

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۳	پیشگفتار.....
۵	دسته بندی مبدل های حرارتی .....
۵	بر اساس نوع و سطح تماس سیال سرد و گرم .....
۶	بر اساس جهت جریان سیال سرد و گرم .....
۸	بر اساس مکانیزم انتقال حرارت بین سیال سرد و گرم .....
۹	بر اساس ساختمان مکانیکی و ساختار مبدل ها .....
۲۰	اصول طراحی مبدل های حرارتی .....
۲۴	۱- تعیین مشخصات فرآیند و طراحی .....
۲۸	۲- طراحی حرارتی و هیدرولیکی .....
۳۳	۳- طراحی مکانیکی .....
۳۷	۴- ملاحظات مربوط به تولید و تخمین هزینه ها .....
۳۹	۵- فاکتورهای لازم برای سبک و سنگین کردن .....
۴۰	۶- طراحی بهینه .....
۴۰	۷- سایر ملاحظات .....
۴۱	نرم افزار HTFS ( شبیه سازی و طراحی مبدل های حرارتی ) .....
۴۲	TASC، طراحی حرارتی ، بررسی عملکرد و شبیه سازی مبدلهای پوسته و لوله .....
۴۲	FIHR، شبیه سازی کوره ها با سوخت گاز و مایع .....
۴۳	MUSE، شبیه سازی مبدلهای صفحه ای پره دار .....
۴۳	TICP، محاسبه عایقکاری حرارتی .....
۴۴	PIPE، طراحی، پیش بینی و بررسی عملکرد خطوط لوله .....
۴۴	ACOL، شبیه سازی و طراحی مبدلهای حرارتی هواخنک .....
۴۵	FRAN، بررسی و شبیه سازی مبدلهای نیروگاهی .....
۴۶	TASC، طراحی حرارتی ، بررسی و شبیه سازی مبدلهای حرارتی پوسته و لوله .....
۴۶	توانایی ها .....
۴۷	کاربرد در فرآیند .....
۴۸	مشخصات فنی و توانایی ها .....
۴۹	خواص فیزیکی .....
۴۹	بررسی ارتعاش ناشی از جریان .....

۵۰.....	خروجی
۵۲.....	ACOL، شبیه سازی و طراحی مبدل‌های حرارتی هواخنک
۵۲.....	طراحی
۵۳.....	کاربرد در فرآیند
۵۴.....	مشخصات فنی و توانایی
۵۶.....	نتایج خروجی
۵۸.....	PIPESYS، شبیه سازی خطوط لوله
۵۹.....	امکانات و توانایی ها
۶۰.....	نمونه هایی از کاربرد PIPESYS در عمل
۶۱.....	نرم افزار Aspen B-jac
۶۳.....	آشنایی با نرم افزار Aspen Hetran
۶۵.....	نحوه کار نرم افزار Hetran در حالت طراحی
۷۲.....	محیط نرم افزار Aspen Hetran
۷۳.....	تعریف مساله ( Problem Definition )
۸۳.....	اطلاعات خواص فیزیکی ( Physical property data )
۹۴.....	ساختار مبدل ( Exchanger Geometry )
۱۰۶.....	داده های طراحی ( Design Data )
۱۱۳.....	تنظیمات برنامه ( Program Options )
۱۱۷.....	نتایج ( Results )
۱۱۸.....	خلاصه وضعیت طراحی
۱۲۱.....	خلاصه وضعیت حرارتی
۱۲۵.....	خلاصه وضعیت مکانیکی
۱۲۷.....	جزئیات محاسبه ( Calculation Details )
۱۲۹.....	آشنایی با نرم افزار Aerotran
۱۳۱.....	روش های طراحی نرم افزار Aerotran
۱۳۳.....	آشنایی با نرم افزار Teams
۱۳۶.....	برنامه Props
۱۳۸.....	برنامه Qchex
۱۴۰.....	برنامه Ensea
۱۴۲.....	برنامه Metals
۱۴۴.....	برنامه Primetal
۱۴۷.....	برنامه Newcost
۱۴۹.....	منابع و مواخذ

## پیش گفتار

مبدل های حرارتی تقریباً پرکاربرترین عضو در فرآیندهای شیمیایی اند و می توان آن ها را در بیشتر واحدهای صنعتی ملاحظه کرد. آنها وسایلی هستند که امکان انتقال انرژی گرمایی بین دو یا چند سیال در دماهای مختلف را فراهم می کنند. این عملیات می تواند بین مایع-مایع ، گاز-گاز و یا گاز-مایع انجام شود. مبدل های حرارتی به منظور خنک کردن سیال گرم و یا گرم کردن سیال با دمای پایین تر و یا هر دو مورد استفاده قرار می گیرند.

مبدل های حرارتی در محدوده وسیعی از کاربردها استفاده می شوند . این کاربردهای شامل نیروگاه ها ، پالایشگاه ها ، صنایع پتروشیمی، صنایع ساخت و تولید ، صنایع فرآیندی ، صنایع غذایی و دارویی ، صنایع ذوب فلز ، گرمایش ، تهویه مطبوع ، سیستم های تبرید و کاربردهای فضایی میباشدند. مبدل های حرارتی در دستگاه های مختلف نظیر دیگ بخار ، مولد بخار ، کندانسور، اواپراتور، تبخیر کننده ها ، برج خنک کن ، پیش گرم کن فن کویل ، خنک کن و گرم کن روغن ، رادیاتور ها ، کوره ها و ... کاربرد فراوان دارند.

