مطالعه آزمایشگاهی استفاده از ریبلت اسپیرال در ابعاد میلی بر روی افت فشار جریان در جریان آشفته

بهمن ظریف[۱]، علیرضا رئوف پناه[*۲]

[۱] کارشناس ارشد تبدیل انرژی، واحد شهر ری، دانشگاه آزاد اسلامی ،شهر ری، ایران
[۲]دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد شهر ری، دانشگاه آزاد اسلامی، شهر ری، ایران

دریافت:تابستان ۹۸ پذیرش: تابستان ۹۸

چکیده

افت فشار یکی از چالش های مهم طراحی خطوط انتقال است. یکی از روشهای کاهش افت فشار و افزایش انتقال حرارت استفاده از ریبلت اسپیرال در سطح کانال است. استفاده از ریبلت اسپیرال یا شیار باعث افزایش انتقال حرارت شده ولی در عوض افت فشار را افزایش می دهد. در لوله های خیلی زبر نمی توان از نمودار مودی استفاده کرد لوله های مورد بررسی در این آزمایش بالاتر از حد نسبت زبری منحنی های دیاگرام مودی است. شیارها انواع و ابعاد گوناگونی با توجه به محدوده وسیع کاربرد خود دارند. در این مطالعه در یک بررسی آزمایشگاهی به بررسی استفاده از شیار مارپیچ و تاثیر هندسه شیار بر افت فشار پرداخته خواهد شد. در این مطالعه ۵ سری لوله ساده و شیاردار بررسی شد. با استفاده از لوله های ساده افت فشار اتصالات به صورت تابعی از رینولدز تخمین زده شد تا بتوان افت فشار لوله های شیاردار را محاسبه کرد. دو لوله شیاردار با نسبت ارتفاع شیار به قطر ۰/۰۶۳ و ۰/۰۲۵ تولید و در محدوده رینولدز ۱۰/۰۰۰ تا ۵۰/۰۰۰ آزمایش گردید. با توجه به نتایج به دست آمده استفاده لوله شیاردار با نسبت ارتفاع شیار ۰/۰۶۳ موجب افزایش افت فشار در کل محدوده رینولدز مورد بررسی و در لوله شیاردار با نسبت ارتفاع ۰/۰۲۵ موجب افزایش افت فشار در رینولدزهای کمتر از ۳۷/۰۰۰ و کاهش افت فشار در رینولدزهای بیشتر از ۳۷/۰۰۰ می شود. به طور کلی استفاده از شیار در رینولدزهای بالاتر مناسب تر به نظر می رسد. بیشتر درصد کاهش افت فشار در رینولدز ۵۰/۰۰۰ و برای نسبت ارتفاع شیار ۰/۰۲۵ به میزان ۱۴٪ گزارش شد همچنین بیشترین افزایش افت فشار در رینولدز ۱۰/۰۰۰ برای نسبت ارتفاع ۰/۰۶۳ به میزان ۱۸۰٪ به دست آمد. و برای این افت منحنی های افت فشار و رابطه تجربی رئوف – ظریف استخراج گردید.

[*] **عهده‌دار مکاتبات:** meshkat.mt@gmail.com

کلمات کلیدی: مطالعه آزمایشگاهی، افت فشار، ریبلت اسپیرال، نمودار مودی.

۱- مقدمه

لوله ها و کانال ها کاربردهای گوناگونی در صنایع مختلف نظیر نفت و گاز، پتروشیمی، داروسازی، شیمیایی و .... به منظور انتقال انواع سیالات دارند. مهترین پارامتر درطراحی خطوط انتقال افت فشار در طول مسیر است. افت فشار در طول مسیر بر بازده و هزینه های سیستم تاثیر مستقیم دارد. افت فشار در مسیر می تواند ناشی از دو عامل اصطکاکی و فشاری باشد. شرط عدم لغزش در محل تماس سطح جامد با سیال باعث می‌شود تا ذرات سیال که در تماس با جسم جامد قرار دارند با همان سرعت جسم جامد حرکت کنند وچون سرعت نسبی مخالف صفر بین سیال و جسم جامد از شرایط لازم برای تولید افت است، پس سرعت سیال در محل تماس با جسم جامد با سرعت جریان آزاد سیال فرق می‌کند. علاوه بر این لزجت سیال باعث می‌شود که لایه مرزی هیدرودینامیکی سیال در نزدیکی جسم جامد ایجاد گردد. بر اساس توضیحات فوق، اصطکاک بین سطح جامد وسیال و لزجت سیال باعث ایجاد گرادیان سرعت و در نتیجه اعمال تنش برشی ونیرویی در خلاف جهت حرکت بر سطح جسم جامد می‌شود که به این نیرو، درگ اصطکاکی نیز می گویند. در مولفه فشاری مقدار آن تا حد زیادی به شکل و هندسه جسم بستگی دارد. بدین‌صورت که در اجسامی که مقطع شکلی آنها تغییرات سریع دارد جریان سیال نمی‌تواند سطح جسم را تعقیب کند و از سطح جسم جدا می‌شود (جدایش اتفاق می‌افتدو یک جریان محلی اطراف جسم شکل می‌گیرد) که این گردابه‌هایی ایجاد می‌کند که اختلاف فشار ایجاد شده توسط گردابه‌ها بین جلو و عقب جسم بر اساس تئوری سیال ایده‌ال و افزایش متوسط تنش برشی بوجود آمده از این جریان محلی نسبت به متوسط تنش برشی جریان اصلی، نیروی به سمت عقب به جسم وارد می‌کنند که از آن به نام درگ گردابه‌ای یا فشاری نام می برند. روشهای کاهش درگ بسته به نوع وسیله مورد بررسی که با چه سیال یا سیالهای در ارتباط است (مانند یک هواپیما که با سیال هوا در ارتباط است یا یک کشتی که با دوسیال آب و هوا در ارتباط است) متفاوت است. پوشش دهی یکی از موثرترین و کارآمدترین روشهای کاهش درگ است. از محاسن این روش قابلیت اعمال آن بعد فرآیند

