

مطالعه تجربی اثر تغییرات سطح برای کاهش

درگ در یک مبدل حرارتی با چیدمان مثلثی

هدف از این مطالعه بررسی اثر تغییرات سطح برای کاهش ضریب درگ در یک مبدل حرارتی با چیدمان مثلثی به کمک روش تجربی است. نسبت فاصله به قطر لوله ها و همچنین عدد رینولدز به ترتیب در محدوده $2 < \frac{L}{D} < 4$ و $5,2 \times 10^4 < Re < 6,9 \times 10^4$ می باشد. از پوست کوسه به عنوان تسریع کننده سطح استفاده شده است. نتایج نشان می دهد که ضریب نیروی درگ لوله های دارای تسریع کننده سطح به میزان ۱۴/۵ تا ۲۵/۴ درصد کاهش یافته است. بیشترین کاهش ضریب درگ برای هر سه لوله در عدد رینولدز ۶۹۹۲۰ و در نسبت فاصله به قطر ۲ است.

علی نجف خانی^۱

دانشجوی دکترا

آرش میرعبداله لواسانی^۲

دانشیار

مهدی زکی زاده^۳

دانشجوی دکترا

واژه های راهنما: ضریب درگ، ضریب فشار، پوست کوسه، مبدل حرارتی، چیدمان مثلثی

۱- مقدمه

گرایشی از طراحی وجود دارد که از رفتار بیولوژیکی طبیعت الهام گرفته و به نام علم تقلید حیاتی شناخته می شود. با مطالعه و درک مکانیزم پدیده ها، امکان بازسازی و الگو برداری از آن ها وجود دارد تا در اهداف مختلفی از آن ها استفاده کرد. طبیعت راه هایی برای کاهش نیروی درگ در جریان سیال در حرکت ماهی، دلفین و کوسه ها را نشان داده است. کوسه از حیواناتی است که از پوست آن الگو برداری شده است. ریبلیت های روی پوست کوسه، این دندان های پوستی زبر نه تنها عاملی بر کاهش سرعت کوسه نمی شود، بلکه باعث افزایش سرعت کوسه در هنگام حرکت و نیز محافظت بیشتر از او شده است. مطالعات متعددی در خصوص پوست کوسه انجام شده است. از اولین تحقیقات در زمینه بررسی اثر تسریع کننده سطح در تونل آب توسط والش [۱] در سال (۱۹۸۳) انجام گرفت که او در تونل آب با بررسی ریبلیت های مصنوعی کاهش ضریب درگ را در حدود ۸ درصد بدست آورد.

^۱دانشجوی دکترا، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران

^۲نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران arashlavasani@iauctb.ac.ir

^۳دانشجوی دکترا، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۱۴، تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۴/۲۶

بچرت [۲] در سال (۱۹۹۷) با ساخت یک وسیله با الگوبرداری از ریبلت ها که دارای دو صفحه شیاردار بود که یکی از آنها متحرک و دیگری ثابت بود، توانست با تست خود در تونل آب کاهش ضریب درگ ۹/۹ درصد را ثبت کند. هن و همکاران [۳] در سال (۲۰۰۸) با قرار دادن ریبلت طبیعی در داخل تونل آب، بهبود ۸ درصد را شاهد بود. زیرژانگ و لوو [۴] در سال (۲۰۱۱) با کشیدن پوست کوسه طبیعی روی بدنه یک موشک زیر دریایی در تونل آب، ضریب کاهش درگ ۷ تا ۱۴ درصد را مشاهده کردند. ژانگ و همکاران [۵] در این سال با یک پژوهش عددی در یک نرم افزار مدل ریبلت را شبیه سازی کردند و کاهش ضریب درگ ۱۱ درصد را بدست آورد و در پژوهشی دیگر [۶] بار دیگر در همین سال، با تحقیق در زمینه روش کاهش درگ مصنوعی و تست کردن آن در تونل آب کاهش ضریب درگ ۲۴/۶ درصد، حاصل تلاش آنها شد.

لیوناردو و همکاران [۷] در سال (۲۰۱۳) با کشیدن یک پوست کوسه طبیعی روی یک ایرفویل (پره توربین) را در تونل باد مورد بررسی قرار داد و اعلام نمود که میزان کاهش ضریب درگ به میزان اندازه ریبلت ها نیز بستگی دارد و ۶ درصد کاهش درگ را مشاهده نمود. مارتین و بهوشان [۸] در سال (۲۰۱۶) با الگو برداری و بهینه سازی ریبلت موجود بر سطح پوست کوسه جهت کاهش نیروی درگ، در بهترین حالت کاهش نیروی درگ تا ۱۱/۴ درصد را به ثبت رساندند.

لوو و همکاران [۹] در همین سال با طراحی یک مدل سه بعدی ریبلت و شبیه سازی در نرم افزار، کاهش نیروی درگ ۸/۸۹ درصد را بدست آورد. پن و همکاران [۱۰] در سال (۲۰۱۳) نشان داد با استفاده از یک تسریع کننده در تونل آب، ضریب درگ ۱۱ درصد کاهش می یابد. ون و همکاران [۱۱] در سال (۲۰۱۴) در یک پژوهش با استفاده از یک مدل مصنوعی، ریبلت منعطف را در یک تونل آب شبیه سازی کردند، نتایج آنها کاهش ۶/۶ درصد ضریب درگ را نشان داد. لو و همکاران [۱۲] در سال (۲۰۱۴) با تهیه یک مدل دیجیتالی ریبلت با قابلیت تغییر در زاویه آن، در بهترین حالت زیر ۱۲/۵ درصد کاهش ضریب درگ در محاسبات نرم افزاری را به ثبت رساندند. چن و همکاران [۱۳] در همین سال با انتقال ماده ای پلیمری به وسیله یک دستگاه بر روی دو دیواره موازی هم در تونل آب، کاهش ضریب درگ را به ۶۰ درصد رساندند. لوو و همکاران [۱۴] در سال (۲۰۱۵) با کشیدن پوست کوسه در تونل آب، کاهش ضریب درگ ۱۲ تا ۱۴ درصد را به ثبت رساندند. فو و همکاران [۱۵] در سال (۲۰۱۷) به بررسی کامل انواع دلایل کاهش نیروی درگ در دریا با الهام گرفتن از ریبلت موجود روی پوست کوسه پرداخته و به ارائه دیدگاه های جدید برای بهبود معیارهای فعلی ارزیابی کاهش نیروی درگ می پردازد. در خصوص چیدمان سه لوله لام و چونگ [۱۶] در سال (۱۹۸۸) نشان دادند رفتار جریان روی سه لوله نسبت به دو لوله متفاوت می باشد. چیدمان سه لوله مثلثی یک الگو ساده تری از چیدمان بانک های لوله می باشد و این امکان را می دهد تا با مطالعه در این زمینه، راحت تر رفتار پیچیده جریان در بانک لوله ها بررسی گردد.

