افزایش بازدهی دسته لوله دایروی با تغییر شکل یک ردیف از لوله‌ها در جریان متلاطم

سمیرا پایان[۱] و فائزه ایمانی[۲]

گروه مهندسی مکانیک

دانشگاه سیستان و بلوچستان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۹/۷؛ تاریخ پذیرش:۱۳۹۵/۹/۱۳)

چکیده

در این مقاله، تحلیل جریان و حرارت از روی دسته‌لوله‌های دایروی استفاده‌شده در مبدل‌های حرارتی مورد مطالعه قرار گرفته است. از نرم‌افزار انسیس ۱۵ برای شبیه‌سازی استفاده شده است. مدل k-Ω SST، به‌منظور شبیه‌سازی جریان متلاطم استفاده شده است. در این مقاله جایگزین‌کردن یک شکل متفاوتی از لوله‌ها در یک ردیف خاص برای افزایش عملکرد آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. رژیم جریان متلاطم بوده و همان‌طورکه می‌دانید اصطکاک تاثیر مهمی در این نوع از رژیم جریان دارد. به این ترتیب تعویض لوله دایروی با لوله بیضوی مورد نظر قرار گرفته است. ضمن اینکه، تنش‌های حرارتی به‌علت تقارن سطح مقاطع دایروی در آن‌ها نسبت به اشکال دیگر کم‌تر است. نتایج حاصل حاکی از افزایش ۲۴٪ کارایی دسته‌لوله دایروی با تغییر شکل ردیف پنجم لوله‌های دایروی با لوله‌های بیضوی با همان قطر هیدرولیکی و مساحت است.

واژه‌های کلیدی: جریان از روی دسته‌لوله‌ها، تغییر شکل یک ردیف از لوله‌ها، افزایش کارایی

Enhancement of Efficiency of Circle Tube Banks Using Change of Shape of Tubes in a Special Row with Turbulent Flow

S. Payan and F. Imani

Mechanical Engineering Department

Sistan and Baluchestan University

(Received:28/November/2015; Accepted:3/December2016)

ABSTRACT

In this paper, analysis of fluid flow and heat transfer over the bank of tubes is considered. k-Ω SST model is applied for simulation of turbulent flow. In this paper, the improvement of efficiency of a bundle of circular tubes by changing the shape of the cross section of one row of the pipes to the elliptical cross section as an innovative plan is considered. As know, friction factor in turbulent flow is very important on efficiency of bank of tubes. Therefore, replacement of elliptic cross section shape in a special row in the bank of circular tubes is considered. Obtained results showed change of tubes in fifth row of the bank of circular tubes with elliptic cross section has been caused 24% increase of efficiency in bank of circular tubes.

Keywords: Flow on Tube Banks, Change of Cross Section of Tubes in a Special Row, Enhancement of Efficiency

۱- استادیار (نویسنده پاسخگو): s_payan_usb@eng.usb.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی: f_imani1371@yahoo.com

فهرست علائم و اختصارات

D	قطر لوله(m)
h	ضریب انتقال حرارت ($Wm^{-2}\ K^{-1}$)
Nu	عدد ناسلت
P	فشار ($kgm^{-1}s^{-2}$)
pr	عدد پرانتل
Re	عدد رینولدز
T	دما (K)
u	سرعت (ms^{-1})

علائم یونانی

μ	چگالی، ($kgm^{-1}s^{-1}$)
ρ	چگالی، kg/m^3

زیرنویس

max	مقدار بیشینه
s	سطح

۱- مقاله

بسیاری از صنایع از گازهای داغ به‌عنوان سیالی که پتانسیل بازیابی حرارتی را دارد استفاده می‌کنند. ری[1] [۱] و بروکس[2] [۲] در مورد این موضوع تحقیق نموده‌اند. همچنین، استهلیک[3] [۳] در مورد انتخاب و طراحی مبدل‌های حرارتی برای کاربردهای صنعتی که سیال عامل در آن گازهای آلوده دودکش صنایع بود، تحقیق نمود. درصورتی‌که این گازها به‌خوبی فیلتر شوند و مشکل رسوب‌گذاری آن‌ها حل گردد، به نحو احسنت می‌توان از آن‌ها در مبدل‌های حرارتی استفاده کرد. یک روش ساده برای افزایش بازدهی انرژی در فرایندهای مختلف، بازیابی گرما از جریان گاز دودکش‌ها و اگزوزها است که برای پیش‌گرم‌کردن جریان گاز سرد ورودی یا دیگر چاه‌های حرارتی می‌توان از آن استفاده کرد. این فرایند باعث ذخیره ۲۰-۲۵٪ انرژی در صنایع مختلف می‌شود. با نصب فیلتر و حذف ذرات از این گازها مثلا در هنگام استفاده در بویلرها از ایجاد ضخامت ۲ میلی‌متری رسوب روی قسمت گاز داغ و کاهش ۵٪ ضریب انتقال حرارت می‌توان جلوگیری کرد.

