

# طراحی و بهینه سازی مبدل های گرمایی چند جریان با در نظر گرفتن نوع پره و تغییر ویژگی های فیزیکی سیال

نسیم طاهونی\*<sup>+</sup>، سمیرا میریحیایی، فاطمه جدا

تهران، دانشگاه تهران، پردیس دانشکده های فنی، دانشکده مهندسی شیمی، صندوق پستی ۱۱۳۶۵-۴۵۶۳

حمیدرضا فلاحی

شرکت پتروهاپتک کیش

محمدحسن پنجه شاهی

تهران، دانشگاه تهران، پردیس دانشکده های فنی، دانشکده مهندسی شیمی، صندوق پستی ۱۱۳۶۵-۴۵۶۳

**چکیده:** تاکنون روش های گوناگونی برای طراحی مبدل های چندجریانه ارائه شده است، اما در بیشتر الگوریتم های موجود، ویژگی های فیزیکی کلیه جریان ها در طول مسیر انتقال گرمای ثابت فرض شده است. در این پژوهش، روشی پیشنهاد شده است که اثر تغییر ویژگی های فیزیکی سیال را در نظر می گیرد. این قابلیت به همراه در نظر گرفتن افت فشار جریان های موجود، الگوریتم قدرتمندی را برای تخمین سطح شبکه پیش از طراحی فراهم می سازد. در این روش وابستگی ویژگی های فیزیکی از جمله ظرفیت گرمایی ویژه، ویسکوزیته، دانسیته و هدایت گرمایی به تغییر دما مورد توجه قرار می گیرد. بنابراین کلیه پارامترهای مؤثر در رابطه ی افت فشار به طور دقیق تری محاسبه می شوند. این کار با معرفی ضریب های تصحیحی در هدف گذاری و طراحی شبکه مبدل گرمایی شامل جریان های مایع و گاز صورت گرفته است. بر این اساس، نتیجه دقیق تر و قابل اعتمادتری برای مرحله های هدف گذاری و طراحی مبدل چند جریان به دست می آید. همچنین، در میان روش های گوناگون برای طراحی مبدل های گرمایی چند جریان، روشی که همراه با بهینه سازی افت فشار جریان ها، بهترین پره را برای هر جریان برگزیند پیشنهاد نشده است. این پژوهش روش جدیدی در طراحی این مبدل ها بر پایه استفاده از افت فشارهای بهینه ارائه می دهد که تلفیقی از مفهوم فناوری پینچ و الگوریتم ژنتیک است. تابع هدف مسئله، هزینه کل سالیانه است که هزینه های سطح و هزینه تأمین افت فشار جریان ها را شامل می شود. نتیجه ها نشان دهنده آن است که با در نظر گرفتن ویژگی های فیزیکی متغیر به جای ثابت فرض کردن آنها، حجم مبدل و هزینه کل سالیانه به ترتیب به میزان ۲۷/۳٪ و ۱۳/۵٪ با دقت بیشتری محاسبه خواهد شد. همچنین با بهینه سازی افت فشار، میزان حجم مبدل و هزینه سالیانه کاهش خواهد یافت که این میزان در حالت انجام عمل بهینه سازی بر مسئله با لحاظ خواص فیزیکی متغیر به میزان ۴/۲۸٪ کاهش در حجم مبدل و ۴/۹۲٪ کاهش در هزینه کل سالیانه را نشان می دهد.

**واژه های کلیدی:** مبدل گرمایی چند جریان، فناوری پینچ، خواص فیزیکی متغیر، بهینه سازی، الگوریتم ژنتیک، نوع پره.

**KEY WORDS:** Multi-stream heat exchanger, Pinch technology, Variable physical property, Optimization, Genetic algorithm, Fin type.

+E-mail: ntaahuni@ut.ac.ir

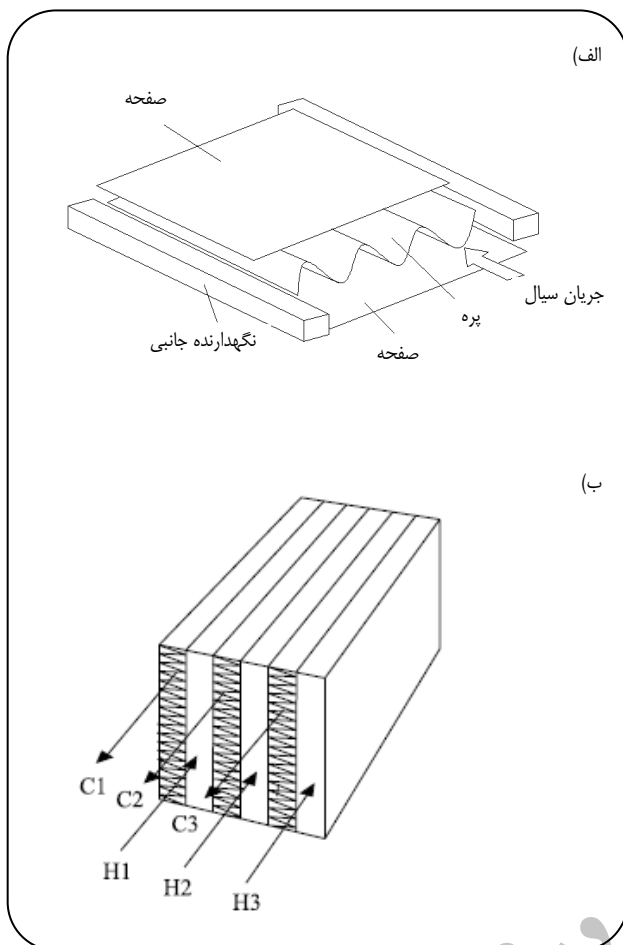
\*عده دار مکاتبات

## مقدمه

امروزه مبدل‌های گرمایی چند جریان به طور گسترده‌ای در صنایع گوناگون استفاده می‌شوند. از آنجایی که یک مبدل چند جریان مبدل واحدی است که در آن چند سیال به طور همزمان در حال تبادل گرما هستند، انتظار می‌رود که مجموعه پیچیده‌ای از مسیرهای انتقال گرما در آن روی دهد. در مبدل چند جریان، انتقال گرما به طور همزمان بین چند جریان گرم و سرد انجام می‌شود. از این مبدل‌ها در هنگامی که کارایی گرمایی بالا و حجم و وزن کم مدنظر باشد استفاده می‌شود [۱]. مبدل گرمایی پره - صفحه‌ای (شکل ۱) دسته‌ای از پرکاربردترین نوع مبدل‌های چند جریان است که از تعدادی لایه شامل دو صفحه موازی و پره تشکیل شده است. سیال ورودی به مبدل در زمان عبور از فضای بین پره و صفحات با سیال مجاور تبادل گرما می‌کند. بنابراین پره علاوه بر این که نگهدارنده مکانیکی به شمار می‌رود، سطح انتقال گرما را نیز به طور چشمگیری افزایش می‌دهد. از سوی دیگر در محاسبه‌های مربوط به طراحی مبدل‌های گرمایی برای تعیین متغیرهای گوناگون مانند عددهای رینولدز و پرانتل، به چهار ویژگی مؤثر ترموفیزیکی، یعنی دانسیته، ظرفیت گرمایی ویژه، ویسکوزیته و ضریب هدایت گرمایی نیاز است که به طور قطع دما بر هر یک از آنها اثر می‌گذارد. به همین منظور قاسم‌زاده و پنجه‌شاهی الگوریتمی پیشنهاد کردند که به منظور افزایش دقت در محاسبه کمترین سطح شبکه‌ای از مبدل‌های گرمایی، خاصیت‌های فیزیکی مورد استفاده در محاسبه‌ها را در دمای متوسط هر فاصله دمایی روی منحنی‌های مرکب در نظر می‌گیرد [۲].