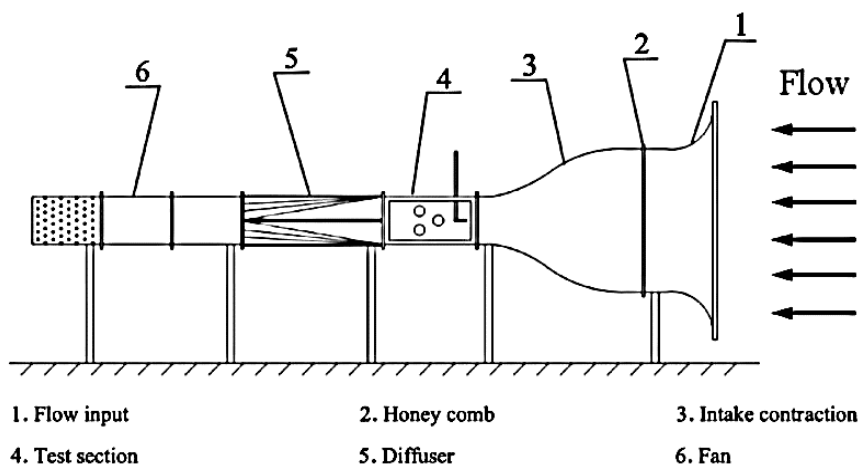
تاتسونو [۱۷] در سال (۱۹۸۸) چیدمان مثلثی ۳ سیلندر در جریان عرضی را بررسی کرد و اعلام داشت که تداخل جریان با نسبت فاصله پایین، بیشتر از نسبت فاصله بالا می باشد. گو و همکاران [۱۸] در سال (۲۰۰۱) تحقیقات در چیدمان مثلثی برای عدد رینولدز ۱۴۰۰۰ برای حالات مختلف نسبت فاصله، مورد بررسی قرار دادند. پوریوسفی و همکاران [۱۹] در سال (۲۰۱۱) ضرایب فشار و درگ برای گروه سه استوانه دایروی در جریان عرضی را بررسی کردند.

کاهش نیروی درگ از لحاظ تغییر شکل ظاهری لوله دایروی، لواسانی و همکاران [۲۰] در سال (۲۰۱۴) در یک آزمایش تجربی از بانک لوله های بادامک شکل در مبدل های حرارتی استفاده کرده و اعلام داشتند که بیشترین ضریب فشار برای ردیف جلو و کمترین ضریب فشار برای ردیف های عقب بانک لوله ها است و نیروی درگ در تمامی حالت ها کاهش پیدا نمود. در پژوهشی دیگر ژو و همکاران [۲۱] در سال (۲۰۱۵) در آزمایشی تجربی ایجاد شیار در راستای طولی روی سطح لوله دایروی نموده و کاهش ۲۰ درصدی نیروی درگ را به ثبت رساندند.

در مطالعه حاضر، ابتدا ضریب فشار و سپس ضریب نیروی درگ برای چیدمان مثلثی با سه نسبت فاصله ۳،۲ و ۴ در اعداد رینولدز ۵۱۶۸۰، ۶۰۸۰۰ و ۶۹۹۲۰ یکبار بدون پوشش پوست کوسه و بار دیگر با پوشش پوست کوسه به صورت تجربی در یک تونل باد مادون صوت دارای اتاق آزمون بسته مورد بررسی قرار گرفت.

۲- دستگاه آزمایش

آزمایشات در یک تونل باد مادون صوت مدار باز با اتاق آزمون بسته انجام شد. سرعت فن تونل با کنترل محرک الکترونیکی قابل تغییر از ۵ تا ۲۰ متر بر ثانیه است. نمای شماتیک دستگاه تونل باد در شکل (۱) و همچنین مشخصات و ابعاد دستگاه تونل باد مورد استفاده در جدول (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- نمای شماتیک و اجزای تونل باد

جدول ۱- ابعاد دستگاه تونل باد

بخش	ابعاد (میلی متر)
طول کلی دستگاه	۵۸۰۰
ماکزیمم پهنای تونل	۱۵۰۰
سطح مقطع اتاق آزمون	۴۰۰×۴۰۰
طول اتاق آزمون	۸۰۰
دهانه ورودی تونل	۱۵۰۰×۱۵۰۰
قطر دهانه خروجی تونل	۸۰۰

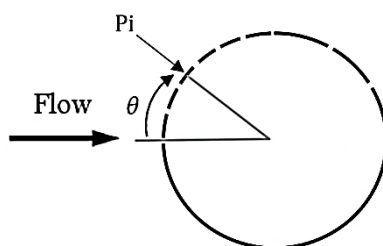
۳- مدل آزمایش

برای اندازه گیری توزیع فشار روی محیط لوله های دسته لوله از لوله های مسی با قطر و طول به ترتیب $41/5$ میلی متر و 42 سانتی متر استفاده شد. تعداد 10 سوراخ روی لوله ها از زاویه صفر تا 180 درجه مطابق شکل (۲) به قطر خارجی 3 میلی متر ایجاد گردید. بر روی هریک از لوله ها در هر آزمایش پوسته کوسه تازه به ضخامت حدود $0/5$ میلی متر تهیه و کشیده شد.

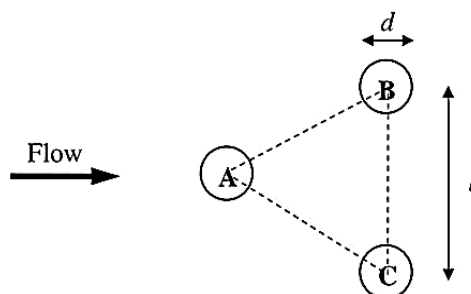
چیدمان لوله ها بصورت مثلثی انتخاب شد و ترتیب قرارگیری لوله ها مطابق شکل (۳) در اتاق از مون تونل باد نصب شده است. نسبت فاصله به قطر لوله ها $2 < \frac{L}{D} < 4$ انتخاب شد. برای اندازه گیری سرعت جریان هوا، فشار پیرامون لوله ها، دمای محیط و زاویه ها به ترتیب از پیتوت تیوپ، فشارسنج، ترموکوپل و خط کش استفاده شد. خطای هر کدام از تجهیزات به ترتیب $0/01$ ، $0/1$ ، $0/01$ و $0/001$ بود.

۴- محاسبه ضریب فشار و ضریب درگ

برای محاسبه ضریب درگ هر یک از لوله ها از رابطه (۱) استفاده شده است. در رابطه فوق C_p ضریب فشار که به کمک رابطه (۲) محاسبه می شود و P_i فشار روی محیط لوله است که اندازه گیری شده است. همچنین θ زاویه افق با هریک از سوراخ های روی لوله که در شکل (۲) مشخص شده است، می باشد.



شکل ۲- محل های سوراخ های ایجاد شده روی لوله های مسی



شکل ۳- شماتیک چیدمان لوله ها

$$C_D = \frac{1}{2} \int c_p \cos \theta d\theta \quad (1)$$

$$C_p = \frac{P_i - p_\infty}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2} \quad (2)$$

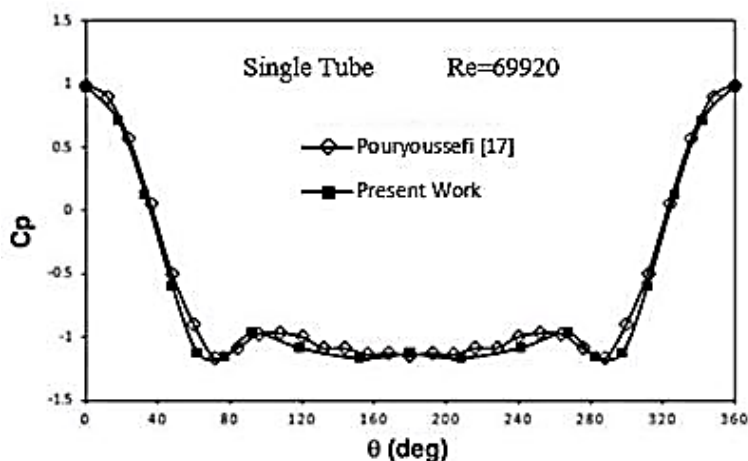
خطای محاسبه ضریب درگ برای محدوده آزمایش با توجه به خطای تجهیزات اندازه گیری حدود ۴/۱ تا ۷/۳ محاسبه شد.