عموما در مبدل‌های گرمایی فشرده از لوله‌هایی با سطح مقطع دایروی استفاده می‌شود. علت این موضوع دسترسی آسان به این شکل متداول از لوله‌ها و همچنین نسبت انتقال گرما به افت فشار مناسبی است که در هنگام استفاده از آن‌ها وجود دارد. همچنین، از نظر هندسی تمرکز تنش محلی روی آن وجود ندارد و این بدان معنا است که ضخامت دیوار و متناسب با آن مقاومت حرارتی دیواره می‌تواند در کم‌ترین حالت خود باشد. اما مطالعات توسط عبدالهادی[4]، بوریس[5] و زانگ[6] اخیرا" دیگر سطح مقاطع را، به‌خصوص برای کاهش اثر رسوب پیشنهاد می‌کند [۶-۴]. والمزلی[7] و همکاران [۷] به‌طور عددی به بررسی نسبت انتقال حرارت به افت فشار و رسوب-گذاری با ۱۰سطح مقطع متفاوت پرداختند. مقایسه بین اشکال متفاوت درحالی‌که قطر هیدرولیکی و مساحت بر حجم برای انواع آن‌ها ثابت باشد انجام گرفت و نتایج حاصل حاکی از بیش‌ترین افزایش نسبت ضریب انتقال گرما به افت فشار برای سطح مقطع بیضوی با وجود اثر رسوب بود.

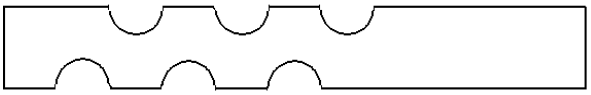
در مقاله حاضر، هدف افزایش کارایی یک دسته‌لوله دایروی با تغییر سطح مقطع یک ردیف از آن‌ها که با بررسی افزایش کارایی مبدل در جایگذاری لوله‌های بیضوی در ردیف‌های مختلف به‌دست آمده است؛ مد نظر است. علت انتخاب سطح مقطع بیضوی در جایگذاری، وجود جریان متلاطم و توانایی این شکل در کاهش بیش‌تر ضریب اصطکاک نسبت به ضریب انتقال حرارت بوده است. از آنجایی‌که با تغییر اندک، تنها با تعویض یک ردیف لوله می‌توان از همان مبدل قبلی استفاده کرد. این روش می‌تواند کارایی زیادی به‌خصوص در بازیابی انرژی داشته باشد.

همچنین، علت مطرح‌کردن این موضوع، کاهش هزینه تعویض کل دسته‌لوله و استفاده از این روش در مبدل‌های ساخته‌شده می‌باشد. طبق اطلاعات نویسندگان تا به حال چنین روشی در طراحی دسته‌لوله‌ها به‌کار گرفته نشده است. بنابراین تعویض یک ردیف لوله با یک شکل هندسی دیگر در ردیف خاص که با داشتن همان قطر هیدرولیکی و مساحت باعث افزایش کارایی دسته‌لوله نیز گردد می‌تواند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد.

۲- تعریف مسئله و معادلات حاکم

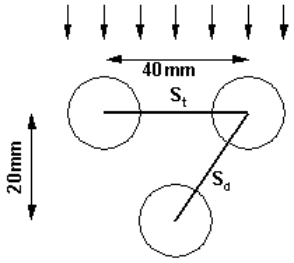
[1] - Reay
[2] - Brookes
[3] - Stehlík
[4] - Abd-Elhady
[5] - Bouris
[6] - Zhang
[7] - Walmsley

دسته‌لوله شکل **۱** را در نظر بگیرید، که لوله‌های دایروی با چیدمان مثلثی در کنار یک‌دیگر قرار گرفته‌اند. همان‌طورکه مشاهده می‌گردد، تعداد ردیف‌های لوله ۶ است که این تعداد در مبدل‌های حرارتی فشرده غالبا استفاده می‌گردد.



شکل (۱): هندسه دسته‌لوله دایروی.

اندازه گام طولی و عرضی، در شکل **۲** نشان داده شده است. قطر لوله‌ها ۲۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. جریان متلاطم بوده و با سرعت مشخص ۱۰m/s بر روی آن‌ها جریان دارد.



شکل (۲): مشخصات هندسی دسته‌لوله دایروی.

هدف جایگذاری یک ردیف از لوله‌های دایروی با لوله‌های با شکل متفاوت در ردیفی متناسب با بیش‌ترین افزایش بازدهی است. از آنجایی‌که نوع جریان متلاطم است، بیش‌ترین تغییر برای افزایش بازدهی در کاهش ضریب اصطکاک است. از این‌رو از سطح مقطع بیضوی برای جایگذاری، استفاده شده است. معادلات حاکم بر جریان معادلات ناویراستوکس هستند که توسط نرم‌افزار حل شده‌اند. مدل متلاطم استفاده‌شده SST k-Ω است، که شرط Yplus بین ۱ تا ۵ برای دقت آن در نظر گرفته شده است. این مقدار برای مقاله حاظر در همه موارد از ۱/۵ تجاوز نمی‌کند. معادلات مومنتوم و انرژی با استفاده از مرتبه دوم بالادست و معادله فشا با استفاده از مرتبه دوم و ۲ معادله برای محاسبه k و Ω با استفاده از مرتبه اول بالادست گسسته‌سازی شده‌اند. الگوریتم محاسباتی مورد استفاده SIMPLE بوده است. ضریب انتقال حرارت با نرم‌افزار که با استفاده از گزینه Facet Average در سربرگ Report محاسبه می‌شود، برای محاسبه عدد ناسلت استفاده‌شده است به این ترتیب که با ضرب میزان ضریب انتقال حرارت متوسط در نسبت قطر لوله بر ضریب هدایت‌پذیری سیال عدد ناسلت متوسط به‌دست می‌آید. مقادیر محاسبه‌شده از نرم‌افزار با مقادیر معادله زیر و همچنین نتایج تجربی کیز و لاندون [۸][8] مقایسه شده است:

$$\overline{Nu} = 0.38\,\mathrm{Re}_{D,\max}^{0.6}\,\mathrm{Pr}^{0.36}\left(\frac{\mathrm{Pr}}{\mathrm{Pr}_s}\right)^{1/4} \qquad (۱)$$

