دانشکده مهندسی مکانیک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

گرایش تبدیل انرژی

بهینه‌سازی دو هدفه افزایش نرخ انتقال حرارت و کاهش هزینه کلی در مبادله‌کن‌های حرارتی پوسته‌لوله‌ای توسط الگوریتم ژنتیک

نگارنده: محسن امینی

استاد راهنما: دکتر مجید بازارگان

بهمن ۹۱

بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم

تقدیم به پدر و مادر

به پاس تعبیر عظیم و انسانی‌شان از کلمه ایثار و از خود گذشتگی، به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است. به پاس قلب‌های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می‌گراید و به پاس محبت‌های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی‌کند. این پایان‌نامه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می‌کنم.

تقدیر و تشکر

خداوند عالم را به خاطر ارزانی داشتن قدرت اندیشدن و قدرت آموختن ذره‌ای از علم بی‌کرانش سپاسگزارم. به مصداق اینکه هر که شکر بندگان خداوند را به جای نیاورد، شکر خداوند را به جای نیاورد، از زحمات استاد راهنمای اینجانب، جناب آقای دکتر مجید بازارگان که در تمامی مراحل به ثمر رسیدن این پروژه همیاری نمودند تشکر می‌نمایم.

چکیده

در این پژوهش، بهینه‌سازی دو هدفه مبادله‌کن‌های حرارتی پوسته‌لوله‌ای به منظور افزایش نرخ انتقال حرارت و کاهش همزمان هزینه کلی، توسط الگوریتم ژنتیک انجام شده است. برای محاسبه ضریب انتقال حرارت و همچنین محاسبه افت فشار سمت پوسته مبادله‌کن، از روش بل دلاور[1] استفاده شده است. برای محاسبه نرخ انتقال حرارت، از روش های ε-NTU و P-NTU استفاده شده است. در سه مطالعه موردی، قیدهای مربوط به هندسه‌ها و استانداردهای انجمن سازندگان مبادله‌کن-های حرارتی لوله‌ای[2]، قیدهای مربوط به سرعت جریان‌ها و قیدهای مربوط به حداکثر افت فشارها در فرایند بهینه‌سازی رعایت شده‌اند. در هر سه مطالعه موردی، یازده متغیر و در قسمتی از مطالعه موردی اول، دوازده متغیر در فرایند بهینه‌سازی دخالت داده شده است. در نظر گرفتن این تعداد متغیر برای توابع هدف مذکور، در ادبیات موجود برای این کار سابقه ندارد. در مقایسه‌ای که بین طراحی بهینه ارایه شده در این پژوهش با سایر پژوهش‌های مشابه انجام شده است، افزایش در نرخ انتقال حرارت و کاهش هزینه کلی حاصل گردیده است.

کلمات کلیدی: بهینه‌سازی دو هدفه، مبادله‌کن حرارتی پوسته‌لوله‌ای، الگوریتم ژنتیک.

[1] Bell Dellaware
[2] TEMA

فهرست مطالب

فصل۱ ۱

مقدمه و مروری بر کارهای انجام شده ۱

۱-۱. مقدمه ۲

۱-۲. مروری بر کارهای انجام شده ۴

۱-۳. اهداف این پایان نامه ۸

فصل۲ ۱۰

مبادله‌کن‌های حرارتی پوسته لوله‌ای و روابط حاکم ۱۰

۲-۱. مقدمه ۱۱

۲-۱. شرح اجزای مبادله‌کن حرارتی پوسته لوله‌ای ۱۲

۲-۱-۱. انواع پوسته در استاندارد تی ایی ام ای ۱۲

۲-۱-۲. انواع سرهای عقبی و سرهای جلویی در استاندارد تی ای ام ای ۱۳

۲-۱-۳. دسته لوله‌ها ۱۴

۲-۱-۴. بافل‌ها ۱۵

۲-۱-۵. نوارهای آب بندی ۱۷

۲-۲. روش‌های افزایش نرخ انتقال حرارت ۱۸

۲-۲-۱. افزایش ضریب انتقال حرارت کلی ۱۸

۲-۲-۲. افزایش سطح انتقال حرارت ۱۹

۲-۲-۳. افزایش ضریب اختلاف دمای لگاریتمی ۱۹

۲-۲-۴. افزایش ضریب تصحیح اختلاف دمای لگاریتمی ۲۰

۲-۳. محاسبه ضریب انتقال حرارت و افت فشار در مبادله‌کن‌های حرارتی پوسته لوله‌ای ۲۰

۲-۳-۱. محاسبه ضریب انتقال حرارت جابجایی سمت پوسته ۲۰

۲-۳-۲. محاسبه افت فشار درون پوسته ۲۴

۲-۳-۳. محاسبه ضریب انتقال حرارت جابجایی درون لوله ها ۳۲

۲-۳-۴. محاسبه افت فشار درون لوله‌ها ۳۳

۲-۴. محاسبه نرخ انتقال حرارت در روش‌های ε-NTU و P-NTU ۳۶

۲-۵. محاسبه هزینه کلی ۴۱

۲-۶. قیدها و استانداردها ۴۲

فصل۳ **۴۸**

بهینه‌سازی توسط الگوریتم ژنتیک **۴۸**
۳-۱. مقدمه ۴۹
۳-۲. اندازه جمعیت ۵۱
۳-۳. تابع انتخاب ۵۲
۳-۴. تولید مثل ۵۲
۳-۵. تابع ترکیب ۵۲
۳-۶. تابع جهش ۵۳
۳-۷. مقایسه نقاط پارتو در تعداد جمعیت‌های مختلف ۵۳
۳-۸. مقایسه نقاط پارتو در جمعیت اولیه با نقاط پارتو در حالت همگرا شده..... ۵۶

