

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه غیرانتفاعی انرژی
مرکز ساوه

دانشکده فنی و مهندسی
پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.A)
گرایش: سیستم انرژی

عنوان:

مدلسازی دو هدفه بازیاب حرارتی پالایشگاه تهران به کمک
الگوریتم چند هدفه ژنتیک بر مبنای قانون دوم ترمودینامیک با
استفاده از نانوسیال

استاد راهنما:

جناب دکتر میرزایی

استاد مشاور :

جناب دکتر مداح

نگارش:

ماهرو معین غرا

تابستان ۱۳۹۶



تاریخ:

شماره:

تعهد نامه ی اصالت پایان نامه

اینجانب ماهر و معین غرا دانش آموخته ی مقطع کارشناسی ارشد ناپیوسته ی که تاریخ
از پایان نامه خود تحت عنوان:

مدلسازی دو هدفه بازیاب حرارتی پالایشگاه تهران به کمک

الگوریتم چند هدفه ژنتیک بر مبنای قانون دوم ترمودینامیک با

استفاده از نانوسیال

با کسب نمره به عدد () و به حروف () و درجه ی دفاع نموده ام
بدین وسیله متعهد می شوم:

این پایان نامه حاصل تحقیق و پژوهش انجام شده توسط اینجانب بوده و در مواردی که از
دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران (اعم از پایان نامه - کتاب - مقاله و ...) استفاده نموده
ام . مطابق ضوابط و رویه موجود . نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در فهرست
مربوطه ذکر و درج کرده ام .

این پایان نامه / رساله قبلاً برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی (هم سطح . پایین تر یا بالاتر -
در سایر دانشگاه ها و موسسات آموزش عالی ارایه نشده است .

چنانچه بعد از فراغت از تحصیل قصد استفاده و هرگونه بهره برداری اعم از چاپ کتاب . ثبت
اختراع و ... از پایان نامه داشته باشم . از حوزه ی معاونت پژوهشی واحد مجوز های مربوطه
را اخذ نمایم .

چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود. و در صورت ابطال مدرک تحصیلی ام
هیچگونه ادعایی نخواهم داشت.

نام و نام خانوادگی :

تاریخ و امضاء:

تقدیر و تشکر:

شایسته است از استاد و راهنمای بزرگوارم **جناب آقای دکتر میرزایی** که در به ثمر رساندن

تحقیقات بنده دلسوزانه از هر کمکی دریغ نکردند، صمیمانه تشکر نمایم.

علاوه بر توجیحات علمی، منش ایشان بهترین الگوی اخلاقی من بود. امیدوارم در کلیه مراحل

زندگی موفق و پیروز باشید.

تقدیم به

تقدیم به پدر عزیزم

که همیشه حامی و پشتیبانم بود و همواره به من درس محبت کوشش و تلاش آموخت .

تقدیم به مادر مهربانم

هم او که با نگاهش سایه ساری از مهر بر سرم گسترانید و درس گذشت و صبوری به من آموخت

چکیده

هدف از تحلیل اگزرژی مبدل‌های حرارتی بدست آوردن حداقل تلفات انرژی در دسترس می باشد. کار مبدل حرارتی تبادل حرارت بین دو سیال می باشد. دو مکانیزم اساسی تخریب اگزرژی یا همان عوامل تولید آنتروپی، انتقال حرارت به دلیل اختلاف دما و افت فشار هستند. عملکرد دو پدیده بالا به گونه‌ای است که اکثراً کاهش یکی سبب افزایش دیگری می‌شود این پژوهش به دنبال یافتن نسبت بهینه این دو مکانیزم در مبدل حرارتی است، بگونه‌ای که تولید آنتروپی کل و هزینه کل در طول فرآیند حداقل گردد. در دو دهه‌ی اخیر، طراحی بر اساس ترکیب قانون اول و دوم ترمودینامیک توجه محققان زیادی را به خود جلب کرده است. بر مبنای مفهوم آنتروپی، چندین تابع هدف مختلف (شاخص) برای بهینه سازی کارایی مبدل‌ها قابل تعریف است. هر کدام از این شاخص‌ها، قیود و خواص مربوط به خود را دارند.

در این پژوهش بهینه سازی مبدل حرارتی صفحه‌ای با انتخاب اصلی ترین ابعاد هندسی (به عنوان متغیر تصمیم گیری) شامل: تعداد ردیف فین، تعداد فین در واحد طول، طول مبدل، طول فین، ضخامت و ارتفاع فین برای دو سمت سیال سرد و گرم و درصد جرمی نانو سیال آغاز میشود. هر ترکیب معین این پارامترها مجموعه خاصی از مقادیر را برای تولید آنتروپی و هزینه مبدل های حرارتی به دست می‌دهد. هدف از به کارگیری روشهای بهینه سازی یافتن بهترین ترکیب ممکن است، به طوری که با توجه به نیازهای مصرف کننده، شرایط اعمالی، محدودیت ها و کارایی مبدل‌های حرارتی کمترین تولید آنتروپی و کمترین هزینه کل را در برداشته باشد. بدیهی است در مرحله‌ی بهینه سازی یک مبدل، الزامات و قیده‌های بیان شده در استانداردها (به عنوان مثال افت فشار مجاز در سمت گرم و سرد مبدل) نیز باید ارضا شود.

به منظور بررسی نتایج مدل سازی، خروجی شبیه سازی با اطلاعات موجود در دیتاشیت مبدل حرارتی مقایسه شد. برای قیاس بهتر مقایسه برای مقادیر ورودی یکسان صورت گرفت. نتایج مدل سازی تطابق خوبی با مقادیر موجود در دیتاشیت دارد و درصد خطای مدلسازی کمتر از ۹ درصد می‌باشد. این دو تابع هدف (آنتروپی و هزینه‌ی کل) به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شده و نهایتاً به کمک الگوریتم ژنتیک دو هدفه مینیمم میگردند. لازم بذکر است نتایج نشان داد کاهش نرخ تولید آنتروپی، منجر به افزایش هزینه کلی و برعکس خواهد شد. لکن ما مجبور به استفاده از روش بهینه سازی چند هدفه قدرتمند مانند الگوریتم ژنتیک برای مبدل حرارتی صفحه‌ای هستیم.

فهرست مطالب

فصل ۱: معرفی پژوهش.....	۱
۱-۱ مقدمه.....	۲
۲-۱ بیان مساله.....	۵
۳-۱ فرضیات مساله.....	۷
فصل ۲: مروری بر مقالات.....	۱۷
۱-۲ تاریخچه کار.....	۱۸
۲-۲ مروری بر کار گذشتگان.....	۱۸
فصل ۳: الگوریتم ژنتیک.....	۲۸
۱-۳ مقدمه.....	۲۹
۱-۱-۳ پیدایش الگوریتم ژنتیک.....	۳۰
۲-۱-۳ اصطلاحات کاربردی در الگوریتم ژنتیک.....	۳۱
۲-۲-۱-۳ تابع شایستگی / ارزیابی.....	۳۲
۳-۱-۲-۳ افراد در الگوریتم ژنتیک و میزان شایستگی آنها.....	۳۳
۳-۱-۲-۴ جمعیت و نسلها.....	۳۴
۳-۱-۲-۵ والدین و فرزندان.....	۳۴
۳-۱-۳ عملکرد الگوریتم ژنتیک.....	۳۴
۴-۱-۳ توابع عملیاتی الگوریتمهای ژنتیک.....	۳۷

۴۰ ۳-۱-۵ مزایای الگوریتم ژنتیک

۴۲ ۳-۱-۶ محدودیتهای الگوریتم ژنتیک

۴۳ فصل ۴: مدل سازی

۴۴ ۴-۱ بهینه سازی مدل سازی مبدل پره - صفحه های

۴۴ ۴-۲ طراحی حرارتی مبدل پره صفحه های

۴۸ ۴-۳ محاسبه نرخ رشد آنتروپی (تابع هدف اول)

۴۹ ۴-۴ محاسبه هزینه تمام شده کل سالیانه (تابع هدف دوم)

۵۰ ۴-۵ بهینه سازی مطالعات موردی

۵۱ ۴-۶ توابع هدف بهینه سازی مبدل حرارتی پره صفحه های

۵۱ ۴-۶-۱ تابع هدف اول نرخ تولید آنتروپی N_s

۵۱ ۴-۶-۲ هزینه کل سالیانه TAC

۵۲ ۴-۷ متغیرهای مستقل مساله بهینه سازی

۵۳ ۴-۸ قیود حاکم بر مساله ی بهینه سازی

۵۳ ۴-۹ نتایج اولیه

۵۷ فصل ۵: نتیجه گیری

۵۸ ۵-۱ مقدمه

۵۸ ۵-۲ مطالعه موردی

۵-۲-۲	تایید مدل سازی مبدل واحد فشرده ساز هوا:	۵۹
۵-۳	نتایج بهینه سازی:	۶۰
۵-۳-۲	جبهه ی پارتو:	۶۱
۵-۴	آنالیز حساسیت:	۶۳
۵-۵	نتیجه گیری:	۶۶
۵-۶	پیشنهادهای برای آینده:	۶۶
	مراجع:	۶۸

- شکل (۱-۱) . تقسیم بندی مبدل های حرارتی..... ۹
- شکل (۲-۱) هندسه یک مبدل حرارتی پلیت فین با جریان متقاطع..... ۱۴
- شکل (۳-۱) شش نوع سطح هندسی گسترش داده شده برای مبدل پلیت فین..... ۱۵
- شکل (۱-۳) اصطلاحات کاربردی الگوریتم ژنتیک..... ۳۲
- شکل (۲-۳) نمودار گردش کار الگوریتم ژنتیک [۶]..... ۳۷
- شکل (۱-۴) نمای روپرو و نمای جانبی **offset strip fin**..... ۵۲
- شکل (۲-۴) نمودار آنتروپی تولیدی ناشی از اختلاف دما بر حسب رینولدز..... ۵۴
- شکل (۳-۴) نمودار آنتروپی تولیدی ناشی از افت فشار بر حسب رینولدز..... ۵۵
- شکل (۴-۴) نمودار آنتروپی تولیدی کل (ناشی از اختلاف دما و افت فشار) بر حسب رینولدز..... ۵۵
- شکل (۵-۴) توزیع جمعیت در نسل های مختلف الگوریتم ژنتیک برای متغیر **na**..... ۵۶
- شکل (۱-۵) برای یک مقدار آنتروپی مشخص کمترین هزینه محاسبه گردید (جبهه ی پارتو) با کاهش آنتروپی (تابع هدف اول) هزینه کل (تابع هدف دوم) افزایش می یابد..... ۶۱
- شکل (۲-۵) آنالیز حساسیت برای متغیر **H_b**..... ۶۴
- شکل (۳-۵) آنالیز حساسیت برای متغیر **t_b**..... ۶۵

فهرست جداول

- جدول (۱-۳) شبه کد الگوریتم ژنتیک [۵۸]..... ۳۹
- جدول (۱-۴) مشخصات سیال گرم و سرد (شرایط بهره برداری)..... ۵۰
- جدول (۲-۴) ثوابت مورد نیاز برای محاسبه هزینه [5]..... ۵۰
- جدول (۱-۵) شرایط عملیاتی مبدل و خواص سیال..... ۵۸
- جدول (۲-۵) مقایسه نتایج بدست آمده از مدلسازی مبدل واحد فشرده ساز هوا در پالایشگاه
تهران..... ۵۹
- جدول (۳-۵) مقادیر دو تابع هدف و هشت متغیر تصمیم گیری (مقادیر جبهه پارتو)..... ۶۳

فصل ۱:

معرفی پژوهش

۱-۱ مقدمه

علم و فناوری نانو (نانو علم و نانو تکنولوژی) توانایی بدست گرفتن کنترل ماده در ابعاد نانومتری (ملکولی) و بهره برداری از خواص و پدیده‌های این بعد در مواد، ابزارها و سیستمهای نوین است. این تعریف ساده خود در برگیرنده معانی زیادی است. به عنوان مثال فناوری نانو با طبیعت فرا رشته‌ای خود، در آینده در برگیرنده همه فناوریهای امروزی خواهد بود و به جای رقابت با فناوری های موجود، مسیر رشد آنها را در دست گرفته و آنها را بصورت «یک حرف از علم» یکپارچه خواهد کرد. در واقع نانو تکنولوژی فهم و به کارگیری خواص جدیدی از مواد و سیستمهایی در این ابعاد است که اثرات فیزیکی جدیدی - عمدتاً متأثر از غلبه خواص کوانتومی بر خواص کلاسیک - از خود نشان می‌دهند.

فن آوری نانو توانایی ساخت، کنترل و استفاده ماده در ابعاد نانومتری است. اندازه ذرات در فن آوری نانو بسیار مهم است، چرا که در مقیاس نانویی، ابعاد ماده در خصوصیات آن بسیار تأثیرگذار است و خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی تک تک اتم‌ها و مولکول‌ها با خواص توده ماده متفاوت است. این اندازه در مواد مختلف متفاوت است، اما به طور معمول مواد نانو به موادی که حداقل یکی از ابعاد آنها کوچک تر از ۱۰۰ نانو متر باشد گفته می‌شود. روش های گوناگونی جهت سنتز نانو مواد طراحی شده‌اند. انتخاب روش بهینه بستگی به عوامل مختلفی دارد که از جمله مهمترین آنها، می‌توان به خواص مورد نظر محصول اشاره نمود. بعد از تعیین خصوصیات محصول، با توجه به توانایی روش در کنترل اندازه، شکل، توزیع و درجه آگلومراسیون، هزینه و میزان تولید، یک روش مناسب جهت سنتز نانو ذره انتخاب می‌شود. بر اساس مراحل سنتز، روش های تولید نانومواد را می‌توان به سه گروه واکنش های در فاز گاز، جامد و مایع تقسیم بندی نمود. روش های سنتز در فاز گاز در واقع شامل تبخیر یک یا چند پیش ماده و

سپس چگالش سریع آن برای تشکیل مواد نانومتری است. در این روش‌ها به دلیل کنترل دقیق شرایط سنتز، توانایی کنترل اندازه، شکل و ترکیب شیمیایی به خوبی امکان‌پذیر است. از این روش‌ها معمولاً به منظور تولید نانو ذرات فلزی و سرامیکی استفاده می‌شود. یکی از معمول‌ترین فرآیندهای حالت جامد، استفاده از آسیاب مکانیکی است. در این روش مواد توسط آسیاب‌های ماهواره‌ای، لرزشی، سایشی و غیره ریز می‌شوند. از این روش می‌توان در تولید انبوه نانو مواد استفاده نمود. اما محصول دارای ناخالصی است. که این ناخالصی می‌تواند از طریق محیط آسیاب و همچنین گلوله‌ها وارد محصول شود. از طرف دیگر توزیع اندازه ذرات یکنواخت نیست و مشکل آگلومراسیون نیز وجود دارد [۲, ۳].

عمدتاً سنتز در فاز مایع شامل رشد نانو ذرات در یک واسطه مایع حاوی انواع واکنشگرها است. در این روش معمولاً محصولات جانبی و زائد بعد از واکنش ایجاد می‌شوند. که به منظور خارج نمودن ناخالصی‌های باقیمانده از محصولات و نیز جلوگیری از ورود آلودگی‌ها، پس از سنتز مراحل خاصی باید انجام پذیرد [۴]. در سنتز در فاز مایع، پارامترهایی را که پارامترهای سنتز نامیده می‌شوند؛ مانند دما، درجه اسیدی یا بازی، غلظت واکنش دهنده‌ها و زمان را باید به طور مطلوبی با فاکتورهایی چون فوق اشباع، سرعت جوانه‌زنی، رشد و ضریب نفوذ ارتباط داد تا بتوان از امکان تولید محصول مطلوب مطمئن شد [۵]. از جمله روش‌های سنتز در فاز مایع می‌توان به روش هم‌رسوبی، میکروامولسیون، سونوشیمیایی، هیدروترمال، احتراقی و سل-ژل اشاره کرد. روش‌های سنتز در فاز مایع به علت داشتن ویژگی‌هایی مانند سادگی در فرآیند، هزینه پایین پیش ماده و تجهیزات و زمان فرآیندی کوتاه و خلوص بالای محصولات از آن‌ها بیشتر از روش‌های مرسوم دیگر استفاده شده است. هریک از روش‌های ذکر شده دارای معایب و مزایای مخصوص به خود می‌باشند. در سال‌های اخیر محققین بیشتر بر روی استفاده ترکیبی از این روش‌ها جهت ساخت نانو ذرات متمرکز شده‌اند.

طی چند سال اخیر کاربردهای نانو ذرات بطور مجزا و مستقل از فناوری نانو تکنولوژی پیشرفتهای قابل توجهی داشته و به عنوان یکی از ابعاد اصلی این فناوری به حساب می آید. یکی از زمینه هایی که استفاده از نانو ذرات در آن گسترش چشم گیری یافته است بهبود انتقال حرارت سیالات مبدل های حرارتی می باشد. نانوسیال عبارتست از نوع جدیدی از سیالات که با پراکندن نانوذرات در یک سیال پایه ایجاد می شود. ویژگی عمده این سیالات در مقایسه با سیالات معمولی مورد استفاده در کاربردهای حرارتی، خواص حرارتی بهبود یافته آن هاست که باعث می شود حرارت با سرعت بیش تری منتقل شود. یکی از مسائلی که امروزه در فرآیندهای انتقال حرارت مطرح می شود، لزوم افزایش قابل توجه فلاکس حرارتی و کوچک سازی تجهیزات انتقال حرارت است. تاکنون روش های متنوعی جهت افزایش بازدهی مبدل های حرارتی به کار گرفته شده است. بیش تر این روش ها بر مبنای تغییر ساختار تجهیزات نظیر افزایش سطوح حرارتی، لرزش سطوح حرارتی، تزریق یا مکش سیال و کاربرد جریان الکتریکی یا میدان مغناطیسی بوده است. این تکنیک ها به سختی از عهده تقاضای روز افزون برای انتقال حرارت در سیستم های با لزوم انتقال انرژی بالا بر می آیند. در این میان، نقش خواص حرارتی سیالات در انتقال حرارت کم تر مورد توجه قرار گرفته است. سیالات مرسوم برای انتقال حرارت شامل آب، اتیلن گلیکول و روغن موتور ضریب هدایت حرارتی بسیار پایینی در مقایسه با فلزات و حتی اکسیدهای فلزی دارند. به عنوان مثال ضریب هدایت حرارتی مس ۷۰۰ برابر ضریب هدایت حرارتی آب و ۳۰۰۰ برابر ضریب هدایت حرارتی روغن موتور است و ضریب هدایت حرارتی اکسید آلومینیوم نیز ۶۰ برابر ضریب هدایت حرارتی آب است. بنابراین انتظار می رود سیالاتی که حاوی ذرات جامد معلق اکسیدهای فلزی یا فلزات باشند خواص حرارتی بهتری نسبت به سیالات مرسوم از خود نشان دهند. اخیرا استفاده از نانوسیالات که در حقیقت

سوسپانسیون پایداری از نانوفیبرها و نانوذرات جامد هستند، به عنوان راهبردی جدید در عملیات انتقال حرارت مطرح شده است.

