

طراحی، ساخت، نصب و راه‌اندازی تبادلهای حرارتی با بفلهای حلزونی در واحد ۱- بوتن پتروشیمی تبریز

محمد رضا جعفری نصر^{۱*}، مژگان رستمی^۲، رضا طسوجی آذر^۳، امین سالم^۲

۱- تهران، شرکت پژوهش و فناوری پتروشیمی

۲- تبریز، دانشگاه صنعتی سهند، دانشکده مهندسی شیمی

۳- تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی تبریز

پیام نگار: m.jafarinasr@npc-rt.ir

چکیده

امروزه بکارگیری تبادلهای حرارتی با بفلهای حلزونی (مارپیچ) از زمره فناوریهای جدیدی محسوب می‌شوند که به منظور رفع نواقص تبادلهای مرسوم با بفلهای قطاعی طراحی در حال جایگزین شدن می‌باشند. در این مقاله که حاصل انجام پروژه‌های کاربردی در جهت دستیابی به دانش فنی، تولید فناوری و بومی‌سازی این نوع تبادلهای در کشور بوده است، پس از معرفی تبادلهای حلزونی به مشکلات عملکردی و عملیاتی تبادلهای واحد ۱- بوتن پتروشیمی تبریز پرداخته شده و روش طراحی تبادلهای با بفل حلزونی (مارپیچی) ارائه گردیده است. در ادامه، بررسی و تحلیل حرارتی تبادلهای حلزونی و مقایسه آن با بفلهای قطاعی به کمک شبیه‌ساز دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) ارائه شده است. سپس گستره همپوشانی بهینه تبادلهای حلزونی بررسی شده است که نتایج، بیانگر آن است که محدوده همپوشانی بهینه برای تبادلهای حلزونی، بازه ۰/۶ - ۰/۴ است. نتایج بدست آمده از عملیات دسته لوله با بافل جایگزین شده در پتروشیمی تبریز تصدیقی بر کارایی بهتر تبادلهای حلزونی در مقایسه با تبادلهای مجهز به بفلهای قطاعی می‌باشد. همچنین نشان داده شده است که جایگزینی بافل‌های جدید چگونه کاهش ۵۰ درصدی در هزینه‌های عملیاتی و فرایندی را در برداشته و زمان کارکرد عملیاتی تبادلهای را به ۳ برابر افزایش داده است.

کلمات کلیدی: تبادلهای حلزونی، طراحی سریع، بافل قطاعی، دوره کارکرد، ساخت و نصب، رسوب‌گذاری

۱- مقدمه

محسوب می‌شوند. تبادلهای حرارتی پوسته-لوله‌ای گرچه در مقایسه با تبادلهای فشرده (منظور از تبادلهای حرارتی فشرده تبادلهای حرارتی غیر از تبادلهای پوسته-لوله می‌باشند که در آنها نسبت سطح تبادل حرارت بر واحد حجم کلی بیش از $1000-700 \text{ (m}^2/\text{m}^3)$ می‌باشند) دارای کارایی حرارتی پایین‌تری هستند، اما مزایایی که این تبادلهای فراهم کرده‌اند، سبب گردیده

تبادلهای پوسته-لوله از مهمترین تجهیزات فرایندی است که در همه صنایع از قبیل نفت، گاز، پتروشیمی، فولاد، نیروگاهی، غذایی و... کاربرد گسترده‌ای دارند. هدف از کاربرد تبادلهای حرارتی در فرایندها، کاهش مصرف انرژی است. تبادلهای حرارتی پوسته-لوله از مرسوم‌ترین و پرکاربردترین نوع تبادلهای حرارتی

پتروشیمی تبریز با مشکلات عدیده‌ای در زمینه ایجاد پدیده رسوب‌گذاری یکنواخت و غیر یکنواخت در سمت پوسته مواجه بوده‌اند. رسوب‌گذاری در این تبادله‌ها سبب عدم رسیدن دمای سیالهای سمت پوسته و لوله به دماهای موردنظر شده و باعث کاهش سطح انتقال گرما و بازدهی حرارتی تبادله می‌گردید. این مشکل عملیاتی، سبب افزایش استفاده از منابع حرارتی و برودتی شده و موجب می‌گردید این تبادله‌ها در بازه‌های زمانی کوتاه از سرویس خارج شوند تا نسبت به تمیزکاری آنها اقدام گردد. در واقع رسوب‌گذاری تبادله‌ها تأثیر مستقیم بر هزینه بهره‌برداری، تعمیر، نگهداری و انرژی واحد دارد.