فصل۴ **۵۷**

بررسی نتایج **۵۷**
۴-۱. مطالعه موردی اول.....۵۸
۴-۱-۱. بهینه‌سازی مطالعه موردی اول با یازده متغیر..... ۶۷
۴-۱-۲. بهینه‌سازی مطالعه موردی اول با دوازده متغیر ۷۰
۴-۱-۳. بحث در نتایج مطالعه موردی اول ۷۲
۴-۲. مطالعه موردی دوم ۷۴
۴-۲-۱. نتایج حاصل از بهینه‌سازی مطالعه موردی دوم..... ۷۴
۴-۲-۲. بحث در نتایج مطالعه موردی دوم ۷۶
۴-۳. مطالعه موردی سوم..... ۷۷
۴-۳-۱. نتایج حاصل از بهینه‌سازی مطالعه موردی سوم ۷۸
۴-۳-۲. بحث در نتایج مطالعه موردی سوم ۸۰

فصل۵ **۸۲**

نتیجه‌گیری و پیشنهادها **۸۲**
۵-۱. نتایج ۸۳
۵-۲. پیشنهادها..... ۸۴
مراجع.....۸۶

فهرست شکل‌ها

شکل۲-۱. نمایی از یک مبادله‌کن حرارتی پوسته لوله‌ای با پوسته نوع E و دسته لوله U شکل ۱۱

شکل۲-۲. انواع مختلف پوسته ها در استاندارد تی ایی ام ای ۱۳

شکل۲-۳. انواع متفاوت سرهای جلویی و عقبی در استاندارد تی ای ام ای ۱۴

شکل۲-۴. نمایی از سه نوع چیدمان استاندارد دسته لوله‌ها ۱۵

شکل۲-۵. نمایی از بافل‌های تکه‌ای ۱۶

شکل۲-۶. نمایی از بافل‌های دیسکی و رینگی ۱۶

شکل۲-۷. نمایی از بافل‌های میله‌ای ۱۷

شکل۲-۸. نمایی از بافل‌های مارپیچ ۱۷

شکل۲-۹. نمایی از نوارهای آب‌بندی به کار گرفته شده درون مبادله‌کن‌های حرارتی پوسته‌لوله‌ای ۱۸

شکل۲-۱۰. نحوه تاثیر جهت جریان‌های درون مبادله‌کن بر روی توزیع دما ۲۰

شکل۲-۱۱. نمایی از وضعیت جریان درون پوسته ۲۲

شکل۲-۱۲. توزیع دمای به وجود آمده در اثر وجود نشتی درون پوسته ۲۲

شکل۲-۱۳. تقسیم بندی پوسته در روش بل دلاور برای محاسبه افت فشار سمت پوسته ۲۵

شکل۲-۱۴. برشی از یک قطر پوسته با جزییات ۲۸

شکل۲-۱۵. نحوه تغییر فشار درون لوله‌ها ۳۳

شکل۲-۱۶. ضرایب k_c و k_e مربوط به افت فشار در ورود و خروج از لوله‌ها ۳۶

شکل۲-۱۷. توزیع دمای درون مبادله‌کن، هنگامی که مساحت سطح بینهایت باشد ۳۸

شکل۲-۱۸. رابطه بین ε و NTU و C* ۳۹

شکل۲-۱۹. تاثیر برش بافل بر روی جریان درون پوسته ۴۳

شکل۳-۱. نمای پارتوی حاصل از تعداد جمعیت ۱۵۰ کروموزم در ۲ بار اجرای الگوریتم ژنتیک ۵۴

شکل۳-۲. نمای پارتوی حاصل از تعداد جمعیت ۳۰۰ کروموزم در ۲ بار اجرای الگوریتم ژنتیک ۵۴

شکل۳-۳. نمای پارتوی حاصل از تعداد جمعیت ۴۵۰ کروموزم در ۲ بار اجرای الگوریتم ژنتیک ۵۵

شکل۳-۴. نمای پارتوی حاصل از تعداد جمعیت ۶۰۰ کروموزم در ۲ بار اجرای الگوریتم ژنتیک ۵۵