در میان نانوذرات بکار رفته در نانو سیالات مبدل های حرارتی، مس و نانو لوله های کربنی از توجه بیشتری به دلیل ارزان بودن، بالا بودن ضریب هدایت حرارتی و نیز داشتن سطح انتقال حرارت بالا برخوردارند. بیشتر تحقیقات صورت گرفته تاکنون بر روی استفاده از یک نانو ذره در نانو سیال به منظور بهبود انتقال حرارت می باشد. با پیدایش نانو کامپوزیت ها، توجه محققین به استفاده از این نوع مواد به جای نانو سیالات حاوی نانوذرات فلز خاص جلب شده است. استفاده از نانو کامپوزیت ها به دلیل دارا بودن خواص حرارتی بالاتر نسبت به نانو ذرات فلزی و نیز به دلیل دارا بودن سطح انتقال حرارت بالاتر در سال های آینده گسترش چشم گیری خواهد یافت.

۱-۲ بیان مساله

در دو دهه ی اخیر، طراحی بر اساس ترکیب قانون اول و دوم ترمودینامیک توجه ی محققان زیادی را به خود جلب کرده است. بر مبنای مفهوم آنتروپی، چندین تابع هدف مختلف (شاخص) برای بهینه سازی کارایی مبدل ها قابل تعریف است. هر کدام از این شاخص ها، قیود و خواص مربوط به خود را دارند اما همگی آنها همانطور که در مرجع [۱] توضیح داده شده است بهم وابسته بوده و مناسبات مشترکی

دارد. در این میان، شاخص عدد تولید آنتروپی که توسط بیجن^۱ معرفی شد از همه پر کاربردتر است. بیجن نشان داد که مینیمم سازی تولید آنتروپی^۲ در بعضی موارد، می تواند به تنهایی در مراحل اولیه طراحی مورد استفاده قرار گیرد.

بهینه سازی مبدل حرارتی صفحه ای با انتخاب اصلی ترین ابعاد هندسی (به عنوان متغیر تصمیم گیری) شامل: تعداد ردیف فین، تعداد فین در واحد طول، طول مبدل، طول فین، ضخامت و ارتفاع فین برای دو سمت سیال سرد و گرم و درصد جرمی نانو سیال آغاز میشود. هر ترکیب معین این پارامترها مجموعه خاصی از مقادیر را برای تولید آنتروپی و هزینه مبدل های حرارتی به دست می دهد. هدف از به کارگیری روشهای بهینه سازی یافتن بهترین ترکیب ممکن است، به طوری که با توجه به نیازهای مصرف کننده، شرایط اعمالی، محدودیت ها و کارایی مبدلهای حرارتی کمترین تولید آنتروپی و کمترین هزینه کل را در برداشته باشد. بدیهی است در مرحله ی بهینه سازی یک مبدل، الزامات و قیدهای بیان شده در استانداردها (به عنوان مثال افت فشار مجاز در سمت گرم و سرد مبدل) نیز باید ارضا شود.

این دو تابع هدف (آنتروپی و هزینه ی کل) به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شده و نهایتاً به کمک الگوریتم ژنتیک دو هدفه مینیمم میگردند. لازم بذکر است کاهش نرخ تولید آنتروپی، منجر به افزایش هزینه کلی و برعکس خواهد شد. لکن ما مجبور به استفاده از روش بهینه سازی چند هدفه قدرتمند مانند الگوریتم ژنتیک برای مبدل حرارتی صفحه ای هستیم.

^۱ Bejan

^۲ Entropy Generation Minimization (EGM)

۳-۱ فرضیات مساله

در این مطالعه، برای محاسبه‌ی انتقال حرارت از روش e-NTU و برای محاسبه‌ی افت فشار از روش کالبرن استفاده خواهد شد. هر کدام از متغیرهای مستقل در محدوده و بازه‌ی مشخصی قابل تغییرند. حدود این بازه‌ها در جدولی در فصل‌های بعدی ارائه خواهد شد. مقادیر دبی و دمای سیال ورودی برای هر دو سیال سرد و گرم به عنوان داده‌ی ورودی محسوب میشود. فرضیات و مشخصات مساله اولین و مهمترین ملاحظه‌ایست که اساس طراحی و بهینه‌سازی را شکل می‌دهد. پارامترهای عملیاتی شامل نوع سیال، دماهای ورودی و فشارها، شدت‌های جریان جرمی، بارحرارتی، افت فشار مجاز، مواردی هستند که باید بهنگام طراحی در دسترس باشند. نرخ تولید آنتروپی و هزینه کل جز پارامترهای خروجی مساله هستند و در حین طراحی بهینه بدست خواهند آمد.

متغیرهای موثر در طراحی یک مبدل حرارتی صفحه‌ای شامل تعداد ردیف فین، تعداد فین در واحد طول، طول مبدل، طول فین، ضخامت و ارتفاع فین برای دو سمت سیال سرد و گرم و درصد جرمی نانو سیال می‌باشد. الگوریتم مینیمم سازی ژنتیک از نوع الگوریتم‌های هیستوریک با توجه به خاصیت هوش جمعی می‌باشد که راهکار مناسبی برای غلبه به چالش به دام افتادن در بهینه‌ی محلی ارائه میدهد این الگوریتم با ترکیب دو عامل تصادف و هوش جمعی به جستجوی بهینه‌ی مطلق می‌پردازد.

مبدل حرارتی

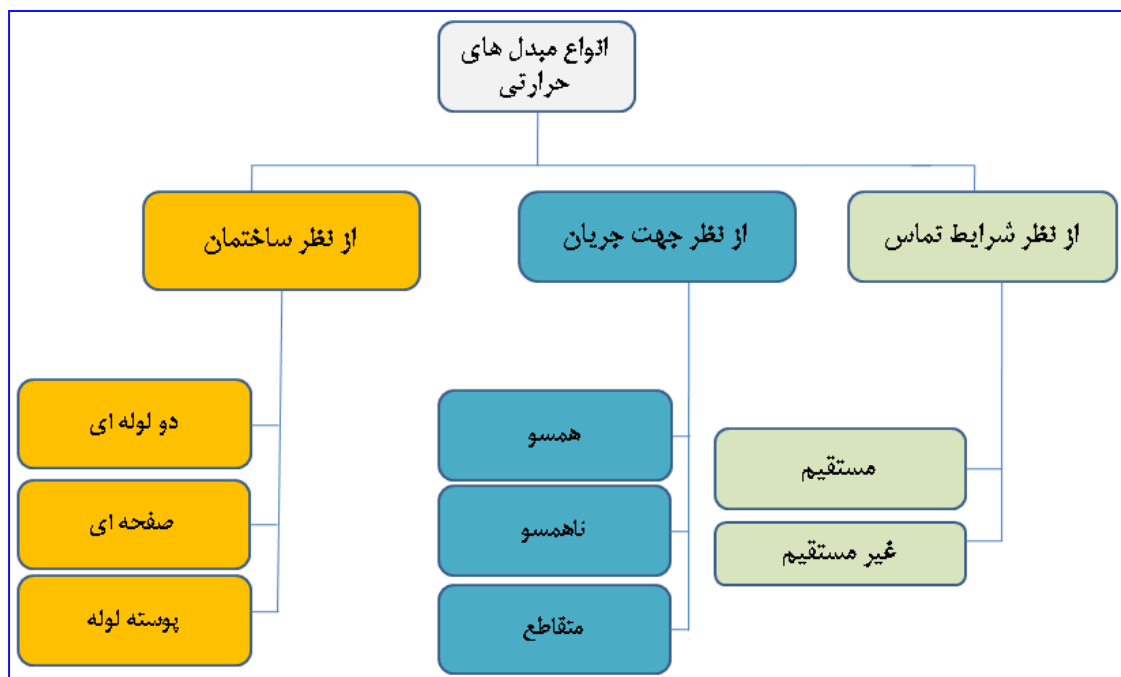
طی چند سال اخیر کاربردهای نانو ذرات بطور مجزا و مستقل از فناوری نانو تکنولوژی پیشرفت های قابل توجهی داشته و به عنوان یکی از ابعاد اصلی این فناوری به حساب می‌آید. یکی از زمینه‌هایی

که استفاده از نانو ذرات در آن گسترش چشم گیری یافته است بهبود انتقال حرارت سیالات مبدل های حرارتی می باشد.

مبدل های حرارتی^۱ وسایلی هستند که در صنعت برای انتقال حرارت بین دو سیال بکار می روند. در ابتدا سعی می شود تا آنجا که ممکن است برای گرم کردن و سرد کردن جریان ها از خود سیال های موجود در فرایند استفاده شود. بعد از حداکثر کردن میزان بازیافت حرارت در شبکه مبدل حرارتی بارهای گرمایشی و سرمایشی که از طریق بازیافت حرارت تأمین نشده اند باید توسط سرویس های جانبی^۲ تهیه شوند. مکانیزم انتقال حرارت به صورت جابجایی و هدایت می باشد. مبدل ها را می توان از جهات گوناگون تقسیم بندی کرد. تقسیم بندی بر اساس خصوصیات سیال هایی که در مبدل ها جریان دارد صورت می پذیرد این تقسیم بندی بر اساس سیال فرایندی مبدل شکل گرفته است. البته تفاوت بین ضرایب انتقال حرارت گازها و مایعات در تعیین شکل مبدل نقش موثری دارد. مبدل های حرارتی بر اساس شکل، کاربرد، محل نصب و بسیاری پارامترهای دیگر طراحی می شوند. در نتیجه می توان آن ها را بر اساس این ویژگی ها در دسته بندی های مختلف قرار داد [۶]. در شکل ۱-۱ تقسیم بندی کلی مبدل ها ارائه شده است.

^۱ Heat exchangers

^۲ Utility



شکل (۱-۱). تقسیم بندی مبدل های حرارتی

مبدل‌های حرارتی کمپاكت:

همانطور که قبلاً تعريف شد، مبدل‌های حرارتی کمپاكت با سطح بزرگ انتقال حرارت بر واحد حجم مبدل شناخته می‌شوند که منجر به کاهش در اشغال فضا، وزن، ساختار ساپورت‌ها، و جای‌پا، الزامات کاهش یافته انرژی و هزینه، طراحی بهتر فرایند و شمای کارخانه و شرایط فرایندی، و نیاز به انبار کردن مقدار کمی سیال، در مقایسه با طراحی‌های متداول مثل مبدل‌های پوسته و لوله می‌شود. ضرایب بسیار بالای انتقال حرارت h با مسیرهای جریان با قطر هیدرولیک کم با گازها، مایعات و جریان‌های دو فاز قابل حصول هستند. یک مبدل حرارتی ورق‌تیپیکال، ضریب انتقال حرارت (h)، یا ضریب کلی انتقال حرارتی (U) به میزان تقریباً دو برابر یک مبدل پوسته و لوله برای کاربردهای آب/آب را داراست. ساختارهای پایه‌ای مبدل‌های حرارتی گاز به گاز شامل ورق-پره، لوله-پره، و همه recuperatorهای سطحی (شامل مبدل‌های با فیلم پلیمری و جریان لامینار) و بازمولدهای کمپاكت است؛ آرایش‌های پایه‌ای دو سیال شامل جریان متقاطع تک‌گذر، ضدجریانی، و چندگذر متقاطع ضدجریانی می‌شوند. دو آرایش آخر جریانی می‌توانند به بهره‌وری بسیار بالای مبدل یا اختلاف بسیار کم دما بین جریان‌های سیال و افت فشار بسیار کوچک در مقایسه با مبدل‌های پوسته و لوله برسند. ساختمان‌های پایه‌ای برای مبدل‌های کمپاكت مایع به مایع و مایع به سیال تغییر فاز دهنده شامل: واشردار و قاب و ورق جوش‌شده، ورق‌های روی هم جوش‌شده (بدون قاب)، ورق‌های مارپیچ، مدار چاپی، و مبدل‌های ورق‌تیپ‌گود هستند.

مبدل‌های گاز به مایع: مشخصه منحصر به فرد مبدل‌های سطحی توسعه‌یافته (ورق-پره و لوله-پره)،

در مقایسه با مبدل‌های متداول پوسته و لوله به شرح زیرند: (۱) سطوح زیادی با درجات مختلف بزرگی از

چگالی سطحی در دسترسند؛ (۲) در توزیع مساحت روی سمت‌های داغ و سرد آنطور که ملاحظات طراحی

تضمین کرده اند، انعطاف پذیری وجود دارد؛ و (۳) معمولاً صرفه جویی در هزینه، وزن و حجم بسیار قابل توجه است.

ملاحظات مهم طراحی و بهره برداری برای مبدل‌های توسعه یافته از این قرارند: (۱) معمولاً حداقل یکی از سیالات گاز یا مایع بخصوصی است که h پایینی دارد؛ (۲) سیالات بخاطر قطر هیدرولیک کوچک (D_h) مسیرهای جریان و عدم وجود روشهای ساده برای تمیزکاری، باید خود تمیز بوده و به نسبت غیر خورنده باشند؛ (۳) قید طراحی بر روی توان پمپ کردن مایع (افت فشار) اغلب به اندازه نرخ انتقال حرارت مهم است؛ (۴) فشارها و دماهای عملیاتی در مقایسه با مبدل‌های پوسته و لوله محدودترند. این به خاطر چسبیدن پره ها به ورقها به دلیل جوش خوردن یا انبساط مکانیکی است؛ (۵) با استفاده از سطوح به شدت فشرده، شکل منتج از یک مبدل گاز به سیال آبی است که سطح جلویی بزرگ و طول جریان کوتاهی داشته باشد؛ به همین خاطر طراحی هیدر یک مبدل حرارتی کمپاکت برای توزیع جریان همسان در میان تعداد زیادی از مسیرهای جریانی انجام می شود؛ و (۶) پتانسیل بازار باید به اندازه ای بزرگ باشد که هزینه های تحقیقاتی و ابزارآلاتی برای توسعه شکل‌های جدید را توجیه کند.

برخی از مزایای مبدل‌های ورق-پره بر مبدل‌های پوسته و لوله به شرح زیرند: مبدل‌های حرارتی کمپاکت معمولاً از ورق‌های فلزی نازک ساخته می شوند، سطح انتقال حرارتی بزرگی بر واحد حجم (β) تامین می کنند که معمولاً تا ده برابر بزرگتر از $50-100 \text{ m}^2/\text{m}^3$ است که مبدل‌های پوسته و لوله برای کاربردهای عمومی تامین می کنند و از $1000-6000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ برای سطوح به شدت فشرده در سمت گاز نیز بزرگتر است. سطوح مایع فشرده یا سیال دوفازی نسبتی بین 400 تا $600 \text{ m}^2/\text{m}^3$ دارند. یک مبدل کمپاکت کنترل دمای بهتری دارد و بنابراین برای مواد حساس به حرارت بهتر است. این موضوع هم برای محصول بهتر

است (مثلا پالایش چربی از روغنهای خوراکی) و هم کیفیت را بالا می برد (مانند یک بستر کاتالیزور). همچنین یک مبدل کمپاكت گرمادهی یا سردسازی سریع جریان فرایندی را تامین می کند و با این کار کیفیت محصول را بهبود می بخشد. مبدلهای ورق-پره می توانند تا چندین جریان سیال (تا ۱۲ عدد یا بیشتر) را با استفاده از مانیفولدهای مناسب در یک واحد مبدل جا بدهند و به این ترتیب به یکپارچگی فرایندی و راه حل های کمپاكت کم هزینه دست یابند.

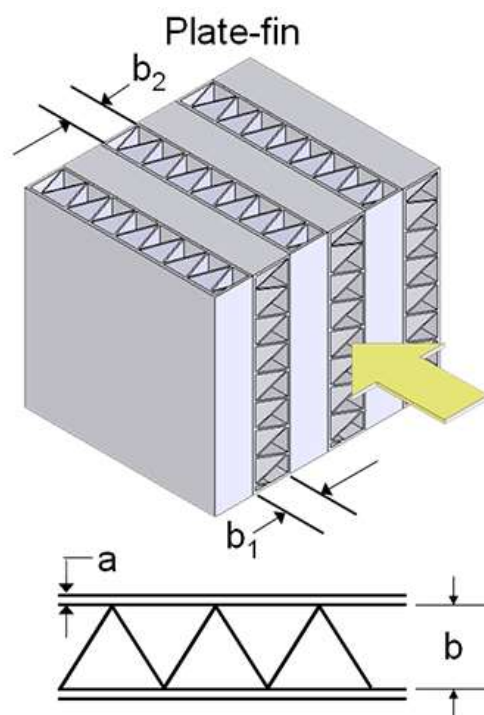
محدودیتهای اصلی ورق-پره و سایر مبدلهای حرارتی کمپاكت به شرح زیرند: مبدلهای ورق-پره و سایر مبدلهای حرارتی کمپاكت می توانند برای کاربردهای دمای بالا (تا 850°C یا 1550°F), کاربردهای فشار بالا (بالتر از 20 MPa یا 3000 psig), و کاربردهای با رسوب معتدل طراحی شوند و تا به حال هم همینطور بوده. علیرغم این موضوع، کاربردها معمولاً همزمان با دما و فشار بالا سر و کار ندارند. مایعات به شدت خورنده را می توان در مبدلهای ورق-پره با ارتفاع پره مناسب جا داد؛ سیالات فیبری یا سیالات بسیار رسوبی در مبدلهای ورق-پره استفاده نمی شوند چون تمیزکاری مکانیکی بطور کلی ممکن نیست. با این حال، این مایعات را می توان در مبدلهای حرارتی ورقی به کار برد. بیشتر مبدلهای حرارتی ورق-پره لحیم کاری شده اند. با دانش امروزی، بزرگترین سایز مبدلی که قابلیت جوش را داراست در حدود $1.2 \times 1.2 \times 6 \text{ m}$ ($4 \times 4 \times 20 \text{ ft}$) می باشد. در حالی که مبدلهای ورق-پره از فلزات مختلفی مثل آلومینیوم، مس، فولاد ضد زنگ، نیکل، و فوق آلیاژهای بر اساس کوبالت ساخته می شوند، فرایند لحیم کاری معمولاً اختصاصی بوده و ایجاد و توسعه اش بسیار گران تمام می شود. اگر در مبدل ورق-پره نشتی ها در درزهای خروجی ایجاد شوند، تعمیر امکان پذیر است.