واحد تحقیق و توسعه پتروشیمی تبریز، پیرامون این موضوع تحقیقاتی انجام داده و راهکارهایی پیشنهاد کرد. یکی از راهکارهای ارائه شده، افزایش استفاده از مواد ضد رسوب در سیستم خنک کننده بود. با بررسی‌های فنی صورت پذیرفته مشخص گردید، بدلیل کاهش غلظت مواد ضد رسوب در برج‌های خنک‌کننده و هزینه زیاد کنترل غلظت در حد مطلوب، این راهکار عملی نخواهد بود. راهکار دیگر پیشنهادی، استفاده از تبادله‌ها با بفلهای حلزونی بود و مطالعات انجام شده نشان داد که این سیستم توانایی بالقوه در حذف رسوب واحد را دارد. لذا مطالعات در زمینه ایجاد دانش فنی این فناوری آغاز گردید تا پس از حل مشکل این واحد، نسبت به توسعه و ایجاد این فناوری و استفاده از قابلیت‌های آن در سایر واحدهای پتروشیمی که مشکلات عملیاتی از این قبیل دارند، اقدام گردد. در این راستا طراحی تبادله‌ها با بفلهای حلزونی بوسیله نرم افزار اکسپرس^۱ صورت گرفت. ولی از آنجا که این نرم افزار برای ارزیابی و تخمین سریع طراحی به کار می‌رود، همچنان نیاز به داشتن نرم افزاری بومی که به طراحی دقیق تبادله‌ها کمک نماید، احساس می‌شد لذا نگارندگان روش توانمند طراحی سریع برای تبادله‌ها با بفلهای حلزونی را توسعه دادند و رابطه‌ای بر اساس روش بل^۲ که از دقت بالایی برخوردار است، ارائه کردند [۷-۵ و ۲].

در ادامه، به معرفی این سیستم از بفلها، روش طراحی سریع و پارامترهای مؤثر در طراحی و قابلیت‌های آنها پرداخته شده است.

که همچنان در بسیاری از کاربردها به عنوان اولین انتخاب، مدنظر قرار گیرند. اما در مقابل تمام مزایای مشهور تبادله‌های پوسته-لوله، معایبی نیز در عملکرد این تبادله‌ها وجود دارد که همواره در طول دهه‌های اخیر تکنیک‌هایی در جهت رفع این کمبودها ارائه گردیده است.

معایب تبادله‌های پوسته-لوله مرسوم را در سه بخش حرارتی، هیدرولیکی و عملیاتی می‌توان دسته‌بندی کرد. ضرایب انتقال گرمای حاصل از وجود جریانهای برگشتی و اختلاطهای جریان، کم شده است و از اینرو نرخ انتقال گرما در واحد سطح، کم است. در بخش هیدرولیکی مهمترین مبحث، افت فشار تبادله‌ها در سمت پوسته است که در ساختارهای مرسوم، افت و خیزهای مکرر جریان و انقباض و انبساطها و تغییرات ناگهانی مسیر جریان باعث افزایش افت فشار می‌گردد. لرزش دسته لوله و بخصوص، رسوب‌گذاری نیز از نکات حائز اهمیت در بخش مشکلات عملیاتی است. در واقع، رسوب‌گذاری و افت فشار بالا می‌توانند هزینه‌های زیادی را بخصوص در فرایندهای مستعد به رسوب‌گذاری به فرایندها تحمیل کنند [۱ و ۲].

در دهه‌های اخیر با توجه به افزایش قیمت انرژی، همواره سعی بر کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی تبادله‌های حرارتی پوسته-لوله بوده و در این راستا فناوریهای جدیدی از جمله ابزارهای افزایشدهنده انتقال گرمای داخل لوله، تبادله‌ها با بفلهای میله‌ای، تبادله‌های لوله پیچشی و.... معرفی شده‌اند. در این میان، تبادله‌ها با بفلهای حلزونی (مارپیچ) یک فناوری جدید با قابلیت‌های بالا می‌باشد که فناوری آن در اختیار شرکت امریکایی ABB Lummus بوده و بدلیل برخی از کاربردهای این فناوری در صنایع هسته‌ای، در زمره تجهیزات مورد تحریم می‌باشد.

خوشبختانه با حمایت مرکز پژوهش پتروشیمی تبریز و پس از اتمام کار پژوهشی طراحی این نوع تبادله‌های حرارتی، برای اولین بار در کشور به ساخت، نصب و انجام آزمایشات میدانی آنها همت شده است که در زیر به نتایج آن اشاره خواهد شد.