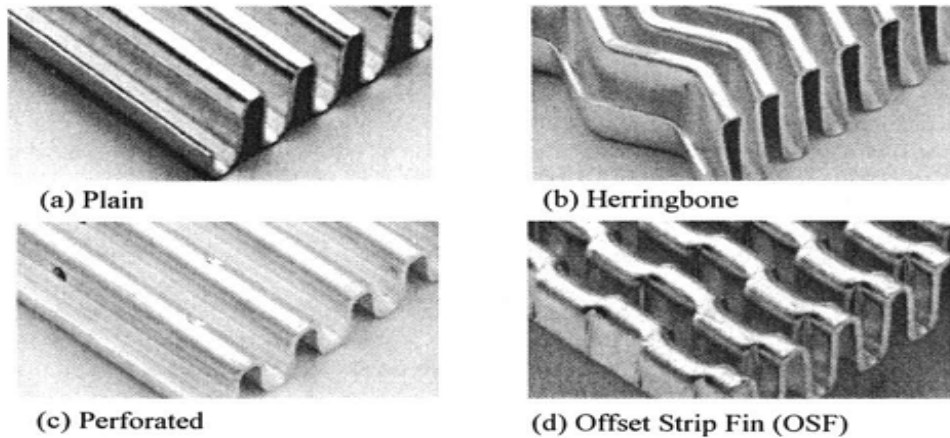
قنادی و همکاران [۳] برای یک مسئله‌ی خاص با کمک نرم‌افزار HYSYS ویژگی‌های فیزیکی سیال‌های فرایند را در نقطه‌های گوناگون به دست آوردند و سپس رابطه‌های هر یک را با دما توسط نرم‌افزار MATLAB استخراج نمودند. به منظور محاسبه خواص فیزیکی در نقاط گوناگون جریان، نمودار منحنی‌های مرکب را به فاصله‌های دمایی  $5^{\circ}\text{C}$  تقسیم نمودند، بنابراین در این روش هر بخش انتالپی دارای شیب متفاوتی است که به یقین این امر به دلیل تغییر ظرفیت گرمایی ویژه در هر بخش می‌باشد. نتیجه‌ای که به دست آمد اختلاف ۱۰٪ را در مقدار سطح نسبت به روش پنجه‌شاهی [۴] نشان داد.

موسوی و همکاران [۵] تغییر ویژگی‌های فیزیکی سیال را در روش خود با نوشتن برنامه‌ای برای حل معادله‌های غیرخطی منظور نمودند.



شکل ۱- الف) مبدل پره-صفحه‌ای (ب) مبدل چندجریان [۱۱].

فخارزاده و همکاران [۶] هنگام بهینه‌سازی افت فشار بخار (سرویس جانبی در بالای پینچ)، تغییرات ویژگی‌های فیزیکی بخار را به کمک برنامه موسوی در نظر گرفتند و دریافتند که با فرض ویژگی‌های فیزیکی ثابت، خطای ۱۷ درصدی در بار گرمایی مبدل ایجاد می‌شود. همچنین با پی بردن به این مطلب که اعمال تغییر ویژگی‌های فیزیکی بخار موجب تغییر آرایش تجهیزات فرایندی در ساختار نهایی نمی‌شود، پیشنهاد کردند که ابتدا با ویژگی‌های فیزیکی ثابت آرایش نهایی تجهیزات فرایندی بخار طراحی شود، سپس با در نظر گرفتن تغییر ویژگی‌های فیزیکی بخار، فشار بهینه بخار و بار گرمایی مبدل محاسبه شود. این روش‌ها علاوه بر این که از دقت بالایی برخوردار نیستند نیازمند صرف زمان و حجم بسیار زیاد محاسبه می‌باشند. روشی که ویژگی‌های فیزیکی را در تمام نقطه‌ها متغیر در نظر گیرد و بر این دو مشکل غلبه کند توسط فلاحی [۷] در سال ۱۹۹۹ میلادی برای اصلاح



شکل ۲- انواع گوناگون پره [۸].

نقش کلیدی در طراحی و نیز در مسائل اقتصادی شبکه‌های مبدل گرمایی بازی می‌کنند اصلاح نمود. به این منظور بر اساس ضریب‌هایی که برای مبدل‌های پره - صفحه‌ای به دست می‌آید، الگوریتمی برای طراحی مبدل‌های چند جریانه همراه با در نظر گرفتن ویژگی‌های فیزیکی سیال ارایه می‌شود

#### معادله گرمایی - هیدرولیکی در مبدل پره صفحه

در مرجع کیز و لاندن [۸] رابطه‌های دقیقی برای محاسبه افت فشار در مبدل پره - صفحه، ناشی از مسئله‌های گوناگون ارایه شده است. اما باید توجه کرد که افت فشاری که در طراحی گرمایی - هیدرولیکی مبدل گرمایی مهم است و موجب ایجاد انتقال گرما می‌شود در هسته مبدل رخ می‌دهد و صرف نظر از تغییر فاز سیال در مبدل می‌توان نوشت:

$$\Delta P = \frac{2fL}{d_h} \frac{m^2}{\rho A_c^2} \quad (1)$$

پس از جاگذاری پارامترهای مربوطه و مرتب کردن معادله (۱)، معادله ساده شده (۲) به دست می‌آید:

$$\Delta P = K_p V_T \left( \frac{h}{K_h} \right)^{\frac{r-y}{1-b}} \quad (2)$$

که در آن  $K_p$  شامل دبی جرمی، ویژگی‌های فیزیکی و مشخصات پره است. به منظور به دست آوردن افت فشاری که ویژگی‌های فیزیکی را در تمامی نقاط جریان متغیر در نظر گیرد، ضریب‌های تصحیح کننده (۳)

مبدل‌های گرمایی پوسته - لوله مطرح شد که به خوبی در کلیه‌ی الگوریتم‌های مبتنی بر افت فشار قابل به‌کارگیری می‌باشد. وی با ایده‌گرفتن از محاسبه دانسیته گازهای حقیقی (که با اعمال پارامتر ضریب تراکم‌پذیری  $Z$  در معادله گاز ایده‌آل صورت گرفته است) ضریب‌هایی را برای مبدل پوسته - لوله استخراج نمود که توسط آن به درستی و سادگی به افت فشار واقعی جریان‌ها می‌توان رسید. این ضریب‌ها تغییر ویژگی‌های فیزیکی از جمله ظرفیت گرمایی ویژه، دانسیته، ویسکوزیته و هدایت گرمایی را از ابتدا تا انتهای جریان در نظر می‌گیرند و در ضمن مطالعه تابعیت پارامترهای طراحی شبکه با این ویژگی‌ها، تأثیر هندسه‌ی کانال نیز منظور شده است. این اثرگذاری به علت وابستگی ضریب اصطکاک به هندسه کانال است.

در این پژوهش سعی بر این است که همانند روش فلاحی، ضریب‌های تصحیحی برای مبدل‌های پره - صفحه استخراج شود به طوری که افت فشار و ضریب انتقال گرما جریان‌ها به طور دقیق‌تری در تخمین سطح انتقال گرما مورد نیاز منظور شود. همچنین با انتخاب پره بهینه (از بین ۵۷ نوع پره از انواع گوناگون) که توسط الگوریتم ژنتیک صورت گرفته است، هزینه کل سالیانه به کمترین مقدار ممکن برسد. شکل (۲) انواع گوناگون پره را نشان می‌دهد.

### بخش نظری

#### در نظر گرفتن تغییرات خواص فیزیکی در طراحی مبدل گرمایی چندجریانه - روش جدید

در این قسمت هدف این است که با در نظر گرفتن تغییر ویژگی‌های فیزیکی در طول مسیر جریان، افت فشار جریان‌ها را که

$$\zeta_j = \frac{\int_{T_{Sj}}^{T_{Tj}} \psi_j dT}{(T_{Tj} - T_{Sj}) \rho_{oj}^{\phi_j} C_{poj}^{\phi_j} \mu_{oj}^{\phi_j} \lambda_{oj}^{\phi_j}} \quad (8)$$

پارامتر  $\zeta_j$  معرف بازتاب کلی تغییر ویژگی‌های فیزیکی سیال نسبت به دما می‌باشد به طوری که معادله (۲) را به صورتی برای جریان ز تصحیح می‌کند که با افت فشار مجاز تعیین شده، مقدار ضریب انتقال گرمای دقیق‌تری به دست آورده شود.