شکل۳-۵. مقایسه نقاط پارتو در حالت همگرا شده با نقاط پارتو در جمعیت اولیه ۵۶

شکل۴-۱. تاثیر گام لوله‌ها بر روی توابع هدف ۵۹

شکل۴-۲. تاثیر نوع چیدمان لوله ها بر روی توابع هدف ۶۰

شکل۴-۳. تاثیر طول لوله‌ها بر روی توابع هدف ۶۱

شکل۴-۴. تاثیر نسبت فاصله بافل بر روی توابع هدف ۶۲

شکل۴-۵. تاثیر درصد برش بافل بر روی توابع هدف ۶۲

شکل۴-۶. تاثیر تعداد گذر لوله‌ها بر روی توابع هدف ۶۳
شکل۴-۷. تاثیر قطر لوله‌ها بر روی توابع هدف ۶۴
شکل۴-۸. تاثیر تعداد لوله‌ها بر روی توابع هدف ۶۵
شکل۴-۹. تاثیر تعداد نوارهای آب‌بندی بر روی توابع هدف ۶۶
شکل۴-۱۰. تاثیر محل قرارگیری سیال‌ها بر روی توابع هدف ۶۶
شکل۴-۱۱. تاثیر دبی جرمی آب خنک کننده بر روی توابع هدف ۶۷
شکل۴-۱۲. نمای پارتوی مربوط به مطالعه موردی اول با ۱۱ متغیر بهینه‌سازی ۶۸
شکل۴-۱۳. نمای پارتوی مربوط به مطالعه موردی اول با ۱۲ متغیر بهینه‌سازی ۷۰
شکل۴-۱۴. مقایسه نمای پارتو در مثال ۲ با نمای پارتو در مثال ۱ ..... ۷۳
شکل۴-۱۵. رابطه بین ε و NTU و C^* در مطالعه موردی اول ۷۳
شکل۴-۱۶. نمای پارتوی مربوط به مطالعه موردی دوم ۷۵
شکل۴-۱۷. رابطه بین ε و NTU در مطالعه موردی دوم ۷۷
شکل۴-۱۸. نمای پارتوی مربوط به مطالعه موردی سوم ۷۹

فهرست جدول‌ها

جدول۲-۱. ضرایب تصحیح برای ضریب انتقال حرارت سمت پوسته ۲۳
جدول۲-۲. ثابتهای مورد نیاز برای محاسبه j_{id} و f_{id} ۲۴
جدول۲-۳. ضرایب تصحیح برای افت فشار درون پوسته ۲۸
جدول۲-۴. مشخصات چیدمانها ۳۵
جدول۴-۱. خواص سیالهای مربوط به مطالعه موردی اول ۵۸
جدول۴-۲. مقادیر متغیرهای بهینه در مطالعه موردی اول با ۱۱ متغیر بهینهسازی ۶۹
جدول۴-۳. مقادیر متغیرهای بهینه در مطالعه موردی اول با ۱۲ متغیر بهینهسازی ۷۱
جدول۴-۴. خواص سیال ها در مطالعه موردی دوم ۷۴
جدول۴-۵. مقایسه نتایج بهینه مطالعه موردی دوم با نتایج مرجع ۷۵
جدول۴-۶. مقادیر متغیرهای بهینه در مطالعه موردی دوم. ۷۶
جدول۴-۷. خواص سیالها در مطالعه موردی سوم ۷۸
جدول۴-۸. مقادیر متغیرهای بهینه در مطالعه موردی سوم ۸۰

فهرست علامت‌ها و اختصارات

A_o	مساحت سطح انتقال حرارت کلی
$A_{o,cr}$	مساحت سطح عبوری جریان بین دو بافل در مرکز پوسته
$A_{o,t}$	کل مساحت سطح مقطع لوله‌ها در یک گذر
C_{in}	هزینه اولیه مبادله‌کن
C_L	ثابت مربوط به جانمایی لوله
C_{max}	بیشترین مقدرار حاصل‌ضرب دبی جرمی در ظرفیت حرارتی بین دو سیال
C_{min}	کمترین مقدار حاصل‌ضرب دبی جرمی در ظرفیت حرارتی بین دو سیال
C_{op}	هزینه جاری مبادله‌کن
cp_s	ظرفیت حرارتی ویژه سیال سمت پوسته
cp_t	ظرفیت حرارتی ویژه سیال سمت لوله
C_{total}	هزینه کلی مبادله‌کن
C_{TP}	ثابت مربوط به شمار لوله
d_i	قطر درونی لوله‌ها
d_o	قطر بیرونی لوله‌ها
D_s	قطر پوسته
f	ضریب اصطکاک سمت لوله
F	ضریب تصحیح اختلاف دمای لگاریتمی
h_i	ضریب انتقال حرارت جابجایی درون لوله
h_{id}	ضریب انتقال حرارت جابجایی در جریان کاملا ایده‌آل بر روی دسته لوله‌ها
h_o	ضریب انتقال حرارت جابجایی درون پوسته
j_b	فاکتور تصحیح ضریب انتقال حرارت سمت پوسته برای اثرات جریان‌های کنارگذر
j_c	فاکتور تصحیح ضریب انتقال حرارت سمت پوسته مربوط به برش بافل‌ها و فاصله بافل‌ها
j_{id}	ضریب کلبرن[3] برای دسته لوله ایده‌آل
j_l	فاکتور تصحیح ضریب انتقال حرارت سمت پوسته برای اثرات نشتی دیوارک
j_r	فاکتور تصحیح ضریب انتقال حرارت سمت پوسته برای اثرات رینولدز
j_s	فاکتور تصحیح ضریب انتقال حرارت برای فاصله متغیر بافل‌ها در ورود و خروج جریان پوسته
K_c	ضریب تلفات انقباضی در ورود جریان به لوله‌ها
K_e	ضریب تلفات انبساطی در خروج جریان از لوله‌ها
K_s	ضریب هدایت حرارتی سیال سمت پوسته
K_t	ضریب هدایت حرارتی سیال سمت لوله
K_w	ضریب هدایت حرارتی لوله