[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.3.5.9]

ساخت و در مدلهای ساخته شده است و نیازی به انجام پروسه ساخت از ابتدا نیست. استفاده از این روش با استفاده از سطوح هیدروفوبیک و ریبلت ها امکان پذیر است. ریبلتها که معروف به میکرو ریبلت فیلم می باشند، شاامل شایارهای منظم ای هستند که در مسیر خطوط جریان بر روی سطوح مختلف ایجاد می شوند و به عنوان ابزار فعال و موثری جهت کاهش درگ اعمال می کنند. در حقیقت ریبلت بعنوان یک عامل مغشوش کننده جریان در نزدیک دیواره عمل نموده و سبب تاخیر در پدیده جدایش جریان می شود و در نهایت منجر باه کاهش نیروی درگ می گردد. استفاده از ریبلتها از پوست کوسه و دلفین الهام گرفته شده است. پوست کوسه ها دارای ساختارهای میکروسکوپی دندانه داری است که گردابه های ایجاد شده در جریان آشفته را هم چون کانال های بسیار کوچکی هدیت می کند و در نتیجه سبب انتشار آشفتگی و لزجت گردابه ای و به تبع آن کاهش نیروی مقاوم جریان می شوند [۱]. کاهش نیروی مقاوم جریان خود سبب افزایش سرعت در نزدیکی سطوح، کاهش میزان رسوب گرفتگی و در نتیجه ذخیره انرژی میگردد [۲]. تا کنون کارهای مختلفی به صورت آزمایشگاهی و عددی به بررسی ریبلتها بر روی سطوح تخت و منحنی انجام شده است که در ادمه به برخی از این موراد اشاره شده است.

کوری و ویرک [۳] در سال ۱۹۹۴ به بررسی استفاده از ریبلت در داخل لوله پرداختند. در این مطالعه از قطر داخلی لوله ۱۰/۲ میلیمتر و ارتفاع ریبلت ۰/۱۵ میلیمتر استفاده شد. نوع ریبلت ***V*** شکل و جریان در دو رژیم آرام و درهم مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج این مطاله در رینولدزهای خیلی بالا استفاده از ریبلت با کاهش درگ همراه است. چانگ و بوشان [۴] در سال ۲۰۱۰ از ریبلت ها در داخل کانال در هر دو رژیم آرام و درهم پرداختند. در این مطالعه از ریبلت های استوانه ای استفاده کردند که ارتفاع استوانه ۳۰، قطر ۱۴ و گام آن ۲۳ میکرومتر است. با توجه به نتایج ارائه شده این تحقیق استفاده از ریبلت در محدوده جریان آرم و آشفته برای ساختار با ابعاد نانو کاهش درگ بیشتری نسبت به میکرو دارد. سونا و همکاران [۵] در سال ۲۰۱۶ به بررسی تعداد بهینه شیارهای موازی جریان بر افت فشار در کانال پرداختند. در این مطالعه که قطر لوله ۲/۶ سانتی متر بود تعداد شش شیار ۲، ۴، ۸،۱۲، ۱۶ و ۲۰ مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت تعداد ۸ شیار با فاصله ۹/۲ میلیمتر به عنوان مورد بهینه معرفی گردید. در این کار شیارها به شکل مربعی با ابعاد ۱ در ۱ میلیمتر بود.

وولفود و همکاران [۶] در سال ۲۰۰۹ افت فشار در کانال با میکروریبلتهایی در راستای جریان بررسی کردند و با توجه به نتایج ارائه شده استفاده از میکرو ریبلت در محدوده مورد بررسی تا ۱۱٪ کاهش درگ به همراه داشت. پرنس و ماینس [۷] در سال ۲۰۱۴ اثر استفاده از میکرو ریبلت در جریان آشفته بر روی افت فشار را بررسی کردند. با توجه به نتایج این مطالعه که برای یک کانال با نسبت ۱ به ۱۰ ارائه گردید استفاده از ریبلتهایی با ۸۰ میکروون ارتفاع با گام ۱۶۰ میکرون در کانالی با قطر هیدرولیکی ۷/۳ میلیمتر با کاهش درگ همراه است. کوری و ویرک [۸] در یک مطالعه آزمایشگاهی به بررسی کاهش درگ با استفاه از ریبلت در یک کانال دایروی پرداختند. در این مطالعه قطر داخلی لوله ۱۰/۲ میلیمتر و ارتفاع ریبلتهای مثلثی ۰/۱۵ میلیمتر گزارش شده است. در این مطالعه که در محدوده رینولدز ۳۰۰ تا ۱۵۰۰۰ مورد برسی قرار گرفت. لیو همکاران [۹] به بررسی استفاده از ریبلت های ***V*** شکل در کانال های دایروی در جریان آشفته پرداختند. در این مطالعه قطر لوله در دو مدل ۲۵/۴ و ۵۰/۸ میلیمتر یا اندازه ریبلت ۰/۱۱ ریبلت مورد بررسی قرار گرفت. تستها در محدوده رینولدز ۲۰۰۰۰ تا ۱۱۰۰۰۰ انجام گرفت که نشان داد استفاده از ریبلت موجب کاهش درگ در رینولدزهای پایین شده و در رینولدزهای بالاتر با کم اثرتر می شود. چو و کارنیااکیس [۱۰] با روش شبیه سازی مستقیم (***DNS***[1]) به بررسی استفاده از ریبلت های وی شکل و گرد در کانال در محدوده رینولدز ۵۰۰ تا ۳۵۰۰ پرداختند. با توجه به نتایج این مطالعه در محدوده جریان آرام استفاده از ریبلت کاهش درگی نداشته ولی در محدوده جریان آشفته و گذار با کاهش درگ همراه است که بیشنه کاهش درگ در رینولدز ۳۵۰۰ و برابر با ۶٪ بوده است. همچنین ریبت وی شکل کاهش درگ بیشتری نسبت به ریبلت گرد داشت. چوی و همکاران [۱۱] نیز با استفاده از روش شبیه سازی مستقیم به بررسی استفاده از ریبلت وی شکل در محدوده S^+ (عدد بی بعد ضخامت مش) ۲۰ و ۴۰ پرداختند که با کاهش درگ ۵ تا ۶ درصد همراه بود. والش [۱۲ و ۱۳] به بررسی ابعاد ریبلت مثلثی شکل در کانال به صورت آزمایشگاهی پرداخت. در این مطالعه ازتفاع ها و فواصل مختلف ریبلت مورد بررسی قرار گرفت که در نهایت مدلی با ۸ درصد کاهش به دست آمد. سوزوکی و کاساگی [۱۴] با استفاده از روش ***PTV*** به دنبال کشف مکانیزم کاهش درگ در سطوح ریبلت دار برآمدند. بکرت و همکاران [۱۵] با انجام مجموعه ای از تست ها در کانال روغن برلین به بررسی هندسه های مختلف ریبلت پرداختند و در نهایت به بیشینه ۹/۹ درصد کاهش درگ دست یافتند. با توجه به نتایج این مطالعه ارتفاع زبری باید نصف فاصله باشد تا عملکرد آن افزایش پیدا کند. سونا و همکاران [۱۹-۱۶] به بررسی استفاده از شیار در انتقال حرارت و افت فشار پرداختند با توجه به نتایج ارائه شده استفاده از شیار تا ۳۹ درصد انتقال حرارت را افزایش می دهد. رینیری و پاگلیارینی[2] ***[۲۰]*** به مطالعه عملکرد حرارتی لوله‌های موجدار پرداختند. محدوده رینولدز آزمایش شده بین ۹۰ تا ۸۰۰ می‌باشد. نتایج آزمایشات آن‌ها حاکی از این مطلب است که موج‌های مارپیچی لوله موجب بوجود آمدن جریان چرخشی قابل توجهی می‌گردد که موجب افزایش انتقال حرارت می‌گردد.