رسوب یکی از مشکلات اصلی در مبدلهای حرارتی کمپاكت است (بجز برای مبدلهای حرارتی ورق و قاب). چون پره ها در این مبدلها شکلهای هندسی خاصی دارند و مسیرهای جریان نیز دایره ای یا

شبه دایره ای هستند و به راحتی نمی توان تمیزشان کرد. تمیزکاری شیمیایی ممکن است امکان پذیر باشد؛ پخت گرمایی و در پی آن آب کشیدن نیز برای واحدهای کوچک ممکن است. بنابراین، مبدل‌های حرارتی با سطح توسعه یافته را نمی توان در کاربردهای با رسوب بالا استفاده کرد. سیالاتی که رسوب نمی دهند در جاهایی که اجازه داده شده، استفاده می شوند. مثلاً به عنوان هوای پاک برای گازها، هیدروکربنهای سبک، و سردسازها.

محدودیت مهم دیگر مبدل‌های حرارتی کمپاکت به شرح زیر است: با بهره وری بالایی که مبدل حرارتی داراست و/یا سطح جلویی بزرگش، مشکل توزیع نامناسب جریان می تواند به مشکل جدی دیگری تبدیل شود. طراحی گرمایی دقیقتری مورد نیاز است، و یک مبدل حرارتی را باید بخشی از یک سیستم در نظر گرفت. بخاطر زمانهای گذرای کوتاه، یک طراحی دقیق از کنترلها برای راه اندازی برخی مبدل‌های حرارتی کمپاکت در مقایسه با مبدل‌های پوسته و لوله مورد نیاز است. هیچ استاندارد در صنعت یا روش کاری شناخته شده ای وجود ندارد (توجه کنید که این موضوع برای صنایع هواپیمایی، خودرو، و حمل و نقل دریایی مشکل به حساب نمی آید). یکپارچگی ساختاری باید مورد به مورد با استفاده از مجموعه قوانین ظروف فشار دار، بررسی شود.

مبدل‌های مایع به مایع: مبدل‌های مایع به مایع و تغییر فازدهنده شامل ورق و قاب و PHE جوشکاری شده، ورق مارپیچی، و مبدل‌های مدار چایی هستند. برخی از اینها با جزییات در این قسمت شرح داده شده اند. برخی مبدل‌های حرارتی کمپاکت و کاربردهایشان در اینجا به طور خلاصه بیان می شوند.



شکل (۲-۱) هندسه یک مبدل حرارتی پلیت فین با جریان متقاطع

استفاده از سطوح گسترش یافته صفحه و فین مقاومت حرارتی سمت گاز را کاهش می دهد. گرچه ممکن است مقاومت سمت گاز همچنان از سمت مایع بیشتر باشد. در این مورد استفاده از سطوح گسترش یافته با شکل خاص که ضرائب انتقال حرارت بیشتری را فراهم می کنند مفیدتر خواهد بود. این سطوح هندسی خاص ممکن است ضرائب انتقال حرارتی معادل ۵۰ - ۱۵۰٪ بیش از سطوح گسترش یافته معمولی فراهم کنند. در مورد انتقال حرارت بین گازها چنین سطوح تقویت شده ای کاهش اساسی در اندازه مبدل حرارتی ایجاد می کنند. اطلاعات بدست آمده برای گازها، اگر وابستگی به عدد پرانتل مشخص باشد برای مایعات هم قابل کاربرد است.

شکل زیر شش نوع سطح هندسی گسترش داده شده را نشان می دهد. چگالی فین حدود ۳۰۰ الی ۸۰۰ فین در هر متر است. به خاطر قطر هیدرولیکی کم و دانسیته پایین گازها این سطوح معمولاً در ۱۵۰۰

$Re_{Dh} < 500$ کار می کنند. (Re_{Dh} عدد رینولدز براساس قطر هیدرولیکی است.) تکنیک های گسترش

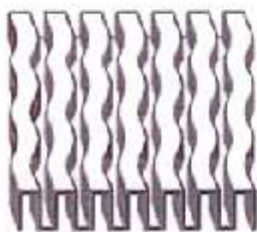
سطح برای اینکه مؤثرتر باشند برای جریانهایی با عدد رینولدز پایین باید به کار برده شوند.



Plain Triangular



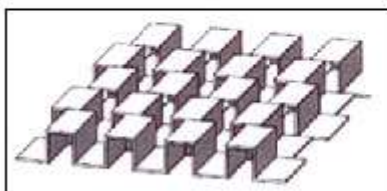
Plain Rectangular



Wavy rectangular



Wavy triangular



Offset Strip



Multi Louvered used in the Microchannel

شکل (۳-۱) شش نوع سطح هندسی گسترش داده شده برای مبدل پلیت فین

دو مفهوم اساسی جهت ارائه تکنیک افزایش به کاربرده شده اند. مراجع و خلاصه اطلاعات در مورد

هندسه سطوح پلیت- فین در توسط لاندن وکیز در آمده است

- شکل‌های خاص کانال مثل کانال موجی^۱ که اختلاط را در جریانهای ثانویه و یا لایه مرزی جدایش در کانال ایجاد می‌کند.
- رشد مکرر و خرابی دنباله لایه مرزی. این مفهوم در فین‌های Louvered و Offset strip به کار گرفته شده است.

^۱ Wavy

فصل ۲:

مروری بر مقالات

۲-۱ تاریخچه کار

مبدل حرارتی صفحه - پره‌ای (ریکوپراتور) نوعی مبدل حرارتی فشرده است که از صفحات و فینها برای انتقال حرارت میان سیال گرم و سرد استفاده میکند. ریکوپراتورها به طور پیوسته عمل انتقال حرارت را از گازهای داغ خروجی توربین به هوای سرد و متراکم ورودی به محفظه احتراق انجام میدهند. در طراحی مبدل حرارتی مسأله به حداکثر رساندن راندمان از اهمیت بالایی برخوردار میباشد. بهینه سازی مبدلهای حرارتی به روشهای کلاسیک و غیرکلاسیک بسیاری میتواند دستیابی به این هدف را امکانپذیر سازد.

۲-۲ مروری بر کار گذشتگان

افزایش سطح انتقال حرارت در بسیاری از کاربردهای مهندسی مانند مبدلهای گرمایی، تهویه هوا، راکتورهای شیمیایی و سیستمهای خنک سازی استفاده شده است؛ بنابراین، بسیاری از تکنولوژی‌ها برای افزایش سرعت انتقال حرارت و کاهش اندازه و کاهش هزینه تجهیزات مورد نیاز مخصوصاً مبدلهای حرارتی، بررسی شده است. یکی از مهم‌ترین تکنولوژی‌های استفاده شده، تکنولوژی انتقال حرارت غیرفعال می‌باشد. انتخاب این تکنیک‌ها در مبدل گرمایی نشان می‌دهد که عملکرد گرمایی کل سیستم، بهبود می‌یابد. این مقاله کارهای عددی و آزمایشگاهی را روی این تکنولوژی بررسی می‌کند که توسط محققان از سال ۲۰۰۴ روی تکنولوژی‌هایی مانند نوار پیچ خورده، سیم پیچ، ژنراتور جریان چرخشی و ... مورد مطالعه قرار گرفته است تا بازده گرمایی مبدلهای حرارتی افزایش یابد و این برای طراحی‌کننده ابزارهای مربوط به تکنولوژی انتقال حرارت غیرفعال مفید است. نویسندگان به این نتیجه رسیده‌اند که افزودن نوار پیچ

خورده گسترده به طور عمومی مورد تحقیق قرار گرفته است و برای افزایش بازده انتقال حرارت در مبدل‌های حرارتی مورد استفاده قرار گرفته است. تکنولوژی‌های دیگری برای محیط‌های کاری ویژه در این مقاله استفاده شده است. افزودن نوار پیچ خورده در جریان‌های آرام نسبت به جریان آشفته، عملکرد بهتری دارند. بنابراین، برخی از تکنولوژی‌های غیر فعال دیگر مانند دنده‌ها (تیغه‌ها)، نازل مخروطی و حلقه و گود مخروطی و ... معمولاً در جریان‌های آشفته نسبت به جریان آرام موثرتر است.

برای بهینه سازی مسایل چند متغیره^۱ از نوع گسسته – پیوسته، الگوریتم‌های جستجوی مختلفی به عنوان گزینه‌های مناسب مطرح می‌شود. حل مسایل بهینه سازی چند متغیره با قیود پیچیده، به کمک روش‌های قطعی^۲ و سنتی کاری پیچیده و طاقت فرسا است و تنها تعداد معدودی از روشهای قطعی قابلیت حل این گونه مسایل را دارند که متأسفانه در اغلب موارد منجر به یافتن بهینه‌ی مطلق نشده و در یک بهینه‌ی محلی گیر می‌افتد. [۱ و ۲]

^۱ Multivariable optimization problem

^۲ Deterministic method

برای مسایل با تابع هدف پیچیده با چندین اکسترمم و قیود زیاد روشهای تصادفی^۱ (الله بختگی) جایگزین بسیار بهتری نسبت به روشهای قطعی هستند. اولین بار تایال و همکارانش با استفاده از الگوریتم ژنتیک^۲ (الگوریتمی از نوع روشهای تصادفی) و مدل جعبه سیاه اقدام به بهینه سازی مبدل پوسته لوله کردند. بابو و همکارانش [۳] با انتخاب تابع هدف سطح انتقال حرارت، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم تکاملی را از نظر زمانی مقایسه کردند. سلباس و همکارانش [۴] نیز علاوه بر تابع هدف سطح انتقال حرارت از یک تابع هدف بر اساس هزینه جاری استفاده نمودند

ورگاس و همکارانش [۵] از طریق بهینه سازی کلی کارآیی^۳ (بازده حرارتی)، روشی برای مشخص کردن پیکربندی هندسی داخلی دسته تیوب های مبدلهای پوسته لوله ارائه کردند. در تحقیقی دیگر آگولاتو و همکارانش [۶] بر مبنای اصل مینیم سازی آنتروپی، یک بهینه سازی به روش تحلیلی برای مبدلهای حرارتی جریان منقطع صفحه ای ارائه کردند و سپس نتایج خود را با نتایج آزمایشگاهی مقایسه نمودند که از تطابق مناسبی برخوردار بود.

^۱ Stochastic method

^۲ Genetic Algorithm

^۳ Effectiveness

ژگج و پولی [۷] با ارائه معادلات ساده‌ای برای افت فشار، مساحت سطح و ضریب انتقال حرارت سمت پوسته و لوله، روشی ساده برای طراحی مبدلها ارائه کردند. آنها این مدل را بر اساس کرولیشن Dittus-Boelter برای جریان عبوری از داخل تیوب و کرولیشن kern برای جریان داخل پوسته ارائه کردند [۸]

پولی و همکارانش [۹] الگوریتمی با به کارگیری روش Bell-Delaware [۱۰] بمنظور توصیف الگوی جریان سمت پوسته ارائه کردند. این مدل برای جریانهای نشتی^۱ و فرعی^۲ از مدل پیشنهادی تینکر استفاده می‌کند.

لاندون [۱۱] در تحقیق خود بطور مفصل در مورد تولید آنتروپی و ارزیابی بازگشت ناپذیری ها و همچنین ارتباط بین بازگشت ناپذیری و مسایل اقتصادی با ارائه‌ی یک مثال از یک کندانسور پرداخته است. همچنین در گذارش دیگری لاندون و شاه [۱۲] یک روش کاربردی و ساده به منظور ارتباط بین میزان بازگشت ناپذیری و هزینه‌ها ارائه کرده اند این روشها به طراح فرصت مقایسه و تحلیل میزان تاثیر هر یک از بازگشت ناپذیری ها (اصطکاک در جریان، انتقال حرارت بدلیل اختلاف دما، نشتی حرارت به بیرون و اختلاط) را می‌دهد.

جدیدا سرنا و جیمنز [۱۳] الگوریتمی برای یک طراحی دقیق مبدلهای پوسته و لوله با بافلهای مجزا ارائه دادند. این الگوریتم ماکزیمم افت فشار مجاز برای جریان در هر دو سمت پوسته و لوله را بدون در

^۱ Leakage

^۲ Bypass

نظر گرفتن محدودیتهای هندسی در نظر میگیرد. روش آنها بطور خاص با بکارگیری دو فرمول بسته برای تخمین افت فشار در دو سمت باعث سادگی و همچنین همگرایی مطلوب جواب بهنگام پیاده سازی شده است.

الگوریتم ژنتیک در گروه روش های تصادفی بهینه سازی قرار می گیرد. از دیگر روش های بهینه سازی تصادفی مورد استفاده در بهینه سازی مبدل ها، می توان الگوریتم جستجوی هارمونی^۱ [۱۴]، الگوریتم دسته ذرات^۲ [۱۵]، الگوریتم کلونی زنبورهای مصنوعی^۳ [۱۶] و الگوریتم ژنتیک را نام برد که همگی بمنظور بهینه سازی مبدل ها به طور موفقیت آمیز در گذشته بکار گرفته شده اند.

روشهای تصادفی علی الخصوص الگوریتم ژنتیک بطور موثری در بهینه سازی طراحی سیستم های گرمایی از جمله سیستم خنک کاری ادوات الکترونیکی [۱۷]، کانالهای خنک کاری [۱۸]، پروفیل فین ها [۱۹]، مجراهای حلقوی فیندار و سطوح فیندار [۲۰]، خنک کننده های فشرده ی راندمان بالا [۲۱]، مبدلهای حرارتی پوسته لوله، مبدلهای صفحه ای فین دار فشرده [۲۲] مورد استفاده واقع شده است. همچنین از این الگوریتم در بهینه سازی مقطع جریان مبدل های صفحه ای با مینیم سازی هزینه ی سالیانه [۲۳] و افزایش راندمان ترمودینامیکی [۲۴] نیز استفاده شده است.

^۱ Harmony search algorithm

^۲ Particle swarm optimization

^۳ Artificial bee colony

چاودوری و همکارانش [۲۵] الگوریتم ژنتیک را برای دستیابی به کمینه تولید آنتروپی و هزینه سالیانه کلی به عنوان دو تابع هدف در یک مبدل صفحه‌های پره دار با پره های دندان‌ای به کار بردند. اوزلیک و همکارانش [۲۶] از الگوریتم GA برای دستیابی به بیشینه کارایی و کمینه هزینه سالیانه کلی به عنوان دو تابع هدف در یک مبدل پوسته و لوله استفاده کردند. کاپاتو و همکاران [۲۷] نیز بهینه سازی چند هدفه را با کاربرد الگوریتم ژنتیک در دستیابی به پارامترهای طراحی بهینه برای مبدل‌های حرارتی به کار بردند. نرخ انتقال حرارت کلی و هزینه سالیانه کلی سیستم مبدل حرارتی به عنوان دو تابع هدف مخالف در نظر گرفته شدند. اوزکول و همکاران [۲۸] از الگوریتم GA برای طراحی بهینه مبدل‌های حرارتی فشرده استفاده کردند. محققان کمینه سازی هزینه کلی سالیانه و همچنین حجم کلی را به عنوان تابع هدف وافت فشار را به عنوان یک قید مطرح کردند. هایبرت و همکاران [۲۹] از الگوریتم GA برای بهینه کردن مبدل حرارتی جریان متقاطع بر اساس قانون دوم ترمودینامک، جهت کمینه کردن تعداد واحدهای تولید آنتروپی برای یک وظیفه حرارتی معین و تحت محدودیت های مکانی مشخص، استفاده کردند. در مطالعه ای دیگر پونس و همکاران [۳۰] الگوریتم ژنتیک را برای طراحی بهینه مبدل‌های حرارتی پوسته و لوله به کار بردند. محققان کمینه کردن هزینه کلی سالیانه و هزینه کلی اقتصادی گرما را به عنوان تابع هدف مطرح نمودند. اخیراً تعدادی از محققان کاربرد الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات را برای بهینه کردن مبدل های حرارتی مطرح نموده‌اند. رائو و همکاران [۳۱] الگوریتم بهینه سازی اجتماع ذرات را برای بهینه کردن یک مبدل حرارتی جریان متقاطع با هدف کمینه کردن تعداد واحدهای تولید آنتروپی، حجم کلی و هزینه سالیانه کلی به ترتیب به کار بردند.

برای بهینه سازی مسایل چند متغیره^۱ از نوع گسسته - پیوسته، الگوریتم های جستجوی مختلفی به عنوان گزینه های مناسب مطرح می شود. حل مسایل بهینه سازی چند متغیره با قیود پیچیده، به کمک روش های قطعی^۲ و سنتی کاری پیچیده و طاقت فرسا است و تنها تعداد معدودی از روش های قطعی قابلیت حل این گونه مسایل را دارند که متأسفانه در اغلب موارد منجر به یافتن بهینه ی مطلق نشده و در یک بهینه ی محلی گیر می افتد. [۳۲ و ۳۳]

برای مسایل با تابع هدف پیچیده با چندین اکسترمم و قیود زیاد روش های تصادفی^۳ (الله بختگی) جایگزین بسیار بهتری نسبت به روش های قطعی هستند. اولین بار تایال و همکارانش با استفاده از الگوریتم ژنتیک^۴ (الگوریتمی از نوع روش های تصادفی) و مدل جعبه سیاه اقدام به بهینه سازی مبدل پوسته لوله کردند. بابو و همکارانش [۳۴] با انتخاب تابع هدف سطح انتقال حرارت، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم تکاملی را از نظر زمانی مقایسه کردند. سلباس و همکارانش [۳۵] نیز علاوه بر تابع هدف سطح انتقال حرارت از یک تابع هدف بر اساس هزینه جاری استفاده نمودند

^۱ Multivariable optimization problem

^۲ Deterministic method

^۳ Stochastic method

^۴ Genetic Algorithm

ورگاس و همکارانش [۳۶] از طریق بهینه‌سازی کلی کارآیی^۱ (بازده حرارتی)، روشی برای مشخص کردن پیکربندی هندسی داخلی دسته تیوب‌های مبدل‌های پوسته لوله ارائه کردند. ژگج و پولی [۳۷] با ارائه معادلات ساده‌ای برای افت فشار، مساحت سطح و ضریب انتقال حرارت سمت پوسته و لوله، روشی ساده برای طراحی مبدل‌ها ارائه کردند. آنها این مدل را بر اساس کرولیشن دیتوس-بولتر^۲ برای جریان عبوری از داخل تیوب و کرولیشن کرن^۳ برای جریان داخل پوسته ارائه کردند [۳۸].

پولی و همکارانش [۳۹] الگوریتمی با به کارگیری روش بلدلاور [۴۰] بمنظور توصیف الگوی جریان سمت پوسته ارائه کردند. این مدل برای جریانهای نشتی^۴ و فرعی^۵ از مدل پیشنهادی تینکر استفاده می‌کند.

جدیدا سرنا و جیمز [۴۱] الگوریتمی برای یک طراحی دقیق مبدل‌های پوسته و لوله با بافل‌های مجزا ارائه دادند. این الگوریتم ماکزیمم افت فشار مجاز برای جریان در هر دو سمت پوسته و لوله را بدون در

^۱ Effectiveness

^۲ Dittus-Boelter

^۳ kern

^۴ Leakage

^۵ Bypass

نظر گرفتن محدودیتهای هندسی در نظر میگیرد. روش آنها بطور خاص با بکارگیری دو فرمول بسته برای تخمین افت فشار در دو سمت باعث سادگی و همچنین همگرایی مطلوب جواب بهنگام پیاده سازی شده است.

