بررسی تجربی اثر قطر و گام وایر بر انتقال حرارت و افت فشار در مبدل حرارتی با لوله‌های وایر پیچ شده

طالبی، منصور[1]*- موسوی قهفرخی، سید جمشید[2]

۱- استادیار، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای ایران، mstalebi@aeoi.org.ir

۲- دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر مجلسی

چکیده

به منظور افزایش انتقال حرارت در مبدلهای حرارتی پوسته لوله ای، مولد های بخار نیروگاهی و حتی مجتمع های سوخت نیروگاههای هسته ای یک ایده استفاده از وایر پیچشی به دور لوله ها و یا میله های سوخت است. در کار حاضر به روش تجربی تاثیر قطر و گام وایر پیچشی بر انتقال حرارت و افت فشار در یک مبدل پوسته لوله با لوله‌های وایر پیچ شده بررسی شده است. آب سرد با دبی ۰/۰۱۳۳ تا ۰/۲ کیلو گرم بر ثانیه به عنوان متغیر ثابت در پوسته جریان دارد در محدوده آزمایش-های انجام شده مشخص شد که انتخاب گام مناسب وایر تاثیر قابل توجهی بر میزان انتقال حرارت دارد. از طرف دیگر با افزایش قطر وایر می توان گام وایر را افزایش داده و مصالح کمتری به کار برد با افزایش دبی پوسته میزان انتقال حرارت بهبود می یابد . در محدوده آزمایش بیشترین افزایش انتقال حرارت در اثر وجود وایر پیچشی با گام ۸۰ و قطر ٤ میلیمتر است.

کلمات کلیدی

آنالیز تجربی انتقال حرارت, مبدل پوسته لوله، وایر پیچشی، گام و قطر وایر.

مقدمه

انتقال کم گرما به حضور یک لایه مرزی نزدیک به سطح لوله‌های انتقال حرارت باز می‌گردد . جهت بهبود انتقال حرارت لازم است این لایه مرزی شکسته شود یکی از راههای شکستن این لایه، متلاطم نمودن جریان از طریق ایجاد گردابه در اطراف سطح لوله‌های مبدل است[۱]. استفاده از وایر پیچشی موجب افزایش سطح لوله واز طرفی آشفته کردن جریان سیال نزدیک دیواره واز بین بردن لایه مرزی جریان آرام شده و در نتیجه باعث افزایش انتقال حرارت می‌گردد. در سالهای اخیر تلاش های زیادی به منظور افزایش انتقال حرارت در مولدهای بخار و مبدل‌های حرارتی انجام یافته است رسیدن به عملکرد حرارتی بالاتر ذخیره انرژی و هزینه کمتر دلایل مهم این تحقیقات می‌باشد. قطر و گام وایر پیچشی در عمل کرد آن جهت بهبود انتقال حرارت بسیار مهم می باشد.