در رابطه بالا، عدد رینولدز بیش‌تر برحسب قطر لوله‌ها (D) و با توجه به سطح مقطع کوچک‌تر که مربوط به گام عرضی و قطری است به‌صورت زیر انتخاب می‌شود.

$$\mathrm{Re}_{D,\max} = \frac{\rho u_{\max} D}{\mu} \qquad (۲)$$

Pr عدد پرانتل است و زیراندیس s مربوط به محاسبه عدد پرانتل در دمای سطح است.

برای مقایسه ضرایب اصطکاک از نتایج تجربی کیز و لاندون [۸] استفاده شده است. ضرایب محاسبه‌شده اصطکاک توسط فشار و محاسبه نیرو در سربرگ Report گزینه Force برای تمام دیواره‌ها محاسبه شده است و گزینه Print نیروهای اصطکاکی و فشاری و نیروی کل و همچنین ضرایب اصطکاک ناشی از ویسکوزیته و همچنین فشار و ضریب مجموع این دو اثر و ضرایب کلی ناشی از هر دو اثر را برای هر لوله محاسبه می‌نماید. اما نتیجه مربوط به ۶ لوله است که با مجموع ضرایب کلی و تقسیم آن‌ها بر تعداد لوله‌ها میزان متوسط ضریب اصطکاک به‌دست می‌آید. این ضریب اصطکاک شامل اثر اصطکاک سطحی و اصطکاک فشاری است. الیته لازم به‌ذکر است که ضریب اصطکاک سطحی به نسبت ضریب اصطکاک فشاری بسیار کم است.

۳- نتایج و بحث

در این قسمت به اعتبار سنجی جریان و حرارت بر روی دسته لولـه و اثر رینولدز و تغییر شکل یک ردیف لوله بر کـارایی آن پرداختـه مـی شود.

۳-۱- اعتبار سنجی و استقلال شبکه

اعتبارسنجی و استقلال شبکه برای سرعت ورودی ۱۰ m/s و عدد رینولدز ۲۳۰۸۶/۶ محاسبه شده است. دمای سیال ورودی

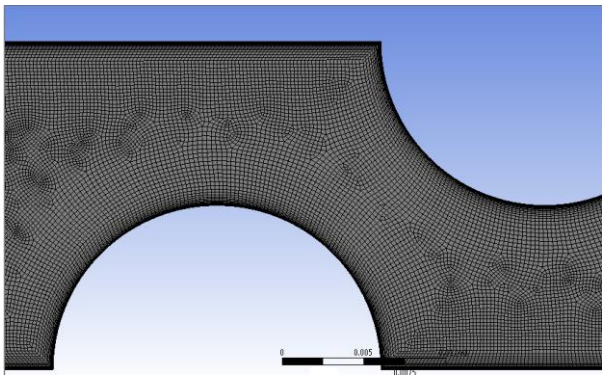
[8]-Kays and London

۳۵۰ و دمای سطح لوله‌ها ۳۰۰ در نظر گرفته شده است. نتایج استقلال شبکه و اعتبارسنجی در جدول **۱** خلاصه شده است.

همان‌طورکه مشخص است درصد خطا بین عدد ناسلت با رابطه (۱)، ۲۰٪ و با مرجع [۸]، ۱.۶٪ است. همچنین، خطای ضریب اصطکاک با مرجع [۸]، کم‌تر از ۵٪ می‌باشد. با مقایسه نتایج نرم‌افزار با نتایج تجربی مشخص شد که خطاهای به‌دست آمده در بازه قابل قبولی قرار دارد. نمونه‌ای از شبکه مورد استفاده در شکل **۳** نشان داده شده است.

جدول (۱): نتایج استقلال شبکه و اعتبارسنجی برای سرعت ورودی ۱۰ m/s در دسته لوله دایروی.

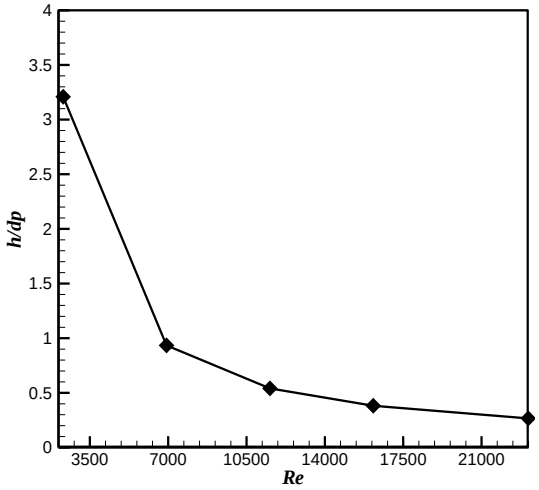
تعداد سلول‌ها	عدد ناسلت نرم‌افزار	عدد ناسلت رابطه (۱) و [8]	ضریب اصطکاک نرم‌افزار	ضریب اصطکاک [8]×100
۱۰۰۱۶۹	۱۱۰/۸۸۳	۱۳۸/۷و۷/ ۱۱۲	۰/۰۴۳	۴/۵
۱۴۱۸۲۹	۱۱۰/۸۸۸		۰/۰۴۳	
۱۸۲۱۶۳	۱۱۰/۹۹۵		۰/۰۴۳	
۳۹۲۹۷۵	۱۱۰/۶۷۰		۰.۰۴۳	



شکل (۳): شبکه مورد استفاده در نرم‌افزار برای دسته‌لوله دایروی.