صنایع بسیاری در طراحی انواع مبدل های حرارتی فعالیت دارند و هم چنین ، دروس متعددی در کالج ها و دانشگاه ها با نام های گوناگون در طراحی مبدل های حرارتی ارائه می گردد. محاسبات مربوط به مبدل ها کاری طولانی و گاهی خسته کننده است. مثلاً طراحی یک مبدل برای یک عملیات به خصوص نیاز به حدس های زیادی دارد که با استفاده از آن ها و طبق استانداردها می توان اندازه های یک مبدل مناسب را پیدا کرد. اما با استفاده از برنامه های کامپیوتری تمام این محاسبات توسط کامپیوتر انجام میشود و طراح برای طراحی

تنها باید شرایط عملیاتی و خواص سیالات حاضر در عملیات را وارد کند. نرم افزارهای Aspen B-jac و HTFS از این موارد هستند. این نرم افزارها شامل برنامه هایی می شوند که توانایی انجام چنین محاسباتی را دارند.

در این تحقیق ابتدا توضیحاتی در مورد مبدل های حرارتی و اصول طراحی آنها بیان گردیده و در ادامه به معرفی و آشنایی با چند نرم افزار طراحی مبدلها پرداخته شده است.

## دسته بندی مبدل های حرارتی

مبدل های حرارتی را می توان از جنبه های مختلف دسته بندی کرد :

- بر اساس نوع و سطح تماس سیال سرد و گرم
- بر اساس جهت جریان سیال سرد و گرم
- بر اساس مکانیزم انتقال حرارت بین دو سیال سرد و گرم
- بر اساس ساختمان مکانیکی و ساختار مبدلها

### بر اساس نوع و سطح تماس سیال سرد و گرم

#### ۱- مبدل های حرارتی نوع **Recuperative**

در این مبدل سیال سرد و گرم توسط یک سطح جامد ثابت از یکدیگر جدا شده اند و انتقال از طریق سطح مذکور صورت می گیرد. اکثر مبدل های موجود در صنعت از این دسته هستند.

#### ۲- مبدل های حرارتی نوع **Regenerative**

در این مبدل ، سطح جدا کننده سیال سرد و گرم ثابت نبوده و به طور متناوب قسمت هایی از سطح مذکور در معرض حرکت سیال سرد یا گرم قرار می گیرند. این نوع مبدل ها بیشتر در مقیاس های آزمایشگاهی و تحقیقاتی مورد استفاده قرار می گیرند.

### ۳- مبدل های حرارتی نوع تماس مستقیم

در این نوع مبدل های حرارتی ، سیال سرد و گرم به طور مستقیم تماس حاصل نموده ( هیچ دیواره ای بین جریانهای سرد و گرم وجود ندارد ) و تبادل انرژی یا حرارت انجام می گیرد. در مبدل های تماس مستقیم ، جریانها ، دو مایع غیر قابل اختلاط و یا یک گاز و یک مایع هستند. این مبدل ها معمولا از راندمان حرارتی بالایی برخوردارند. نمونه ای از این مبدل ها ، برج های خنک کن ، کولرهای آبی و گرم کن های Open Feed Water Heater موجود در نیروگاه های بخار می باشند .

### بر اساس جهت جریان سیال سرد و گرم

بر این اساس مبدل های حرارتی به سه دسته اصلی تقسیم می شوند :

الف- مبدل های حرارتی از نوع جریان همسو

ب-مبدل های حرارتی از نوع جریان غیر همسو

ج - مبدل های حرارتی از نوع جریان عمود بر هم

#### الف - مبدل های حرارتی از نوع جریان همسو

در این نوع مبدل ها جریان سرد و گرم موازی یکدیگر و جهت جریان سیال گرم و سرد آن ها موافق یکدیگر می باشند. یعنی دو جریان سیال ، از یک انتها به مبدل وارد می شوند و هر دو

در یک جهت جریان می یابند و از انتهای دیگر خارج می شوند. نکته ای که باید به آن توجه داشت این است که دمای سیال سرد خروجی از مبدل هیچگاه به دمای سیال گرم خروجی نمی رسد. نزدیک شدن مقدار عددی دو دمای مذکور مستلزم بکارگیری سطح انتقال حرارت موثر بسیار بزرگی می باشد.

### ب- مبدل های حرارتی از نوع جریان غیر همسو

در شرایطی که جریان سیال سرد و گرم موازی یکدیگر و در خلاف جهت هم باشد مبدل را جریان غیر همسو می نامند. باید توجه داشت در این نوع مبدل ها امکان افزایش دمای سیال سرد خروجی نسبت به سیال گرم خروجی وجود دارد. این مبدلها در شرایط یکسان از سطح انتقال حرارت کمتری نسبت به مبدل های همسو برخوردار هستند.

### ج- مبدل های حرارتی از نوع جریان عمود بر هم

در این نوع مبدل ها جهت جریان های سرد و گرم عمود بر هم می باشند. به عنوان متداول ترین نمونه می توان از رادیاتور اتومبیل نام برد. در آرایش جریان عمود بر هم ، بسته به طراحی ، جریان مخلوط یا غیر مخلوط نامیده می شود. سیال داخل لوله ها چون اجازه حرکت در راستای عرضی را نخواهد داشت غیر مخلوط است. سیال بیرونی برای لوله های بی پره مخلوط است چون امکان جریان عرضی سیال و یا مخلوط شدن آن وجود دارد

و برای لوله های پره دار غیر مخلوط است زیرا وجود پره ها مانع از جریان آن در جهتی عمود بر جهت اصلی جریان می شود.