همانطور که مشاهده شد استفاده از شیار در لوله و کانال ها کاربرد گسترده ای در کاهش افت فشار و افزایش انتقال حرارت دارد. ولی بیشتر ابعاد شیارها و ریبلت های مورد استفاده در ابعاد میکرو است که نیاز به تکنولوژی ساخت بالایی دارد و کمتر به بررسی استفاده از شیار با ابعاد میلی که ساخت راحت تری دارد توجه شده است. در این مطالعه به بررسی استفاده از شیارهای مارپیچ در ابعاد میلی بر روی افت فشار پرداخته شده و نتایج به دست آمده از مطالعه آزمایشگاهی به صورت یک رابطه ارائه خواهد شد.

۲- روش آزمایشگاهی

همانطور که اشاره شد هدف این مطالعه بررسی آزمایشگاهی استفاده از شیار بر روی افت فشار لوله است. بدین منظور سیستمی آزمایشگاهی برای اندازه گیری افت فشار لوله شیاردار و مقایسه نتایج خاصله با لوله

[1] Direct Numerical Simulation
[2] Rainieri and Pagliarini

[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.3.5.9]

ساده باید طراحی و ساخته شود. نمونه های مورد بررسی ۵ لوله ساده و شیاردار به طول برابر ۱/۵ متر هستند. از این ۵ مدل ۳ مدل با سطح صاف و دو مدل شیار دار می باشند که در قطرها و ضخامت های مختلف تهیه شده اند. در جدول (۱) زیر مشخصات لوله های مورد بررسی ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود سه مدل لوله بدون شیار در ابعاد مختلف و دو لوله شیاردار با شیارهای مختلف در تعداد شیار ۲۶ (لوله شماره ۳) و ۴۱ شیار (لوله شماره ۵) برای بررسی تولید شده است.

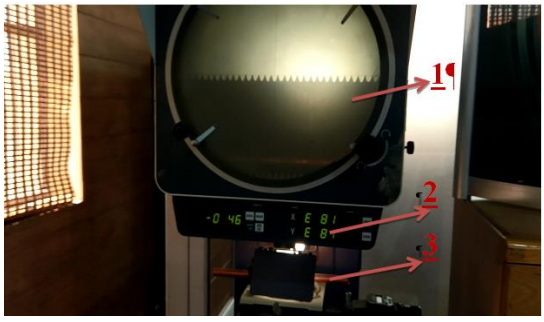
جدول ۱ مشخصات لوله های مورد استفاده در این مطالعه

شماره لوله	طول لوله	قطر لوله	ضخامت جداره لوله	نوع لوله	مشخصات شیار	
					گام	ارتفاع
۱	۱/۵	۱۵/۸۷	۱/۲۴	معمولی	--	---
۲	۱/۵	۱۹/۰۵	۱/۲۴	معمولی	---	---
۳	۱/۵	۱۹/۰۵	۱/۲۴	شیاردار	۰/۱۵	۱/۰۵
۴	۱/۵	۱۹/۰۵	۱/۴۲	معمولی	---	---
۵	۱/۵	۱۹/۰۵	۱/۴۲	شیاردار	۰/۶	۰/۴۱