۳-۲- اثرعدد رینولدز بر کارایی مبدل

در این قسمت اثر عدد رینولدز بر روی کارایی یک دسته‌لوله دایروی مورد بررسی قرار گرفته است. علت این بررسی دانستن این موضوع است که افزایش کارایی در چه عدد رینولدزی حائز اهمیت بیش‌تری است تا پس از بررسی این موضوع به افزایش کارایی در آن عدد رینولدز پرداخته شود. به‌منظور بررسی و تصمیم‌گیری در این خصوص لازم است از اعداد با بعد استفاده گردد، زیرا با افزایش سرعت علی‌رغم افزایش افت فشار ضریب اصطکاک به‌واسطه وجود توان دوم سرعت در مخرج کاهش را نشان می‌دهد و معیار مناسبی برای تصمیم‌گیری نمی‌باشد، لذا برای تصمیم‌گیری در این خصوص از نسبت h/dp استفاده شده است. نتایج به‌دست آمده از این بررسی در شکل **۴** نشان داده شده است.



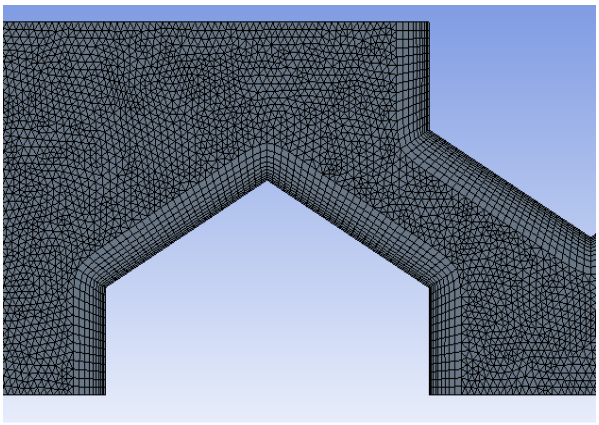
شکل (۴): اثر عدد رینولدز بر کارایی مبدل حرارتی.

همان‌طورکه مشخص است، با افزایش عدد رینولدز تاثیر افزایش افت فشار از افزایش ضریب انتقال حرارت بیش‌تر بوده و نسبت h/dp که نماینده کارایی مبدل است کاهش می‌یابد. در نتیجه بررسی افزایش کارایی در عدد رینولدز بالا که در اینجا آخرین عدد رینولدز مورد بررسی ۲۳۰۸۶ است از اهمیت بیش‌تری برخوردار است.

۳-۳- اثر تغییر شکل کل لوله‌ها در دسته‌لوله

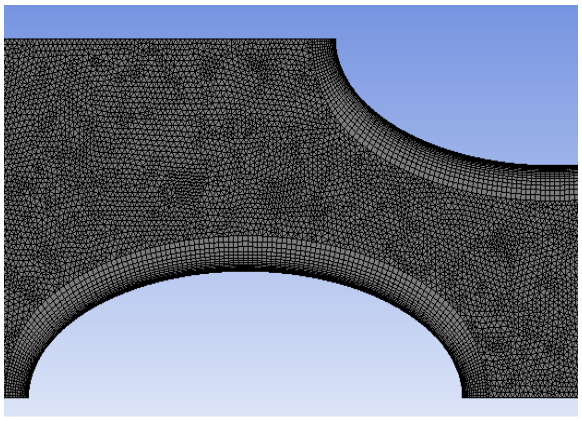
قبل از بررسی جایگذاری یک ردیف لوله دو سطح مقطع متفاوت اما شبیه دایره یکی با تغییرات شدید یا گوشه‌های زیاد و دیگری یک سطح با تغییر تدریجی یا بدون گوشه بررسی شده است. سطح مقطع اولی ۶ ضلعی منتظم که سطح صاف آن در جهت جریان قرار دارد و دیگری سطح بیضوی با همان مساحت و قطر هیدرولیکی دایره است. نتایج فلوئنت نشان‌دهنده افزایش کارایی سطح مقطع بیضوی نسبت به سطح مقطع دایروی به‌علت کاهش بیش‌تر ضریب اصطکاک نسبت به ضریب انتقال حرارت است. اما همان‌طورکه انتظار می‌رفت

اگرچه ضریب انتقال حرارت در سطح مقاطع شش‌ضلعی به‌علت ایجاد تلاطم بالاتر است، اما نسبت افزایش ضریب اصطکاک نسبت به ضریب انتقال حرارت کم‌تر و از این‌رو بازدهی نسبت به حالت دایروی کاهش یافته است. شکل شبکه‌بندی مورد استفاده در هر دو سطح مقطع در اشکال **۵ و ۶** نشان داده شده است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، شبکه مورد استفاده ترکیب شبکه لایه مرزی در نزدیکی جسم جامد و شبکه مثلثی برای مطابقت بیش‌تر جریان با شبکه با توجه به ماهیت جریان انتخاب شده است.