## بر اساس مکانیزم انتقال حرارت بین سیال سرد و گرم

مبدل های حرارتی بر طبق مکانیزم انتقال گرما ، می توانند به صورت زیر دسته بندی شوند :

۱- جابجایی یک فاز در هر دو سمت

۲- جابجایی یک فاز در یک سمت ، جابجایی دو فاز در سمت دیگر

۳- جابجایی دو فاز در هر دو سمت

در مبدل های حرارتی از قبیل اکونومایزرها ( مبدل هایی که در آن سیال از شرایط مایع مادون اشباع بسمت شرایط مایع اشباع می رود) و گرمکن های هوا در دیگ بخار ، خنک کن های میانی در کمپرسورهای چند مرحله ای ، رادیاتور خودروها ، ژنراتورها ، خنک کن های روغن ، گرم کن های مورد استفاده در گرمایش اطاقها و غیره ، در هر دو سمت سیال سرد و گرم ، انتقال گرما از طریق جابجایی یک فاز اتفاق می افتد. چگالنده ها ، دیگ های بخار و مولدهای بخار در راکتورهای آب تحت فشار در نیروگاه های هسته ای ، تبخیرکننده ها و رادیاتورهای مورد استفاده در تهویه مطبوع و گرمایش ، دارای مکانیزم های چگالش و جوش در یکی از سطوح مبدل های حرارتی می باشند. همچنین انتقال گرمای دو فاز می تواند در هر دو سمت مبدل ، مانند شرایطی که چگالش در یک سمت و جوشش در سمت دیگر سطح انتقال گرما است ، اتفاق بیفتد. هر چند ، بدون تغییر فاز نیز می توان شکلی از انتقال گرمای



جریان دوفاز داشت ، همانطور که بسترهای سیال ، مخلوط گاز و ذرات جامد ، به سطح گرمایی ، یا از آن سطح ، گرما منتقل می کنند.

## بر اساس ساختمان مکانیکی و ساختار مبدل ها

مبدل های حرارتی از نوع تماس غیر مستقیم ( مبدل های با انتقال گرما از طریق دیواره ) اغلب بر حسب مشخصات ساختاریشان توصیف می شوند. انواع عمده دسته بندی بر اساس ساختمان مکانیکی و ساختار آن ها ، شامل لوله ای ، صفحه ای و سطح پره دار است.

### ۱- مبدل های لوله ای

این مبدل ها از لوله هایی با مقطع دایره ای ساخته شده اند. یک سیال در داخل لوله ها و سیال دیگر در خارج از لوله جریان دارد. قطر ، تعداد ، طول ، گام و آرایش لوله ها می تواند تغییر کند. بنابراین انعطاف پذیری قابل ملاحظه ای در طراحی آنها وجود دارد. مبدل های حرارتی لوله ای می توانند به صورت زیر دسته بندی شوند :

الف- دو لوله ای ( Double pipe )

ب- پوسته و لوله ( shell and tube )

ج- لوله ای حلزونی ( spiral tube )

## الف - مبدل های حرارتی دو لوله ای

مبدل های دو لوله ای معمولی شامل یک لوله است که با اتصالات مناسب بصورت هم مرکز در داخل لوله ای دیگر با قطر بزرگتر قرار می گیرد تا جریان را از مقطعی به مقطع دیگر هدایت کند. مبدل های حرارتی دو لوله ای می توانند با آرایش گوناگون سری و موازی مرتب شوند تا افت فشار و متوسط اختلاف دمای مورد نظر را برآورده سازند. استفاده عمده مبدل های دو لوله ای ، برای گرمایش و سرمایش محسوس سیال های فرآیندی است که در آنها سطوح انتقال گرمای کوچکی ( تا  $50 m^2$  ) مورد نیاز می باشد. این شکل بندی ، همچنین در حالتیکه یک یا هر دو سیال سرد و گرم ، در فشار زیاد باشند ، مناسب است. عیب اصلی این مبدلها آنست که میزان انتقال گرما در واحد سطح گرمایی آنها کم بوده . به عبارت دیگر برای ظرفیت گرمایی مشخص ، بزرگ و گران قیمت هستند. اگر ضریب انتقال گرما برای سیال عبوری در فضای بین لوله داخلی و خارجی کوچک باشد ، لوله ( یا لوله های ) داخلی دارای پره های طولی می توانند استفاده شوند.

## ب - مبدل های حرارتی پوسته و لوله

مبدل های پوسته و لوله ، از لوله های با مقطع دایره ای که در پوسته های استوانه ای بزرگ نصب شده اند ، ساخته می شوند به طوری که محور لوله ها موازی با محور پوسته است. این مبدل ها به صورت وسیعی به عنوان خنک کن های روغن ، چگالنده ها و پیش گرمکن ها در

نیروگاه ها ، و به عنوان مولدهای بخار در نیروگاه های هسته ای و در کاربرد های صنایع فرآیندی و شیمیایی استفاده می شوند.

در مبدل های دارای بافل ( تیغه ها و صفحات هدایت کننده جریان ) ، جریان سمت پوسته به صورت متقاطع با لوله ها در بین دو بافل مجاور جهت داده می شود و در حالیکه از فاصله مابین دو بافل به فاصله بعدی منتقل می شود ، موازی با لوله ها ، جهت می یابد. بسته به کاربرد مبدل های حرارتی پوسته و لوله ، تفاوت زیادی در شکل و ساختمان آنها وجود دارد. اهداف اصلی طراحی در این مبدل ها ، در نظر گرفتن انبساط حرارتی پوسته و لوله ها ، تمیز کردن آسان مجموعه ، و در صورت با اهمیت نبودن سایر جنبه ها ، کم هزینه ترین روش ساخت و تولید آنهاست.

در مبدل های حرارتی پوسته و لوله با صفحه لوله های ثابت ( Fixed tube sheet ) ، پوسته به صفحه لوله جوش داده شده است و هیچ گونه دسترسی به خارج از دسته لوله ، برای تمیز کاری وجود ندارد. این انتخاب کم هزینه و دارای انبساط گرمایی محدود است که می تواند اندکی توسط فانوسی های انبساط ، افزایش یابد. در این نوع از مبدلها ، تمیز کردن لوله ها ، ساده است.

مبدل های حرارتی پوسته و لوله با دسته لوله U شکل دارای کم هزینه ترین ساختار است ، زیرا در آن فقط به یک صفحه لوله نیاز است. سطح داخلی لوله ها به دلیل خم U شکل تند ، نمیتواند با وسایل مکانیکی تمیز شود. در این مبدل ها تعداد زوجی از گذرهای لوله به کار می رود ولی محدودیتی از نظر انبساط گرمایی وجود ندارد.

