدد ناسلت در جریان پالسی بدون حضور صفحه جداکننده می‌باشد و مقدار ۰/۶٪ کاهش مشاهده شده است و ۱۷/۷۱٪ افزایش نسبت به جریان غیرپالسی و حضور صفحه جداکننده دارد، مقادیر مربوط به عدد ناسلت تحت جریان پالسی در حضور و عدم حضور صفحه جداکننده مقدار یکسانی داشته است و نسبت به زمانی که جریان غیرپالسی باشد در حضور صفحه جداکننده ۱۴/۳۸٪ افزایش داشته است.

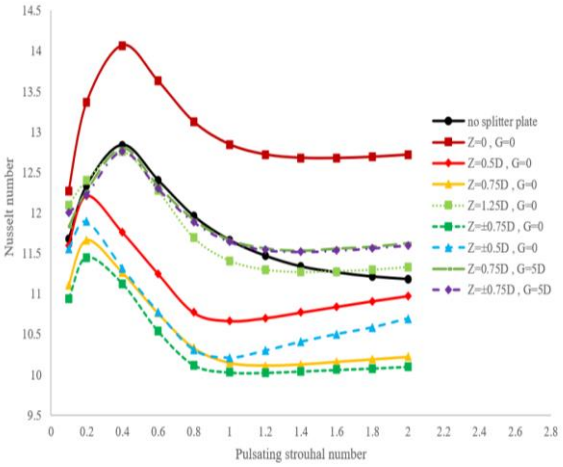
۵- جمع‌بندی

طبق نتایج ارائه شده در نمودار ۳ دیده می‌شود که بهترین حالت جهت افزایش عدد ناسلت زمانی است که صفحه جداکننده به جسم چسبیده باشد چون در تمام محدوده استروهال پالسی افزایش در عدد ناسلت نسبت به عدم حضور

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.61186/jste.4.1.44]

صفحه جداکننده تحت جریان پالسی گزارش شده است. پیک عدد ناسلت زمانی که صفحه جداکننده در G=۵D ، Z=۰±۰/۷۵D و G=۵D ، Z=۰/۷۵D و G=۰ ، Z=۱/۲۵D و G=۰ ، Z=۰باشد در عدد استروهال ۰/۴ اما در بقیه حالات در عدد استروهال ۰/۲ رخ خواهد داد. زمانی که صفحه جداکننده در جریان نباشد از استروهال پالسی ۰/۴ به بعد ناسلت روند کاهشی داشته است اما هنگامی که صفحه جداکننده استفاده می‌شود عدد ناسلت از مقدار پیک مربوط به خود روند کاهشی داشته و از استروهال ۱/۲ به بعد برای تمام موارد به جز G=۰ ، Z=۰±/۵D و G=۰ ، Z=۰/۵D روند افزایشی داشته است. در این دو مورد از عدد استروهال ۱ به بعد عدد ناسلت سیر صعودی پیدا کرده است و شیب افزایش در عدد ناسلت بسیار بیشتر از بقیه موارد می‌باشد.



شکل ۳- نمودار تغییرات عدد ناسلت سیلندر دایروی بر حسب عدد استروهال در حضور و عدم حضور صفحه جداکننده

فهرست علائم

A	دامنه بی‌بعد جریان پالسی
C_D	ضریب درگ
D	قطر سیلندر$[m]$
f	فرکانس جریان پالسی$[s^{-1}]$
G	فاصله افقی$[m]$
h	ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی$[W.m^{-2}.K^{-1}]$
k	ضریب رسانایی حرارتی$[W.m^{-1}.K^{-1}]$
Nu	عدد ناسلت
P	فشار$[Pa]$
Pr	عدد پرانتل
Q	شارحرارتی جابه‌جایی$[W.m^{-2}]$
Re	عدد رینولدز
st	عدد استروهال
t	زمان$[s]$
T	دوره تناوب$[s]$
T_f	دمای فیلم سیال$[K]$
T_∞	دمای ورودی$[K]$
T_w	دمای دیوار سیلندر$[K]$
U	سرعت $[m.s^{-1}]$
u_∞	مولفه ثابت سرعت$[m.s^{-1}]$
V	سرعت در راستای y $[m.s^{-1}]$
x	مولفه در راستای جریان$[m]$
y	مولفه عمود بر جریان$[m]$
Z	فاصله عمودی $[m]$

علائم یونانی

ρ	چگالی $[kg.m^{-3}]$
μ	ویسکوزیته$[kg.s^{-1}.m^{-1}]$
α	پخشندگی گرمایی$[m^2.s^{-1}]$

منابع

[1] Al-Sumaily GF, Thompson MC. Forced convection from a circular cylinder in pulsating flow with and without the presence of porous media. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2013; 61:226-44.

[2] Al-Sumaily GF, Sheridan J, Thompson MC. Validation of thermal equilibrium assumption in forced convection steady and pulsatile flows over a cylinder embedded in a porous channel. International Communications in Heat and Mass Transfer. 2013; 43:30-8.

[3] Selimefendigil F, Föller S, Polifke W. Nonlinear identification of unsteady heat transfer of a cylinder in pulsating cross flow. Computers & fluids. 2012; 53:1-4.

[4] Selimefendigil F, Öztop HF. Identification of forced convection in pulsating flow at a backward facing step with a stationary cylinder subjected to nanofluid. International Communications in Heat and Mass Transfer. 2013; 45:111-21.

[5] Selimefendigil F, Öztop HF. Numerical study and identification of cooling of heated blocks in pulsating channel flow with a rotating cylinder. International Journal of Thermal Sciences. 2014; 79:132-45.

