بررسی تاثیر صفحه جداگر در رفتار جریان گرما-سیال حول استوانه دایروی محصور در کانال

سيداسماعيل رضوى*	استاد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
بابک عباپور	دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

چکیدہ

در پژوهش حاضر تاثیر طول و زاویه قرارگیری صفحه جداگر متصل به پشت استوانه ی در معرض جریان صلیبی محصور در کانال برای اعداد رینولدز مختلف مورد تحلیل قرار می گیرد. در ابتدا تاثیر وجود صفحه جداگر روی پارامترهای ضریب پسا، افت فشار و انتقال گرما برآورد شده و در ادامه تاثیر طول و زاویه قرارگیری آن نیز بر روی پارامتر های فوق بررسی می گردد. تولید شبکه با نرم افزار GAMBIT انجام شده و معادلات پیوستگی، مومنتوم و انرژی همراه شرایط مرزی مسأله با روش حجم محدود با نرم افزار FLUENT حل شده است. برای گسسته سازی عبارتهای جابجایی و پخش از طرح بالا دست مرتبه دوم و برای پیوند میان سرعت و فشار از الگوریتم PISO استفاده شده است. برای گسسته سازی عبارتهای جابجایی و پخش از طرح بالا دست مرتبه دوم و برای درجه مورد بررسی قرار گرفته است. ضریب پسا با افزایش طول صفحه جداگر از ۲۰/۵ تا ۳ برابر قطر استوانه و زاویه قرارگیری آن از صفر تا از ۱/۵ برابر قطر استوانه انتقال گرما کاهش می یابد. همچنین با افزایش عول صفحه جداگر به طور پیوسته کاهش می یابد و نیز با افزایش طول صفحه جداگر از ۱/۵

واژههای کلیدی: استوانه دایروی، صفحه جداگر، جریان لایهای، معادلات ناویر – استوکس، انتقال گرما.

Investigation on the Effect of an Inclined Splitter Plate on the Hydro-Thermal Behavior Around Circular Cylinder in a Channel

S. E. Razavi	Department of Mechanical Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran
B. Abapour	Department of Mechanical Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Abstract

In this work, the effects of a splitter plate on the hydro-thermal characteristics around a circular cylinder in a channel was studied. The two-dimensional unsteady and incompressible flow and heat transfer was investigated numerically by solving the continuity, x - and y - momentum and energy equations using finite volume methodology by FLUENT. The second order upwind scheme is used to discretize convective and diffusive terms. The resulting algebraic equations are solved by PISO algorithm. The splitter plate length varies from 0.25D to 3D and it's angular position varies from 0° to 45° with Reynolds numbers 600, 800, 1000, 1200 and 1500. With increasing the splitter plate length Drag coefficient decreased continuously and the surface Nusselt number of cylinder is decreased with adding a splitter plate with length more than 1.5D. in this manner by increasing Reynolds number, effect of adding splitter plate decreases.

Keywords: circular cylinder, splitter plate, laminar flow, Navier-Stokes equations, heat transfer.

۱– مقدمه

و یا متصل به استوانه قرارمی گیرد، تغییرات زیادی درمیدان جریان بوجود می آورد.