[3] colburn

L	طول لوله
L_{bc}	فاصله بافل‌های میانی
L_{bi}	فاصله بافل‌ها در ورودی جریان سمت پوسته
L_{bo}	فاصله بافل‌ها در خروجی جریان سمت پوسته
L_c	برش بافل
m_c	دبی جرمی سیال سرد
m_h	دبی جرمی سیال گرم
m_s	دبی جرمی سیال سمت پوسته
m_t	دبی جرمی سیال سمت لوله
N_b	تعداد بافل‌ها
n_p	تعداد گذرها
$N_{r,cc}$	تعداد ردیف لوله‌ها در جریان متقاطع بین بافل‌ها
$N_{r,cw}$	تعداد موثر ردیف لوله‌ها در جریان متقاطع در ناحیه پنجره
N_t	تعداد لوله‌ها
NTU	تعداد واحدهای انتقال
Nu_t	عدد ناسلت جریان سمت لوله
PR	نسبت گام لوله به قطر لوله
pr_t	عدد پرانتل سیال سمت لوله
Q_{max}	بیشترین نرخ انتقال حرارت امکان‌پذیر برای سیال‌های ورودی به مبادله‌کن حرارتی
R_b	فاکتور تصحیح افت فشار درون پوسته برای جریان‌های کنارگذر
Re_t	عدد رینولدز جریان سمت لوله
R_{if}	ضریب رسوب جریان سمت لوله
R_l	فاکتور تصحیح افت فشار درون پوسته برای اثرات نشتی دیوارک
R_{of}	ضریب رسوب جریان سمت پوسته
R_s	فاکتور تصحیح افت فشار درون پوسته برای اثرات ابتدایی و انتهایی مبادله‌کن
$T_{c,i}$	دمای ورودی سیال سرد
$T_{h,i}$	دمای ورودی سیال گرم
U_o	ضریب انتقال حرارت کلی
v_s	سرعت جریان سمت پوسته
v_t	سرعت جریان سمت لوله
C^*	نسبت حاصل‌ضرب ظرفیت حرارتی در دبی جرمی بین دو سیال
δ_{sb}	فاصله لقی بین پوسته و بافل
δ_{tb}	فاصله لقی بین لوله و بافل
$\Delta p_{b,id}$	افت فشار در دسته لوله ایده‌آل بین بافل‌های میانی

Δp_s	افت فشار سمت پوسته
$\Delta p_{s,max}$	بیشترین افت فشار مجاز سمت پوسته
Δp_t	افت فشار سمت لوله
$\Delta p_{t,max}$	بیشترین افت فشار مجاز سمت لوله
$\Delta p_{w,id}$	افت فشار در دسته لوله معادل در ناحیه پنجره
ΔT_{LMTD}	اختلاف دمای متوسط لگاریتمی
$E_{\Delta p}$	توان مصرفی الکتروپمپ
ϵ	بازده حرارتی
μ_s	ویسکوزیته دینامیکی سیال سمت پوسته
$\mu_{s,w}$	ویسکوزیته دینامیکی سیال سمت پوسته در دمای دیواره
μ_t	ویسکوزیته دینامیکی سیال سمت لوله
ρ_s	چگالی سیال سمت پوسته
ρ_t	چگالی سیال سمت لوله
σ	نسبت حداقل مساحت سطح مقطع جریان به مساحت سطح جلویی