۲- مشکل عملیاتی در تبادله‌های حرارتی پتروشیمی

تبریز

تبادله‌های حرارتی واحدهای ۳۰۱-E-۱۲ و ۹۳۰-E-۱۱

۱. اکسپرس یک نرم افزار قدرتمند است که برای معتبرسازی و تحلیل نتایج، مورد استفاده کاربران قرار می‌گیرد. این نرم افزار تحت هدایت قسمت رسوب صنعت نفت ESDU گسترش یافته که به عنوان ابزاری منحصر به فرد بوسیله مهندسين برای ارزیابی و تخمین سریع طراحی به کار می‌رود.

2. Bell

طراحی آنها به‌شمار می‌رود. بدیهی است که محاسبه ضریب انتقال گرما و افت فشار، جزء اصلی ترین بخشهای طراحی می‌باشد. در روش های معمول قدیمی روند کار بر این روال بود که طراحی با یک حدس اولیه برای ضریب انتقال گرمای کلی شروع می‌شود و در نهایت، پس از طراحی افت فشار محاسبه می‌گردد. در صورتی که افت فشار محاسبه شده کمتر از افت فشار مجاز باشد، طراحی قابل قبول است. البته اگر اختلاف افت فشار بدست آمده با افت فشار مجاز زیاد باشد، ضریب انتقال گرمای پایین تری حاصل می‌گردد. روش طراحی سریع تبادلهای حرارتی روشی است که در زمینه عملکرد و بهینه سازی تبادلهای نیز جواب قابل قبولی می‌دهد. این روش بر مبنای حذف جمله سرعت و ارائه رابطه مستقیمی میان افت فشار و ضریب انتقال گرما، حداکثر استفاده از افت فشار مجاز را می‌نماید، از اینرو تبادلهای در بالاترین سرعت های ممکن، کار خواهد کرد و بالاترین ضرایب انتقال گرما ایجاد خواهد شد و تبادلهای با اندازه کوچکتری بدست می‌آید که نهایتاً از نظر اقتصادی نیز با صرفه تر خواهد بود [۲]. پیش از این، محققین روابطی بر اساس این روش برای تبادلهای با بفلهای قطاعی ارائه کرده‌اند. لذا سعی بر آن شد برای طراحی تبادلهای حرارتی با بفلهای حلزونی از این روش استفاده گردد. در این راستا روابطی جهت طراحی حرارتی بر اساس این روش توسعه داده شد:

برای جریان آشفته سمت پوسته:

$$\Delta P = (K_1 \cdot h + K_2)^5 \cdot (K_3 \cdot A + K_4)$$

$$K_1 = \frac{l_{fo}}{0.62 k_s \prod Y_i} \quad K_2 = -0.3 \quad K_3 = \frac{2f \cdot n_r \cdot \rho}{n \cdot \pi \cdot d_o \cdot H_s} \cdot \left(\frac{E}{F}\right)^{2.5}$$

$$K_4 = 2f \cdot n_r \cdot \rho \cdot \left(\frac{E}{F}\right)^{2.5} \cdot (Z_s - 0.5)$$

که در آن E و F از روابط مربوطه تعیین می‌شوند:

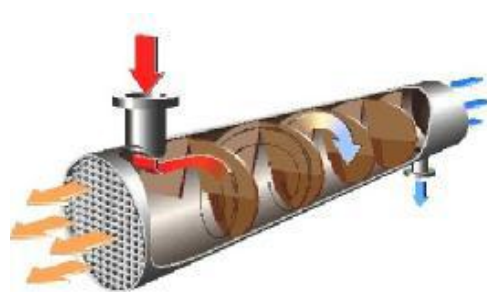
$$E = 2.443 (Pr^{0.67} - 1) \quad F = 0.037 Pr \left(\frac{\rho \cdot D_s}{\mu}\right)^{0.8}$$

با داشتن این روابط و کدنویسی بر مبنای روش طراحی سریع تاثیر زاویه پیچش بر برخی پارامترهای مهم طراحی بررسی شده است.

شکل (۲) مقادیر ضریب انتقال گرمای سمت پوسته را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل دیده می‌شود با افزایش افت فشار ضریب

۳- تبادلهای حرارتی با بفلهای حلزونی (مارپیچ) و پارامترهای طراحی

بفلهای حلزونی در واقع قطعات شبه ربع دایره‌ای شکل هستند که با زاویه خاصی نسبت به محور تبادلهای و پشت سر هم قرار می‌گیرند تا موجب ایجاد مسیر حلزونی و پیچشی برای جریان سیال عبوری از سمت پوسته شوند (شکل (۱)). هر کدام از بفلها یک چهارم از مقطع پوسته را اشغال می‌کند و هر چهار بفل یک دسته بفل را تشکیل می‌دهند بطوری که سیال با عبور از آن به موقعیت ابتدایی خود می‌رسد.