در شکل ۳ دستگاه آزمایش مورد استفاده در این مطالعه نشان داده شده است. همانطور که در شکل دیده می شود این دستگاه مجموعه ای از پمپ، منبع ذخیره آب، اتصالات، لوله های مورد بررسی، فشار سنج، دما سنج، دبی سنج و شیر تنظیم دبی است (جدول ۲). پنج لوله مورد نظر به صورت موازی بسته شده اند تا برای بررسی هر لوله نیاز به باز و بسته کردن دستگاه نباشد. در این دستگاه به منظور بررسی و اندازه گیری افت فشار هر لوله، شیرهای ابتدا و انتهای مسیر هر لوله بسته شده و به جریان اجازه عبور از لوله مورد نظر داده می شود. دلیل اندازه گیری افت فشار در لوله های ساده به دست آوردن افت اضافی در اتصالات است. پمپ مورداستفاده از نوع گریز از مرکز مدل ***CM100*** شرکت ***ELCO*** است که با توجه به اطلاعات درج شده بر روی بدنه توانایی پمپاژ آب تا ارتفاع ۳۳ متر دارد. الکتروپمپ این پمپ با توان ۷۵۰ وات است که می تواند دبی های مختلف موردنیاز در این آزمایش را فراهم کند. به منظور کنترل دبی سیال در ابتدا شیری بر روی مجرای خروجی نصب گردید که در هنگام آزمایش مشکلاتی ایجاد کرد و به ناچار کنترل جریان به کمک شیرهای کنترل جریان نصب شده در ابتدا و انتهای لوله آزمایش انجام گردید. در این مطالعه از دو فشار سنج استفاده شده است. فشار سنج در ابتدا و انتهای لوله آزمایش نصب شده است تا بتوان با محاسبه اختلاف افت فشار مسیر (لوله آزمایش و اتصالات) پرداخت. همانطور که در شکل ۱ دیده می شود فشار سنج با استفاده از یک سه راهی و زانویی ۹۰ درجه به مدار وصل شده است و به راحتی می توان پس از اتمام تست فشار سنج را جدا و برای مسیر بعدی استفاده کرد. نوع فشار سنج، عقربه ای بوده که در محدوده صفر تا ۳ بار را با دقت ۰/۱ بار نشان می دهد. در این مطالعه از روتامتر به منظور اندازه گیری دبی استفاده شده است که در مسیر جریان نصب شده است. در روتامترها (دبی سنج های با سطح متغیر) جریان سیال مطابق شکل میانی به صورت قائم، از پایین به بالا از درون یک لوله شفاف مخروطی عبور داده می‌شود. در داخل این مخروط یک شناور قرار دارد که جرم حجمی (چگالی) آن از جرم حجمی سیال بیشتر است. افزایش دبی سیال باعث حرکت شناور به‌سمت بالا می‌شود. بنابراین موقعیت شناور معیاری از مقدار دبی سیال خواهد بود [۲۱]. در این مطالعه از دماسنج عقربه ای بی متال استفاده شده است محدوده کاری دماسنج صفر تا ۶۰ درجه سانتی گراد و دقت آن از مرتبه ۱ درجه است.



شکل ۱ نحوه اتصال فشارسنج به مدار



شکل ۲ دستگاه نمایش و اندازه لوله شیاردار

لوله شیاردار توسط شرکت رهط پویا ساخته شده است. در شکل ۲ یک نمونه لوله شیاردار شاخته شده بعد از بزرگنمایی بوسیله دستگاه نشان داده شده است. به کمک این دستگاه علاوه بر نمایش شیارها می توان ابعاد شیار و ضخامت لوله را نیز تعیین کرد. در این شکل به ترتیب اعداد ۱ تا ۳ نشان دهنده: تصویر شیار بزرگنمایی شده، نمایش ابعاد و محل قرار گیری لوله شیاردار است.



شکل ۳ سیم آزمایشگاهی اندازه گیری افت فشار

[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.3.5.9]

جدول ۲ اجزاء دستگاه اندازه گیری افت فشار

شماره جزء	نام قطعه	نماد	شماره جزء	نام قطعه	نماد
۱	منبع ذخیره	Open Top Tank	۵	فشار سنج اول	Gauge
۲	دما سنج	Θ	۶	لوله آزمایش	------
۳	شیر کنترل جریان		۷	دبی سنج	Rotameter
۴	فشار سنج دوم	Gauge	۸	پمپ	Centrifugal Pump

۳- ارائه نتایج

در این بخش به بررسی و ارائه نتایج پرداخته خواهد شد. نتایج به دست آمده به کمک نمودار های افت فشار بر حسب دبی و دصد تغییرات افت فشار بر حسب رینولدز خواهد بود. در ابتدا نتایج لوله صاف ارائه خواهد شد تا به کمک نمودار مودی و روابط مرتبط برای آن افت اتصالات برای مدل های مختلف به دست آید. با استفاده از افت به دست آمده در بخش قبل افت لوله شیاردار را می توان محاسبه کرد.

۳-۱ محاسبه افت فشار لوله ساده و اتصالات

برای تعیین افت فشار لوله صاف بدون اتصالات از نمودار مودی[1] استفاده می شود. با استفاده از این نمودار می توان ضریب اصطکاک را بر حسب جریان را بر حسب عدد رینولدز و زبری نسبی (***e/D***) در هر دو رژیم آرام و آشفته تعیین کرد. دیاگرام مودی جهت محاسبه ی افت فشار یا افت هد استفاده می شود. افت هد از رابطه دارسی - ویسباخ به صورت زیر تعریف می شود:

$$h_f = f\frac{LV^2}{D2g}$$

و افت فشار از رابطه زیر تعیین می شود:

$$\Delta P = \rho g h_f$$

برای تبدیل ضریب اصطکاک به افت فشار یا بالعکس از رابطه زیر استفاده می شود:

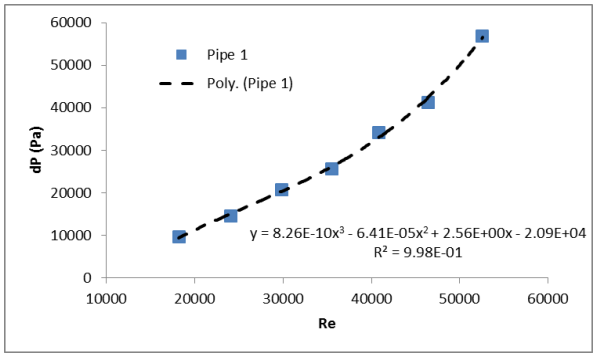
$$f = \frac{\Delta p.D}{2\rho.L.V^2}$$

با استفاده از روابط ارائه شده *Error! Reference source not found.* تا ۰ جدول ۳ به دست می آید. در این جدول افت فشار آزمایشگاهی، افت فشار مودی (افت فشار برای لوله صاف بدون اتصالات) و افت فشار اتصالات ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود در این آزمایش اتصالات نقش بیشتری در افت فشار نسبت به لوله صاف داشتند و بیشتر افت فشار تحمیل شده به سیستم به موجب اتصالات بوده است.