شکل (۵): بخشی از شبکه مورد استفاده در سطح مقطع شش‌ضلعی.

همچنین خلاصه‌ای از نتایج به‌دست آمده در جدول **۲** به‌منظور مقایسه کارایی دسته‌لوله دایروی با بیضوی و شش‌ضلعی آورده شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، از جایگذاری سطح مقطع بیضوی در یک ردیف از دسته‌لوله دایروی استفاده شده است.



شکل (۶): بخشی از شبکه مورد استفاده در سطح مقطع بیضوی.

جدول (۲): مقایسه بازدهی دسته‌لوله دایروی با شش‌ضلعی و بیضوی.

هندسه	$(Nu/f)^*=(Nu/f)_{any\ geometry}/(Nu/f)_{cylinder}$
بیضوی	۲/۷
دایروی	۱/۰
شش‌ضلعی	۰/۶۳

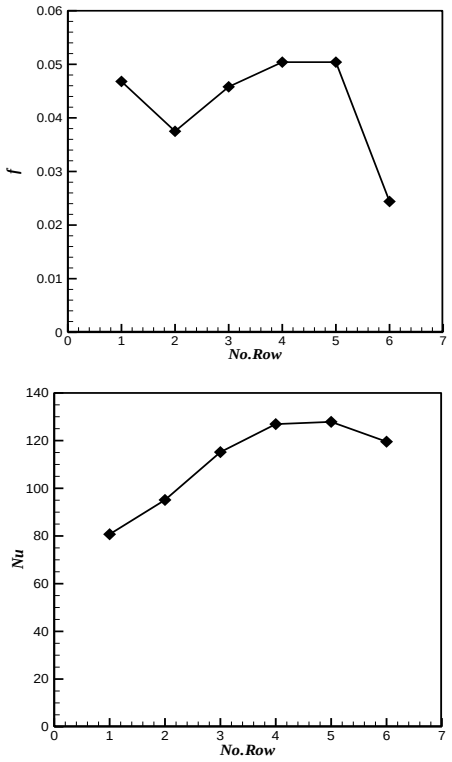
۳-۴- جایگذاری یک ردیف لوله با شکل بیضوی در دسته‌لوله دایروی

با بررسی یک دسته‌لوله با ۶ ردیف لوله و مشخصات بیان‌شده در قسمت تعریف مسئله که از تکرار آن‌ها در این قسمت صرفنظر شده است به بررسی بهبود عملکرد یک دسته‌لوله دایروی پرداخته شده است. همان‌طورکه از نمودارهای شکل **۷** مشخص است، بیش‌ترین ضریب اصطکاک و انتقال حرارت در ردیف ۵ اتفاق می‌افتد.

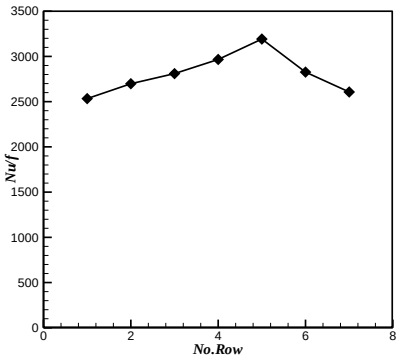
بنابراین به احتمال زیاد با جایگذاری لوله‌های بیضوی در این ردیف بیش‌ترین افزایش بازدهی نسبت به دیگر ردیف‌ها ظاهر می‌شود. نتایج حاصل از نرم‌افزار همان‌طورکه از شکل **۸** مشخص است حدس نویسندگان مقاله را تایید کرد. ردیف ۷ که در شکل **۸** نشان داده شده است نماینده نسبت عدد ناسلت به ضریب اصطکاک برای دسته‌لوله دایروی با وجود لوله‌های دایروی در تمام ردیف‌ها است.

خطوط همتراز دما، سرعت و فشار در ۶ حالت مورد بررسی به‌ترتیب در شکل‌های **۱۱-۹** نمایش داده شده است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، در تمام حالات سیال در زمان برخورد با سطوح بیش‌ترین حرارت را دارد و با گذشتن از روی سطح دمای خود را از دست می‌دهد و در اثر برخوردهای متوالی، این توالی باعث کاهش دما از ابتدای ورود به دسته‌لوله تا انتهای آن شده است. در حالت اول که لوله بیضوی در ردیف اول قرار گرفته است، مانع از ایجاد تلاطم در دسته‌لوله شده و از افزایش انتقال حرارت جلوگیری می‌کند، اما با توجه به مشخصات آیرودینامیکی مناسب‌تر از افت فشار نیز جلوگیری می‌کند اما این تغییر در افت فشار زیاد نیست، زیرا جریان