۵- نتایج

قبل از بررسی جریان روی چیدمان سه لوله، ابتدا ضریب فشار حول یک لوله با سطح مقطع دایروی شکل به منظور اطمینان از درستی دستگاه طراحی شده و تجهیزات اندازه گیری، محاسبه شده است. در شکل (۴) ضریب فشار حول یک لوله دایروی حاصل از کار حاضر با کار پوریوسفی و همکاران [۱۷] در رینولدز ۶۹۹۲۰ مقایسه شد. اختلاف نتایج این تحقیق و نتایج پوریوسفی کمتر از ۳ درصد بدست آمد.

تغییرات ضریب فشار روی سطح سه لوله A، B و C با پوشش پوست کوسه نسبت به زوایای مختلف در نسبت فاصله ۲ برای اعداد رینولدز جریان ۵۱۶۸۰، ۶۰۸۰۰ و ۶۹۹۲۰ در شکل (۵) نشان داده شده است.

در شکل (۵-الف) به دلیل اینکه هم فاصله لوله ها و هم سرعت هوا کمترین حالت ممکن است، جریان هوا نمی تواند به راحتی وارد فضای بین لوله ها شود و در نتیجه تغییرات شکل (۵-الف) کمی متفاوت تر از شکل های (۵-ب) و (۵-ج) است، اما با افزایش سرعت در شکل های (۵-ب) و (۵-ج) مشاهده می کنیم که رفتار تغییرات لوله های B و C متقارن و یکسان است زیرا دو لوله B و C نیز در یک عرض و ردیف قرار داشته و بدلیل تقارن داشتن در چیدمان، رفتاری شبیه و متقارن نسبت به یکدیگر دارند. دو نقطه جدایش هر سه لوله تقریباً یکسان است. در شکل (۵-الف) ضریب فشار لوله A از حدود زاویه ۸۰ تا ۲۸۰ درجه حدود ۰/۱ تا ۲۳ درصد از دو لوله B و C بیشتر می باشد. همچنین در شکل (۵-ب) ضریب فشار لوله A از حدود زاویه ۸۰ تا ۲۸۰ درجه حدود ۰/۴ تا ۳۷ درصد از دو لوله B و C بیشتر می باشد.



شکل ۴- مقایسه ضریب فشار مطالعه حاضر با کار پوریوسفی [۱۷] و برای یک تک لوله

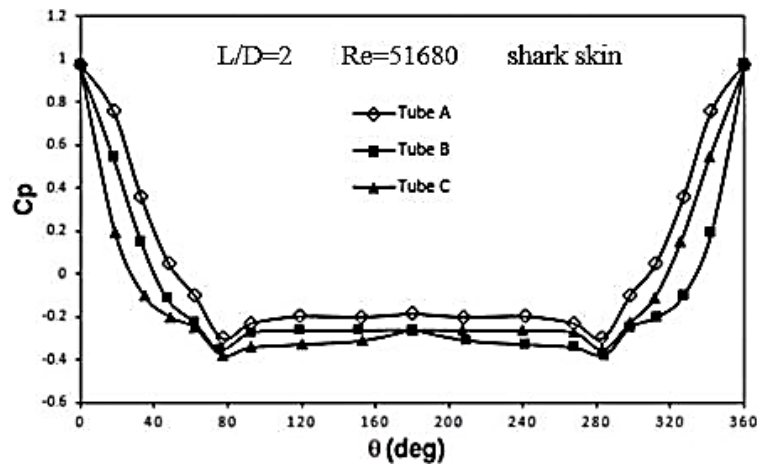
در شکل (۵-ج) ضریب فشار لوله A از حدود زاویه ۸۰ تا ۲۸۰ درجه حدود ۰/۷ تا ۲۳ درصد از دو لوله B و C بیشتر می باشد. تغییرات ضریب فشار روی سطح سه لوله A، B و C با پوشش پوست کوسه نسبت به زوایای مختلف در نسبت فاصله ۳ برای اعداد رینولدز جریان ۵۱۶۸۰، ۶۰۸۰۰ و ۶۹۹۲۰ در شکل (۶) نشان داده شده است. به دلیل تداخل جریان بهتر بین سه لوله و افزایش نسبت فاصله، تغییرات ضریب فشار لوله A در پشت لوله و بعد از نقطه جدایش کمی بیشتر از دو لوله دیگر است. مهم ترین دلیل بیشتر شدن مقادیر ضریب فشار لوله A از زاویه ۸۰ تا ۲۸۰، نوع چیدمان لوله ها است که در پشت لوله A فشار کمتری نسبت به دو لوله دیگر وجود دارد. دو لوله B و C نیز در یک عرض قرار داشته و بدلیل تقارن داشتن در چیدمان، رفتاری شبیه و متقارن نسبت به یکدیگر دارند. در شکل (۶-الف) ضریب فشار لوله A از حدود زاویه ۸۰ تا ۲۸۰ درجه حدود ۱ تا ۵۴ درصد از دو لوله B و C بیشتر می باشد. همچنین در شکل (۶-ب) ضریب فشار لوله A از حدود زاویه ۸۰ تا ۲۸۰ درجه حدود ۰/۱ تا ۵۲ درصد از دو لوله B و C بیشتر می باشد.

در شکل (۶-ج) ضریب فشار لوله A از حدود زاویه ۸۰ تا ۲۸۰ درجه حدود ۰/۳ تا ۴۶ درصد از دو لوله B و C بیشتر می باشد. ضمناً با افزایش سرعت در این نسبت فاصله، شاهد تغییرات یکسان ضریب فشار در قسمت جلویی هر سه لوله قبل از نقطه جدایش هستیم زیرا تغییرات ضریب فشار در جلوی سه لوله را به حالت تک لوله نزدیک تر می کند. تغییرات ضریب فشار روی سطح سه لوله A، B و C با پوشش پوست کوسه نسبت به زوایای مختلف در نسبت فاصله ۴ برای اعداد رینولدز جریان ۵۱۶۸۰، ۶۰۸۰۰ و ۶۹۹۲۰ در شکل (۷) نشان داده شده است. در تمامی لوله ها با افزایش عدد رینولدز، رفتار ضریب فشار در هر سه لوله تا قبل از نقطه جدایش یکسان تر شده است. البته این شباهت وقتی سرعت بالاتر و نسبت فاصله بیشتر باشد، هرچه بیشتر به ساختار تک لوله شباهت پیدا کرده و به همین دلیل تغییرات ضریب فشار علاوه بر قبل نقطه جدایش، بعد از نقطه جدایش هم در شکل های (۷-ب) و (۷-ج) برای هر سه لوله تقریباً یکسان شده است. در شکل (۷-الف) ضریب فشار لوله A از حدود زاویه ۸۰ تا ۲۸۰ درجه حدود ۰/۲ تا ۱۷ درصد از دو لوله B و C بیشتر می باشد. همچنین در شکل (۷-ب) ضریب فشار لوله A از حدود زاویه ۸۰ تا ۲۸۰ درجه حدود ۰/۴ تا ۱۳ درصد از دو لوله B و C بیشتر می باشد. در شکل (۷-ج) ضریب فشار لوله A از حدود زاویه ۸۰ تا ۲۸۰ درجه حدود ۰/۳ تا ۱۲ درصد از دو لوله B و C بیشتر می باشد.