۱–۱– پیشینه پژوهش

رضوی [۱] و همکاران تاثیر صفحه جداگر در مشخصات جریان گرما-سیال حول استوانه دایروی برای اعداد رینولدز پایین (۲۰ تا بررسی کرده اند. آنها به این نتیجه رسیدند که افزایش طول صفحه جداگر ضریب پسا و انتقال گرما را کاهش می دهد. روشکو [۲] یک سری آزمایشات برروی جریان حول یک استوانه باصفحه جداکننده متصل به آن دررینولدز^۴ ۲۰×۲۵/۱۱نجام داد.او دریافت که صفحه ای به طول 5D مانع ازتشکیل گردابه های متناوب فون کارمن می شود و همچنین نیروی پسای فشاری وارد براستوانه را تا میزان ۶۳٪ پسای فشاری وارد براستوانه بدون صفحه جداکننده با طول 1.14D شمچنین گزارش داده است که صفحه جداکننده با طول 1.14D تشکیل گردابه ها را متوقف نمی کند و باعث افزایش فشار و کاهش عدد استروهال می گردد. او همچنین تاثیر صفحه جداکننده ناپیوسته جریان حول استوانه یکی از بنیادی ترین مسایل مطرح در مکانیک سیالات می باشد که به خاطراهمیت کاربردی و همچنین جذابیت های نظری آن همواره مورد توجه محققان بوده است. جریان صلیبی حول استوانه در اثر تغییرات درمشخصات جریان اصلی و یا هندسه به شدت دچار تغییر می شود. با توجه به کاربردی بودن مساله جریان و انتقال گرما حول استوانه درک کامل این پدیده حایز اهمیت بسیار است. جریان حول استوانه شامل پدیده هایی چون جدایش کرما در استوانه نیز کامل به می باشد. ازسویی دیگر انتقال گرما در استوانه نیز کامل به دینامیک سیال اطراف آن بستگی دارد. سیال ,کشف روابط و کنترل آنها بوده اند تا به اهدافی چون کاهش نیروی پسا, یا افزایش انتقال گرما و یا تغییر رژیم جریان برسند. یکی از این روش ها که برای کنترل جریان حول استوانه استفاده می شود مود استوانه استفاده مراک می باشد. مفحه جداکننده که درجهت جریان و با آرایش ها و شکل های هندسی گوناگونی درحالت منفصل

^{*} نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: razavi@tabrizu.ac.ir تاریخ دریافت: ۹۲/۰۸/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۷/۱۸

به استوانه را که در فواصل مختلفی نسبت به استوانه قرارگرفته بود را بررسى نموده و به يک رابطه غيرخطى بين اين فاصله وخصوصيات جریان رسید. جرارد [۳] فرکانس جاری شدن گردابه ها درجریان صلیبی اطراف استوانه با صفحه جداکننده را در رینولدز^۲۰۰×۲ اندازه گیری نمود.نتایج حاصل کاهش عدداستروهال با افزایش طول صفحه نشان می دادند. با افزایش بیشترطول صفحه تا $1 \ge \frac{l}{n}$ عدد $\frac{l}{n}$ استروهال نیز افزایش پیدا می کرد. اپلت و همکاران [۴] با ترکیب یک صفحه تخت عمود برمسيرجريان(به جای استوانه)و يک صفحه جداکننده موازی با مسیرجریان نشان دادند که صفحات جداکننده با طول کم باعث کاهش زیادی درنیروی پسای وارد براستوانه می شوند.به گونه ای که صفحه ای با طول $\frac{D}{8}$ و D به ترتیب باعث کاهش ۲۷٪ و ۳۲٪ درنیروی پسا می شوند ولی با افزایش طول صفحه تا 8D تغییرات کمی در نیروی پسا روی می دهد. نتایج کار اپلت و همکاران [۴] برروی استوانه باصفحه جداکننده درمحدوده ۲۰۰×C ≥Re≤۱۰ نشان می دهدکه بیشترین کاهش درعدداستروهال با صفحه ای به طول روی می دهد.همچنین با افزودن صفحه جداکننده فرکانس جدایش D گردابه ها دچار کاهش۱۰٪ می شود.آن ها چنین جمع بندی نمودند که صفحات کوچک $1 \ge \frac{l}{\alpha}$ باعث پایدار شدن نقطه جدایش و انتقال آن به سمت پایین دست جریان وکاهش عرض ناحیه دنباله می گردند.صفحات بزرگتر از 1=¹ باعث توقف فعل و انفعال بین لایه های برشی جدا شده گردیده و در نتیجه گردابه ها برروی سطوح صفحه جداکننده تشکیل می شوند. کانگ و همکاران[۵] آزمایشات تجربی برروی جریان و انتقال گرما بر روی یک دسته ازلوله ها که به صورت طولی پره ای درخارج استوانه به آنها نصب شده بودانجام دادند. آنهادریافتندکه با افزودن یک صفحه جداکننده بهبود زیادی در مشخصه های انتقال گرما ایجاد می شود همچنین نتیجه گرفتندکه درافت فشار يكسان افزودن صفحه جداكننده بسيار بهتر از افزايش قطرلوله ها عمل مي كند. پاتانيك [۶] يك تحليل المان محدود برروى جریان و انتقال گرما برروی یک استوانه باصفحه جداکننده انجام داد. نتایج او نیز نشان از بهبود شاخص های انتقال گرما با افت فشار کمتر داشت. اندرسون و همکاران [۷] اثرات صفحه جداکننده برروی جریان اطراف استوانه را درمحدوده ۴۶۰۰۰ کRe=۲۷۰۰ مطالعه کردند. آنها نشان دادند که صفحات جداکننده بدون اینکه در ساختار کلی گردابه ها تغييرخاصي ايجاد نمايند باعث بهبود خواص جريان درناحيه دنباله مي گردند همچنین آنها برای رابطه غیرخطی بین طول صفحه و فرکانس جدایش گردابه ها که روشکو به آن اشاره کرده بود توضیحی ارایه دادند. ناکایاما و همکاران [۸] یک تحلیل LES برروی جریان حول یک جسم با صفحه جداکننده انجام دادند. آنها مکانیزم توقف صدور گردابه ها را به خوبی تخمین زدند همچنین کمیت هایی نظیر عدد استروهال وشدت آشفتگی نیز با موفقیت اندازه گیری شدند.