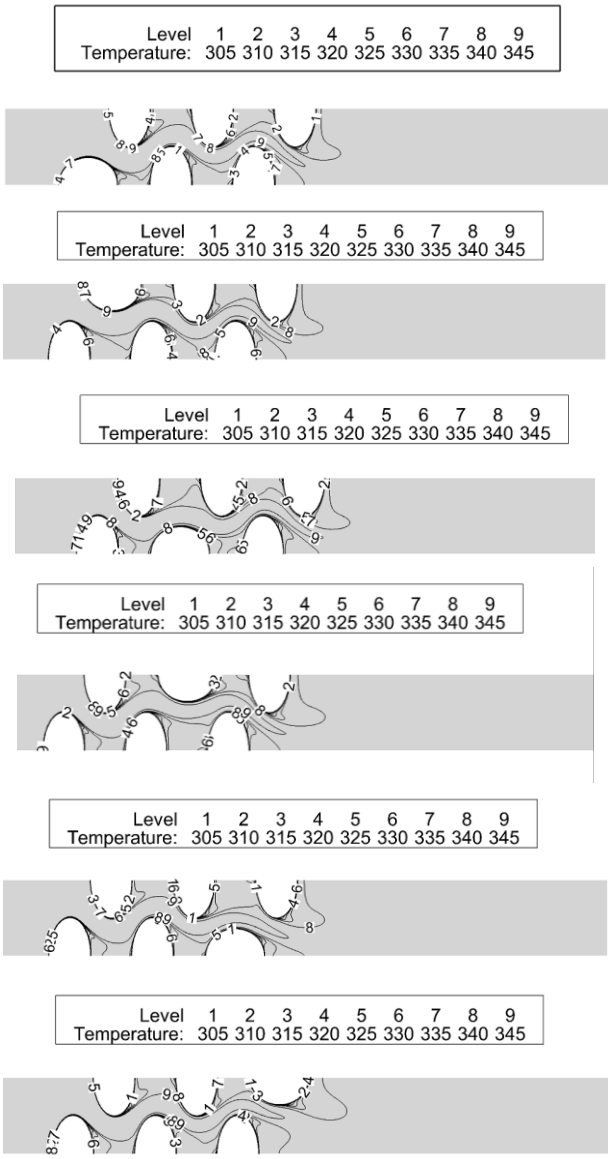
می‌بایست مسیر طولانی را تا انتهای لوله‌ها طی کند، بنابراین این ردیف تاثیر چندانی در کاهش افت فشار و در نتیجه ضریب اصطکاک ندارد. این نتیجه از نمودار سرعت نیز مشخص می‌شود. سیال در هنگام برخورد به سطح بیضوی باید مسیر بیش‌تری را طی کند، در نتیجه سرعت سیال در هنگام برخورد به ردیف‌های دیگر کاهش یافته و این امر موجب کاهش ضریب انتقال حرارت می‌شود. نمودارهای فشار حاکی از اثر بیش‌تر جدایش یا ایجاد و یک نسبت به اصطکاک سطحی بر روی افت فشار می‌باشد. همان‌طورکه می‌دانید ردیف اول دسته‌لوله‌ها مثل یک متلاطم‌کننده عمل می‌کنند، بنابراین تلاطم جریان بر روی دسته‌لوله‌های ردیف سوم تا پنجم بیش‌تر شده و اثر اصطکاک بر روی آن‌ها بیش‌تر است. در نتیجه تاثیر سطح در این ردیف‌ها بر افت فشار بیش‌تر خواهد بود که این موضوع در اشکال توزیع فشار مشخص است. همان‌طورکه از توزیع فشار حول استوانه ردیف ۵ یر می‌آید فشار حول این ردیف به کم‌ترین مقدار در اکثر نقاط آن تسری یافته است. همچنین، این موضوع باعث افزایش سرعت در اکثر نقاط این ردیف شده است.



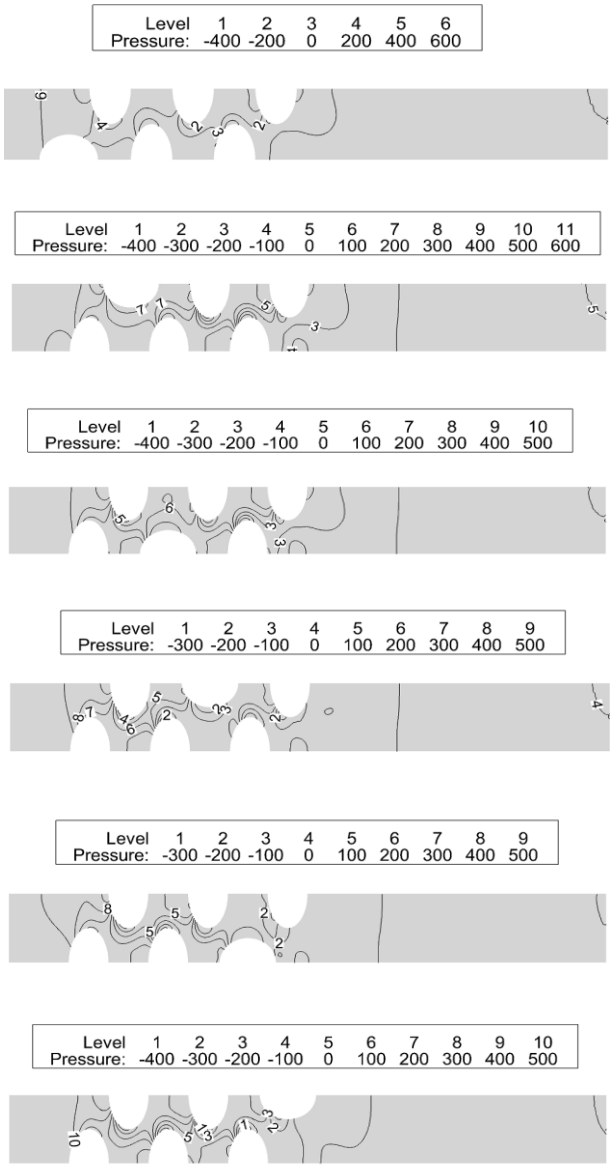
شکل (۷): الف)نمودار ضریب اصطکاک برحسب ردیف لوله و ب) نمودار عدد ناسلت برحسب ردیف لوله در دسته‌لوله دایروی.