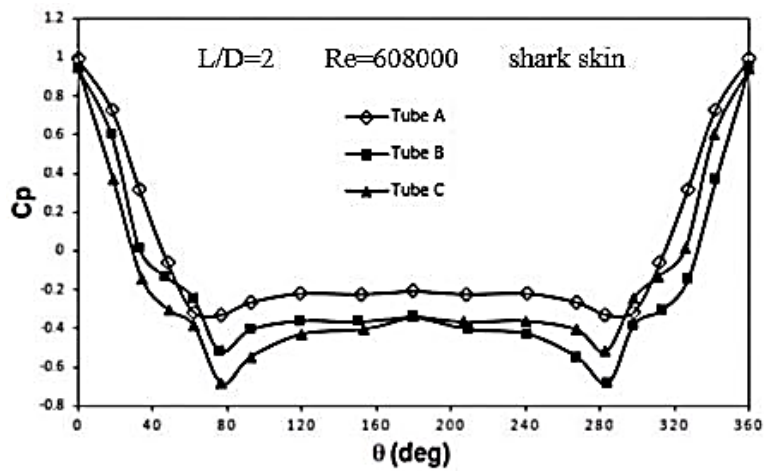
مقایسه ضریب درگ با پوشش پوست کوسه و بدون آن برای نسبت فاصله های مختلف لوله های A، B و C در اعداد رینولدز ۵۱۶۸۰، ۶۰۸۰۰ و ۶۹۹۲۰ در شکل های (۸) تا (۱۰) مشخص شده است. در تمامی حالت ها ضریب درگ در شرایطی که لوله دارای پوشش پوست کوسه می باشد، کمتر شده است.

شکل (۸) این مقایسه را برای عدد رینولدز ۵۱۶۸۰ نشان می دهد، همانطور که در شکل (۸-الف) تا (۸-ج) مشخص است در نسبت طولی ۲، ۳ و ۴ برای لوله A به ترتیب ۶/۴، ۱۹ و ۱۰/۳۳ برای لوله B ۱۵/۴۸، ۱۳/۲۹ و ۲۵/۵۷ برای لوله C ۱۵/۶۹، ۱۳/۰۹ و ۲۵/۱۷ درصد کاهش پیدا کرده است.

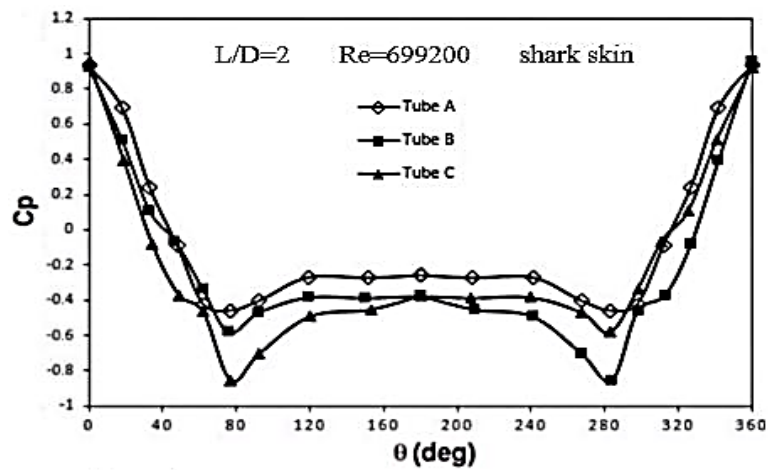
شکل (۹) این مقایسه را برای عدد رینولدز ۶۰۸۰۰ نشان می دهد، همانطور که در شکل (۹-الف) تا (۹-ج) مشخص است در نسبت طولی ۲، ۳ و ۴ برای لوله A به ترتیب ۲۶/۹۷، ۱۹/۷۱ و ۱۷/۵۶ برای لوله B ۲۶/۳۴، ۱۰/۴۲ و ۲۵/۶۶ برای لوله C ۲۶/۴۷، ۱۰/۳۲ و ۲۵/۲۷ درصد کاهش پیدا کرده است.



الف - عدد رینولدز ۵۱۶۸۰

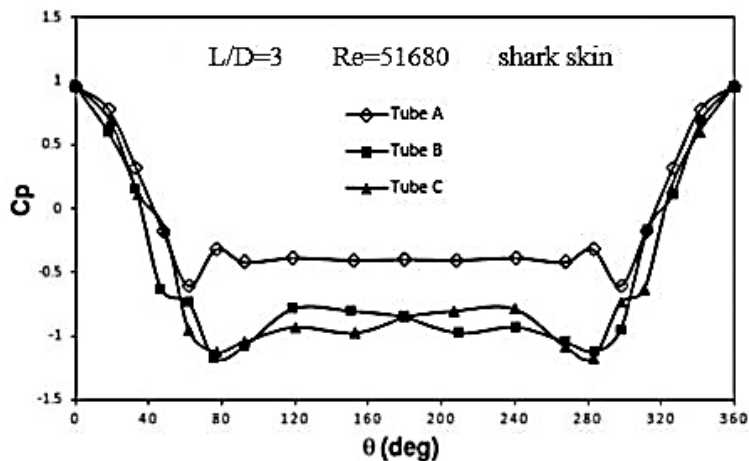


ب - عدد رینولدز ۶۰۸۰۰

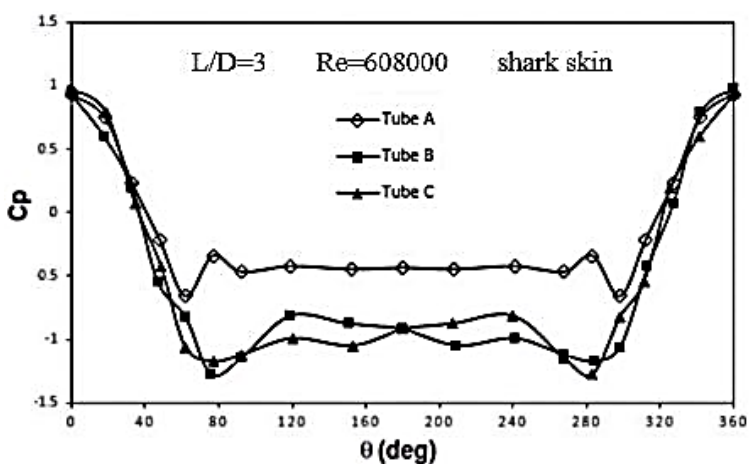


ج - عدد رینولدز ۶۹۹۲۰

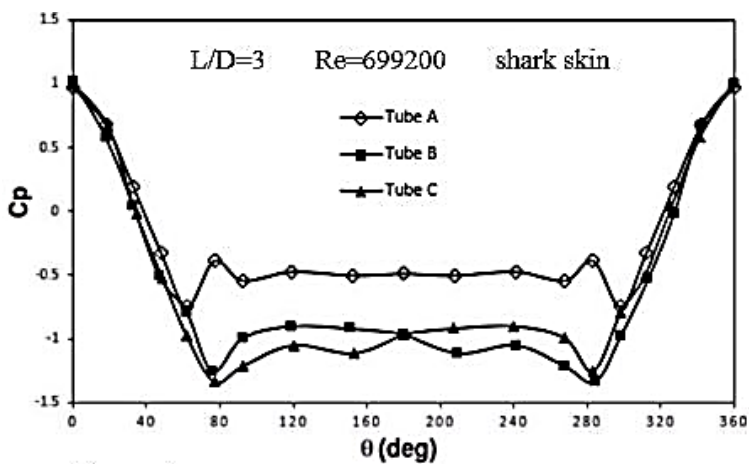
شکل ۵- تغییرات ضریب فشار سطح سه لوله با پوست کوسه و نسبت فاصله ۲ برای رینولدزهای متفاوت