جدول ۳ محاسبه افت فشار آزمایشگاهی، لوله صاف و اتصالات در آزمایش لوله ۱

Re	افت فشار آزمایشگاهی	آزمایشگاهیf	مودی f	افت فشار مودی	افت فشار اتصالات
18176.13	13000	0.106064	0.02725	3339.908	9660.092
24056.2	20000	0.091781	0.025406	5536.168	14463.83
29850.23	29000	0.085167	0.024071	8196.488	20803.51
35474.26	37000	0.075452	0.023055	11305.43	25694.57
40795.66	49000	0.073403	0.022263	14861.51	34138.49
46402.78	60000	0.068813	0.021558	18796.78	41203.22
52580.92	81000	0.070239	0.020894	24095.4	56904.6

در ادامه با توجه به اینکه در کار آزمایشگاهی تنظیم دبی در اعداد موردنظر به طور دقیق کارسختی است رابطه ای برای افت فشار بر حسب رینولدز استخراج شده تا برای محاسبه افت فشار اتصالات لوله شیاردار با قطر متناظر استفاده شود. در شکل ۴ افت فشار اتصالات در رینولدزهای مختلف در کنار تابع پیشنهادی رسم شده است. همانطور که مشاهده می شود با افزایش رینولدز افت فشار به طور صعودی افزایش پیدا کرده است که نشان می دهند افت فشار در اتصالات مقدار ثابتی نیست و با افزایش رینولدز بیشتر می شود. همچنین در این بخش برای پیش بینی افت فشار اتصالات از تابع درجه سه استفاده شده است که با دقت بالایی با نتایج آزمایشگاهی تطابق دارد.

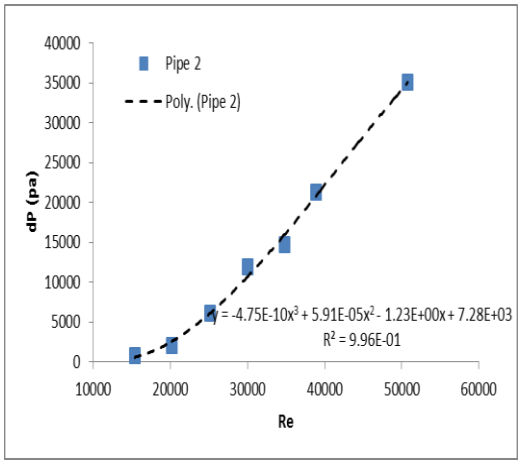


شکل ۴ نتایج و رابطه ارائه شده برای افت فشار اتصالات در لوله ۱

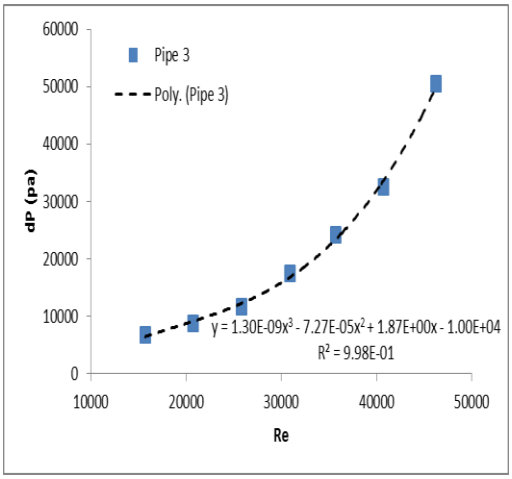
به همین ترتیب همین مراحل برای لوله های ساده شماره ۲ و ۴ انجام داده و محاسبات افت فشار لوله ساده و اتصالات و همچنین تابع افت فشار اتصالات بر حسب رینولدز ارائه شده است. در شکل ۵ و ۶ به ترتیب نتایج و رابط به دست آمده برای لوله شماره ۲ و ۴ نشان داده شده است.

[1] Moudy Diagram

[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.3.5.9]



شکل ۵ نتایج و رابطه ارائه شده برای لوله شماره ۲



شکل ۶ نتایج و روابط ارائه شده برای لوله شماره ۴

۳-۳ محاسبه افت فشار لوله شیاردار

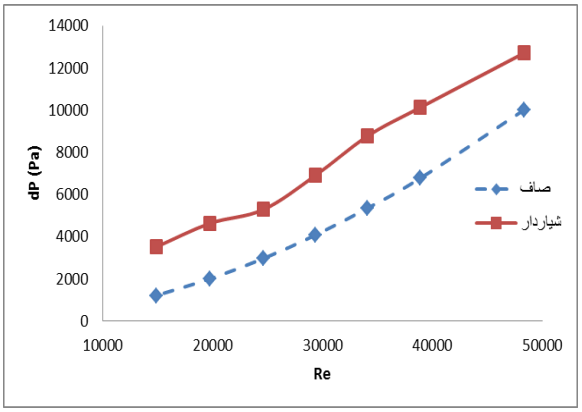
در بخش نتایج و محاسبات افت فشار در لوله ساده و اتصالات ارائه گردید. در این بخش نتایج به دست آمده برای لوله شیاردار ارائه می گردد. لوله شیاردار شامل نمونه های ۳ و ۵ می شود که لوله شماره ۳ به قطر ۱۹/۰۵ میلیمتر و تعداد ۲۶ فین است و لوله شماره ۵ دارای ۴۰ فین است. در جدول ۴ نتایج تست لوله شیاردار ۳ ارائه شده است. همچنین در این جدول تغییرات افت فشار لوله ساده در مقایسه با لوله ساده ارائه شده است. با توجه به جدول واضح است که افت فشار در لوله شیاردار نیز با افزایش عدد رینولدز روند افزایشی دارد. همچنین افت فشار در لوله ساده کمتر از لوله شیاردار به دست آمده است.

