



مؤسسه آموزش عالی غیر دولتی غیر انتفاعی انرژی

## شبیه سازی و بهینه سازی دو هدفه انتقال حرارت و افت فشار

### مبدل صفحه ای به کمک الگوریتم های هوشمند

پایان نامه یا رساله برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته : مهندسی مکانیک

نام دانشجو

پرستو گلمرج

استاد راهنما:

دکتر سید ایمان واصفی

زمستان ۱۳۹۹



مؤسسه آموزش عالی غیر دولتی غیر انتفاعی انرژی

# شبیه سازی و بهینه سازی دو هدفه انتقال حرارت و افت فشار مبدل صفحه ای به کمک الگوریتم های هوشمند

پایان نامه یا رساله برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته : مهندسی مکانیک

نام دانشجو

پرستو گلمرج

استاد راهنما:

دکتر سید ایمان واصفی

اساتید مشاور:

دکتر حیدر مداح

زمستان ۱۳۹۹

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

### باسمه تعالی

اینجانب پرستو گلمرج به شماره دانشجویی ۳۲۲۶ دانشجوی رشته مهندسی مکانیک، مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد تأیید می‌نمایم که کلیه‌ی نتایج این پایان‌نامه/رساله حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه‌برداری‌شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض در خصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسؤولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی‌صلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ‌گونه مسؤولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی: پرستو گلمرج

امضا و تاریخ:

## مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما

به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه / رساله برای همگان بلامانع است.
- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه / رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.
- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه / رساله تا تاریخ ..... ممنوع است.

نام استاد یا اساتید راهنما: دکتر سید ایمان واصفی

تاریخ:

امضا:

## تقدیم به پدر و مادر عزیزم

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پر بار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان در را کسب علم و دانش تلاش نمایم. والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم چرا که این دو وجود پس از پروردگار مایه هستی‌ام بوده‌اند دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند.

آموزگارانی که برایم زندگی؛ بودن و انسان بودن را معنا کردند  
حال این برگ سبزی است تحفه درویش تقدیم آنان...

## تشکر و قدردانی:

تشکر قلبی و لسانی خود را از استاد عالی قدر جناب آقای دکتر سید ایمان واصفی که زحمت راهنمایی این پایان نامه را عهده دار گردیدند و در تمامی مراحل انجام رساله از راهنمایی‌های مدبرانه ایشان استفاده نمودم ابراز می‌دارم و توفیقات روز افزون ایشان را توأم با صحت و سعادت خواستارم.

از جناب آقای دکتر حیدر مداح که در امر مشاوره این رساله مساعدت نمودند و در این امر نهایت مراقبت ، توجه و دقت خود را مبذول فرموده اند کمال تشکر و امتنان را دارم و برای ایشان از خداوند سلامت و سعادت ابدی را خواهانم.



به نام خدا

### گزارش همانندجویی

بر پایه قانون پیشگیری و مقابله با تقلب در تهیه آثار علمی (مصوب ۳۱ مرداد ۱۳۹۶ مجلس شورای اسلامی)  
و آیین نامه اجرایی آن (شماره ۶۶۶۱۲/ت/۵۵۶۸۶-هـ مصوب ۲۳ مرداد ۱۳۹۸ هیئت وزیران)  
و آیین نامه شماره ۱۹۵۹۲۹/و تاریخ ۶ آذر ۱۳۹۵ وزارت علوم، تحقیقات، و فناوری

با سلام و احترام

نوشته بارگذاری شده در سامانه همانندجو (دارای ۱۴۷۹۳ واژه) در تاریخ ۱۳۹۹/۱۱/۶ با نام:  
**شیبه سازی و بهینه سازی دو هدفه انتقال حرارت و افت فشار مبدل صفحه ای به کمک الگوریتم ژنتیک**

به درخواست عاتم / آقای پرستو گلمرچ

با شماره ملی / گذرنامه ۰۰۲۰۸۰۸۳۰۵

دارای ۱۸ (هجده) درصد همانندی با منابع دیگر در پایگاه های ایرانداک است.

برای دیدن همانندی های متن بارگذاری شده با منابع دیگر (اگر داشته باشد) می توانید به نشانی

<https://tik.irandoc.ac.ir/Assignment/Hamanandjoo> بروید و شناسه b2aacaee-c9e6-4bf8-bec9-0b9108730182

را وارد کنید. فایل تمام متن نوشته بارگذاری شده و همانندی های آن با منابع دیگر (اگر داشته باشد) نیز در کارپوشه شما در سامانه همانندجو در دسترس است. آن را تایید کنید.

برای دریافت اطلاعات بیشتر با رایانامه [info@tik.irandoc.ac.ir](mailto:info@tik.irandoc.ac.ir)، تلفن شماره ۶۶۹۵۴۸۱۱ (۰۲۱) در روزهای کاری از ساعت ۸ تا ۱۶، و تلفن شماره ۰۹۹۰۲۷۹۴۴۶۰ در روزهای کاری از ساعت ۱۶ تا ۱۸ و در روزهای پنج شنبه از ساعت ۸ تا ۱۸ تماس بگیرید. ایرانداک خدمت به کاربران را افتخار می داند و از اینکه سامانه همانندجو را به کار می برید، از شما سپاسگزار است.

فرهاد شیرازی

راهبر سامانه همانندجو

آثار مهم قرن دوم شمعات از رشید ایرانداک به علم، فناوری، و نوآوری گرامی باد (۱۳۴۷-۱۳۹۸)



## چکیده

مبدل‌های حرارتی بخش مهم و کاربردی صنعت هستند. به طوریکه در صنایع نفت گاز پتروشیمی و تهویه تبرید کاربرد فراوانی دارند. وظیفه اصلی مبدل ها انتقال حرارت از سیال گرمتر به سیال سردتر است، بدین منظور طیف گسترده ای از مبدلها طراحی و گسترش یافته اند. از جمله مهمترین مبدلها، مبدل صفحه ای است که کاربرد ویژه ای در صنعت دارد.

در این پژوهش بهینه‌سازی حرارتی و هیدرولیکی مبدل حرارتی صفحه‌ای آب به آب از نوع صفحات چورون ارائه شده است. بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه در محیط بهینه‌سازی MATLAB انجام می‌شود. ماتریس محدودیت شامل مجموعه‌ای از پارامترهای مختلف هندسی مبدل حرارتی صفحه‌ای در بازه‌های منطقی است. دو تابع هدف عبارت‌اند از: افت فشار سمت گرم و انتقال حرارت. به دلیل متضاد بودن ماهیت این ۲ تابع هدف با یکدیگر، هیچ جواب واحدی نمی‌تواند هم‌زمان هر دو تابع هدف را برآورده کند. افزایش انتقال حرارت منجر به افزایش افت فشار می‌شود، بنابراین نتایج بهینه‌سازی به‌صورت جبهه پارتو ارائه می‌شود. از ابزار الگوریتم ژنتیک چندهدفه برای یافتن مجموعه‌ای از جواب‌های بهینه استفاده شده است به‌طوری‌که بین افت فشار و انتقال حرارت یک موازنه برقرار شود. در پایان، آنالیز حساسیت برای تجزیه و تحلیل اثر پارامترهای هندسی مبدل حرارتی بر عملکرد حرارتی و هیدرولیکی انجام شد. نتایج آنالیز حساسیت نشان می‌دهد.

**واژه‌های کلیدی:** بهینه سازی، انتقال حرارت، الگوریتم ژنتیک، مبدل صفحه ای



## فهرست مطالب

۱	فصل ۱: مقدمه
۲	۱-۱- مقدمه
۳	۱-۲- بستر آزمایش مبادله گر پمپ حرارتی
۵	۱-۳- خواص نانوسیال گرافن
۷	۱-۴- اهمیت و ضرورت تحقیق
۱۰	۱-۵- تهیه و فراهم سازی نانوسیالات

۱۲	فصل ۲: مروری بر منابع و کارهای انجام شده
۱۳	۲-۱- مقدمه
۱۵	۲-۲- مبدل حرارتی صفحه ای
۲۴	۲-۳- نانوسیالات یونی
۲۷	۲-۴- پایداری نانوسیالات
۳۲	۲-۵- دلایل ناپایداری
۳۳	۲-۶- روش افزایش پایداری
۳۵	۲-۷- مدل انتقال آگرژی و تقلیل داده ها
۳۹	۲-۶- الگوریتم ژنتیک
۴۵	۲-۸-۷- روش های نمایش
۴۶	۲-۸-۷- عملگرهای یک الگوریتم ژنتیک
۴۷	۲-۸-۷- ایده اصلی

۴۸	فصل ۳: روش تحقیق
۴۹	۳-۱- مقدمه
۴۹	۳-۱- هندسه
۵۱	۳-۱- انتقال حرارت
۵۲	۳-۱- افت فشار
۵۴	۳-۱- بهینه سازی
۵۴	۳-۱- الگوریتم ژنتیک
۵۵	۳-۱- الگوریتم ژنتیک چند هدفه

۵۷	فصل ۴: روش تحقیق
۵۸	۴-۱- مقدمه
۵۸	۴-۱- جواب جبهه پارتو
۶۰	۴-۱- آنالیز حساسیت

فصل ۵: جمع بندی و پیشنهادات

۶۶

۳-۱- جمع بندی ..... ۶۷

فصل ۶: مراجع

۶۹

۳-۱- مراجع ..... ۷۰

## فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) نمونه ای از مبدل حرارتی صفحه ای ..... ۲
- شکل (۱-۲) سیستم پمپ حرارتی ..... ۴
- شکل (۱-۳) نمایی از نمونه ای نانوسیال ..... ۵
- شکل (۱-۴) فرایند آماده سازی و سنجش خواص فیزیکی نانوسیال گرافن ..... ۶
- شکل (۲-۱) مشخصات ابعادی صفحات مبدل ..... ۱۶
- شکل (۲-۲) جنبه های مهم پایداری ..... ۲۸
- شکل (۲-۳) شکل بهینه محلی کلی ..... ۴۲
- شکل (۲-۴) شمای کلی شبه کد ..... ۴۶
- شکل (۳-۱) هندسه مبدل حرارتی صفحه ای ..... ۴۹
- شکل (۳-۲) مراحل اصلی الگوریتم ژنتیک چند هدفه ..... ۵۵
- شکل (۴-۱) جواب جبهه پارتو برای حداقل افت فشار و حداکثر انتقال حرارت ..... ۵۹
- شکل (۴-۲) اثر فاصله افقی مرکز تا مرکز پورت بر انتقال حرارت و افت فشار ..... ۶۱
- شکل (۴-۳) اثر فاصله عمودی مرکز تا مرکز پورت بر انتقال حرارت و افت فشار ..... ۶۲
- شکل (۴-۴) اثر فاصله صفحات بر انتقال حرارت و افت فشار ..... ۶۳
- شکل (۴-۵) اثر ضخامت صفحه بر انتقال حرارت و افت فشار ..... ۶۴
- شکل (۴-۶) اثر تعداد صفحات حرارتی بر انتقال حرارت و افت فشار ..... ۶۵

## فهرست جداول

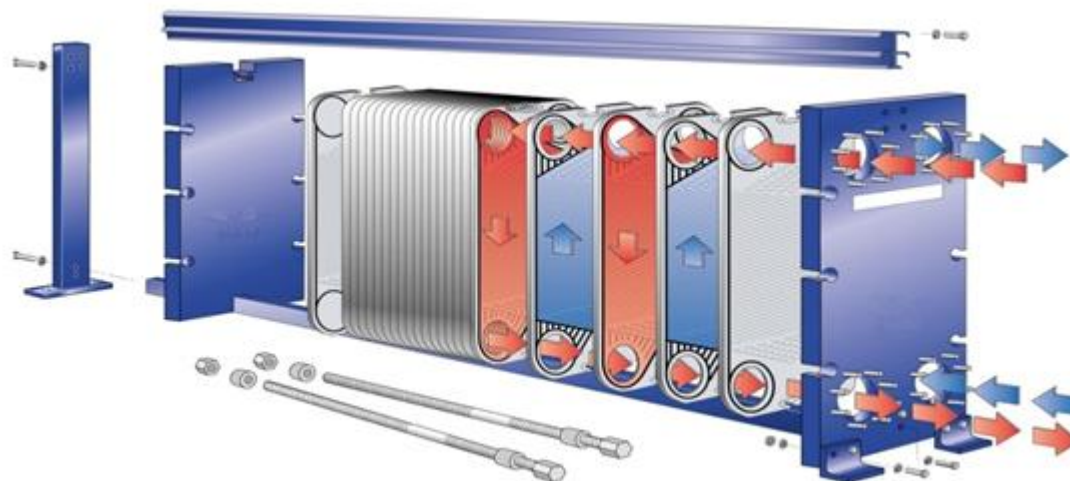
جدول (۳-۱) خواص حرارتی نانوسیال ها	۷
جدول (۳-۲) قیمت نانو ذرات معروف	۹
جدول (۳-۳) بررسی مطالعات انجام شده در زمینه بهینه سازی مبدل حرارتی	۱۴
جدول (۳-۴) روابط ریاضی مورد استفاده در تحلیل همبستگی	۳۸
جدول (۳-۵) شرایط عملیاتی مبدل حرارتی صفحه ای	۵۶
جدول (۴-۱) کران ها و مقادیر ثابت پارامترهای هندسی	۵۶
جدول (۴-۲) مجموعه جواب بهینه جبهه پارتو	۵۸

# فصل ١:

## مقدمه

مبدل‌های حرارتی بخش مهم و کاربردی صنعت هستند. به طوریکه در صنایع نفت گاز پتروشیمی و تهویه تبرید کاربرد فراوانی دارند. وظیفه اصلی مبدل‌ها انتقال حرارت از سیال گرمتر به سیال سردتر است، بدین منظور طیف گسترده‌ای از مبدل‌ها طراحی و گسترش یافته اند. از جمله مهمترین مبدل‌ها، مبدل صفحه‌ای است که کاربرد ویژه‌ای در صنعت دارد.

مبدل صفحه‌ای از صفحات موازی که یکی پس از دیگری مطابق شکل (۱-۱) بر روی هم قرار گرفته‌اند تشکیل شده است. سیال گرم و سرد در میان این صفحات جریان داشته و با یکدیگر انتقال حرارت انجام می‌دهند. مبدل حرارتی صفحه‌ای، از تعدادی صفحات چین دار از جنس استیل ساخته می‌شود. صفحات مربوط به سیال سرد و گرم به کمک آبندهایی از هم دیگر جدا شده‌اند تمامی این صفحات در داخل یک فریم فلزی جای دارد. فریم، صفحات استیلی گرم و سرد و آب بندها از جمله اجزای تشکیل دهنده مبدل صفحه‌ای هستند. صفحات استیلی گرم و سرد به کمک پیچ و مهره در میان دو صفحه ی فلزی به هم فشرده شده‌اند.



شکل (۱-۱) نمونه‌ای از مبدل صفحه‌ای و نمایش جریان گرم و سرد



در این پژوهش بهینه‌سازی حرارتی و هیدرولیکی مبدل حرارتی صفحه‌ای آب به آب از نوع صفحات چورون<sup>۱</sup> ارائه شده است. بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه در محیط بهینه‌سازی MATLAB انجام می‌شود. ماتریس محدودیت شامل مجموعه‌ای از پارامترهای مختلف هندسی مبدل حرارتی صفحه‌ای در بازه‌های منطقی است. دو تابع هدف عبارت‌اند از: افت فشار سمت گرم و انتقال حرارت. به دلیل متضاد بودن ماهیت این ۲ تابع هدف با یکدیگر، هیچ جواب واحدی نمی‌تواند هم‌زمان هر دو تابع هدف را برآورده کند. افزایش انتقال حرارت منجر به افزایش افت فشار می‌شود، بنابراین نتایج بهینه‌سازی به صورت جبهه پارتو<sup>۲</sup> ارائه می‌شود. از ابزار الگوریتم ژنتیک چندهدفه برای یافتن مجموعه‌ای از جواب‌های بهینه استفاده شده است به‌طوری‌که بین افت فشار و انتقال حرارت یک موازنه<sup>۳</sup> برقرار شود. در پایان، آنالیز حساسیت برای تجزیه و تحلیل اثر پارامترهای هندسی مبدل حرارتی بر عملکرد حرارتی و هیدرولیکی انجام شد. نتایج آنالیز حساسیت نشان می‌دهد.

#### ۱-۲- بستر آزمایش مبادله گر گرمای پمپ حرارتی

هدف این مقاله مطالعه نقش نانوسیال گرافن به عنوان مبرد در بهبود عملکرد مبادله گر گرما در سیستم‌های پمپ حرارتی با منبع آب دریا است. ما سیستم آزمایشی پمپ حرارتی دریایی فوق‌بحرانی CO<sub>2</sub> با منبع آب دریا را بازسازی می‌کنیم. سیستم پمپ حرارتی اصلی، یک سیستم پمپ حرارتی فوق‌بحرانی CO<sub>2</sub> با توان HP ۱۰۵ با منبع آب دریا است که راندمان انرژی گرمایش آن تقریباً چهار است و می‌تواند ۸۰-۲۰۰ L آب داغ با دمای °C ۵۵~۶۰ را تأمین کند. سیستم اصلاح‌شده گردش آب دریا در شکل (۱-۲) نشان داده شده است.

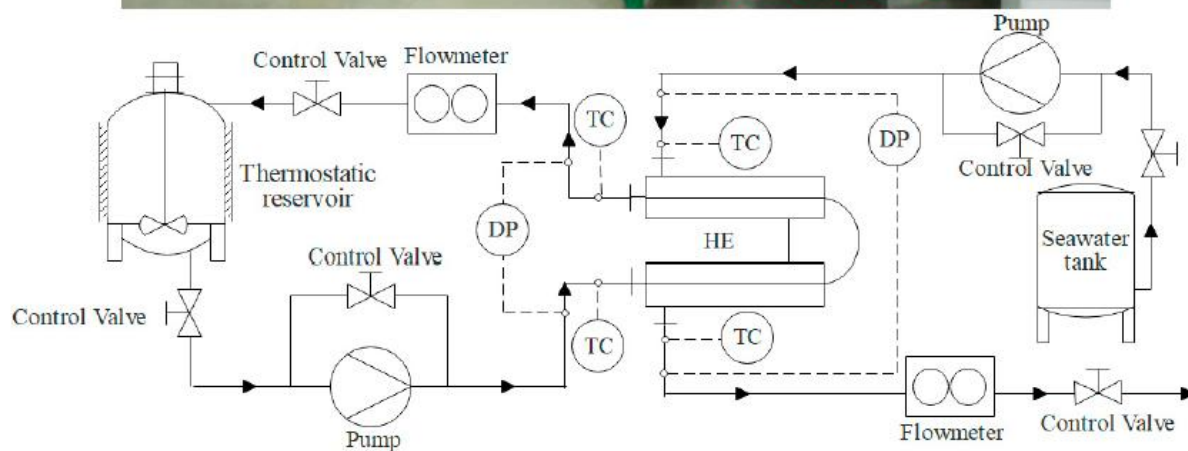
---

<sup>۱</sup>Chevron

<sup>۲</sup>Pareto Front

<sup>۳</sup>Trade-off

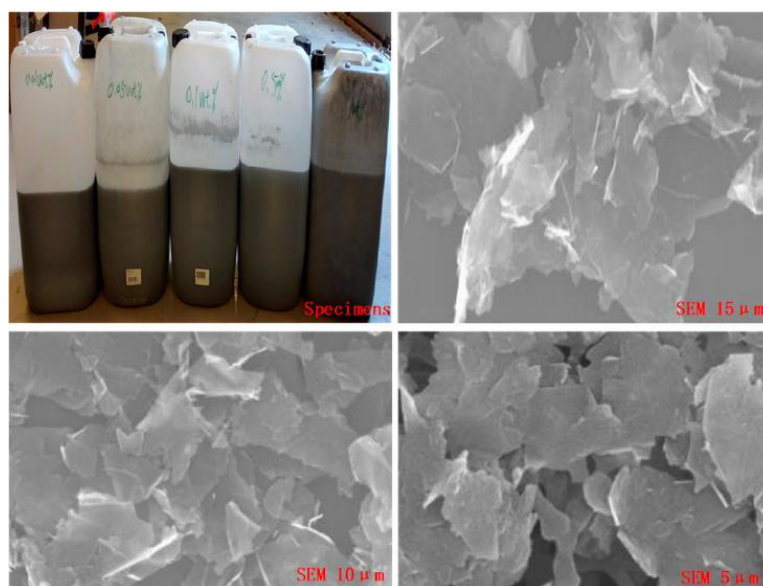
به جهت بررسی افزایش انتقال حرارت مبادله گر گرمای سیستم پمپ حرارتی با منبع آب دریا، سایر سیستم‌های پمپ حرارتی فوق بحرانی  $\text{CO}_2$ ، سیستم‌های اندازه‌گیری داده و سیستم‌های کنترل الکتریکی تغییر نمی‌کنند.



