

عنوان: بهینه سازی طراحی مبدل های حرارتی پوسته و لوله ای با استفاده از الگوریتم ژنتیک

رامین بزرگمهری، ریحانه نیک زاد، گلناز علی پور کیوی

دانشکده مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه صنعتی شریف

BRBOZORG@sharif.edu

چکیده

در مسایل بهینه سازی متغیرهای مساله می توانند پیوسته، گسسته یا مجموعه ای از متغیرهای پیوسته و گسسته باشند. به مسایلی که هر دو متغیر را تماماً دارند مسایل ترکیبی گفته می شود و مبدل های حرارتی نیز از نوع مسایل ترکیبی هستند. در مورد این مسایل روش های معمول بهینه سازی اغلب کارآمد نیستند. این مقاله روشی کارآمد بر اساس الگوریتم ژنتیک - یک رویه سازمان یافته برای مسایل ترکیبی بهینه سازی - برای بهینه سازی مبدل های حرارتی پوسته و لوله ای ارائه می کند. نتایج بدست آمده از کاربرد این الگوریتم جهت طراحی چند مساله طراحی مبدل حرارتی نمایانگر عملکرد رضایتبخش این الگوریتم می باشد.

در عین حال تأثیر پارامترهای ژنتیک روی جواب بهینه سازی و تأثیر توابع هدف مختلف روی طراحی بهینه مبدل مورد بررسی قرار گرفته است.

واژه های کلیدی: بهینه سازی، مبدل حرارتی پوسته و لوله ای، الگوریتم ژنتیک.

مقدمه

طراحی می شوند گاهی هم طراحی آنها به مراحل بعدی موکول می شود. ولی دیده شده است که وقتی مبدل های حرارتی در مراحل اولیه کاملاً طراحی می شوند نتیجه موفقیت آمیزتر است و این به دلیل تأثیر شدیدی است که مبدل های حرارتی روی سیستم لوله کشی و اندازه کل مجموعه دارند. بنابراین انتخاب دقیق پارامترهای اساسی در طراحی مبدل ها به خاطر اثر آنها بر قیمت کل مجموعه ضروری است.

این مقاله با یک توضیح کوتاه در مورد الگوریتم ژنتیک و پارامترهای آن شروع می شود سپس به بررسی اثر توابع هدف مختلف روی طراحی مبدل های حرارتی می پردازد که این توابع هدف روی یک مثال صنعتی (مبدل موجود در

امروزه بهینه سازی مبدل های حرارتی به دلیل کمبود روز افزون منابع انرژی بسیار مورد توجه قرار دارد. دیگر طراحی یک سیستم کارآمد کافی نیست بلکه چندین سیستم کارآمد باید طراحی شود و از بین آنها آنکه می تواند یک هدف خاص را کمینه یا بیشینه کند باید انتخاب شود. یک طراحی مناسب از روی پارامترهای طراحی و پیروی از محدودیت های مجاز بدست می آید. در بیشتر موارد قیمت یا کارایی هدف بهینه سازی است. در انتخاب دستگاههای موردنیاز برای یک فرآیند، انتخاب مبدل جزء اولین اولویت هاست. در فرآیندهای صنایع شیمیایی گاهی مبدل های حرارتی در اولین مرحله به صورت ریز و دقیق

صنعت) مورد بررسی قرار گرفته اند. که نتایج این بررسی به تفصیل در جداول و نمودارها قابل مشاهده است.

الگوریتم های ژنتیک

اغلب مسایل بهینه سازی دارای متغیرهای گسسته و پیوسته به طور همزمان هستند. بنابراین اگر تکنیک های استاندارد برنامه ریزی غیرخطی در مورد این نوع مسایل به کار گرفته شود ناموثر بوده، از نظر محاسباتی گران و در بیشتر موارد حاصل آنها یک بهینه موضعی است. در این مسایل استفاده از روش های اتفاقی (Stochastic) برتری دارد. الگوریتم ژنتیک یکی از همین روش های اتفاقی است. ایده اصلی این روش مربوط به هالند (Holand) است، اگرچه از لحاظ فلسفی اساس آن بر پایه نظریه داروین یعنی (اصل بقای بهترین: Surrival of the filtest) استوار است.

اساس الگوریتم های ژنتیک قوانین طبیعی ژن ها و قوانین انتخاب در طبیعت است و عناصر پایه ای آن - پارامترهای ژنتیک - مانند ژنتیک طبیعی همان تولید مثل (reproduction)، جدایش (cross over)، جهش (mutation) و مهاجرت (migration) هستند. یک الگوریتم ژنتیک کلی یک نسل اولیه تولید می کند (یک جمعیت یا دسته از متغیرهای تصمیم گیری) $G(0)$ و برای هر نسل $G(t)$ ، یک نسل جدید تولید می شود $G(t+1)$.

یک الگوریتم ژنتیک کلی به صورت زیر شرح داده

می شود:

$T=0$

تولید جمعیت اولیه $G(t)$

ارزیابی $G(t)$

تا زمانی که قواعد تمام کننده راضی نشده باشند

انجام بده

$t=t+1$

$G(t)$ را انتخاب کن

$G(t)$ را مجدداً ترکیب کن

$G(t)$ را ارزیابی کن

تا زمانی که جواب حاصل شود.

جمعیت نسل $G(t+1)$ از نسل $G(t)$ با یک روال تصادفی انتخاب می شود البته الگوریتم ژنتیک یک روال اتفاقی ساده نیست. الگوریتم های ژنتیک اطلاعات موجود را به طور موثر در روند تشکیل نسل بعد که دارای برانندگی بیشتری است بکار می برند.

این روال تصادفی بوسیله چهار عملگر

(۱) تولید مثل (۲) جدایش (۳) جهش (۴) مهاجرت

نسل جدید را تولید می کند.