در پژوهش حاضر جریان حول استوانه همراه با صفحه جداگر در رژیمهای لایهای بررسی میگردد.

۲-۱- معادلات حاکم

معادلات حاکم بر جریان دو بعدی، ناپایا، لزج، لایهای و تراکم ناپذیر، عبارتند از:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial x} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{1}{P_{P}} \left(\frac{\partial^{2} u}{\partial x^{2}} + \frac{\partial^{2} u}{\partial x^{2}}\right) \tag{1}$$

$$\frac{\partial t}{\partial t} - \frac{\partial x}{\partial x} - \frac{\partial y}{\partial y} = -\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)$$
(7)

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

$$x = \frac{x^*}{D}, \ y = \frac{y^*}{D}, \ u = \frac{u^*}{u_{\infty}}$$

 $v = \frac{v^*}{u_{\infty}}, \ P = \frac{P^*}{\rho u_{avg}^2}, \ \theta = \frac{T^* - T_{\infty}}{T_w^* - T_{\infty}}$ (۵)

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

۱-۳- هندسه مسأله و شرایط مرزی

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



دهانه کانال H بوده و استوانه در موقعیت $X_u = 5D$ از ورودی کانال و $X_d = 45D$ از خروجی کانال قرار دارد. ضخامت صفحه جداگر ۱/۰ برابر قطر استوانه است. نسبت طول صفحه جداگر به قطر استوانه مقادیر 2, 3/۰ ۲۰۰ و ۱/۰۰ او L/D=0.25, 0.5, 1, 1.5, 2 در رینولدزهای ۲۰۰۶ و ۱۲۰۰ کار شده است. (طول مشخصه در عدد رینولدز دهانه کانال درنظر گرفته شده است.) نسبت دهانه کانال به قطر استوانه مقدار ثابت E/D=1 است. شرایط عدم لغزش در دیوارههای کانال و سطح استوانه و صفحه جداگر برقرارند. شرط مرزی دما ثابت برای استوانه و صفحه جداگر و شرط عایق برای دیریکله برقرار است و سیال به محیط اتمسفر تخلیه میشود. در ورودی کانال نیز سرعت ورودی با پروفیل توسعه یافته مربوط به جریان لایهای با رابطه زیر اعمال شدهاست.

$$V_{x}(y) = V_{x_{max}}(1 - \left(\frac{y}{H_{2}}\right)^{2}), \frac{H}{2} \le y \le \frac{H}{2}, V_{y} = 0$$
 (8)

۱-۴- شبکهبندی

شکل ۲ بخشی از شبکه تولید شده با مفتول در موقعیت زاویهای ^{°50} را نشان میدهد. برای این هندسه ترکیبی از شبکه با سازمان و بیسازمان بهکار رفتهاست. در نزدیکی استوانه شبکه بندی به اندازه کافی ریز در نظر گرفته شده است که به تعداد ۲۸۶۵۳ سلول وجود دارد.