فصل۱

مقدمه و مروری بر کارهای انجام شده

۱-۱. مقدمه

امروزه علاوه بر اینکه باید به فکر منابع جدید برای به دست آوردن انرژی بود، باید در تبدیلاتی که در فرایندهای انتقال انرژی صورت می‌گیرد، تلاش کرد تا از بیشترین پتانسیل‌ها برای بهبود کارایی سیستم‌ها و کاهش هزینه‌های آن‌ها بهره برد. از ابزارهای مهم انتقال انرژی حرارتی، می‌توان مبادله-کن‌های حرارتی را نام برد. مبادله‌کن‌های حرارتی به منظور تبادل حرارت بین دو محیط عمدتا سیالی به کار گرفته می‌شوند و بسته به شرایط کاریشان، با پیکربندی‌های متفاوتی در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. مبادله‌کن‌های حرارتی پوسته لوله‌ای یکی از این پیکربندی‌ها می‌باشند که توانایی عمل کردن در بازه گسترده‌ای از شرایط دمایی و فشاری را دارا می‌باشند. همچنین به علت داشتن سطح انتقال حرارت کافی در واحد حجم، بخش وسیعی از نیازها برای انتقال انرژی حرارتی را پوشش داده‌اند. برای افزایش نرخ انتقال حرارت، تکنیک‌های مختلفی می‌توانند همزمان به کار گرفته شوند. با توجه به رابطه کلی نرخ انتقال حرارت جابجایی درون مبادله‌کن حرارتی، که به صورت $Q = U_o \times A_o \times F \times \Delta T_{LMTD}$ می‌باشد، افزایش در هر کدام از پارامترهای ضریب انتقال حرارت کلی، مساحت سطح انتقال حرارت، اختلاف دمای متوسط لگاریتمی و ضریب تصحیح اختلاف دما، می‌تواند برای افزایش نرخ انتقال حرارت به کار گرفته شود. مخالف جهت کردن جهت حرکت دو سیال نسبت به هم، منجر به بهره بردن بیشتر از پتانسیل اختلاف دما در انتقال حرارت جابجایی می‌شود. دسته لوله‌ها در افزایش مساحت سطح انتقال حرارت در واحد حجم نقش مهمی دارند. بافل‌ها در عرضی کردن جریان بر روی دسته لوله‌ها و بنابراین در افزایش ضریب انتقال حرارت جابجایی در سمت پوسته نقش دارند.

بسیاری از تکنیک‌هایی که برای افزایش ضریب انتقال حرارت جابجایی به کار برده می‌شوند، با افزایش سرعت جریان سیال و یا ایجاد اغتشاش‌هایی در جریان سیال تامین می‌شوند. افزایش سرعت جریان سیال و ایجاد اغتشاش در جریان سیال به نوبه خود باعث افزایش بیشتر افت فشار جریان سیال و در نتیجه افزایش هزینه پمپ کردن جریان سیال می‌شوند. از آنجا که هزینه اولیه نیز به مساحت سطح انتقال حرارت بستگی دارد، اغلب پارامترهای مورد نیاز برای افزایش نرخ انتقال حرارت و تامین

مقدار انتقال حرارت مورد نیاز، با افزایش هزینه کلی همراه می‌شوند. این امر، لزوم بهینه‌سازی پارامترهای موثر در یک مبادله‌کن را یادآور می‌گردد به نحوی که بتوان با صرف کم‌ترین هزینه، بیش-ترین نرخ انتقال حرارت را تامین نمود. محاسبات ساده، به طور موثر قادر به یافتن مقادیر بهینه متغیرها برای این اهداف نمی‌باشند، و ممکن است، ضمن اینکه از تمامی پتانسیل‌ها برای بالا بردن نرخ انتقال حرارت به درستی استفاده نکنند، منجر به افزایش بی مورد هزینه‌ها نیز بشوند.

رابطه پیچیده بین توابع هدف و متغیرهای بهینه‌سازی باعث می‌شود که الگوریتم‌های مبتنی بر مشتق‌گیری، برای فرایند بهینه‌سازی کارایی لازم را نداشته باشند. همچنین تعداد زیاد متغیرها بر وسعت بهینه‌های محلی می‌افزاید و احتمال قرار گرفتن در بهینه‌های محلی را برای این الگوریتم‌ها و سایر الگوریتم‌های کلاسیک تشدید می‌کند. الگوریتم‌های تکاملی که در چند دهه اخیر توسعه یافته-اند، کارایی مناسبی برای بهینه‌سازی‌های پیچیده از خود نشان داده‌اند. الگوریتم ژنتیک از جمله الگوریتم‌های تکاملی بوده که به صورت همزمان چندین جواب مختلف تحت عنوان جمعیت را برای توابع هدف در نظر می‌گیرد و جواب‌های مناسب‌تر را طی یک سری قواعد تکاملی، تکامل می‌دهد و طی یک سری قواعد از موضعی شدن فرایند جستجو جلوگیری می‌کند.

اصول عملگرهای به کار گرفته شده در الگوریتم ژنتیک، الهام گرفته از فرایندهای موجود در تکامل‌های زیستی می‌باشند. مدل‌سازی تکامل زیستی در الگوریتم ژنتیک بدین صورت است که تکامل‌های واقع در طبیعت، با مینیمم سازی تابع هدف، هم ارز و مدل شده است و عملگرهای به کار گرفته شده در الگوریتم ژنتیک، سعی دارند که روند غالب شدن ژن‌ها بر همدیگر به منظور تکامل در دنیای زیستی را با غالب شدن مقدارهای بهینه متغیرها به منظور مینیمم سازی توابع هدف در دنیای محاسباتی مدل کنند.