شکل ۱- نمایی از تبادلهای پوسته-لوله با بفلهای حلزونی (مارپیچ)

طراحی بهینه بفلهای حلزونی وابستگی زیادی به شرایط عملکرد تبادلهای حرارتی دارد و می‌توان آن را از طریق طراحی مناسب زاویه پیچش، همپوشانی بفلها و طرح بندی لوله ها کامل کرد. طرح بندی لوله ها بسته به شرایط عملیاتی تعیین می‌گردد. عامل دیگر، یعنی تغییرات زاویه پیچش بفلها که به صورت زاویه بین جهت جریان محور لوله تعریف می‌شود، دامنه گسترده ای از سرعتهای جریان ایجاد می‌کند. بر اساس انجام آزمایشهای مختلف و شبیه سازی به کمک دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)، زاویه عملکرد بهینه برای این تبادلهای تعیین شده است. نتایج حاصل از مطالعات، زاویه حدود ۴۰ درجه را به عنوان زاویه بهینه پیچش بفلهای حلزونی معرفی می‌کند. همچنین در ادامه با توسعه روش طراحی سریع برای تبادلهای حلزونی به بررسی برخی پارامترهای مهم طراحی برای دو زاویه ۳۰ و ۴۰ درجه بفلهای حلزونی پرداخته شده است.

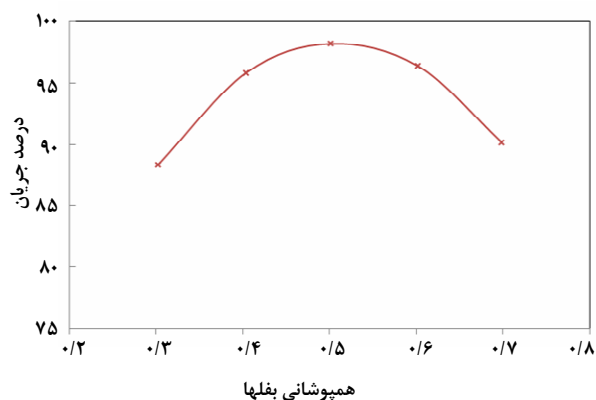
۴- روش طراحی سریع

روش طراحی سریع تبادلهای حرارتی، آخرین و جدیدترین روش

می‌تواند اساساً روی الگوی جریان سمت پوسته اثر بگذارد. از اینرو در ادامه به کمک دینامیک سیالات محاسباتی به بررسی بهینه فاصله همپوشانی پرداخته شده است.

۵- گستره همپوشانی بهینه بفلهای حلزونی (مارپیچ) تبادلگر حرارتی هلیکس

در این قسمت، پوسته تبادلگر با بفلهای حلزونی برای گستره همپوشانی‌های مختلفی در بازه‌های ۰/۳ تا ۰/۷ به منظور بررسی فاصله همپوشانی بهینه بفلهای حلزونی ساخته شد. مطالعه پیرامون فاصله همپوشانی بهینه بفلهای حلزونی به دلیل تاثیری که بر افت فشار و انتقال گرمای محلی تبادلگر دارد، در خور توجه می‌باشد. در شکل (۴) درصد جریان بر حسب همپوشانی برای گستره سرعت صفر تا ۰/۱۵ (m/sec) رسم شده است و تحلیل نتایج با بررسی نمودار حاصله، ارائه می‌گردد.

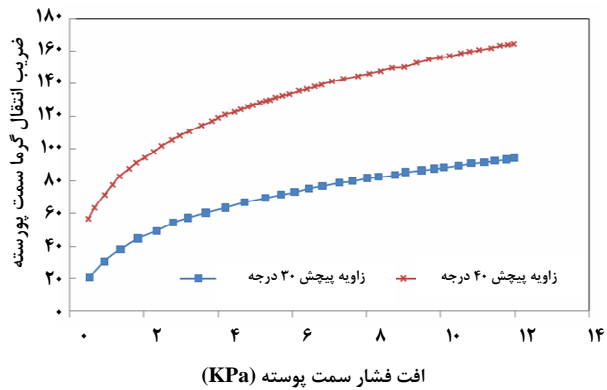


شکل ۴- درصد جریان بر حسب همپوشانی برای گستره سرعت ۰ تا ۰/۱۵ (m/s)