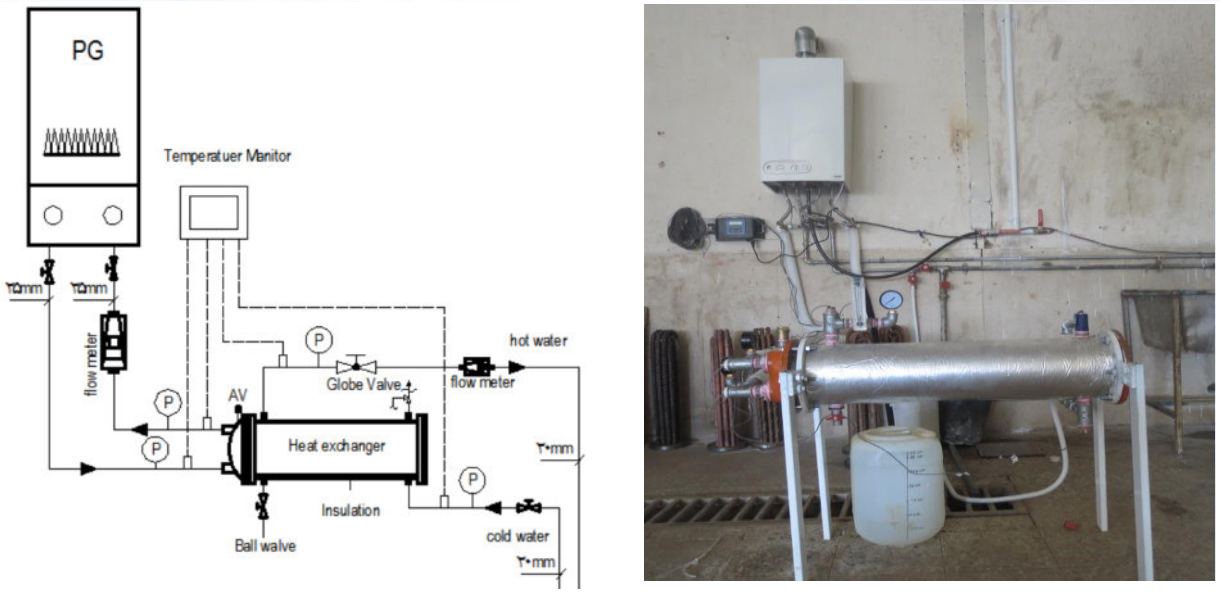
کاهانی وهمکارانش با استفاده ازنانوسیال درکویل‌های مارپیچی به صورت تجربی بررسی نموده‌اند. آنها بیان کردندکه به خاطرخمیدگی (مارپیچی بودن) کویل‌ها، افزایش قابل توجهی را در میزان انتقال حرارت ونیز افت فشار شاهد بوده‌اند[۲]. ناصرقربانی و همکارانش (۲۰۱۰) درتحقیق تجربی مبدل حرارتی پوسته و سیم پیچ به بررسی اثر قطرلوله، قطرسیم پیچ ودبی جریان در دو حالت جریان آرام و آشفته داخل سیم پیچ پرداخته و نشان دادند که نرخ جرم سمت لوله نسبت به پوسته برروی پروفیل دمای مرکزی (محوری) مبدل موثراست. با تغییرنسبت دبی جرمی

کویل به دبی جرمی پوسته مقدار توزیع درجه حرارت از حالت خطی بودن خارج می‌شود[۳]. تانوپون سوچانا و همکارانش درسال ۲۰۱۰ مطالعه‌ای در مورد ویژگی‌های انتقال حرارت و افت فشار در لوله‌ی متحدالمرکز افقی با سیم پیچ با قطر و تراکم مختلف انجام داده و نتایج را با لوله ساده مقایسه کردند [٤]. پیوتروایس و همکارانش درسال ۲۰۱٦ با یک مطالعه عددی به بررسی تأثیر ضخامت و جهت دهنده‌های پره در مبدلهای حرارتی جریان عرضی پرداختند و پی‌بردند که جهت دهندها چون جریان سیال را به پشت لوله‌ها هدایت میکنند انتقال حرارت افزایش می یابد [۵].

جمع بندی مطالعات انجام شده در این زمینه نشانگر اهمیت وایر پیچشی در مکانیزم‌ها ی انتقال حرارت در مبدلهای حرارتی می‌باشد. با این وجود نیاز به انجام آزمایش‌های بیشتر جهت توسعه کمی و کیفی نتایج بدست آمده همچنان باقی است. به این منظور در پژوهش کنونی به طراحی و ساخت یک مجموعه آزمایشی کامل یک پوسته و یا کویل با وایر پیچشی با قطر و گام مختلف و کویل بدون وایر پیچشی به منظور مقایسه دادها اقدام گردید.