آرایش های مختلف جریان در سمت پوسته و لوله ، بسته به ظرفیت گرمایی ، افت فشار ، سطح فشار ، تشکیل رسوب ، شیوه های ساخت و هزینه بری ، کنترل خوردگی و مسائل تمیز کاری ، استفاده می شوند. بافل ها برای افزایش ضریب انتقال حرارت در سمت پوسته و برای نگه داشتن لوله ها استفاده میگردند. مبدل های پوسته و لوله ، بر حسب نیاز ، برای هر ظرفیت و شرایط کارکرد ، طراحی می شوند. این مشخصه مبدل های پوسته و لوله ، متفاوت با بسیاری از انواع دیگر مبدل ها می باشد.

### ج- مبدل های حرارتی لوله ای حلزونی

این مبدل ها شامل کویل هایی هستند که به صورت حلزونی پیچانده شده و در یک پوسته قرار گرفته اند و یا به صورت چگالنده های هم مرکز و تبخیر کننده های هم مرکز هستند که در سیستم های تبرید استفاده می شوند. ضریب انتقال گرما ، در لوله حلزونی در مقایسه با لوله مستقیم ، بیشتر است. این مبدل ها، برای انبساط گرمایی و سیال های تمیز مناسب هستند ، زیرا تمیز کردن آنها تقریباً غیر ممکن است.

### ۲- مبدل های حرارتی صفحه ای

مبدل های حرارتی صفحه ای ، از صفحات نازک که کانال های جریان را تشکیل می دهد ، ساخته می شوند. جریان های سیال ، توسط صفحات مسطح که یا به صورت صاف و یا موجدار

هستند ، از هم جدا می شوند. این مبدل ها برای انتقال گرما بین گاز ، مایع یا جریان های دو فاز ، استفاده می شوند. این مبدل ها می توانند به صورت زیر دسته بندی شوند :

الف- صفحه ای واشردار ( Gasketed-plat )

ب- صفحه ای حلزونی ( Spiral plat )

ج- لاملا ( Lamella )

### الف- مبدل های حرارتی صفحه ای واشردار

مبدل های صفحه ای واشردار شامل تعدادی از صفحات نازک با سطح چین دار یا موج دار است که سیال های گرم و سرد را از یکدیگر جدا می کند. صفحات دارای قطعاتی در گوشه ها هستند که به نحوی آرایش داده شده اند که دو ماده ای که باید گرما بین آنها مبادله شود ، یکی در میان فضای صفحات ، جریان یابند. طراحی و واشر بندی مناسب ، امکان آن را ایجاد می کند که مجموعه ای از صفحات ، توسط پیچ ها که از صفحات ابتدا و انتها نیز می گذرند ، در کنار یکدیگر نگه داشته شوند. واشرها از نشتی به بیرون جلوگیری می کنند و سیال ها را در صفحات ، به شکل مورد نظر ، هدایت می نمایند. شکل جریان ، عموماً به نحوی انتخاب می شود که جریان سیال ها در خلاف جهت یکدیگر باشند. مبدل های صفحه ای معمولاً به جریان سیال با فشار پایین تر از ۲۵bar و دمای کمتر از حدود ۲۵۰ درجه سانتیگراد محدود می شوند. جریان قوی گردابه ای موجب بزرگ بودن ضرایب انتقال گرما و افت فشارها می گردد ، بعلاوه بزرگ بودن تنش برشی موضعی ، باعث کاهش تشکیل رسوب می شود. این

مبدل ها ، سطح انتقال حرارتی نسبتاً فشرده و با وزن کم ایجاد می کنند. دما و فشار آنها به دلیل جزئیات ساخت و واشربندی ، محدود هستند. این مبدل ها به آسانی تمیز و استریلیزه میشوند زیرا می توانند کاملاً از یکدیگر باز و جدا گردند و بنابراین استفاده گسترده ای در صنایع غذایی دارند.

## ب- مبدل های حرارتی صفحه ای حلزونی

مبدل های صفحه ای حلزونی ، با پیچاندن دو صفحه بلند موازی به شکل یک حلزونی با استفاده از یک میله اصلی ( مندرل ) و جوش دادن لبه های صفحات مجاور به صورتی که یک کانال را تشکیل دهند ، شکل داده می شوند. فاصله بین صفحات فلزی در هر دو کانال حلزونی ، با استفاده از پین های فاصله انداز که به ورق فلزی جوش می شوند ، حفظ می شود. طول پین های فاصله انداز می تواند بین ۵ تا ۲۰ mm تغییر کند. به همین دلیل است که با توجه به نرخ جریان ، می توان فواصل مختلفی برای کانال انتخاب کرد. این بدان معناست که شرایط جریان ایده آل و بنابراین کوچکترین سطوح گرمایش ممکن ، بدست می آیند.

در هر یک از دو مسیر حلزونی ، یک جریان ثانویه ایجاد می شود که انتقال گرما را افزایش ، و تشکیل رسوب را کاهش می دهد. این مبدل ها کاملاً فشرده هستند ولی به دلیل ساخت خاص خود ، نسبتاً گران قیمت می باشند.

سطح انتقال گرما برای این مبدل ها ، در محدوده ۰٫۵ تا  $۵۰۰ m^2$  می باشد. حداکثر فشار کارکرد ( تا ۱۵ bar ) و دمای کارکرد ( تا ۵۰۰ درجه سانتیگراد ) در این مبدل ها محدود هستند.

مبدل های حرارتی حلزونی به ویژه در کاربرد سیال لجن آلود ، مایعات لزج و مایعاتی با ذرات جامد معلق شامل ذرات بزرگ و جریان دو فازي مایع- جامد ، استفاده می شوند. مبدل های حلزونی ، در سه نوع اصلی که در اتصالات و آرایش های جریان ، تفاوت دارند ، ساخته می شود.