بجز الگوریتم ژنتیک از دیگر روش های های بهینه سازی تصادفی مورد استفاده در بهینه سازی مبدل ها، می توان الگوریتم جستجوی هارمونی^۱ [۴۲]، الگوریتم دسته ذرات^۲ [۴۳]، الگوریتم کلونی زنبورهای مصنوعی^۳ [۴۴] را نام برد که همگی بمنظور بهینه سازی مبدل ها به طور موفقیت آمیز در گذشته بکار گرفته شده اند.

روشهای تصادفی علی الخصوص الگوریتم ژنتیک بطور موثری در بهینه سازی طراحی سیستم های گرمایی از جمله سیستم خنک کاری ادوات الکترونیکی [۴۵]، کانالهای خنک کاری [۴۶]، پروفیل فین ها [۴۷]، مجراهای حلقوی فین دار و سطوح فین دار [۴۸]، خنک کننده های فشرده ی راندمان بالا [۴۹]، مبدل های حرارتی پوسته لوله، مبدل های صفحه ای فین دار فشرده [۵۰] مورد استفاده واقع شده است. همچنین از این الگوریتم در بهینه سازی مقطع جریان مبدل های صفحه ای با مینیم سازی هزینه ی سالیانه [۵۱] و افزایش راندمان ترمودینامیکی [۵۲] نیز استفاده شده است.

^۱ Harmony search algorithm

^۲ Particle swarm optimization

^۳ Artificial bee colony

فصل ۳:

الگوریتم ژنتیک

توسعه روش‌های جستجو بر مبنای اصول تکامل طبیعی داروین یکی از مهمترین زمینه‌های تحقیق و پژوهش در بهینه‌سازیهای مهندسی بوده است. در علوم کامپیوتر، محاسبات تکاملی^۱ زیرمجموعه‌های از هوش مصنوعی بوده و ترکیبی از مفاهیم مختلف بهینه‌سازی است. در واقع محاسبات تکاملی به صورت انتزاعی از مفاهیم اساسی تکامل طبیعی در راستای جستجو برای یافتن راه‌حل بهینه برای مسائل مختلف الهام گرفته شده است. در الگوریتم‌های جستجو راه‌حل‌هایی برای مسئله وجود دارند و هدف یافتن بهترین راه‌حل در زمان معین می‌باشد. در فضاهاى جستجوی کوچک می‌توان هر یک از راه‌حل‌ها را در زمان معقول بررسی کرده و راه‌حل بهینه را انتخاب کرد. این جستجو که در اصطلاح جستجوی کامل نامیده می‌شود با گسترش فضای جستجو به سمت غیر عملی شدن پیش می‌رود.

الگوریتم‌های متداول جستجو از جمله الگوریتم‌های تصادفی و اکتشافی در هر گام زمانی فضای جستجو را به امید یافتن راه‌حل بهینه جستجو می‌کنند. کلیدی‌ترین جنبه‌ای که الگوریتم‌های تکاملی جستجو را از الگوریتم‌های معمول متمایز می‌سازد این است که الگوریتم‌های تکاملی جمعیت مبنای^۲ می‌باشند.

^۱ Evolutionary Computing

^۲ population based

الگوریتم‌های تکاملی از طریق انطباق پی در پی نسل‌ها بر شرایط خاص یک جستجوی مستقیم کارآمد را انجام می‌دهند. به همین واسطه این روش‌ها بهتر از روش‌های تصادفی و اکتشافی می‌باشند. برنامه‌نویسی تکاملی، استراتژی تکاملی، الگوریتم ژنتیک و برنامه‌نویسی ژنتیک را میتوان زیرمجموعه‌ای از محاسبات تکاملی دانست

الگوریتم ژنتیک^۱ سرآمد روش‌های تکاملی است و الگوریتم‌های جستجو الهام گرفته از تکامل بیولوژیکی میباشد [۵۳و۵۴] در واقع هر برنامه‌ای که بر مبنای نظریه داروین باشد را می‌توان بر مبنای الگوریتم ژنتیک بنا نمود. الگوریتم ژنتیک در مسایلی که ما با فضای بزرگی برای یافتن بهترین جواب رو به رو هستیم بهترین کارایی را دارند. البته این نکته قابل ذکر است که الگوریتم ژنتیک برای هر مسئله قابل پیاده سازی است..

۳-۱-۱ پیدایش الگوریتم ژنتیک

در پنجاه سال اخیر به طور گسترده از کامپیوتر در علوم مختلف استفاده می‌شود. در اواسط قرن بیستم برخی از دانشمندان علوم کامپیوتر کار بر روی سیستم‌های تکاملی را به امید آنکه بتوان از آن به عنوان مکانیسمی برای حل مسائل بهینه‌سازی استفاده نمود، آغاز نمودند. در دهه هفتاد میلادی (۱۹۶۰) دانشمندی از دانشگاه میشیگان به نام جان هالند ایده استفاده از الگوریتم ژنتیک را در بهینه‌سازی‌های مهندسی مطرح

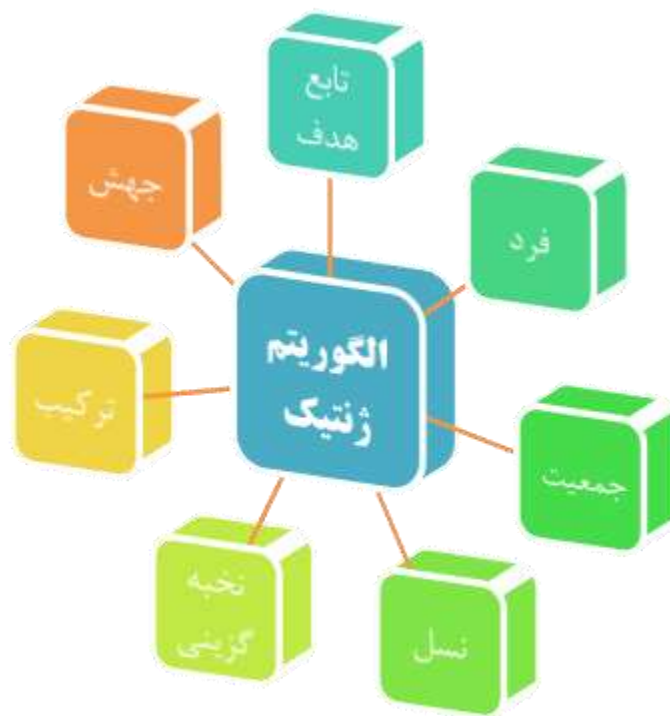
^۱ GA

کرد، به علاوه دانشجویان و همکارانش با همکاری هم در سال‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ آن را توسعه دادند. هدف اصلی این تیم خلق یک الگوریتم جدید نبود بلکه آنها به دنبال تشخیص دقیق نحوه وقوع تطابق در طبیعت و توسعه راهی برای استفاده از روند تطابق طبیعی در سیستم‌های کامپیوتری بودند. فعالیت‌های هالند در این زمینه یک چارچوب کلی برای الگوریتم‌های ژنتیک در جهت پیشرفت‌های آتی فراهم آورد. در سال ۱۹۷۰ از الگوریتم ژنتیک به واسطه قدرت و کفایت و سادگی آن، در رشته‌های مختلف علمی، نتایج خوبی حاصل شد. برای مثال از آن برای حل مسائل ترکیبی پیچیده، مطالعه واکنش بین تکامل و یادگیری و نیز در تکامل هوش مصنوعی استفاده شده است. به طور کلی، در بیست سال اخیر الگوریتم ژنتیک به عنوان یک تکنیک بهینه برای توابع پیچیده مورد توجه قرار گرفته است و کاربردهای آن در زمینه‌های مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد. [۵۵]

۳-۱-۲ اصطلاحات کاربردی در الگوریتم ژنتیک

در شکل (۳-۱) اصطلاحات کاربردی الگوریتم ژنتیک به اختصار آمده است. که در بخشهای بعدی

به تفسیر هر کدام از آنها توضیح داده می‌شود



شکل (۳-۱) اصطلاحات کاربردی الگوریتم ژنتیک

۳-۱-۲-۲ تابع شایستگی / ارزیابی

تابع شایستگی (تابع هدف)^۱ در الگوریتم‌های تکاملی کیفیت بهینه‌سازی را برای یک راه‌حل اندازه‌گیری می‌کند. یک راه‌حل در قالب یک کروموزوم بیان می‌شود. به کمک تابع شایستگی یک کروموزوم با بقیه کروموزوم‌ها مقایسه می‌گردد. کروموزوم‌های بهینه یا حداقل کروموزوم‌هایی که بهینگی بیشتری دارند، فرصت می‌یابند تا از طریق تکنیک‌های مختلف با هم ترکیب شده و نسل جدید و بهتری ایجاد نمایند. تابع

^۱ Objective Function

شایستگی کروموزم‌ها را در قالب ساختار فیزیکی تفسیر نموده و میزان شایستگی را اندازه‌گیری می‌کند. در واقع تابع شایستگی یک معیار مناسب برای انتخاب کروموزم‌های برتر ایجاد می‌کند.

۳-۱-۲-۳ افراد در الگوریتم ژنتیک و میزان شایستگی آنها

یک فرد عبارت است از هر نقطه‌ای که شما می‌توانید به تابع شایستگی اعمال کنید. مقدار شایستگی به ازای هر فرد، امتیاز آن فرد تلقی می‌شود. به عنوان مثال اگر تابع شایستگی به صورت زیر باشد:

$$F(x_1, x_2, x_3) = (2x_1 + 1)^2 + (3x_2 + 4)^2 + (x_3 - 2)^2 \quad (1-1)$$

بردار $(1, 3, 2)$ یک فرد تلقی می‌شود. گاهی اوقات از افراد تحت عنوان ژنوم^۱ و از بردار کلیه افراد تحت عنوان ژن^۲ یاد می‌شود.

مقدار شایستگی یک فرد نیز مقدار تابع شایستگی به ازای آن فرد می‌باشد، که برای فرد $(1, 3, 2)$ برابر است با $F(1, 3, 2) = 51$. از آنجاکه جعبه ابزار الگوریتم ژنتیک مینیمم تابع شایستگی را تعیین می‌کند، بهترین مقدار شایستگی برای کوچکترین مقدار شایستگی به ازای کلیه افراد جمعیت می‌باشد.

^۱ Genome

^۲ Gen

۳-۱-۲ جمعیت و نسل‌ها

جمعیت یک آرایه از افراد است. یک فرد ممکن است چندین بار در یک جمعیت تکرار شود. در هر تکرار، الگوریتم ژنتیک یک سری محاسبات روی جمعیت حاضر انجام داده و جمعیت جدید را تولید می‌کند. این جمعیت جدید تحت عنوان یک نسل جدید شناخته می‌شود.

۳-۱-۲ والدین و فرزندان

برای تولید نسل بعدی، الگوریتم ژنتیک تعداد خاصی از افراد جمعیت حاضر را که از آنها تحت عنوان والدین یاد می‌شود، انتخاب می‌کند. والدین برای تولید افراد نسل بعدی که از آن تحت عنوان فرزندان یاد می‌شود، استفاده می‌گردند. الگوریتم ژنتیک تمایل به انتخاب افرادی تحت عنوان والدین دارد که مقدار شایستگی بهتری (بر مبنای تابع هدف) نسبت به سایرین داشته باشند. از این میان نیز، تعداد افراد با بهترین مقدار شایستگی در جمعیت حاضر، که بدون تغییر به نسل بعد منتقل می‌شوند فرزندان نخبه نامیده می‌شوند.

۳-۱-۳ عملکرد الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک دارای روند تکراری بوده که جستجو را با جمعیتی از راه‌حل‌های اولیه تصادفی آغاز می‌کند. اگر معیارهای نهایی ارضا نشود، عملگرهای ژنتیک در تولید نسل بعدی به کار گرفته می‌شوند تا

جمعیت به روز شود. این الگوریتم از سه عملگر انتخاب^۱، تلفیق^۲ و جهش^۳ برای تولید افراد نسل بعدی استفاده می نماید. با عملگر انتخاب، بر اساس الگوریتم چرخ گردان احتمال حضور هر عضو به نسبت مقدار شایستگی آن به وی اختصاص داده می شود. برای تضمین اینکه همواره بهترین اعضا در نسل بعدی حضور خواهند داشت معمولاً ۲ تا ۵ درصد جمعیت که دارای بهترین مقادیر شایستگی هستند با عنوان فرزندان نخبه، بدون تغییر به نسل بعد منتقل می شوند. عملیات تلفیق الگوریتم را قادر می سازد تا بهترین ژن ها را از افراد مختلف استخراج کرده و آنها را در قالب فرزندان ممتازتر دوباره ترکیب کنند. عملیات جهش منجر به افزایش گوناگونی در جمعیت می شود. گوناگونی سبب می گردد الگوریتم ناحیه ی بزرگتری را مورد جستجو قرار دهد و در نتیجه کارایی الگوریتم افزایش یابد. بدون جهش الگوریتم تنها قادر به تولید فرزندانانی است که ژن های آنها زیر مجموعه ای از ژن های جمعیت آغازین هستند. این وابستگی بالا به جمعیت آغازین باعث کاهش کارایی الگوریتم در بهینه سازی خواهد شد. انجام عمل جهش همچنین، مانع از همگرا شدن الگوریتم و ورود آن به نواحی مینیمم محلی مسئله می شود.

به طور خلاصه، الگوریتم ژنتیک فضای حل را با تکرار سه گام ساده جستجو می کند، که طرح کلی آن به این صورت است:

الگوریتم با تولید یک جمعیت آغازین تصادفی کار خود را آغاز می کند.

^۱ Selection

^۲ Crossover

^۳ Mutation

سپس در ادامه یک ترتیب از جمعیت جدید را ایجاد می‌نماید (نسل‌ها). در هر گام الگوریتم با بکارگیری سه روش از افراد موجود در نسل حاضر برای تولید افراد نسل بعدی استفاده می‌نماید برای تولید نسل جدید الگوریتم ژنتیک مراحل زیر را انجام می‌دهد:

به هر عضو از جمعیت حاضر یک امتیاز اختصاص می‌دهد این کار با محاسبه‌ی مقدار شایستگی هر یک از افراد حاضر در جمعیت انجام می‌شود.

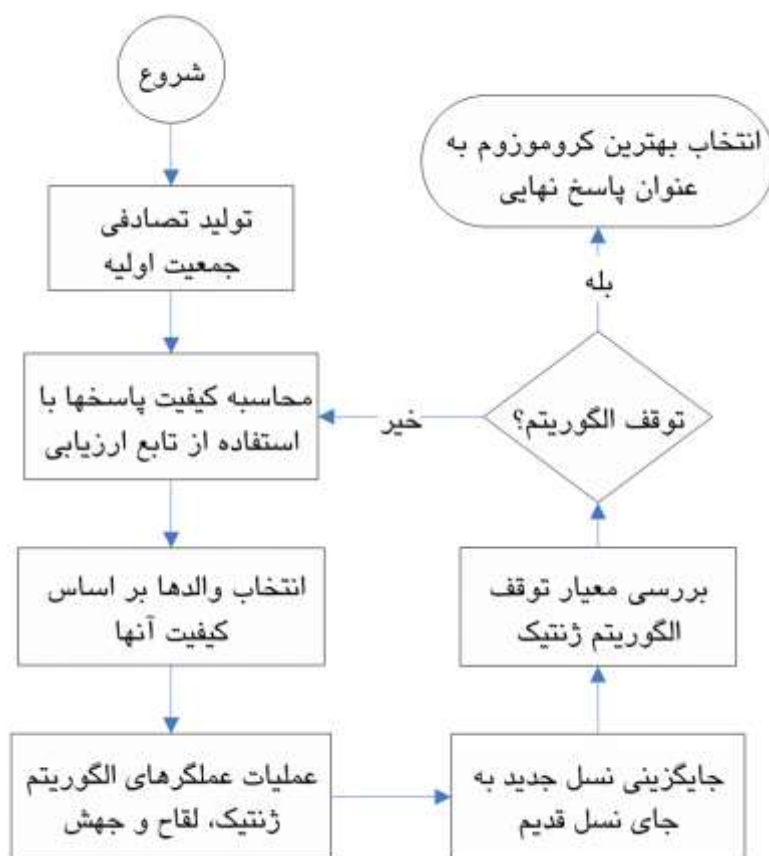
امتیازهای شایستگی به دست آمده به کمک مقیاس‌بندی به محدوده‌ی قابل استفاده‌تری از مقادیر تبدیل می‌شوند.

والدین بر اساس میزان شایستگی‌های اختصاص یافته به افراد انتخاب می‌شوند. در واقع از افراد شایسته‌تر به عنوان والدین استفاده می‌شود.

فرزندان به کمک والدین تولید می‌گردند. فرزندان با ایجاد تغییر تصادفی روی یکی از والدین (جهش) و یا با ترکیب بردارهای مربوط به هر دوی والدین (تلفیق) تولید می‌شوند.

جمعیت حاضر با فرزندان جایگزین می‌شوند و نسل بعدی شکل می‌گیرد.

الگوریتم زمانی متوقف می‌شود که یکی از شرایط توقف محقق شود. در مورد شرایط توقف در ادامه صحبت خواهیم نمود. شکل (۲-۳) نحوه عملکرد الگوریتم ژنتیک نشان داده شده است.



شکل (۳-۲) نمودار گردش کار الگوریتم ژنتیک [۵۶]

۳-۱-۴ توابع عملیاتی الگوریتم‌های ژنتیک

همانطور که گفته شد الگوریتم ژنتیک یک رویه تکراری می‌باشد که شامل یک جمعیت با اندازه ثابت است. هر یک از افراد این جمعیت با توجه به یک رشته محدود سمبول‌ها ارائه می‌شوند که از آنها تحت عنوان ژنوم یاد می‌شود. هر یک از ژنوم‌ها یک راه‌حل ممکن در فضای مسئله را کد می‌کنند. از فضای مسئله به فضای جستجو تعبیر می‌شود که این فضا تمام راه‌حل‌های ممکن مسئله را در بر می‌گیرد. عموماً از الگوریتم ژنتیک در مورد مسائلی استفاده می‌شود که فضای جستجوی آنها بسیار بزرگ بوده و روش‌های جستجو معمول در مورد آنها کاربردی ندارد. یک الگوریتم ژنتیک استاندارد به صورت زیر عمل می‌کند:

ابتدا یک جمعیت اولیه به صورت تصادفی و یا اکتشافی فراهم آورده می شود. هر مرحله ی تکاملی یک نسل نامیده می شود، هر یک از افراد جمعیت حاضر بر مبنای یک تابع هدف از پیش تعریف شده ارزیابی می شوند و نتیجه کار تحت عنوان میزان شایستگی فرد شناخته می شود.