#### تعریف پارامتر عملکردی افت فشار

با در نظر گرفتن معادله تجربی ارائه شده توسط کیز و لاندن برای مبدل‌های پره - صفحه در بازه‌ی عدد رینولدز بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰۰ در شدت جریان جرمی ثابت پارامتر عملکردی افت فشار به دست خواهد آمد:

$$\Psi_{K_p} = \frac{\mu^y}{\rho} \quad (9)$$

#### تعریف پارامتر عملکردی ضریب انتقال گرما

تابعیت ضریب انتقال گرما نسبت به ویژگی‌ها فیزیکی در شدت جریان جرمی ثابت با عنوان پارامتر  $\psi_h$  بیان می‌شود:

$$\Psi_h = \frac{\lambda^{\frac{1}{r}} C_p^{\frac{1}{r}}}{\mu^{\frac{r-y}{r}}} \quad (10)$$

#### تعریف پارامتر عملکردی حجم کل مبدل

توجه به این نکته که  $V_T$  حجم مبدل می‌باشد به عبارتی حجمی که در آن گرما بین جریان‌ها تبادل می‌شود وابستگی نداشتن آن به دما را روشن می‌سازد. پس می‌توان گفت:

$$\Psi_{V_T} = 1 \quad (11)$$

بنابراین

$$\Psi = \Psi_{K_p} \Psi_h^{\frac{r-y}{1-b}} = \frac{\lambda^{\frac{r}{r(1-b)}} C_p^{\frac{1}{r(1-b)}}}{\rho \mu^{\frac{(r-b)(r-y)-y}{r(1-b)}}} \quad (12)$$

که در آن مقدارهای  $y$  و  $b$  از مشخصه‌های پره به کار رفته در مبدل گرمایی می‌باشند.

معرفی می‌شوند به طوری که افت فشار در حالت ایده‌آل را به افت فشار در حالت واقعی مربوط سازد. به این صورت که:

$$\Delta P_{eff} = \zeta K_p V_T \left( \frac{h}{K_h} \right)^{\frac{r-y}{1-b}} \quad (3)$$

در معادله‌ی (۳) پارامتر  $\zeta$  باعث می‌شود تا ثابت بودن ویژگی‌های فیزیکی در مقدارهای متوسط انتگرالی، جبران شود.

#### نقش ضریب تصحیح $\zeta$ در طراحی مبدل گرمایی

توسط این ضریب تصحیح که معرف بازتاب کلی تغییر ویژگی‌های فیزیکی سیال نسبت به دما می‌باشد تغییر دیفرانسیلی ویژگی‌های فیزیکی به صورت یک پارامتر انتگرالی درآورده می‌شود تا بتوان از محاسبات تکراری پرهیز نمود و همچنین زمان محاسبه تحلیل شبکه را کاهش داد. بدین وسیله ضمن افزایش دقت در تخمین سطح و انرژی مورد نیاز شبکه، حجم محاسبه‌ها نیز چندان افزایش نمی‌یابد.

نکته جالب در مورد این روش این است که هنگامی که این روش در هدف‌گذاری شبکه به کار برده می‌شود، کلیه فاصله‌های انتالی در نمودار منحنی‌های مرکب دارای خاصیت ویژگی‌های فیزیکی متغیر می‌شوند بدون این که نیاز باشد مقدار ظرفیت گرمایی ویژه را در هر نقطه برحسب دما تغییر داد.

#### به دست آوردن ضریب تصحیح برای مبدل پره - صفحه

معادله (۲) شامل پارامترهای متأثر از دما می‌باشد که در شدت جریان جرمی ثابت می‌توان پارامتر  $\Psi$  را که معرف تأثیرپذیری هر پارامتر از ویژگی‌های فیزیکی است، به صورت زیر بیان نمود: [۷]

$$\Psi_{K_p} = \Psi_{K_p}(\mu, \rho) = \mu^n \rho^{n_1} \quad (4)$$

$$\Psi_h = \Psi_h(C_p, \mu, \lambda) = C_p^{n_2} \mu^{n_3} \lambda^{n_4} \quad (5)$$

$$\Psi_{V_T} = \Psi_{V_T}(C_p, \mu, \lambda) = C_p^{n_5} \mu^{n_6} \lambda^{n_7} \quad (6)$$

بنابراین

$$\Psi = \Psi_{K_p} \Psi_h^{\frac{r-y}{1-b}} \Psi_{V_T} = \rho^{\phi_j} C_p^{\phi_j} \mu^{\phi_j} \lambda^{\phi_j} \quad (7)$$

در این حالت،  $\Psi$  توانایی نمایش تغییر ویژگی‌های فیزیکی را در معادله (۲) خواهد داشت. بنابراین برای این که رفتار و چگونگی تغییر معادله (۲) در طول مسیر استفاده از افت فشار در تولید ضریب انتقال گرمایی لحاظ شود می‌توان نوشت:

جدول ۱- پارامترهای هزینه.

پارامتر	uc (\$/m <sup>2</sup> )	fc (\$)	AH (h/yr)	fe (\$/kWh)	i (%)	t <sub>p</sub> (year)
مقدار	۱۹۰۰	۳۰۰۰۰	۸۰۰۰	۰/۰۶۵	۱۵	۱۰

## بهینه‌سازی افت فشار همراه با انتخاب پره بهینه

مقدار بهینه افت فشار جریان‌ها منجر به تعادلی در هزینه‌های شبکه مبدل گرمایی خواهد شد. از طرفی پره نیز به عنوان عامل ایجاد اغتشاش در جریان و ایجاد سطح انتقال گرمای اضافی موجب بهبود انتقال گرما می‌شود، در نتیجه هزینه سطح کاهش می‌یابد. اما از آن جایی که پره بر عملکرد اصطکاکی جریان اثر می‌گذارد، نوع پره موجب تغییر در هزینه رانشی سیال می‌شود. امروزه انواع گوناگونی از پره‌ها شناخته شده‌اند که از نظر شکل ظاهری و در نتیجه عملکرد اصطکاکی و گرمایی با یکدیگر تفاوت دارند [۹]. بنابراین می‌توان با انتخاب بهترین نوع پره، بهترین ساختار مبدل را برای کاهش هزینه‌ها به ارمغان آورد. در راستای رسیدن به این اهداف به کمک الگوریتم ژنتیک افت فشار جریان‌ها به روشی بهینه شده است که کمترین هزینه کل سالیانه به دست آید. بدین منظور نوع پره به عنوان متغیر بهینه‌سازی در نظر گرفته شده است.

با توجه به آن چه که گفته شد روشن است که تابع هدف مسئله مجموع هزینه‌های عملیاتی، نگهداری و سرمایه اولیه یعنی هزینه کلی سالیانه می‌باشد:

$$TAC = IC + OMC \quad (13)$$

سرمایه اولیه، هزینه‌های عملیاتی و نگهداری به این صورت تعریف می‌شوند [۱۰]:

$$IC = (fc + A \times uc) \times C_1 \quad (14)$$

$$C_1 = \frac{(1+i)^{t_p}}{t_p} \quad (15)$$

$$OMC = \frac{(E_c + E_h) \times AH \times fe}{3600 \times 1000} \quad (16)$$

$E_c$  و  $E_h$  به ترتیب مربوط به انرژی تأمین شده توسط سرویس جانبی گرم و سرد می‌باشند و پارامترهای جدول ۱ در تعیین هزینه‌ها استفاده شده‌اند.

متغیرهای بهینه‌سازی نیز شامل انواع گوناگون پره می‌باشد که با اعداد یک تا ۵۷ برای فراخوانی در الگوریتم ژنتیک تنظیم شده‌اند. افت فشار و کارایی گرمایی پره نیز قیدهایی برنامه می‌باشند.

برنامه با جمعیت ۲۰۰ کروموزوم، نرخ ادغام ۰/۷ و نرخ جهش ۰/۸ آغاز به کار کرده و پس از آن که تنوع نسل‌ها به حد قابل قبولی رسید برای رسیدن به همگرایی، نرخ جهش به ۰/۱ کاهش داده می‌شود. شرط همگرایی و خاتمه بهینه‌سازی رسیدن به ۹۸٪ تشابه بین کروموزوم‌هاست.