### ج- مبدل های حرارتی لاملا

مبدل های حرارتی لاملا ( ریمن ) شامل مجموعه کانال های ساخته شده از صفحات فلزی نازک است که به طور موازی جوشکاری شده اند و یا به شکل لاملا ( لوله های تخت یا کانال های مستطیلی ) می باشند که به صورت طولی در یک پوسته قرار گرفته اند. این مبدل ، شکل اصلاح شده ای از مبدل های حرارتی پوسته و لوله با صفحه لوله شناور است ، لوله های تخت شده که به آن ها لاملا نیز گفته میشود ، از دو صفحه باریک که برش خورده و در عملیاتی پیوسته ، به یکدیگر جوش نقطه ای یا درزی شده اند ، ساخته شده است . شکل دهی خاص صفحات باریک ، فضای داخل لاملاها را ایجاد می کند و برجستگی هایی به سمت خارج ، بیرون می زند که به صورت فاصله دهنده ، بین لاملاها ، برای ایجاد مقاطع جریان در سمت پوسته بکار می رود. لاملاها در هر دو انتها با قرار دادن میله های فولادی در وسط آنها به یکدیگر جوش می شوند.

اندازه میله های فولادی بسته به فاصله مرد نیاز بین لاملاها دارد. هر دو انتهای دسته لاملا بوسیله جوش های محیطی ، به درپوش کانال متصل می شوند که آن هم خود ، در انتهای

خارجی به نازل ورودی و خروجی جوش شده است. بنابراین سمت لاملا کاملاً توسط جوشها آب بندی شده است.

سطوح ما بین لاملاها برای تمیز کاری شیمیایی مناسب هستند بنابراین سیال های رسوب دهنده باید در سمت پوسته جریان یابند. جریان سمت پوسته عموماً یک گذر حول صفحات است و به صورت طولی در فضای بین کانال ها جریان می یابد. هیچگونه بافلی در سمت پوسته وجود ندارد و بنابراین مبدل های لاملا می توانند برای آرایش جریان مخالف جهت واقعی در نظر گرفته شوند. به دلیل آشفستگی زیاد جریان ، توزیع یکنواخت جریان و سطوح صاف ، لاملاها به سادگی رسوب نمی گیرند.

دسته صفحه می تواند به راحتی برای بازرسی و تمیز کاری بیرون آورده شود . این طرح دارای ظرفیت تحمل فشار تا ۳۵ bar و تحمل دما تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد برای واشرهای تفلون و ۵۰۰ درجه سانتیگراد برای واشرهای آزبست می باشد.

### ۳- مبدل های حرارتی با سطوح پره دار

مبدل های حرارتی با سطوح پره دار ، دارای پره ها و یا ضمائم در سطح اصلی ( لوله ای یا صفحه ای ) انتقال گرما به منظور افزایش این سطح می باشند. از آنجا که ضریب انتقال گرما در سمت گاز بسیار کوچکتر از سمت مایع است ، سطوح انتقال گرمای پره دار ، در سمت گاز برای افزایش سطوح انتقال گرما استفاده می شوند. پره ها به صورت وسیع در مبدل های حرارتی گاز - گاز یا گاز - مایع در جایی که ضریب انتقال گرما در یک یا هر دو سمت کوچک



باشد و به مبدل های حرارتی فشرده نیاز باشد استفاده می گردند. دو نوع از رایج ترین مبدل های حرارتی دارای صفحات پره عبارتند از :

الف- مبدل های صفحه ای پره دار

ب-مبدل های لوله ای پره دار

### الف- مبدل های صفحه ای پره دار

نوع مبدل های صفحه ای پره دار عمدتاً برای کاربردهای گاز- گاز و مبدل های لوله ای پره دار برای کاربردهای مایع- گاز استفاده می شوند. در اکثر کاربردها ( ماشین های باری ، اتومبیل ها و هواپیماها ) کاهش جرم و حجم مبدل از اهمیت ویژه ای برخوردار است. به دلیل دست یافتن به این کاهش حجم و وزن ، مبدل های حرارتی فشرده همچنین به صورت وسیع در تبرید با دمای خیلی کم ( کرایوژنیک ) ، بازیابی انرژی ، صنایع فرآیندی ، تبرید و سیستم های تهویه استفاده می گردند.

جریان های سیال با صفحات تخت که بین آن ها پره های موج دار قرار داده شده اند ، از هم جدا می شوند. آن ها می توانند با توجه به جریان های سیال با شکل بندی های متفاوت آرایش داده شوند . این واحدهای بسیار فشرده دارای سطح انتقال گرما در واحد حجم حدود  $2000 \text{ m}^2/\text{m}^3$  میباشند. صفحات عموماً دارای ضخامت ۰,۵ تا ۱ mm و پره ها دارای ضخامت ۰,۱۵ تا ۰,۷۵ mm می باشند. کل مبدل از آلیاژ آلومینیوم ساخته شده است و اجزاء مختلف ، در حمام نمک یا کوره خلاء به یکدیگر لحیم می شوند.

ورق های موج دار که بین صفحات تخت قرار داده شده اند ، باعث ایجاد سطح انتقال گرمای بیشتر می شوند و هم تکیه گاهی برای صفحات تخت ایجاد می کنند. شکل های مختلف بسیاری از ورق های موجدار در این مبدل ها استفاده می شوند ولی رایجترین آنها عبارتند از :  
پره ساده ، پره ساده سوراخدار ، پره دندانه ای یا کنگره ای ، پره جناغی یا موجی شکل.