جدول ۴ محاسبه افت فشار اندازه گیری شده لوله شیاردار ۳ و مقایسه با افت فشار لوله ساده ۲

Re	افت فشار کل لوله ۳	افت فشار اتصالات لوله ۳	افت فشار لوله شیاردار ۳	افت فشار لوله ساده ۲	درصد تغییرات افت فشار
48361.11	45000	35027.95	12707.01	10013.4	26.90006
38878.99	31000	21232.35	10122.08	6767.646	49.56571
34102.91	24000	14673.56	8772.213	5353.959	63.84535
29358.02	17000	11938.24	6911.618	4080.992	69.36123
24601.64	11000	6053.598	5283.004	2963.723	78.25567
19730.4	7000	2007.432	4629.82	2004.31	130.9931
14834.81	4000	799.5955	3511.328	1210.714	190.0213

در شکل ۷ افت فشار دو لوله ساده و شیاردار ۲ و ۳ نشان داده شده است. همانطور که در شکل دیده می شود افت فشار در لوله شیاردار به طور محسوسی از لوله ساده بدون شیار بیشتر است. نتیجه به دست آمده را می توان اینگونه توجیح کرد که با اضافه کردن شیار به لوله دو پدیده بر جریان سیال تاثیرگذار می شود. پدیده اول کاهش سطح مقطع جریان است که با توجه به ثابت بودن دبی و کاهش سطح مقطع در حالت شیاردار شدن موجب افزایش سرعت محلی و بالطبع افزایش افت فشار می شود. پدیده دوم بر اثر شیارهای لوله بوجود می آید. با ایجاد شیار بر روی لوله جریان های ثانویه در داخل لوله تشکیل می شود. این جریان های ثانویه در بین فضای بین شیارهای که همانند کویتی می باشد شکل می گیرند. با تشکیل گردابه در این حفره ها سرعت محلی کنار دیواره کاهش پیدا کرده و در نتیجه افت فشار اصطکاکی کاهش پیدا می کند. بنابراین دو پارامتر بر افت فشار در لوله شیاردار تاثیر گذار هستند که با تغییر در اندازه شیار نقش و میزان تاثیر گذاری این دو پارامتر تغییر می کند. به طور کل می توان گفت افت فشار در لوله ناشی از دو مولفه فشار و اصطکاکی است که با اضافه کردن شیار مولفه فشار افزایش و مولفه اصطکاک کاهش پیدا می کند. حال با توجه به اینکه این دو پارامتر بر خلاف هم رفتار می کنند هر پارامتر که تاثیر گذاری بیشتر داشته باشد تعیین کننده تر است. در مدل شماره ۳ با توجه به افزایش افت فشار می توان فهمید که مولفه فشار به قدار زیادی افزایش پیدا کرده است که با وجود کاهش افت اصطکاکی افت کل افزایش چشمگیری داشته است. در این مدل ارتفاع شیار ۱/۰۵ میلیمتر و قطر داخلی لوله ۱۶/۵۷ است یعنی نسبت ارتفاع شیار به قطر داخلی برابر با ۰/۰۶۳ است. به عنوان یک نتیجه کلی می توان گفت اضافه کردن شیار با نسبت ارتفاع شیار به قطر ۰/۰۶۳ در جریان اشفته در محدوده رینولدز ۱۰/۰۰۰ تا ۵۰/۰۰۰ موجب افزایش افت فشار می شود.

[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.3.5.9]



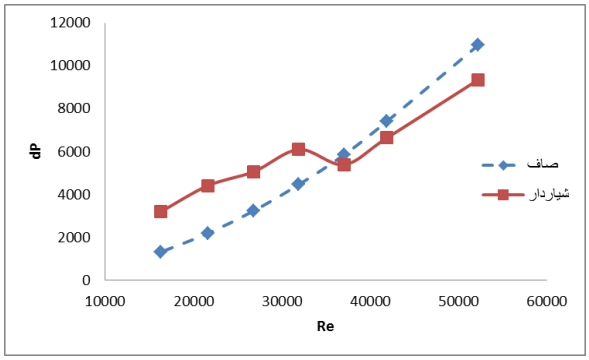
شکل ۷ مقایسه افت فشار لوله صاف و شیاردار

در جدول ۵ نتایج محاسبه افت فشار برای لوله شیاردار ۵ در کنار لوله ساده ۴ نشان داده شده است. این لوله با قطر داخلی ۱۶/۲۱ و ارتفاع شیار ۰/۴۱ است بنابراین نسبت ارتفاع شیار به اندازه قطر لوله برابر با ۰/۰۲۵ می باشد. با توجه به کاهش ارتفاع شیار و مباحث مطرح شده در بخش قبل می توان انتظار داشت افت فشار نسبت به حالت قبل کاهش پیدا کند. با توجه به اینکه با کاهش ارتفاع شیار، سطح مقطع کانال کمتر تغییر کرده و فشار اضافی کتری به سیستم تحمیل می کند و از طرفی به خاطر وجود حفره ها همچنان مولفه اصطکاکی کاهش پیدا می کند. همانطور که در نتایج ارائه شده نیز می توان مشاهده کرد در این مدل با استفاده از شیار افت فشار نسبت به مدل ساده بدون شیار در رینولدزهای بالا با کاهش افت فشار و در رینولدزهای پایین با افزایش افت فشار همراه بوده است به طوریکه افت فشار در محدوده ۵۶/۵٪+ تا ۱۴/۷٪- به ترتیب برای حد پایین و بالای رینولدز تغییر کرده است. همانطور که پیشتر نیز اشاره شده مقادیر منفی نشاندهنده کاهش و مثبت نشان دهنده افزایش افت فشار است. با توجه به نتایج این بخش می توان نتیجه گرفت استفاده از شیار با نسبت ارتفاع ۰/۰۲۵ در رینولدزهای بالای ۳۷/۰۰۰ موجب کاهش افت فشار شده و هر چه رینولدز بیشتر باشد درصد افت فشار نیز بیشتر می شود.