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

۲- نتایج و بحث

برای بررسی عدم وابستگی جواب ها به شبکه، ۱۴ شبکه با ابعاد مختلف برای حالت استوانه همراه با صفحه جداگر (L/D=1) در موقعیت زاویه ای صفر درجه در رینولدز Rech=1500 مورد تحلیل قرار گرفت. با توجه به گرادیانهای 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 استناد است. شکل ۳ عدد نوسلت متوسط استوانه را در شبکه بندی های مختلف نشان میدهد. همان طوری که ملاحظه می شود جوابها از شبکه دهم به بعد تغییر نمی کند و این نشان دهنده استقلال نتایج از شبکه می باشد.



برای اعتبار دهی به روش عددی حاضر، یک بار نتایج مربوط به عدد نوسلت محلی استوانه ساده درون کانال [۱] و بار دیگر عدد نوسلت متوسط استوانه سادهی آزاد در رینولدزهای مختلف [۹] با تحقیقات قبلی مقایسه شد. مطابق شکل ۴ و ۵ نتایج تطبیق خوبی باهم دارند.





شکل ۵- ضریب پسای فشاری محلی استوانه ساده درون کانال

۲-۱- نتایج برای تغییر طول صفحه جداگر

شکل۶ کانتور دمای استوانه مفتولدار را در موقعیتهای زاویهای مختلف مفتول در دو عدد رینولدز متفاوت نشان میدهد. شکل ۷ عدد استروهال استوانه مفتولدار در موقعیتهای زاویهای مختلف مفتول در رینولدزهای متفاوت نیز آورده شده است.



شکل ۶- کانتورهای دما برای استوانه همراه با صفحه جداگر با طولهای مختلف الف) Re_{ch}=1200 ب) Re_{ch}=600



همان گونه که مشاهده میشود تغییرات طول صفحه جداگر در زاویه ثابت، موجب تغییر الگوی صدور گردابهها شدهاست. با افزایش طول صفحه جداگر، طول ناحیه دنباله افزایش یافته و فرکانس صدور گردابه ها کاهش می یابد و جریان پایدارتر می شود. بطوریکه در رینولدز ۶۰۰ افزودن صفحه جداگر به طول ۳ برابر قطر استوانه جریان حالت یکنواخت به خود می گیرد. همچنین افزایش عدد رینولدز موجب افزایش فرکانس صدور گردابهها شدهاست. بدیهی است که فرکانس تغییرات ضریب برآی استوانه برابر فرکانس صدور گردابهها خواهد بود. شکل ۸ نمودار تغییرات ضریب برآی استوانه ساده را بر حسب زمان فرکانس و همچنین دامنه نوسانات ضریب برآ و درنتیجه صدور گردابهها افزایش مییابد.



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

شكل ۹ نسبت ضریب پسای استوانه همراه با صفحه جداگر به استوانه ساده را در طولهای مختلف صفحه در رینولدزهای مختلف نشان می-دهد. همانطوری که مشاهده می شود ضریب پسای استوانه همراه با صفحه جداکننده همواره کوچکتر از ضریب پسای استوانه ساده می-باشد که این نسبت همواره با افزایش عدد رینولدز کوچکتر می شود. زیرا که با افزایش عدد رینولدز صدور گردابه ها در داخل جریان افزایش یافته و درنتیجه تاثیر صفحه جداگر به سیال پشت استوانه بیشتر می-شود اما در رینولدزهای بزرگتر از ۱۰۰۰ با افزایش نسبت طول به قطر استوانه، نسبت ضرایب پسا ابتدا کاهش یافته اما در بازه > 1می یابد. که این امر می تواند به سبب تغییر الگوی صدور گردابه ها و تغییر فرکانس صدور آنها در این بازه ی طولی از صفحه جداکننده باشد. کاهش رینولدز موجب افزایش ضریب پسا می شود.