تولید مثل فرآیندی است که در آن هر رشته با توجه به تابع هدف تکرار می شود. در فرآیند تولید مثل فقط رشته جواب هایی که از برانندگی بالا برخوردار هستند دوباره در نسل بعدی تکرار می شوند و این نشان دهنده آن است که رشته جواب هایی که براننده ترند و کارایی بیشتری از خود نشان می دهند شانس بالاتری برای راه پیدا کردن به نسل بعدی دارند. عملگر جدایش به طور تصادفی قسمتی از دو رشته جواب والد از نسل $G(t)$ را با یکدیگر تعویض می کند تا دو رشته جواب فرزند را از نسل $G(t+1)$ تولید کند. جدایش شامل دو تابع جستجوی مکمل است. در تابع اولی، جدایش می تواند اطلاعات جدیدی درباره رویه چندبعدی (Hyperplanes) شامل کروموزومهای نسل قبلی که از پیش در جمعیت موجود هستند برای ما آماده کند و از راه ارزیابی رشته جواب های جدید الگوریتم ژنتیک می تواند اطلاعاتی درباره این (Hyperplanes) جمع آوری کند. در تابع دوم، جدایش می تواند صفحه چندبعدی (Hyperplanes) جدیدی به جمعیت معرفی کند. اگر این (Hyperplanes) جدید در محدوده کارآیی بالا از فضای جستجو باشد ارزیابی از جمعیت جدید به طرف جستجوی بیشتر در همین زیر مجموعه می رود. (شکل ۱) سه شکل مختلف از جدایش را نشان می دهد. که شامل یک نقطه ای، دو نقطه ای و جایگزینی یک ژن به جای ژن قبلی در یک کروموزوم است.

باشند) باعث تقویت (بالا بردن سطح برازندگی) جامعه جدید شود. دو ویژگی برای انتخاب مهاجران وجود دارد. اولاً آنها باید برازنده باشند دوماً باید کاملاً با اعضای بومی جمعیت متفاوت باشند. معمولاً مهاجرت بین دو جمعیت متفاوت صورت می گیرد ولی می تواند بین اعضای یک جمعیت هم انجام پذیرد. در این بحث وقتی دیگر پیشرفتی برای نسل های مختلف گزارش نمی شود یک جواب اتفاقی اضافه می شود که تنوع جمعیت حال حاضر را بیشتر کند.

مهاجرت به عنوان یک جایگزین برای جهش پیشنهاد می شود و معمولاً در مواقعی که خطر همگرایی محلی یا زودرس وجود دارد مورد استفاده قرار می گیرد.

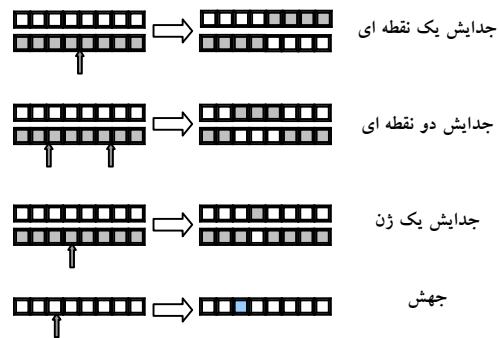
قواعد همگرایی ژنتیک ممکن است بر اساس: پیدا کردن جواب قابل قبول از طریق ارزیابی تمام نسل ها و یا گذاشتن یک سری محدوده های خاص پایه ریزی شود که بستگی به هدف و دیدگاه بهینه سازی دارد.

مزایای الگوریتم های ژنتیک را می توان در موارد زیر خلاصه کرد:

۱- به جای استفاده از یک نقطه از جمعیتی از نقاط به عنوان فرض اولیه در شروع یک روال استفاده می شود. به عنوان مثال اگر تعداد متغیرهای طراحی n باشد، معمولاً شماره جمعیت $2n$ تا $4n$ در نظر گرفته می شود. چون چندین نقطه برای حل انتخاب می شوند الگوریتم های ژنتیک کمتر دچار تله بهینه های محلی می شوند.

۲- الگوریتم های ژنتیک فقط مقادیر تابع موردنظر را استفاده می کند و از مشتقات در روال جستجو هیچ استفاده ای نمی شود.

۳- در اکثر الگوریتم های ژنتیک متغیرهای طراحی به صورت رشته ای از متغیرهای دودویی که معادل کروموزومها در ژنتیک طبیعی هستند عرضه می شوند، بنابراین روش جستجو به طور طبیعی برای حل مسائلی از نوع برنامه ریزی های گسسته (discrete programming) قابل استفاده اند. برای متغیرهای طراحی پیوسته طول رشته می تواند تغییر کند تا هر طیف مطلوب از نتایج بدست آید.



شکل ۱- جدایش یک نقطه ای و چند نقطه ای و جهش

جهش

در یک جدایش یک نقطه ای ساده، یک برش اتفاقی صورت می گیرد و ژن ها جابه جا می شوند. در جدایش دو نقطه ای عملگر به طور اتفاقی دو نقطه جدایش انتخاب می کند بعد ژن ها در بین آن دو مبادله می شوند. درحالی که در یک جدایش یک نقطه ای یک تک ژن بین دو کروموزوم والد در یک جای اتفاقی مبادله می شود.

جهش، یک عملگر جستجوی ثانویه است که تنوع جمعیت را افزایش می دهد.

به طوریکه در (شکل ۱) نشان داده شد یک الگوریتم ژنتیک به طور اتفاقی یک ژن را از یک کروموزوم انتخاب کرده و مقدار این ژن را در محدوده قابل قبولش تغییر می دهد. جهش های ساده برای جلوگیری از اینکه مقدار یک بیت (bit) در طول یک جمعیت ثابت بماند به کار گرفته می شود. جهش های سطح بالاتر یک جستجوی کاملاً اتفاقی را موجب می شوند.