روش کار:

جهت بررسی سیستمی آزمایشگاهی طراحی و ساخته شد. قسمت اصلی این سیستم یک کویل بدون وایر و شش کویل وایرپیچ شده است که سیال گرم با خواص ثابت از داخل کویل عبور کرده و سیال سرد پوسته با خواص ثابت را گرم می‌نماید. درجه حرارت سیال گرم و سرد در ورودی و خروجی به مبدل همراه با فشارها اندازه‌گیری می‌گردد؛ همچنین دبی جرمی سیال گرم و سرد توسط دبی‌سنج‌های مناسب سنجیده می‌شود. تمهیدات لازم جهت اندازه‌گیری سایر پارامترها نیز اندیشیده شد. جهت جمع آوری داده‌های لازم برای محاسبه انتقال حرارت، سیستم آزمایشی به شرح ذیل ساخته و مجهز به ابزار اندازه‌گیری لازم شد. شماتیک این سیستم وتصویر آن در شکل(۱) نشان داده شده است.

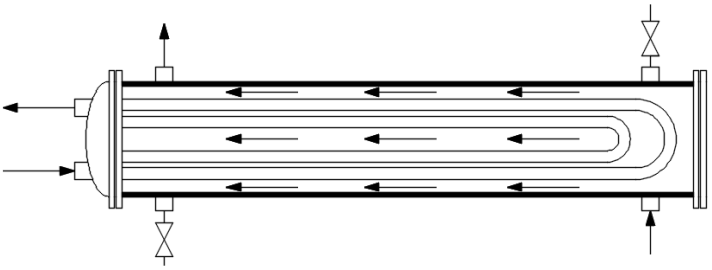


شکل۱- شماتیک و تصویر دستگاه آزمایش

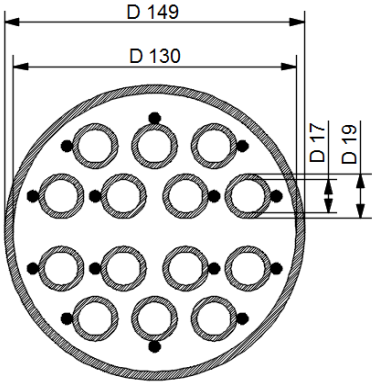
اجزاء سیستم شامل (مبدل حرارتی، منبع حرارتی، پمپ سانتریفوژ، دبی‌سنج، نمایشگر، سنسور، فشارسنج) همچنین شیرهای بشقابی[1] برای تنظیم دبی و سه راه جهت نصب وسایل اندازه‌گیری در مدار لوله کشی استفاده شده است.

مبادله‌کن‌های گرمای پوسته‌ای و لوله‌ای از لوله‌های دایره‌ای قرار گرفته در یک پوسته استوانه‌ای ساخته می‌شود که لوله‌ها، موازی با پوسته می‌باشد. یک سیال در داخل لوله‌ها جریان دارد و سیال دیگر روی دسته لوله‌ها در عرض و در طول محور مبادله‌کن جریان می‌یابد. اجزای اصلی این مبادله‌کن، لوله‌ها (دسته لوله)، پوسته، سر انتهای جلویی (سرگاه، کلگی یا کلاهک)، سر انتهایی عقبی و اتصالات ورود و خروج پوسته در شکل (۲) نشان داده شده است که بدلیل ارزانی و سادگی، رایج‌ترین پوسته است. سیال در این پوسته از یک انتهای پوسته وارد می‌شود و از انتهای دیگر، خارج می‌گردد. یعنی در سمت پوسته یک گذر جریان وجود دارد. رایج‌ترین لوله‌ها (دسته لوله) به شکل U است که در این سیستم آزمایشی مورد استفاده قرار گرفته است. در شکل (۳) مقطع عرضی مبدل و نحوه چیدمان لوله‌های مسی به قطر خارجی ۱۹ و ضخامت یک میلیمتر را نشان می‌دهد.