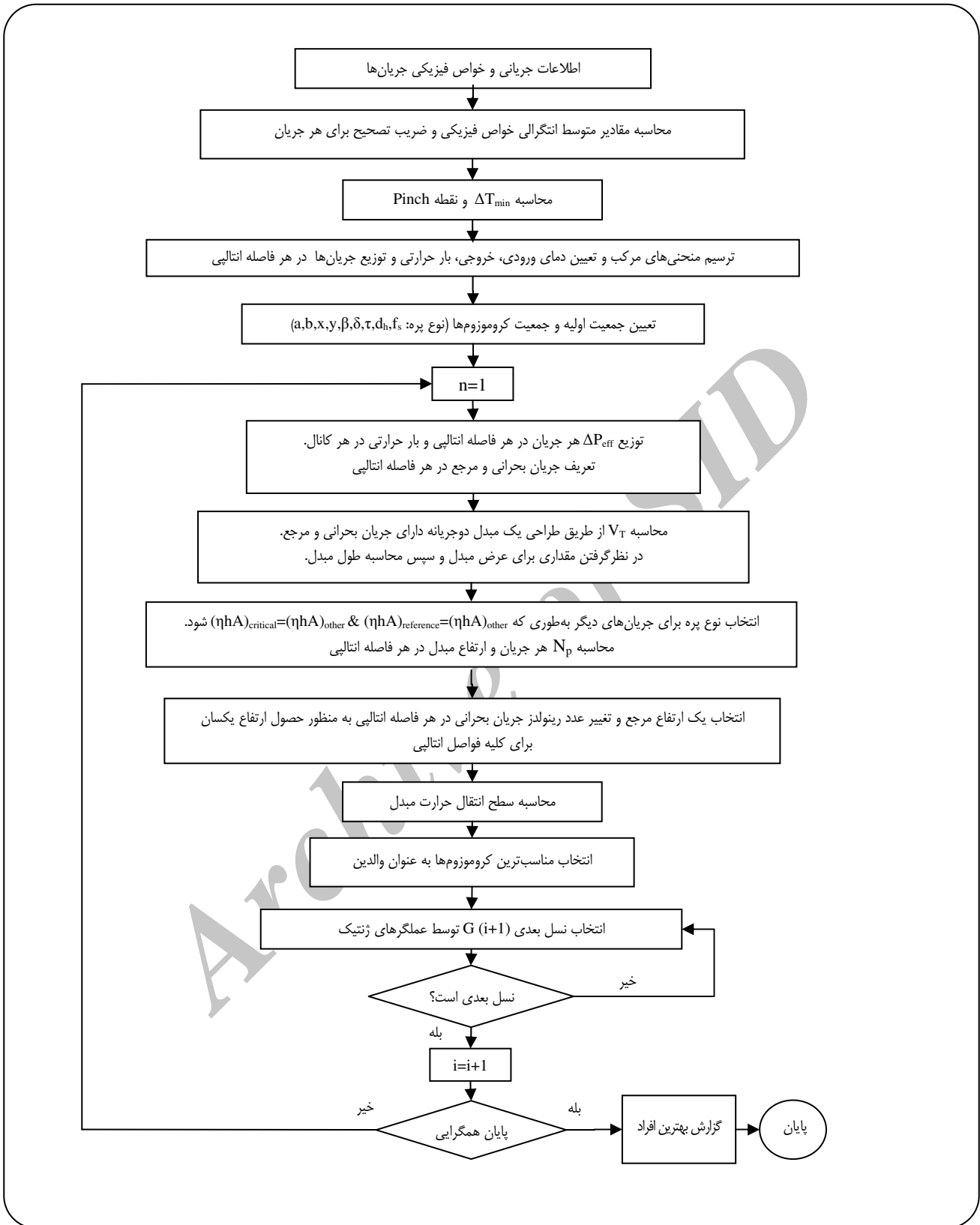
شکل ۳ الگوریتم جدید طراحی مبدل‌های چندجریانه همراه با درنظر گرفتن ویژگی‌های فیزیکی سیال را نشان می‌دهد.

مشخص است که به علت متغیر بودن دمای ورود و خروج جریان‌ها در یک واحد مبدل گرمایی چند جریانی، مسیرهای پیچیده‌ای از انتقال گرمایی در هر لایه از گذر جریان به وجود خواهد آمد. بنابراین مسئله با درنظر گرفتن فرضیاتی ساده‌سازی شده است.

- دمای دیواره ثابت فرض شده است. با درنظر گرفتن این فرض می‌توان اطمینان داشت که از اعوجاج در میدان دمایی در مبدل جلوگیری خواهد شد. این امر مانع از پدید آمدن مسیرهای انتقال گرمایی وارونه خواهد شد. در واقع بدین ترتیب مسیر حرکت جریان و انتقال گرما در یک بعد چشم‌پوشی شده و مسأله طراحی به صورت یک مسئله گرمایی دو بعدی در نظر گرفته خواهد شد.

- با توجه به تقسیم شبکه انتقال گرما به بازه‌های انتالی (بخش) مطابق با انتقال حرارت عمودی، می‌توان با اطمینان از معادلات مربوط به LMTD مربوط به طراحی مبدل‌های فشرده دو جریانی استفاده کرد. هر بخش، به تنهایی معرف یک مبدل چند جریانی می‌باشد، که انتقال گرمایی بین جریان‌های سرد و گرم موجود در هر بازه انتالی را بر عهده می‌گیرد. در نتیجه بدین روش کلیه جریان‌های گرم ورودی به مبدل در هر بخش، در یک دمای مشخص وارد و در یک دمای مشخص ثانویه نیز از مبدل خارج می‌شوند. و این شرایط برای جریان‌های سرد نیز حاکم خواهد بود.

- از آنجا که در این روش، طول مبدل گرمایی از ترکیب روابط افت فشار و انتقال گرما (معادله (۲)) و مشخص بودن عرض مبدل به دست خواهد آمد، نیازی به اعمال قید مکانی برای این بُعد از مبدل نمی‌باشد. ارتفاع مبدل نیز با توجه به قیدی که بر روی تعداد لایه‌های عبور جریان در نظر گرفته می‌شود، کنترل خواهد شد. به طور معمول عرض مبدل در یک مقداری که به مقدارهای واقعی نزدیک باشد، ثابت نگه داشته می‌شود دارند و طول و ارتفاع مبدل بر این اساس محاسبه می‌شود.



شکل ۳- الگوریتم طراحی مبدل‌های چندجریانه همراه با بهینه‌سازی فشار و در نظر گرفتن ویژگی‌های فیزیکی متغیر.

جدول ۲- اطلاعات جریانی و متوسط انتگرالی ویژگی‌های فیزیکی.

جریان	$T_s$ (°C)	$T_T$ (°C)	$m$ (kg/s)	$\rho_o$ (kg/m <sup>3</sup> )	$C_{po}$ (J/kg°C)	$\mu_o$ (cP)	$\lambda_o$ (W/m°C)	$\Delta P$ (kPa)
H <sub>1</sub> (l)	۳۲۷	۴۰	۵۰	۵۰۰	۲۰۳۲٫۶	۰٫۱۸	۰٫۱۱	۱۲۰
H <sub>۲</sub> (g)	۲۲۰	۱۶۰	۷۲٫۹۹	۵۵	۲۲۳۳٫۸	۰٫۰۱	۰٫۰۲۶	۸۰
H <sub>۳</sub> (l)	۲۲۰	۶۰	۳۱٫۹۷	۶۷۶	۱۸۹۵٫۲	۰٫۱۴	۰٫۱۱	۹۰
H <sub>۴</sub> (l)	۱۶۰	۴۵	۷۲٫۹۹	۶۹۷	۵۵۶۲٫۲	۰٫۱۹	۰٫۱۱	۶۰
C <sub>۱</sub> (l)	۱۰۰	۳۰۰	۵۰	۴۶۴	۱۹۸۴٫۷	۰٫۱۲	۰٫۱۱	۲۰
C <sub>۲</sub> (l)	۳۵	۱۶۴	۴۴٫۰۲	۵۷۰	۱۵۸۰٫۹	۰٫۲۱	۰٫۱۱	۲۰
C <sub>۳</sub> (g)	۸۵	۱۳۸	۳۵	۱	۴۹۹۹	۰٫۰۱	۰٫۱۷	۳۰
C <sub>۴</sub> (l)	۶۰	۱۷۰	۳۷٫۹۸	۶۸۵	۱۵۶۰	۰٫۱۷	۰٫۰۹	۱۵
C <sub>۵</sub> (l)	۱۴۰	۳۰۰	۷۲٫۹۹	۶۶۷	۲۷۲۱٫۸	۰٫۱۵	۰٫۱۱	۸۰

جدول ۳- ضریب‌های تصحیح افت فشار جریان‌ها.