مهاجرت یک مسأله نسبتاً جدید در الگوریتم های ژنتیک است که بر اساس همان مهاجرت که بین جوامع نزدیک یا دور در طبیعت صورت می گیرد پایه گذاری شده است. در این مورد برازندگی مهاجران از یک جامعه و اثر آنها بر روی برازندگی کلی جامعه جدید که به آن مهاجرت کرده اند اهمیت بسیار زیادی دارند. این پدیده مثل همان مهاجرت افراد هوشمند از حومه شهرها به مراکز شهرهاست که روی جستجوی موقعیت بهتر انجام می گیرد تا تجمع عملکرد آنها در جامعه جدید (اگر مهاجران برازنده تر

۴- مقدار تابع هدف که بر اساس بردار طراحی داده شده توسط الگوریتم ژنتیک بدست می آید نقش برانندگی (fitness) در ژنتیک طبیعی را بازی می کند.

۵- در هر نسل جدید، یک دسته جدید از رشته ها بوسیله انتخاب اتفاقی والدین و جدایش از نسل قدیمی (دسته قدیمی رشته ها) تولید می شوند.

با این وجود الگوریتم ژنتیک هم بی عیب و نقص نیست و اغلب در معرض خطر همگرایی زودرس قرار دارد و این بدان معنی است که بعد از چند نسل اعضاء جمعیت همه شناخته شده می شوند، اگرچه الگوریتم ژنتیک هنوز به مقدار بهینه عمومی نرسیده است.

در موقعیت بالا عملگر جدایش غیرقابل استفاده می شود. برای رفع این نقیصه دو دیدگاه کلی وجود دارد:

(۱) گسترش مکانیزمهای تطبیقی (adaptive) در الگوریتم ها ژنتیک با استفاده از الگوریتم های هیبریدی (hybrid Algorithm)

(۲) بهینه سازی پارامترهای ثابت الگوریتم ژنتیک مثل نرخ جهش و یا اندازه جمعیت

بازده الگوریتم ژنتیک بستگی به طرز قرار گرفتن پارامترهای طراحی مساله ای دارد که تحت بهینه سازی است بنابراین باید در انتخاب و ترتیب این پارامترها دقت لازم به عمل آید.

معرفی متغیرهای طراحی

همان طور که در قسمت قبل گفته شد انتخاب پارامترها و ترتیب آنها در طول یک کروموزوم الگوریتم های ژنتیک تاثیر به سزایی بر روی روال بهینه سازی دارد در این مقاله برای طراحی مبدل های پوسته و لوله ای از روش معروف بل (Bell) [1] استفاده شده است و هفت پارامتر طراحی زیر به ترتیب ذکر در طول کروموزوم قرار داده شده اند:

۱- برش بغل (Baffle cut)

۲- تعداد پاس های لوله (tube passes)

۳- قطر اسمی پوسته

۴- قطر اسمی لوله ها

۵- فاصله بغل ها

۶- فاصله مرکز تا مرکز لوله ها (tube pitch)

۷- زاویه لوله ها (pitch angle)

دلیل انتخاب این هفت پارامتر اصلی بودن آنها و وابسته بودن سایر محاسبات مبدل به داشتن آنهاست و ترتیب این هفت پارامتر دقیقاً بر اساس تأثیر متقابل (interaction) این پارامترها بر روی یکدیگر است. بعد از اینکه این هفت پارامتر توسط الگوریتم ژنتیک داده شد با استفاده از اطلاعات فرآیندی محاسبات دیگر مبدل حرارتی لوله و پوسته ای صورت می گیرد و نهایتاً شرط تمام کننده این روال رسیدن بار حرارتی محاسبه شده به بار حرارتی مورد نیاز برای انجام فرآیند مورد نظر در مبدل حرارتی لوله و پوسته ای است.

تأثیر پارامترهای ثابت الگوریتم ژنتیک بر روی

جواب تابع هدف

پارامترهای الگوریتم ژنتیک به طوری که قبلاً هم توضیح داده شد:

احتمال جهش، جدایش و مهاجرت بودند که در قسمت توضیح الگوریتم ژنتیک بیان شد که یک راه بدست آوردن جواب های بهتر از الگوریتم ژنتیک بهینه سازی این پارامترها (به خصوص احتمال جهش و جدایش) در مورد مسأله خاص مورد بررسی است.

قبل از اینکه به بحث روی بهینه سازی این پارامترها بر روی یک مثال پرداخته شود لازم است دو پارامتر دیگر و کارکرد آنها بیان شود اولی پارامتر «آستانه همگرایی» (Convergence threshold) است که نشان دهنده میزان همگونی جواب های تابع هدف در یک نسل است و دومی «حداکثر نسل ها» (maximum Generation) است که تعداد کل نسل ها را کنترل می کند و حتی اگر الگوریتم ژنتیک در حدود حداکثر تعداد نسل ها به همگرایی نرسد این

جدول ۲- طراحی موجود در کتاب (Sanders)

پارامترها	مقدار طراحی شده
طول مبدل (mm)	۴۷۶۴
قطر پوسته (mm)	۸۸۹
قطر لوله (mm)	۱۹,۰۵
تعداد لوله ها	۷۴۴
تعداد پس لوله ها	۴
تعداد بغل ها	۱۴
زاویه لوله ها (درجه)	۹۰
سطح حرارتی (m ²)	۲۱۲,۱
قیمت (دلار)	۱۳۸۰۲,۸۷