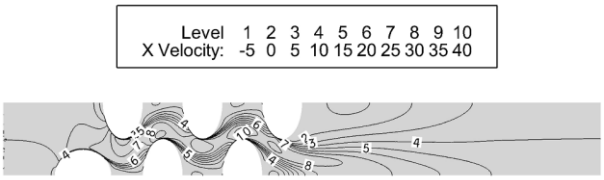
شکل (۸): نمودار نسبت عدد ناسلت به ضریب اصطکاک برای جایگذاری سطوح بیضوی در ردیف‌های مختلف.

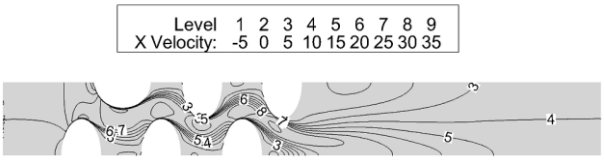


شکل (۹): خطوط همترازهای دما در هنگام جایگذاری یک ردیف لوله بیضوی در ردیف‌های مختلف از دسته‌لوله دایروی.

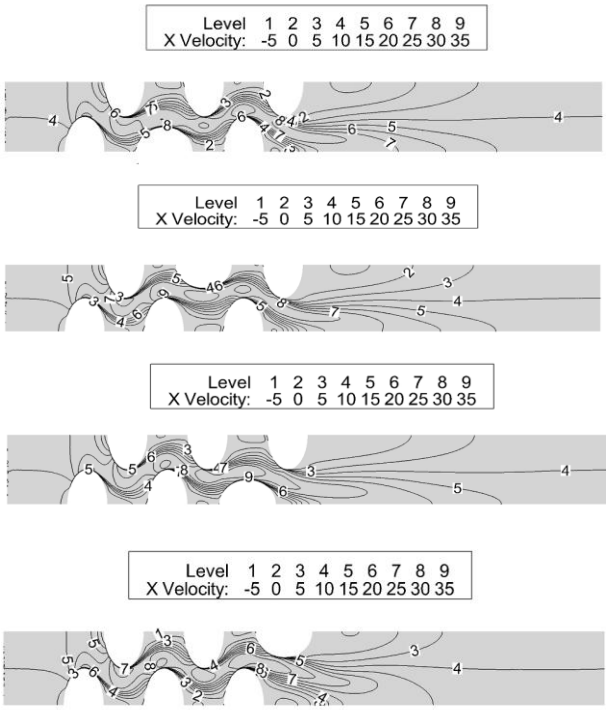


شکل (۱۰): خطوط همترازهای فشار در هنگام جایگذاری یک ردیف لوله بیضوی در ردیف‌های مختلف از دسته‌لوله دایروی.





شکل (۱۱): خطوط همترازهای سرعت در هنگام جایگذاری یک ردیف لوله بیضوی در ردیف‌های مختلف از دسته‌لوله دایروی.



شکل (۱۱): ادامه شکل.

جدول (۳): مقدار عدد ناسلت، ضریب اصطکاک، نسبت عدد ناسلت به ضریب اصطکاک و میزان افزایش بازدهی دسته‌لوله دایروی.

ردیف جایگذاری	Nu	f	Nu/f	٪افزایش کارایی
۱	۱۰۶/۸۳۴	۰/۰۴۲	۲۵۴۳/۶۷	–
۲	۱۰۷/۲۲۰	۰/۰۴۰	۲۶۸۰/۵۰	۰۳/۹۴
۳	۱۰۶/۵۵۲	۰/۰۳۸	۲۸۰۴/۰۰	۰۸/۷۳
۴	۱۰۷/۳۰۳	۰/۰۳۶	۲۹۸۰/۶۴	۱۵/۵۸
۵	۱۰۸/۸۱۵	۰/۰۳۴	۳۲۰۰/۴۴	۲۴/۱۱
۶	۱۱۰/۸۶۶	۰/۰۳۹	۲۸۴۲/۷۲	۱۰/۲۳
۰	۱۱۰/۸۸۸	۰/۰۴۳	۲۵۷۸/۷۹	۰/۰۰

جدول (۴): مقدار ضریب انتقال حرارت، افت فشار، نسبت

ضریب انتقال حرارت به افت فشار و میزان افزایش بعددار بازدهی دسته‌لوله دایروی.