شکل (۱-۲) سیستم پمپ حرارتی با آب دریا و بستر آزمایش مبادله گر گرما

### ۱-۳- خواص نانوسیال گرافن

همانطور که در شکل (۱-۳) نشان داده شده است، از یک میکروسکوپ الکترونی روبشی برای میکروگرافی محلول غلیظ ۵٪ وزنی نانوسیال گرافن خریداری شده استفاده شد. تصاویر میکروسکوپی نانوپلاکت‌های گرافن در بزرگ‌نمایی‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ میکرومتر توسط فروشنده، ارائه شد. از تصاویر میکروسکوپ الکترونی می‌توان دریافت که با توجه به ساختار ویژه دوبعدی صفحه گرافن، نانوصفات گرافن در محلول سیال پایه به شکل تابیده هستند. شکل (۱-۴) فرایند آماده‌سازی نانوسیال با غلظت‌های مختلف و آزمایش خواص ترموفیزیکی آن‌ها را نشان می‌دهد.



شکل (۱-۳) نمایی از نمونه‌های نانوسیال آزمایش و تصاویر میکروسکوپی SEM از نانوپلاکت‌های گرافن



شکل (۴-۱) فرایند آماده‌سازی و سنجش خواص فیزیکی نانوسیال گرافن

خواص حرارتی پنج نانوسیال گرافن به طور خلاصه در جدول (۱-۱) آمده است. می‌توان مشاهده کرد که با افزایش غلظت نانوسیال، نسبت رسانایی حرارتی و گرانروی نانوسیال به سیال پایه نیز افزایش می‌یابد. با رسیدن غلظت به ۱,۰، گرانروی نانوسیال گرافن به شدت افزایش می‌یابد و مقدار اندازه‌گیری شده با ویسکومتر چرخشی از سه برابر گرانروی محلول پایه تجاوز می‌کند. علاوه بر این، چگالی و ظرفیت گرمایی ویژه نانوسیالات را می‌توان با استفاده از روابط تجربی زیر تعیین کرد.

$$\rho_{nf} = (1 - \phi)\rho_{bf}(T) + \phi\rho_P \quad (2)$$

$$\rho_{nf}c_{p,nf} = (1 - \phi)\rho_{bf}(T)c_{p,bf}(T) + \phi\rho_Pc_{p,np} \quad (3)$$

که در آن  $\rho$  و  $c_p$  چگالی و گرمای ویژه،  $\phi$  کسر حجمی نانوذرات و پانویس‌های nf، bf و np به ترتیب نانوسیال، سیال پایه و نانوذرات را نشان می‌دهد.

جدول (۱-۱) خواص حرارتی نانوسیال‌ها در مقایسه با سیالات پایه

Item					
Mass fraction	۰,۰۱	۰,۰۵	۰,۱	۰,۵	۱
Volume fraction	۰,۰۰۴۸%	۰,۰۲۴%	۰,۰۴۸%	۰,۲۴%	۰,۴۸%
$k_{nf}/k_{bf}$	۱,۰۱۷	۱,۰۱۹	۱,۰۲۱	۱,۱۰۲	۱,۲۱۱
$\mu_{nf}/\mu_{bf}$	۱,۰۰۱	۱,۰۳۴	۱,۰۵۸	۱,۴۸۸	۳

#### ۴-۱- اهمیت و ضرورت تحقیق

مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای در کاربردهای مختلف از جمله گرمایش، سرمایش، بازیابی حرارت، میعان و تبخیر بیشترین استفاده را دارند. مشخصات هندسی پیچیده مبدل حرارتی صفحه‌ای درجه بالایی از تلاطم را ایجاد می‌کند که منجر به انتقال حرارت زیادی می‌شود.

مبدل حرارتی یک جزء اساسی در هر سیستم حرارتی است. طراحی آن از نظر عملکرد حرارتی، اقتصادی و هیدرولیکی باید متناسب با کاربرد آن باشد. عملکرد مبدل حرارتی به پارامترهای هندسی و شرایط عملیاتی آن بستگی زیادی دارد. اگر شرایط عملیاتی ثابت باشد، هندسه مبدل حرارتی نقش اساسی در عملکرد هیدرولیکی و حرارتی مبدل حرارتی دارد؛ بنابراین می‌توان از عملکرد بهینه در یک هندسه خاص مبدل حرارتی اطمینان حاصل کرد.

نقش بسیار مهم اتلاف گرما از یک سیستم حرارتی در بهبود بازده انتقال حرارت، واقعیتی شناخته شده است. انتقال حرارت همرفتی بسیار موثرتر از روش هدایت حرارتی می باشد، این در حالی است که آهسته ترین و کم اثرترین روش انتقال حرارت از طریق تابش می باشد. انتقال حرارت همرفتی می تواند از طریق روش فعال نیز همانند روشهای غیرفعال تقویت شود.

اگرچه روشهای پیشین معمولاً پیشرفت و بهبود بهتری را نمایان می کنند، اما نیازمند اعمال نیروهای درونی می باشند که این خود موجب پیچیدگی و افزایش هزینه های مربوط به سرمایه گذاری سیستم می گردد. در نقطه مقابل این موضوع، می توان با تغییر پارامترهای طراحی مربوط به میزان جریان یا با عوض کردن ویژگی های ترموفیزیکی و گرمایی مربوط به سیال کاری بهبودی رضایتبخش در انتقال حرارت منفعل می تواند حاصل گردد. بنابراین این نتیجه بسیار مطلوبتر از روش غیرمنفعل می باشد.

هدف اصلی پژوهش بهینه سازی دو هدفه انتقال حرارت و افت فشار است. هیچ جواب واحدی نمی تواند همزمان انتقال حرارت را افزایش و افت فشار را کاهش دهد بنابراین به جای یک نقطه بهینه یک منحنی بهینه خواهیم داشت که از روش بهینه سازی دو هدفه بدست خواهد آمد.

از جمله اهداف فرعی پژوهش بررسی اثر متغیرهای مستقل (متغیرهای هندسی مبدل) بر روی انتقال حرارت و افت فشار مبدل می باشد. هدف کاربردی این پژوهش، ارائه یک کد محاسباتی به مهندسين شیمی مکانیک و انرژی جهت طراحی و بهینه سازی مبدل های صفحه ای می باشد.

نانو موادها نوعی از مواد ابتکاری هستند که حداقل سائیزی به ابعاد ۱ نانومتر دارند که می توانند از نوع پلیمر، سرامیک، فلز یا کامپوزیت باشند.

در مقایسه با مواد حجیم، نانو موادهای دارای خواص فیزیکی، شیمیایی، گرمایی و مکانیکی متمایزی می‌باشند. به طور کلی برتری مواد نانو فاز به دلیل دارا بودن نسبت سطح به حجم زیاد آن است که به دلیل حجم بالای اتم‌های موجود در مرز بین ذرات این مواد می‌باشد. در اشکال هندسی مختلف، مواد نانوساختار نانویی ممکن است به شکل میله‌ها، لوله‌ها، سوراخ‌ها و سیم‌ها ظاهر شوند. بر اساس ابعاد مواد با ساختار نانو به چهار دسته به نام‌های D<sub>0</sub> (نانومواد دسته‌ای)، D<sub>1</sub> (چند لایه‌ای)، D<sub>2</sub> (نانوذرات لایه‌ای) و D<sub>3</sub> (مواد جامد حجیم) تقسیم بندی شده‌اند. از طرف دیگر مواد با ساختار نانو با در نظر گرفتن اشکال بلوری خود به سه نوع طبقه بندی می‌گردند. این سه نوع شامل، اشکال میله‌ای، لایه‌ای و بلوری نانومتری هم اندازه می‌باشد.

از آنجایی که توانایی فنی برای تطبیق و تعدیل اندازه گیری‌های نانویی به طور چشمگیری بهبود پیدا کرده است، خواص جذاب مواد با ساختار نانویی نیز آشکار شده است. جدول (۱-۲) هزینه مربوط به نانوذرات فلزی و غیرفلزی را که از سیگما آلدریچ آمریکا جمع آوری شده اند، به نمایش می‌گذارد. به غیر از مواد فلزی-غیر فلزی و سایر مواد برای نانوذرات، به طور کلی مواد و ساختارهای جدید نیز ممکن است ویژگی‌های مطلوبی مانند مواد داپ شده با به کاربردن مولکول‌هایی در ساختار جامد-مایع داشته باشند.

جدول (۱-۲) قیمت نانوذرات معروف

قیمت نانوذرات معروف					
نانوذرات		خلوص (%)	اندازه (nm)	مقدار (g)	قیمت (USD)
فلزی	تقره	99.5	<100	5	65
	مس	99	25	5	68.60
	طلا	99	20	25	127
	آلومینیوم	99.9	40	25	121
	نوی	99.7	40	25	87
غیرفلزی	آهن	99.7	60	25	77
	آلومینا	99.8	13	100	170
	مس اکسید	99	<50	25	85.70
	سیلیکا	99.8	10	100	98
	تیتانیوم دی اکسید	99.5	10	100	64
	زیروئیکا	99.9	10	100	145
	نانوتیوب کربن (تک دیواره)	>90	4	1	1900
	الماس	95	50	250	1430
	گرافیت	99.5	8	25	109

انواع مختلفی از مایعات مانند مایعات غیر دی الکتریک (آب، اتیلن گلیکول، روغن‌ها) و مایعات دی الکتریک (مایعات آلیفاتیک، مایعات سیلیکون، فلوروکربن‌ها) به عنوان مایعات پایه برای ترکیب با نانو ذرات جهت افزایش انتقال حرارت مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مایعاتی مانند آب، گلیکول و روغن سیالات بسیار خوبی از نظر انتقال حرارتی هستند اما از نظر میزان هدایت حرارتی که مقدار رسانایی حرارت را تعیین می‌کند در سطح پایینی قرار دارند. یکی از بهترین روش‌ها برای افزایش هدایت حرارتی این سیالات، اضافه کردن نانو ذرات به آنها می‌باشد.

#### ۱-۵- تهیه و فراهم سازی نانوسیالات

نانوسیالات برعکس سیالات بدلیل دارا بودن خاصیت ترموفیزیکی تقویت شده همانند، هدایت حرارتی، نفوذ حرارتی، ضریب انتقال حرارت همرفتی و ویسکوزیته شناخته شده هستند. این مواد پتانسیل‌های فوق العاده‌ای در زمینه‌های مختلف از خود بروز داده‌اند. نانوسیالات ترکیباتی سوسپانسیونی شامل کربن، فلز، اکسید، نانوذرات سرامیکی، در ترکیب با سیالات پایه همانند آب، اتیلن، روغن موتور، گلیکول، استون و... می‌باشند. در شکل (۱-۲) روش‌های متفاوت سنتز نانوذرات نمایش داده شده است. متداولترین روش‌ها برای تجزیه و تحلیل نانوذرات، میکروسکوپ عبوری الکترونی، طیف سنجی، پرتونگاری، طیف سنجی مادون قرمز و رامان می‌باشند.

شورفاکتان‌هایی مانند صمغ عربی، CMC، NADDBS، SDBS، SDS، CTAB و مایعات متفاوت یونی به همراه نانوسیالات به کار برده می‌شوند که این خود باعث افزایش پایداری پراکندگی و خواص ترموفیزیکی آنها می‌گردد. ویژگیهای بسیار مهم نانوسیالات در شکل (۱-۳) ارائه شده است.

آماده سازی نانوسیالات عملی بسیار مهم برای رسیدن به نانوسیالی پایدار که در دمای بالا یا پس از دوره زمانی خاص تجمع نمی‌یابد، می‌باشد. سایر چالشهای نانوسیال در (۱-۴) نشان داده شده‌اند. دو فرایند اصلی جهت آماده سازی نانوسیالات عبارتند از روش یک مرحله ای یا رویکرد پایین به بالا و روش دو مرحله ای یا رویکرد



بالا به پایین.

تجمع نانوذرات مشکل اصلی در تمام تکنولوژی‌های نانوپودری برای هر دو روش جهت تولید سوسپانسیون های مطلوب نانوذرات می‌باشد. بهبود قابل توجه در خصوصیات انتقال حرارت نانوسیالات وابسته به سنتز و معلق سازی بدون ایجاد تجمع نانوذرات و یا پراکندگی یکدست آنها می‌باشد.

فرایند یک مرحله ای شامل آماده سازی و مخلوط کردن همزمان نانوذرات با سیال پایه ، در زمانی که تجمع نانوذره بدلیل گریز از خشک شدگی، ذخیره و فرایند انتقال کم می‌باشد که موجب سوسپانسیون پایداری از نانوذرات در سیال پایه می‌گردد. این روش مناسب برای مایعات با فشار بخار پایین می باشد. برای حجم تولید بالا روش دو مرحله ای بسیار اقتصادی می باشد.

در این روش نانوذرات در ابتدا آماده می‌شوند یا نانوذرات تجاری در دسترس به کار برده می‌شوند و سپس با اولتراسونیک، همزن‌ها، همگن کننده‌های برشی با قدرت زیاد، همزن‌های تویی و غیره در سیال پایه پراکنده می‌شوند. دومین روش آماده سازی اساسا برای نانوذرات اکسید شده مناسب است و ثابت شده است که برای نانوذرات فلزی ناپایدار می‌باشد.

## فصل ۲:

### مروری بر منابع

الگوریتم ژنتیک یک روش بهینه‌سازی مبتنی بر الگوریتم تکاملی برای بهینه‌سازی سیستم‌های غیرخطی و پیچیده است. پارامترهای هندسی بهینه برای مبدل حرارتی صفحه‌ای را می‌توان با استفاده از الگوریتم ژنتیک تخمین زد. مفهوم الگوریتم ژنتیک در دهه ۱۹۷۰ مطرح شد اما اولین کارهای اصلی مربوط به الگوریتم ژنتیک توسط هالند و دجونگ<sup>۱</sup> در سال ۱۹۷۵ [۱،۲] انجام شد. با این حال، کاربرد الگوریتم ژنتیک در زمینه انتقال حرارت جدیدتر است.

حوزه اصلی کاربردهای الگوریتم ژنتیک در زمینه انتقال حرارت، پژوهش در خصوص طراحی، شکل، شبکه، جانمایی و مرتب‌سازی سیستم‌های حرارتی است. حدود ۷۴ درصد از مقالات منتشر شده در مورد الگوریتم ژنتیک در زمینه انتقال حرارت، مربوط به مبدل‌های حرارتی، شبکه مبدل‌های حرارتی، گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع، تولید برق، انتقال حرارت هدایتی و انتقال حرارت تشعشعی است [۳]. مطالعات زیادی برای بهبود انتقال حرارت و کاهش افت فشار در مبدل‌های حرارتی انجام شده است [۴].

در میان روش‌های دیگر بهینه‌سازی، از الگوریتم ژنتیک به‌طور گسترده‌ای برای بهینه‌سازی طراحی مبدل‌های حرارتی استفاده شده است. در سال‌های اخیر، تحقیقات گسترده‌ای در زمینه بهینه‌سازی مبدل‌های حرارتی انجام شده است؛ اما این مطالعات در درجه اول بر روی مبدل حرارتی پوسته و لوله و مبدل حرارتی صفحه‌ای فین دار متمرکز هستند. یک بررسی جامع از کاربردهای الگوریتم ژنتیک در طراحی و بهینه‌سازی تبادل حرارت در جدول (۱-۲) ارائه شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشتر این مطالعات با بهینه‌سازی مبدل حرارتی پوسته و لوله، مبدل حرارتی صفحه‌ای فین دار و مبدل حرارتی لوله‌ای فین دار سروکار دارند. این مطالعات بهینه‌سازی در درجه اول بر روی کاهش هزینه و حداکثر کردن انتقال حرارت یا اثربخشی مبدل حرارتی کار می‌کنند. با این حال، مطالعات کمی وجود دارد که بهینه‌سازی مبدل حرارتی صفحه‌ای را بررسی کنند.

جدول (۱-۲) بررسی مطالعات انجام شده در زمینه بهینه سازی مبدل حرارتی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

مرجع	شرح سیستم	تابع هدف	الگوریتم ژنتیک	
			نوع	متغیرها
[۵]	شبکه مبدل حرارتی	حداقل: هزینه کل سالانه حداکثر: قابلیت اطمینان سیستم	چندهدفه	۷
[۶]	مبدل حرارتی صفحه ای-فین دار	حداقل: هزینه کل سالانه حداکثر: نرخ انتقال حرارت	چندهدفه	۶
[۷]	مبدل حرارتی پوسته و لوله	حداقل: هزینه کل سالانه حداکثر: اثربخشی	چندهدفه	۸
[۸]	مبدل حرارتی صفحه ای-فین دار	حداقل: ضریب اصطکاک $f$ حداکثر: ضریب کالبورن $z$	چندهدفه	۴
[۹]	مبدل حرارتی لوله ای-فین دار	حداقل: وزن کل حداقل: هزینه کل سالانه	چندهدفه	۷
[۱۰]	مبدل حرارتی پوسته و لوله	حداکثر: اثربخشی حداقل: هزینه کل، افت فشار و تعداد واحدهای تولید انرژی	چندهدفه	۶
[۱۱]	مبدل حرارتی صفحه ای-فین دار	حداقل: ضریب اصطکاک $f$ حداکثر: ضریب کالبورن $z$	چندهدفه	۴
[۱۲]	مبدل حرارتی صفحه ای	حداقل: هزینه مبدل حرارتی حداقل: افت فشار	چندهدفه	۴
[۱۳]	مبدل حرارتی صفحه ای	حداکثر: ضریب انتقال حرارت حداقل: افت فشار	چندهدفه	۶
[۱۴]	مبدل حرارتی صفحه ای-فین دار	حداقل: حجم کل حداقل: هزینه کل	چندهدفه	۳
[۱۵]	مبدل حرارتی پوسته و لوله	حداقل: هزینه کل	تک هدفه	۶
[۱۶]	مبدل حرارتی صفحه ای-فین دار	حداقل: واحدهای انتقال حرارت (NTU)	تک هدفه	۴
[۱۷]	مبدل حرارتی صفحه ای	حداقل: مساحت انتقال حرارت	تک هدفه	۴
[۱۸]	مبدل حرارتی پوسته و لوله	حداقل: هزینه کل سالانه	تک هدفه	۳
[۱۹]	چرخه رانکین آلی	حداقل: هزینه سرمایه گذاری کل حداقل: راندمان حرارتی	چند هدفه	۷

## ۲-۲- مبدل حرارتی صفحه‌ای

مبدل‌های حرارتی اجزای مهمی در فرآیندهای صنعتی هستند، تولید برق، گرمایش حمل و نقل و تولید. در دهه‌های اخیر، نگرانی‌های زیست‌محیطی با توجه به آلودگی هوا و آب و همچنین دفع زباله انگیزه صرفه‌جویی در مصرف انرژی و افزایش بهره‌برداری از انرژی منابع انرژی تجدید پذیر را افزایش داده است.

توسط Thulukkanam بیش از ۶۰ عدد از الگوهای مختلف مبدل صفحه‌ای ارائه شد و در سراسر جهان توسعه‌یافت در طول دهه‌های اخیر، الگوهای corrugated، جز موفق‌ترین طرحها برای مبدل‌های صفحه‌ای پذیرفته شد.

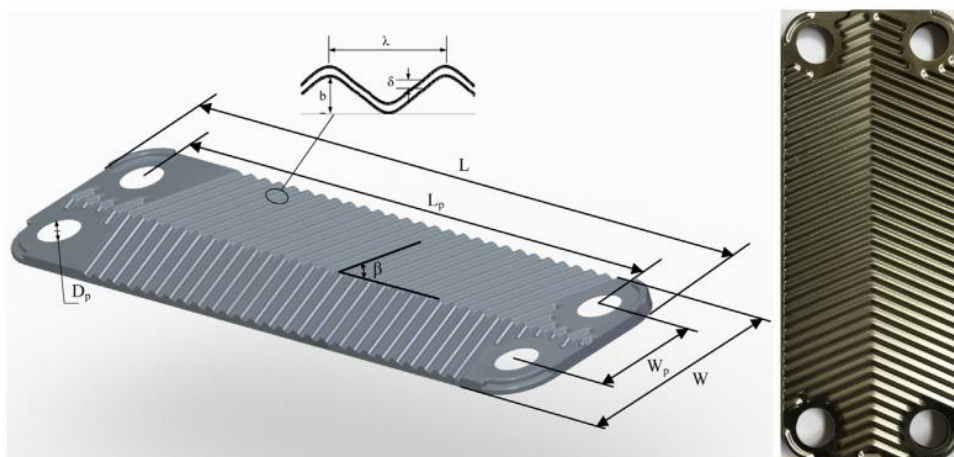
تحقیقات زیادی، هم بصورت تجربی و هم عددی، به بررسی اثرات پارامترهای هندسی بر روی انتقال حرارات و افت فشار مبدل صورت گرفت. در اغلب این تحقیقات کارایی مبدل بصورت تک هدفه یا چند هدفه بررسی شد این پارامترها با توجه به نیاز کاربردهای عملی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

به طور کلی نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که پارامترها هندسی صفحه به طور معنی‌داری بر عملکرد تاثیر می‌گذارند. طراحی بهینه پارامترهای هندسی صفحات مبدل صفحه‌ای یکی از موضوعات اساسی تحقیقات محققین است. شکل زیر یک شکل کلی از پارامترهای صفحات مبدل صفحه‌ای را نمایش می‌دهد. به طور کلی،

پارامترهای هندسی می‌توانند به دو قسمت (ابعاد صفحه-شیارهای موجدار) تقسیم شوند:

ابعاد شیار شامل: زاویه بتا، طول موج سطحی،  $\lambda$  و عمق  $b$  شیار و ابعاد صفحه شامل: طول صفحه  $L$  و پهنای

$W$ ، طول موثر  $L_p$  و عرض موثر  $W_p$  بین دریچه‌های ورودی و خروجی و قطر دریچه  $D_p$



شکل (۲-۱) مشخصات ابعادی صفحات مبدل

هزینه مبدل حرارتی، هزینه عملیاتی سالانه، وزن و حجم به مشخصات انتقال حرارت و افت فشار مبدل حرارتی برای یک کاربرد خاص بستگی دارند؛ بنابراین بررسی تأثیر پارامترهای هندسی بر انتقال حرارت و افت فشار که پیش‌شرط‌های لازم برای انتخاب مبدل حرارتی هستند، از اهمیت حیاتی برخوردار است. مطالعات محدودی در مورد بهینه‌سازی مبدل حرارتی صفحه‌ای وجود دارد و اطلاعات کمی در مورد تأثیر پارامترهای هندسی اولیه بر عملکرد حرارتی و هیدرولیکی مبدل حرارتی صفحه‌ای موجود است.