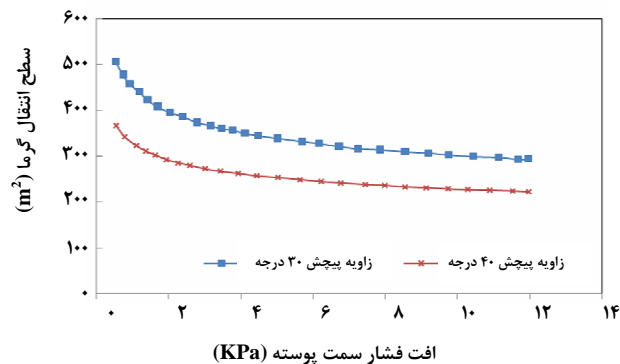
همانطور که در نمودار بالا مشاهده می‌شود، در بازه‌های ۰/۴ تا ۰/۶ درصد بیشتری از جریان در بازه سرعت مطالعاتی قرار می‌گیرد که این امر به منزله توزیع یکنواخت سرعت در این گستره و دلیلی مهم برای کاهش نرخ تشکیل رسوب می‌باشد [۳].

در راستای درک بهتر از شرایط ایجاد شده در الگوی حرکت جریان در سمت پوسته، شبیه سازی پوسته تبادلگر با بفلهای قطاعی و حلزونی به کمک شبیه‌ساز دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) صورت گرفت.

انتقال گرما افزایش می‌یابد که روند این تغییرات حاکی از آن است که در افت فشارهای یکسان تبادلگر حلزونی با زاویه پیچش ۴۰ درجه به ضرایب انتقال گرمای بالاتری می‌رسد. شکل (۳) سطح مورد نیاز تبادلگر را بر حسب افت فشار نشان می‌دهد.



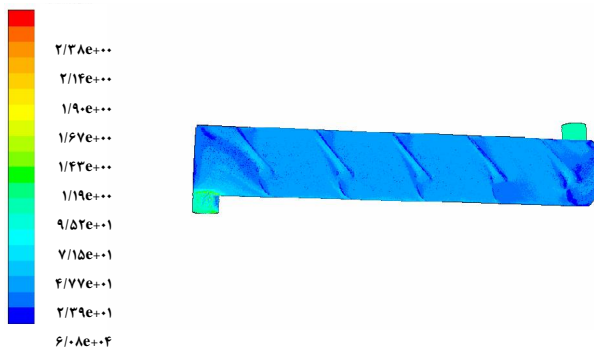
شکل ۲- ضریب انتقال گرمای سمت پوسته بر حسب افت فشار



شکل ۳- سطح انتقال گرمای مورد نیاز بر حسب افت فشار سمت پوسته

با توجه به روند تغییرات می‌توان اظهار داشت که با افزایش افت فشار، سطح مورد نیاز برای هر دو زاویه کاهش می‌یابد که تبادلگر هلیکس با زاویه ۴۰ درجه در افت فشارهای یکسان به سطح مورد نیاز کمتری نیازمند است.

بر اساس نتایج بررسی‌ها زاویه حدود ۴۰ درجه به عنوان زاویه پیچش بهینه بفلهای حلزونی معرفی می‌گردد. در ضمن با قابلیت تغییر زاویه، امکان ایجاد بازه گسترده‌ای از سرعتها در سمت پوسته وجود دارد که بسته به نرخ رسوب گذاری و سرعتهای آستانه می‌توان با زاویه مناسب، در حد پایین آستانه رسوب گذاری قرار گرفت. پارامتر مهم دیگر میزان همپوشانی بفلهای حلزونی است که



شکل ۶- نمایش گرافیکی توزیع سرعت در تبادلاتگر با بaffle های حلزونی با زاویه ۴۰ درجه

۷- مقایسه بین بaffle های حلزونی و بaffle های مرسوم

با بررسی یک مورد مطالعاتی مزایای تبادلاتگر با بaffle های حلزونی در مقایسه با تبادلاتگر با بaffle های قطاعی کاملاً مشهود است. مورد مطالعاتی شامل تبادلاتگری با سیال گرم نفتا و سیال سرد نفت خام می باشد که در آن لوله ها با آرایش ۹۰ درجه قرار گرفته‌اند، طول دسته لوله ۱۲۰۰mm و قطر پوسته ۲۰۰ mm است. سایر اطلاعات در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- مشخصه های تکمیلی تبادلاتگر مطالعاتی

نام سیال	دمای ورودی °C	افت فشار مجاز kpa	ضریب رسوب‌گذاری m ² k / w	قطر نازل یا انژکتور mm	شدت جریان جرمی Kg/sec
نفتا	۱۹۸/۸۸۹	۵	۰/۰۰۰۱۷۶	۶۵	۲
نفت خام	۳۲/۲۲۲	۲۶	۰/۰۰۰۳۵۲	۱۲۵	۱۵

که نتایج استخراجی به قرار زیر می‌باشد:

جدول ۲- نتایج حاصل از مقایسه تبادلاتگر با بaffle های

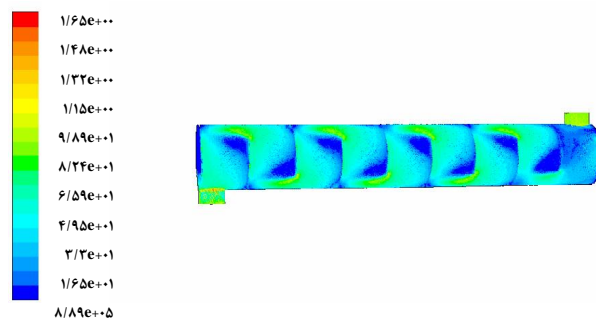
قطاعی و حلزونی

نوع بaffle تبادلاتگر	دمای خروجی پوسته °C	دمای خروجی لوله °C	افت فشار پوسته kPa	افت فشار لوله kPa	ضریب انتقال گرمای کلی	هزینه \$
قطاعی ۲۵٪	۱۷۴/۰۹۹	۳۵/۲۳۴	۰/۲۵۳	۱۹/۷۹۲	۳۴۹/۷۷	۱۱۹۲۰
هلیکس ۴۰°	۱۶۸/۶۴۸	۳۵/۸۹۷	۰/۰۴	۱۹/۷۹۲	۵۱۸/۷۹	۱۲۵۱۵

۶- شبیه سازی تبادلاتگر با بaffle های حلزونی و مقایسه با بaffle های قطاعی

در ابتدا یک هندسه برای پوسته تعریف گردید. از محاسبه گر دو دفته و سه بعدی^۱ با شیوه حل مجزا^۲ و مدل فیزیکی آشفتگی k-ε برای حل معادلات تکانه و بقا استفاده شد. سیال پوسته، نفتا و سیال لوله، نفت خام در نظر گرفته شد.

نتایج حاصل از شبیه سازی برای تبادلاتگر با بaffle های حلزونی با زاویه پیش ۴۰ درجه و همچنین تبادلاتگر با بaffle های قطاعی با طول برش وتر^۳ ۲۵٪ به صورت نمودارهای گرافیکی داده شده که تحلیل نتایج با بررسی نمودارهای حاصله ارائه گردیده است. شکل (۵) توزیع گرافیکی سرعت در تبادلاتگر با بaffle های قطاعی را نمایش می‌دهد.



شکل ۵- نمایش گرافیکی توزیع سرعت در تبادلاتگر با بaffle های قطاعی با طول برش وتر ۲۵٪

همانطور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود سرعت در پوسته تبادلاتگر با بaffle های قطاعی دارای افت و خیزهای زیادی است. در بالا و پایین بaffle ها به علت کوچک شدن سطح مقطع عبور جریان، سیال، دارای سرعت بالا و در ناحیه پشت بaffle ها سرعت سیال بسیار کم است. واقع نواحی مستعد برای تشکیل رسوب نواحی پشت بaffle می‌باشند. در حالی که در شکل (۶) که مربوط به نمایش گرافیکی توزیع سرعت در تبادلاتگر با بaffle های حلزونی می‌باشد، توزیع یکنواخت سرعت در پوسته و حذف افت و خیزهای شدید سرعت، کاملاً مشهود است.

یکنواختی جریان و توزیع سرعت در بaffle های حلزونی موجب کاهش رسوب گذاری و نیز یکنواخت بودن نرخ تشکیل رسوب در تبادلاتگر حرارتی می‌گردد [۴].

در ادامه، به کمک نرم افزار اکسپرس نیز مقایسه ای میان دو تبادلاتگر انجام شده است.

1. 3DDP
2. Segregate
3. Baffle Cut

شدن تبادلگر به $2/5$ تا 3 برابر افزایش یافت. نمودار عملکرد دو تبادلگر (دسته لوله قطاعی و حلزونی) در شکل (۹) نشان داده شده است. در عین حال، میزان مصرف آب در دسته لوله مارپیچ در مقایسه با دسته لوله قبلی در طول دوره عملکرد یکسان حدود 50% کمتر است. همه این موارد سبب گردید تا هزینه‌های عملیاتی به شدت کاهش یابد و با سرعت زیادی اندک هزینه افزایش یافته برای ساخت دسته‌لوله مارپیچ را جبران کند.

نتایج بررسی‌های اقتصادی نشان داد که هزینه‌های تعمیراتی و عملیاتی به ترتیب 60% و 20% کاهش داشت که در مجموع کل هزینه‌های فرایند و تعمیراتی 50% کاهش را نشان دادند.