جدول ۳- تغییر پارامترهای ژنتیک احتمال

جهش = 0.01 احتمال جدایش = 0.65

پارامترها	مقدار طراحی شده
طول مبدل (mm)	۵۵۰۰
قطر پوسته (in)	۲۷
قطر لوله (in)	۰,۶۲۵
تعداد لوله ها	۱۳۲
تعداد پس لوله ها	۲
تعداد بغل ها	۱۶
زاویه لوله ها (درجه)	۳۰
سطح حرارتی (m ²)	۳۶,۱۹
قیمت (دلار)	۱۰۸۵۲

جدول ۴- تغییر پارامترهای ژنتیک احتمال

جهش = 0.1 احتمال جدایش = 0.65

پارامترها	مقدار طراحی شده
طول مبدل (mm)	۵۳۸۰
قطر پوسته (in)	۲۷
قطر لوله (in)	۰,۶۲۵
تعداد لوله ها	۱۳۹
تعداد پس لوله ها	۲
تعداد بغل ها	۱۶
زاویه لوله ها (درجه)	۳۰
سطح حرارتی (m ²)	۳۷,۲۸
قیمت (دلار)	۱۰۸۹۶

پارامتر به کار الگوریتم پایان خواهد داد و یک بهینه نسبی از میان همان نسل های موجود معرفی خواهد شد. در مثال مورد بررسی با تغییر دادن دو پارامتر الگوریتم ژنتیک یعنی جهش و جدایش مقادیر مختلف تابع هدف بدست آمده است.

این مثال از کتاب (Saunders, E.A.D, "Heat Exchangers, Selection Design and construction" longman 1988) انتخاب شده است در ابتدا در جدول ۱: شرایط فرآیندی در جدول ۲: طراحی موجود در کتاب آمده است) در ادامه جداول مربوط به تغییرات پارامترهای جهش و جدایش و نتایج آن ها آورده شده است که نمونه ای از بررسی ها روی این پارامترها هستند و تمام بررسی ها در اینجا مجال حضور نداشته اند و بالاخره در انتها جدول مربوط به طراحی بهترین جواب همراه با نمودارهای آن آورده شده است لازم به ذکر است که در این مثال تابع هدف ما مستقیماً قیمت مبدل بوده است.

جدول ۱- شرایط فرآیندی مثال کتاب (Saunders)

Process Condition(saunders)			
Item	Units	Shell-Side	Tube-Side
Fluid name	-	Crude oil	Water
Flow rate	kg/s	63.77	45
Temperature (in/out)	°C	102 64	21 49
Specific heat	J/kg K	2177	4186.8
Dynamic viscosity	N s/m ²	0.00189	0.00072
Thermal conductivity	W/m K	0.122	-
Density	Kg/m ³	786.4	995
Fouling factor	(W/m ² K) ⁻¹	0.00018	0.00026
Max. pressure loss	Pa	70000	50000
Tube-wall resistance	(W/m ² K) ⁻¹	0.00004	
Design pressure	bar	20	
Heat load	kW	5275.4	5275.4

جدول ۵- تغییر پارامترهای ژنتیک احتمال
جهش = 0.2 احتمال جدایش = 0.65

پارامترها	مقدار طراحی شده
طول مبدل (mm)	۵۴۹۷
قطر پوسته (in)	۲۷
قطر لوله (in)	۰,۶۲۵
تعداد لوله ها	۱۳۲
تعداد پس لوله ها	۲
تعداد بفل ها	۱۶
زاویه لوله ها (درجه)	۳۰
سطح حرارتی (m ²)	۳۶,۱۷
قیمت (دلار)	۱۰۸۵۱

جدول ۸- تغییر پارامترهای ژنتیک احتمال
جهش = 0.2 احتمال جدایش = 0.8

پارامترها	مقدار طراحی شده
طول مبدل (mm)	۵۵۱۸
قطر پوسته (in)	۲۷
قطر لوله (in)	۰,۶۲۵
تعداد لوله ها	۱۳۲
تعداد پس لوله ها	۲
تعداد بفل ها	۲۱
زاویه لوله ها (درجه)	۳۰
سطح حرارتی (m ²)	۳۶,۳۰
قیمت (دلار)	۱۰۸۵۶

جدول ۶- تغییر پارامترهای ژنتیک احتمال
جهش = 0.3 احتمال جدایش = 0.65

پارامترها	مقدار طراحی شده
طول مبدل (mm)	۵۳۶۴
قطر پوسته (in)	۲۷
قطر لوله (in)	۰,۶۲۵
تعداد لوله ها	۱۳۹
تعداد پس لوله ها	۲
تعداد بفل ها	۱۲
زاویه لوله ها (درجه)	۳۰
سطح حرارتی (m ²)	۳۷,۱۶
قیمت (دلار)	۱۰۸۹۱

جدول ۹- تغییر پارامترهای ژنتیک احتمال
جهش = 0.35 احتمال جدایش = 0.75

پارامترها	مقدار طراحی شده
طول مبدل (mm)	۵۴۶۹
قطر پوسته (in)	۲۷
قطر لوله (in)	۰,۶۲۵
تعداد لوله ها	۱۳۲
تعداد پس لوله ها	۲
تعداد بفل ها	۳۹
زاویه لوله ها (درجه)	۳۰
سطح حرارتی (m ²)	۳۵,۹۵
قیمت (دلار)	۱۰۸۴۳

جدول ۷- تغییر پارامترهای ژنتیک احتمال
جهش = 0.15 احتمال جدایش = 0.75

پارامترها	مقدار طراحی شده
طول مبدل (mm)	۵۳۴۷
قطر پوسته (in)	۲۷
قطر لوله (in)	۰,۶۲۵
تعداد لوله ها	۱۳۹
تعداد پس لوله ها	۲
تعداد بفل ها	۱۶
زاویه لوله ها (درجه)	۳۰
سطح حرارتی (m ²)	۳۷,۰۴
قیمت (دلار)	۱۰۸۸۶