جریان	H <sub>1</sub> (l)	H <sub>۲</sub> (g)	H <sub>۳</sub> (l)	H <sub>۴</sub> (l)	C <sub>۱</sub> (l)	C <sub>۲</sub> (l)	C <sub>۳</sub> (g)	C <sub>۴</sub> (l)	C <sub>۵</sub> (l)
ξ	۱٫۷۱۶۸۴	۱٫۰۰۵۸۳	۱٫۳۵۸۲۴	۱٫۰۵۰۷۶	۱٫۴۶۷۶۶	۱٫۱۰۲۴۰	۱٫۰۰۱۸۸	۱٫۰۳۵۶۷	۱٫۲۱۵۴۸

دمای خروج یکسان از مبدل برای جریان‌های هم‌نوع) و یکسان بودن بار گرمایی لایه‌های عبور جریان برای کلیه جریان‌های هم‌نوع، می‌توان تعداد لایه‌های عبور جریان‌های باقی مانده را به دست آورد. با داشتن مشخصات لایه‌های عبور جریان برای تمامی جریان‌ها، ارتفاع مبدل در هر بخش نیز محاسبه می‌شود.

#### مطالعه موردی

در این قسمت نقش انتخاب پره بهینه و در نظر گرفتن تغییر ویژگی‌های فیزیکی سیال در واحد آروماتیک به عنوان یک نمونه صنعتی بررسی می‌شود.

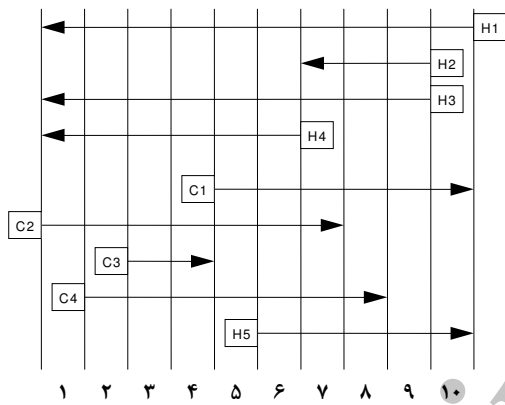
محاسبه متوسط انتگرالی ویژگی‌های فیزیکی و ضریب‌های تصحیح جریان‌ها به کمک الگوریتم نوشته شده با زبان ویژوال بیسیک صورت گرفته است. همان طور که شکل ۳ نشان می‌دهد پس از ورود اطلاعات جریان‌ها از جمله شدت جریان، دماهای ورودی و خروجی و ویژگی‌های فیزیکی در این دو دما، متوسط انتگرالی ویژگی‌های فیزیکی و ضریب‌های تصحیح محاسبه می‌شوند. اطلاعات جریان‌ها و متوسط انتگرالی ویژگی‌های فیزیکی در جدول ۲ ارائه شده است. همچنین مقادیر محاسبه شده ξ به منظور در نظر گرفتن تأثیر تابعیت دمایی ویژگی‌های فیزیکی جریان‌های مورد مطالعه در جدول ۳ گزارش شده است.

کلیه لایه‌های عبور جریان برای جریان‌های هم‌نوع، گرمای یکسانی دارند که این فرض با انتخاب سطح گسترده مناسب تأمین شده است. این فرض گرچه تا حدودی از واقعیت به دور است ولی سبب می‌شود که طراحی با تقریب به نسبت خوبی انجام شود. هر بخش به عنوان یک واحد مستقل عمل می‌کند. در واقع در هر بخش فقط از نازل و هیدرهای انتهایی و ابتدایی استفاده شده است. و طراحی به گونه‌ای است که هیچ هیدر میانی در نظر گرفته نشده است. در نتیجه می‌توان این گونه فرض کرد که نوع سطوح گسترده برای یک جریان از یک بخش به بخش دیگر تنوع داشته باشد.

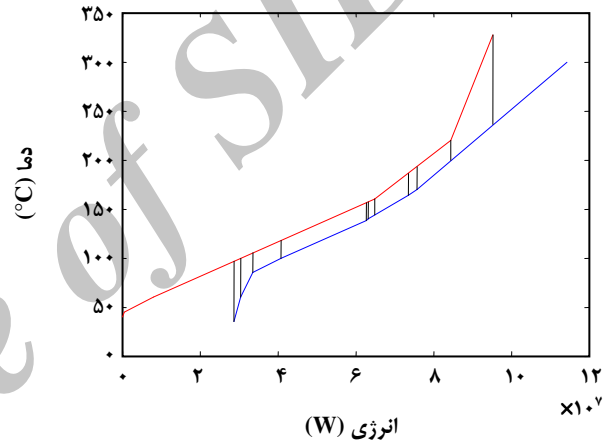
بدین ترتیب مطابق با الگوریتم شکل ۳، طراحی در هر بخش با تعیین مشخصات یک مبدل فشرده دو جریانی متناسب با میزان گرمای منتقل شده بین دو جریان بحرانی (جریانی که کمترین افت فشار مجاز را در بین مابقی جریان‌ها دارد) و جریان مرجع (جریانی که در بین جریان‌های گروه متضاد با جریان بحرانی کمترین افت فشار مجاز را دارد) شروع می‌شود. ذکر این نکته لازم است که اگر جریان بحرانی از جریان‌های گرم باشد، جریان مرجع از جریان‌های سرد انتخاب می‌شود. طول و عرض مبدل و تعداد لایه‌های عبور جریان برای این دو جریان از ترکیب رابطه‌های مربوط به انتقال گرما مبتنی بر LMTD و رابطه‌های مربوط به ضریب اصطکاک، محاسبه می‌شود. با استفاده از فرض دمای دیواره ثابت، انتقال گرمای عمودی (دمای ورود یکسان به مبدل برای جریان‌های هم‌نوع و

جدول ۴- افت فشار توزیع شده جریان‌ها در فواصل انتالپی.

در هر بازه $\Delta P$ (kPa)										جریان
۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۴۴٫۷۴	۱۱٫۲۵	۲٫۷۶	۱۱٫۰۸	۱٫۱۹	۰٫۳۴	۱۶٫۱۶	۵٫۲۸	۲٫۳۷	۱٫۲۸	H <sub>1</sub> (l)
---	۳۵٫۸۸	۸٫۷۸	۳۵٫۳۴	---	---	---	---	---	---	H <sub>2</sub> (g)
---	۱٫۶۰	۳٫۷۱	۱۴٫۹۱	۱٫۶۰	۰٫۴۵	۲۱٫۷۴	۷٫۱۰	۳٫۱۹	۱٫۷۲	H <sub>3</sub> (l)
---	---	---	---	۱٫۴۵	۰٫۴۲	۲۰٫۱۶	۶٫۶۰	۲٫۹۶	۱٫۶۰	H <sub>4</sub> (l)
۳٫۶۵	۲٫۹۴	۰٫۶۰	۲٫۰۲	۰٫۳۸	۰٫۲۰	۳٫۸۰	---	---	---	C <sub>1</sub> (l)
---	---	---	۳٫۱۳	۰٫۵۹	۰٫۳۱	۵٫۸۹	۲٫۳۳	۳٫۸۸	۳٫۸۸	C <sub>2</sub> (l)
---	---	---	---	---	---	۲۱٫۵۱	۸٫۴۹	---	---	C <sub>3</sub> (g)
---	---	۰٫۸۱	۲٫۷۶	۰٫۵۲	۰٫۲۷	۵٫۱۸	۲٫۰۴	۳٫۴۱	---	C <sub>4</sub> (l)
۱۸٫۲۵	۱۴٫۶۹	۳	۱۰٫۱۰	۱٫۹۰	---	---	---	---	---	C <sub>5</sub> (l)



شکل ۵- توزیع جریان‌ها در فواصل دمایی،  $\Delta T_{min} = ۱۶٫۲^\circ C$ .