برای شکل گیری یک جمعیت جدید (نسل بعدی) افراد بر مبنای میزان شایستگی شان انتخاب می - شوند. روش های مختلفی برای انجام این انتخاب وجود دارند که ساده ترین آنها که توسط هالند مطرح شده انتخاب متناسب با شایستگی می باشد. در این روش افراد با احتمالی متناسب با میزان شایستگی شان انتخاب می شوند. به این ترتیب افراد شایسته تر چندین بار برای حضور در جمعیت جدید انتخاب شده و به این ترتیب شانس بیشتری برای تولیدمثل خواهند داشت. این در حالی است که افراد با شایستگی کمتر محو شده و شانسی برای انتخاب و تولیدمثل پیدا نمی کنند. بنابراین از نزدیک شدن به جواب محلی جلوگیری می شود. فرآیند انتخاب بر اساس ارزیابی صلاحیت مدل فردی است. صلاحیت یک مدل فردی مرتبط با هدف تابع می باشد و این تابع برای مثال می تواند در نتیجه مجموع مربع خطاها مرتبط با اندازه گیری تعریف شود.

روال انتخاب به تنهایی نمی تواند هیچ فرد جدیدی را به جمعیت اضافه کند و به طبع هیچ نقطه ی جدیدی را در فضای جستجو پیدا نمی کند. بلکه این کار با استفاده از عملگرهای دیگر الهام گرفته از طبیعت از جمله تلفیق^۱ و جهش^۲ انجام می شود. این دو عملگر ژنتیکی در الگوریتم ژنتیک جهت تولید

^۱ Crossover

^۲ Mutate

جمعیت جدید بکار می‌روند [۵۷]. تلفیق با توجه به یک احتمال تحت عنوان احتمال تلفیق و یا نرخ تلفیق بین دو فرد انتخاب شده انجام می‌شود. از این دو فرد تحت عنوان والدین یاد می‌شود. عملیات تلفیق از طریق مبادله‌ی اجزای ژنوم دو والد انجام می‌شود و به این ترتیب دو فرد جدید به وجود می‌آیند که از آنها تحت عنوان فرزند یاد می‌شود. عملگر تلفیق باعث می‌شود تا عملیات جستجو به مناطق جدیدی در فضای جستجو گسترش یابد. عملگر جهش در راستای جلوگیری از همگرایی زودرس در مینیمم‌های محلی به کار گرفته می‌شود. این عملگر نقاط جدیدی را به صورت تصادفی در فضای جستجو ایجاد می‌کند. این عملگر یک تغییر تصادفی را با احتمال اندک در چند بیت از ژنوم اعمال می‌کند.

الگوریتم ژنتیک یک فرآیند تکراری مبتنی بر شانس است که همگرایی را تضمین نمی‌کند. شرط پایان تکرار این الگوریتم با توجه به تعداد نسل‌ها و یا میزان شایستگی مطلوب تعیین می‌گردد. در ادامه شبه کد مربوط به یک الگوریتم ژنتیک استاندارد آمده است:

جدول (۳-۱) شبه کد الگوریتم ژنتیک [۵۸]

```

generate an initial random population
while iteration <= maxiteration
    iteration = iteration + 1
    calculate the fitness of each individual
    select the individuals according to their fitness
    perform crossover with probability  $p_c$ 
    perform mutation with probability  $p_m$ 
    population = selected individuals after
                    crossover and mutation
end while

```

۳-۱-۵ مزایای الگوریتم ژنتیک

یکی از نقاط قوت الگوریتم‌های ژنتیک که در ابتدا یک کمبود به نظر می‌رسد این است که: GA ها هیچ چیزی در مورد مسائلی که حل می‌کنند نمی‌دانند و اصطلاحاً به آنها «ساعت‌ساز نابینا» می‌گوییم. آنها تغییرات تصادفی را در راه‌حل‌های کاندیدشان می‌دهند و سپس از تابع پردازش برای سنجش این که آیا آن تغییرات پیشرفتی ایجاد کرده‌اند یا نه، استفاده می‌کنند. مزیت این تکنیک این است که به GA اجازه می‌دهد تا با ذهنی باز شروع به حل مسائل کند. از آنجایی که تصمیمات آن اساساً تصادفی است، بر اساس تئوری همه راه‌حل‌های ممکن به روی مسأله باز است، ولی مسائلی که محدود و به اطلاعات هستند باید از راه قیاس تصمیم بگیرند و در این صورت بسیاری از راه‌حل‌های نو و جدید را از دست می‌دهند.

یکی دیگر از مزایای الگوریتم این است که آنها می‌توانند چندین پارامتر را همزمان تغییر دهند. بسیاری از مسائل واقعی نمی‌توانند محدود به یک ویژگی شوند تا آن ویژگی ماکسیمم شود و باید چند جنبه در نظر گرفته شوند. GA ها در حل این گونه مسائل بسیار مفیدند، و در حقیقت قابلیت موازی کار کردن آنها این خاصیت را به آنها می‌بخشد. و ممکن است برای یک مسأله ۲ یا چند راه‌حل پیدا شود، که هر کدام با در نظر گرفتن یک پارامتر خاص به جواب رسیده‌اند.

به طور خلاصه مزایای الگوریتم ژنتیک را می‌توان در موارد زیر برشمرد:

۱- با متغیرهای پیوسته و هم گسسته می‌تواند عمل بهینه‌سازی را انجام دهد.

۲- نیازی به محاسبه مشتق توابع ندارد.

۳- بطور همزمان می‌تواند تمامی ناحیه جستجو شونده وسیع تابع هزینه را جستجو کند.

۴- قادر به بهینه‌سازی مسائل با تعداد متغیرهای زیاد می‌باشد.

۵- قابل اجرا از طریق کامپیوترهای موازی است.

۶- توابع هزینه‌ای که بسیار پیچیده باشند نیز از این طریق قابل بهینه‌سازی می‌باشند و الگوریتم در اکستریم محلی به دام نمی‌افتد.

۷- قادر است تا چند جواب بهینه را بطور همزمان به دست آورد نه فقط یک جواب.

۸- الگوریتم‌های ژنتیک بر روی مجموعه‌ای از راه‌حل‌ها اعمال می‌شوند و نه بر روی یک راه‌حل خاص.

۹- قادر است تا متغیرها را کد بندی نموده و بهینه‌سازی را با متغیرهای کد بندی شده انجام دهد. کد بندی سرعت همگرایی الگوریتم را افزایش می‌دهد.

۱۰- الگوریتم توانایی کار کردن یا داده‌های عددی تولید شده و داده‌های تجربی را علاوه بر توابع تحلیلی دارد.

۱۱- فرآیند ارائه شده توسط الگوریتم‌های ژنتیک بر روی فضایی از مجموعه نمایندگان یا همان فضای کروموزوم‌ها اعمال می‌گردد و نه بر روی خود فضای راه‌حل‌ها.

۱۲- الگوریتم‌های ژنتیک از قوانین انتقالی احتمالی بجای قوانین انتقالی قطعی استفاده می‌کنند، بدین معنا که حرکت آن در هر نقطه از الگوریتم کاملاً احتمالی بوده و بر اساس قطعیت صورت نمی‌پذیرد. این امر از مزایای مهم این روش بوده و از افتادن سیستم در کمینه محلی جلوگیری می‌نماید. البته میزان احتمال به گونه‌ای است که احتمال حرکت به سمت مسأله بیشتر از احتمال حرکت آن به سمت مخالف جواب می‌باشد.

۱۳- تنها ملاک ارزشیابی و سنجش میزان شایستگی هر راه‌حل توسط الگوریتم‌های ژنتیک، مقدار تابع شایستگی آن در فضای کروموزوم‌ها می‌باشد و نه معیارهای مورد نظر در سطح فضای

راه حل‌ها.

۱۴- برای حل برخی از مسائلی از رده NP-Hard نیز استفاده می‌شود.

۱۵- این الگوریتم بیشتر در مسائل بهینه سازی و امثالهم بکار می‌رود.

۳-۱-۶ محدودیتهای الگوریتم ژنتیک

۱- حجم محاسباتی بالا

۲- سرعت همگرایی پایین در استخراج جواب (زمان اجرای طولانی)

فصل ۴:

مدلسازی

۴-۱ بهینه‌سازی مدل‌سازی مبدل پره - صفحه‌ای

در این مطالعه، به بهینه‌سازی مبدل پره صفحه‌ای با توجه به کمینه کردن هزینه و تعداد واحد آنتروپی پرداخته شد. ابعاد هندسی مبدل با استفاده از طراحی مبدل به روش تعیین تعداد واحدهای انتقال حرارت ($\epsilon - NTU$) تعیین می‌گردد. این ابعاد به جهت کمینه کردن همزمان هزینه کلی سالیانه و تعداد واحدهای انتقال حرارت بهینه خواهند شد.

۴-۲ طراحی حرارتی مبدل پره صفحه‌ای

در پژوهش حاضر، برای محاسبه میزان انتقال حرارت و سطح مورد نیاز به ازای بار حرارتی مشخص، از شیوه $\epsilon - NTU$ استفاده شده است. حداکثر عملکرد حرارتی در مبدل‌های برابر است با:

بنابراین

$$\epsilon = \frac{C_a (T_{a,1} - T_{a,2})}{C_{\min} (T_{a,1} - T_{b,2})} = \frac{C_a (T_{b,2} - T_{b,1})}{C_{\min} (T_{a,1} - T_{b,2})} \quad (1-2)$$

برای دمای خروجی سیال سرد و گرم خواهیم داشت:

$$T_{a,2} = T_{a,1} - \left[\epsilon \frac{C_{\min}}{C_a} (T_{a,1} - T_{b,1}) \right] \quad (1-3)$$

$$T_{b,2} = T_{b,1} + \left[\epsilon \frac{C_{\min}}{C_a} (T_{a,1} - T_{b,1}) \right] \quad (1-4)$$

برای محاسبه ε ، طبق رابطه زیر می‌توان از تعداد واحدهای انتقال حرارت (NTU) استفاده کرد [۵۹]

$$\varepsilon = 1 - \exp \left[\left(\frac{1}{C_r} \right) NTU^{0.23} [\exp(-C_r NTU^{0.78}) - 1] \right] \quad (1-5)$$

که در آن مقدار NTU برابر خواهد بود با:

$$\frac{1}{NTU} = \frac{C_{min}}{UA} = C_{min} \left[\frac{1}{(hA)_a} + \frac{1}{(hA)_b} \right] \quad (1-6)$$

و مقدار C_r برای آن به صورت حاصل تقسیم ظرفیت ویژه حداقل به ظرفیت ویژه حداکثر است.

به عبارت دیگر می‌توان آن را به صورت زیر تعریف کرد:

$$C_r = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad (1-7)$$

برای محاسبه مقدار انتقال حرارت انجام شده باید سطوح جریان آزاد و انتقال حرارت محاسبه شود.

برای محاسبه سطح آزاد (A_{ff}) هر سیال از رابطه زیر استفاده می‌شود

$$A_{ff,a} = (H_a - t_a)(1 - n_a t_a) L_b N_a \quad (1-8)$$

$$A_{ff,b} = (H_b - t_b)(1 - n_b t_b) L_a N_b \quad (1-9)$$

و برای محاسبه سطح انتقال حرارت برای هر سیال از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$A_a = L_a L_b N_a [\lambda + \{ \gamma n_a (H_a - t_a) \}] \quad (1-10)$$

$$A_b = L_a L_b N_b [\lambda + \{ \gamma n_b (H_b - t_b) \}] \quad (1-11)$$

ابراین سطح انتقال حرارت کلی برابر خواهد بود با:

$$A_{THT} = A_a + A_b \quad (1-12)$$

قطر هیدرولیکی برای قسمتی از مبدل، مخصوص عبور یک سیال به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$d_h = \frac{\gamma(s-t)(H-t)}{S + (H-t) + \left(\frac{(H-t)t}{1} \right)} \quad (1-13)$$

که در آن مقدار S برابر خواهد بود با:

$$S = \frac{\lambda}{n} - t \quad (1-14)$$

طوری که، طول مبدل (L_a)، عرض مبدل (L_b)، تعداد لایه‌ها برای سیال‌های ورودی و

خروجی (N_a) و (N_b)، ضخامت فین‌ها (t)، تعداد فین‌ها به ازای یک متر (n)، ارتفاع فین (H)،

طول فین‌ها (l) می‌باشند. باتوجه به مقدار قطر هیدرولیک، می‌توان مقدار عدد رینولدز را نیز به صورت

زیر محاسبه کرد:

$$Re = \frac{d_h G}{\mu} = \frac{m d_h}{A_{ff} \mu} \quad (1-15)$$

در نتیجه باتوجه به مقدار عدد رینولدز، مقدار ضریب اصطکاک همینطور ضریب کالبرن قابل

محاسبه می‌باشد. مقدار ضریب اصطکاک و ضریب عدد کالبرن برای رینولدزهای کوچک‌تر از ۱۵۰۰ برابر

خواهد بود با [۶۰]

$$f = ۸.۱۲(Re)^{-۰.۷۴} \left(\frac{۱}{d_h} \right)^{-۰.۴۱} \left(\frac{s}{H-t} \right)^{-۰.۰۲} \quad (۱-۱۶)$$

$$j = ۰.۵۳(Re)^{-۰.۰۵} \left(\frac{۱}{d_h} \right)^{-۰.۱۵} \left(\frac{S}{H-t} \right)^{-۰.۱۴} \quad (۱-۱۷)$$

و برای اعداد رینولدز بالای ۱۵۰۰ برابر خواهند شد با:

$$f = ۱.۱۲(Re)^{-۰.۳۶} \left(\frac{۱}{d_h} \right)^{-۰.۶۵} \left(\frac{t}{d_h} \right)^{۰.۱۷} \quad (۱-۱۸)$$

$$j = ۰.۲۱(Re)^{-۰.۰۴} \left(\frac{۱}{d_h} \right)^{-۰.۲۴} \left(\frac{t}{d_h} \right)^{۰.۰۲} \quad (۱-۱۹)$$

حال با داشتن مقدار ضریب اصطکاک از روابط فوق می‌توان اختلاف فشار ایجاد شده برای هر

یک از سیالات را به صورت زیر محاسبه کرد .

$$\Delta P_a = \frac{f_a L_a G_a^2}{2 \rho_a d_{h,a}} = \frac{f_a m_a^2}{\rho_a} = \frac{L_a}{d_{h,a} L_b^2 (H_a - t_a)^2 (1 - n_a t_a)^2} \quad (۱-۲۰)$$

$$\Delta P_b = \frac{f_b L_b G_b^2}{2 \rho_b d_{h,b}} = \frac{f_b m_b^2}{\rho_b} = \frac{L_b}{d_{h,b} L_a^2 N_b^2 (H_b - t_b)^2 (1 - n_b t_b)^2} \quad (۱-۲۱)$$

از طرفی مقدار فشار خروجی برای هر دو سیال نیز به صورت زیر خواهد بود:

$$P_{a,2} = P_{a,1} - \Delta P_a \quad (۱-۲۲)$$

$$P_{b,2} = P_{b,1} - \Delta P_b \quad (۱-۲۳)$$

۳-۴ محاسبه نرخ رشد آنتروپی (تابع هدف اول)

در مبدل‌ها برای محاسبه مقدار رشد آنتروپی از رابطه زیر استفاده می‌شود

$$\dot{S} = m_a (\Delta S_a) + m_b (\Delta S_b) \quad (۱-۲۴)$$

با فرض برقراری شرایط گاز ایده‌آل برای هر دو سیال گرم و سرد، خواهیم داشت:

$$\Delta S_a = C_{p,a} \ln\left(\frac{T_{a,2}}{T_{a,1}}\right) - R_a \ln\left(\frac{P_{a,2}}{P_{a,1}}\right) \quad (۱-۲۵)$$

$$\Delta S_b = C_{p,b} \ln\left(\frac{T_{b,2}}{T_{b,1}}\right) - R_b \ln\left(\frac{P_{b,2}}{P_{b,1}}\right) \quad (۱-۲۶)$$

پس می‌توان نوشت:

$$\dot{S} = m_a \left[C_{p,a} \ln\left(\frac{T_{a,2}}{T_{a,1}}\right) - R_a \ln\left(\frac{P_{a,2}}{P_{a,1}}\right) \right] + m_b \left[C_{p,b} \ln\left(\frac{T_{b,2}}{T_{b,1}}\right) - R_b \ln\left(\frac{P_{b,2}}{P_{b,1}}\right) \right] \quad (۱-۲۷)$$

مقدار نرخ رشد آنتروپی نیز به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$N_s = \frac{\dot{S}}{C_{\max}} \quad (۱-۲۸)$$

بنابراین با اعمال شرایط فوق و ساده‌سازی می‌توان دید که رابطه کلی نرخ رشد آنتروپی به صورت

زیر محاسبه می‌شود:

$$N_s = \frac{C_a}{C_{\max}} \left[\ln \left(1 - \varepsilon \frac{C_{\min}}{C_a} \left(\frac{T_{b,1}}{T_{a,1}} \right) \right) - \frac{R_a}{C_{p,a}} \ln \left(1 - \frac{\Delta P_a}{P_{a,1}} \right) \right] + \quad (۱-۲۹)$$

$$+ \frac{C_b}{C_{\max}} \left[\ln \left(1 - \varepsilon \frac{C_{\min}}{C_b} \left(1 - \frac{T_{a,1}}{T_{b,1}} \right) \right) - \frac{R_b}{C_{p,b}} \ln \left(1 - \frac{\Delta P_b}{P_{b,1}} \right) \right]$$

۴-۴ محاسبه هزینه تمام شده کل سالیانه (تابع هدف دوم)

هزینه کل سالیانه برابر با مجموع هزینه ثابت^۱ و هزینه عملیاتی^۲ موجود در یک مبدل حرارتی در

طول یک سال است. هزینه یک مبدل پره صفحه‌ای را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد [۶۱]

$$IC = fc + A * u * C_1 \quad (1-30)$$

$$C_1 = \frac{1+i}{tp} \quad (1-31)$$

$$OMC = \frac{(E_c + E_h)AH \times fe}{3600 \times 1000} \quad (1-32)$$

بطوریکه E توان پمپاژ است و به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$E = \frac{\Delta P_m}{\rho \eta_p} \quad (1-33)$$

بنابراین، هزینه کل سالیانه را می‌توان بدین صورت محاسبه کرد:

$$TAC = IC + OMC \quad (1-34)$$

^۱ . Capital Cost

^۲ . Operating Cost

۴-۵ بهینه سازی مطالعات موردی

هزینه و نرخ رشد آنتروپی دو تابع هدفی هستند که در مورد مبدل حرارتی پره صفحه‌ای که محتوی

دو جریان a و b می‌باشد، کمینه خواهند شد. شرایط بهره برداری و عملیاتی مبدل در جدول زیر آورده شده است.