الف - عدد رینولدز ۵۱۶۸۰

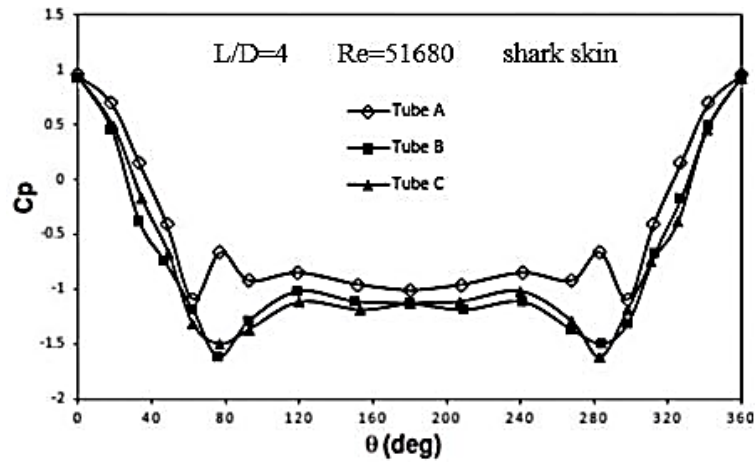


ب - عدد رینولدز ۶۰۸۰۰

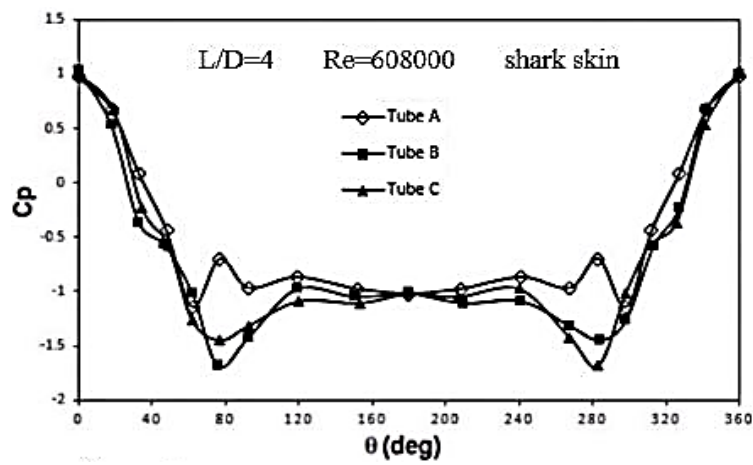


ج - عدد رینولدز ۶۲۹۲۰

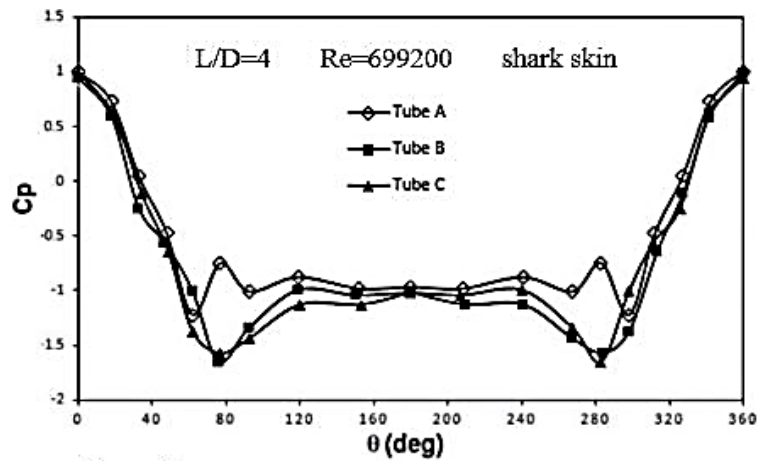
شکل ۶- تغییرات ضریب فشار سطح سه لوله با پوست کوسه و نسبت فاصله ۳ برای رینولدزهای متفاوت



الف - عدد رینولدز ۵۱۶۸۰



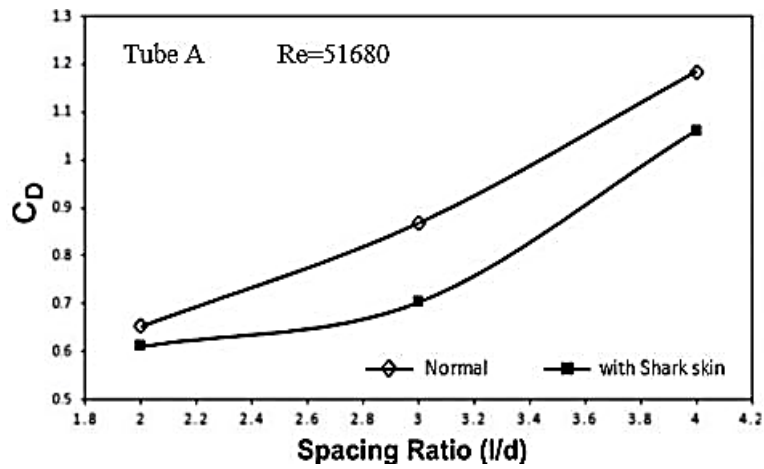
ب - عدد رینولدز ۶۰۸۰۰



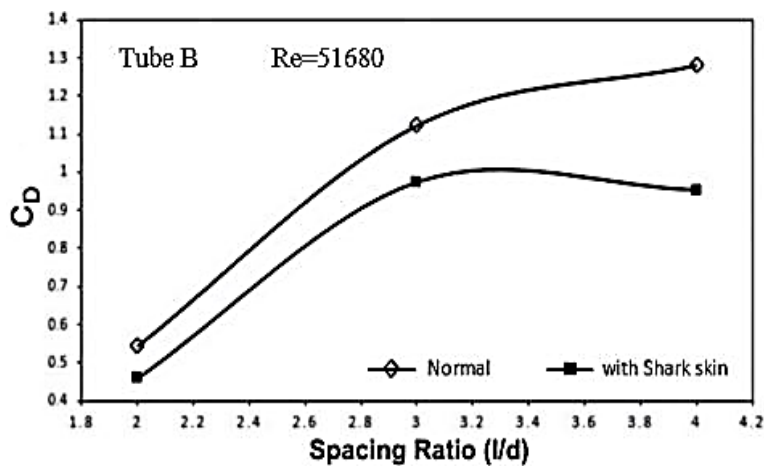
ج - عدد رینولدز ۶۲۹۲۰

شکل ۷- تغییرات ضریب فشار سطح سه لوله با پوست کوسه و نسبت فاصله ۴ برای رینولدزهای متفاوت