تمرکز اصلی مطالعه حاضر بر موارد زیر است:

- بررسی تأثیر پارامترهای هندسی مبدل حرارتی بر عملکرد حرارتی و هیدرولیکی مبدل حرارتی.

- بهینه‌سازی پارامترهای هندسی برای حداکثر کردن انتقال حرارت و حداقل کردن افت فشار با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه.

کشتیرانی همواره مقرون به صرفه ترین روش حمل و نقل برای کالای فله ای در جهان بوده است. تجارت دریایی جهان که بر بنادر متکی است، حدود ۸۰٪ کل تجارت و حمل و نقل جهان را دربرمی گیرد. در حالی که صنعت کشتیرانی به طور مؤثر تجارت و اقتصاد جهانی را رونق داده است، سطح بالایی از آلاینده های محیطی را نیز به همراه خود آورده است.

آلاینده های کشتی ها به منبع عمده آلودگی در سطح دریا و شهرهای بندری در جهان بدل شده است. بر اساس داده های سازمان بین المللی دریایی، اگر در حال حاضر هیچ اقدامی مؤثری در جهت صرفه جویی انرژی و کاهش آلودگی انجام نشود، تا سال ۲۰۵۰ آلاینده های CO<sub>2</sub> شناورهای دریایی، ۱۸٪ از مقدار کل جهانی را شامل خواهد شد.

بخش عمده مصرف انرژی و آلاینده های کشتی، مصرف انرژی مربوط به ذخیره بار و زندگی خدمه است. سیستم های سنتی تهویه مطبوع کشتی به طور معمول از دود خروجی یا بویلرهای نفتی برای تولید بخار اشباع بالاتر از ۱۵۰ °C برای مبادله گر گرما استفاده می کنند. سپس فن یا خط لوله بخار، گرما را به کابین ها هدایت می کند تا نیاز به گرمایش و آب داغ تأمین شود. با این وجود، به دلیل کاهش عمومی سرعت کشتی، بخار تولید شده با بویلر دود نمی تواند نیاز کل کشتی را برآورده کند و باید از یک بویلر نفتی برای کمک به آن استفاده کرد، که منجر به افزایش هزینه عملیاتی کل کشتی می شود. داده ها نشان می دهد که نیاز تهویه مطبوع سرمایشی و آب داغ کشتی های کروز بیش از ۴۵٪ مصرف برق کل کشتی را شامل می شود. این مقدار توان الکتریکی، نیاز به مصرف مقدار زیادی سوخت علاوه بر مقدار لازم برای توان ناوبری دارد و این مقدار در زمان کناره گیری در اسکله که فعالیت سیستم توان کشتی متوقف می شود،

به طور ویژه بیشتر خواهد بود. به طور خلاصه، کیفیت هوای کشتی در کنار تأمین آب سرد و گرم، نه تنها به شدت بر سلامت و راندمان کاری خدمه و مسافران اثر دارد، بلکه ریسک عملیاتی بار و تجهیزات اصلی و کمکی فعالیت کشتی را کاهش می دهد.

بر اساس چالش‌های پیش‌روی تجهیزات کشتی‌ها از جمله حفاظت شدید جهانی از محیط‌زیست دریایی، حفاظت فعال انرژی جهانی و سیاست‌های راهنمای کاهش آلاینده‌گی، فناوری پمپ حرارتی در کشتی و تحقیقات مرتبط با آن که مصرف انرژی در کشتی را کاهش می‌دهد، پا به عرصه ظهور گذاشته است.

پمپ‌های حرارتی با منبع آب دریا، از مزیت پایداری نسبی دمای اقیانوس بهره می‌برند و از کمپرسور برای استخراج انرژی مرتبه پایین آب دریا با صرف مقدار کمی انرژی الکتریکی استفاده می‌کنند. انرژی آب دریا به عنوان منبع سرد/گرم در سیستم پمپ حرارتی به کار رفته و دمای آن قبل از انتقال به سمت کاربر افزایش یا کاهش می‌یابد تا سرمایش/گرمایش یا آب داغ لازم روی عرشه تأمین شود. نسبت راندمان انرژی این سیستم در گرمایش زمستان عموماً به ۶۳ می‌رسد، در حالی که نسبت راندمان انرژی سرمایش آن در زمستان می‌تواند به ۴۲ برسد.

سیستم سنتی گرمایش، تهویه و کنترل هوا برای انجام کارکردهای فوق به تجهیزات کمکی زیادی نیاز دارد و سیستم پمپ حرارتی با منبع آب دریا، برای تغییر بین کارکرد سرمایش و گرمایش بسته به نیاز کاربر، تنها باید جای کندانسور و محفظه تبخیر در سمت آب دریا را عوض کند. از این رو فناوری سیستم پمپ حرارتی یک راه اساسی برای کاهش مصرف انرژی الکتریکی، هزینه حمل‌ونقل و آلاینده‌گی در کشتی است. علاوه بر این، فناوری پمپ حرارتی در بسیاری از مواقع ارزش کارکرد بالایی دارد.

فوسا با به‌کارگیری آرایه مبادله گر گرمای چاه در پمپ‌های حرارتی زمینی را مطالعه کرد. در این مطالعه فاکتور پایه پاسخ حرارتی به صورت بازگشتی محاسبه شد و یک روش مستقیم برای محاسبه مقاومت مؤثر بلندمدت زمین داده شد. آندری استفاده از پمپ حرارتی با منبع آب دریا را معرفی کرده و مصرف انرژی آن را تحلیل کردند تا بهره‌گیری از گرادیان دما در پمپ‌های حرارتی دریایی و مزیت راندمان انرژی بالاتر آن را نشان دهند. ژنگ عملکرد انتقال حرارت مبادله گر گرمای کوئل مارپیچ پلی‌اتیلن در یک سیستم پمپ حرارتی با منبع آب دریا را آزمودند.



در این مطالعه اثرات جریان آب دریا و یخزدگی سطحی بر عملکرد انتقال حرارت مبادله گر گرما بررسی شد. لیو و همکاران یک سیستم پمپ حرارتی با منبع آب دریا که در آن یک لوله موئین به عنوان مبادله گر گرمای سرانتهایی جلویی عمل می کرد، را بررسی کردند.

مطالعات نشان داد که لوله های موئین به عنوان مبادله گر گرما بین آب دریای خارج و ضدیخ گلیکول داخل عمل کرده و سرمایه اولیه موردنیاز را کاهش و ضریب عملکرد (COP) را افزایش می دهد.

ازگی امکان استفاده از سیستم های پمپ حرارتی جت بخار در کشتی ها را بررسی کردند. پارامترهای بهینه طراحی با استفاده از تحلیل ترمودینامیکی در پمپ حرارتی جذبی آب-لیتیوم بروماید به عنوان سیستم گرمایش، تهویه و کنترل هوا به دست آمد.

یون یک سیستم پمپ حرارتی اتوماتیک آبشاری برای غلبه بر اثر منفی دمای محیط بر راندمان پمپ حرارتی CO<sub>2</sub> ارائه کردند. سیستم پمپ حرارتی اتوماتیک آبشاری از انبساط دومرحله ای و مبرد آزنوتروپ -CO<sub>2</sub> R32 استفاده می کند.

پریارون از یک متد برازش منحنی برای وارد کردن داده های اندازه گیری تأمین کنندگان متعدد به نرم افزار استفاده کردند و مدل هایی برای پمپ های حرارتی با منبع آب زمینی و پمپ های حرارتی هوایی ایجاد کردند و در نهایت ضریب عملکرد پمپ حرارتی را در دماهای کاری مختلف تخمین زدند.

چگونگی انتخاب سیال کاری یک سیستم حرارتی و ارزیابی مصرف انرژی تجهیزات مبادله گر گرما همواره یکی از جنبه های مهم و اساسی تحقیقات در زمینه طراحی و بهبود بهینه سازی مهندسی است. در وهله اول، سیال کاری که در سیستم پمپ حرارتی در گردش است، با تغییر حالت حرارتی با محیط بیرون تبادل انرژی دارد تا سیستم کارنوی معکوس و انتقال انرژی از دمای پایین به دمای بالا محقق شود.

عملکرد این سیستم تا حدی به مشخصات سیال کاری بستگی دارد. مورد بعدی این که به دلیل ملزومات حفاظت زیست محیطی، جوامع طبقه بندی مختلف در حال حاضر استفاده از مبردهای HFC سنتی را ممنوع می کنند. بنابراین، انتخاب یک سیال کاری مناسب که در تعارض با محیط زیست نباشد، برای عملکرد سیستم پمپ حرارتی، حفاظت انرژی و کاهش آلاینده گی کشتی ضروری است.

چن توزیع مبرد R134a در سیستم در شرایط کاری مختلف برای بهبود راندمان واحد تبرید تراکمی بخار را بررسی کردند. نتایج این مطالعه را می‌توان برای بهینه‌سازی جرم مبرد درون واحد تبرید و اجزای آن استفاده کرد.

بوبو مبردهای مختلف را به عنوان جایگزین پمپ زمین‌گرمایی R410a تحلیل کردند. خواص ترمودینامیکی، نرخ جریان، فشار و راندمان انتقال حرارت R32، R290 و R454b در کمپرسور، محفظه تبخیر و کندانسور در شرایط داده‌شده، مقایسه شد.

پانیاگوا عملکرد سیستم پمپ‌های حرارتی زیربحرانی CO<sub>2</sub> و R410a را در کاربردهای ساختمان‌های انرژی‌صفر مقایسه کردند. با ترکیب با داده‌های تجربی و مدل‌ها، عملکرد این دو پمپ حرارتی با دمای آب گرم تولیدی مشابه و در دمای محیط یکسان تحلیل شد. با تمرکز بر این مشخصه که CO<sub>2</sub> زیربحرانی حساسیت بیشتری به شرایط کاری دارد، یک روش بهینه‌سازی برای بهبود عملکرد آن توسعه داده شد. نقاط بارز این مطالعه کاربرد سیالات کاری جدید بود که در تعارض با محیط زیست نیستند.

در حال حاضر روش‌های تحلیل و ارزیابی متعددی برای اندازه‌گیری مصرف انرژی مبادله‌گرهای گرما و هدایت آن‌ها به سمت طراحی بهینه استفاده می‌شود. این روش‌ها را می‌توان در سه گروه تقسیم‌بندی کرد: اول، تحلیل و ارزیابی بر اساس قانون اول ترمودینامیک، دوم، ارزیابی با استفاده از ترکیب بقای انرژی و قانون دوم ترمودینامیک و در نهایت، با بهبود روش‌های بالا، روش‌هایی شامل ترمواقصدی، روش ترکیبی و تئوری اتلاف انباشت آتش و ... توسعه می‌یابد.

سان یک مبادله‌گر گرمای پوسته و لوله با بافل‌های سه‌لویی مایل را مطالعه کرده و مشخصات جریان و انتقال حرارت را به صورت عددی شبیه‌سازی کردند و ساختار آن را با استفاده از ضرایب انتقال حرارت و افت فشار تحلیل کردند.

شن با در نظر گرفتن محدودیت‌های روش‌های سنتی ارزیابی اتلاف انرژی مکانیکی، تئوری تولید آنتروپی را معرفی کردند و اتلاف انرژی مکانیکی را برای جریان و لقی نوک پره متغیر با استفاده از شبیه‌سازی پمپ‌های جریان محوری مطالعه کردند.

پریژینگر طراحی سیستم‌های ORC، انتخاب سیال کاری و تطابق دمای منابع گرم و سرد را از منظر اقتصاد ترمودینامیکی مطالعه کردند و مدل‌های ترمواقتصادی ORC بر اساس پارامترهای پیچیدگی و ابعادی ساختاری توسعه دادند. به صورت خلاصه، اغلب ارزیابی‌های تجهیزات مبادله گرما در جهت بهبود تجهیزات و بهبود عملکرد بوده ولی اکثر آن‌ها تنها جریان سیال و عملکرد انتقال حرارت را بررسی کرده‌اند و به ندرت انتقال انرژی و اتلاف انرژی کلی تجهیزات تحلیل شده است.

علاوه بر مطالعات بالا، مبادله گرما نیز یک بخش مهم از سیستم است. مبادله گرما به ویژه در پمپ‌های حرارتی، یک مؤلفه کلیدی است که بر استفاده از انرژی مرتبه پایین و کارکرد تبدیل انرژی، اثر دارد. برای جلوگیری از خوردگی تجهیزات در معرض آب دریا و آسیب دیدن سیستم قدرت کشتی و بخش‌های مرتبط، به طور کلی در کندانسور و محفظه تبخیر سیستم پمپ حرارتی دریایی با منبع آب دریا، مبادله گرما به طور مستقیم با آب دریا صورت نمی‌گیرد.

بخار مبرد در ابتدا در محفظه تبخیر پمپ حرارتی، ظرفیت سرمایشی خود را به یک نوع خاص مبرد منتقل می‌کند و سپس از طریق یک مبادله گرما گرمای واسطه، انتقال انرژی با آب دریا صورت می‌پذیرد. در این فرایند، اطمینان از انتقال انرژی کارآمد در مبادله گرهای گرما به مسئله‌ای حساس در صنعت تبدیل شده است. بنابراین، از نقاط برجسته تحقیقات حاضر، استفاده از نانوذرات به عنوان مبرد برای افزایش نرخ انتقال حرارت جریان در مبادله گرما و در نتیجه افزایش ضریب راندمان انرژی سیستم پمپ حرارتی است.

برای طراحی و بهینه‌سازی مبادله گرهای گرما با ساختارهای مختلف و سیالات مبادله گرمای جدید در یک سیستم پیچیده مبادله گرما، مدل‌ها و روابط تجربی موجود قادر نیستند به طور دقیق اثرات انتقال حرارت و افت فشار را بر عملکرد سیستم بازتاب دهند. بنابراین، نیاز است که مسائل ویژه بر حسب شرایط کاری، ساختارها و سیالات کاری جدید به صورت دقیق تحلیل و مطالعه شوند.

آپری اثر استفاده از نانوسیالات به عنوان سیال کمکی مبرد بر افزایش انتقال حرارت در سیستم‌های تبرید تراکمی بخار را بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزودن ۱۰٪ نانوذرات مس به ترکیب آب/گلیکول می‌تواند انتقال حرارت را به طور میانگین تا حدود ۳۰٪ افزایش دهد.

کریستیوان و همکاران [۳۲] دو فناوری غیرفعال افزایش انتقال حرارت با ترکیب یک ساختار میکروکانال و یک نانوسیال را با اندازه‌گیری عدد ناسلت، ضریب اصطکاک و عملکرد انتقال حرارت مطالعه کردند. ثابت شده است که در جریان آب در یک کانال مربعی، استفاده از نانوسیالات با کسر حجمی ۰,۰۱٪ می‌تواند راندمان انتقال حرارت در میکروکانال را افزایش دهد.

رامیرز فرایند جابجایی اجباری پنج نانوسیال را در لوله‌های مستقیم با ساختارهای مختلف و در شرایط دما ثابت و شار حرارتی ثابت به صورت عددی مطالعه کردند. نتایج نشان داد که با افزایش کسر حجمی نانوذرات  $Al_2O_3$ ، متوسط عدد ناسلت افزایش می‌یابد.

کی از یک روش دومرحله‌ای برای آماده‌سازی نانوسیالات پایدار تیتانیوم دی‌اکسید-آب استفاده کردند و مشخصات جریان و انتقال حرارت آن‌ها را در سیستم‌های مبادله گر گرما با لوله‌هایی با مقطع دایره‌ای و مثلی آزمودند. رابطه برازش عدد ناسلت و ضریب درگ نانوسیال در لوله مثلی داده شد و عملکرد کلی نانوسیال در لوله مثلی مطالعه شد. در سال‌های اخیر، تحقیقات در زمینه نانو به سرعت افزایش یافته است. به دلیل بهتر بودن خواص ترموفیزیکی نانوذرات، عملکرد انتقال حرارت سیال می‌تواند افزایش یابد. در میان نانوسیالات مختلف، گرافن با ضریب رسانایی حرارتی و الکتریکی بالاتر و گرانش کمتر به عنوان یکی از موارد شاخص مطرح است. بنابراین، مطالعه نانوسیالات گرافن به عنوان مبرد برای بهبود عملکرد سیستم‌های حرارتی سنتی می‌تواند امیدبخش باشد.

با در نظر داشتن مسائل بالا، از مزایای مختلف موجود در مطالعات گذشته استفاده شد تا مطالعه تجربی و تحلیل عملکرد مبادله گر گرما در یک سیستم پمپ حرارتی  $CO_2$  فوق‌بحرانی با مبرد نانوسیال گرافن انجام شود. روش تحلیل انتقال اگزرژی ترکیبی دما و فشار برای ارزیابی عملکرد کلی مبادله گر گرما و متعاقب آن بهینه‌سازی و طراحی عملی سیستم استفاده شد.

افزودن نانو ذرات و مواد یونی به سیال پایه رویکرد بهبود غیرممنفعی است که بسیار مورد توجه می‌باشد. به دلیل مقدار افزایش مشاهده شده در هدایت گرمایی و بازده‌های انتقال حرارت، به کار بردن مایعات پراکنده بر روی نانو ذرات به عنوان گزینه ای امیدوار کننده برای انواع مختلف انتقال حرارت تلقی می‌شود. بر خلاف مزیت‌های نانو سیال، نکته کلیدی در مورد آن، پایداری می‌باشد که در این مقاله مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

تحقیقات صورت گرفته توسط محمدپور و همکاران ویژگی‌های پایداری و انتقال حرارت نانوسیال مس/ EG به روش ۱ و ۲ مرحله ای را مقایسه می‌نماید. نویسندگان به این نتیجه رسیدند که نانوسیالی که از طریق روش ۱ مرحله ای آماده سازی شده است به مدت چند ماه پایدار است، در حالیکه روش دو مرحله ای از نظر خصوصیات انتقال حرارتی موثرتر می باشد.

اصولا برای نانوذرات اکسید شده روش ۱ مرحله ای به خوبی پاسخگو می باشد در حالی که برای نانوذرات فلزی روش ۲ مرحله ای ترجیح داده می‌شود. آلبرت و دیگران روش جدید sol-gel را که مزیت مربوط به هر دو روش ۱ و ۲ مرحله ای را داراست معرفی نمودند، همچنین نانوسیال مس اکسید/ پلی وینیل الکل آماده سازی شده ، مقدار پتانسیل زتا را  $mv\ 13$  نشان داده است. گوشی و دیگران نانوسیال پارافین  $AL_2O_3$  را با به کار بردن روش دو مرحله ای آماده سازی کردند تا خواص تابشی حرارتی آنرا بررسی نمایند. نتایج حاصل حاکی از ظرفیت بسیار بالای جذب نور در مقایسه با زمانی که پارافین خالص به کار برده می‌شود بوده است.

در سال ۲۰۰۹ ریبرو و همکاران اصطلاح نانو سیالات یونی را جهت فائق آمدن بر چالش‌هایی که متوجه سیالات انتقال حرارت سنتی بود را اختراع کردند. نانو سیالات یونی کلاس هوشمندی از سیالات اند که دارای ویژگی‌های ترموفیزیکی قابل ملاحظه‌ای هستند که برای افزایش نرخ انتقال حرارت نانوسیالاتی که با پراکنده سازی نانوذرات در مایع‌های یونی به دست آمده‌اند، استفاده می‌شود. مایع‌های یونیزه شده (ILS) نمک‌هایی که دمای ذوب کمتر از ۱۰۰ درجه سانتی گراد دارند و از یون‌های با قابلیت طراحی و تقویت مثبت و منفی (کاتیون و آنیون) که دارای فشار بخار ناچیز و خواص شیمیایی و حرارتی هستند تشکیل یافته‌اند. محققان اخیراً به دستیابی بر نقطه ذوب مورد نیاز، گرانروی و حلالیت با سلیر حلال‌ها با تغییر اندازه ی آنیون یا کاتیون برای کاربردهای صنعتی متمرکز شده‌اند.

در سال‌های اخیر یون‌های مایع در دمای اتاق (یون‌هایی که در دمای اتاق (کمتر از ۳۰ درجه سانتی گراد) به صورت مایع‌اند) که از یون‌هایی تشکیل یافته‌اند که موجب غلیان قابل توجه‌ای به دلیل فشار بخار ناچیز خود در حالت مایع می‌شوند. بسیاری از یافته‌ها حکایت از قابل بازیافت بودن سیال‌های یونی؛ کاهش هزینه و هم چنین کارایی بالقوه به کمک فرایندهای سینتیکی دوستدار محیط زیست دارد.