حسب موقعیتهای زاویهای مفتول در رینولدزهای مختلف

شکل ۱۰ تغییرات نسبت عدد نوسلت متوسط استوانه همراه با صفحه جداگر به استوانه ساده را در طولهای مختلف صفحه جداگر نشان میدهد. ملاحظه میشود که عدد نوسلت با افزایش عدد رینولدز افزایش یافته و با افزایش نسبت طول صفحه به قطر استوانه تقریبا تا محدودهی 1 > L/D <کاهش یافته و در محدودهی > 1 < L/D < 1محدودهی از ایش یافته و دوباره کاهش میابد. همچنان که در قسمتهای قبل اشاره شد این امر میتواند به سبب تغییر الگوی صدور گردابه ها و تغییر فرکانس صدور آنها در این بازه طولی از صفحه جداکننده باشد.



۲-۲- نتایج برای تغییر زاویه صفحه جداگر

شکل ۱۱ کانتور دمای استوانه همراه با صفحه جداگر در زوایای مختلف قرارگیری صفحه را در دو عدد رینولدز متفاوت نشان میدهد. برای بررسی تاثیر تغییر زاویه قرارگیری صفحه جداگر روی فرکانس صدور گردابهها، شکل ۱۲ عدد استروهال استوانه همراه با صفحه جداگر در زوایای مختلف صفحه در رینولدزهای مختلف نیز آورده شده است.



شکل ۱۱- کانتورهای دمای استوانه همراه با صفحه جداگر با زاویههای مختلف در طول ثابت L=D الف) Re=1200 (الف)



شکل ۱۲- تغییرات عدد استروهال استوانه همراه با صفحه جداگر با زوایای مختلف صفحه در رینولدزهای مختلف

مطابق شکل، با افزایش زاویه قرارگیری صفحه جداگر فرکانس صدور گردابهها ابتدا افزایش و سپس کاهش مییابد.

شکل ۱۳ ضریب پسای استوانه مفتولدار به استوانه ساده را بر حسب موقعیت زاویهای مفتول در قطرهای مختلف و در رینولدز ۸۰۰ نشان میدهد. ملاجظه میشود که ضریب پسای استوانه با صفحه جداکننده با زوایه قرارگیری کمتر از ۳۰ درجه همواره کوچکتر از



شکل ۱۳- نسبت ضریب پسای استوانه همراه با صفحه جداگر به استوانه ساده در زوایای مختلف قرارگیری صفحه در رینولدزهای مختلف

شکل ۱۴ تغییرات عدد نوسلت متوسط استوانه همراه با صفحه جداگر نسبت به استوانه ساده بر حسب زاویه قرارگیری صفحه در رینولدزهای مختلف را نشان می دهد. ملاحظه می شود که عدد نوسلت با افزایش عدد رینولدز در زاویه های مختلف افزایش می یابد و نسبت این عدد در استوانه با صفحه جداکننده به استوانه ساده با افزایش رینولدز کاهش یافته اما با افزایش زاویه صفحه جداکننده تا محدوده ۱۰ درجه به طور نسبی افزایش یافته و تا محدوده ۳۵ درجه تقریبا ثابت مانده و پس از آن کاهش می یابد.



شکل ۱۴- تغییرات عدد نوسلت متوسط استوانه همراه با صفحه جداگر نسبت به استوانه ساده در زوایای مختلف قرارگیری صفحه در رینولدزهای مختلف

۳- نتیجهگیری

به طور کلی افزودن صفحه جداکننده موجب کاهش ضریب پسا می شود. با افزایش زاویه صفحه جداکننده تا زاویه ۳۰ درجه تاثیر زیادی روی ضریب پسای کلی نسبت به استوانه ساده ندارد. اما بعد از این زاویه این ضریب با آهنگ زیادی افزایش مییابد. افزایش طول صفحه جداگر تا محدوده 1>D/L موجب کاهش انتقال حرارت و تا محدوده 1<L/D موجب افزایش آن و پس از آن محدوده دوباره سبب کاهش انتقال گرما میشود که با افزایش عدد رینولدز این رفتار مشخص تر میشود. با افزایش راویه صفحه جداکننده تا ۱۰ درجه انتقال گرما از استوانه افزایش مییابد و تا محدوده ۱۰۶ درجه تقریبا ثابت بوده و پس از آن کاهش می یابد.