جدول ۱۰- تغییر پارامترهای ژنتیک احتمال
جهش = 0.5 احتمال جدایش = 0.8

پارامترها	مقدار طراحی شده
طول مبدل (mm)	۸۸۶۷
قطر پوسته (in)	۳۵
قطر لوله (in)	۰,۸۷۵
تعداد لوله ها	۵۸
تعداد پس لوله ها	۲
تعداد بفل ها	۴۹
زاویه لوله ها (درجه)	۳۰
سطح حرارتی (m ²)	۳۶,۱۱
قیمت (دلار)	۱۰۸۳۹

نظر گرفته شده است که عبارتند از: ۱- افت فشار ۲- سطح حرارتی ۳- تابع ترکیبی از افت فشار و سطح حرارتی ۴- تابع قیمت

که در واقع در تمام این توابع هدف به علت خصوصیات مبدل حرارتی هدف ما کمینه سازی است یعنی چه تابع هدف افت فشار باشد چه سطح حرارتی مورد نیاز برای رفع نیاز حرارتی و چه قیمت مطلوب آن است که این توابع کمینه شدند. برای نشان دادن اثر توابع هدف روی خصوصیات یک مبدل حرارتی یک مثال موجود در صنعت انتخاب شده است که به ترتیب با تابع افت فشار، تابع سطح حرارتی، تابع ترکیبی و نهایتاً تابع قیمت مورد بررسی قرار گرفته است هنگامی که هدف کمینه سازی یک تابع است کافی است که علامت تابع مورد نظر خود را عوض کنیم آنگاه روال بهینه سازی خود به خود به سمت بیشتر کردن یک مقدار منفی که در واقع همان کمینه کردن تابع هدف است می رود. مشابه مثال قسمت قبلی ابتدا شرایط فرآیندی این مثال و طراحی موجود در صنعت آورده شده است که مبنای مقایسه و قضاوت در مورد جواب های الگوریتم ژنتیک است سپس به ترتیب در مورد توابع هدف مختلف بحث می شود.

جدول ۱۱- شرایط فرآیندی مثال صنعتی

Process Condition			
Item	Units	Shell-Side	Tube-Side
Fluid name	-	Splitter Bottom (L)	Stabilizer Feed (L)
Flow rate	kg/s	14.25	22.74
Temperature (in/out)	C	143	100
Specific heat	J/kg K	2064.5	209.5
Dynamic viscosity	N s/m ²	0.0001495	0.0001785
Thermal conductivity	W/m K	0.16445	0.135
Density	Kg/m ³	647	657
Fouling factor	(W/m ² K) ⁻¹	0.000176	0.000176
Max. pressure loss	Pa	103000	103000
Tube-wall resistance	(W/m ² K) ⁻¹	0.00004	
Design pressure	bar	14.65	20.68
Heat load	kW		

چنانچه مشاهده می شود در تمام جدول های طراحی شده توسط الگوریتم ژنتیک مقدار قیمت، نسبت به طراحی موجود کمتر شده است اما جدول ۳ نمایش دهنده مقادیر معمول و نرمال پارامترهای احتمال جهش و جدایش است و یک حدود قیمت را مشخص کرده است در جدول های ۴ تا ۶ با ثابت نگه داشتن نرخ احتمال جدایش و بالا بردن نرخ جهش مشاهده می شود که ابتدا قیمت بهینه می شود ولی با بالا بردن زیاد نرخ جهش زمان همگرایی طولانی تر شده و همچنین در نرخ جهش 0.3 در جدول ۶ دیگر همگرایی در حداکثر جمعیت ۲۰۰ صورت نمی گیرد. اما در جدول ۹ و ۱۰ مشاهده می شود که با زیاد کردن هر دو احتمال جهش و جدایش هر چند زمان همگرایی طولانی می شود ولی قیمت بهینه می گردد اما برای رسیدن به قیمت بهینه در تمام این جداول بجز جدول ۱۰ مقدار تعداد حداکثر نسل ها ۲۰۰ بوده است ولی در جدول ۱۰ به علت نرخ بالای جهش این تعداد ۱۰۰۰ در نظر گرفته شده است.

نمودارهای ۱ و ۲ و ۳ برای بهترین قیمت که مشخصات طراحی آن در جدول ۱۰ آمده است رسم شده اند و روند کار ژنتیک را نشان می دهند.

نمودار ۱ و ۲ و ۳ که مربوط به بهترین قیمت گرفته شده از الگوریتم ژنتیک است در پایان مقاله در بخش ضمیمه آورده شده است.

تأثیر توابع هدف مختلف روی خصوصیات مبدل های حرارتی

می دانیم که جواب های مسایل بهینه سازی با توجه به توابع هدف انتخابی متغیر خواهند بود زیرا تمام پارامترهای طراحی به نحوی در خدمت تابع هدف و جواب بهینه برای تابع هدف هستند پس بر حسب آنکه تابع هدف، چه خواهد بود و هدف از بهینه سازی کمینه کردن یا بیشینه کردن تابع هدف باشد متغیرهای طراحی نیز تغییر خواهند کرد در این رویکرد در واقع چهار نوع تابع هدف برای مبدل حرارتی در

جدول ۱۲- طراحی موجود در صنعت

پارامترها	مقدار طراحی شده
طول مبدل (mm)	۳۶۵۸
قطر پوسته (mm)	۴۳۲
قطر لوله (mm)	۱۹,۰۵
تعداد لوله ها	۱۵۲
تعداد پس لوله ها	۱
تعداد بفل ها	۲۲
زاویه لوله ها (درجه)	۴۵
قیمت (دلار)	۹۵۲۲

وقتی افت فشار به عنوان تابع هدف در نظر گرفته می شود نتایج طبق جدول زیر بدست می آید.