پایداری نانوسیالات، با افزودن سیالات یونی از آنجایی که آنیون‌ها و کاتیون‌ها یک لایه ی الکترواستاتیک دور نانوذرات برای جلوگیری از تجمع این ذرات تشکیل می‌دهند، می‌تواند افزایش یابد. پیوندهای طولانی آلکیل در یون‌های مایع کاتیونی به دلیل ویژگی‌های جذاب آنها مانند رسانایی فوق العاده، پایداری شیمیایی و حرارتی، ظرفیت گرمایی و ویژگی‌های حلالی آنها که به صورت گسترده‌ای در الکترونیک، ابزار دقیق، حمل و نقل، میکروسیالات و زمینه‌های پزشکی استفاده می‌شود، ثبات نانوذرات در هر حلال را اطمینان می‌بخشد. دب و همکاران یک رابطه ی جدیدی را بر پایه ی نانوسیالات سیلیکونی یونی برای ارزیابی اثر گرانروی، انتقال فاز و انتشار یون در یک ایمیدازولیوم توسعه داد.

نویسندگان مشاهده کردند که افزودن نانوذرات میزان تبلور نانوسیالات یونی را کاهش و در مقابل انتشار یونی و رسانایی الکتریکی آنها را افزایش می‌دهند. بسیاری از تحقیقات تجربی و نظری در مورد مایعات یونی نشان می‌دهد که انتقال یونی، نظریه ی استوکس انیشتین را که پدید آمدن ساختارهای جدید و گرانیروی را دنبال می‌کند. همین طور سستی در ساختار و رسانایی یونی، نقطه ذوب مایعات یونی را کاهش می‌دهد.

باتاچاریا و همکاران بر روی ارزیابی رسانایی و ساختار مایعات یونی ترکیبی در مقیاس ذره متمرکز شدند. نویسندگان یک ایمیدوزالیوم بر پایه ی سیال یونی اکسید قلع با سه غلظت وزنی متفاوت (۱۰ و ۲۰ و ۳۰ درصد) ساختند. نتایج آنها نشان داد که در هر دمایی ضعف رسانایی یون‌ها سریع تر از سستی ساختار در مایعات یونی انجام گرفت که برای توسعه ی دستگاه‌های ذخیره انرژی با میزان بالا، بسیار مطلوب است.

اوستر و همکاران ساز و کار پیشرفت غیرمعمول رسانایی گرمایی و ظرفیت گرمایی ویژه مایعات یونی پراکنده شده با لوله‌های نانو مانند نیتريد بورون و نانوذرات گرافیت با ۰,۵,۱ و ۳ درصد وزنی را بررسی کردند. نویسندگان به این نتیجه رسیدند که نانولایه سطحی و نوع نانوذرات باعث افزایش خواص حرارتی در نانوسیالات یونی هستند. با وجود این، آنها همپوشانی حد واسطی را که در تحقیقات گذشته بدست آمده بود و نقش مهمی نیز در افزایش بازده انتقال حرارت داراست، مشاهده نکردند.

فريا بر روی بررسی خواص حرارتی و انتقالی مایع یونی فسفونیوم بر پایه نانوسیالات MWCNT با به کار بردن سیم داغ گذرا، فشارسنج‌ها، آنالیز گرماسنجی و کالریمتری اسکن دیفرانسیلی تمرکز نمودند. با توجه به اینکه میزان هدایت گرمایی تنها ۰/۴ تا ۱/۴ درصد افزایش پیدا کرده بود، آنها به این نتیجه رسیدند که نانوسیالات یونی بر پایه فسفونیوم به دما وابسته نیستند. همچنین آنها دریافتند که ویسکوزیته، رفتار سیالات غیریوتوننی با نرخ برشی کمتر را از خود بروز می‌دهد. دو روش گام به گام توسط چن و همکاران برای آماده سازی نانوسیال یونی سیلیکون کاربید در ترکیب با مایع یونی [BMIM][BF<sub>4</sub>] با درصدهای وزنی ۰/۰۱، ۰/۰۳ و ۰/۰۶ به کار برده شد.

نویسندگان میزان پایداری و خواص نوری و حرارتی نانوسیال آماده سازی شده را تحت شرایط جذب مستقیم توسط گردآورنده خورشیدی بررسی نمودند. طبق گزارش نویسندگان سیالات به مدت ۲۰ روز پایدار بوده و

هیچگونه رسوبی مشاهده نشد. ویسکوزیته و چگالی با افزایش غلظت نانوذرات افزایش پیدا کرده و با افزایش دما از میزانشان کاسته شد. همچنین ظرفیت گرمایی ویژه و هدایت حرارتی با افزایش غلظت و دما، افزایش پیدا کردند. نتایج اپتیکی بدست آمده نشان داد که در غلظت‌های بالای نانوسیالات یونی میزان نور خورشید بیشتری را می‌توان جذب و نگه داری نمود، حتی اگر ضریب خاموشی بالایی به دلیل نانوذرات سیلیکون کاربرد بدست آید.

فرانسوا و دیگران نانوسیالات MWCNT بر پایه مایعات یونی ایمیدازولیوم تولید کردند [C4mim] [dca] ، [C2mim] [dca] ، [C4mpyr] [dca] و اثر کاتیون و آنیون که منجر به افزایش مکانیزم‌های انتقال حرارت می‌شود را مطالعه نمودند. پراکندگی نانومواد در سیالات پایه منجر به تشکیل لایه میانی بین نانوذرات و مایع یونی پراکنده شده می‌گردد که این خود منجر به افزایش هدایت حرارتی می‌گردد. همچنین ساختار کاتیون بر روی افزایش هدایت حرارتی اثر ناچیزی دارد.

مینا معادلات پیوستگی، حرکت و انرژی را برای ایجاد یک همبستگی نظری بر روی اثر عدد رایلی ، خواص گرمایی و غلظت حجمی ب روی اثر واقعی هدایت حرارتی با به کار بردن [C4mim] [NTF2] / نانوسیال آلومینا به عنوان سیال کاری در یک فضای مربعی تحت غلظت‌های حجمی متفاوت ( ۰/۵ ، ۱ ، ۲/۵٪ ) به کار بردند. در نهایت آنها دو همبستگی برای محاسبه عدد ناسلت به عنوان تابعی از عدد رایلی و غلظت حجمی در نظر گرفتند. طبق نتایج بدست آمده توسط آنها اضافه کردن نانوذرات با مایعات یونی موجب افزایش انتقال حرارت می‌گردد.

## ۲-۴- پایداری نانوسیالات

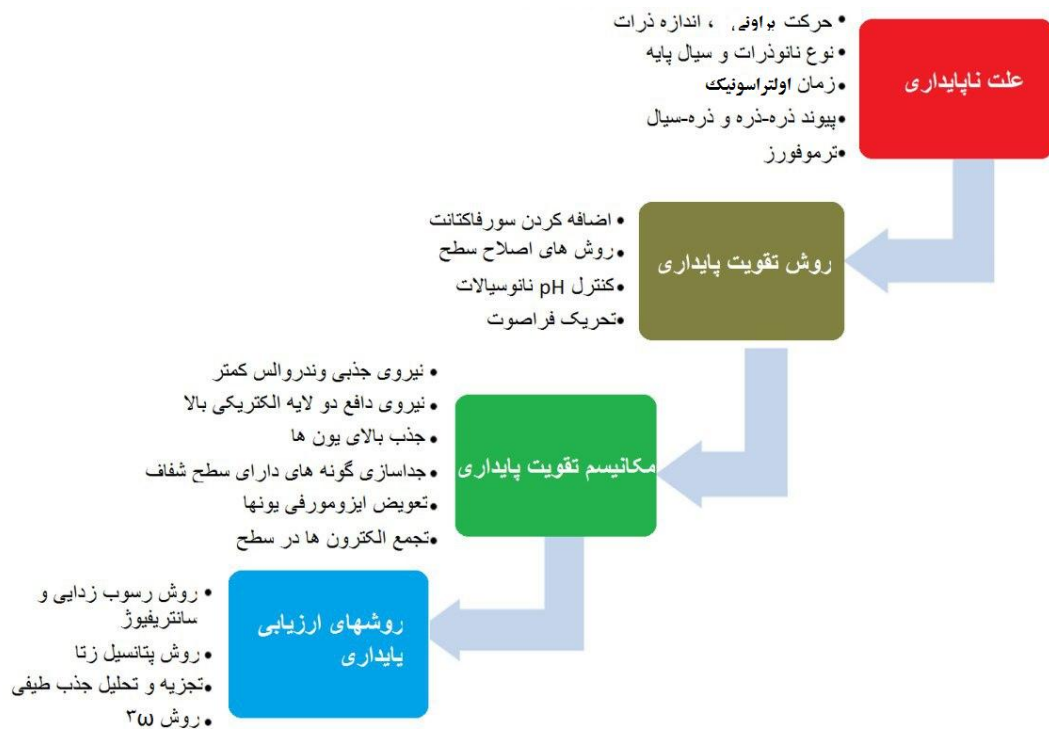
خاصیتی که ذره در مقدار مشخصی تجمع پیدا نکند به عنوان پایداری شناخته می‌شود. در مورد نانوذراتی که دستخوش گرفتگی و تجمع قبل از تشکیل نانوسیال هستند، این مورد تا حد بسیار زیادی بر روی پایداری دوره ای، خواص فیزیکی و گاهی انسداد سیال در مبدل‌های حرارتی موثر است. بنابراین مطالعه پایداری کلید حیاتی موثر بر روی خواص نانوسیالات برای کاربرد خاص است و همچنین برای مطالعه و آنالیز فاکتورهای



مؤثر بر روی پراکندگی پایداری نانوسیالات بسیار با اهمیت می باشد. دو عامل متداول افزودن سورفاکتانت و تنظیم کننده های PH است در حالیکه اندازه ذره، شکل، پراکندگی سیال پایه، کسر حجمی ذرات، رفتار فراصوت و کاهش نیروی کششی اصطحاک سایر عوامل ناشناخته هستند.

از آنجایی که ویژگی های پیوندی مانند اسیدیت، تابش مافوق صوت، دما، غلظت واکنش دهنده ها و مواد افزودنی در روش شیمیایی قابل کنترل اند، آنها ثابت کرده اند که بهترین روش برای دستیابی به پایداری بالا و رسانایی حرارتی نسبت به سایر روش ها هستند. شکل (۲-۲) نمود های مهم پایداری را ارائه می دهد. آلمانسوری و همکاران اثرات هم افزایی و فاکتورهای کنترل نانوسیالی هیدین اکسید قلع / هپتان را مورد مطالعه قرار دادند تا با استفاده از طراحی L18 تاگوچی به پایداری و اندازه بهینه برسند و و یک دیدگاه ارزشمند برای پراکندگی مؤثر نانوذرات اکسید فلزی در حلال های آلی ایجاد کردند.

موتوکاماران و همکاران با استفاده از روش بارش همزمان (co-precipitation) نانوذرات، مگنتیت با روکش سورفاکتانتی را ترکیب کردند که به مدت ۳ سال در دمای اتاق پایداری طولانی مدت فوق العاده ای داشتند. با این حال ، آنها در مورد خواص حرارتی فیزیکی نانوسیالات بحث نکردند، درحالی که برای افزایش عملکرد حرارتی یک سیستم ضروری هستند. هوانگ و همکاران نانوسیالات را با استفاده از دو روش مختلف یعنی روش دو مرحله ای (هموژنایزر فشار بالا ، همزن مغناطیسی ، حمام اولتراسونیک ، اخلاص التراسونیک) و روش یک مرحله ای (سیستم پاشش مگنترون) تهیه کردند.



شکل (۲-۲) جنبه های مهم پایداری

آنها دریافتند که مناسبترین روش برای تجزیه نانوذرات تجمع یافته در روش دو مرحله ای، فشار بالای هموژنیزر بوده است ، در حالیکه سیستم پایش مگنتورن پایداری نسبتا زیادی در فشار بالای هموژنیزر از خود بروز داد.

در مطالعه ای متفاوت فرزانه و همکاران شرایط پایداری و نمودار پایداری را بر اساس دینامیک مولکولی برای جلوگیری از تجمع نانوذرات در طول فرایند آماده سازی معرفی نمودند. نویسندگان پیشنهاد دادند که نانوسیالات در صورت مواجه شدن با شرایط پیش بینی شده ممکن است پایدار بمانند.

علاوه بر این واران و همکاران پایداری نانوسیال  $\text{TIO}_2/\text{EG}$  را در شرایط برشی و ساکن بررسی نمودند. نویسندگان اظهار داشتند که ته نشینی و تجمع نقش بسیار مهمی در افزایش هدایت حرارتی دارند، همچنین نانوسیال تا دمای ۶۰ درجه سانتیگراد تحت شرایط یاد شده پایدار بوده است.

لی توسط یک گرماسنج میزان چگالی ۵ نوع نانوسیال مختلف، آب  $Al_2O_3/DI$ ، آب  $SiO_2/DI$ ، آب  $Ag/DI$ ،  $AL_2O_3/EG$ ،  $ZNO/EG$ ، را برای اندازه گیری میزان رسوب گذاری نانوذرات در فواصل دمایی متفاوت اندازه گیری نمودند. شواهد نشان داد که نانوسیالات  $AL_2O_3/DI$  و  $AL_2O_3/EG$  در مدت ۳۱ روز به بالاترین میزان پایداری رسیدند.

مطالعات اخیر بر روی بهبود پایداری نانوسیالات با استفاده از رفتار پلاسما متمرکز شده است که نسبت به روش های معمولی مانند اضافه کردن سورفاکتانت، تغییر سطح و همزدن مکانیکی پیوند سطحی بهتری ایجاد می نمایند.

هاردی و همکاران نانولوله های کربنی با امواج رادیویی پلاسمای منفصل جهت فرمولاسیون نانوسیال آب  $CNT/$  که بیشتر از ۶ ماه پایدار باقی ماند، را طراحی نمودند. در مطالعه ای دیگر این نویسندگان با استفاده از همان روش عملکرد پلاسما، به دوره پایداری ۶ ماهه ای با  $MWCNT$  در ترکیب با الکل دنا توره دست یافتند. شارما و دیگران روش دو مرحله ای را با به کار بردن سانتریفیوژ و بدون استفاده از آن، برای تولید نانوسیالات با پایداری طولانی از آب  $CNT/$  به کار بردند. آنها به این نتیجه رسیدند که روش دو مرحله ای با استفاده از سانتریفیوژ ۱۵ ماه پایداری نشان داد در حالیکه روش دوم تنها به میزان سه هفته پایدار بوده است. مولدوانو و همکاران آزمایشی را جهت ارزیابی میزان پایداری و هدایت حرارتی نانوسیالات آب  $AL_2O_3/$ ، آب  $SiO_2/$ ، آب  $SiO_2-AL_2O_3/$  طراحی نمودند. مطابق آزمایشات پیشین هدایت حرارتی با افزایش دما و افزایش کسر حجمی افزایش پیدا کرد، که این مورد با همبستگی تئوری آنها مطابقت دارد و میزان پایداری تا ۱۰ روز گزارش شده است. عسگری و همکاران با اضافه کردن اسید اولئیک بر روی سطح نانوذرات گرافن- $Fe_2O_3$ ، نفت سفیدی تولید نمودند که به مدت ۵ ماه بدون تجمع و یا ته نشینی پایدار بوده است.

در مطالعه اخیر توسط رنجبر زاده و همکاران، آنها با استفاده از گیاه برنج نانوذرات سیلیس تولید نمودند که این همبستگی جدید با به کار بردن الگوریتم Levenberg-Marquardt انحرافی به میزان  $2/72\%$  با داده های آزمایشگاهی مربوط به هدایت حرارتی و پایداری داشته است. گزارش ها حاکی از آن است که نانوسیال مهیا شده سیلیس/آب بیشتر از ۶ ماه پایدار بوده و حداکثر هدایت حرارتی آن  $38/3\%$  در  $55$  درجه سانتیگراد بوده است.

دالکیلیچ اظهار داشت که عملکرد نانو لوله های کربنی چند جداره و استفاده از سیال پایه با ویسکوزیته بالا موجب بهبود پراکندگی پایداری نانو لوله های کربنی چند جداره در کمپرسور روغن شده و در نتیجه موجب افزایش  $90$  درصدی ویسکوزیته در دمای  $5$  درجه سانتیگراد و با درصد وزنی  $0/1$  درصد شده است. همانطور که مشخص است دوره اولتراسونیک نقش بسیار مهمی در حفظ پایداری پراکندگی نانوسیالات ایفا می کند. محبوبول تاثیر دوره اولتراسونیک را بر روی نانوسیال آب  $TiO_2$  بررسی نمودند. آنها پیشنهاد دادند که دوره اولتراسونیک بهینه برای رسیدن به بالاترین میزان پایداری  $150$  دقیقه باشد. کدهاری و همکاران نانوسیال آب  $AL_2O_3$  را برای آنالیز اثر سورفاکتانت، PH و دوره اولتراسونیک بر روی پایداری با به کار بردن روش پتانسیل زتا، فرمولاسیون کردند.

نتایج بدست آمده توسط آنها نشان داد که نانوسیالات با ماهیت اسیدی میزان پایداری بیشتری نسبت به موارد دیگر از خود بروز می دهند. حداکثر پتانسیل زتای بدست آمده توسط آنها  $50/07$  میلی ولت و PH برابر  $3/3$  (اسیدی) در درصد حجمی  $0/5$  و دوره اولتراسونیک  $180$  دقیقه گزارش شده است. نکته مهم در اینجا این است که این مطالعات هیچگونه اطلاعاتی در مورد خواص ترموفیزیکی نانوسیالات ارائه شده در آن بازه های زمانی ارائه نمی نماید.

اسدی و همکاران سورفاکتان‌های متفاوتی مانند (CTAB, SDS, Oleic acid) به همراه دوره های اولتراسونیک متفاوت (۱۰، ۳۰، ۵۰، ۸۰ و ۱۶۰ دقیقه) را برای بررسی هدایت حرارتی و پایداری نانوسیال آب/Mg(OH)<sub>2</sub> به کار بردند. آنها به این نتیجه رسیدند که ۳۰ دقیقه زمان جهت اولتراسونیک و سورفاکتانت CTAB بهینه ترین راه حل برای بدست آوردن نانوسیال پایداری از Mg(OH)<sub>2</sub> می باشد. سارسام و همکاران در مورد پایداری و خواص ترموفیزیکی پیوند کوالانسی نانولوله های کربنی چند جداره با آلومین-β جهت تولید Ala-MWCNT که خواص آگریز آن در مقایسه با MWCNT تغییر پیدا کرده است، تحقیق نمودند. از نظر پایداری Ala-MWCNT به مدت ۵۰ روز پایدار بوده در حالیکه هدایت حرارتی به میزان ۱۴/۷۴٪ در مقایسه با MWCNT خالص افزایش پیدا کرده است. آنها همچنین مقادیری را که اندازه گیری کرده بودند با نتایج مدل‌هایی مانند برینگر، پارک و چو، خوان و روتزل تطبیق دادند که با اختلاف حداکثر ۳/۷۹ درصد با نتایج مدل‌های یاد شده در هماهنگی بوده است.

بررسی های آزمایشگاهی انجام شده بر روی نانوسیالات به طور خلاصه در جدول ۵ نشان داده شده است. از طرف دیگر تیرا و همکاران نانوسیال دو لایه هیدروکسیدی Zn-AL را با استفاده از روش همبستگی ته نشینی آماده نمودند و اعلام کردند که نانوسیال پیشنهادی حتی بدون افزودن سورفاکتانت پایداری نسبتاً خوبی از خود نشان داده است. همچنین نتایج آزمایشگاهی بدست آمده توسط آنها نشان دهنده سرمایش ۱۲۵ درجه سانتیگراد می باشد که نسبت به آب خالص ۱/۲۹ برابر بالاتر است.

یارمرد و همکاران، نانوسیالات هیبریدی (GNP-Pt) که از یک واکنش شیمیایی ساده سنتز شده اند و به صورت نانوسیال GNP-Pt/DW فرموله شده اند را به کار بردند. نانوسیال یاد شده به مدت ۲۲ روز پایدار بوده و هدایت حرارتی آن ۱۷/۷۷ درصد و درصد وزنی ۰/۱ افزایش داشته است.

از آنجایی که نانوسیالات برای پراکندگی استاندارد طراحی شده اند، مطالعه ته نشینی و تجمع نانوذرات که بر روی ویژگی های حرارتی نانوسیالات موثر هستند، بسیار ضروری می باشد. معمولاً ارتباط نانوذرات با یکدیگر موجب تجمع و گرفتگی می گردد که دلیل اصلی برای ناپایداری می باشد. وقتی نانوذرات با یکدیگر در ارتباط باشند، برخوردشان با همدیگر موجب از بین رفتن بعضی از خصوصیات منحصر به فرد آنها می گردد. چنین واکنش هایی بدلیل گروهی از مولکولهاست که به تجمع نانوذرات کمک می کنند.

معمولاً هر نانوسیال تحت دو نوع برهم کنش قرار می گیرد، مورد اول نیروهای الکترواستاتیک (ذرات را از یکدیگر دور می کند) و نیروهای واندروالسی (ذرات را به هم می رساند). بنابراین برای کاهش نیروی واندروالسی می توان از یک مانع یا پوسته مانند افزودن سورفاکتانت و یا روش هایی مانند استفاده کردن از نیروهای فضایی برای افزایش نیروی دافعه بین نانوذرات بهره برد.