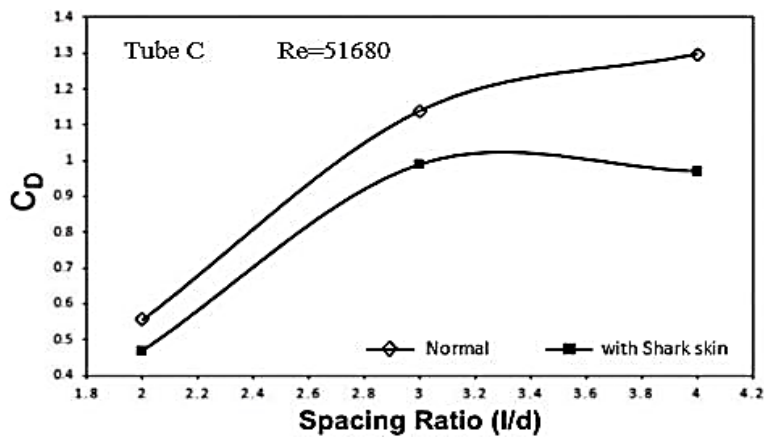
شکل (۱۰) این مقایسه را برای عدد رینولدز ۶۹۹۲۰ نشان می دهد، همانطور که در شکل (۹-الف) تا (۹-ج) مشخص است در نسبت طولی ۲، ۳ و ۴ برای لوله A به ترتیب ۰/۴۳، ۲۰/۴۸ و ۲۱/۷۳ برای لوله B ۰/۳۳/۵۶ و ۱۲/۱۹ و ۲۵/۵۳ برای لوله C ۰/۳۳/۷۸، ۱۲/۰۳ و ۲۵/۱۲ درصد کاهش پیدا کرده است.



الف - لوله A

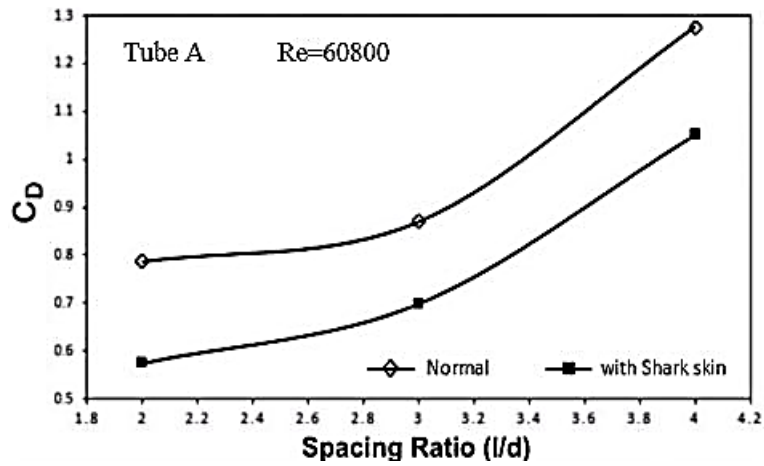


ب - لوله B

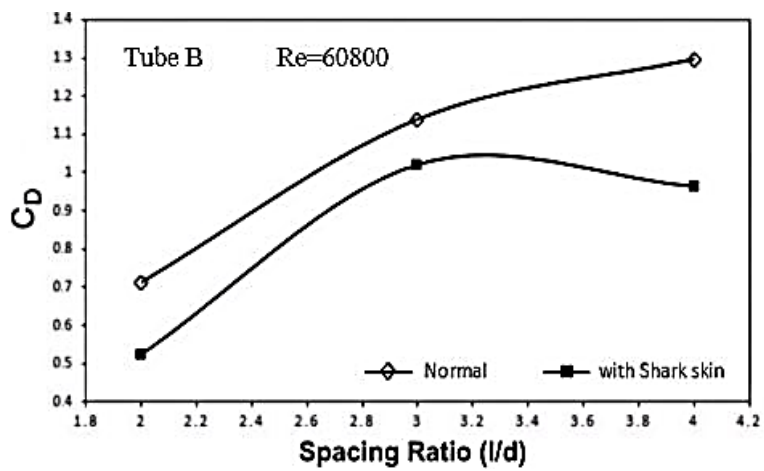


ج - لوله C

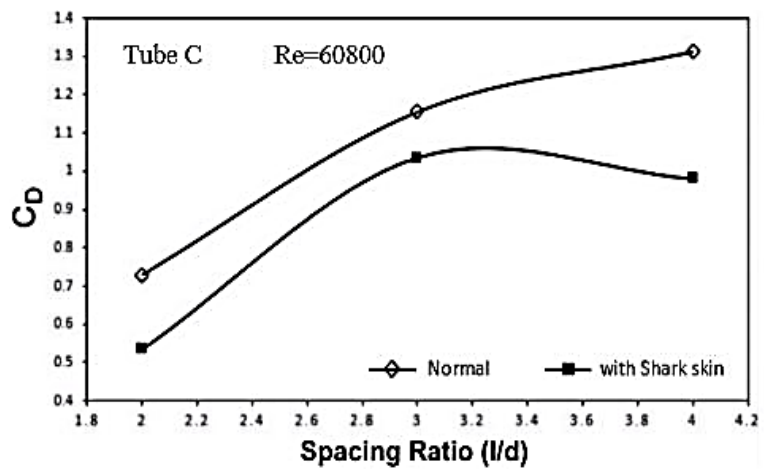
شکل ۸- تغییرات ضریب درگ با نسبت فاصله برای لوله های A، B و C در عدد رینولدز ۵۱۶۸۰