شکل ۴- منحنی‌های مرکب در  $\Delta T_{min} = ۱۶٫۲^\circ C$ .

$$\Delta P_{i, interval} = \Delta P_{i, Total} \left( \frac{\Delta H_{i, interval}}{\Delta H_{i, Total}} \right) \quad (۱۷)$$

در جدول ۴ افت فشار مؤثر برای هر جریان گزارش شده است. در ادامه در هر بخش جریان دارای کمترین افت فشار به عنوان جریان بحرانی و جریان متناظرش انتخاب شدند و پس از انجام محاسبات، نتیجه در جدول‌های ۵ تا ۱۴ گزارش شده است. همچنین، شکل ۶ نمودار تغییر هزینه سالیانه کل مبدل گرمایی بر حسب تعداد نسل‌ها در الگوریتم ژنتیک را نشان می‌دهد. زمان اجرای این برنامه ۳۵ دقیقه بوده است. مشخصات کامپیوتر استفاده شده:

Intel(R), Core (TM), 3 GHz, 3.25 GB RAM

در این مسئله با اعمال ضرب‌های تصحیح افت فشار در حالت ویژگی‌های فیزیکی متغیر، کمترین هزینه کلی سالیانه در  $\Delta T_{min} = ۱۶٫۲^\circ C$  به دست آمد. در حالی که با ویژگی‌های فیزیکی ثابت این مقدار معادل با  $۲۰^\circ C$  محاسبه شد. بنابراین می‌توان گفت منحنی‌های مرکب ترسیم شده در شکل ۴ دقیق‌تر از حالت ویژگی‌های فیزیکی ثابت می‌باشند. طراحی مبدل گرمایی چند جریان به پایه روشی می‌باشد که توسط پیکون ارایه شده است [۱۱]؛ اما در روش حاضر متوسط انتگرالی ویژگی‌های فیزیکی در کلیه فاصله‌های انتالپی در نظر گرفته شده است. همچنین نوع فین‌ها برخلاف روش ارایه شده توسط پیکون ثابت گرفته نشده است. بلکه بهترین انتخاب صورت می‌گیرد. شکل ۵ چگونگی توزیع جریان‌ها را در بازه‌های دمایی منحنی‌های مرکب نشان می‌دهد که بر این اساس افت فشار مؤثر هر جریان مطابق با معادله (۱۷) تعیین می‌شود:



جدول ۵ - طراحی گرمایی نهایی (بخش ۱).

جریان	Np	نوع فین	Re	H (W/m <sup>2</sup> °C)	ΔP (kPa)
H1	۷۵/۸۳	louvered 3/16-11.1	۱۲۶۲	۸۱۹	۸
H3	۴۵/۲	louvered 3/8-11.1	۱۸۳۴	۸۷۵	۶
H4	۳۰۲/۹	wavy 11.5-3/8W	۳۲۶	۵۵۰	۱/۴
C2	۴۲۳	Strip 1/9-24.12	۲۱۰	۶۲۵	۱۸/۱

جدول ۶ - طراحی گرمایی نهایی (بخش ۲).

جریان	Np	نوع فین	Re	H (W/m <sup>2</sup> °C)	ΔP (kPa)
H1	۱۳۶/۹۷	Strip 1/8-19.86	۹۳۲	۱۳۵۵	۴۵
H3	۸۱/۶۵	Strip 1/10-19.74	۱۹۷۷	۲۰۱۵	۱۵۸
H4	۵۴۷/۱۹	Strip 1/9-24.12	۳۶۱	۱۲۰۵	۲۷/۷
C2	۴۱۳/۶۹	Strip 1/10-19.35	۲۵۰	۶۸۶	۱۸/۸
C4	۳۵۲/۱۳	Strip 1/8-16.12(D)	۱۴۴	۳۵۱	۲/۸

جدول ۷ - طراحی گرمایی نهایی (بخش ۳).

جریان	Np	نوع فین	Re	H (W/m <sup>2</sup> °C)	ΔP (kPa)
H1	۱۰۳	Strip 1/8-16.12(D)	۶۱۴	۹۳۴	۶۰/۵
H3	۶۱/۴	Strip 1/10-19.74	۲۶۳۰	۲۴۰۰	۶۷۹/۳
H4	۴۱۱/۴۶	Strip 1/8-19.86	۴۶۸	۱۲۷۲	۵۲/۱
C2	۸۳/۷۴	Strip 1/10-19.35	۱۲۳۵	۱۷۰۵	۵۲۷/۹
C3	۴۲۰/۸۶	Perforated 13.95(P)	۳۴۹۷	۱۲۷۸	۲۷۳/۴
C4	۷۱/۲۸	Strip 1/8-16.12(D)	۷۱۴	۷۹۳	۸۱/۳

جدول ۸ - طراحی گرمایی نهایی (بخش ۴).

جریان	Np	نوع فین	Re	h (W/m <sup>2</sup> °C)	ΔP (kPa)
H1	۸۳/۷	Strip 1/8-16.12(T)	۵۰۲	۸۲۷	۱۶۰
H3	۴۹/۹	Strip 1/10-19.74	۳۲۳۶	۲۷۲۷	۳۳۲۷
H4	۲۳۴/۴	Strip 1/9-24.12	۵۹۰	۱۶۳۴	۵۷۳/۱
C1	۸۰/۴۶	Strip 1/8-13.95	۱۱۲۹	۱۰۹۶	۱۲۳/۱
C2	۵۶/۳۶	Strip 1/8-16.00(D)	۷۱۸	۱۰۸۷	۴۳۳/۵
C3	۲۸۳/۲۸	Strip 1/8-15.61	۳۹۵۷	۱۹۵۲	۳۰۹۹
C4	۴۷/۹۷	Strip 1/8-19.86	۲۲۱۵	۱۷۵۸	۱۷۹۸

جدول ۹- طراحی گرمایی نهایی (بخش ۵).

جریان	Np	نوع فین	Re	h (W/m <sup>2</sup> °C)	ΔP (kPa)
H1	۱۲۶/۳۱	Strip 1/8-19.86	۱۰۳۲	۱۴۳۷	۱۰/۹
H3	۷۵/۲۹	Strip 1/10-19.74	۲۱۴۴	۲۱۱۸	۳۷/۳
H4	۵۰۴/۶۳	Strip 1/10-19.74	۵۸۴	۱۴۷۱	۱۰/۴
C1	۳۰۷/۲۸	Strip 1/9-24.12	۶۶۷	۱۰۸۷	۶/۷
C2	۲۱۵/۵۲	Plain 11.1	۳۱۷	۱۳۴	۰/۲
C4	۱۸۳/۴۴	Louvered 3/8-6.06	۶۵۶	۲۵۵	۰/۲۳

جدول ۱۰- طراحی گرمایی نهایی (بخش ۶).

جریان	Np	نوع فین	Re	h (W/m <sup>2</sup> °C)	ΔP (kPa)
H1	۵۵/۶۴	Plain 30.33T	۵۳۵	۶۳۱	۱۹/۷
H3	۳۳/۱۶	Strip 1/10-19.74	۴۸۶۹	۳۵۰۴	۶۳۴/۲
H4	۲۲۲/۲۶	Strip 1/10-19.74	۱۳۲۷	۲۴۳۳	۱۷۷
C1	۷۲/۳۳	Strip 1/9-24.12	۲۶۹۲	۲۵۷۸	۲۵۹/۵
C2	۵۰/۷۳	Plain 114.7	۸۲۱	۴۹۷	۲۱/۷
C4	۴۳/۱۸	Strip 1/10-27.03	۸۸۹	۱۳۷۷	۷۷/۴
C5	۱۴۴	Plain 9.03	۵۷۳	۱۲۰۴	۰/۲

جدول ۱۱- طراحی گرمایی نهایی (بخش ۷).