با این وجود موانع یاد شده در دمای بالا از بین می روند که این دما به دمای بحرانی لخته شدن معروف است. بنابراین تمامی نانوسیالات در فشار و دمای بالا در معرض ناپایداری قرار می گیرند. اختلاف چگالی بین نانوذرات و مایع پایه، نیروی گرانشی را تحریک می نماید تا باعث رسوب نانوذرات موجود در یک نانوسیال گردد. این عمل می تواند توسط یک حرکت تصادفی به نام حرکت براونی خنثی شود. حرکت براونی در پراکنده ساختن نانوذرات بسیار موثر می باشد.

## ۲-۶- افزایش پایداری

در مطالعات آزمایشگاهی تهیه نانوسیالات پایدار در مقایسه با نانوذرات هم اندازه دشوار است. علاوه بر آن ثبات طولانی مدت نانوسیالات می تواند مشکلی عملی در تجارت نانوسیالات باشد. به منظور درک بهتر مزایای نانوسیالات، پایداری طولانی مدت نانوذرات به وسیله ساختن و پراکنده ساختن نانوذرات ریز بدون ایجاد تجمع و با به کار بردن روش های منحصر به فرد پراکنده سازی مکانیکی مانند (اولتراسونیک) و استفاده از پراکنده سازهای شیمیایی مانند (افزودن سورفاکتانتها، تغییر سطح و یا تغییرات مربوط به pH) انجام می شود. علاوه بر موارد مذکور، خصوصیات ترموفیزیکی و گرمایی نیز تحت تاثیر نوع نانوذره، بار ذرات، اندازه ذرات، شکل ذرات، دما و نوع سیال پایه، سطح PH و افزودنی ها می باشد.

عملکرد حرارتی، الکتریکی دستگاه های الکترونیکی در دماهای عملیاتی بالا، کم شده است که این خود باعث بالا بردن چالش در خنک کنندگی، نیاز به سیستم خنک کنندگی با بالاترین میزان توانایی در تخلیه بدون لرزش، کنترل دقیق دما و فشردگی می گردد. به کار بردن نانوسیالات در مازول های حرارتی (TEM)، مانند کولرهای حرارتی الکتریکی، با این ویژگیها امیدوارکننده به نظر می رسد.

ماژولهای حرارتی نیز مانند نانوسیال ها و سیال های یونی، به عنوان دستگاه های دینامیکی برای انتقال کارآمد گرما ترجیح داده می شوند.

راه حلی کارآمد برای حذف گرما از سیستم های حرارتی ضروری است. یک سیستم حرارتی، به دلیل مزایایی بی شمار از قبیل اندازه ی کوچک آن، سازگاری با محیط زیست و دارا بودن ظرفیت کنترل دمایی به عنوان یکی از بهترین تکنیک ها در نظر گرفته می شود.

یک دستگاه حالت جامد که گرما را با مصرف انرژی الکتریکی از طرفی به طرف دیگر منتقل می‌کند متشکل از مجموعه ای از ترموکوپل ها است که مدل الکتریکی آن به صورت سری و نوع حرارتی به صورت موازی متصل شده اند به مازول های ترموالکتریک معروف هستند.

دو المنت گرمایی شبه هادی و مجزا عناصر تشکیل دهنده یک ترموکوپل هستند که یک اثر سردسازی ترموالکتریکی را زمانی که ولتاژ در مسیر مربوطه با به کار بردن اتصال ارتباطی تامین گردید، ایجاد می کند. TEM به طور معمول با دو سینک گرما در هر دو طرف سرد و گرمش کار می کند، که موجب افزایش انتقال حرارت و افزایش عملکرد سیستم می گردد.

قیمت بالا و راندمان ضعیف معایب اولیه خنک کنندگی گرمایی الکتریکی هستند که باعث کاهش کارایی آن نسبت به زمانی می شوند که هزینه های دستگاه و بازده دارای اهمیت کمتری نسبت به در دسترس بودن انرژی، قابلیت اطمینان و عملکرد خاموش دارند. با پیدایش اثر خنک کنندگی ترموالکتریکی در قرن نوزدهم پیشرفت چندانی تا دهه ۱۹۵۰ در آن مشاهده نمی شد، تا اینکه با میان آمدن دانش پایه مواد ترموالکتریک، مورد پذیرش عموم قرار گرفت.

آماده سازی نانوسیالات، ویژگی ها، هدایت حرارتی، ویسکوزیته، بررسی های انتقال حرارت و همرفت در حال حاضر صورت پذیرفته اند. بررسی ها و مطالعات صورت گرفته در زمینه اثر نانوسیالات بر روی مایعات یونی، خواص حرارتی، جنبه های پایداری و کاربرد نانوسیالات در مورد TEM محدود می باشد. شکل ۱ مقالات منتشر شده در زمینه نانوسیالات، نانوسیالات هیبریدی و نانوسیالات یونی (مایع یونی بر پایه نانوسیالات) را از سال ۲۰۱۱ تا فوریه ۲۰۲۰ نمایش می دهد.



در این مطالعه سعی ما براین است که اثر پارامترهای مختلف بر روی خواص ترموفیزیکی نانوسیالات با همبستگی های حاضرنتایج آزمایشگاهی را بررسی نماییم.

هدف اصلی این مطالعه خلاصه کردن تحقیقات اخیر بر روی هیدروترمال تنش سطحی، ضریب اصطکاک، افت فشار (قدرت پمپاژ)، پایداری (دلایل، افزایش، ارزیابی)، خواص ترموفیزیکی نانوسیالات (تئوری و آزمایشگاهی) و همچنین بررسی اثر نانو سیالات یونی روی رفتار انتقال حرارت آنها می باشد. این مطالعه همچنین بهبود عملکرد های گرمایی و انتقال حرارت را توسط ماژول های ترموالکتریکی و نانوسیالات برای مبدل های حرارتی و دستگاه های الکترونیکی بهینه می نماید.

## ۲-۸- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم های ژنتیک، تکنیک جستجو در علم رایانه برای یافتن راه حل تقریبی برای بهینه سازی مدل، ریاضی و مسائل جستجو است. الگوریتم ژنتیک نوع خاصی از الگوریتم های تکاملی است که از تکنیک های زیست شناسی فرگشتی مانند وراثت، جهش زیست شناسی و اصول انتخابی داروین برای یافتن فرمول بهینه جهت پیش بینی یا تطبیق الگو استفاده می شود. الگوریتم های ژنتیک اغلب گزینه خوبی برای تکنیک های پیش بینی بر مبنای رگرسیون هستند. در مدل سازی الگوریتم ژنتیک یک تکنیک برنامه نویسی است که از تکامل ژنتیکی به عنوان یک الگوی حل مسئله استفاده می کند. مسئله ای که باید حل شود دارای ورودی هایی می باشد که طی یک فرایند الگوبرداری شده از تکامل ژنتیکی به راه حل ها تبدیل می شود سپس راه حل ها به عنوان کاندیداها توسط تابع ارزیاب (Fitness Function) مورد ارزیابی قرار می گیرند و چنانچه شرط خروج مسئله فراهم شده باشد الگوریتم خاتمه می یابد. به طور کلی یک الگوریتم مبتنی بر تکرار است که اغلب بخش های آن به صورت فرایندهای تصادفی انتخاب می شوند که این الگوریتم ها از بخش های تابع برازش، نمایش، انتخاب و تغییر تشکیل می شوند.

هنگامی که لغت تنازع بقا به کار می‌رود اغلب بار ارزشی منفی آن به ذهن می‌آید. شاید هم‌زمان قانون جنگل به ذهن برسد و حکم بقای قوی‌ترها! البته همیشه هم قوی‌ترین‌ها برنده نبوده‌اند. مثلاً دایناسورها با وجود جثه عظیم و قوی‌تر بودن در طی روندی کاملاً طبیعی بازی بقا و ادامه نسل را واگذار کردند در حالی که موجوداتی بسیار ضعیف‌تر از آن‌ها حیات خویش را ادامه دادند. ظاهراً طبیعت، بهترین‌ها را تنها بر اساس هیکل انتخاب نمی‌کند! در واقع درست‌تر آنست که بگوییم طبیعت مناسب‌ترین‌ها (Fittest) را انتخاب می‌کند.

قانون انتخاب طبیعی بدین صورت است که تنها گونه‌هایی از یک جمعیت ادامه نسل می‌دهند که بهترین خصوصیات را داشته باشند و آن‌هایی که این خصوصیات را نداشته باشند به تدریج و در طی زمان از بین می‌روند.

الگوریتم‌های ژنتیک یکی از الگوریتم‌های جستجوی تصادفی است که ایده آن برگرفته از طبیعت می‌باشد. الگوریتم‌های ژنتیک برای روش‌های کلاسیک بهینه‌سازی در حل مسائل خطی، محدب و برخی مشکلات مشابه بسیار موفق بوده‌اند ولی الگوریتم‌های ژنتیک برای حل مسائل گسسته و غیر خطی بسیار کارا تر می‌باشند. به عنوان مثال می‌توان به مسئله فروشنده دوره‌گرد اشاره کرد.

در طبیعت از ترکیب کروموزوم‌های بهتر، نسل‌های بهتری پدید می‌آیند. در این بین گاهی اوقات جهش‌هایی نیز در کروموزوم‌ها روی می‌دهد که ممکن است باعث بهتر شدن نسل بعدی شوند. الگوریتم ژنتیک نیز با استفاده از این ایده اقدام به حل مسائل می‌کند. روند استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک به صورت زیر می‌باشد:

- معرفی جواب‌های مسئله به عنوان کروموزوم
- معرفی تابع برازندگی (فیت نس)
- جمع‌آوری اولین جمعیت
- معرفی عملگرهای انتخاب
- معرفی عملگرهای تولید مثل

در الگوریتم‌های ژنتیک ابتدا به‌طور تصادفی یا الگوریتمیک، چندین جواب برای مسئله تولید می‌کنیم. این مجموعه جواب را جمعیت اولیه می‌نامیم. هر جواب را یک کروموزوم می‌نامیم. سپس با استفاده از عملگرهای الگوریتم ژنتیک پس از انتخاب کروموزوم‌های بهتر، کروموزوم‌ها را باهم ترکیب کرده و جهشی در آن‌ها ایجاد می‌کنیم. در نهایت نیز جمعیت فعلی را با جمعیت جدیدی که از ترکیب و جهش در کروموزوم‌ها حاصل می‌شود، ترکیب می‌کنیم.

مثلاً فرض کنید گونه خاصی از افراد، هوش بیشتری از بقیه افراد یک جامعه یا کولونی دارند. در شرایط کاملاً طبیعی، این افراد پیشرفت بهتری خواهند کرد و رفاه نسبتاً بالاتری خواهند داشت و این رفاه، خود باعث طول عمر بیشتر و باروری بهتر خواهد بود (توجه کنید شرایط، طبیعیست نه در یک جامعه سطح بالا با ملاحظات امروزی؛ یعنی طول عمر بیشتر در این جامعه نمونه با زاد و ولد بیشتر همراه است).

حال اگر این خصوصیت (هوش) ارثی باشد بالطبع در نسل بعدی همان جامعه تعداد افراد باهوش به دلیل زاد و ولد بیشتر این گونه افراد، بیشتر خواهد بود. اگر همین روند را ادامه دهید خواهید دید که در طی نسل‌های متوالی دائماً جامعه نمونه ما باهوش و باهوش‌تر می‌شود. بدین ترتیب یک مکانیزم ساده طبیعی توانسته‌است در طی چند نسل عملاً افراد کم هوش را از جامعه حذف کند علاوه بر اینکه میزان هوش متوسط جامعه نیز دائماً در حال افزایش است.

بدین ترتیب می‌توان دید که طبیعت با بهره‌گیری از یک روش بسیار ساده (حذف تدریجی گونه‌های نامناسب و در عین حال تکثیر بالاتر گونه‌های بهینه)، توانسته‌است دائماً هر نسل را از لحاظ خصوصیات مختلف ارتقاء بخشد.

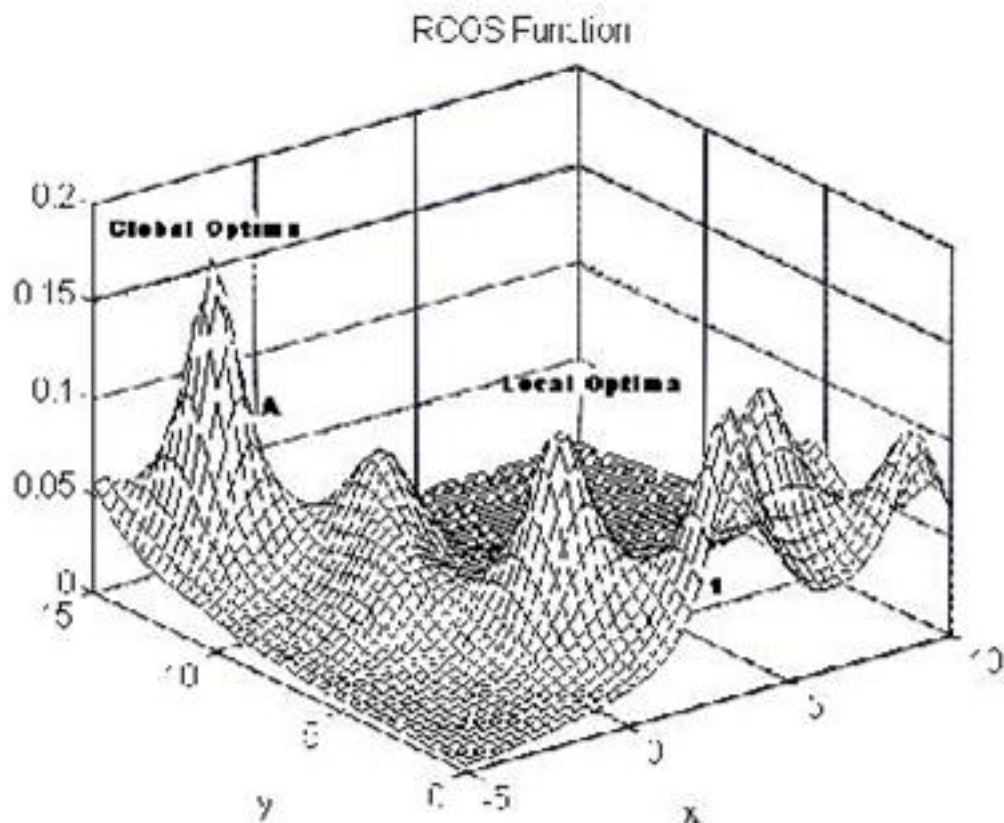
البته آنچه در بالا ذکر شد به تنهایی توصیف‌کننده آنچه واقعاً در قالب تکامل در طبیعت اتفاق می‌افتد نیست. بهینه‌سازی و تکامل تدریجی به خودی خود نمی‌تواند طبیعت را در دسترسی به بهترین نمونه‌ها یاری دهد. اجازه دهید تا این مسئله را با یک مثال شرح دهیم:

پس از اختراع اتومبیل به تدریج و در طی سال‌ها اتومبیل‌های بهتری با سرعت‌های بالاتر و قابلیت‌های بیشتر نسبت به نمونه‌های اولیه تولید شدند. طبیعیست که این نمونه‌های متأخر حاصل تلاش مهندسان طراح جهت بهینه‌سازی طراحی‌های قبلی بوده‌اند. اما دقت کنید که بهینه‌سازی یک اتومبیل، تنها یک «اتومبیل بهتر» را نتیجه می‌دهد.

روش‌های کلاسیک ریاضیات دارای دو اشکال اساسی هستند. اغلب این روش‌ها نقطه بهینه محلی را به عنوان نقطه بهینه کلی در نظر می‌گیرند و نیز هر یک از این روش‌ها تنها برای مسئله خاصی کاربرد دارند. این دو نکته را با مثال‌های ساده‌ای روشن می‌کنیم.

به شکل (۲-۲) توجه کنید. این منحنی دارای دو نقطه ماکزیمم می‌باشد؛ که یکی از آن‌ها تنها ماکزیمم محلی است. حال اگر از روش‌های بهینه‌سازی ریاضی استفاده کنیم مجبوریم تا در یک بازه بسیار کوچک مقدار ماکزیمم تابع را بیابیم. مثلاً از نقطه ۱ شروع کنیم و تابع را ماکزیمم کنیم.

بدیهی است اگر از نقطه ۱ شروع کنیم تنها به مقدار ماکزیمم محلی دست خواهیم یافت و الگوریتم ما پس از آن متوقف خواهد شد. اما در روش‌های هوشمند، به ویژه الگوریتم ژنتیک به دلیل خصلت تصادفی آن‌ها حتی اگر هم از نقطه ۱ شروع کنیم باز ممکن است در میان راه نقطه  $A$  به صورت تصادفی انتخاب شود که در این صورت ما شانس دست‌یابی به نقطه بهینه کلی (Global Optima) را خواهیم داشت.



شکل (۳-۲) شکل بهینه محلی و بهینه کلی

در مورد نکته دوم باید بگوییم که روش‌های ریاضی بهینه‌سازی اغلب منجر به یک فرمول یا دستورالعمل خاص برای حل هر مسئله می‌شوند. در حالی که روش‌های هوشمند دستورالعمل‌هایی هستند که به صورت کلی می‌توانند در حل هر مسئله‌ای به کار گرفته شوند. این نکته را پس از آشنایی با خود الگوریتم بیشتر و بهتر خواهید دید.

نحوه عملکرد الگوریتم ژنتیک روش کار الگوریتم ژنتیک به‌طور فریبنده‌ای ساده، قابل درک و به‌طور قابل ملاحظه‌ای روشی است که ما معتقدیم حیوانات آن‌گونه تکامل یافته‌اند. هر فرمولی که از طرح داده شده بالا تبعیت کند فردی از جمعیت فرمول‌های ممکن تلقی می‌شود. الگوریتم ژنتیک در انسان متغیرهایی که هر فرمول داده‌شده را مشخص می‌کنند به عنوان یکسری از اعداد نشان داده‌شده‌اند که معادل DNA آن فرد را تشکیل می‌دهند.

موتور الگوریتم ژنتیک یک جمعیت اولیه این گونه است که هر فرد در برابر مجموعه‌ای از داده‌ها مورد آزمایش قرار می‌گیرد و مناسبترین آن‌ها باقی می‌مانند؛ بقیه کنار گذاشته می‌شوند. مناسبترین افراد با هم جفتگیری (جابجایی عناصر DNA) و (تغییر تصادفی عناصر DNA) کرده و مشاهده می‌شود که با گذشت از میان تعداد زیادی از نسل‌ها، الگوریتم ژنتیک به سمت ایجاد فرمول‌هایی که دقیقتر هستند، میل می‌کنند. در فرمول نهایی برای کاربر انسانی قابل مشاهده خواهد بوده و برای ارائه سطح اطمینان نتایج می‌توان تکنیک‌های آماری متعارف را بر روی این فرمول‌ها اعمال کرد که در نتیجه جمعیت را کلاً قویتر می‌سازند. الگوریتم ژنتیک در مدل سازی مختصراً گفته می‌شود که الگوریتم ژنتیک یک تکنیک برنامه‌نویسی است که از تکامل ژنتیکی به عنوان یک الگوی حل مسئله استفاده می‌کند. مسئله‌ای که باید حل شود دارای ورودی‌هایی می‌باشد که طی یک فرایند الگو برداری شده از تکامل ژنتیکی به راه حل‌ها تبدیل سپس راه حل‌ها به عنوان کاندید توسط تابع ارزیاب (fitness function) مورد ارزیابی قرار گرفته و چنانچه شرط خروج مسئله فراهم باشد الگوریتم خاتمه می‌یابد. در هر نسل، مناسبترین‌ها انتخاب می‌شوند نه بهترین‌ها. یک راه حل برای مسئله مورد نظر، با یک لیست از پارامترها نشان داده می‌شود که به آن‌ها کروموزوم یا ژنوم می‌گویند. کروموزوم‌ها عموماً به صورت یک رشته ساده از داده‌ها نمایش داده می‌شوند، البته انواع ساختمان داده‌های دیگر هم می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. در ابتدا چندین مشخصه به صورت تصادفی برای ایجاد نسل اول تولید می‌شوند. در طول هر نسل، هر مشخصه ارزیابی می‌شود و ارزش تناسب (fitness) توسط تابع تناسب اندازه‌گیری می‌شود.

گام بعدی ایجاد دومین نسل از جامعه است که بر پایه فرایندهای انتخاب، تولید از روی مشخصه‌های انتخاب شده با عملگرهای ژنتیکی است: اتصال کروموزوم‌ها به سر یکدیگر و تغییر. برای هر فرد، یک جفت والد انتخاب می‌شود. انتخاب‌ها به گونه‌ای‌اند که مناسبترین عناصر انتخاب شوند تا حتی ضعیفترین عناصر هم شانس انتخاب داشته باشند تا از نزدیک شدن به جواب محلی جلوگیری شود. چندین الگوی انتخاب وجود دارد: چرخ منگنه‌دار (رولت)، انتخاب مسابقه‌ای (Tournament).