در این پژوهش در پایان فرایند بهینه‌سازی، نرخ های متفاوت انتقال حرارت بر حسب مقادیر هزینه کلی مربوطه، به صورت یک نمای پارتو[1] نشان داده می‌شود. نمای پارتو، نموداری است که مقادیر بهینه دو تابع هدف نسبت به هم را در بهینه‌سازی دو هدفه نشان می‌دهد. متغیرهای مربوط به هر نقطه پارتو در این پژوهش، متغیرهایی می‌باشند که تمامی قیدهای هندسی، استانداردها، قیدهای

[1] Pareto front

مربوط به سرعت جریان‌ها و قیدهای مربوط به حداکثر افت فشارها را رعایت کرده اند. مقادیر به‌دست آمده برای این متغیرها تضمین کننده آن می‌باشند که برای هر نرخ انتقال حرارتی که در تابع هدف مربوط به این نقطه پارتو موجود است، کمترین هزینه کلی را که در فضای حل موجود بوده فراهم کرده اند. سازنده مبادله‌کن می‌تواند با استفاده از نرخ انتقال حرارت مورد نیاز، نقطه پارتوی حاوی این نرخ انتقال حرارت را انتخاب‌کند و سپس با استفاده از مقادیر متغیرهای مربوط به نقطه پارتوی انتخاب شده که در نتایج آورده شده است، اقدام به ساخت آن مبادله‌کن حرارتی نماید.

در این پژوهش کوشش شده است که اهم متغیرهای تاثیرگذار بر توابع هدف، در فرایند بهینه-سازی وارد گردند. بدین منظور، یازده متغیر که تاثیرگذار بودن آن‌ها در یک آنالیز حساسیت مشخص شده است، در فرایند بهینه‌سازی وارد گریده‌اند. افزون بر این یازده متغیر، در بخشی از اولین مطالعه موردی در نظر گرفته شده، جرم آب دریا نیز به عنوان دوازدهمین متغیر جهت بهینه‌سازی دخالت داده شده است و نتایج نیز ارایه شده‌اند.

۱-۲. مروری بر کارهای انجام شده

بخشی از اولین پژوهش‌هایی که در زمینه مبادله‌کن‌های حرارتی پوسته‌لوله‌ای صورت پذیرفته است، مربوط به تحلیل جریان پیچیده در سمت پوسته مبادله‌کن حرارتی بوده است. در این زمینه، کرن[۱]، رابطه‌ای برای محاسبه ضریب انتقال حرارت جابجایی و افت فشار سمت پوسته ارایه داد. این رابطه، محاسبات ساده‌ای دارد و بسیاری از شرایط واقعی را که در جریان پیچیده سمت پوسته رخ می‌دهد محاسبه نمی‌کند. پس از آن، تینکر[۲]، یک مدل واقعی از وضعیت خطوط جریان در سمت پوسته ارایه کرد که جریان‌های نشتی بین لوله‌ها و بافل و بین پوسته و بافل را نشان می‌داد. بل دلاور[۳]، از مفاهیم مدل ارایه شده توسط تینکر استفاده کرد. وی نتایج حاصل از انجام آزمایش‌های بسیار گسترده‌ای را که بر روی جریان در سمت پوسته مبادله‌کن انجام داده بود توسط نمودارهایی ارایه نمود. افت فشار سمت پوسته و ضریب انتقال حرارت سمت پوسته، از این نمودارها قابل محاسبه

است. تبرک[۴]، با استفاده از برهم‌نهی از روی نمودارهای ارایه شده توسط بل دلاور، روابطی را استخراج کرد که با استفاده از این روابط، محاسبات سمت پوسته مبادله‌کن را می‌توان به صورت دستی یا کامپیوتری انجام داد. این روابط به روابط بل‌دلاور مشهور شده‌اند.

در یکی دو دهه اخیر، پژوهش‌هایی به بهینه‌سازی مبادله‌کن‌های حرارتی پوسته‌لوله‌ای اختصاص یافته است. از این میان می‌توان به مواردی که در ادامه می‌آید اشاره کرد. سلباس و همکاران[۵]، پژوهشی در ارتباط با بهینه‌سازی مبادله‌کن حرارتی پوسته‌لوله‌ای به منظور پایین آوردن هزینه اولیه مبادله‌کن توسط الگوریتم ژنتیک انجام داده‌اند. آن‌ها روش اختلاف دمای متوسط لگاریتمی را برای به دست آوردن مساحت سطح انتقال حرارت مبادله‌کن به کار گرفتند و در تحلیل جریان سمت پوسته از روش کرن استفاده کردند. آن‌ها شش متغیر هندسی را در فرایند بهینه‌سازی وارد نمودند. آندر و همکاران[۶] نیز هزینه ساخت مبادله‌کن را که بر مبنای مساحت سطح انتقال حرارت مورد نیاز محاسبه می‌شد، مینیمم سازی کردند. آن‌ها تمامی قیدهای مربوط به هندسه‌ها و قیدهای مربوط به سرعت جریان و افت فشارها را در نظر گرفتند. آن‌ها هزینه افت فشار را وارد فرایند بهینه‌سازی ننمودند و فقط برای افت فشارها، یک ماکزیمم افت فشار مجاز در هر دو سمت پوسته و لوله را رعایت نمودند. در پژوهش کنونی از مطالعه آندر و همکاران به عنوان یکی از منابع برای ارزیابی و مقایسه نتایج استفاده شده است.