(الف)



(ب)

شکل ۷- نمایی از سوراخ‌کاری بفلها (الف) و نصب بفلها روی دسته لوله (ب)

مقایسه نتایج برای تبادلگر با بفلهای قطاعی و حلزونی نشان می‌دهد که سیال گرم پوسته در تبادلگر هلیکس به دمای خروجی کمتری می‌رسد، یعنی در تبادلگر با بفلهای حلزونی سیال گرم تبادل حرارتی بیشتری با سیال سرد دارد که این به منزله افزایش نیروی محرکه دمایی و افزایش ضریب انتقال گرما می‌باشد. همچنین با توجه به جدول (۲) مشهود است که تبادلگر با بفلهای حلزونی افت فشار کمتری در مقایسه با تبادلگر با بفلهای مرسوم دارد و از آنجایی که تنها ایراد وارد به تبادلگر با بفلهای حلزونی هزینه ساخت بالا می‌باشد، به کمک محاسبات نرم افزاری که به منظور محاسبه هزینه ساخت انجام گرفته است، مشاهده می‌شود که هزینه ساخت مربوط به تبادلگر با بفلهای حلزونی برای این حالت، تنها کمی بیشتر از تبادلگر با بفلهای قطاعی است.

۸- ساخت و راه‌اندازی تبادلگر با بفلهای حلزونی در

واحد ۱- بوتن پتروشیمی تبریز

برای رفع مشکلات اشاره شده در واحد ۱- بوتن که عمدتاً به نرخ بالای رسوب‌گذاری آن برمی‌گشت، راهکار اصلی جایگزینی آن با تبادلگر جدید بود. اما یکی دیگر از مزایای اصلی تبادلگر با بفلهای حلزونی در این است که امکان جایگزینی دسته لوله بدون نیاز به ساخت پوسته جدید وجود دارد. لذا این امکان بوجود آمد که بدون صرف هزینه‌های هنگفت در ساخت پوسته و صفحات نگهدارنده لوله‌ها فقط دسته‌لوله جدید جایگزین گردد تا مشکلات فرایندی مرتفع شود و هزینه‌های ساخت نیز به حداقل برسد. در این راستا و بر اساس مطالعات صورت پذیرفته که زوایا و همپوشانیهای بهینه را نشان می‌داد، پس از طراحی‌های حرارتی، اقدام به طراحی‌های مکانیکی گردید. با اتمام طراحی مکانیکی ساخت بفلها آغاز شد که در این بین سوراخ‌کاری بفلها به دلیل داشتن زاویه و به منظور داشتن حداقل لقی‌های بفل- لوله مشکلاتی ایجاد می‌نمود که به همت کارشناسان فنی، نهایتاً این مشکل نیز مرتفع گردید و بفل‌ها روی دسته‌لوله نصب شدند. تعداد بفلها ۲۶ عدد و زاویه قرارگیری 40° در نظر گرفته شده بود.

پس از نصب این دسته لوله جدید روی تبادلگر و در سرویس قرار دادن آن، برتریهای این فناوری در مقایسه با فناوری مرسوم بفلهای قطاعی به عینه ملاحظه گردید. به طوری که زمان از سرویس خارج

رسوب‌گذاری که ناشی از تغییر شکل الگوی جریان عبوری در سمت پوسته می‌باشد سبب افزایش فاصله زمان تمیزکاری تبادلهای حرارتی شده و صرفه‌جویی‌های اقتصادی قابل توجهی به همراه خواهد داشت. با بررسی‌های انجام شده در زمینه زوایا و میزان همپوشانی بفللهای در تبادلهای با بفللهای حلزونی، زاویه حدود ۴۰ درجه به عنوان زاویه بهینه با بهترین عملکرد و میزان همپوشانی بین ۰/۴ تا ۰/۶ به عنوان گستره همپوشانی بهینه تعیین گردید.

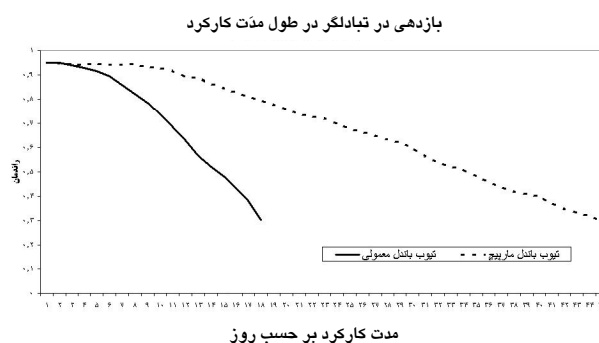
با دستیابی به دانش فنی و نحوه محاسبات حرارتی و تجارت حاصله در ساخت تبادلهای با بفللهای حلزونی، نسبت به طراحی و جایگزینی تبادلهای ۳۰۱-E-۱۲ در پتروشیمی تبریز اقدام گردید. در راستای نصب و جایگزینی دسته لوله ماریچ در واحد ۱- بوتن پتروشیمی تبریز دوره کارکرد تبادلهای ۳ برابر افزایش، و همزمان، هزینه‌های تعمیراتی و فرایندی بیش از ۵۰٪ کاهش یافت. در راستای ایجاد دانش فنی امکان طراحی و ساخت این تبادلهای میسر گردید و با فناوری بدست آمده می‌توان در مورد حل مشکل سایر تبادلهای حرارتی در صنایع پتروشیمی و پالایشگاهی کشور اقدام کرد.