جریان	Np	نوع فین	Re	h (W/m <sup>2</sup> °C)	ΔP (kPa)
H1	۱۰۴/۱۱	Strip 1/8-15.2	۵۱۳	۵۰۸	۵۰/۹
H2	۱۶۷/۶۱	Louvered 1/4(b)-11.1	۱۸۰۸۵	۷۴۴	۳۸۱/۱
H3	۶۲/۲۴	Louvered 1/4(b)-11.1	۱۳۳۲	۷۶۸	۷۴
C1	۷۷/۷۲	Louvered 3/8(a)-8.7	۲۳۵۷	۸۵۲	۱۱۴/۸
C2	۵۴/۵	Perforated 13.95(P)	۱۲۷۳	۷۴۵	۲۲۴/۴
C4	۴۶/۳۹	Perforated 13.95(P)	۱۸۲۲	۷۴۹	۱۷۸/۸
C5	۱۵۵	Louvered 1/2-6.06	۱۶۷۸	۶۰۷	۳۸/۶

جدول ۱۲- طراحی گرمایی نهایی (بخش ۸).

جریان	Np	نوع فین	Re	h (W/m <sup>2</sup> °C)	ΔP (kPa)
H1	۱۰۴	Louvered 1/4-11.1	۸۹۳	۶۳۶	۱۰/۶
H2	۱۶۸/۰۲	Louvered 3/8(b)-11.1	۱۸۰۳۲	۶۱۵	۴۴/۲
H3	۶۲/۴۳	Louvered 1/2-11.1	۱۳۲۸	۶۳۱	۸/۳
C1	۹۳/۱۳	Strip 1/8-13.95	۹۷۴	۹۸۸	۱۶/۵
C4	۵۵/۵۹	Louvered 3/8-8.7	۱۷۷۶	۶۰۴	۱۹/۱
C5	۱۸۶/۴۵	Louvered 1/4-11.1	۹۷۵	۶۹۹	۸/۹

جدول ۱۳- طراحی گرمایی نهایی (بخش ۹).

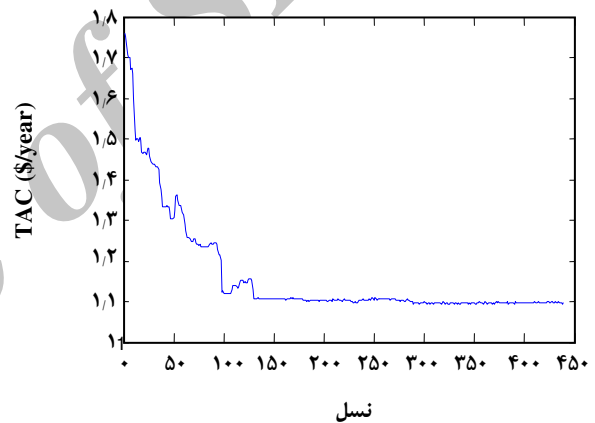
جریان	Np	نوع فین	Re	h (W/m <sup>2</sup> °C)	ΔP (kPa)
H1	۱۷۵/۷۹	Strip 1/9-24.12	۷۷۰	۱۳۷۵	۲۸۲/۶
H2	۲۸۲/۰۲	Strip 1/8-19.86	۱۳۶۸۱	۹۳۴	۳۹۵/۱
H3	۱۰۴/۷۹	Strip 1/8-16.12(D)	۴۸۲	۷۴۹	۳۵/۷
C1	۱۸۷/۴	Strip 1/10-19.35	۱۲۴۱	۱۴۶۱	۱۶۹/۷
C5	۳۷۵/۲	Louvered 1/2-11.1	۴۸۴	۳۷۲	۴/۵

جدول ۱۴- طراحی گرمایی نهایی (بخش ۱۰).

جریان	Np	نوع فین	Re	h (W/m <sup>2</sup> °C)	ΔP (kPa)
H1	۳۸۹/۰۵	Strip 1/10-27.03	۱۱۷	۶۴۳	۱۰/۱
C1	۱۲۹/۵۹	Strip 1/8-16.12(D)	۷۳۹	۸۸۷	۳۹/۷
C5	۲۵۹/۴۶	Strip 1/8-19.82(D)	۴۲۶	۹۸۹	۳۰/۳

در برخواهد داشت. نتیجه‌ای همانند در مقایسه عددهای ردیف دوم و چهارم جدول به دست می‌آید. در واقع عددهای ردیف اول دقیق‌ترین عددها را برای هزینه کل سالیانه گزارش می‌کنند. نکته‌ی مهم آن که اگرچه در ضریب تصحیح به دست آمده، ضریب هدایت گرمایی دارای توان بزرگتری در مقایسه با ظرفیت گرمایی ویژه می‌باشد اما بزرگ‌تر بودن مقدار ظرفیت گرمایی ویژه باعث می‌شود که اهمیت آن از دیگر ویژگی‌های فیزیکی سیال متمایز شود. همچنین دیده شد که با تغییر اندکی در ویسکوزیته‌ی دو سر جریان، ضریب تصحیح افت فشار به طور چشمگیری تغییر می‌کند که این امر بدون تردید ناشی از غیرخطی بودن تابعیت آن با دماست. از این رو در تخمین ظرفیت گرمایی ویژه و ویسکوزیته دقت افزون‌تری باید داشت. استفاده از متوسط انتگرالی خواص فیزیکی (که در مقایسه با متوسط حسابی، مقدارهای دقیق‌تری را می‌دهد) موجب عوض شدن افت فشار هر جریان شده است. در این میان نقش و تأثیر ویسکوزیته در این تغییر نسبت به سایر ویژگی‌های فیزیکی بیشتر بوده است.

جایگزین نمودن مقدارهای متوسط انتگرالی ویژگی‌های فیزیکی و افت فشار تصحیح شده باعث تغییر  $\Delta T_{min}$  در مرحله‌ی هدفگذاری شده است. تغییر در  $\Delta T_{min}$  خود موجب تغییر شکل منحنی‌های مرکب و تغییر آرایش جریان‌ها که طراحی براساس آن صورت می‌گیرد، شده است. بر اثر تغییر مقدارهای انتالی در منحنی‌های مرکب،



شکل ۶- منحنی هزینه کل سالیانه بر حسب تعداد نسل‌ها.

## نتیجه‌ها و بحث

نتیجه‌های نهایی مربوط به محاسبه حجم کل مبدل و هزینه مربوطه در ردیف اول جدول ۱۵ گزارش شده است. در این جدول نتیجه طراحی ارائه شده در این مقاله و نتیجه طراحی به شیوه‌های دیگر مقایسه شده‌اند.

با مقایسه عددهای ردیف اول و دوم درج شده در جدول ۱۵ در می‌یابیم که با در نظر گرفتن تغییر ویژگی‌های فیزیکی، به ترتیب دقت در محاسبات حجم و هزینه کل سالیانه ۲۷/۳٪ و ۱۳/۵٪ بهبود پیدا خواهد کرد. همچنین مقایسه عددهای ردیف اول و سوم نشان دهنده‌ی آن است که جستجوی افت فشار و نوع بهینه پره جریان‌ها ۴/۲۸٪ و ۴/۹۲٪ کاهش در حجم مبدل و هزینه کل سالیانه را

جدول ۱۵- مقایسه نتیجه‌های طراحی مبدل چندجریانه در روش‌های گوناگون.

هزینه کل سالیانه (\$/yr)	حجم مبدل (m <sup>3</sup> )	روش طراحی
۱۱۵۴۹۴۱۲	۱۰/۰۷	بهینه‌سازی در حالت ویژگی‌های فیزیکی متغیر
۱۰۱۷۶۵۹۳	۷/۹۱	بهینه‌سازی در حالت ویژگی‌های فیزیکی ثابت
۱۲۱۴۶۴۶۹	۱۰/۵۲	ویژگی‌های فیزیکی متغیر بدون بهینه‌سازی افت فشار
۱۲۰۲۸۶۰۳	۱۰/۲۶	ویژگی‌های فیزیکی ثابت بدون بهینه‌سازی افت فشار

$\Delta T_{min}$  شبکه و در نتیجه با ایجاد تحول در آرایش مبدل‌ها هزینه‌های گوناگون شبکه را به طور محسوسی تغییر دهد. پیش‌بینی می‌شود این امر در مبدل‌هایی که در آن‌ها سیال تغییر فاز می‌دهد بیشتر خودنمایی کند.