[6] Huang Z, Zhang W, Xi G. Natural convection in square enclosure induced by inner circular cylinder with time-periodic pulsating temperature. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2015; 82:16-25.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.61186/jste.4.1.44]

[7] Sung HJ, Hwang KS, Hyun JM. Experimental study on mass transfer from a circular cylinder in pulsating flow. International Journal of Heat and Mass Transfer. 1994; 37(15):2203-10.
[8] Perwaiz J, Base TE. Heat transfer from a cylinder and finned tube in a pulsating crossflow. Experimental thermal and Fluid Science. 1992; 5(4):506-12.
[9] Ji TH, Kim SY, Hyun JM. Experiments on heat transfer enhancement from a heated square cylinder in a pulsating channel flow. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2008; 51(5-6):1130-8.
[10] Iwai H, Mambo T, Yamamoto N, Suzuki K. Laminar convective heat transfer from a circular cylinder exposed to a low frequency zero-mean velocity oscillating flow. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2004; 47(21):4659-72.
[11] Steggel N. A numerical investigation of the flow around rectangular cylinders. Doctoral Dissertation, University of Surrey; 1998.
[12] Bouris D, Konstantinidis E. Numerical study of fluid forces and vortex patterns in the wake of a circular cylinder subject to harmonic and non-harmonic inflow velocity perturbations. In IUTAM Symposium on Bluff Body Flows 2011.
[13] Lin YC, Brant DO, Bartlett RH, Hirschl RB, Bull JL. Pulsatile flow past a cylinder: An experimental model of flow in an artificial lung. Asaio Journal. 2006; 52(6):614-23.
[14] Lin YC, Khanafer K, Bartlett RH, Hirschl RB, Bull JL. Pulsatile flow past multiple cylinders: A model study of blood flow in an artificial lung. In 4th Kuala Lumpur International Conference on Biomedical Engineering 2008: BIOMED 2008, Malaysia 2008 (pp. 36-39).
[15] Zdravkovich MM. Review of interference-induced oscillations in flow past two parallel circular cylinders in various arrangements. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 1988; 28:183-99.
[16] Konstantinidis E, Castiglia D, Balabani S, Yianneskis M. On the flow and vortex shedding characteristics of an in-line tube bundle in steady and pulsating crossflow. Chemical Engineering Research and Design. 2000; 78(8):1129-38.
[17] Konstantinidis E, Balabani S, Yianneskis M. A study of vortex shedding in a staggered tube array for steady and pulsating cross-flow. Journal of Fluids Engineering. 2002; 124(3):737-46.
[18] Konstantinidis E, Castiglia D, Balabani S. An experimental study of steady and pulsating cross-flow over a semi-staggered tube bundle. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. 2005; 219(3):283-98.
[19] Liang C, Papadakis G, Luo X. Effect of tube spacing on the vortex shedding characteristics of laminar flow past an inline tube array: a numerical study. Computers & Fluids. 2009; 38(4):950-64.
[20] Konstantinidis E, Balabani S, Yianneskis M. Relationship between vortex shedding lock-on and heat transfer: Implications for tube bundles in cross-flow. Chemical Engineering Research and Design. 2003; 81(6):695-9.
[21] Khaibullina A, Khairullin A, Sinyavin A, Ilin V. Heat transfer at in-line tube bank under low-frequency asymmetrical impulses impact on fluid flow. In EPJ Web of Conferences 2014 (Vol. 76, p. 01004).
[22] Mulcahey TI, Pathak MG, Ghiaasiaan SM. The effect of flow pulsation on drag and heat transfer in an array of heated square cylinders. International Journal of Thermal Sciences. 2013; 64:105-20.
[23] Liang C. Large eddy simulation of the turbulent flow and heat transfer in tube bundles. Doctoral Dissertation, University of London; 2005.
[24] Tiwari S, Chakraborty D, Biswas G, Panigrahi PK. 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. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2005; 48(2):439-53.
[25] Seri SM, Batcha MF, Raghavan VR. Heat Transfer Studies in Tube Banks with Integral Wake Splitters. International Journal of Integrated Engineering. 2009; 1(1).
[26] Chakrabarty SG, Wankhede US. Flow and heat transfer behaviour across circular cylinder and tube banks with and without splitter plate. Nagpur India. 2012.
[27] Dehkordi BG, Jafari HH. On the suppression of vortex shedding from circular cylinders using detached short splitter-plates. Journal of Fluids Engineering. 2010; 132(4): 044501.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.61186/jste.4.1.44]

[28] Oruç V, Akar MA, Akilli H, Sahin B. Suppression of asymmetric flow behavior downstream of two side-by-side circular cylinders with a splitter plate in shallow water. Measurement. 2013; 46(1):442-55.
[29] Qiu Y, Sun Y, Wu Y, Tamura Y. Effects of splitter plates and Reynolds number on the aerodynamic loads acting on a circular cylinder. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2014; 127:40-50.
[30] Assi GR, Bearman PW. Transverse galloping of circular cylinders fitted with solid and slotted splitter plates. Journal of Fluids and Structures. 2015; 54:263-80.
[31] Jayavel S, Tiwari S. Effect of vortex generators and integral splitter plate on heat transfer and pressure drop for laminar flow past channel-confined tube banks. Heat Transfer Engineering. 2010; 31(5):383-94.
[32] Jiji LM, Jiji LM. Heat convection. Berlin: Springer; 2006.
[33] Incropera FP, DeWitt DP, Bergman TL, Lavine AS. Fundamentals of heat and mass transfer. New York: Wiley; 1996.
[34] Liang C, Papadakis G. Large eddy simulation of pulsating flow over a circular cylinder at subcritical Reynolds number. Computers & Fluids. 2007; 36(2):299-312.

[Downloaded from yujs.yu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOI: 10.61186/jste.4.1.44]