جدول (۴-۱) مشخصات سیال گرم و سرد (شرایط بهره برداری)

مشخصه‌ها	واحد	سیال a	سیال b
دبی جرمی	m	۰.۸۹۶۲	۰.۳۱۲۰
دمای	K	۵۱۳	۳۰۸
فشار	pa	۱۰ ^۵	۱۰ ^۵
ظرفیت	Cp	۱۰۱۷.۷	۴۱۷۸
چگالی	Kg/m ³	۰.۸۱۹۶	۹۹۴
ویسکوزیته	N.s/m ²	۲۴۱	۰.۰۰۰۷۰۲
عدد	---	۰.۶۸۷۸	۴.۹۱
وظیفه	Q	Kw	۱۶۰

برای محاسبه هزینه (تابع هدف دوم) مقادیر در نظر گرفته شده پارامترهای ثابت i ، fe ، AH ، uc

و tp در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول (۴-۲) ثوابت مورد نیاز برای محاسبه هزینه [5]

مقدار	ثوابت
۲۱۶۰۰۰۰	AH(second/ year)
۳	ec(%)
۱۸۷/۵	fc(\$)
۰/۰۶۵	fe(\$/kWh)
۴	i(%)
۵	tp(year)
۲۵	uc(\$/ m ^۲)

۴-۶ توابع هدف بهینه‌سازی مبدل حرارتی پره صفحه‌ای

در این مطالعه بهینه‌سازی مبدل حرارتی پره صفحه‌ای به ازای یک بار حرارتی ثابت و از پیش تعیین شده، انجام می‌شود. کمینه کردن هزینه سالیانه و کمینه کردن نرخ آنتروپی هدف اصلی این بهینه‌سازی هستند. دو تابع هدف مذکور عملاً در تعارض بایکدیگر هستند بعبارت دیگر با کاهش نرخ آنتروپی (مطلوب) هزینه افزایش می‌یابد (نامطلوب)، تابع هدف اول آنتروپی و تابع هدف دوم هزینه کل سالیانه می‌باشد

۴-۶-۱ تابع هدف اول نرخ تولید آنتروپی N_s

در این قسمت تابع هدف بدست آمده در بخشهای قبلی، بصورت یک فرمول بسته دوباره ارائه شده است.

$$\text{Objective}_1 = N_s = \frac{C_a}{C_{\max}} \left[\ln \left(1 - \varepsilon \frac{C_{\min}}{C_a} \left(\frac{T_{b,1}}{T_{a,1}} \right) \right) - \frac{R_a}{C_{p,a}} \ln \left(1 - \frac{\Delta P_a}{P_{a,1}} \right) \right] + \quad (1-29)$$

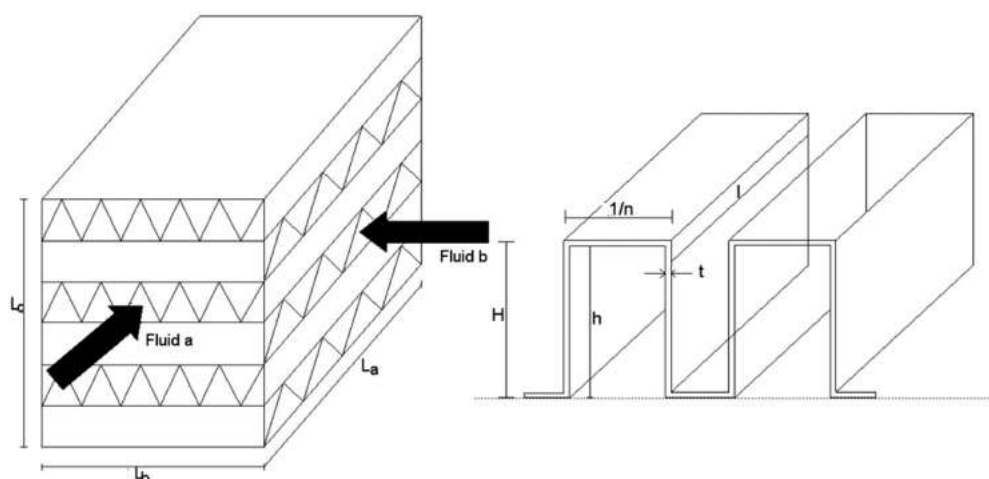
$$+ \frac{C_b}{C_{\max}} \left[\ln \left(1 - \varepsilon \frac{C_{\min}}{C_b} \left(1 - \frac{T_{a,1}}{T_{b,1}} \right) \right) - \frac{R_b}{C_{p,b}} \ln \left(1 - \frac{\Delta P_b}{P_{b,1}} \right) \right]$$

۴-۶-۲ هزینه کل سالیانه TAC

در این قسمت تابع هدف دوم بدست آمده در بخشهای قبلی، بصورت یک فرمول بسته دوباره ارائه شده است.

$$\text{Objective}_2 = \text{TAC} = \text{IC} + \text{OMC} \quad (1-34)$$

هر دو تابع هدف از متغیرهای مستقل مساله که شامل L, H, n, t, l و N هستند متاثر هستند. هدف ما یافتن بهترین مقادیر بهینه برای این متغیرها میباشد چگونه ایکه دو تابع هدف مینیمم شوند. لازم بذکر است پره مورد بررسی در این پژوهش از نوع آفست استریپ می باشد که در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل (۴-۱) نمای روپرو و نمای جانبی offset strip fin

۴-۷ متغیرهای مستقل مساله بهینه سازی

یازده متغیرهای مستقل به عنوان متغیرهای تصمیم گیری برای کمینه کردن این دو تابع هدف در نظر

گرفته شدند، این متغیرها عبارتند از $L_a, H_a, n_a, t_a, l_{fa}, N_a, L_b, H_b, n_b, t_b$ و l_{fb} و ϕ به ترتیب معرف طول مبدل، ارتفاع پره، فرکانس پره (تعداد پره در واحد طول یک متر)، ضخامت پره، عمق نفوذ پره، تعداد طبقات صفحات در طرف سیال a و b و همچنین درصد نانو سیال می باشند. واضح است تعداد کانال های عبور برای جریان b برابر با $N_b = N_a - 1$ خواهد شد. در این مسئله، بار حرارتی برابر با ۱۶۰ کیلووات مقدار مورد نظری است که باید در هر حال در این مبدل به آن دست یافت.

۴-۸ قیود حاکم بر مساله ی بهینه سازی

قیود حاکم بر بهینه سازی این مبدل حرارتی پره صفحه ای را می توان به صورت زیر بیان کرد [3]:

$$g_1(x): 0.1 \leq L_a \leq 1 \text{ (m)}$$

$$g_2(x): 0.1 \leq L_b \leq 1 \text{ (m)}$$

$$g_3(x): 0.002 \leq H \leq 0.01 \text{ (m)}$$

$$g_4(x): 100 \leq n \leq 1000 \left(\frac{1}{m}\right)$$

$$g_5(x): 0.0001 \leq t \leq 0.0002 \text{ (m)}$$

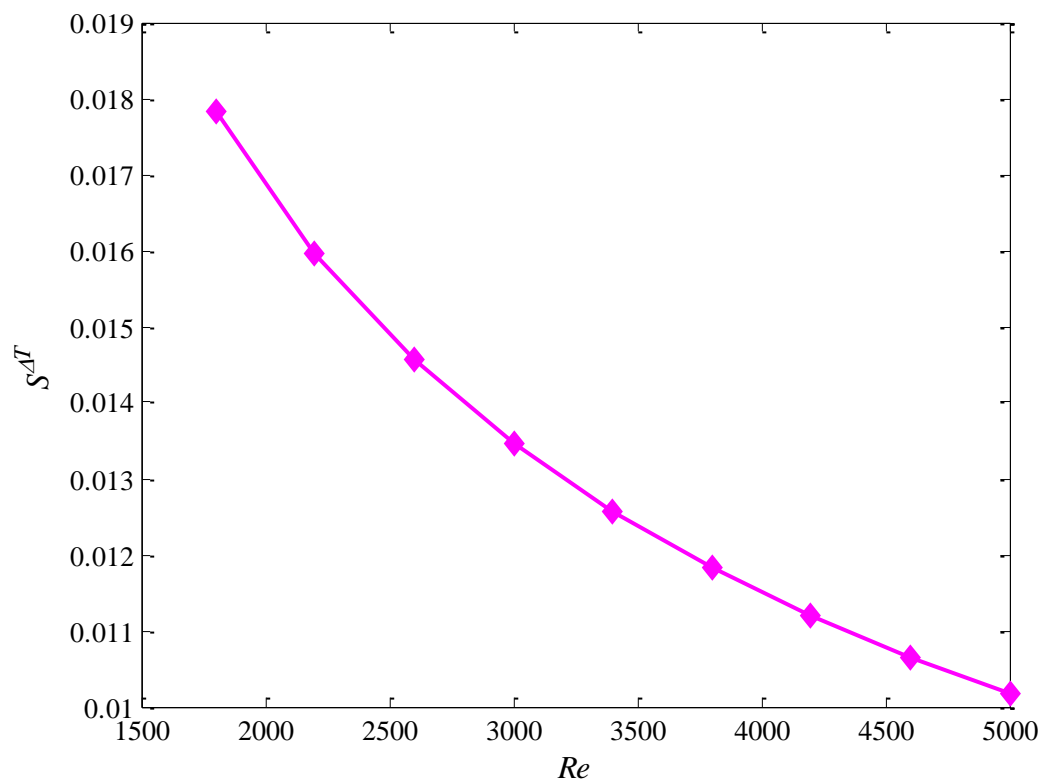
$$g_6(x): 0.0001 \leq l \leq 0.01 \text{ (m)}$$

$$g_7(x): 1 \leq N_a \leq 10$$

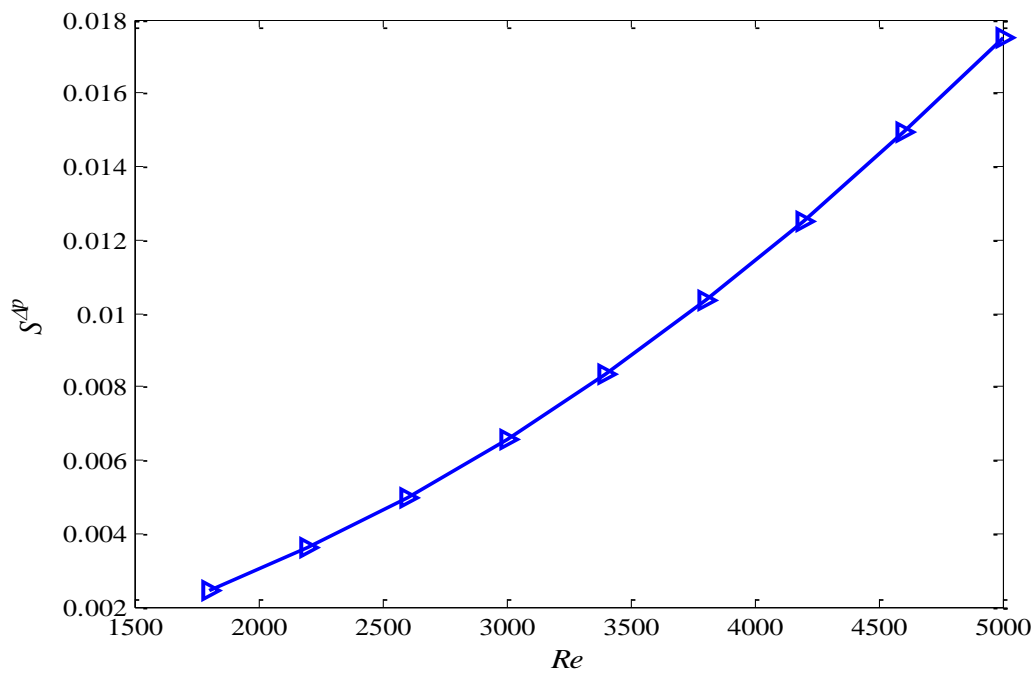
$$g_8(x): \xi(x) - Q = 0$$

۴-۹ نتایج اولیه

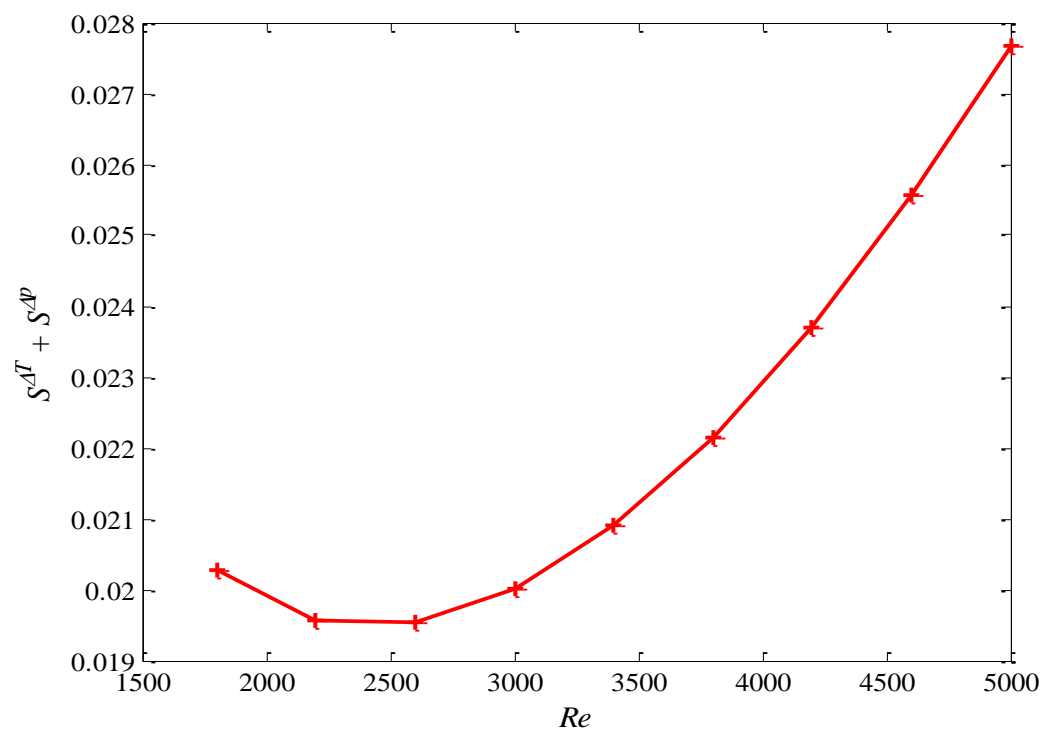
در اشکال زیر نتایج مربوط به میزان آنتروپی ناشی از اختلاف دما و افت فشار بر حسب رینولدز سیال سمت b رسم شده است. بدیهی است با افزایش رینولدز میزان افت فشار افزایش می یابد و بالطبع بازگشت نا پذیری ناشی از افت فشار صعودی است. با افزایش رینولدز جریان میزان ضریب انتقال حرارت افزایش می یابد افزایش ضریب انتقال حرارت سبب کاهش اختلاف دما بین سیال سرد و گرم شده و روند آنتروپی تولیدی نزولی می باشد. شکل سوم، آنتروپی کل (مجموع دو آنتروپی می باشد). همانطور که در شکل نشان داده شده است در یک رینولدز خاص میزان آنتروپی تولیدی حداقل است.



شکل (۲-۴) نمودار آنتروپی تولیدی ناشی از اختلاف دما بر حسب رینولدز



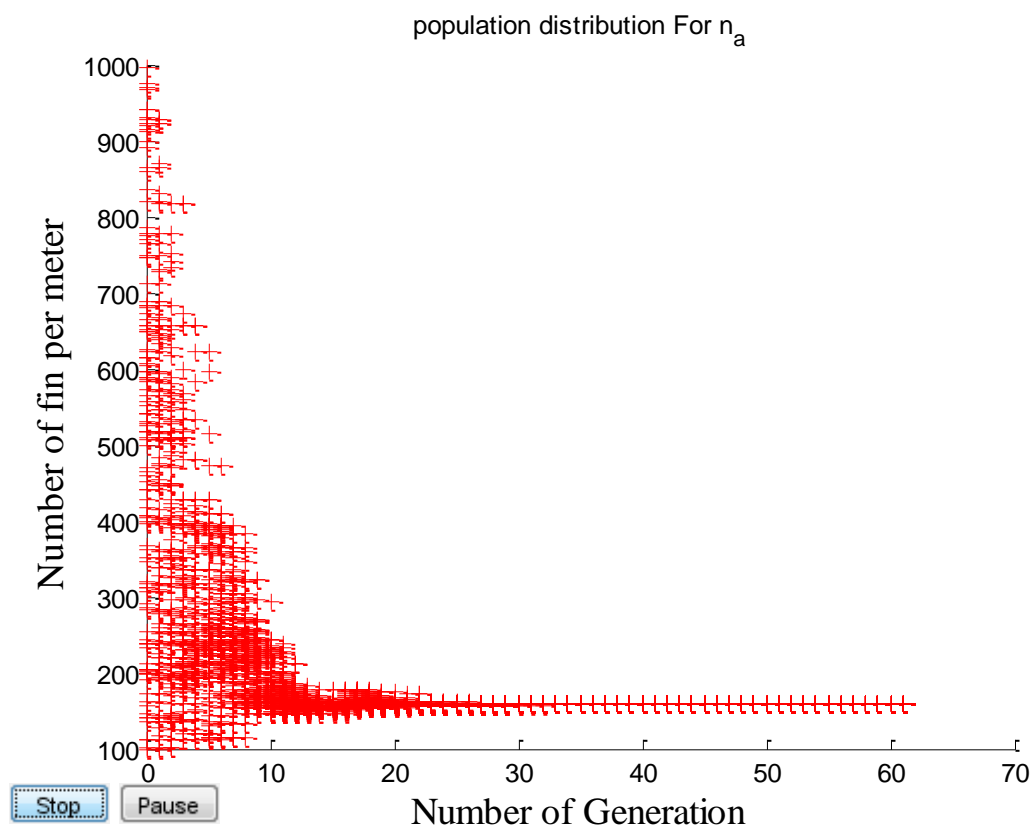
شکل (۳-۴) نمودار آنتروپی تولیدی ناشی از افت فشار بر حسب رینولدز



شکل (۴-۴) نمودار آنتروپی تولیدی کل (ناشی از اختلاف دما و افت فشار) بر حسب رینولدز

در شکل زیر توزیع جمعیت در نسل های مختلف الگوریتم ژنتیک برای متغیر n_a رسم شده است.