ردیف جایگذاری	h	dp	h/dp	٪افزایش کارایی
۱	۱۶۰/۲۵۰	۶۲۶/۸۱۳	۰/۲۵۶	-
۲	۱۶۰/۸۳۰	۵۹۰/۶۱۲	۰/۲۷۲	۰۱/۸۷
۳	۱۵۹/۸۲۹	۵۶۳/۴۷۱	۰/۲۸۴	۰۶/۱۰
۴	۱۶۰/۹۵۴	۵۳۶/۶۹۰	۰/۳۰۰	۱۲/۲۰
۵	۱۶۳/۲۲۳	۵۰۷/۳۹۶	۰/۳۲۲	۲۰/۳۴
۶	۱۶۶/۲۹۹	۵۸۵/۱۴۴	۰/۲۸۴	۰۶/۳۲
۰	۱۶۶/۴۳۳	۶۲۲/۶۱۶	۰/۲۶۷	۰/۰۰

مقدار عدد ناسلت، ضریب اصطکاک، نسبت این ضرایب و همچنین درصد افزایش کارایی برای جایگذاری ردیف‌های مختلف با سطح مقطع بیضوی در جدول **۳** نشان داده شده است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، با جایگذاری لوله بیضوی در ردیف اول نه تنها افزایشی در بازدهی ظاهر نشده است، بلکه این جایگذاری به‌علت جای نامناسب باعث کاهش بازدهی نیز شده است. اما با تغییر این جایگذاری در ردیف‌های بعدی به‌ترتیب تا ردیف ۵ افزایش ۴ الی ۲۴ درصدی مشاهده می‌گردد. اما این افزایش در ردیف ۶ کاهش چشم‌گیری پیدا کرده است و به مقدار ۱۰ درصد رسیده است. ردیف آخر جدول، نتایج دسته‌لوله تمام دایروی را نشان می‌دهد. بنابراین تنها با تغییر یک ردیف لوله با شکل بیضوی در ردیف ۵ به کارایی ۲۴٪ مبدل حرارتی دست خواهیم یافت.

همچنین، نتایج بعددار که در جدول **۴** نشان داده شده است حاکی از افزایش بیش از ۲۰٪ کارایی به‌صورت بعددار در ردیف ۵ می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی بهبود کارایی یک دسته‌لوله دایروی تنها با تغییر شکل سطح مقطع یک ردیف لوله از دسته‌لوله دایروی به سطح مقطع بیضوی به‌عنوان یک روش ابتکاری پرداخته شده است. علت این بررسی استفاده از دسته‌لوله‌های مرسوم دایروی در صنعت و کاهش هزینه ساخت و نصب مجدد است. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که با جایگذاری لوله‌های بیضوی در ردیف ۵ از یک دسته‌لوله ۶ ردیف دایروی با همان قطر هیدرولیکی و مساحت بر واحد حجم به ۲۴٪ بهبود بازدهی می‌توان دست یافت. علت جایگذاری در ردیف ۵ بیش‌ترین مقدار عدد ناسلت و به‌خصوص ضریب اصطکاک در این ردیف بیان شد. با اطلاع از این‌که هم‌اکنون در کشورهای خارجی به‌منظور کاهش در هزینه ساخت و نصب مجدد بر روی تکنولوژی‌های پیشرفته به‌منظور تعویض و تعمیر یک ردیف معیوب و یا یک لوله معیوب تلاش‌های زیادی صورت گرفته و می‌گیرد. می‌توان از پیشنهاد بیان‌شده در این مقاله جهت بهبود کارایی مبدل‌های ساخته‌شده با یک شکل خاص که شامل ترکیب مناسبی از اشکال مختلف لوله‌ها است استفاده نمود.

۵- مراجع

1. Reay, D. "A Review of Gas-Gas Heat Recovery Systems", J. Heat Rec Syst, Vol. 1, No. 1, pp. 30-41, 1980.
2. Brookes, G. and Reay, D. "Comparative Merits of Heat Recovery Equipment", J. Heat Rec Syst, Vol. 2, No. 1, pp. 31-36, 1980.
3. Stehlík, P. "Conventional Versus Specific Types of Heat Exchangers in the Case of Polluted Flue Gas as the Process Fluid – A Review", Appl. Ther. Eng, Vol. 31, No. 1, pp. 1-13, 2011.
4. Abd-Elhady, M.S., Rindt, C.C.M. and Van Steenhoven, A.A. "Influence of the Apex Angle of Cone-Shaped Tubes on Particulate Fouling of Heat Exchangers", Heat Transfer Eng Vol. 32, No's. 3-4, pp. 272-281, 2011.
5. Bouris, D., Konstantinidis, E., Balabani, S., Castiglia, D. and Bergeles, G. "Design of a Novel, Intensified Heat Exchanger for Reduced Fouling Rates", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 48, No. 18, pp. 3817-3832, 2005.
6. Zhang, G., Bott, T.R. and Bemrose, C.R. "Reducing Particle Deposition in Air-Cooled Heat Exchangers", Heat Transfer Eng, Vol. 13, No. 2, pp. 81-87, 1992.
7. Walmsley, T.G., Walmsley, M.R.W., Atkins, M.J., Hoffman-Vocke, J. and Neale, J.R. "Numerical Performance Comparison of Different Tube Crosssections for Heat Recovery from Particle-Laden Exhaust Gas Streams", Procedia Engineering, Vol. 42, pp. 1351-1364, 2012.
8. Kays, W.M., London, A.L. "Compact Heat Exchangers", Malabar, FL: Krieger Pub. Co, 1986.