فهرست علائم

Z_i	ضرایب تصحیح برای محاسبه افت فشار
d_o	قطر خارجی لوله (m)
Y_i	ضرایب تصحیح برای محاسبه ضریب انتقال گرما
f	ضریب اصطکاک
ρ_t	چگالی سیال سمت لوله ($\frac{kg}{m^3}$)
ρ_s	چگالی سیال سمت پوسته ($\frac{kg}{m^3}$)
k_s	ضریب رسانش حرارتی سیال سمت پوسته ($\frac{W}{m^{\circ}C}$)
h_s	ضریب انتقال گرمای سمت پوسته ($\frac{W}{m^2^{\circ}C}$)
Re	عدد بدون بعد رینولدز
Pr	عدد بدون بعد پرانتل
l_{to}	طول دسته لوله منهای فاصله‌های ابتدایی و انتهایی (m)
n	تعداد لوله‌ها



شکل ۸- نمایی از نصب مجموعه بفللهای روی دسته‌لوله



شکل ۹- افزایش دوره کارکرد دسته لوله ماریچ و مقایسه آن با دسته لوله قطاعی

۸- نتیجه گیری

بر اساس مطالعات صورت گرفته و نتایج ارائه شده، بی‌شک؛ تبادلهای با بفللهای حلزونی، جایگزین مناسبی برای تبادلهای مرسوم با بفللهای قطاعی است و بسیاری از کمبودها و نقاط ضعف مربوط به آنها را پوشش می‌دهد در حالیکه مزایا و قابلیت‌های تبادلهای پوسته-لوله حفظ شده است.

روش الگوریتم طراحی سریع که جدیدترین روش طراحی تبادلهای حرارتی می‌باشد برای تبادلهای پوسته - لوله با بفللهای حلزونی توسعه داده شد و با استفاده از روابط مربوطه، طراحی حرارتی این نوع مبدل صورت پذیرفت.

نتایج شبیه‌سازی با کمک دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) نشان داد میزان رسوب‌گذاری که از مشکلات عمده و پرهزینه صنعت در دستگاه‌های تبادلهای حرارتی می‌باشد، در سیستم بفللهای حلزونی به مراتب کمتر از سیستم بفللهای قطاعی خواهد بود. کاهش در

مراجع

- [1] B. I. Master, K. S. Chunangad, Bert Boxma, G. T. Polley & M. B. Tolba, "*Reduced Total Life Cycle Costs Using Helixchanger Heat Exchanger*", ABB Lummus Heat Transfer, Co., USA., (2002).
- [2] M. R. Jafari Nasr, A. Shafeghat, "*Fluid Flow Analysis and Extension of Rapid Design Algorithm for Helical Baffle Heat Exchangers*", Applied Thermal engineering Journal, Vol. 28, 1324-1332, (2008).
- [3] D. Kral, J. Lutcha, "*New Developments in Tubular Heat Exchangers-The Helixchanger*", Presented at the Heat Transfer Society May Forum, (1992).
- [4] D. Butter worth, "*Design of Shell and Tube Heat Exchanger When the Fouling Depends on Local Temperature and Velocity*", Applied Thermal Engineering, Vol.22, No.1, 789-801, (2002).
- [5] امین شفقت، پایان نامه کارشناسی ارشد، "طراحی و شبیه سازی تبادلگرهای حرارتی پوسته-لوله با بفلهای حلزونی"، دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، (۱۳۸۴).
- [6] مژگان رستمی، پایان نامه کارشناسی ارشد، "شبیه سازی حرارتی تبادلگرهای پوسته-لوله با بفلهای حلزونی"، دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، (۱۳۸۶).
- [7] محمدرضا جعفری نصر؛ ثبت اختراع، شماره ۴۹۹۶۳ تحت عنوان "طراحی و ساخت مبدل حرارتی پوسته-لوله ای با بافل های مارپیچ"، شرکت پژوهش و فناوری پتروشیمی، تهران، (۱۳۸۷).