جدول ۱۳- افت فشار به عنوان تابع هدف

پارامترها	مقدار طراحی شده
طول مبدل (mm)	۱۱۵۹
قطر پوسته (in)	۴۸
قطر لوله (in)	۰,۶۲۵
تعداد لوله ها	۹۷۴
تعداد پس لوله ها	۱
تعداد بفل ها	۳
زاویه لوله ها (درجه)	۴۵
افت فشار طرف پوسته (pa)	۱۲۱,۰۴
افت فشار طرف لوله (pa)	۲۴۳,۵۵

مشاهده می شود که با در نظر گرفتن افت فشار به عنوان تابع هدف فاصله بفل ها و قطر پوسته به طرف بیشتر شدن می رود بنابراین جریان سیال راحت تر از درون مبدل می گذرد و افت فشار کمتر می شود.

اگر به محدوده در نظر گرفته شده برای قطر پوسته در طراحی توجه کنیم $10.02 < D_s < 54$ (بر حسب inch) به طور واضحی دریافته می شود که به علت اینکه افت فشار تابع هدف بوده است و هدف کمینه کردن آن است قطر پوسته از میان مقادیر نزدیک به انتهای بزرگ تر انتخاب شده است. تعداد pass لوله ها که باعث زیاد شدن افت فشار

می شود و مقادیر مجاز برای آن (8,6,4,2,1) بوده است کمترین مقدار یعنی ۱ انتخاب شده است. در ضمن تعداد بفل ها که بر حسب فاصله آنها تعیین می شود هم کمترین مقدار ممکن را دارد چون در جهت کمینه کردن افت فشار است.

وقتی سطح حرارتی به عنوان تابع هدف در نظر گرفته می شود خصوصیات مبدل به صورت جدول زیر در می آید.

جدول ۱۴- سطح حرارتی به عنوان تابع هدف

پارامترها	مقدار طراحی شده
طول مبدل (mm)	۱۰۲۰
قطر پوسته (in)	۱۵,۲۵
قطر لوله (in)	۰,۵
تعداد لوله ها	۶۴
تعداد پس لوله ها	۱
تعداد بفل ها	۴
زاویه لوله ها (درجه)	۹۰

اگر به نتایج بدست آمده دقت شود این بار هم الگوریتم در جهت کمینه کردن تابع هدف پارامترها را در محدوده های مجازشان به سمت کمینه کردن سطح حرارتی کمینه کرده است به عنوان مثال می توان دید که تعداد لوله ها بسیار کم شده است و در ضمن فاصله بفل ها و قطر لوله و قطر پوسته هم کوچک شده اند به نحوی که قطر پوسته که در محدوده مجاز $10.2 < D_s < 58$ قرار دارد نزدیک به حد ابتدایی شده و قطر لوله هم بین $0.5 < D_i < 1$ (بر حسب inch) است نزدیک به حد ابتدایی است در ضمن فاصله بفل ها نیز در جهت کمتر کردن طول در نتیجه کمتر شدن سطح حرارتی کمتر شده است. از نتایج بالا به طور تقریبی می توان ادعا کرد که با وجود اینکه الگوریتم ژنتیک در اصطلاح معروف بین مبدل حرارتی یا هر مسأله بهینه سازی دیگر فرقی نمی گذارد ولی در مورد مبدل حرارتی می تواند مانند یک مهندس طراح ملاحظات طراحی را لحاظ کند و جواب مناسبی را در راستای هدف ارائه دهد.

افت فشار است در جهت کمینه کردن هر دو عمل کرده و تعداد لوله ها کم شده است.

جدول ۱۶- تابع قیمت به عنوان تابع هدف

پارامترها	مقدار طراحی شده
طول مبدل (mm)	۹۹۰,۴۸۸
قطر پوسته (in)	۱۹,۲۵
قطر لوله (in)	۱
تعداد لوله ها	۳۲
تعداد پس لوله ها	۲
تعداد بفل ها	۴
زاویه لوله ها (درجه)	۳۰
قیمت (دلار)	۹۴۷۷

نتیجه گیری

همان طور که از قسمت های قبل برداشت می شود شاید گاهی به نظر برسد که طراحی های الگوریتم ژنتیک بر اساس استانداردهای معقول صنعت نیست ولی آنچه مسلم است قیمت خریداری، در هر مورد کمتر شده است در ضمن در مورد توابع هدف مختلف دیده شد که الگوریتم ژنتیک به نوعی هوشمندانه عمل کرده و ملاحظاتی که معمولاً توسط یک مهندس طراح اعمال می شوند از طرف الگوریتم ژنتیک نیز در نظر گرفته می شوند همین طور در مورد مبدل های غیرمعمول و غیر رایج در صنعت برای بهینه سازی تابع ترکیبی ارایه شده می تواند جواب های مطلوبی ارایه کند زیرا از نظر پارامترهای کلی طراحی شباهت زیادی با مبدلی دارد که با تابع هدف قیمت طراحی شده است بنابراین نه دقیقاً ولی تقریباً این تابع ترکیبی مبدلی با قیمت اولیه مناسب خواهد داشت.

با در نظر گرفتن یک تابع هدف که ترکیبی از سطح حرارتی و افت فشار مبدل است، خصوصیات جدیدی برای مبدل بدست می آید در اینجا نیز هدف بهینه سازی، کمینه کردن این تابع است قبل از آنکه نتایج ارایه شوند معرفی تابع هدف ضروری است،

سطح خارجی که می تواند بار حرارتی مورد نیاز را تامین کند

$$P_1 = \frac{\text{سطح حرارتی مبدل در شرایط (Temprature cross)}}{\text{سطح خارجی که می تواند بار حرارتی مورد نیاز را تامین کند}}$$

$$P_2 = \frac{\text{افت فشار پوسته + افت فشار لوله}}{\text{افت فشار مجاز لوله + افت فشار مجاز پوسته}}$$

$$(1) \quad \text{تابع هدف} = P_1 + P_2 * 10^{(\log P_1)}$$

نتایج بدست آمده روی همان مثال صنعتی با توجه به این تابع در جدول زیر آمده است.