[1]-Gaet valve



شکل ۲- تصویر شماتیکی مبدل حرارتی



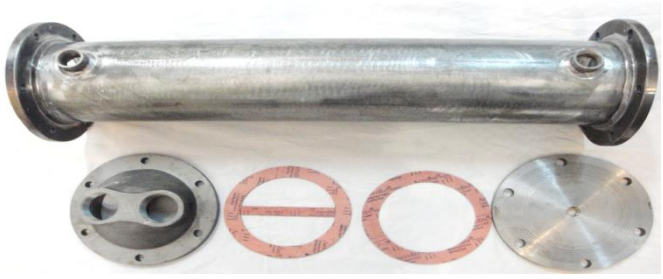
شکل۳- مقطع عرضی مبدل و چیدمان لوله‌ها

دسته لوله ها با وایر مسی با مقطع دایروی و قطرهای ۲ و٤ میلیمتر و با گامهای ۲۰، ۵۰ و۸۰ میلیمتر با استفاده نقره جوش به لوله ها لحیم می شوند (شکل٤).

شکل ۴- لوله ها با وایرهای نصب شده روی آنها در چند قطر و گام مختلف

پوسته مبدل

جهت ساخت پوسته‌ی مبدل حرارتی با وایر پیچشی لوله‌ای فولادی با روکش گالوانیزه به قطر خارجی ۱۶۰و قطر داخلی ۱۵۰ میلیمتر استفاده شده است. ورود و خروج آب پوسته توسط چهار بوشن ۱ اینچ در دو جهت بالا و پایین برای ورود یا خروج آب از پایین، بالا، چپ یا راست به دو طرف پوسته جوش داده شده است (شکل ۵).



شکل۵- پوسته، فلنج‌ها و واشرهای آب بندی

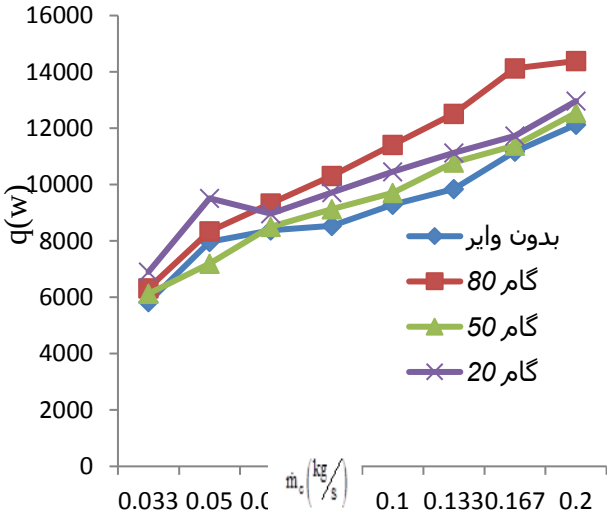
نتایج

در این آزمایش متغیر های مستقل دمای سیال گرم و همچنین دبی سیال سرد، دمای ورود آب را در شش دمای ۸۰، ۷۰،۶۰، ۵۰، ۴۰ و۳۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شده و دبی پوسته ۰/۰۳۳، ۰/۰۵، ۰/۰۶۸، ۰/۰۸۳، ۰/۱، ۰/۱۳۳، ۰/۱۶۸ و ۰/۲ کیلو گرم بر ثانیه می باشد. در هر مرحله آزمایش پارامتر های اندازه گیری شده عبارتند از: دمای خروجی و وردی پوسته، دمای خروجی و ورودی کویل، فشار ورودی وخروجی پوسته، فشار ورودی وخروجی کویل، دبی پوسته و دبی کویل که در تمام مراحل آزمایش ثابت فرض شده است(جدول-۱).

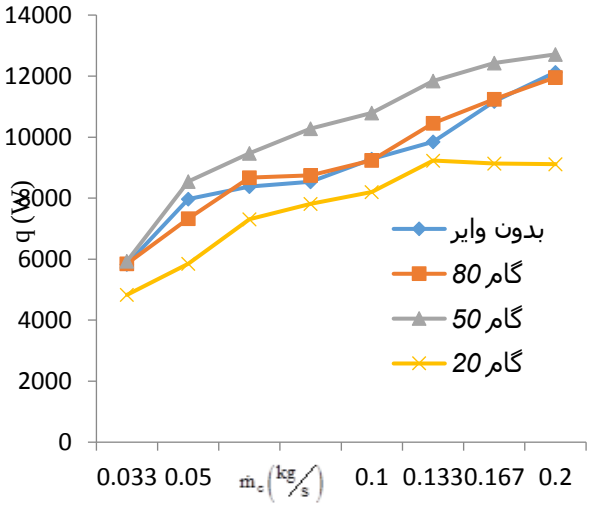
جدول -۱- داده‌های خوانده شده و محاسبه شده ازست آزمایشگاهی مبدل پوسته لوله با وایر پیچشی با قطر وایر ۴و گام وایر ۸۰ میلیمتر