جدول ۵ محاسبه افت فشار لوله شیاردار ۵ و مقایسه با افت فشار لوله ساده ۴

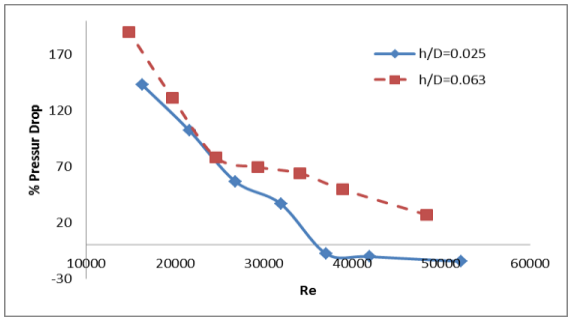
Re	افت فشار کل لوله ۵	افت فشار اتصالات لوله ۵	افت فشار لوله شیاردار ۵	افت فشار لوله ساده ۴	درصد تغییرات افت فشار
52246.59	84000	74654.67	9345.333	10956.66	-14.7063
41905.65	43000	36363.07	6636.926	7409.599	-10.428
37051.8	31000	25607.56	5392.441	5849.764	-7.8178
31926.04	24000	17904.33	6095.666	4460.584	36.65624
26817.02	18000	12936.63	5063.375	3235.446	56.49697
21625.96	14000	9588.349	4411.651	2184.964	101.9096
16306.81	10000	6798.957	3201.043	1318.861	142.7126

در شکل ۸ افت فشار لوله صاف و شیاردار در کنار هم نشان داده شده است همانطرو که از شکل نیز مشخص است شیار استفاده شده در رینولدزهای بالاتر از ۳۷/۰۰۰ موجب کاهش افت فشار شده است.



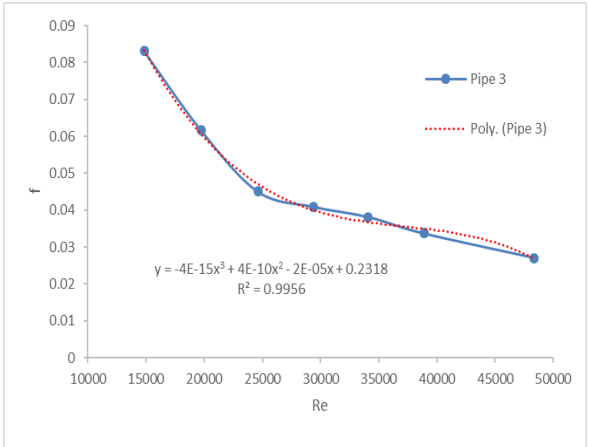
شکل ۸ مقایسه افت فشار لوله شیاردار ۵ و لوله ساده ۴

در شکل ۹ تغییرات درصد افت فشار در رینولدزهای مختلف برای دو نسبت شیار به قطر مختلف نشان داده شده است. همانطور که دیده می شود با کاهش نسبت شیار به قطر افت فشار در رینولدزهای بالا کاهش چشمگیری داشته است. همچنین در هر دو حالت با افزایش عدد رینولدز مقادیر درصد تغییرات افت فشار رو به کاهش است که نشان می دهد استفاده از لوله شیاردار در رینولدزهای بالا می تواند با کاهش افت فشار قابل توجهی همراه باشد.



شکل ۹ درصد تغییرات افت فشار لوله شیاردار

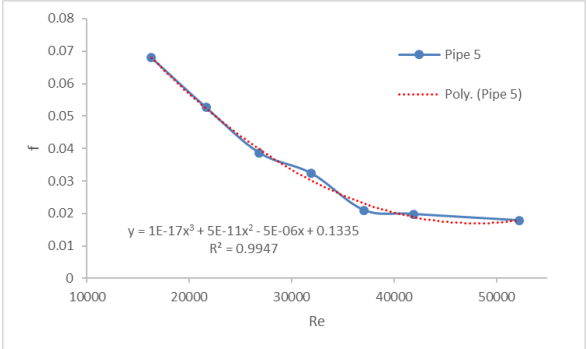
در شکل ۱۰ رابطه رئوف-ظریف برای ضریب اصطکاک لوله شیاردار ۳ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود رابطه استخراج شده از مرتبه ۳ است.



شکل ۱۰ رابطه رئوف-ظریف برای ضریب اصطکاک لوله شماره ۳

[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.3.5.9]

در شکل ۱۱ رابطه رئوف=ظریف برای ضریب اصطکاک لوله ۳ نشان داده شده است که همانطور که دیده می شود در این بخش نیز از رابطه چند جمله ای درجه ۳ استفاده شده است.



شکل ۱۱ رابطه رئوف-ظریف برای ضریب اصطکاک لوله شماره ۵

۴- جمع بندی و نتیجه گیری

در این مطالعه هدف بررسی تاثیر استفاده از شیار در لوله ها به منظور بررسی اثرات آن بر افت فشار بود. استفاده از شیار و صفحات موجدار در کاربردهای انتقال حرارت جایگاه ویژه ای دارد به طوریکه مطالعات بسیاری در زمینه استفاده از لوله مارپیچ و خاندار به منظور افزایش انتقال حرارت انجام شده است. مطالعاتی نیز به منظور بررسی اثر استفاده از شیارهای کوچک در مقیاس (میکرو و نانو) بر روی افت فشار انجام شده است. در این مطالعه هدف بررسی استفاده از شیارهایی در ابعاد میلی بر روی افت فشار در داخل یک لوله بود. بدین منظور با استفاده از ابزار آزمایشگاهی تست هایی در محدوده رینولدز ۱۰/۰۰۰ تا ۵۰/۰۰۰ بر روی ۵ سری لوله ساده و شیاردار انجام گرفت.