معمولاً الگوریتم‌های ژنتیک یک عدد احتمال اتصال دارد که بین ۰.۰۶ و ۱ است که احتمال به وجود آمدن فرزند را نشان می‌دهد. ارگانیسم‌ها با این احتمال دوباره با هم ترکیب می‌شوند. اتصال ۲ کروموزوم فرزند ایجاد می‌کند، که به نسل بعدی اضافه می‌شوند. این کارها انجام می‌شوند تا این که کاندیدهای مناسبی برای جواب، در نسل بعدی پیدا شوند. مرحله بعدی تغییر دادن فرزندان جدید است. الگوریتم‌های ژنتیک یک احتمال تغییر کوچک و ثابت دارند که معمولاً درجه‌ای در حدود ۰.۰۰۱ یا کمتر دارد. بر اساس این احتمال، کروموزوم‌های فرزند به‌طور تصادفی تغییر می‌کنند یا جهش می‌یابند، مخصوصاً با جهش بیت‌ها در کروموزوم ساختمان داده‌مان.

این فرایند باعث به وجود آمدن نسل جدیدی از کروموزوم‌هایی می‌شود، که با نسل قبلی متفاوت است. کل فرایند برای نسل بعدی هم تکرار می‌شود، جفت‌ها برای ترکیب انتخاب می‌شوند، جمعیت نسل سوم به وجود می‌آیند و ... این فرایند تکرار می‌شود تا این که به آخرین مرحله برسیم.

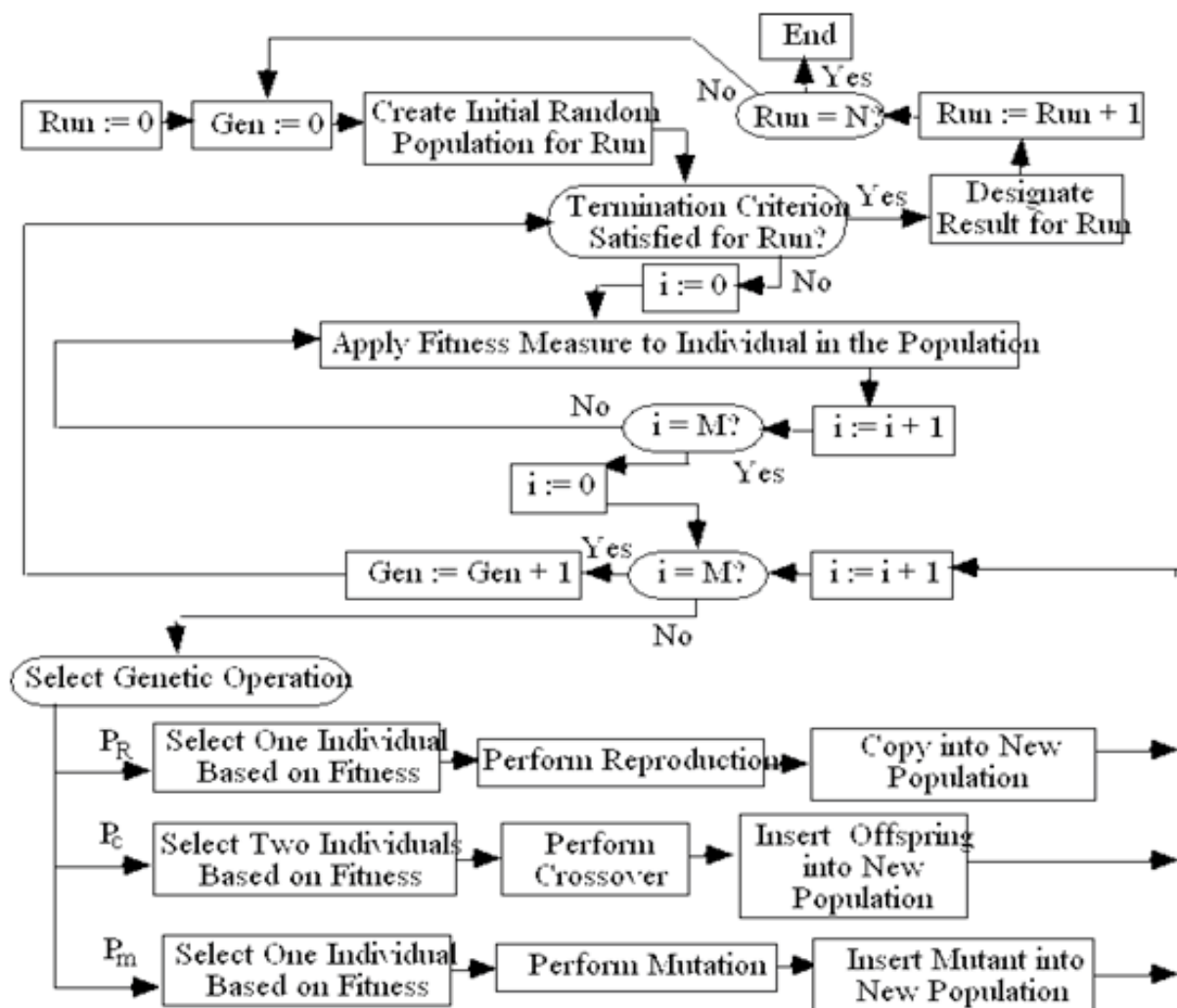
## ۲-۸-۱- روش های نمایش

قبل از این که یک الگوریتم ژنتیک برای یک مسئله اجرا شود، یک روش برای کد کردن ژنومها به زبان کامپیوتر باید به کار رود. یکی از روشهای معمول کد کردن به صورت رشتههای باینری است: رشتههای ۰ و ۱ یک راه حل مشابه دیگر کد کردن راه حلها در آرایه‌ای از اعداد صحیح یا اعداد اعشاری است. سومین روش برای نمایش صفات در یک GA یک رشته از حروف است، که هر حرف دوباره نمایش دهنده یک خصوصیت از راه حل است. خاصیت هر سه روش این است که آنها تعریف سازنده‌ای را که تغییرات تصادفی در آنها ایجاد می‌کنند را آسان می‌کنند: ۰ را به ۱ و برعکس، اضافه یا کم کردن ارزش یک عدد یا تبدیل یک به صفر یا برعکس. یک روش دیگر که توسط John Koza توسعه یافت، برنامه‌نویسی ژنتیک است؛ که برنامه‌ها را به عنوان شاخه‌های داده در ساختار درخت نشان می‌دهد. در این روش تغییرات تصادفی می‌توانند با عوض کردن عملگرها یا تغییر دادن ارزش یک گره داده شده در درخت، یا عوض کردن یک زیر درخت با دیگری به وجود آیند.

## ۲-۸-۲- عملگرهای یک الگوریتم ژنتیک

در هر مسئله قبل از آنکه بتوان الگوریتم ژنتیک را برای یافتن یک پاسخ به کار برد به دو عنصر نیاز است: در ابتدا روشی برای ارائه یک جواب به شکلی که الگوریتم ژنتیک بتواند روی آن عمل کند لازم است. در دومین جزء اساسی الگوریتم ژنتیک روشی است که بتواند کیفیت هر جواب پیشنهاد شده را با استفاده از توابع تناسب محاسبه نماید.





شکل (۴-۲) شمای کلی شبه کد

۲-۸-۳- ایده اصلی

در دهه هفتاد میلادی دانشمندی از دانشگاه میشیگان به نام جان هلند ایده استفاده از الگوریتم ژنتیک را در بهینه‌سازی‌های مهندسی مطرح کرد. ایده اساسی این الگوریتم انتقال خصوصیات موروثی توسط ژن‌هاست. فرض کنید مجموعه خصوصیات انسان توسط کروموزوم‌های او به نسل بعدی منتقل می‌شوند. هر ژن در این کروموزوم‌ها نماینده یک خصوصیت است. به عنوان مثال ژن ۱ می‌تواند رنگ چشم باشد، ژن ۲ طول قد، ژن ۳ رنگ مو و الی آخر. حال اگر این کروموزوم به تمامی، به نسل بعد انتقال یابد، تمامی خصوصیات نسل بعدی شبیه به خصوصیات نسل قبل خواهد بود. بدیهیست که در عمل چنین اتفاقی رخ نمی‌دهد.

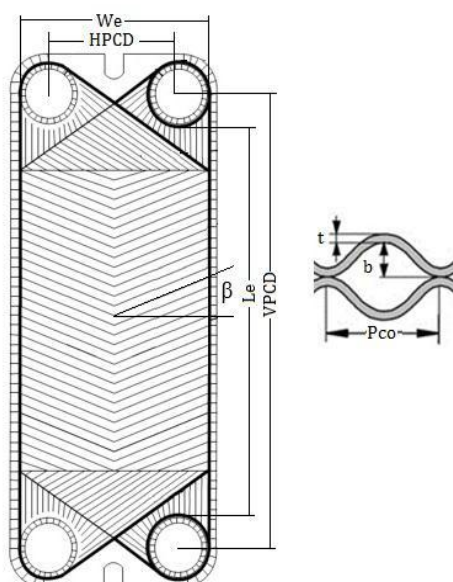
در واقع به صورت هم‌زمان دو اتفاق برای کروموزوم‌ها می‌افتد. اتفاق اول جهش (Mutation) است. «جهش» به این صورت است که بعضی ژن‌ها به صورت کاملاً تصادفی تغییر می‌کنند. البته تعداد این گونه ژن‌ها بسیار کم می‌باشد اما در هر حال این تغییر تصادفی همانگونه که پیشتر دیدیم بسیار مهم است. مثلاً ژن رنگ چشم می‌تواند به صورت تصادفی باعث شود تا در نسل بعدی یک نفر دارای چشمان سبز باشد. در حالی که تمامی نسل قبل دارای چشم قهوه‌ای بوده‌اند. علاوه بر «جهش» اتفاق دیگری که می‌افتد و البته این اتفاق به تعداد بسیار بیشتری نسبت به «جهش» رخ می‌دهد چسبیدن دو کروموزوم از طول به یکدیگر و تبادل برخی قطعات بین دو کروموزوم است. این مسئله با نام Crossover شناخته می‌شود. این همان چیز است که باعث می‌شود تا فرزندان ترکیب ژن‌های متفاوتی را (نسبت به والدین خود) به فرزندان خود انتقال دهند.

## فصل ۳

روش تحقیق

در این فصل معادلات حاکم بر مدلسازی حرارتی هیدرولیکی مبدل صفحه ای ارائه شده است. به کمک این معادلات دو تابع هدف انتقال حرارت و افت فشار محاسبه و بهینه سازی شد. همچنین در این مقاله مطالعه نقش نانو سیال گرافن به عنوان مبرد در بهبود عملکرد مبادله گر گرما در سیستم های پمپ حرارتی با منبع آب دریا است. ما سیستم آزمایشی پمپ حرارتی دریایی فوق بحرانی  $\text{CO}_2$  با منبع آب دریا را بازسازی می کنیم. سیستم پمپ حرارتی اصلی، یک سیستم پمپ حرارتی فوق بحرانی  $\text{CO}_2$  با توان  $1.5 \text{ HP}$  با منبع آب دریا است که راندمان انرژی گرمایش آن تقریباً چهار است و می تواند  $80-200 \text{ L}$  آب داغ با دمای  $^{\circ}\text{C}$   $55-60$  را تأمین کند. سیستم اصلاح شده گردش آب دریا در شکل (۲-۱) نشان داده شده است. به جهت بررسی افزایش انتقال حرارت مبادله گر گرمای سیستم پمپ حرارتی با منبع آب دریا، سایر سیستم های پمپ حرارتی فوق بحرانی  $\text{CO}_2$ ، سیستم های اندازه گیری داده و سیستم های کنترل الکتریکی تغییر نمی کنند.

پیکربندی هندسی مبدل حرارتی صفحه ای از نوع چورون در شکل (۳-۱) نشان داده شده است.



شکل (۳-۱) هندسه مبدل حرارتی صفحه ای

پارامترهای هندسی را می توان با استفاده از هندسه اصلی صفحه حرارتی محاسبه کرد. طول و عرض مؤثر

مبدل حرارتی صفحه‌ای [۲۰] با استفاده از روابط زیر به دست می‌آیند:

$$Le = VPCD - D \quad ۱-۳$$

$$We = HPCD + D + ۰,۰۱۵ \quad ۲-۳$$

D قطر پورت است، VPCD و HPCD به ترتیب فاصله عمودی مرکز تا مرکز پورت و فاصله افقی مرکز تا مرکز پورت هستند. مساحت صفحه حرارتی و مساحت کل مبدل حرارتی [۲۰] با استفاده از روابط زیر به دست می‌آیند:

$$AP = We \times Le \quad ۳-۳$$

$$A = n \times AP \quad ۴-۳$$

n نشان‌دهنده تعداد صفحات حرارتی است. قطر هیدرولیکی [۲۱] مبدل حرارتی صفحه‌ای به شکل زیر به دست می‌آید:

$$D_h = \frac{4 \times (b \times We)}{2 \times (b + We \times \Phi)} \cong \frac{2b}{\Phi} \quad , \quad We \ll b \quad ۵-۳$$

b ضخامت صفحه و  $\Phi$  ضریب بزرگ شدن است.

ضریب بزرگ شدگی  $\Phi$  و  $\gamma$  طول موج شیار از روابط زیر بدست می‌آید:

---

<sup>۱</sup> Enlargement factor

$$\gamma = \frac{\gamma_{\square}}{Pco} \quad 6-3$$

$$\phi = \frac{1}{\gamma} \left[ 1 + \sqrt{1 + \left( \frac{\pi \gamma}{\gamma} \right)^2} + \varepsilon \sqrt{1 + 0.5 \left( \frac{\pi \gamma}{\gamma} \right)^2} \right] \quad 7-3$$

### 3-3- انتقال حرارت

انتقال حرارت به شرایط عملیاتی و هندسه مبدل حرارتی بستگی دارد. سرعت جرمی در هر سمت مبدل حرارتی و عدد رینولدز [۲۲] توسط روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$G = \frac{\dot{m}}{(N_c \times b \times We)} \quad 8-3$$

$$Re = \frac{G \times D_h}{\mu} \quad 9-3$$

$N_c$  تعداد کانال‌ها و  $\mu$  ویسکوزیته سیال است. برای مبدل حرارتی صفحه‌ای آب-آب از نوع چورون، همبستگی انتقال حرارت [۲۲] به شرح زیر است:

$$Nu = 0.2267 \times (Re)^{0.631} \times (Pr)^{0.33} \quad f \quad 10 \leq Re \leq 10000 \quad 10-3$$

$Pr$  عدد پرانتل است. ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی برای هر دو سمت مبدل حرارتی به شکل زیر است:

$$h = \frac{N_U \times k}{D_h} \quad ۱۱-۳$$

$k$  ضریب هدایت حرارتی سیال است. ضریب انتقال حرارت کلی و تعداد واحدهای انتقال به وسیله رابطه زیر نشان داده می شود:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h} + \frac{t}{K} + \frac{1}{K} \quad ۱۲-۳$$

$$NTU = \frac{UA}{C_{\min}} \quad , \quad C_{\min} = (\dot{m})_c \times (C_p)_c \quad ] \quad C_{\min} = \min [ (\dot{m})_h \times (C_p)_h \quad ۱۳-۳$$

زیرنویس  $c$  و  $h$  بیانگر سمت سرد و گرم مبدل و  $k_p$  و  $t$  به ترتیب بیانگر ضریب هدایت حرارتی صفحه و ضخامت صفحه است. برای مبدل حرارتی با جریان ناهم سو، اثربخشی [۲۰] و انتقال حرارت توسط روابط زیر ارائه می شوند:

$$\varepsilon = \frac{[1 - e^{\{-1 \times NTU \times (1 - C_r)\}}]}{[1 + C_r \times e^{\{-1 \times NTU \times (1 - C_r)\}}]} \quad , \quad C_r = C_{\min} / C_{\max} \quad ۱۴-۳$$

$$Q = \varepsilon \times C_{\min} \times (T_{h,i} - T_{c,i}) \quad ۱۵-۳$$

### ۳-۴- افت فشار

افت فشار در مبدل حرارتی صفحه‌ای از چهار جزء تشکیل شده است. افت فشار ناشی از شتاب سیال، افت فشار ناشی از تغییر ارتفاع، افت فشار ناشی از منیفولدهای ورودی/خروجی و افت فشار ناشی از اصطکاک در مبدل حرارتی صفحه موج‌دار. تحقیقات قبلی نشان می‌دهند که میزان افت فشار ناشی از شتاب سیال و تغییر ارتفاع در مقایسه با افت فشار اصطکاکی و پورت بسیار ناچیز است. در این مطالعه فقط افت فشار اصطکاکی و پورت در نظر گرفته شده است. ضریب اصطکاک [۲۲] برای هر دو سمت مبدل توسط روابط زیر به دست می‌آید:

$$f = 0,072 \times (Re)^{-0,217} \quad Re > 550 \quad 16-3$$

$$f = 26,34 \times (Re)^{-0,830} \quad Re \leq 550 \quad 17-3$$



افت فشار اصطکاکی [۲۲] به شکل زیر خواهد بود:

$$(\Delta P)_f = \frac{4 \times f \times L e \times G^2}{2 \times \rho \times D_h} \quad ۱۸-۳$$

سرعت پورت و افت فشار منیفولد به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$V = \frac{\dot{m}}{(\pi/4) \times D^2} \quad ۱۹-۳$$

$$(\Delta P)_p = \frac{1.5 \times (V)^2}{2 \times \rho} \quad ۲۰-۳$$

افت فشار کل در زیر آورده شده است:

$$\Delta P = (\Delta P)_f + (\Delta P)_p \quad ۲۱-۳$$

خواص سیال در دمای میانگین سیال محاسبه می‌شوند.

### ۳-۵- بهینه‌سازی

به‌سته به کاربرد مبدل حرارتی، انتخاب افت فشار یا انتقال حرارت به‌ستگی به این دارد که کدام یک مهم‌ترین فاکتور است. اگر انتقال حرارت را افزایش دهیم افت فشار نیز افزایش می‌یابد و برعکس؛ بنابراین برای حل این مشکل، یک ابزار بهینه‌سازی مناسب برای یافتن مجموعه‌ای از جواب‌های بهینه، لازم است. مجموعه جواب‌های بهینه برای چنین مواردی جواب جبهه پارتو نام دارد.

### ۳-۶- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک (GA) یک الگوریتم ابتکاری جستجو است که مبتنی بر تکنیک‌های الهام گرفته از تکامل طبیعی مانند وراثت، جهش، انتخاب و کراس اوور (تقاطع یا بازترکیب) است. فرآیند الگوریتم ژنتیک، جمعیت داده‌شده را در محدوده‌های تعیین‌شده اصلاح می‌کند. در هر مرحله، از جمعیت انتخاب‌شده به‌عنوان والدین استفاده می‌شود تا برای نسل‌های بعدی فرزندان را تولید کند. جمعیتی که مقدار برازندگی<sup>۱</sup> بیشتری دارد برای تکرار بعدی انتخاب می‌شود. این روند تا رسیدن به مجموعه‌ای از جمعیت که تابع هدف و همچنین محدودیت‌ها را تأمین کند، ادامه می‌یابد. برای تابع تک هدفه اگر بازه محدودیت به‌اندازه کافی بزرگ نباشد الگوریتم ژنتیک به‌راحتی حداکثر و حداقل مقدار را ارائه می‌دهد.

---

<sup>۱</sup>Cross over

<sup>۲</sup>Fittnes value

### ۳-۷- الگوریتم ژنتیک چندهدفه

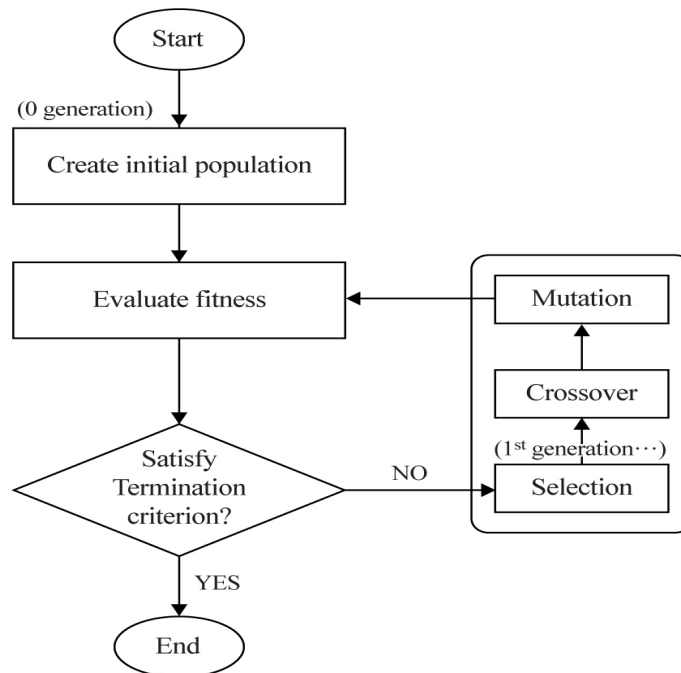
برای بیش از یک تابع تک هدفه، الگوریتم ژنتیک چندهدفه استفاده می‌شود. از نظر ریاضی الگوریتم ژنتیک چندهدفه را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$; x \in X \quad f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x) \quad \min [f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)] \quad (3-2)$$

$n =$  تعداد توابع هدف و  $n \geq 2$

$X =$  مجموعه احتمالی از بردارهای تصمیم که با توابع محدودیت تعریف شده‌اند

در این پژوهش محدودیت‌ها، شامل فاصله افقی مرکز تا مرکز پورت، فاصله عمودی مرکز تا مرکز پورت، ضریب بزرگ شدن، قطر پورت، ضخامت صفحه، تعداد صفحات حرارتی و فاصله بین صفحات است. تابع هدف اول حداکثر انتقال حرارت و تابع هدف دوم حداقل افت فشار است مراحل اصلی الگوریتم ژنتیک چندهدفه در شکل (۳-۲) نشان داده شده است.