الف - لوله A

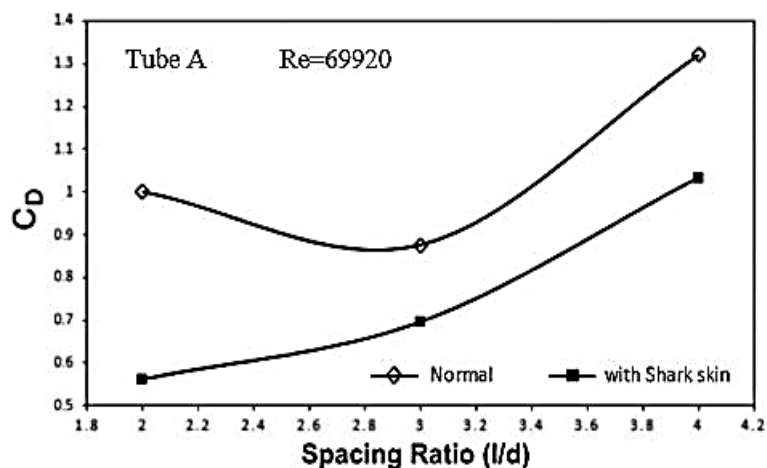


ب - لوله B

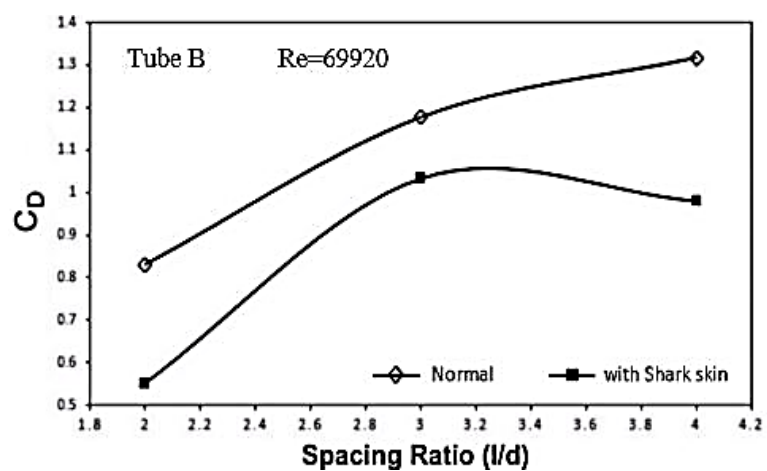


ج - لوله C

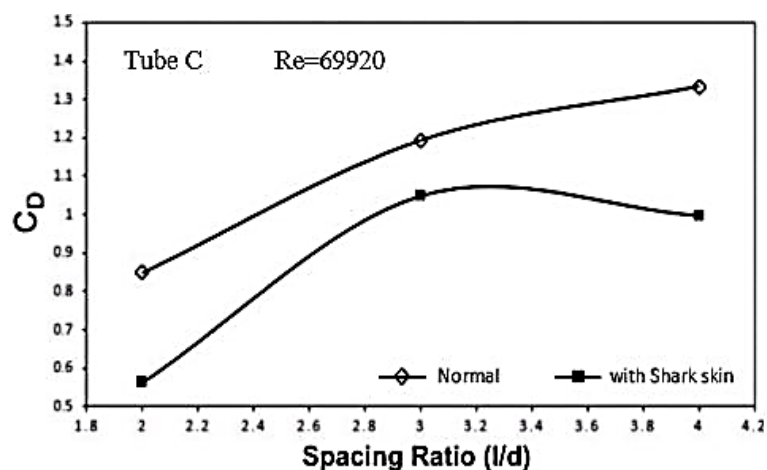
شکل ۹- تغییرات ضریب درگ با نسبت فاصله برای لوله های A ، B و C در عدد رینولدز ۶۰۸۰۰



الف - لوله A



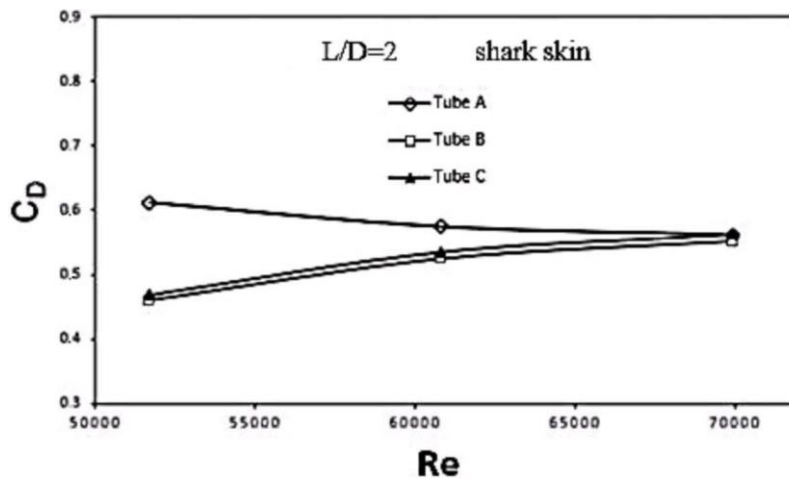
ب - لوله B



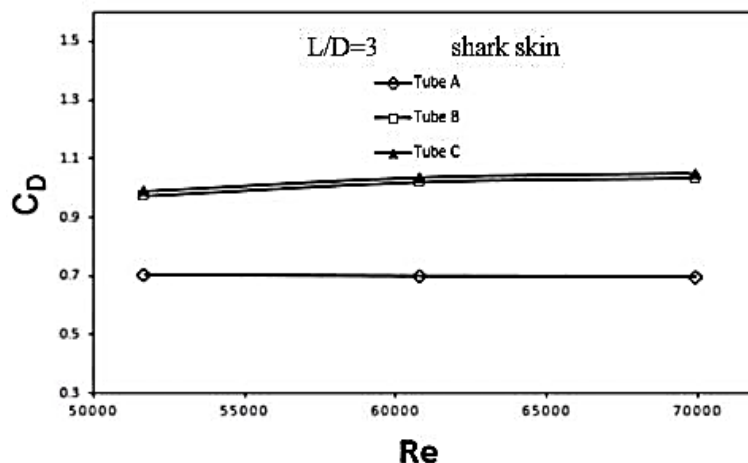
ج - لوله C

شکل ۱۰- تغییرات ضریب درگ با نسبت فاصله برای لوله های A، B و C در عدد رینولدز ۶۹۹۲۰

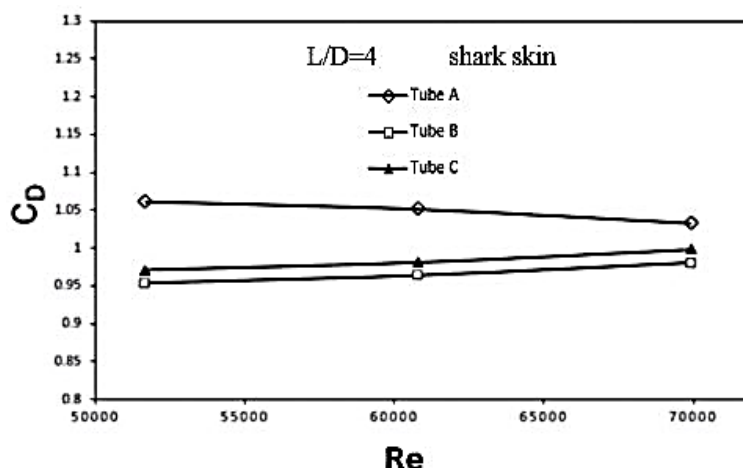
تغییرات ضریب درگ لوله های A، B و C نسبت به عدد رینولدز با پوشش پوست کوسه در محدوده اعداد رینولدز ۵۱۶۸۰ تا ۶۹۹۲۰ و نسبت فاصله ۲، ۳ و ۴ در شکل (۱۱) تا (۱۳) مشخص شده است. همانطور که از شکل (۱۱) مشخص است، ضریب درگ با افزایش عدد رینولدز در نسبت فاصله ۲ برای لوله A کاهش یافته و برای لوله های B و C افزایش می یابد. همچنین رفتار لوله های B و C تقریباً مشابه هم می باشند. ضمناً ضریب درگ لوله A حدود ۰/۸ تا ۲۴ درصد از دو لوله B و C بیشتر است. تغییرات ضریب درگ لوله های A، B و C برای نسبت فاصله ۳ در شکل (۱۲) مشخص شده است. ضریب درگ با افزایش عدد رینولدز برای لوله A کاهش یافته و برای لوله های B و C افزایش می یابد. همچنین رفتار لوله های B و C تقریباً مشابه هم می باشند. ضمناً ضریب درگ لوله A حدود ۳۹ تا ۴۹ درصد از دو لوله B و C کمتر است. برای نسبت فاصله ۴ تغییرات ضریب درگ لوله های A، B و C در شکل (۱۳) مشخص شده است. ضریب درگ با افزایش عدد رینولدز برای لوله A کاهش یافته و برای لوله های B و C افزایش می یابد. همچنین رفتار لوله های B و C تقریباً مشابه هم می باشند. ضمناً ضریب درگ لوله A حدود ۹ تا ۴ درصد از دو لوله B و C بیشتر است.



شکل ۱۱- تغییرات ضریب درگ لوله های مختلف نسبت به عدد رینولدز در نسبت فاصله ۲



شکل ۱۲- تغییرات ضریب درگ لوله های مختلف نسبت به عدد رینولدز در نسبت فاصله ۳



شکل ۱۳- تغییرات ضریب درگ لوله های مختلف نسبت به عدد رینولدز در نسبت فاصله ۴

۴- نتیجه گیری

در این مطالعه جریان عرضی در چیدمان مثلثی با سه نسبت فاصله به قطر ۲،۳ و ۴ در اعداد رینولدز ۵۱۶۸۰، ۶۰۸۰۰ و ۶۹۹۲۰ بدون تسریع کننده سطح و با تسریع کننده سطح، به منظور بررسی ضریب درگ به صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفت.