همانطور که در شکل مشخص است در شروع کار الگوریتم ژنتیک کل جمعیت بصورت یکنواخت بین حد پایین متغیر na (۱۰۰) و حد بالای متغیر na (۱۰۰۰) توزیع شده است. با پیشرفت کار در نسل های متوالی جمعیت به سمت عدد بهینه ۲۶۹ همگرا شده است (به شکل زیر و جدول جدول (۳-۵) توجه کنید)



شکل (۴-۵) توزیع جمعیت در نسل های مختلف الگوریتم ژنتیک برای متغیر na

فصل ۵:

نتیجه گیری

۵-۱ مقدمه

در این پژوهش یک مطالعه موردی بر روی مبدل صفحه ای پره دار یک واحد فشرده ساز هوا در پالایشگاه تهران انجام گرفت نتایج بهینه سازی با نتایج موجود در دیتا شیت تجهیز تطابق رضایت بخشی داشت (مطابق جدول زیر) هر کدام از متغیرهای بهینه سازی اثر متفاوتی بر روی هر دو تابع هدف دارند. برای درک بهتر، علاوه بر پیدا کردن جبهه ی پارتو (بهترین جواب ها)، آنالیز حساسیت نیز برای متغیرهای طراحی صورت گرفت تا شدت اثر هر متغیر بر دو تابع هدف سنجیده شود جبهه ی پارتو ناشی از بهینه سازی این مطالعه ی موردی در قسمت بعد نشان داده شده است

برای به حداکثر رساندن مقدار اثربخشی و حداقل کردن هزینه کل، ۱۲ متغیر طراحی (۱۲ متغیر تصمیم گیری) از جمله $L_a, H_a, n_a, t_a, f_a, N_a, L_b, H_b, n_b, t_b$ و I_{fb} و درصد نانو انتخاب شدند. پارامترهای طراحی (متغیرهای تصمیم گیری) و طیف وسیعی از تغییرات در فصل قبل ارائه شده است

۵-۲ مطالعه موردی

مطالعه بر روی مبدل صفحه پره ای با دبی جرمی ۰,۳۱۲۰ کیلوگرم بر ثانیه و درجه حرارت ورودی ۳۵ درجه سانتی گراد صورت گرفت.

جدول (۵-۱) شرایط عملیاتی مبدل و خواص سیال

مشخصه ها	واحد	سیال a	سیال b
دبی جرمی	Kg/s	۰,۸۹۶۲	۰,۳۱۲۰
دمای	K	۵۱۳	۳۰۸
	T		

فشار	P	pa	۱۰ ^۵	۱۰ ^۵
ظرفیت	Cp	KJ/kg	۴۱۷۸	۱۰۱۷,۷
چگالی	ρ	Kg/m ³	۹۹۴	۰,۸۱۹۶
ویسکوزیته	μ	N.s/m ²	۰,۰۰۰۷۰۲	۲۴۱
عدد	pr	---	۴,۹۱	۰,۶۸۷۸
وظیفه	Q	kw	۱۶۰	-۱۶۰

جریان هوای گرم خروجی از کمپرسور با درجه حرارت ۲۴۰ درجه سانتی گراد و نرخ جریان

جرمی آن ۰,۸۹۶۲ کیلوگرم بر ثانیه برای خنک کاری وارد مبدل می شود. جدول بالا شرایط عملیاتی،

و خواص حرارتی فیزیکی دو سیال را در این مطالعه موردی نشان می دهد.

۵-۲-۲ تایید مدل سازی مبدل واحد فشرده ساز هوا:

به منظور بررسی نتایج مدل سازی، خروجی شبیه سازی با اطلاعات موجود در دیتاشیت مبدل

حرارتی مقایسه شد. برای قیاس بهتر مقایسه برای مقادیر ورودی یکسان صورت گرفت. نتایج مدل

سازی و مقادیر موجود در دیتاشیت به اختصار در جدول زیر نشان داده شده است. نتایج نشان می

دهد که میزان اختلاف در پیش بینی مقادیر قابل قبول و رضایت بخش هستند.

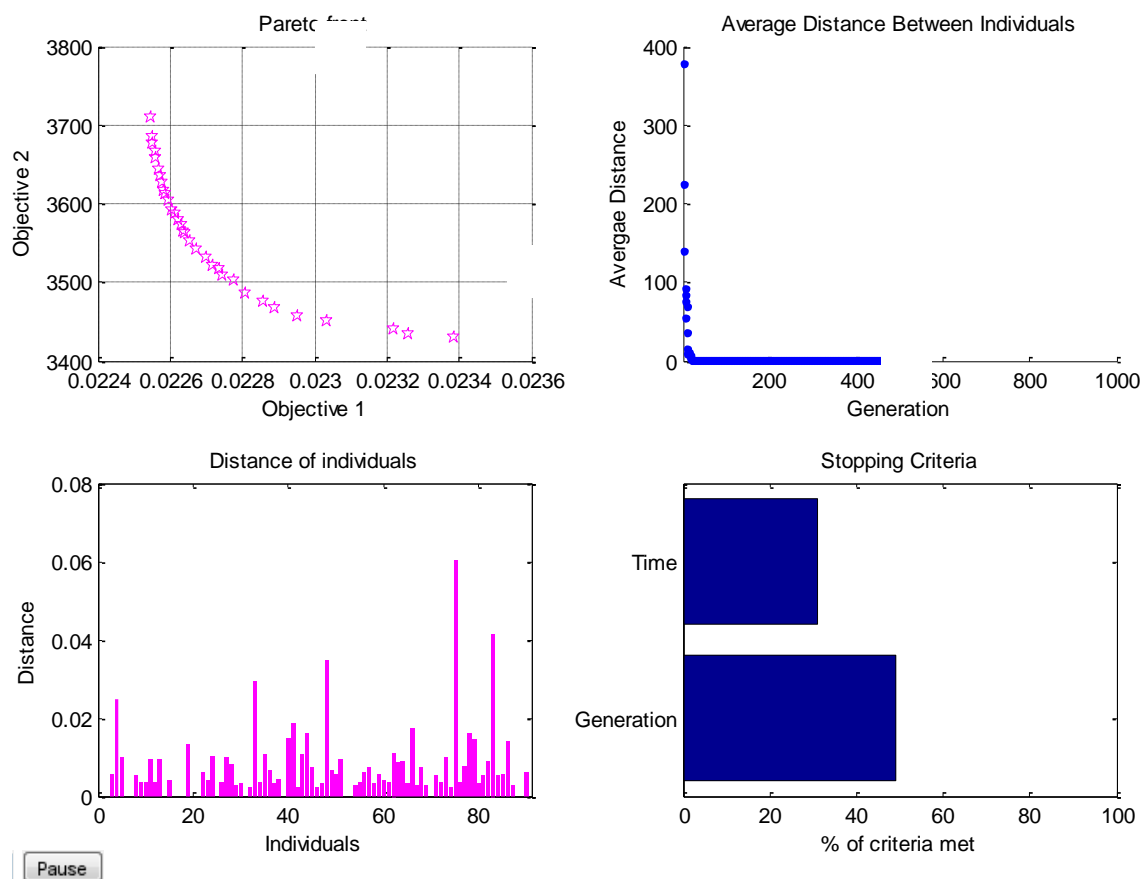
جدول (۵-۲) مقایسه نتایج بدست آمده از مدلسازی مبدل واحد فشرده ساز هوا در پالایشگاه تهران

variab le	Unit	PFHE datasheet	present work	Differen ce (%)
C_{total} ar	\$/ye	3300	3550	۸,۵
Δp_a	pa	754	701	7..5
Δp_b	pa	231	211	8.5

q	Kw	161.7	160	1
h_a	w/m	204	217	
² C				6.5
h_b	w/m	920	974	
² C				6.5

۵-۳ نتایج بهینه سازی

تعداد ارزیابی ها برای پیدا کردن اکسترمم مطلق در همه دامنه جستجو، در حدود ۶۰۰۰۰ بوده است. بهینه سازی الگوریتم ژنتیک برای ۳۰۰۰ نسل با جمعیت ۲۰۰ نفر تکرار شد نتایج منحنی بهینه پارتو در شکل زیر نشان داده شده است که به وضوح تضاد بین دو هدف، اثر و هزینه کل را نشان می دهد. این مفهوم همچنین در منابع مختلف نیز اشاره شده است. با کاهش آنتروپی (تابع هدف اول) هزینه ی کل مبدل افزایش می یابد یکی از روشهای کاهش آنتروپی ناشی از اختلاف دما، افزایش مساحت سطح مبدل است. این افزایش سطح مبدل منجر به افزایش هزینه سالیانه مبدل میشود.



شکل (۱-۵) برای یک مقدار آنترופی مشخص کمترین هزینه محاسبه گردید (جبهه ی پارتو) با کاهش آنترופی (تابع هدف اول) هزینه کل (تابع هدف دوم) افزایش می یابد

۵-۳-۲ جبهه ی پارتو

هر گونه تغییر هندسی که آنترופی را کاهش دهد، منجر به افزایش در هزینه کل و یا بالعکس می شود. این نشان می دهد که نیاز به تکنیک های بهینه سازی چند هدفه در طراحی بهینه یک مبدل حرارتی می باشد. توجه داشته باشید که شکل بالا به صورت صحیحی حداقل مقادیر هزینه کل به ازای یک مقدار مشخص آنترופی را نشان می دهد شکل زیر میزان انتقال حرارت (kW) برای نقاط مختلف منحنی پارتو بهینه را نشان می دهد.

برای نرخ انتقال حرارت خاص، نتایج گزارش شده برای یک مساله با یک تابع هدف (هزینه کل) با محدودیت خاص قابل استفاده می باشد. این به این معناست که روش بهینه سازی چند هدفه ارائه شده، یک راه حل مناسب برای بهینه سازی در یک شکل ساده شده ارائه می کند به عبارت دیگر یک طراحی بهینه (حداقل هزینه کل) برای یک نرخ انتقال حرارت مشخص ارائه می کند.

همانطور که در شکل بالا نشان داده شده است حداقل آنترپی در نقطه A وجود دارد در حالی که هزینه کل در این نقطه بیشترین است. از سوی دیگر، حداقل هزینه کل با حداکثر آنترپی در نقطه C نشان داده شده است. طراحی نقطه A، وضعیت بهینه ایی است که در آن آنترپی تابع هدف اول، حداقل است (با ارضای قیود حاکم بر مساله). در حالی که نقطه طراحی C، شرایط بهینه ای است که در آن هزینه کل تابع هدف دوم حداقل است. هزینه کل مطلوب و آنترپی برای جبهه ی پارتو (بهترین جوابهای ممکن) در جدول زیر داده شده است.

برای ارائه یک ابزار مفید برای طراحی بهینه پوسته و لوله مبدل های حرارتی، معادله زیر برای آنترپی در مقابل هزینه کل برای منحنی پارتو شکل بالامشتق شده است.

$$C_{total_min}(\$) = (0.5929E^2 - 48.82E + 1011) \times 10^6 \quad (1-35)$$

نکته جالب در معادله بالا، این است که با توجه به یک مقدار عددی برای آنترپی (E) در محدوده مجاز، حداقل هزینه کل برای آن نقطه بهینه همراه با دیگر پارامترهای بهینه طراحی، فراهم شده است. مشخصات طراحی این نقاط به صورت جدولی در زیر ارائه شده است

انتخاب راه حل نهایی در میان نقاط مطلوب موجود در جبهه‌ی پارتو نیاز به یک فرآیند تصمیم

گیری دارد. در واقع، این فرآیند عمدتاً بر اساس تجارب مهندسی و اهمیت هر هدف برای تصمیم

گیرندگان، انجام می‌گیرد.

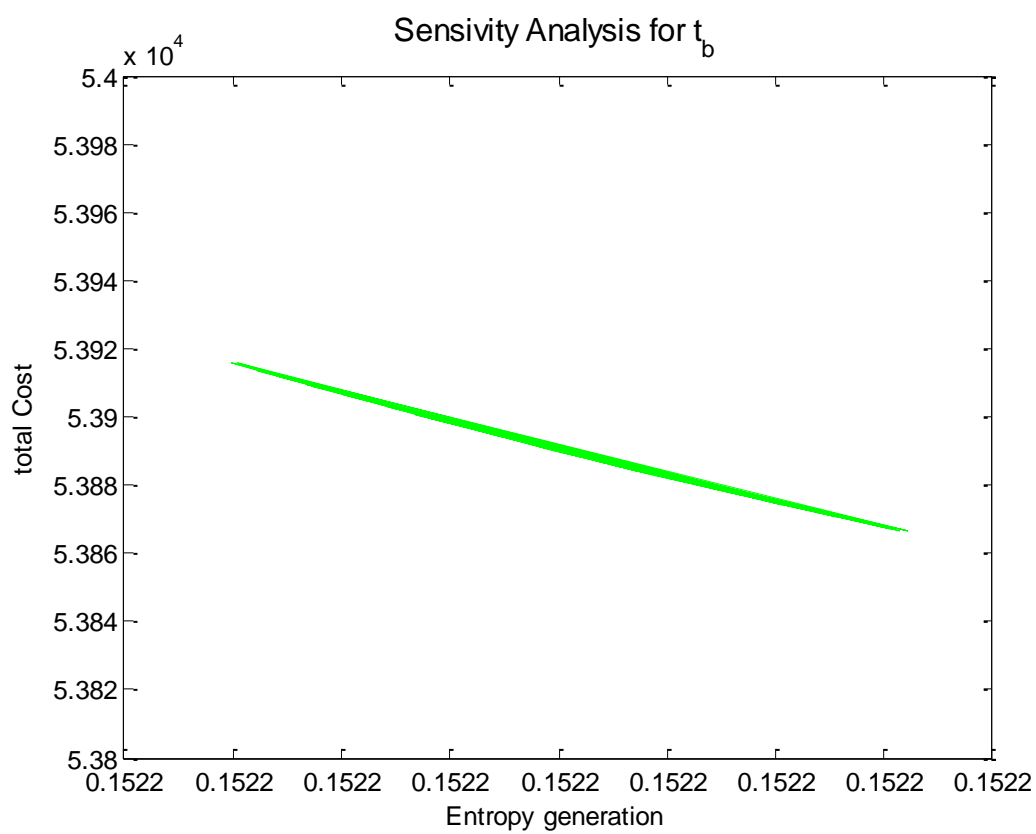
جدول (۳-۵) مقادیر دو تابع هدف و هشت متغیر تصمیم‌گیری (مقادیر جبهه پارتو)

Entropy	Cost	Ha	ta	na	Na	La	lfa	Hb	tb	nb	Nb	lfb
Kj/C	Cost	m	m	---	---	m	m	m	m	----	----	m
0.02141	3634	0.01	0.0001	135.89595	۵	0.1	0.01	0.0038	0.0001	269.4	0.47854	0.00999
0.02142	3611	0.01	0.0001	135.89778	۵	0.1	0.01	0.0036	0.0001	269.4	0.48617	0.00999
0.02143	3594	0.01	0.0001	135.89933	۵	0.1	0.01	0.0035	0.0001	269.4	0.49229	0.00999
0.02144	3580	0.01	0.0001	135.90583	۵	0.1	0.01	0.0036	0.0001	269.4	0.50186	0.00999
0.02145	3566	0.01	0.0001	135.91574	۵	0.1	0.01	0.0034	0.0001	269.41	0.50578	0.00999
0.02148	3535	0.01	0.0001	135.90812	۵	0.1	0.01	0.0034	0.0001	269.41	0.52696	0.00999
0.0215	3514	0.01	0.0001	135.90045	۵	0.1	0.01	0.0034	0.0001	269.4	0.54487	0.00999
0.02154	3490	0.01	0.0001	135.90124	۵	0.1	0.01	0.0033	0.0001	269.42	0.56241	0.00999
0.0216	3462	0.01	0.0001	135.91804	۵	0.1	0.01	0.0031	0.0001	269.44	0.58621	0.00999
0.02165	3443	0.01	0.0001	135.9077	۶	0.1	0.01	0.003	0.0001	269.42	0.59749	0.00999
0.02171	3428	0.01	0.0001	135.91472	۶	0.1	0.01	0.0028	0.0001	269.46	0.60928	0.00992
0.02179	3407	0.01	0.0001	135.90385	۶	0.1	0.01	0.0027	0.0001	269.45	0.63965	0.00997
0.02191	3387	0.01	0.0001	135.91467	۶	0.1	0.01	0.0024	0.0001	269.51	0.65017	0.00995
0.02211	3366	0.01	0.0001	135.9521	۶	0.1	0.01	0.0022	0.0001	269.55	0.67708	0.00991

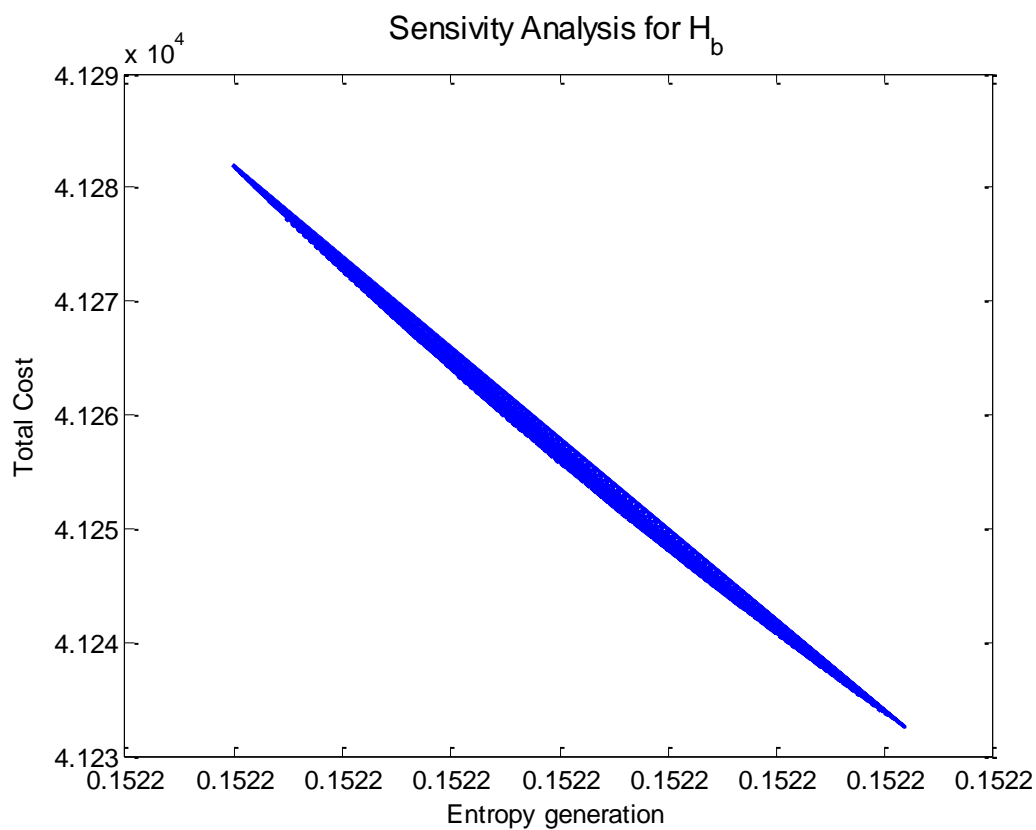
۴-۵ آنالیز حساسیت

در این پژوهش آنالیز حساسیت برای متغیرهای t_b و H_b انجام شد. هدف از انجام آنالیز

حساسیت بررسی اثر متغیرهای مستقل بر روی مقدار دو تابع هدف می‌باشد.