شکل (۳-۲) مراحل اصلی الگوریتم ژنتیک چندهدفه

زاویه چورون مبدل حرارتی صفحه‌ای ۶۰ درجه است و از فولاد ضدزنگ گرید ۳۱۶ ساخته شده است. شرایط عملیاتی در جدول (۳-۱) ذکر شده است. محدودیت و پارامترهای ثابت هندسی برای آنالیز حساسیت در جدول (۳-۲) ارائه شده‌اند.

جدول (۳-۱) شرایط عملیاتی مبدل حرارتی صفحه‌ای

نام سیال	دبی جریان (Kg/s)	دمای ورودی (C)	فشار (bar)
گرم (آب)	۲۲	۸۵	۳
سرد (آب)	۲۰	۲۵	۳

جدول (۳-۲) کران‌ها و مقادیر ثابت پارامترهای هندسی

نوع بازه	HPCD (m)	VPCD (m)	D	$\Phi$	b (m)	t (m)	n
کران پایین	۰,۱	۰,۴	۰,۱	۱,۱۱	۰,۰۰۱۵	۰,۰۰۰۳	۱۰
کران بالا	۰,۸	۱,۵	۰,۳	۱,۲۵	۰,۰۰۵	۰,۰۰۳	۲۰۰
مقدار ثابت	۰,۶	۱,۳	۰,۲	۱,۱۷	۰,۰۰۲	۰,۰۰۰۵	۱۵۰

## فصل چهارم

نتایج و تفسیر آنها

در این فصل نتایج بهینه سازی دو هدفه و آنالیز حساسیت بصورت نمودارهای ۲ بعدی ارائه شده است. همانطور که در قبل بیان شد پاسخ مساله بهینه سازی دو هدفه یک نقطه یکتا نیست بلکه یک دسته جواب بهینه، به شکل یک منحنی است. این منحنی به جبهه پارتو معروف است.

در ادامه، آنالیز حساسیت متغیرهای مستقل بررسی می شود و تاثیر متغیرهای مستقل (پارامترهای هندسی مبدل) بر افت فشار و انتقال حرارت محاسبه می شود.

#### ۴-۲- جواب جبهه پارتو

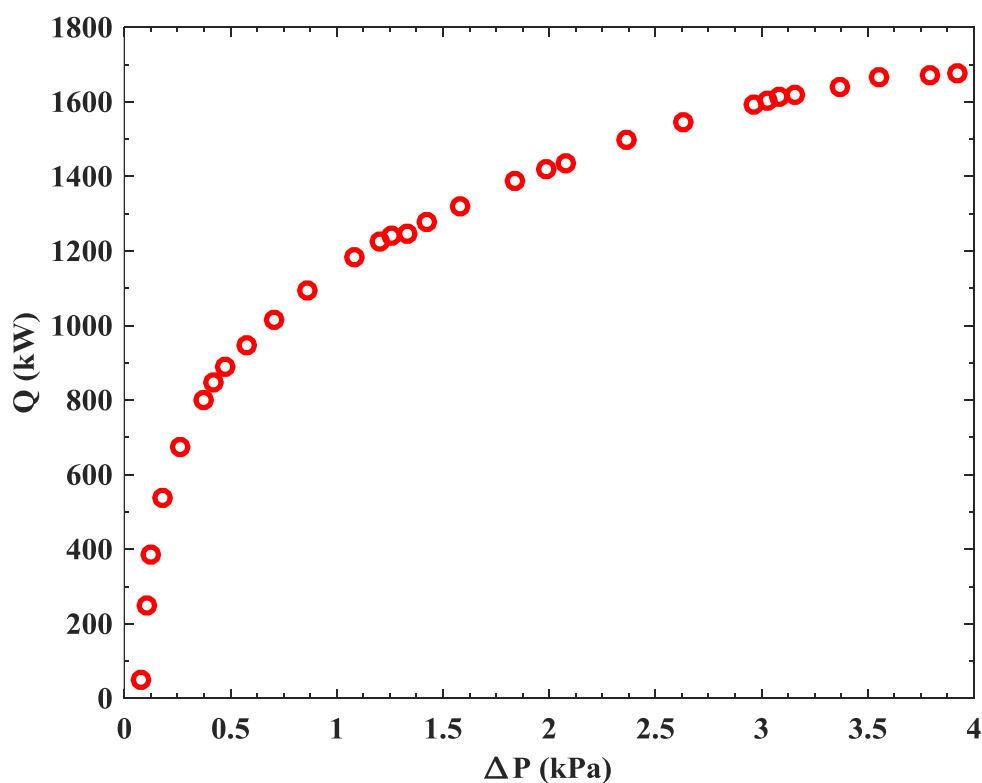
به دلیل رابطه معکوس بین افت فشار و انتقال حرارت هیچ جواب واحدی نمی تواند هر دو تابع هدف را در یک مقدار واحد تأمین کند. مجموعه جواب های بهینه در جدول زیر ارائه شده است.

جدول (۱-۴) مجموعه جواب بهینه جبهه پارتو

$\Delta P$ (kPa)	Q kW	HPCD (m)	VPCD (m)	D (m)	$\Phi$ -	b (m)	t (m)	n -
۳,۸۲۱	۱۶۷۰	۰,۷۹۶	۱,۴۹۳	۰,۲۱	۱,۲۳	۰,۰۰۱۵	۰,۰۰۰۴۴	۱۸۳
۰,۶۲۷	۹۷۸	۰,۷۹۶	۱,۴۸۷	۰,۲۸	۱,۲	۰,۰۰۲۶۱	۰,۰۰۰۴۵	۱۸۳
۰,۰۸۳	۱۷۳	۰,۷۸۴	۰,۶۹۶	۰,۳	۱,۱۸	۰,۰۰۴۹۸	۰,۰۰۰۵۹	۱۸۱
۳,۱۳۲	۱۶۰۸	۰,۷۹۷	۱,۴۹۲	۰,۲۴	۱,۲۳	۰,۰۰۱۵۶	۰,۰۰۰۴۲	۱۸۳
۰,۲۳۲	۶۴۴	۰,۷۸۹	۱,۴۷۴	۰,۲۸	۱,۲۱	۰,۰۰۴۰۳	۰,۰۰۰۴۳	۱۸۲
۰,۰۷	۷۲	۰,۷۸۸	۰,۴۶۳	۰,۳	۱,۱۹	۰,۰۰۴۷۹	۰,۰۰۱۳	۱۸۲
۲,۸۸۸	۱۵۶۲	۰,۷۹۶	۱,۴۹۲	۰,۲۴	۱,۲۳	۰,۰۰۱۵۹	۰,۰۰۰۴۷	۱۸۳
۰,۰۶۶	۵۷	۰,۷۸۴	۰,۴۳۳	۰,۳	۱,۱۷	۰,۰۰۵	۰,۰۰۰۵۹	۱۸۰
۰,۲۴۷	۶۶۱	۰,۷۸۹	۱,۴۷۴	۰,۲۸	۱,۲۱	۰,۰۰۳۹۱	۰,۰۰۰۴۹	۱۸۲
۰,۱۱۳	۲۹۱	۰,۷۹۲	۰,۹۲۱	۰,۳	۱,۱۹	۰,۰۰۴۵۶	۰,۰۰۱	۱۸۱
۱,۹۶۷	۱۴۱۲	۰,۷۹۷	۱,۴۹۴	۰,۲۶	۱,۲۲	۰,۰۰۱۷۸	۰,۰۰۰۴۵	۱۸۳
۰,۵۷	۹۳۶	۰,۷۹۶	۱,۴۸۹	۰,۲۷	۱,۲۳	۰,۰۰۲۷۷	۰,۰۰۰۴۸	۱۸۳
۲,۲۷۶	۱۴۸۹	۰,۷۹۶	۱,۴۹	۰,۲۸	۱,۲۲	۰,۰۰۱۶۶	۰,۰۰۰۴۲	۱۸۳
۰,۱۳۴	۴۴۰	۰,۷۸۹	۱,۲۵۷	۰,۳	۱,۱۸	۰,۰۰۴۷	۰,۰۰۰۵۹	۱۸۰
۳,۹۳۷	۱۶۷۳	۰,۷۹۷	۱,۴۹۴	۰,۲	۱,۲۳	۰,۰۰۱۵۱	۰,۰۰۰۴۴	۱۸۳
۱,۵۰۳	۱۲۹۶	۰,۷۹۷	۱,۴۸۹	۰,۲۶	۱,۲۳	۰,۰۰۱۹۷	۰,۰۰۰۴۱	۱۸۳
۰,۱۲۶	۳۷۵	۰,۷۹	۱,۱۲۱	۰,۳	۱,۱۹	۰,۰۰۴۶۳	۰,۰۰۱۱	۱۸۱

برای الگوریتم ژنتیک چندهدفه اندازه جمعیت ۱۲۰ در نظر گرفته شد. نوع عملگر انتخاب الگوریتم ژنتیک

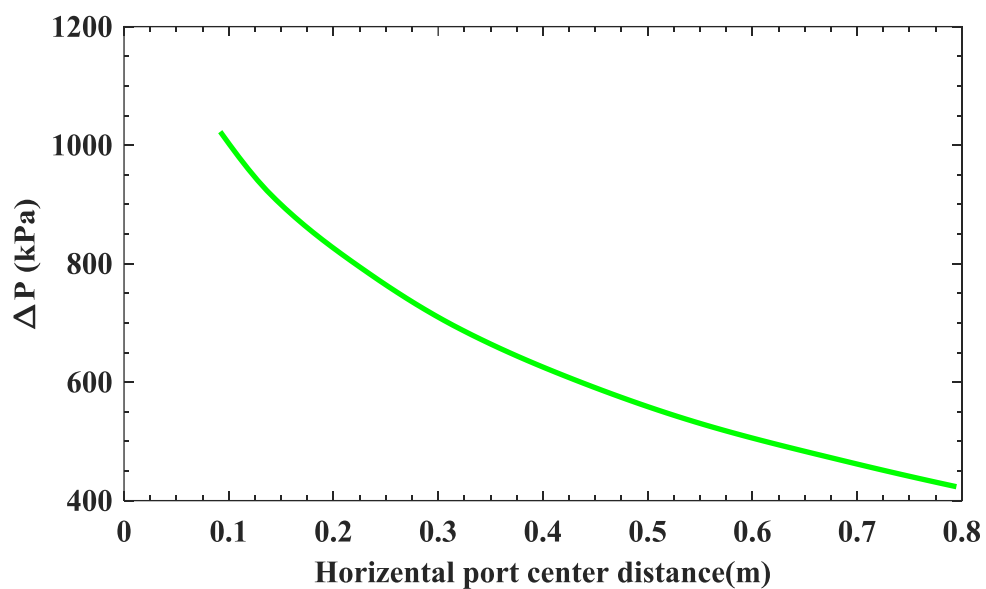
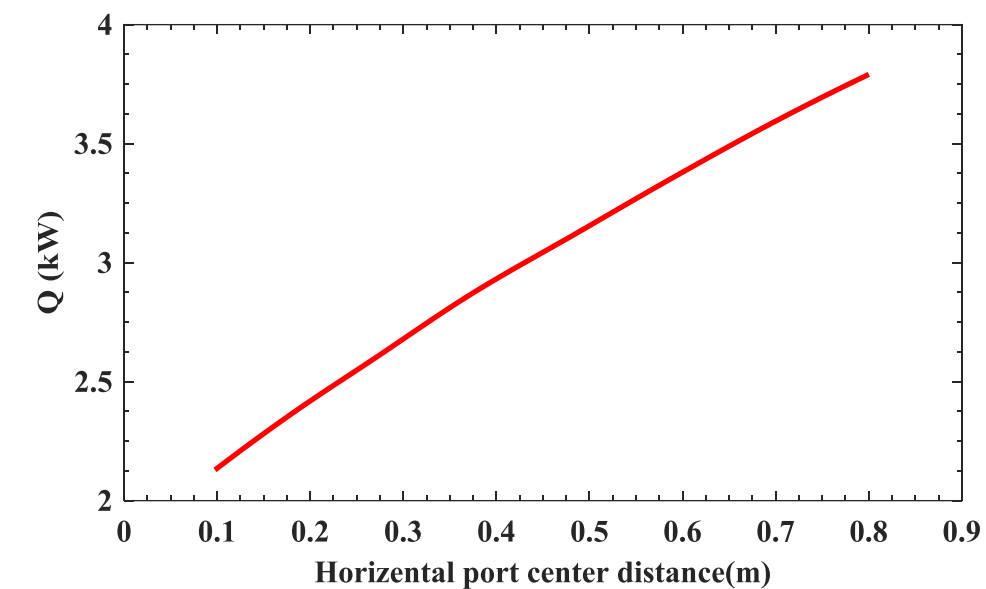
تورنمنت بود، به این معنی که فرد با بیشترین برازندگی، شانس بیشتری برای انتخاب دارد. کسر عملگر ترکیب (cross over) بر روی ۰,۸ تنظیم شد. جواب جبهه پارتو پس از ۱۱۰ تکرار به دست می‌آید و نتایج در شکل زیر نشان داده شده است. معیارهای خاتمه بر اساس تغییر در جواب بهینه است که مقدار آن  $10^{-6}$  انتخاب شده است. وقتی میانگین تغییر در جواب بهینه به این مقدار رسید، برنامه خاتمه می‌یابد. نمایش گرافیکی جواب جبهه پارتو در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل (۴-۱) جواب جبهه پارتو برای حداقل افت فشار و حداکثر انتقال حرارت

تأثیر فاصله افقی مرکز تا مرکز پورت، فاصله عمودی مرکز تا مرکز پورت، فاصله بین صفحات، ضخامت صفحه و تعداد صفحات حرارتی بر عملکرد حرارتی و هیدرولیکی مبدل حرارتی صفحه‌ای به‌طور مفصل مورد بحث قرار گرفته است. شکل زیر تأثیر فاصله افقی مرکز تا مرکز پورت بر انتقال حرارت و افت فشار را نشان می‌دهد. با افزایش فاصله مرکز تا مرکز پورت، میزان انتقال حرارت به دلیل افزایش مساحت انتقال حرارت افزایش می‌یابد درحالی‌که به دلیل کاهش عرض مؤثر، عدد رینولدز و سرعت جرمی کم می‌شود در نتیجه افت فشار کاهش می‌یابد بنابراین افت فشار اصطکاکی با افزایش فاصله افقی مرکز تا مرکز پورت کاهش می‌یابد.

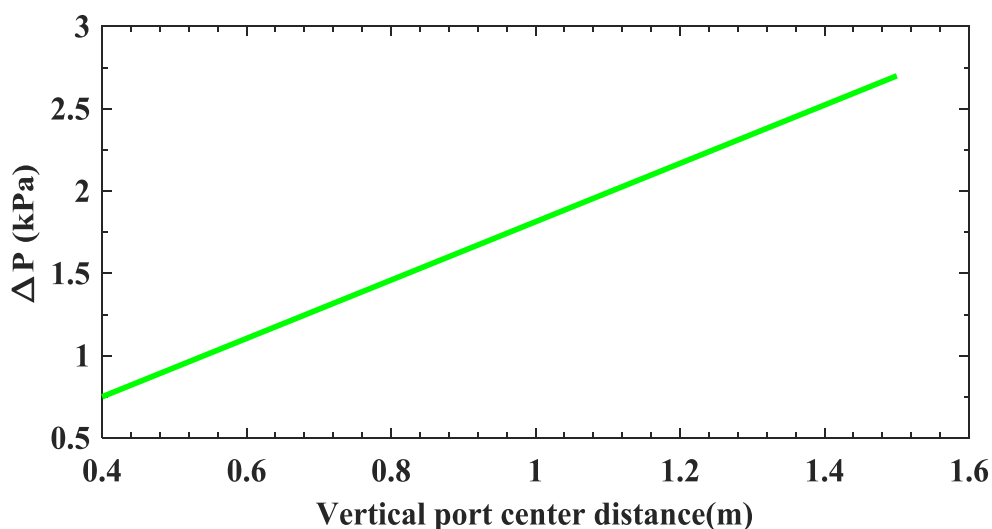
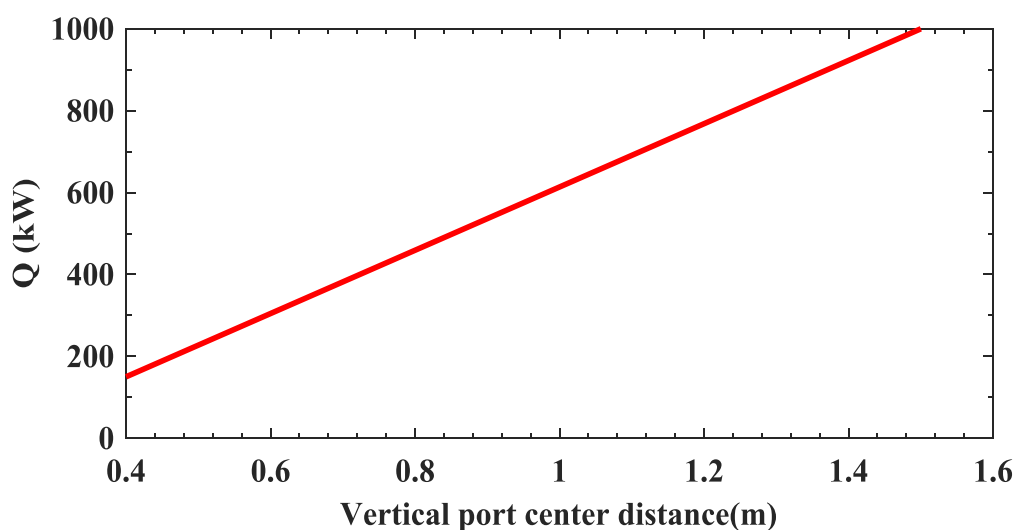




شکل ( ۲- ۴ ) اثر فاصله افقی مرکز تا مرکز پورت بر انتقال حرارت و افت فشار.

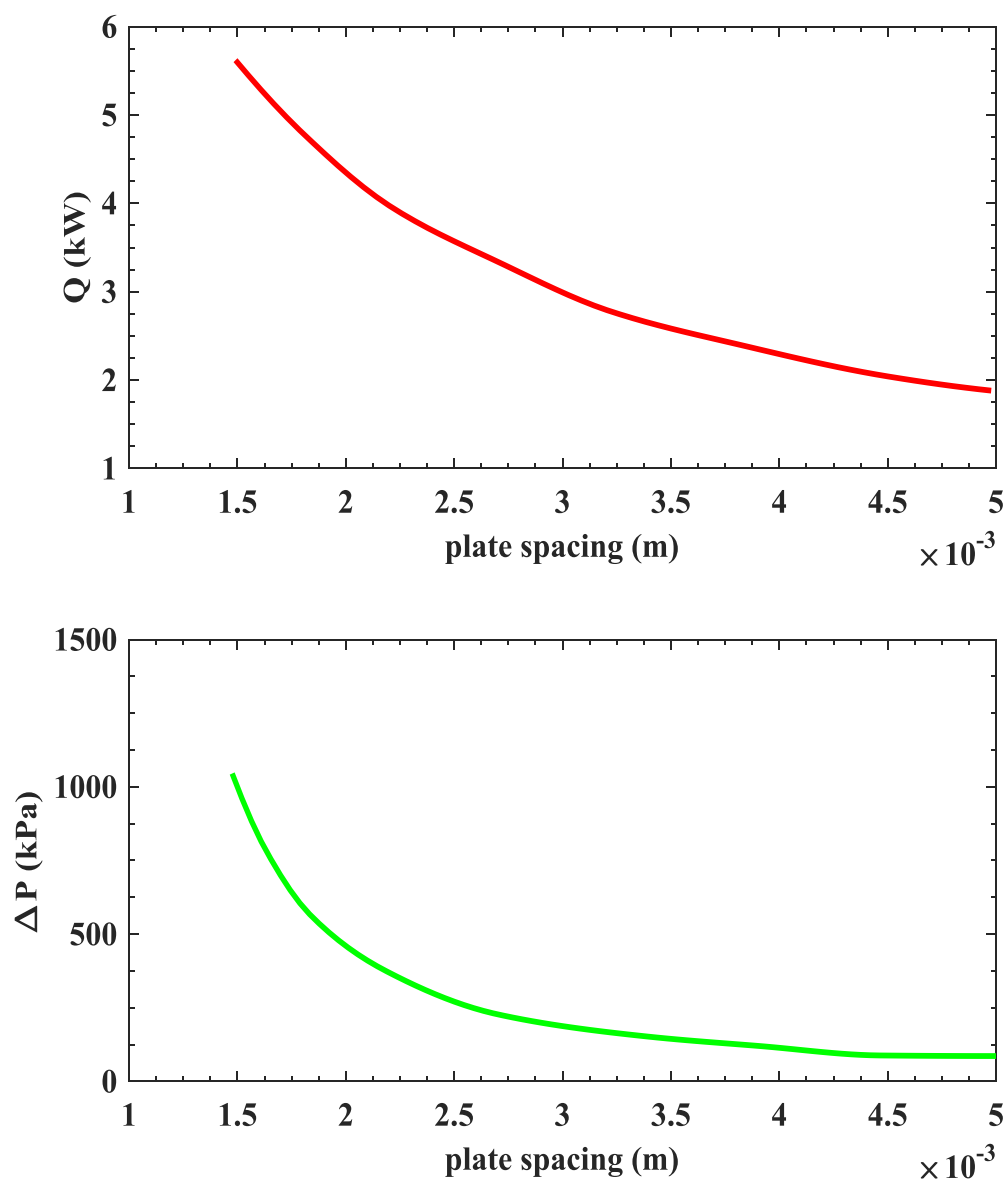
این نتیجه نشان می‌دهد که فاصله افقی مرکز تا مرکز پورت را می‌توان تا حد مجاز هزینه، کاهش داد تا فشار کاهش و انتقال حرارت افزایش یابد.