مبدل حرارتی با قطر وایر 4mm و گام 80mm		T_i ورودی کویل °C	T_o خروجی کویل °C	t_i ورودی پوسته °C	t_o خروجی پوسته °C	P_i فشار ورودی کویل kg/cm^2	P_o فشار خروجی کویل kg/cm^2	Δp کویل kg/cm^2	P_i فشار ورودی پوسته kg/cm^2	P_o فشار خروجی پوسته kg/cm^2	Δp پوسته kg/cm^2	$\Delta T_m = \frac{(T_i - t_o) - (T_o - t_i)}{\ln((T_i - t_o)/(T_o - t_i))}$	$q = \dot{m}_c^{\circ} C_c \Delta T_c$ W	$UA = \frac{q}{F \Delta T_m}$ W/C°	F	$p = \frac{t_o - t_i}{T_o - t_i}$	$R = \frac{T_i - T_o}{t_o - t_i}$
دبی کویل kg/s	دبی پوسته kg/s																
0.2	0.033	80	72.0	20	65.8	1.8	1.75	0.5	3.1	3.0	0.1	28.4	6321	232	0.96	0.76	0.17
	0.050	80	71.2	20	59.9	1.8	1.75	0.5	3.1	3.0	0.1	33.1	8343	262.2	0.96	0.66	0.22
	0.068	80	70.3	20	52.8	1.8	1.75	0.5	3.0	2.9	0.1	37.9	9327	256.3	0.96	0.55	0.30
	0.083	80	69.7	20	49.7	1.8	1.75	0.5	2.9	2.8	0.1	39.6	10309	268.4	0.97	0.50	0.35
	0.100	80	69.1	20	47.3	1.8	1.75	0.5	2.9	2.8	0.1	40.0	11417	294.2	0.97	0.45	0.40
	0.133	80	67.7	20	42.5	1.8	1.75	0.5	2.7	2.6	0.1	42.5	12515	300	0.98	0.38	0.55
	0.167	80	66.5	20	40.1	1.8	1.75	0.5	2.7	2.6	0.1	44.0	14122	327.5	0.98	0.34	0.67
	0.200	80	65.6	20	37.2	1.8	1.75	0.5	2.5	2.45	0.05	46.7	14386	311	0.99	0.29	0.84
0.2	0.068	30	29.5	20	25.8	1.8	1.75	0.5	3.0	2.9	0.1	6.5	1649	267	0.95	0.61	0.09
	0.068	40	38.7	20	30.0	1.8	1.75	0.5	3.0	2.9	0.1	13.9	2842	215	0.95	0.53	0.13
	0.068	50	43.6	20	32.3	1.8	1.75	0.5	3.0	2.9	0.1	20.5	3496	177.6	0.96	0.52	0.52
	0.068	60	52.2	20	38.0	1.8	1.75	0.5	3.0	2.9	0.1	32	5116	161.5	0.96	0.56	0.43
	0.068	70	61.5	20	44.7	1.8	1.75	0.5	3.0	2.9	0.1	32.7	7021	219	0.97	0.59	0.34
	0.068	80	68.2	20	49.5	1.8	1.75	0.5	3.0	2.9	0.1	38.7	8385	223	0.97	0.61	0.40
0.2	0.133	30	28.5	20	24.9	1.8	1.75	0.5	2.8	2.7	0.1	6.7	2724	223.5	0.96	0.57	0.30
	0.133	40	34.6	20	26.0	1.8	1.75	0.5	2.8	2.7	0.1	14.3	3336	243	0.96	0.41	0.90
	0.133	50	42.4	20	28.3	1.8	1.75	0.5	2.8	2.7	0.1	22.0	4614	214	0.97	0.37	0.91
	0.133	60	50.5	20	32.0	1.8	1.75	0.5	2.8	2.7	0.1	29.2	6671	233	0.97	0.39	0.79
	0.133	70	57.4	20	35.2	1.8	1.75	0.5	2.8	2.7	0.1	36.08	8450	236.5	0.98	0.40	0.83
	0.133	80	66.0	20	40.0	1.8	1.75	0.5	2.8	2.7	0.1	42.9	11118	267	0.98	0.43	0.70