آنتونیو و همکاران [۷]، از الگوریتم ژنتیک برای پایین آوردن هزینه کلی که شامل مجموع هزینه اولیه مبادله‌کن و هزینه مربوط به توان مصرفی پمپ‌ها می‌باشد، استفاده کردند. جوز و همکاران [۸]، از الگوریتم ژنتیک برای مینیمم کردن هزینه کلی برای یک نرخ انتقال حرارت مشخص استفاده کردند و قیدهای هندسی و عملکردی را که توسط استانداردها توصیه شده بود نیز در نظر گرفتند. آن‌ها در تحلیل جریان سمت پوسته مبادله‌کن، از روش بل دلاور استفاده نمودند و در سه مطالعه موردی، پژوهش خود را با کارهای قبلی مقایسه نمودند. پاتل و همکاران[۹]، پژوهشی را در مورد بهینه‌سازی مبادله‌کن‌های حرارتی پوسته لوله‌ای با استفاده از الگوریتم کوچ پرندگان[1] انجام دادند. آن-ها در تحلیل جریان سمت پوسته مبادله‌کن از روش کرن استفاده نمودند و با استفاده از الگوریتم کوچ

[1] Particle swarm optimization

پرندگان، هزینه کلی مبادله‌کن را پایین آوردند. ارزو و همکاران [۱۰] در پژوهشی دیگر، از الگوریتم کلونی زنبور عسل برای طراحی و بهینه‌سازی مبادله‌کن حرارتی پوسته‌لوله‌ای به منظور کاهش هزینه کلی استفاده نمودند. آن‌ها نتایج خود را با کارهای قبلی مقایسه نمودند.

فسنقری و همکاران [۱۱]، بهینه‌سازی مبادله‌کن‌های حرارتی پوسته‌لوله را با استفاده از آنالیز حساسیت کلی[۱] و الگوریتم جستجوی هارمونی[۲] انجام دادند. آن‌ها از آنالیز حساسیت کلی برای مشخص کردن پارامترهای هندسی که مهمترین اثر را بر روی هزینه کلی مبادله‌کن دارند، استفاده کردند و از الگوریتم جستجوی هارمونی برای بهینه‌سازی پارامترهای موثر بر هزینه کلی مبادله‌کن استفاده کردند. حسینی و همکاران[۱۲]، در یک کار تجربی، ضریب انتقال حرارت و افت فشار سمت پوسته یک مبادله‌کن حرارتی پوسته لوله‌ای با لوله‌های پره‌دار را بررسی کردند. آنها این آزمایش را در سه حالت بدون پره، حالت پره موج‌دار و حالت میکرو پره انجام دادند. در هر سه حالت، تنها اثر پره را بررسی کردند و سایر شرایط را یکسان قرار دادند. آن‌ها نتایج کار خود را با نتایج تئوری مقایسه نموده و روابطی را نیز برای هر سه حالت پیشنهاد نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که سطوح پره‌دار، در رینولدزهای کمتر از ۴۰۰ کارایی خوبی ندارند ولی در رینولدزهای بالا، عملکرد مبادله کن با سطوح میکرو پره به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد.

یانگ فنگ یو و همکاران [۱۳]، پژوهشی را در ارتباط با بهینه‌سازی مبادله‌کن حرارتی پوسته‌لوله-ای با استفاده از تعریف پارامتری به نام عدد تعامل میدان [۳] انجام دادند. اساس در نظر گرفتن این پارامتر به عنوان تابع هدف بر این بود که مطالعات قبل از آن نشان می‌داد که افزایش میزان انتقال حرارت، نه فقط به اندازه سرعت جریان و اندازه گرادیان دما بستگی دارد، بلکه به تعامل بین این دو میدان نیز بستگی دارد. آنها انتگرال ضرب داخلی بین میدان سرعت و بردار اختلاف دما را به عنوان عدد تعامل میدان و تابع هدف در نظر گرفتند. آن‌ها بهینه‌سازی خود را که با الگوریتم ژنتیک انجام شده بود در دو مطالعه موردی به کار گرفتند. اباذر وحدت آزاد و همکاران[۱۴]، بهینه‌سازی مبادله‌کن حرارتی پوسته‌لوله‌ای را بر اساس تئوری ساختاری[۴] انجام دادند. این تئوری از طبیعت الهام گرفته شده

[1] global sensitivity analysis
[2] harmony search algorithm
[3] Field synergy number
[4] constructal theory

و روش جدیدی از بهینه‌سازی در کاربردهای مهندسی بود. ایده اولیه این تئوری، توسط پروفسور آدریان بجن ارایه شده بود. آنها برای به کار گرفتن این تئوری، از دو پوسته به صورت سری استفاده کردند که تعداد دسته لوله‌های پوسته دوم، دو برابر تعداد دسته لوله‌های پوسته اولی بود. اباذر وحدت آزاد و همکاران با استفاده از تئوری ساختاری و الگوریتم ژنتیک، هزینه کلی مبادله‌کن را پایین آوردند.