بیشترین کاهش ضریب درگ برای هر سه لوله در عدد رینولدز ۶۹۹۲۰ در نسبت فاصله به قطر ۲ و سپس ۴ به ثبت رسید که یکی از دلایل آن عدم ایجاد تداخل جریان نامناسب در بین لوله ها است. در نسبت فاصله ۳ بدلیل تداخل جریان نامناسب بین سه لوله و با توجه به جهت ریبلت ها برخلاف دیگر حالات، ضریب درگ لوله A کمتر از لوله های B و C گردید.

نتایج نشان می دهد که ضریب نیروی درگ لوله های دارای تسریع کننده سطح به میزان ۱۴/۵ تا ۲۵/۴ درصد کاهش یافته است. این کاهش ضریب درگ هم با افزایش رژیم جریان و هم با افزایش نسبت فاصله برای هر سه لوله با استفاده از تسریع کننده سطح قابل مشاهده است.

مراجع

- [1] Walsh, M. J., "Riblets as Viscous Drag Reduction Technique", The American Institute of Aeronautics and Astronautics Journal, Vol. 21, pp. 485-486, (1983).
- [2] Bechert, D. W., Bruse, M., Hage, W., Vanderhoeven, J., and Hoppe, G., "Experiments on Drag-reducing Surfaces and their Optimization with an Adjustable Geometry", Journal of Fluid Mechanics, Vol. 338, pp. 59-87, (1997).
- [3] Han, X., Zhang, D. Y., Li, X., and Li, Y. Y., "Bio-replicated Forming of the Biomimetic Drag-reducing Surfaces in Large Area Based on Shark Skin", Chinese Science Bulletin, Vol. 53, pp. 1587-1592, (2008).

- [4] Zhang, D. Y., Luo, Y. H., Li, X., and Chen, H. W., “Numerical Simulation and Experimental Study of Drag-reducing Surface of a Real Shark Skin”, *Journal of Hydrodynamics*, Vol. 23, pp. 204–211, (2011).
- [5] Zhang, D. Y., Li, Y. Y., Han, X., and Li, X., “High-precision Bio-replication of Synthetic Drag Reduction Shark Skin”, *Chinese Science Bulletin*, Vol. 56, pp. 938-944, (2011).
- [6] Zhang, D. Y., Luo, Y. H., Chen, H. W., and Jiang, X. G., “Exploring Drag-reducing Grooved Internal Coating for Gas Pipelines”, *Pipeline Gas Journal*, Vol. 238, pp. 58–61, (2011).
- [7] Leonardo, P. Ch., Arndt, R. E. A., and Sotiropoulos, F., “Drag Reduction of Large Wind Turbine Blades through Riblets: Evaluation of Riblet Geometry and Application Strategies”, *Renewable Energy*, Vol. 50, pp. 1095-1105, (2013).
- [8] Martin, S., and Bhushan, B., “Modeling and Optimization of Shark-inspired Riblet Geometries for Low Drag Applications”, *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 474, pp. 206–215, (2016).
- [9] Luo, Y. H., and Zhang, D. Y., “Investigation on Fabricating Continuous Vivid Sharkskin Surface by Bio-replicated Rolling Method”, *Applied Surface Science*, Vol. 282, pp. 370-375, (2013).
- [10] Pan, J. F., Chen, H. W., Zhang, D. Y., Zhang, X., Yuan, L. M., and Li, A. B., “Large-scale Solvent-swelling-based Amplification of Micro Structured Sharkskin”, *Journal of Micromechanics and Microengineering*, Vol. 23, No. 07, (2013).
- [11] Wen, L., Weaver, J. C., and Lauder, G. V., “Biomimetic Shark Skin: Design, Fabrication and Hydrodynamic Function”, *Journal of Experimental Biology*, Vol. 217, pp. 1656-1666, (2014).
- [12] Luo, Y. H., Liu, Y. F., and Zhang, D. Y., “Influence of Morphology for Drag Reduction Effect of Sharkskin Surface”, *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*, Vol. 14, No. 02, (2014).
- [13] Chen, H. W., Rao, F. G., Shang, X. P., Zhang, D. Y., and Hagiwara, I., “Flow over Bio-inspired 3D Herringbone Wall Riblets”, *Experiments in Fluids*, Vol. 55, No. 03, (2014).
- [14] Luo, Y., Yuan, L., Li, J., and Wang, J., “Boundary Layer Drag Reduction Research Hypotheses Derived from Bio-inspired Surface and Recent Advanced Applications”, *Micron Journal*, Vol. 79, pp. 59-73, (2015).
- [15] Fu, Y.F., Yuan, C.Q., and Bai, X.Q., “Marine Drag Reduction of Shark Skin Inspired Riblet Surfaces”, *Biosurface and Biotribology*, Vol. 3, pp. 11-24, (2017).
- [16] Lam, K., and Cheung, W. C., “Phenomena of Vortex Shedding and Flow Interference of Three Cylinders in Different Equilateral Arrangements”, *J. Fluid Mechanics*, Vol. 196, pp. 1–26, (1988).

- [17] Tatsuno, M., Amamoto, H., and Ishi, I. K., "Effects of Interference Among Three Equidistantly Arranged Cylinders in a Uniform Flow", *Fluid Dynamics Research*, Vol. 22, pp. 297–315, (1998).
- [18] Zhifu, G., and Tianfeng, S., "Classifications of Flow Pattern on Three Circular Cylinders in Equilateral-triangular Arrangements", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 89, pp. 553–568, (2001).
- [19] Pouryoussefi, S. G., Mirzaei, M., and Pouryoussefi, S. M., "Force Coefficients and Strouhal Numbers of Three Circular Cylinders Subjected to a Cross-flow", *Archive of Applied Mechanics*, Vol. 81, pp. 1725–1741, (2011).
- [20] M.A.Lavasani, A., Bayat, H., and Maarefdoost, T., "Experimental Study of Convective Heat Transfer from In-line Cam Shaped Tube Bank in Crossflow", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 50, pp. 2605–2611, (2014).
- [21] Zhou, B., Wang, X., and Guo, W., "Experimental Measurements of the Drag Force and the Near-wake Flow Patterns of a Longitudinally Grooved Cylinder", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 145, pp. 30–41, (2015).

فهرست نمادهای انگلیسی

C_D : ضریب درگ

C_P : ضریب فشار

P : فشار

U : سرعت

نمادهای یونانی

ρ : چگالی هوا

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of surface changes to reduce the drag coefficient in a triangular array heat exchanger. Experiments were carried out in an open-circuit wind tunnel. The range of distance to diameter is between 2 to 4 and the Reynolds number is between 5.2×10^4 to 6.9×10^4 . The diameter and length of the tubes are 41.5 mm and 42 cm, respectively. Tubes are made of copper. On each tube, 10 holes were created from zero to 180 degrees. The outer diameter of each hole is 3 millimeters. Shark skin is used as a surface accelerator. In these experiments, the effect of increasing the space ratio is studied. The results show that the coefficient of drag force decreases 14.5 to 25.4 percent for tube with shark skin. The greatest reduction in the drag coefficient is in Reynolds number 69920 and in the ratio of distance to diameter 2.