با استفاده از لوله های ساده افت فشار اتصالات به صورت تابعی از رینولدز تخمین زده شد تا بتوان افت فشار لوله های شیاردار را محاسبه کرد.

دو لوله شیاردار با نسبت ارتفاع شیار به قطر ۰/۰۶۳ و ۰/۰۲۵ تولید و در محدوده رینولدز ۱۰/۰۰۰ تا ۵۰/۰۰۰ آزمایش گردید.

با توجه به نتایج به دست آمده استفاده لوله شیاردار با نسبت ارتفاع شیار ۰/۰۶۳ موجب افزایش افت فشار در کل محدوده رینولدز مورد بررسی و در لوله شیاردار با نسبت ارتفاع ۰/۰۲۵ موجب افزایش افت فشار در رینولدزهای کمتر از ۳۷/۰۰۰ و کاهش افت فشار در رینولدزهای بیشتر از ۳۷/۰۰۰ می شود.

به طور کلی استفاده از شیار در رینولدزهای بالاتر مناسب تر به نظر می رسد.

بیشتر درصد کاهش افت فشار در رینولدز ۵۰/۰۰۰ و برای نسبت ارتفاع شیار ۰/۰۲۵ به میزان ۱۴٪ گزارش شد .

همچنین بیشترین افزایش افت فشار در رینولدز ۱۰/۰۰۰ برای نسبت ارتفاع ۰/۰۶۳ به میزان ۱۸۰٪ به دست آمد.

مراجع

[1] Walsh, M.J. and Weinstein, L.M. (1978). Drag and heat transfer on surfaces with small longitudinal fins. AIAA paper, 78–1161.

[2] Choi, H.C., Moin, P. and Kim, J. (1993). Direct Numerical Simulation of turbulent flow over riblets. J. Fluid Mech., 255: 503–539.

[3] E. KOURY and P.S. VIRK, Drag Reduction by Polymer Solutions in a Riblet-Lined Pipe, Applied Scientific Research 54: 323-347, 1995.

[4] Yong Chae Jung and Bharat Bhushan, Biomimetic structures for fluid drag reduction in laminar and turbulent flows, J. Phys.: Condens. Matter22(2010) 035104 (9pp)

[5] Putu Wijaya Sunu et al, Optimal Grooves Number for Reducing Pressure Drop, Contemporary Engineering Sciences, Vol. 9, 2016, no. 22, 1067 – 1074 HIKARI Ltd, www.m-hikari.com http://dx.doi.org/10.12988/ces.2016.67122

[6] Woolford, B., Prince, J., Maynes, D., and Webb, B., 2009. "PIV characterization of turbulent channel flow with rib patterned superhydrophobic walls". Physics of Fluids, 21(8), p. 085106

[7] Joseph F. Prince and Daniel Maynes, PRESSURE DROP MEASUREMENTS IN TURBULENT CHANNEL FLOW OVER SUPERHYDROPHOBIC SURFACES WITH RIBLETS, Proceedings of the ASME 2014 12th International Conference on Nanochannels, Microchannels, and Minichannels ICNMM2014 August 3-7, 2014, Chicago, Illinois, USA

[8] Koury, E. & Virk, P. S. 1995 Drag reduction by polymer solutions in a riblet-lined pipe. Appl. Sci. Res. 54, 323–347

[9] Liu, K. N., Christodoulou, C., Riccius, O. & Joseph, D. D. 1990 Drag reduction in pipes lined with riblets. AIAA J. 28, 1697–1699.

[10] Chu, D., and Karniadakis, G., 1993. "A direct numerical simulation of laminar and turbulent flow over ribletmounted surfaces". J. Fluid Mech., 250, May, pp. 1–42

[11] Choi, H., Moin, P., and Kim, J., 1993. "Direct numerical simulation of turbulent flow over riblets". J. Fluid Mech.,255, Oct, pp. 503–539.

[12] Walsh, M., 1982. "Turbulent boundary layer drag reduction using riblets". AAIA, 20th Aerospace Sciences Meeting, Jan, pp. 1–9

[13] Walsh, M., 1983. "Riblets as a viscous drag reduction technique". AAIA Journal, 21(4), Apr, pp. 485–486.

[14] Suzuki, Y., and Kasagi, N., 1994. "Turbulent drag reduction mechanism above a riblet surface". AIAA Journal, 32(9), Sept, pp. 1781–1790

[15] Bechert, D., Bruse, M., Hage, W., Hoeven, J. V. D., and Hoppe, G., 1997. "Experiments on drag-reducing surfaces and their optimization with an adjustable geometry". J. Fluid Mech., 338, May, pp. 59–87

[16] P. W. Sunu, D. S. Anakottapary and W. G. Santika, Temperature approach optimization in

[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.3.5.9]

the double pipe heat exchanger with groove, MATEC Web of Conferences, 58 (2016), 04006.
[17] P.W. Sunu, The characteristics of increased pressure drop in pipes with grooves, Adv. Studies Theor. Phys., 9 (2015), no. 2, 57–61.
[18] P.W. Sunu I.N.G. Wardana and A.A. Sonief, Nurkholis Hamidi, Flow Behavior and Friction Factor in Internally Grooved Pipe Wall, Adv. Studies Theor. Phys., 8 (2014), no. 14, 643-647.
[19] P.W. Sunu, I.N.G. Wardana, A.A. Sonief, Nurkholis Hamidi, The effect of wall groove numbers on pressure drop in pipe flows, Int. J. Fluid Mech. Resch., 42 (2015), no. 2, 119-130.
[20] S. Rainieri, and G. Pagliarini, Convective Heat Transfer to Temperature Dependent Property Fluids in the Entry Region of Corrugated Tubes, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 45(Issue 22):4525–4536, October 2002.
[۲۱] جعفرکاظمی، ف. (۱۳۹۰). ابزار دقیق مقدماتی. ویرایش اول. دانشگاه آزاد اسلامی- واحد تهران جنوب. تهران. ایران. صفحه ۱۴۵

[DOR: 20.1001.1.20089813.1398.6.3.5.9]