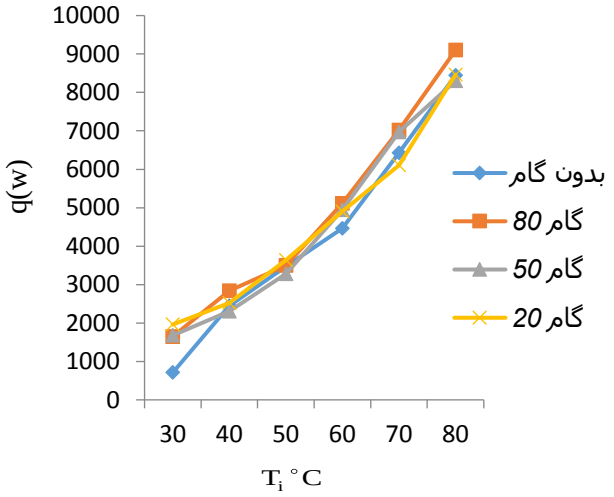
در شکل (٦) تغییرات مقدار انتقال حرارت (q) بر حسب دبی پوسته($\dot{m}_c$) در شرایط $T_i = 80°C$ ، $t_i = 20°C$ برای کویل با قطر وایر۲و ٤ میلیمتر وگام‌های مختلف نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش دبی مقدار انتقال حرارت برای گام‌های مختلف زیاد می‌شود که بیشترین مقدار مربوط به مبدل وایر پیچی شده با گام ۸۰ میلیمتر می‌باشد. شکل (۷) نیز تغییرات انتقال حرارت را بر حسب دمای ورودی کویل برای وایر ۲ و ٤ میلیمتری نشان میدهد.



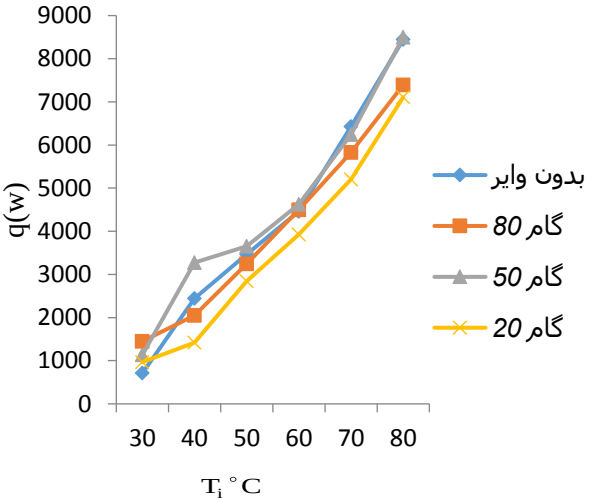
شکل ۶- ب- تغییرات مقدار انتقال حرارت بر حسب دبی پوسته در شرایط $T_i = 80°C$ ، $t_i = 20°C$برای کویل با وایر۲ میلیمتری



شکل ۶-الف- تغییرات مقدار انتقال حرارت بر حسب دبی پوسته در شرایط $T_i = 80°C$ ، $t_i = 20°C$ برای کویل با وایر ۴ میلیمتری



شکل۷-ب- تغییرات انتقال حرارت (q) بر حسب دمای ورودی کویل در شرایط $t_i = 20°C$ ، $\dot{m}_c = 0.068kg/s$ برای کویل با وایر ۴ میلیمتری