در شکل زیر، اثر فاصله عمودی مرکز تا مرکز پورت نشان داده شده است. با افزایش فاصله عمودی مرکز تا مرکز پورت مساحت صفحات حرارتی افزایش می‌یابد در نتیجه انتقال حرارت افزایش می‌یابد؛ اما به دلیل افزایش فاصله عمودی مرکز تا مرکز پورت در عرض ثابت صفحه، افت فشار اصطکاکی نیز به دلیل افزایش طول جریان افزایش می‌یابد؛ بنابراین افت فشار کلی افزایش می‌یابد. در این حالت، بین انتقال حرارت و افت فشار سازش وجود دارد. انتقال حرارت را می‌توان تا حد مجاز افزایش افت فشار به حداکثر رساند.



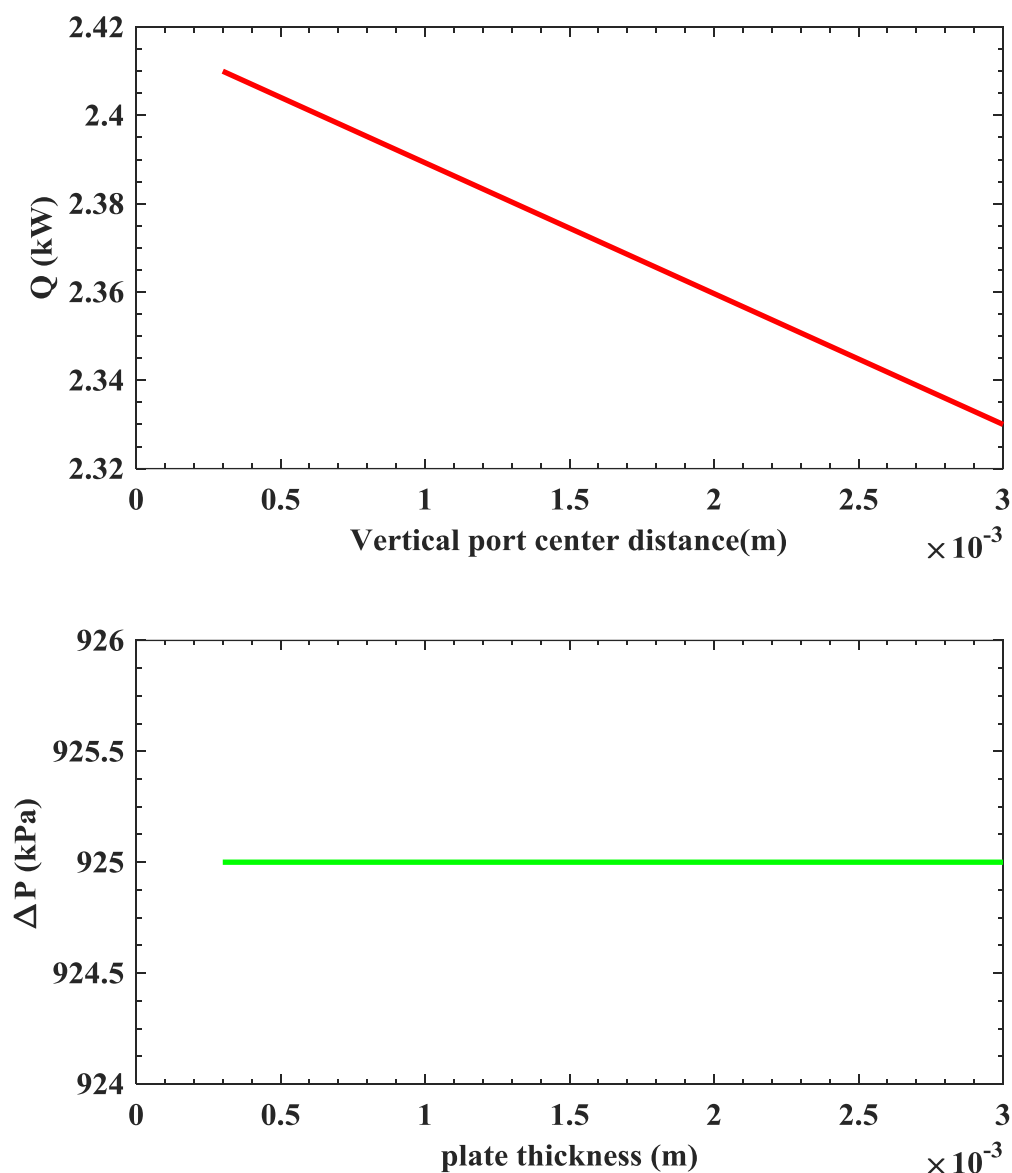
شکل (۳-۴) اثر فاصله عمودی مرکز تا مرکز پورت بر انتقال حرارت و افت فشار.

شکل زیر تأثیر فاصله صفحات را بر روی انتقال حرارت و افت فشار نشان می‌دهد. انتقال حرارت با افزایش فاصله صفحات کاهش می‌یابد. افت فشار نیز در مبدل حرارتی صفحه‌ای کاهش می‌یابد. زیرا با کاهش فاصله صفحات، قطر هیدرولیکی افزایش یافته و در نهایت افت فشار کاهش می‌یابد. در فاصله کم صفحات، کاهش فشار بسیار شدید است.



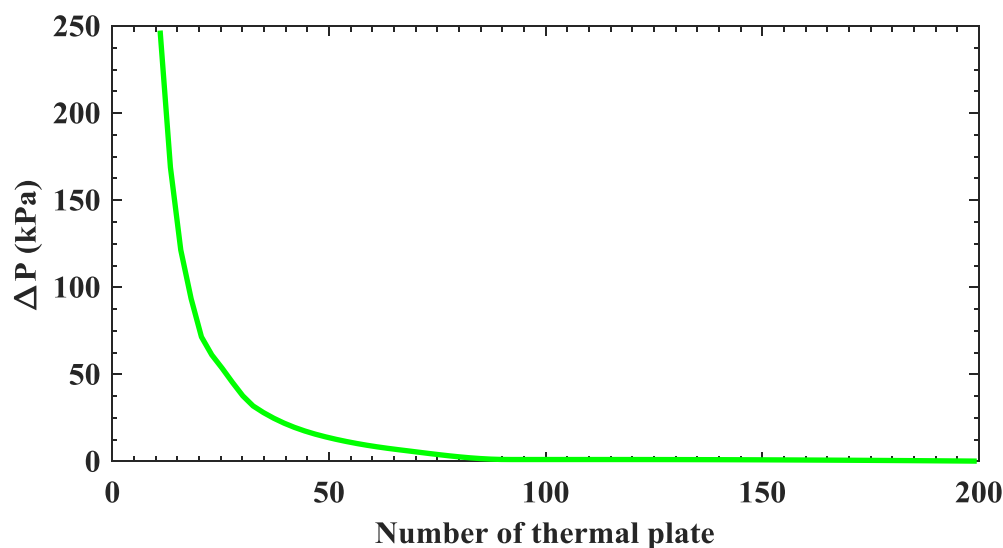
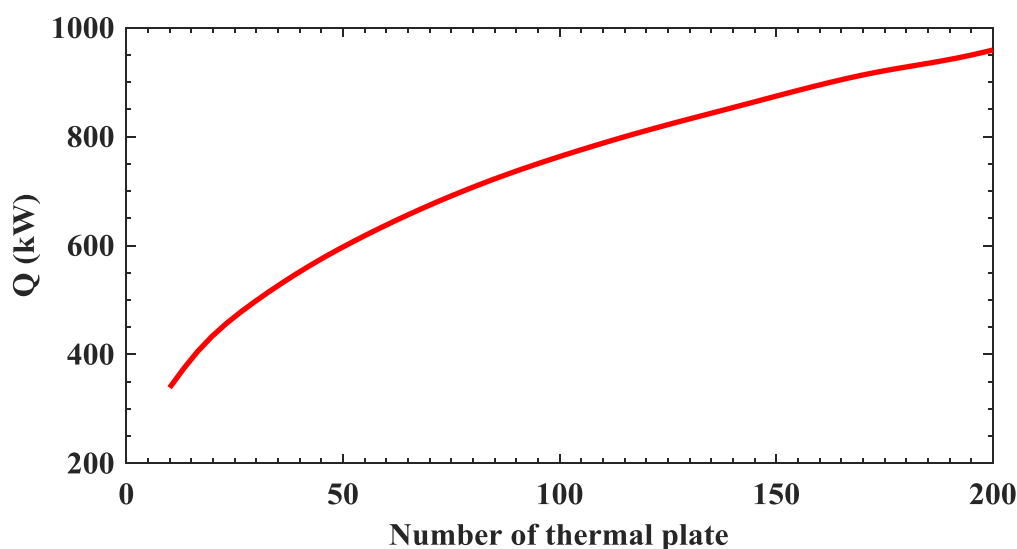
شکل (۴-۴) اثر فاصله صفحات بر انتقال حرارت و افت فشار.

شکل زیر تغییر افت فشار و انتقال حرارت با ضخامت صفحه را نشان می‌دهد. از آنجاکه عمق صفحات موجدار در مقدار  $0.008\text{ m}$  ثابت گرفته می‌شود، بنابراین تغییر در ضخامت صفحه هیچ پارامتر هندسی دیگری را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. افت فشار ثابت خواهد بود زیرا سایر پارامترهای هندسی ثابت هستند اما انتقال حرارت با کاهش ضخامت صفحه افزایش می‌یابد زیرا مقاومت حرارتی کاهش پیدا می‌کند؛ بنابراین بسته به حداکثر فشار عملیاتی می‌توان ضخامت صفحه را کاهش داد. مقاومت صفحه باید به اندازه‌ای باشد که حداکثر فشار را تحمل کند.



شکل ( ۵- ۴ ) اثر ضخامت صفحه بر انتقال حرارت و افت فشار.

در شکل زیر اثر تعداد صفحات حرارتی ارائه شده است. می‌توان مشاهده کرد که با افزایش تعداد صفحات حرارتی انتقال حرارت افزایش می‌یابد. با افزایش تعداد صفحات حرارتی و ثابت ماندن پارامترهای هندسی دیگر، افت فشار کاهش می‌یابد زیرا سرعت جریان سیال بین دو صفحه کاهش می‌یابد و افت فشار اصطکاکی به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. کاهش فشار در ابتدا بسیار شدید است. بسته به هزینه و میزان انتقال حرارت موردنیاز و همچنین افت فشار مجاز، حداکثر تعداد صفحات حرارتی را می‌توان انتخاب کرد.



شکل (۴-۶) اثر تعداد صفحات حرارتی بر انتقال حرارت و افت فشار.

## فصل ۵

نتیجه گیری و پیشنهادات

در این پژوهش بهینه‌سازی حرارتی و هیدرولیکی مبدل حرارتی صفحه‌ای ارائه شده است. برای یک بازه منطقی از پارامترهای هندسی مبدل حرارتی صفحه‌ای، انتقال حرارت و افت فشار بهینه شده است. به دلیل رابطه معکوس بین افت فشار و انتقال حرارت، هیچ مقدار واحدی نمی‌تواند هر دو تابع هدف را بهینه کند. از الگوریتم ژنتیک چندهدفه در برنامه MATLAB استفاده شد تا جواب بهینه‌ای که هر دو تابع هدف را تأمین کند به دست آید. برای مهندس طراح با توجه به انتخاب افت فشار و انتقال حرارت به‌عنوان توابع هدف، انتخاب جواب بهینه از جبهه پارتو بسیار مفید است. آنالیز حساسیت نیز برای بررسی تأثیر پارامترهای هندسی بر انتقال حرارت و افت فشار انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که فاصله افقی مرکز تا مرکز پورت و تعداد صفحات حرارتی روند یکسانی را برای افت فشار و انتقال حرارت نشان می‌دهند.

انتقال حرارت و افت فشار با افزایش فاصله افقی مرکز تا مرکز پورت و تعداد صفحات حرارتی افزایش می‌یابند؛ بنابراین جواب بهینه حداکثر عرض و حداکثر تعداد صفحات خواهد بود که درنهایت به تحلیل اقتصادی بستگی دارد. برای فاصله عمودی مرکز تا مرکز پورت و فاصله صفحات، بین افت فشار و انتقال حرارت موازنه وجود دارد. بهینه‌سازی و آنالیز حساسیت می‌تواند نقش اساسی در تصمیم‌گیری مهندس طراح برای طراحی بهینه داشته باشد.

جهت بررسی کارایی مبدل‌های حرارتی و مقایسه بازدهی آن‌ها با یکدیگر، مشابه این پژوهش را می‌توان بر روی سایر مبدل‌های حرارتی نیز مشاهده نمود و آن‌ها را با یکدیگر مقایسه نمود و متناسب با نوع کار، هدف مورد نظر ما و همچنین بسته به نوع سیال گذرنده از مبدل حرارتی می‌توان این تحقیق را انجام داد. در کنار این گونه محاسبات می‌توان برآورد مالی در خصوص انجام این پروژه انجام داد و میزان کاهش انرژی و در ادامه میزان

سود آوری آن را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد.

همچنین به کمک بسیاری از نرم افزار های مهندسی مانند مجموعه اسپن هم می توان تحقیقات قابل ملاحظه ای در زمینه بررسی کارآیی مبدل های حرارتی و آنالیز انرژی مربوط به آنها انجام داد. بنابراین با انجام چنین تحقیقات در میزان مصرف انرژی کاهش صورت خواهد گرفت.



## مراجع

- [1] K.A. De Jong, An Analysis of the Behavior of a Class of Genetic Adaptive Systems, The University of Michigan, USA, 1975.
- [2] J.H. Holland, Adaptation in Natural and Artificial Systems 18 Univ Press Michigan, USA, 1975, pp. 529–530.
- [3] L. Gosselin, M. Tye-Gingras, F. Mathieu-Potvin, Review of utilization of genetic algorithms in heat transfer problems, *Int. J. Heat Mass Transf.* 52 (2009) 2169–2188,
- [4] S. Pourahmad, S.M. Pesteei, Effectiveness-NTU analyses in a double tube heat exchanger equipped with wavy strip considering various angles, *Energy Convers.Manag.* 123 (2016) 462–469,
- [5] J. Lv, X. Jiang, G. He, W. Xiao, S. Li, D. Sengupta, et al., Economic and system reliability optimization of heat exchanger networks using NSGA-II algorithm, *Appl. Therm Eng.* 124 (2017) 716–724
- [6] T.A. Khan, W. Li, Optimal design of plate-fin heat exchanger by combining multi-objective algorithms, *Int. J. Heat Mass Transf.* 108 (2017) 1560–1572
- [7] M. Mirzaei, H. Hajabdollahi, H. Fadakar, Multi-objective optimization of shell-and-tube heat exchanger by constructal theory, *Appl. Therm. Eng.* 125 (2017) 9–19
- [8] C. Liu, W. Bu, D. Xu, Multi-objective shape optimization of a plate-fin heat exchanger using CFD and multi-objective genetic algorithm, *Int. J. Heat Mass Transf.* 111 (2017) 65–82,
- [9] B.D. Raja, V. Patel, R.L. Jhala, Thermal design and optimization of fin-and-tube heat exchanger using heat transfer search algorithm, *Therm Sci Eng. Prog.* 4 (2017) 45–57
- [10] B.D. Raja, R.L. Jhala, V. Patel, Many-objective optimization of shell and tube heat exchanger, *Therm. Sci. Eng. Prog.* 2 (2017) 87–101

- [11] J. Wen, H. Yang, X. Tong, K. Li, S. Wang, Y. Li, Configuration parameters design and optimization for plate-fin heat exchangers with serrated fin by multi-objective genetic algorithm, *Energy Convers. Manag.* 117 (2016) 482–489
- [12] M. Imran, M. Usman, B.-S. Park, H.-J. Kim, D.-H. Lee, Multi-objective optimization of evaporator of organic Rankine cycle (ORC) for low temperature geothermal heat source, *Appl. Therm. Eng.* 80 (2015) 1–9
- [13] H. Najafi, B. Najafi, Multi-objective optimization of a plate and frame heat exchanger via genetic algorithm, *Heat Mass Transf. Stoffuebertragung* 46 (2010) 639–647
- [14] G.N. Xie, B. Sunden, Q.W. Wang, Optimization of compact heat exchangers by a genetic algorithm, *Appl. Therm. Eng.* 28 (2008) 895–906
- [15] R. Selbaş, Ö. Kızılkın, M. Reppich, A new design approach for shell-and-tube heat exchangers using genetic algorithms from economic point of view, *Chem. Eng. Process Process Intensif.* 45 (2006) 268–275
- [16] I. Ozkol, G. Komurgoz, Determination of the optimum geometry of the heat exchanger body via a genetic algorithm, *Numer. Heat Transf. Part A Appl.* 48 (2005) 283–296
- [17] J.A.W. Gut, J.M. Pinto, Optimal configuration design for plate heat exchangers, *Int. J. Heat Mass Transf.* 47 (2004) 4833–4848, <http://dx.doi.org/10.1016/j>
- [18] A. Unuvar, S. Kargici, An approach for the optimum design of heat exchangers, *Int. J. Energy Res.* 28 (2004) 1379–1392
- [19] M. Imran, B.S. Park, H.J. Kim, D.H. Lee, M. Usman, M. Heo, Thermo-economic optimization of regenerative organic Rankine Cycle for waste heat recovery applications, *Energy Convers. Manag.* 87 (2014) 107–118
- [20] R.K. Shah, D.P. Sekulic, *Fundamentals of heat exchanger design*, John Wiley & Sons, Inc., USA, 2003
- [21] M. Imran, M. Usman, B.-S. Park, Y. Yang, Comparative assessment of Organic Rankine Cycle integration for low temperature geothermal heat source applications, *Energy* 102 (2016) 473–490

- [22] L. Gosselin, M. Tye-Gingras, F. Mathieu-Potvin, Review of utilization of genetic algorithms in heat transfer problems, *Int. J. Heat Mass Transf.* 52 (2009)2169–2188,
- [23] T.S. Khan, M.S. Khan, M.-C. Chyu, Z.H. Ayub, A. Javed, Chattha, Review of heat transfer and pressure drop correlations for evaporation offluidflow in plate heatexchangers, *Hvac & R*
- [24] W.A. Ajeeb,M.S.A. Oliveira, N. Martins, B. Abreu, Experimental and numerical study of convective heat transfer and laminar flow of a MWCNTs Nanofluid in a horizontal tube
- [25] M. Ramezanizadeh, M.A. Nazari, M.H. Ahmadi, E. Açikkalp, Application of nanofluids in thermosyphons: a review, *J. Mol. Liq*
- [26] S.K. Soylu, İ. Atmaca,M. Asiltürk, A. Doğan, Improving heat transfer performance of an automobile radiator using Cu and Ag doped TiO<sub>2</sub> based nanofluids, *Appl. Therm. Eng*
- [27] M.M. Sarafraz, O. Pourmehran, B. Yang, M. Arjomandi, Assessment of the thermal performance of a thermosyphon heat pipe using zirconia-acetone nanofluids, *Renew. Energy*





**Energy Institute of Higher Education**

# **Simulation and optimization of dual-purpose heat transfer and pressure drop of plate heat exchanger using intelligent algorithms**

**By:**

Parastoo Golmarg

**Supervisor:**

Dr. Vasefi

**march 2021**

## Abstract :

Heat exchangers are an important and practical part of the industry. So that they are widely used in petrochemical gas oil industry and refrigeration ventilation. The main task of heat exchangers is to transfer heat from a warmer fluid to a colder fluid, for which a wide range of heat exchangers have been designed and developed. One of the most important converters is the plate heat exchanger, which has a special application in industry.

In this research, thermal and hydraulic optimization of water-to-water plate heat exchanger of Choron plate type is presented. Optimization is performed using multi-objective genetic algorithm in MATLAB optimization environment. The constraint matrix consists of a set of different geometric parameters of a plate heat exchanger in logic intervals. The two objective functions are: hot side pressure drop and heat transfer. Due to the contrasting nature of these two objective functions, no single answer can satisfy both objective functions at the same time. Increased heat transfer leads to increased pressure drop, so the optimization results are presented as a Pareto front. Multi-objective genetic algorithm tools have been used to find a set of optimal solutions so that a balance is struck between pressure drop and heat transfer. Finally, sensitivity analysis was performed to analyze the effect of geometric parameters of the heat exchanger on thermal and hydraulic performance. The results of the sensitivity analysis show.

**Keywords :** Optimization, heat transfer, genetic algorithm, plate heat exchanger