- [8] Nakayama Y.H., Noda, LES simulation of flow around a bluff body fitted with a splitter plate, J. Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 85, pp 85-96, 2000.
- [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] Khalighi B., El Tahery, S.H., Haworth D.C. and Hueblers M.S., Experimentals and Computational study of unsteady wake flow behind a Bluff body with Drag reduction Device, SAE paper no. 2001-01B-207.
- [11] Texier A., Bustmante A.S.C., Laurent D., Contribution of a short separating plate on the control of swirling process downstream a half cylinder, J. Experimental and FLUID SCIENCE, Vol. 26, pp 565-572, 2002.
- [12] Hwang J.Y., Yang K.S. Sun S.H., Reduction of Flow induced forces on circular cylinder using a detached splitter, Vol. 8, pp 2433-2436, 2003.
- [13] Zukauskas J. Ziugzda, Heat transfer of a cylinder in cross flow, Hemisphere publishing crop, Washington DC, 1985.
- [14] Ozono S., vortex suppression of a cylinder wake by deflectors, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 91, pp91-99, 2003.
- [15] Akilli H., Rockwell D., Vortex formation from a cylinder in shallow water, J. Physics of Fluids, Vol. 14, pp 2957-2976, 2005
- [16] Mahbub Alam Md., Sakamoto H., Zhou Y., effect of a Tshaped plate on reduction induced forces on two tandem cylinders in a cross-flow, J. Heat and Mass transfer, Vol 48, pp 439-453, 2006.
- [17] Gu F., Wang J.S., Qiao X.Q., Huang Z., Pressure distribution, fluctuating forces and vortex shedding behavior of circular cylinder with rotatable splitter plates, J. Fluid and Structures, Vol. 28, pp 263-278, 2012.

۴–علائم

قطر استوانه	D
طول صفحه جداگر	l
ارتفاع كانال	Н
زاویه قرارگیری صفحه جداگر	А
طول ناحيه بالادست	X_u
طول ناحيه پايين دست	X_d
سرعت در راستای <i>X</i>	V_x
y سرعت در راستای	V_y
عدد رينولدز	Re
عدد نوسلت استوانه مفتول دار	Nu
عدد نوسلت استوانه ساده	Nu_0
عدد استروهال	St
سرعت بی بعد در جهت X	и
سرعت بی بعد در جهت y	ν
دمای بی بعد	θ
فشار بی بعد	Р
ميانگين سرعت پروفيل ورودي	u_{avg}
بیشینه سرعت سیال در توزیع ب	u_{max}
ورودى	

سيال

بروفیل سهموی در

- دمای سیال در ورودی T_{∞}
 - دماي سطح استوانه T_w^* f
 - فرکانس صدور گردابه ها

زمان t Т

گام زمانی ضریب پسای کلی C_D

 C_l

ضريب برآ

کمیت های با بعد *

۵- مراجع

- [1] 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.
- [2] Roshko A., On the wake and drag of bluff bodies, J. Aero. Sci., Vol. 22, pp 124-132, 1954.
- [3] Gerrard J.H., the mechanics of the formation region of vortices behind bluff bodies, J. Fluid Mech, Vol. 25, pp401-413, 1966.
- [4] Apelt C.J., West G.S., Szewczyk A.A., the effects of wake splitter plates on the flow past a circular cylinder in the range $10^4 < Re < 5 \times 10^4$, Journal of Fluid mechanics, Vol 61, pp 187-199.
- [5] Sparrow E.M., Kang S.S., longitudinally-finned cross-flow tubebanks and their heat transfer and pressure drop characteristics, Int. J. Heat and Mass Transfer, Vol.28, pp 339-350, 1985.
- [6] Patanik B.S.V. P., Seatharamu K.N., Aswatha Narayana P.A., Simulation of laminar cofined flow past a circular cylinder with integral wake splitter involving Heat transfer, Int. J. Numer. Methods heat Fluid flow. Vol. 6, pp 65-81, 1996.
- [7] Anderson E. A., Szewczyk A. A., Effect of splitter on the near wake of in circular cylinder in 2 or 3dimensional flow configuration Experiments in fluids, Vol. 23, pp 161-174, 1997.