همانگونه که دیده شد نوع پره به عنوان متغیر به کار رفته در الگوریتم ژنتیک نقش به‌سزایی در عملکرد اصطکاکی و گرمایی مبدل گرمایی دارد. همچنین ضریب‌های انتقال گرمای دقیقی که با اعمال ضریب‌های تصحیح به دست آورده شد، طراح را به نتیجه‌های خوبی رهنمون می‌سازد.

بنابراین روش گفته شده که ترکیبی از مفهوم فناوری پینچ و الگوریتم ژنتیک است می‌تواند بهترین افت فشار و نوع پره را برای هر جریان به طوری که هزینه‌ی کل سالیانه کمینه شود، تخمین زند. ضمن آن که در این روش با صرف نظر از فرض ثابت بودن ویژگی‌های فیزیکی نتیجه‌ها به واقعیت نزدیک‌تر شده است.

### نمادها

A	سطح انتقال گرما، m <sup>2</sup>
AH	دوره عملیاتی در سال، h/yr
A <sub>c</sub>	سطح آزاد جریان، m <sup>2</sup>
b	توان رینولدز در معادله انتقال گرما برحسب رینولدز
C	جریان سرد
C <sub>p</sub>	ظرفیت گرمایی ویژه، J/kg.°C
d <sub>h</sub>	قطر هیدرولیکی، m
E <sub>c</sub>	انرژی تأمین شده توسط سرویس سرمایشی، kW
E <sub>h</sub>	انرژی تأمین شده توسط سرویس گرمایشی، kW
f	ضریب اصطکاک
f <sub>c</sub>	هزینه نصب مبدل، \$
f <sub>e</sub>	هزینه برق، \$/kWh
g	گاز
h	ضریب انتقال گرما، W/m <sup>2</sup> .°C

افت فشار مجاز جریان‌ها در هر بخش (که بر مبنای آن محاسبه می‌شوند) مقدارهای دیگری به خود گرفته است.

هنگامی که افت فشار جریان‌ها اصلاح می‌شود، احتمال تغییر جریان بحرانی و مرجع نیز وجود دارد. این امر به ویژه در مورد جریان‌هایی مانند C<sub>1</sub> و C<sub>2</sub> که افت فشار برابر دارند اتفاق می‌افتد. پس از انجام بهینه‌سازی دیده شده است که نوع پره‌های بهینه نیز متفاوت با حالت ویژگی‌های فیزیکی ثابت به دست آمده است. بنابراین در این روش به کمک الگوریتم ژنتیک، به عنوان یک ابزار قدرتمند در جستجو، بهترین افت فشار برای هر جریان به طوری که هزینه‌ی کل سالیانه به کمینه شود یافته شد.

### نتیجه‌گیری

هدف از انجام این پژوهش، آرایه یک روش ریاضی مستدل بوده است که تأثیرات دما را بر ویژگی‌های فیزیکی سیال و نیز اثرات ویژگی‌های را بر هم به طور همه جانبه دربرگیرد. شایان گفتن است که این ضریب‌های تصحیح را می‌توان به سادگی در الگوریتم‌هایی که بر اساس افت فشار ثابت کار می‌کنند به کار گرفت.

باید دانست که ثابت فرض نمودن خواص فیزیکی در مسیر جریان اگرچه موجب ساده شدن طراحی شبکه‌های مبدل گرمایی می‌شود، اما برای این که این ویژگی‌ها در پدیده‌ی انتقال مومنتم و گرمای نقش اساسی بازی می‌کنند، توجه به تغییر ویژگی‌های فیزیکی اهمیت چشمگیری یافته است.

همواره باید به این نکته توجه داشت که در موردهای صنعتی مانند طراحی و بهینه‌سازی شبکه‌های مبدل گرمایی به دلیل بالا بودن حجم محاسبه‌ها، به برای افزایش دقت در عملکرد فرایند و نزدیک‌تر شدن هر چه بیشتر به حالت واقعی روشی باید پیشنهاد شود که محاسبه‌ها را دشوار و زمان‌بر نکند.

این پژوهش نشان داد که حالت واقعی خواص فیزیکی متغیر نه تنها بر سطح انتقال گرمای یک مبدل معین و انرژی تأمین شده توسط سرویس جانبی اثرگذار است، بلکه ممکن است با تغییر

y	توان رینولدز در رابطه ضریب اصطکاک برحسب رینولدز	H	جریان گرم
		$\Delta H$	تغییر انتالپی، kW
		i	نرخ تورم، %
	<b>زیر نویس ها</b>	IC	هزینه اولیه، \$
1	سمت اول مبدل	$K_h$	ثابت در معادله ضریب انتقال گرما
2	سمت دوم مبدل	$K_p$	ثابت در معادله افت فشار
i	جریان	l	مایع
f	پره	$L_p$	طول مبدل، m
w	دیواره	m	دبی جرمی، kg/s
o	متوسط انتگرالی	n	ثابت
eff	مؤثر	OMC	هزینه نگهداری و عملیاتی، \$
		Pa	افت فشار، Pa
	<b>حروف یونانی</b>	Q	بار گرمایی، W
$\zeta$	ضریب تصحیح	T	دما، °C
$\lambda$	هدایت گرمایی سیال، W/m.°C	TAC	هزینه کلی سالیانه، \$/yr
$\mu$	ویسکوزیته، kg/m.s	$T_s$	دمای مرجع، °C
$\rho$	دانشیته، kg/m <sup>3</sup>	$T_T$	دمای هدف، °C
$\psi$	پارامتر عملکرد	$t_p$	دوره عملیاتی، year
		uc	هزینه مبدل گرمایی، \$/m <sup>2</sup>
		$V_T$	حجم کل مبدل، m <sup>3</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۴/۲۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۵/۲۳

## مراجع

- [1] Feldman A., Marvillet C. and Lebouche M., Nucleate and Convective Boiling in Plate Fin Heat Exchangers, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43, p. 3433 (2000).
- [۲]. قاسم زاده، ژاله؛ پنجه‌شاهی، محمدحسن؛ تخمین خواص فیزیکی سیالات برای استفاده در الگوریتم سطح شبکه مبدل‌های حرارتی، نشریه مهندسی شیمی دانشکده فنی دانشگاه تهران، شماره ۳۰، ص ۸۹۸ (۱۳۷۶).
- [3] Ghannadi M.M., Omidkhah M.R., Hojjati M.R., Area Targeting of HEX for Shiraz Refinery Atmospheric Distillation Unit with Variable Physical Properties of Crude Oil Consideration, The 6th International Chemical Engineering Congress & Exhibition, Kish Island, Iran, (2009).
- [4] Hojjati M.R., Omidkhah M.R., Panjeshahi M.H., Heat Exchanger Network Design with Pressure Drop Consideration Using Mathematical Programming, *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 26(1), p. 1 (2007).
- [5] Moosavi E., Omidkhah M.R., Hojjati M.R., MINLP Synthesis of Heat Exchanger Networks with Variable Physical Properties of Fluids, 12th Chemical Engineering Conference, Sahand University, Tabriz, Iran, (2008).

- [6] Fakharzadeh H.R., Omidkhan M.R., Hojjati M.R., Optimization of Steam Network in Shiraz Refinery Utility Systems using Variable Physical Properties, The 6th International Chemical Engineering Congress & Exhibition, Kish Island, Iran, (2009).
- [۷]. فلاحی حمیدرضا؛ "بهینه‌سازی افت فشار درانتگراسیون فرایند"، پایان نامه دکتری، دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه تهران، (۱۳۷۸).
- [8] Kays W.M., London A.L., "Compact Heat Exchangers", 3rd Edition .McGraw-Hill, New York, (1984).
- [9] Sheik Ismail L., Ranganayakulu C., Shah Ramesh K., Numerical Study of Flow Patterns of Compact Plate Fin Heat Exchangers and Generation of Design Data for Offset and Wavy Fins, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **52**, p.3972 (2009).
- [10] Peng H., Ling X., Optimal Design Approach for the Plate Fin Heat Exchangers Using Neural Networks Cooperated with Genetic Algorithms, *Applied Thermal Engineering*, **28**, p. 642 (2008).
- [11] Picon-Nunez M., Polley G.T., Medina-Flores M., Thermal Design of Multistream Heat Exchangers, *Applied Thermal Engineering*, **22**, p. 1643 (2002).