جدول ۱۵- تابع ترکیبی سطح حرارتی و افت

فشار به عنوان تابع هدف

پارامترها	مقدار طراحی شده
طول مبدل (mm)	۱۲۴۱
قطر پوسته (in)	۴۸
قطر لوله (in)	۰,۸۷۵
تعداد لوله ها	۹۶۸
تعداد پس لوله ها	۱
تعداد بفل ها	۳
زاویه لوله ها (درجه)	۴۵

آنچه از نتایج بر می آید باز در راستای همان ادعای قبلی است.

مشاهده می شود که به علت محدودیت افت فشار قطر پوسته و لوله ها هر دو بزرگ شده اند فاصله بفل ها زیاد شده است تعداد گذر لوله ها کمترین مقدار را دارد و در ضمن در راستای کمینه کردن سطح حرارتی طول مبدل نسبت به طراحی صنعتی موجود کوچک تر است.

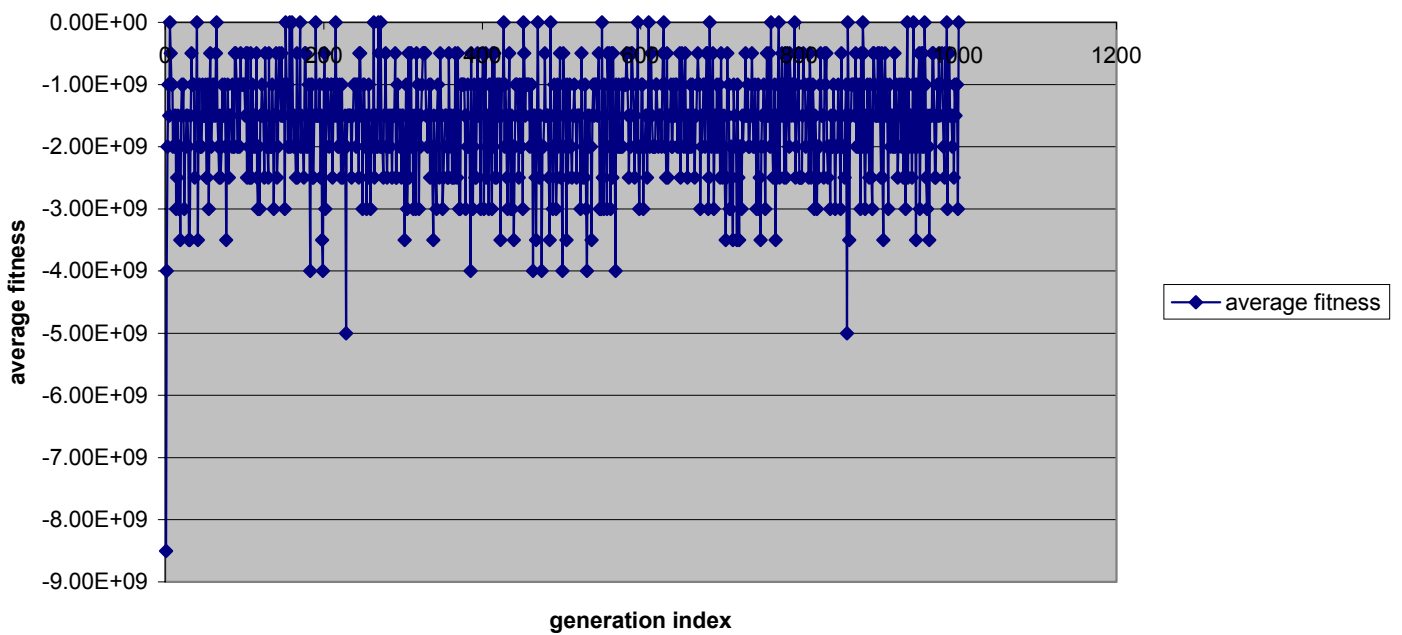
وقتی تابع قیمت به عنوان تابع هدف در نظر گرفته می شود به وضوح دیده می شود که جواب ها فرق می کند البته چون تابع قیمت نیز به نحوی دارای فاکتورهای سطح و