با استفاده از پره ها که در راستای جریان پیوسته نباشند ، لایه های مرزی کاملاً شکسته می شوند و بهم می خورند ، اگر سطح در راستای جریان دارای موج باشد ، لایه های مرزی یا نازک می گردند و یا قطع می شوند که نتیجه آن ضرایب بزرگتر انتقال گرما و افت فشار بزرگتر است.

کانال های جریان در مبدل های صفحه ای پره دار کوچک هستند که بدین معناست که سرعت جرمی جریان در آنها نیز باید کوچک باشد ( ۱۰ تا  $300 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$  ) تا از افت فشار اضافی ، اجتناب شود. این موضوع کانال را مستعد برای تشکیل رسوب نماید ، با توجه به این موضوع که این مبدلها نمی توانند به صورت مکانیکی تمیز شوند ، استفاده از این مبدل های صفحه ای پره دار منحصر به سیال های تمیز است. آنها به وفور برای مصارف چگالش در واحدهای مایع سازی هوا استفاده می شوند.

مبدل های صفحه ای پره دار برای استفاده در توربین های گاز ، نیروگاههای مرسوم و هسته ای ، مهندسی پیشرانه (هواپیماها ، ماشین های باری و خودروها) ، تبرید ، گرمایش ، تهویه و تهویه مطبوع ، سیستم های بازیابی گرمای اضافه ، صنایع شیمیایی و سرمایه‌های وسایل الکترونیکی بوجود آمده اند.

## ب- مبدل های لوله ای پره دار

این مبدل ها شامل آرایه ای از لوله ها با پره هایی که در سمت بیرونی ثابت شده اند ، می باشد. پره های سمت خارجی لوله ها ممکن است عمود بر محور لوله ها ، اریب یا مارپیچ نسبت به محور ، یا طولی (محوری) و در امتداد محور لوله باشند. پره های طولی معمولاً در مبدل های دو لوله ای یا پوسته و لوله ای که دارای بافل نیستند استفاده می شوند.

در مبدل های لوله ای پره دار عموماً لوله هایی با مقاطع گرد ، مستطیلی یا بیضوی استفاده می شوند. پره ها با لحیم کاری ، جوش برنجی ، جوشکاری ، اکستروژن ، جا زدن مکانیکی ، پیچاندن کششی و غیره به لوله وصل می شوند. این مبدل ها بطور متداول در سیستم های گرمایش ، تهویه ، تبرید و تهویه مطبوع استفاده می شوند. سطوح داخلی در سمت لوله ها عموماً در چگالنده ها و تبخیر کننده های سیستم های تبرید استفاده می گردند.

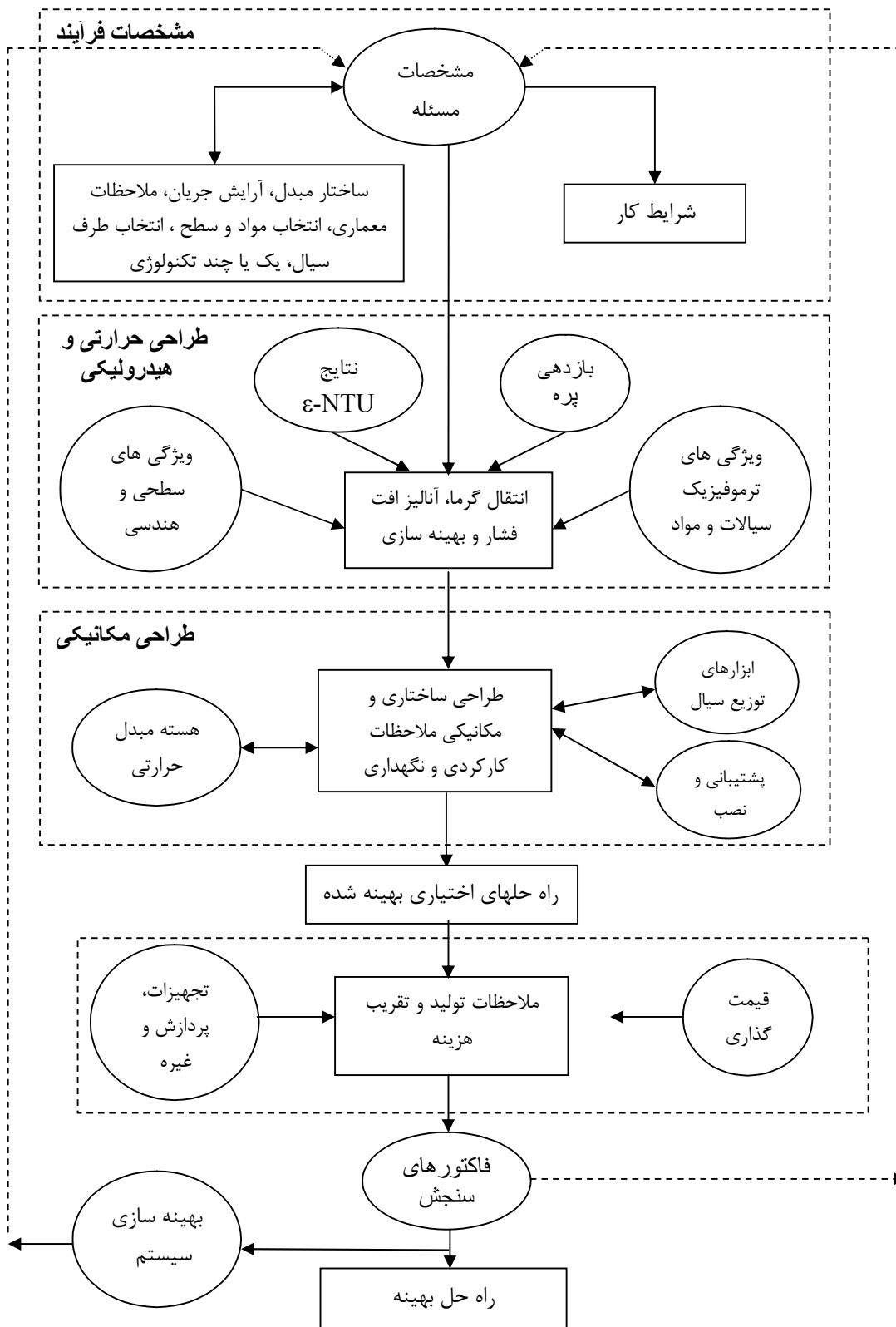
چگالنده های خنک شونده با هوا و دیگ های بخار بازیافت ، مبدل های حرارتی لوله ای پره دار هستند که شامل یک دسته افقی از لوله ها است که هوا یا گاز از میان لوله ها و متقاطع با آن ها در سمت خارجی دمیده می شود و چگالش یا جوشش ، در سمت داخل لوله ها اتفاق می افتد.