اندر اوزدن و همکاران [۱۵]، در یک کار عددی توسط نرم افزار فلوئنت، ضریب انتقال حرارت و افت فشار سمت پوسته یک مبادله‌کن پوسته لوله‌ای را بررسی کردند. آن‌ها سه مدل مختلف توربولنت در نظر گرفتند. آن‌ها دریافتند که نتایج حل با استفاده از مدل کی اپسیلون ری الایزبل[1]، سازگاری خوبی با روش تحلیل جریان سمت پوسته توسط بل دلاور داشته است. یانگ جنگ لی و همکاران [۱۶]، با استفاده از نرم افزار فلوئنت، به بررسی اثر زاویه بافل‌های مارپیچ بر روی نرخ انتقال حرارت و افت فشار سمت پوسته مبادله‌کن‌های پوسته‌لوله‌ای پرداختند. نتایج آنها نشان داد که بافل‌های مارپیچ نسبت به بافل‌های تکه‌ای، در شرایط افت فشار یکسان در سمت پوسته، ضریب انتقال حرارت بهتری را در سمت پوسته دارند. آنها همچنین نتیجه گرفتند که زاویه ۴۵ درجه برای بافل بهترین عملکرد را دارد. سیمین وانگ و همکارن [۱۷]، در یک کار تجربی آب بندهایی[2] بین پوسته و بافل‌ها قرار دادند و اثر استفاده از آب‌بندها را بر روی انتقال حرارت بررسی کردند. آنها مشاهده کردند که با استفاده از آب‌بندها، ضریب انتقال حرارت سمت پوسته نزدیک به ۲۰ درصد افزایش می یابد. لازم به ذکر است که نشتی‌های بین پوسته و بافل در بین سایر نشتی‌ها، دارای سهم کمی در نرخ انتقال حرارت می‌باشند. این نشتی‌ها، با دسته لوله‌ها تماس ندارند و بنابراین سهم موثری در جابجایی دما ندارند.

میرعبدالله لواسانی [۱۸]، با استفاده از الگوریتم ژنتیک، بهینه‌سازی یک مبادله‌کن حرارتی پوسته‌لوله‌ای را بر اساس تابع هدف کاهش وزن انجام داد. خانی‌پور [۱۹]، با در نظر گرفتن فاصله بافل‌ها به عنوان متغیر بهینه‌سازی، پژوهشی را به منظور افزایش کارایی مبدل حرارتی و پایین آوردن هزینه آن انجام داد. تقی‌پور [۲۰]، از الگوریتم ژنتیک برای پایین آوردن هزینه یک مبادله‌کن حرارتی پوسته‌لوله‌ای با توجه به یک سری محدودیت‌های تعریف شده برای آن استفاده کرد. حسن‌پور [۲۱] در پژوهشی از پارامترهای قطر لوله، قطر پوسته، تعداد گذرها، آرایش لوله‌ها، گام لوله‌ها، برش بافل و

[1] k-e realizable
[2] sealers

فاصله بافل‌ها برای کاهش هزینه کلی به منظور انجام یک بـار حرارتـی مشـخص، اسـتفاده کـرد. وی همچنین در این پژوهش، استفاده از لوله‌های پره کوتاه را بررسی کرد. پره‌ها، برای افت فشار دو رفتـار متناقض به وجود می‌آوردند، یکی ضریب افت فشار را افزایش مـی‌دهنـد و از طرفـی دیگـر بـه خـاطر افزایش سطح انتقال حرارت، طول مورد نیاز لوله را کاهش می‌دهند و بنـابراین افـت فشـار را کـاهش می‌دهند. حسن‌پور محدوده خاصی که استفاده از لوله‌های پره کوتاه توجیه پذیر است را نیز مشـخص کرد.

صنایع و همکاران [۲۲]، پژوهشی در ارتباط با بهینه‌سازی دو هدفه برای ماکزیمم کـردن بـازده و مینیمم کردن هزینه کلی مبادله‌کن با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام دادنـد. پـژوهش آن‌هـا اولـین پژوهش با در نظر گرفتن دو هدف افزایش بازده و کاهش هزینه کلی در مبادله‌کن‌های حرارتی پوسته-لوله‌ای بود و هفت متغیر هندسی مبادله‌کن را در فرایند بهینه‌سازی در نظر گرفتند. در پژوهش کنونی از مطالعه صنایع و همکاران به عنوان یکی دیگر از منابع برای ارزیابی و مقایسه نتـایج اسـتفاده شـده است.

۱-۳. اهداف این پایان نامه

در این پایان‌نامه، با توجه به دبی‌های جرمی، دماهای ورودی و نوع سیال که در مطالعـات مـوردی گذشته به کار رفته‌اند، بهینه‌سازی با دو هدف افزایش نرخ انتقال حرارت و کاهش هم‌زمان هزینه کلی انجام شده است. مقادیر بهینه متغیرها که توابع هدف مطلوب را به وجود می‌آورند نیـز بـا توضـیحات مربوطه ارایه می‌شوند. در این پژوهش، گستره تغییرات پارامترها به گونه‌ای در نظر گرفته شده‌اند کـه کاملا عملی و قابل اجرا باشند به گونه‌ای که از نتایج این مطالعه بتوان در طراحی و ساخت مبادله‌کن-ها به صورت استاندارد بهره برد. به عنوان نمونه موارد زیر در مطالعات بهینه‌سـازی انجـام شـده مـورد ملاحظه قرار گرفته‌اند.

- ✓ قید حداکثر سرعت جریان مجاز در هر دو سمت پوسته و لوله رعایت گردیده است و بدین