تقدیر و تشکر

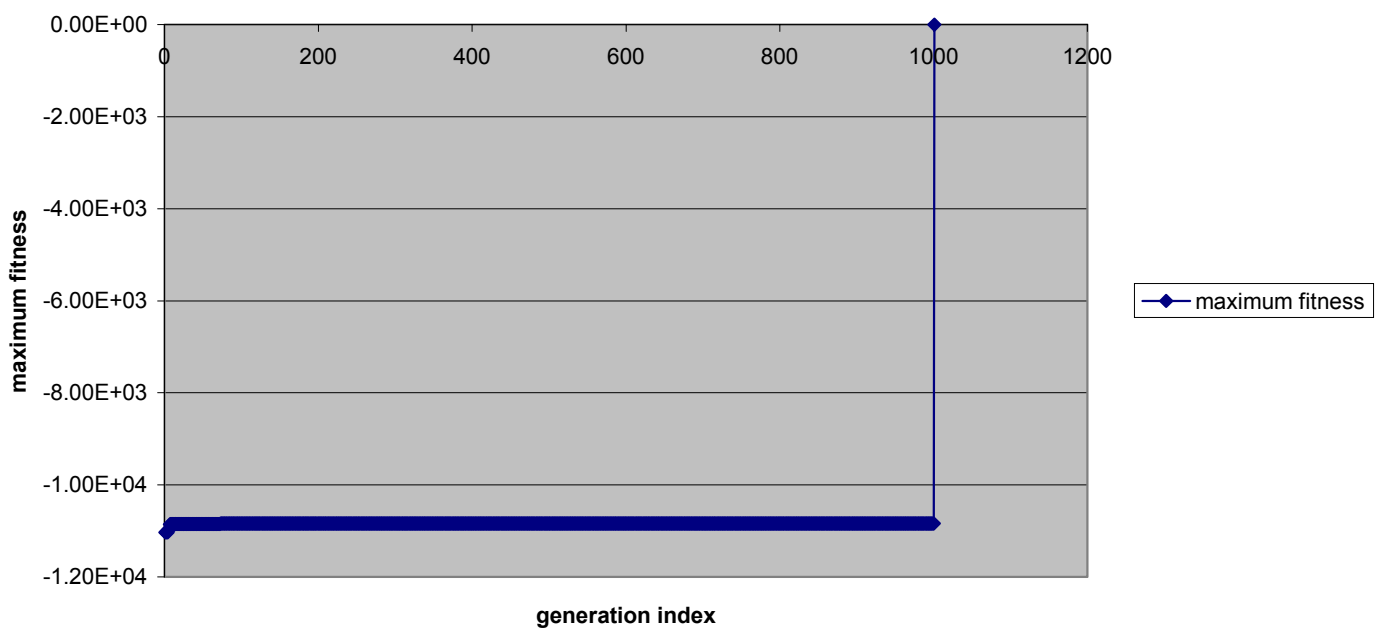
با تقدیم عمیق ترین احترامات خدمت استاد ارجمند
جناب آقای دکتر رامین بزرگمهری که راهنمایی‌ها و تشویق
ایشان ما را به سرمنزل مقصود رهنمون گشت.
و با تشکر از آقای مهندس علیرضا یوسفی که کمک
ارزنده ایشان بسیار سودمند بود.

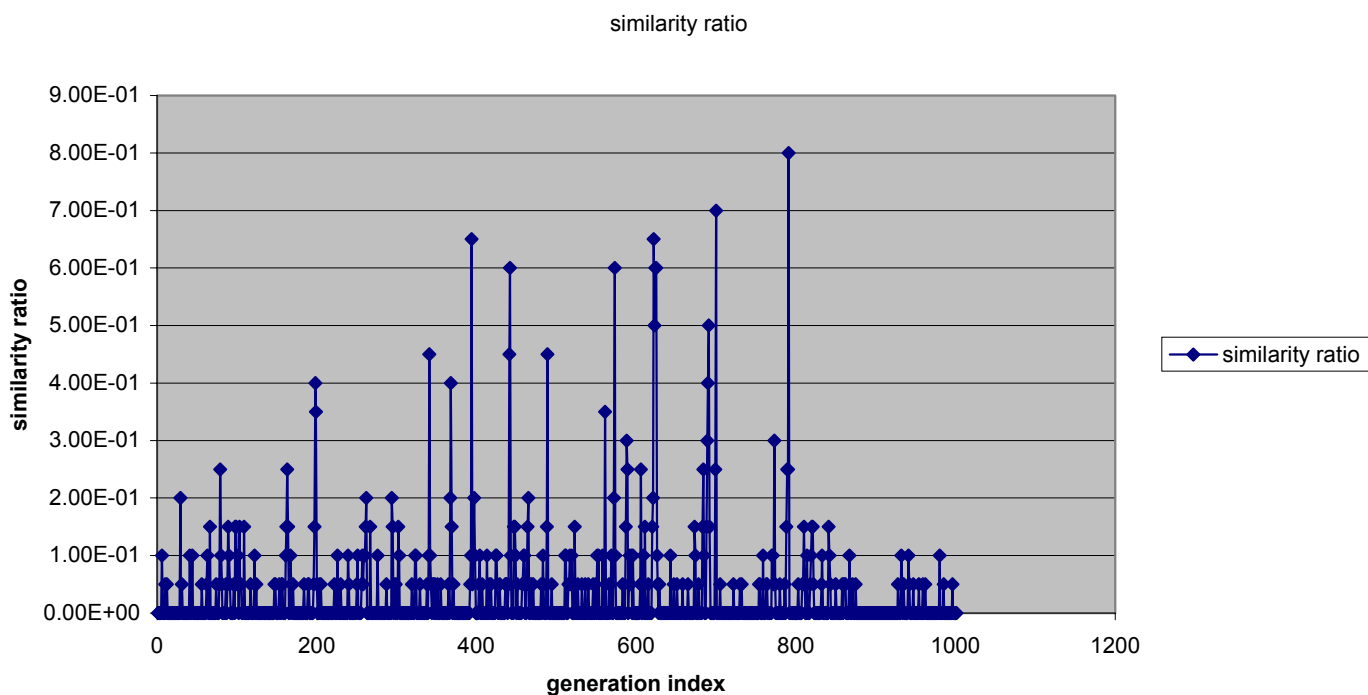
ضمائم

average fitness



maximum fitness





مراجع

1. Saunders, E.A.D, "Heat Exchangers, Selection, Design and Construction", Longman, 1988.

2. "Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association", 7th ed. TEAM, 1988.

3. Rao, S., "Engineering Optimization",

4. Perry, Robert H., Green, Don W., "Perry's chemical Engineers' Handbook", 7th ed., McGraw-Hill, 1997.

5. پایان نامه کارشناسی ارشد، سیمین قادری، آبان ۷۹.

«تهیه نرم افزار عمومی جهت شناسایی سیستمهای مبتنی بر

منطق فازی» استاد: دکتر رامین بزرگمهری بوذر جمهری.