## اصول طراحی مبدل های حرارتی

طراحی برای تهیه یک سیستم مهندسی ، بخشی از آن یا تنها یک مؤلفه سیستم ، در جایگاه بسیار بالایی قرار دارد. توصیف یک سیستم مهندسی بیانگر مشخصات مهم ساختار سیستم، اندازه سیستم، عملکرد سیستم و سایر مشخصاتی که برای ساخت و بهره برداری بسیار مهمند ، می باشد . این موضوع می تواند با استفاده از روش و اصول طراحی محقق گردد.

از فرمول بندی چشم انداز این فعالیت ، کاملاً مشخص است که روش طراحی دارای ساختار پیچیده ای است و از این گذشته، روش طراحی برای یک مبدل حرارتی به عنوان یک مؤلفه ، باید با طراحی چرخه عمر یک سیستم سازگار باشد. طراحی چرخه عمر ملاحظات زیر را فرض کرده است :

- فرمول بندی مسئله ( از جمله تعامل با مشتری)
- توسعه مفهوم ( انتخاب انواع طراحی ها، طراحی اولیه)
- طراحی دقیق مبدل (انجام همه محاسبات طراحی و مد نظر قرار دادن همه ملاحظات )
- ساخت و تولید
- ملاحظات بهره برداری ( کارکرد ، در دسترس بودن ، فرسوده شدن و غیره)



شکل ۱- روش و اصول طراحی مبدل حرارتی

در مرحله نخست یک مهندس باید به تعیین مشخصات تجهیزات و اهداف کلی طراحی سیستم مبادرت ورزد که این باید بر اساس درکی درست از نیازهای مشتری باشد. اگر موضوع به درستی فرمول بندی گردد و مهندس همه مؤلفه ها را در طراحی سیستم مورد ارزیابی قرار دهد و یک یا چند راه حل طراحی عملی را برای خود مدنظر قرار دهد در آن صورت بر اساس این تحلیل و ارزیابی ها می تواند اندازه گیری های دقیق ، برآورد هزینه ها و بهینه سازی ها را انجام دهد که این کار موجب می شود تا بهترین راه حل برای طراحی پیشنهاد گردد. به طور مشابه ، ملاحظات مهندسی پروژه اعم از ساخت و تولید باید مد نظر قرار داده شود. موضوع مربوط به راه اندازی، حمل و نقل، کارکرد در شرایط پایدار و نهایتاً فرسوده شدن و احتمالاً بازیافت هم باید مد نظر مهندس طراح قرار گیرند . تیم طراحی با در نظر گرفتن همه موارد سعی در برآورده کردن همه نیازها می کند ، همه محدودیت های احتمالی را شبیه سازی می نماید و چندین بار مراحل گوناگون را تکرار می کند تا اینکه مشکلی باقی نماند و همه خواسته ها برآورده شوند. در چارچوب این فعالیت ها، یک روش خاص طراحی ایجاد می گردد. یک متدولوژی برای طراحی یک مبدل حرارتی در شکل ۱ نشان داده شده است . این طراحی توسط آقایان کیز و لندن (۱۹۹۸) ، تابورک (۱۹۸۸) و شاه (۱۹۸۲)<sup>۱</sup> برای مبدل های حرارتی فشرده انجام شده است. این فرآیند طراحی را می توان به عنوان یک مطالعه موردی مد نظر قرار داد.

---

<sup>۱</sup> Kays & London , Taborek , shah

اصول و روش های طراحی مبدل های حرارتی شامل موارد زیر است :

- تعیین مشخصات فرآیند و طراحی
- طراحی حرارتی و هیدرولیک
- طراحی مکانیکی
- محاسبات مربوط به هزینه و ساخت
- فاکتورهای سنجش و بهینه سازی سیستم

محاسبه موارد بالا اکثراً به یکدیگر مرتبط و بر هم تاثیر گذارند و برای رسیدن به طراحی بهینه باید همزمان مد نظر قرار گیرند و حتی ممکن است قبل از طراحی چند بار تکرار انجام شود تا مشکلی پیش نیاید. روش و متدولوژی کلی طراحی فرآیندی بسیار پیچیده است، چون بسیاری از ملاحظات کمی و کیفی باید مورد بررسی قرار گیرند و از این گذشته در محاسبات کمی باید دقت کافی مبذول شود. همچنین باید بر این نکته تأکید شود که بسته به کاربرد ویژه، برخی از موارد و ملاحظات طراحی را حین انجام پروسه باید اعمال کرد، اما این ضرورت همه موارد بالا را در بر نمی گیرد. در ادامه این ملاحظات گسترده با جزئیات بیشتری شرح داده خواهد شد .

## ۱- تعیین مشخصات فرآیند و طراحی

مشخصات و ویژگی های فرآیند را می توان یکی از مهمترین مراحل در طراحی مبدل حرارتی عنوان کرد. یک مهندس طراح مبدل حرارتی می تواند با همکاری مهندس طراح سیستم ، ویژگی های هوشمندانه ای را برای یک مبدل حرارتی تعریف کند و سیستم بهینه ای را ایجاد نماید. لازم است همه ویژگی ها و مشخصات هوشمندانه بر اساس نیازهای مشتری ، استانداردهای صنعتی و تجارب مهندس طراح مشخص گردند.