شکل (۵-۲) آنالیز حساسیت برای متغیر H_b



شکل (۳-۵) آنالیز حساسیت برای متغیر t_b

در واقع به کمک آنالیز حساسیت میزان وابستگی هر کدام از توابع هدف نسبت به آن متغیری که قرار است آنالیز شود محاسبه میگردد. همانطور که در دو شکل بالا مشاهده می کنید اثر تغییر متغیر t_b بر روی تابع هزینه کل بسیار کمتر از اثر آن بر روی تابع آنتروپی است. برای متغیر H_b نحوه اثر متفاوت است به عبارت دیگر اثر تغییر متغیر H_b بر روی تابع هزینه کل بسیار بیشتر از اثر آن بر روی تابع آنتروپی است.

۵-۵ نتیجه گیری

نرخ رشد آنتروپی و میزان هزینه تمام شده مبدل حرارتی، دو کمیتی هستند که همیشه سعی بر کمینه کردن آن‌ها وجود دارد. در این پژوهش بهینه‌سازی مبدل باتوجه به کمینه کردن هر دو از این توابع هدف انجام شد که مقادیر بهینه شده متغیرهای تصمیم‌گیری و توابع هدف در جدول قبل نشان داده شده است. در مبدل‌های حرارتی، برخی از پارامترهای طراحی اثرات متناقض بر روی نرخ انتقال حرارت و هزینه کل مبدل‌های حرارتی دارند. بنابراین بهینه‌سازی همزمان آنتروپی و هزینه کل لازم است. در این راستا الگوریتم ژنتیک را در جهت پیدا کردن متغیرهای بهینه مطلق برای بهینه‌سازی مبدل با این دو تابع هدف مهم به کار گرفتیم. در این تحقیق، بهینه‌سازی مبدل حرارتی با ۱۲ متغیر بهینه‌سازی شده است

۵-۶ پیشنهادات برای آینده

مسائل بهینه‌سازی را میتوان با توابع هدف متعددی مطرح کرد، به عنوان مثال میتوان از توابع هدف زیر بجای تابع هدف نرخ تولید آنتروپی نیز استفاده کرد

۱- انتخاب هزینه‌های جاری مبدل (هزینه پمپاژ سالیانه) در شرایط بهره‌برداری (هدف کمینه سازی)

۲- انتخاب هزینه کل (هزینه اولیه ساخت + هزینه‌های جاری) به عنوان تابع هدف بهینه سازی مبدل (هدف کمینه سازی)

۳- انتخاب راندمان حرارتی مبدل به عنوان تابع هدف (هدف بیشینه سازی)

۴- انتخاب هزینه ی اولیه ساخت مبدل به عنوان تابع هدف (این هزینه تابعی از مساحت

سطح مبدل میباشد) (هدف کمینه سازی)

۵- دو هدفه کردن م ساله ی بهینه سازی مبدل (ا استفاده از دو تابع هدف) به عنوان مثال تابع

هدف هزینه و تابع هدف راندمان حرارتی (هدف کمینه سازی تابع هدف اول و بیشینه

سازی تابع هدف دوم بصورت همزمان و ارائه جبهه ی پارتو زمانیکه که این دو هدف با

هم در تضادند)

۶- بکارگیری الگوریتم های دیگر مانند الگوریتم ژنتیک، الگوریتم کوچ پرندگان و ... در

فرایند مینیم سازی (بهینه سازی) مبدل های پوسته لوله

۷- استفاده از نانو سیال با خواص حرارتی بهتر در مساله ی بهینه سازی جهت افزایش و

بهبود راندمان حرارتی

۸- اجرایی کردن تمام موارد بالا برای مبدلهایی بجز مبدل پوسته - لوله

مراجع

- [١] M.Yilmaz, O.N.Sara, S.Karsli, Performance evaluation criteria for heat exchangers based on second law analysis, *Exergy, An International Journal* 1 (4) (2001) 278–294.
- [٢] A. Bejan, *Entropy Generation through Heat and Fluid Flow*, Wiley, New York, 1982.
- [٣] A. Bejan, *Entropy Generation Minimization*, CRC Press, New York, 1995.
- [٤] A. Bejan, A study of entropy generation in fundamental convective heat transfer, *ASME Journal of Heat Transfer* 101 (1979) 718–725.
- [٥] <http://www.irandama.com/fa/articles/detail348/%D9%85%D8%A8%D8%AF%D9%84%D8%AD%D8%B1%D8%A7%D8%B1%D8%AA%DB%8C-Heat-Exchanger>
- [٦] R.K. Sinnott, Coulson & Richarson's Chemical Engineering-Chemical Engineering Design, second ed., vol. 6, ButterWorth–Heinemann, Oxford, UK, 1996.
- [٧] K. Muralikrishna, U.V. Shenoy, Heat exchanger design targets for minimum area and cost, *Chemical Engineering Research and Design* 78 (2000) 161–167.
- [٨] A. Bejan, *Entropy Generation Through Heat and Flow*, Wiley, New York, 1982.

- [⁹] S. Aceves-Saborio, J. Ranasinghe, G.M. Reistad, An extension to the irreversibility minimization analysis applied to heat exchangers, ASME J. Heat Transfer 111 (1989) 29–36.
- [¹⁰] M.C. Tayal, Y. Fu, U.M. Diwekar, Optimum design of heat exchangers: a genetic algorithm framework, Industrial and Engineering Chemistry Research 38 (1999) 456–46
- [¹¹] W.F. Stoecker, Design of Thermal Systems, third ed., McGraw-Hill Book Company, Singapore, 1989.
- [¹²] Babu, B.V., Munawar, S.A. (2000), Differential evolution for the optimal design of heat exchangers, Proceedings of All-India Seminar on Chemical Engineering Progress on Resource Development: A Vision 2010 and Beyond, IE (I), Bhubaneswar.
- [¹³] Selbas R, Kızılkın O, Reppich M, 2006, A new design approach for shell-and-tube heat exchangers using genetic algorithms from economic point of view, Chemical Engineering and Processing 45 (2006)
- [¹⁴] J.V.C. Vargas, A. Bejan, D.L. Siems, Integrative thermodynamic optimization of the crossflow heat exchanger for an aircraft environmental control system, Transactions of the ASME 123 (August) (2001) 760–769.
- [¹⁵] U. Oğulatu, F. Doba, T. Yilmaz, Irreversibility analysis of cross flow heat exchangers, Energy Conversion and Management 41 (2000) 1585–1599.
- [¹⁶] F.O. Jegede, G.T. Polley, Optimum heat exchanger design, Chemical Engineering Research and Design 70 (A2) (1992) 133–141.

- [١٧] D.Q. Kern, Process Heat Transfer, McGraw-Hill, New York, 1950.
- [١٨] G.T. Polley, M.H.P. Panjeh Shahi, F.O. Jegede, Pressure drop considerations in the retrofit of heat exchanger networks, Chemical Engineering Research and Design 68 (1990) 211–220.
- [١٩] J. Taborek, Shell and Tube Heat Exchangers: Single Phase Flow, Heat Exchanger Design Handbook, Hemisphere Publishing Corp., Bristol, PA, 1983. Section 3.3.
- [٢٠] A.L. London, Economics and second law: an engineering view and methodology, International Journal of Heat and Mass Transfer 25 (6) (1982) 743–751.
- .
- [٢١] A.L. London, R.K. Shah, Cost of irreversibilities in heat exchanger design, Heat Transfer Engineering 4 (2) (1983) 50–73
- [٢٢] M. Serna, A. Jimenez, A compact formulation of the Bell–Delaware method for heat exchanger design and optimization, Chemical Engineering Research and Design 83 (A5) (2005) 539–550.
- [٢٣] M. Fesanghary, E. Damangir, I. Soleimani, Design optimization of shell and tube heat exchangers using global sensitivity analysis and harmony search algorithm, Appl. Therm. Eng. 29 (2009) 1026e1031.

- [୧୧] V.K. Patel, R.V. Rao, Design optimization of shell-and-tube heat exchanger using particle swarm optimization technique, *Appl. Therm. Eng.* 30 (2010) 1417e1425.
- [୧୨] A.S. Sahin, B. Kilic, U. Kilic, Design and economic optimization of shell and tube heat exchangers using Arti fi cial Bee Colony (ABC) algorithm, *Energy Convers. Manag.* 52 (2011) 3356e3362.
- [୧୩] N. Queipo, R. Devarakonda, J.A.C. Humphery, Genetic algorithms for thermosciences research: application to the optimized cooling of electronic components, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 37 (6) (1994) 893–908.
- [୧୪] J.V. Wolfersdorf, E. Achermann, B. Weigand, Shape optimization of cooling channels using genetic algorithms, *ASME Journal of Heat Transfer* 119 (1997) 380–388.
- [୧୫] G. Fabbri, A genetic algorithm for fin profile optimisation, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 40 (9) (1997) 2165–2172.
- [୧୬] G. Fabbri, Heat transfer optimisation in finned annular ducts under laminar flow conditions, *Heat Transfer Engineering* 19 (4) (1998) 42–54.
- [୧୭] G.N. Xie, B. Sunden, Q.W. Wang, Optimization of compact heat exchangers by a genetic algorithm, *Applied Thermal Engineering* 28 (8–9) (2008) 895–906.

- [३१] G.N. Xie, B. Sunden, Q.W. Wang, Optimization of compact heat exchangers by a genetic algorithm, *Applied Thermal Engineering* 28 (8–9) (2008) 895–906.
- [३२] M. Mishra, P.K. Das, S. Sarangi, Optimum design of crossflow plate-fin heat exchangers through genetic algorithm, *International Journal of Heat Exchanger* 5 (2) (2004) 379–402.
- [३३] M. Mishra, P.K. Das, Thermoeconomic design-optimisation of crossflow plate-fin heat exchanger using genetic algorithm, *International Journal of Exergy*, in press.
- [३४] P.D. Chauduri, U. Diwekar, J. Logsdon, An automated approach for the optimal design of heat exchangers. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 36 (2010) 3685e3693.
- [३५] Y. Ozcelik, Exergetic optimization of shell-and-tube heat exchanger using a genetic based algorithm. *Applied Thermal Engineering* 27 (2011) 1849e1856
- [३६] A.C. Caputo, P.M. Pelagagge, P. Salini, Heat exchanger design based on economic optimization. *Applied Thermal Engineering* 28 (2012) 1151e1159.
- [३७] I. Ozkol, G. Komurgoz, Determination of the optimum geometry of the heat exchanger body via a genetic algorithm. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 48 (2012) 283e296.

- [٣٨] R. Hilbert, G. Janiga, R. Baron, D. Thevenin, Multi objective shape optimization of a heat exchanger using parallel genetic algorithm. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 49 (2013) 2567e2577.
- [٣٩] J.M. Ponce-Ortega, M. Serna-Gonzalez, A. Jimenez-Gutierrez, Design and optimization of multipass heat exchangers. *Chemical Engineering and Processing* 47 (2014) 906e913.
- [٤٠] Rao R. V., Patel V. K., “Thermodynamic Optimization of Cross Flow Plate-Fin Heat Exchanger using a Particle Swarm Optimization Algorithm”, *Int. J. Therm. Sci.*, Vol. 49, No. 9, 2014, pp. 1712-1721.
- [٤١] M.C. Tayal, Y. Fu, U.M. Diwekar, Optimum design of heat exchangers: a genetic algorithm framework, *Industrial and Engineering Chemistry Research* 38 (1999) 456–46
- [٤٢] W.F. Stoecker, *Design of Thermal Systems*, third ed., McGraw-Hill Book Company, Singapore, 1989.
- [٤٣] Babu, B.V., Munawar, S.A. (2000), Differential evolution for the optimal design of heat exchangers, *Proceedings of All-India Seminar on Chemical Engineering Progress on Resource Development: A Vision 2010 and Beyond*, IE (I), Bhubaneswar.
- [٤٤] Selbas R, Kızılkın O, Reppich M, 2006, A new design approach for shell-and-tube heat exchangers using genetic algorithms from economic point of view, *Chemical Engineering and Processing* 45 (2006)

- [٤٥] J.V.C. Vargas, A. Bejan, D.L. Siems, Integrative thermodynamic optimization of the crossflow heat exchanger for an aircraft environmental control system, Transactions of the ASME 123 (August) (2001) 760–769.

- [٤٦] F.O. Jegede, G.T. Polley, Optimum heat exchanger design, Chemical Engineering Research and Design 70 (A2) (1992) 133–141.

- [٤٧] D.Q. Kern, Process Heat Transfer, McGraw-Hill, New York, 1950.

- [٤٨] G.T. Polley, M.H.P. Panjeh Shahi, F.O. Jegede, Pressure drop considerations in the retrofit of heat exchanger networks, Chemical Engineering Research and Design 68 (1990) 211–220.

- [٤٩] J. Taborek, Shell and Tube Heat Exchangers: Single Phase Flow, Heat Exchanger Design Handbook, Hemisphere Publishing Corp., Bristol, PA, 1983. Section 3.3.

- [٥٠] M. Serna, A. Jimenez, A compact formulation of the Bell–Delaware method for heat exchanger design and optimization, Chemical Engineering Research and Design 83 (A5) (2005) 539–550.

- [٥١] M. Fesanghary, E. Damangir, I. Soleimani, Design optimization of shell and tube heat exchangers using global sensitivity analysis and harmony search algorithm, Appl. Therm. Eng. 29 (2009) 1026e1031.

- [٥٢] V.K. Patel, R.V. Rao, Design optimization of shell-and-tube heat exchanger using particle swarm optimization technique, Appl. Therm. Eng. 30 (2010) 1417e1425.

- [٥٣] A.S. Sahin, B. Kilic, U. Kilic, Design and economic optimization of shell and tube heat exchangers using Artificial Bee Colony (ABC) algorithm, *Energy Convers. Manag.* 52 (2011) 3356–3362.
- [٥٤] N. Queipo, R. Devarakonda, J.A.C. Humphery, Genetic algorithms for thermosciences research: application to the optimized cooling of electronic components, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 37 (6) (1994) 893–908.
- [٥٥] J.V. Wolfersdorf, E. Achermann, B. Weigand, Shape optimization of cooling channels using genetic algorithms, *ASME Journal of Heat Transfer* 119 (1997) 380–388.
- [٥٦] G. Fabbri, A genetic algorithm for fin profile optimisation, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 40 (9) (1997) 2165–2172.
- [٥٧] G. Fabbri, Heat transfer optimisation in finned annular ducts under laminar flow conditions, *Heat Transfer Engineering* 19 (4) (1998) 42–54.
- [٥٨] Mitchell, M., 1998. *An Introduction to Genetic Algorithms*. Published by: A Bradford Book, 221 p.
- [٥٩] Holland, J.H., 1975. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan Press (Ann Arbor).

- [٩٠] Michalewicz, Z., 1992. Genetic Algorithms + Data structures = Evolution Programs, Springer-Verlag, Berlin, 250 p.
- [٩١] <http://www.intechopen.com/books/convergence-and-hybrid-information-technologies/parameters-determination-for-optimum-design-by-evolutionary-algorithm>
- [٩٢] Reformat, M., 1997. Application of Genetic Algorithms in Control Design for Advanced Static VAR Compensator at ac/dc Interconnection. University of Manitoba Press, 129 p.
- [٩٣] Milidiu, R.L., Duarte, J.C., Santos, C.N., 2007. Evolutionary TBL template generation, J. Braz. Comp. Soc., Vol. 13, No. 4, pp. 39-50.
- [٩٤] Frank P. Incropera and David P. DeWitt, Fundamental of heat and mass transfer.
- [٩٥] Manish Mishra, P.K. Das and Sunil Sarangi, Second law based optimization of crossflow plate-fin heat exchanger design using genetic algorithm, Applied Thermal Engineering, V. 29, 2983–2989, 2009.
- [٩٦] Hamidreza Najafi , Behzad Najafi and Pooya Hoseinpouri, Energy and cost optimization of a plate and fin heat exchanger using genetic Algorithm, Applied Thermal Engineering, V. 31, Pp: 1839-1847, 2011.

Abstract

Obtain the minimum available energy losses is the purpose of the exergy analysis of heat exchangers. The work of the heat exchanger is the exchange of heat between two fluids. The Two basic mechanisms of exergy destruction, or the same entropy generation factors, are heat transfer due to temperature difference and pressure drop. The performance of the two phenomena is such that most of the reduction in one causes another to increase. This research seeks to find the optimal ratio of these two mechanisms in the heat exchanger, in such a way that the total entropy production and total cost during the process are minimized. In the last two decades, the design has attracted the attention of many scholars according to the combination of the first and second law of thermodynamics. Based on the concept of entropy, several different objective functions (indicators) can be defined for the optimization of the efficiency of the converters. Each of these indicators has their own constraints and properties.

In this research, optimization of plate heat exchanger with the choice of the main geometric dimensions (as decision variable) includes: number of fin rows, number of fins per unit length, converter length, fin length, thickness and height of fin for cold and hot fluid parts, and the mass percentage of the nano-silver begins. Each given combination of these parameters provides a special set of values for the generation of entropy and the cost of heat exchangers. The aim of using optimization methods is to find the best possible combination, so that according to the needs of the consumer, the operating conditions, constraints and efficiency of the heat exchangers, the minimum entropy production and the lowest total cost are taken into account. Obviously, at the stage of optimizing the converter, the expressed requirements and constraints in the standards (eg, the allowable drop in the hot and cold side of the converter) must also be gratified.

In order to evaluate the modeling results, simulation output was compared with the available data in the heat exchanger data. For a better comparison, the same input values were taken. The modeling results are in best agreement with the values in the data set, and the modeling error rate is less than 9%. These two objective functions (entropy and costly) are considered as dependent variables and ultimately minimize the use of two-objective genetic algorithms. It should be noted that the results showed that decreasing entropy production rates would lead to an increase in overall costs and vice versa. But we have to use a multi-objective optimization method like the genetic algorithm for a plate heat exchanger.

Keywords: Exergy destruction, thermodynamics, geometric dimensions, multi-objective optimization



Energy Institute For Higher Education

Faculty Of Engineering

Department Of Energy System Engineering – Energy Systems

Thesis For

Degree Of Master Of Science (M.Sc)

Title:

two-objective thermal regeneration modeling of
Tehran refinery with the help of multi-purpose
genetic algorithm based on the second law of
thermodynamics using nanofluid

Supervisor:

Mr Dr mirzaee

Advisor:

Mr.Dr madah

By:

mahroo moein qara

summer 96