پانزدهمین کنفرانس سالانه(بین المللی) مهندسی مکانیکISME2007
ایران، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۲۵-۲۷ اردیبهشت۱۳۸۶
ISME2007_2300

بهینه سازی طراحی مبدل حرارتی پوسته لوله با استفاده از الگوریتم ژنتیک

محسن کهرم
دانشیار گروه مکانیک
دانشگاه فردوسی مشهد
Kahrom_m@yahoo.com

ایمان حسیبی
دانشجوی کارشناسی مکانیک
دانشگاه فردوسی مشهد
imanhasibi@gmail.com

چکیده

در این مقاله به بهینه‌سازی طراحی مبدلهای حرارتی پوسته لوله با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک[1] پرداخته می‌شود. با معیار مینیمم سطح انتقال حرارت جهت انتخاب بهترین مبدل، نتایج حاصل از روش الگوریتم ژنتیک با نتایج نرم افزار طراحی مبدلAspen B-JAC مقایسه گردید، که تطابق خوبی را نشان می‌دهد. در بهینه سازی همزمان *سطح - افت فشار*، نتایج نشان می‌دهد با افزایش ضریب وزنی سطح تبادل حرارت، افت فشار بصورت خطی افزایش یافته ولی سطح به مقدار ثابتی همگرا می‌شود. همچنین با انتخاب مناسب دمای آب خروجی (85F) بر اساس مینیمم سازی *دبی- سطح*، تعادل مناسبی بین سطح تبادل حرارت و دبی برقرار گردید که به ازای آن تابع هزینه مینیمم گردید.

کلمات کلیدی: بهینه سازی – الگوریتم ژنتیک – مبدل پوسته لوله- سطح انتقال حرارت

مقدمه

مبدل های حرارتی یکی از اجزاء مهم سیستم‌های تبدیل انرژی، صنایع شیمیایی، نفت، فولاد، غذایی و غیره می‌باشد.[1] در این صنایع هزینه تمام شده مبدلهای پوسته لوله همواره یکی از مهمترین مسائلی است که در طراحی مبدل به آن توجه می‌شود. با توجه به دخالت پارامترهای مختلف با مقادیر گسسته در طراحی، تاکنون روشهای مختلفی برای انتخاب بهترین مبدل ارائه گردیده است. از جمله شیوه‌های تحلیلی و عددی، که هر یک دارای مزایا و معایب (با رسیدن به مینیمم محلی متوقف می‌شوند و با مقادیر گسسته مشکل دارند) مربوط به خود می‌باشند. اولین بار تایال و همکارانش (1999) [2] با استفاده از GA و مدل جعبه سیاه اقدام به بهینه سازی مبدل پوسته لوله کردند. بابو و همکارانش (2000) [3] با انتخاب تابع هدف سطح انتقال حرارت، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم تکاملی را از نظر زمانی مقایسه کردند. سلباس و همکارانش (2005) [4] نیز علاوه بر تابع هدف سطح انتقال حرارت از یک تابع هدف بر اساس هزینه جاری استفاده نمودند. در این مقاله از الگوریتم ژنتیک و تابع هدف سطح انتقال حرارت استفاده شده است. با تعریف توابع هدف دیگر، مبدل بر اساس مینیمم سازی همزمان افت فشار و سطح تبادل حرارتی بهینه گردیده است. دمای خروجی بهینه سمت لوله نیز بر اساس مینیمم سازی همزمان دبی و سطح تبادل حرارت با استفاده از تابع هزینه به دست آمده است.

1- Genetic Algorithm(GA)

تابع هدف

عموما در روش‌های مختلف بهینه‌سازی، ابتدا باید یک مدل ریاضی مناسب شامل یک تابع هدف بر حسب متغیرهای طراحی و قیود حاکم بر مساله تعریف نمود. از جمله محدودیت‌های استفاده از روشهای مختلف ریاضی برای بهینه سازی مبدل، عدم وجود رابطه‌ی ریاضی مشخصی بین متغیرهای طراحی، سطح انتقال حرارت و افت فشار می‌باشد. در اینجا از چندین تابع هدف مختلف استفاده شده است.

تابع هدف ۱، شش متغیر هندسی را دریافت و بر اساس الگوریتم و روابط طراحی مبدل کرن [5]، سطح انتقال حرارت را محاسبه می‌کند.

$$f(1)=f([x(1)\ x(2)\ \ x(3)\ \ x(4)\ \ x(5)\ x(6)])=min(Area) \quad (۱)$$

تابع هدف ۲، شش متغیر هندسی را دریافت و همزمان مینیمم سطح حرارتی و افت فشار را محاسبه می‌کند.

$$f(2)=f([x(1)\ x(2)\ \ x(3)\ \ x(4)\ \ x(5)\ x(6)])=min(Cp) \quad (۲)$$

$$Cp= c.Area + pressure\ drop \quad (۳)$$

تابع هدف ۳، دمای خروجی سیال سمت لوله را دریافت و با مینیمم سازی تابع هزینه[5]، دبی و سطح انتقال حرارت را به طور همزمان مینیمم می‌کند.

$$f(3)=f(T)=min(Ct) \quad (۴)$$

$$Ct = (\text{دبی lb/h}).(\text{هزینه lb/}) .(\text{ساعات عملیات سالیانه})+(\text{هزینه ثابت سالیانه ft^2}).(\text{سطح ft^2}) \quad (۵)$$

متغیرهای طراحی

متغیر های هندسی و بازه تغییرات آنها در جدول ۱ آورده شده است:

جدول ۱- متغیر های هندسی مبدل و بازه تغییرات آنها

X = [x(1) x(2) x(3) x(4) x(5) x(6)]		
X(1)	قطر لوله ها(in)	[0.5 – 2]
X(2)	چیدمان لوله ها	1:Triangular 2:Squar
X(3)	گام لوله ها (in)	[0.9 – 1.9]
X(4)	فاصله بافل ها(in)	[0.2 – 1]
X(5)	طول لوله ها(ft)	[6 – 24]
X(6)	تعداد مسیرهای گذر	6 4, 2, 1,

روش حل

استراتژی حل مسئله توسط الگوریتم ژنتیک برای رسیدن به جواب مطلوب بدین ترتیب است که در نسل های ابتدایی ضریب تقاطع[2] پایین و ضریب جهش[3] بالا و در نسل های بعدی ضریب جابجایی بالا و ضریب جهش پایین انتخاب می‌شود. دیگر پارامترهای الگوریتم ژنتیک در طول حل ثابت و بدین شرح اند:

جدول ۲- پارامترهای الگوریتم ژنتیک

Pupulation size	*30*
Crossover	*Two point*
Mutation	*Uniform*
Scaling function	*Rank*
Selection	*Tournament*
Elite count	*2*

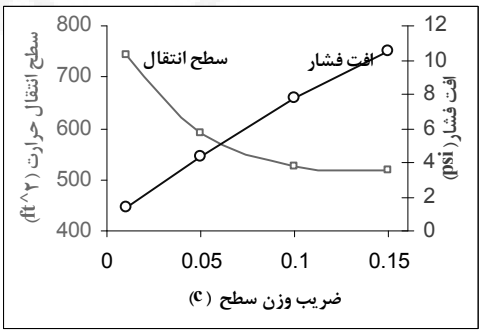
نتایج

۱- با استفاده از تابع هدف (۱) هندسه بهینه توسط GA به دست آمده و با هندسه به دست آمده از نرم افزار طراحی مبدل Aspen B-JAC مقایسه شده است. (جدول ۳)

جدول ۳- مقایسه هندسه بهینه GA با نتایج Aspen B – JAC

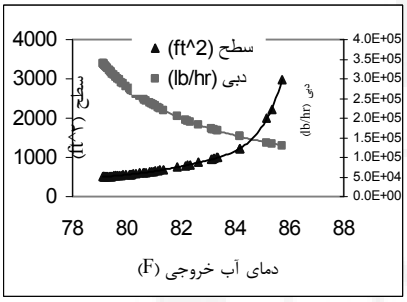
	GA	Aspen B - JAC
U	*250*	*253.57*
Area ft^2	*517.403*	*526.5*
تعداد لوله	*132*	*150*
قطر پوسته(in)	*15.51*	*14*
x(1)	*0.92*	*1*
x(2)	*2*	*2*
x(3)	*1.1*	*1.25*
x(4)	*0.69*	*0.75*
x(5)	*16.3*	*16*
x(6)	*2*	*2*

۲- با استفاده از تابع هدف (۲) هندسه بهینه توسط GA در ازای تغییرات ضریب وزن *Cp* به دست آمده است. در شکل (۱) تغییرات افت فشار و سطح انتقال حرارت برحسب ضریب وزن سطح نشان داده شده است.



شکل ۱- تغییرات افت فشار و سطح انتقال حرارت برحسب ضریب وزن سطح

۳- در شکل (۲) روند تغییرات سطح انتقال حرارت و دبی سمت لوله بر اساس تغییرات دمای خروجی سمت لوله نشان داده شده است. با افزایش دبی سیال اختلاف دمای خروجی سمت لوله با دمای ورودی سمت لوله بیشتر می‌شود و به دلیل افزایش LMTD، سطح انتقال حرارت کاهش می‌یابد. برای یافتن دمای خروجی بهینه براساس کمینه کردن همزمان سطح و دبی، از تابع هدف (۳) استفاده شده است. نتایج برای مسئله انتخابی با دمای آب ورودی سمت لوله F 75 و دمای آب ورودی و خروجی سمت پوسته F 93 وF 85 و ثابت‌های *هزینه lb/ $ =0.01/8300 lb / ساعات عملیات سالیانه hr =8000 /هزینه ثابت سالیانه $/ $ =1.2 $/* ft^2 در جدول (۴) آورده شده است.



شکل ۲- تغییرات سطح انتقال حرارت و دبی برحسب دمای خروجی آب

جدول ۴- نتایج بهینه سازی دمای آب خروجی بر اساس تابع هزینه

T دمای خروجی بهینه آب *(F)*	85.48
Ct هزینه *($)*	21905
سطح انتقال حرارت *(ft^2)*	831.46
دبی *(lb/hr)*	1.336 e5

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق با نتایج نرم افزار ASPEN تطابق خوبی نشان می‌دهد. همچنین در بهینه سازی همزمان سطح مقطع و افت فشار نتایج نشان می‌دهد با افزایش ضریب وزنی سطح مقطع افت فشار بصورت خطی افزایش یافته ولی سطح مقطع به مقدار ثابتی همگرا می‌شود. مقدار بهینه آن بر حسب نظر طراح می‌تواند حدود 0.058 در نظر گرفته شود. با انتخاب مناسب دمای آب خروجی بر اساس مینیمم سازی تابع هدف ۳ می‌توان به تعادل مناسبی بین سطح – دبی رسید.

مراجع

۱ – رستمی علی اصغر، اصول طراحی مبدلهای حرارتی، مرکز انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان، (۱۳۷۲)

2- MC Tayal, Y Fu, UM Diwekar, 1999, Optimal Design of Heat Exchangers: A Genetic Algorithm Framework, Ind. Eng. Chem. Res., Vol. 38, No. 2.

3- 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.

4- Selbas R, Kızılkan 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)

5- Kern.D.Q, 1983, Process Heat Transfer, New york, Hemisphere, McGraw Hill.

2- Crossover
3- Mutation