شکل ۷-الف- تغییرات انتقال حرارت بر حسب دمای ورودی کویل در شرایط $t_i = 20$ ، $\dot{m}_c = 0.068kg/s$ برای کویل با وایر۲ میلیمتری

همانطور که ملاحظه می شود با افزایش دمای آب ورودی کویل و دبی پوسته انتقال حرارت افزایش می یابد. با اضافه شدن وایر پیچشی در خروجی پوسته در دماهای مختلف تا ۸/۳۱ درجه سانتیگراد افزایش حاصل شده است. همچنین با محاسبه مقدار انتقال حرارت مشاهده شد که بین ۲۷/۱ تا ٤/۷ ٪ در مبدل پوسته لوله با وایر پیچشی با قطر وگام مختلف نسبت به مبدل بدون وایر پیچشی صرفه جویی حاصل شده است.

یکی از پارامترهایی که در طراحی مبدل‌های پوسته لوله باید مد نظر قرا گیرد، افزایش نیافتن افت فشار با اضافه کردن قطعات داخلی یا خارجی به واسطه افزایش هزینه پمپاژ است. با اندازه گیری مقدار فشار در ورودی پوسته و

خروجی پوسته در دوحالت مبدل با وایر پیچشی و بدون وایر پیچشی و مقایسه هر دو حالت اختلاف افت فشار محسوسی مشاهده نشد؛ به عبارت دیگر با افزودن وایر پیچشی مقدار افزایش افت فشار چشم گیر نیست.

بحث ونتیجه گیری

در کار حاضر به روش تجربی انتقال حرات در یک مبدل با لوله های وایر پیچی شده بررسی شد. نتایج حاصل را می توان به صورت زیر جمع بندی نمود:

با افزایش قطر وایر پیچشی می توان گام وایر را افزایش داد.

در گام بیست میلیمتر با وجود به کار بردن مواد اولیه بیشتر، افزایش انتقال حرارت کمتر و بهینه نمی باشد.

درانتخاب قطروایر پیچشی، قطر ٤ میلیمتر تأثیر بیشتری نسبت به قطر ۲ میلیمتر در افزایش انتقال حرارت دارد.و در انتخاب گام وایر پیچشی گام ۸۰ میلیمتر باوجود مواد بکار رفته کمتر تأثیر بیشتری نسبت به سایر گام های وایر پیچشی دارد. تأثیر بکار گیری وایر پیچشی با گام وقطر مختلف در تغییر لایه مرزی ایجاد شده اثر بیشتری نسبت به افزایش سطح حرارتی دارد.

منابع و مراجع

[۱]- جعفری نصرم. ۱۳۸۵"رویه طراحی سریع برای فناوری جدید مبدل‌های پوسته-لوله ای با بافلهای حلزونی"، دانشگاه صنعتی سهند، مجله تحقیق درعلوم ومهندسی نفت، شماره۵۲

[2]M. Kahani., S. Zeinali Heris, S. M. Mousavi, "Effects of curvature ratio and coil pitch spacing on heat Transfer performance of Al2O3-Water nanofluid laminar flow through helical coils," Journal of Dispersion Science and Technology, pp. 1704-1712, 2013.

[3] Nasser Ghorbani., HessamTaherian., MofidGorji, HessamMirgolbabaei., 2010. "An experimental study of thermal performance of shell-and-coil heat exchangers", International Communications in Heat and Mass Transfer, 37, pages 775–781.

[4] TanaponSuchana., PaisarnNaphon., 2010. " Heat transfer enhancement and pressure drop of the horizontal concentric tube with twisted wires brush inserts Thermo-Fluids and Heat Transfer Enhancement Laboratory", International Communications in Heat and Mass Transfer, 38, pages 236–241.

[5] PiotrWais, Influence of fin thickness and winglet orientation on mass and thermal efficiency of cross-flow heat exchanger. Applied Thermal Engineering. 2016, pages 202-209.