مشخصات طراحی و پروسه شامل همه اطلاعات لازم و مورد نیاز برای طراحی و بهینه سازی مبدل حرارتی تا بتوان از آن برای یک طراحی خاص استفاده کرد. این اطلاعات شامل موارد زیر است : مشخصات مسئله برای شرایط کار، نوع ساختار مبدل، آرایش جریان ها ، جنس موادی که در ساخت مبدل استفاده میشود ، محدودیت های ساخت ، کد ساخت ، ایمنی و حفاظت .

از این گذشته طراحی مبدل حرارتی و مهندس طراح آن باید تمام تلاش خود را بکار گیرند تا مشخصات ورودی مورد نیاز به کمترین میزان کاهش یابد.

### الف - مشخصات مسئله

مشخصات مساله اولین و مهمترین ملاحظه ایست که اساس طراحی را شکل می دهد و پس از آن آنالیز عملکرد در شرایطی طراحی انجام میگردد. مشخصات مسئله شامل تعیین مواردی مثل پارامترهای فرآیندی، شرایط عملیاتی و محیطی است که قرار است مبدل حرارتی در آن



به کار گرفته شود. پارامترهای طراحی شامل تعیین نسبت جریان جرم سیال ( شامل انواع سیالات و ویژگی های ترمو فیزیکی آن ها ) ، دماهای ورودی و فشارها ، شدت های جریان ، ترکیب سیال ، کیفیت بخار ، بار حرارتی ، افت فشار مجاز ، نوسانات در دما و فشار ورودی به واسطه تغییرات در پارامترهای پروسه یا محیط ، پارامترهایی مثل اندازه کلی ، وزن ، خواص خوردندگی و رسوب زایی سیال ، محدودیت های طراحی از (جمله هزینه ، موادی که باید استفاده شوند ، آرایش و چیدمان جریان ، انواع مبدل حرارتی ) ، شرایط محیط کارکرد ( اعم از ایمنی ، فرسایش ، سطح دما و تاثیرات محیطی )

عواملی که باید در نظر گرفته شود عبارتند از :

شرایط آب و هوایی : حداقل دمای محیط ، میزان بارندگی ( باران ، برف ، تگرگ ) و رطوبت محیط عملیاتی : مجاورت با دریا ، صحرا ، مناطق قاره ای ، مناطق زلزله خیز ، باد خیز و غبار خیز

نقشه محل : میزان نزدیکی به ساختمان ها یا سایر تجهیزات حرارتی و برودتی ، جهت باد غالب ، طول و میزان لوله کشی های لازم و ....

اگر محدودیت های بسیار زیادی در نظر گرفته شود در آن صورت ممکن است طراحی عملی نباشد که در چنین صورتی لازم است بین پارامترهای مختلف سنجش و سبک و سنگین انجام شود. طراح مبدل حرارتی و مهندس طراح سیستم باید در این مرحله با همکاری هم بهترین مشخصات را برای سیستم انتخاب کنند.

## ب- مشخصات مبدل حرارتی

با تعیین مشخصات مسئله و بر اساس اطلاعات و تجربیات مهندس طراح ، ابتدا ساختار مبدل و آرایش جریان انتخاب می گردد . انتخاب نوع ساختار بستگی به پارامترهای زیر دارد :

۱- سیالات ( گاز یا مایع یا تبخیر یا میعان یک سیال )

۲- دماها و فشارهای عملیاتی

۳- جرم گرفتگی ، خوردگی و سازگاری سیال با مصالح به کار برده شده

۴- میزان نشتی مجاز سیستم

۵- هزینه و تکنولوژی های قابل دسترس برای ساخت مبدل حرارتی

انتخاب آرایش جریان خاص سیال به اثر بخشی مبدل ، نوع ساختار مبدل ، کانال های بالادستی و پایین دستی مبدل ، تنش های حرارتی مجاز و سایر معیارهای و محدودیت های طراحی بستگی دارد . مسیر قرار گرفتن مبدل حرارتی ، محل لوله های ورودی و خروجی و موارد دیگر هم ممکن است به وسیله سیستم تعیین شوند که البته می توان با ملاحظه فضای در دسترس و کانال کشی های انجام شده آن ها را اصلاح کرد .

در گام دوم باید هندسه سطح یا مرکزی و مواد سازنده انتخاب شوند . هندسه مرکزی ( مثل نوع پوسته ، تعداد مجراها ، هندسه تیغه ها ( بافل ها ) و سایر موارد ) برای یه مبدل پوسته و لوله انتخاب می شوند در حالی که هندسه سطح برای مبدل صفحه ای ، با سطوح پره دار و بازیاب گرما انتخاب میشود. معیارهای کمی و کیفی فراوانی برای انتخاب سطح وجود دارد.

معیارهای کیفی برای انتخاب سطح عبارتند از : دما و فشار کارکرد ، تجربه و قوه تشخیص طراح ، خوردگی ، رسوبات و جرم گرفتگی ، فرسایش ، آلودگی سیال ، هزینه ، در دسترس پذیری سطوح ، ساخت و تولید ، ضروریات نگه داری ، قابلیت اعتماد و ایمنی. در مورد مبدل های حرارتی پوسته و لوله ، معیارهایی که برای انتخاب هندسه مرکزی یا طرح بندی مرکزی در نظر گرفته می شود عبارت اند از : عملکرد انتقال حرارت در افت فشار تعیین شده ، فشارها و دماهای کارکرد ، تنش های فشاری و حرارتی اثر نشست احتمالی بر پروسه ، مشخصات خوردگی سیالت ، جرم گرفتگی ، قابلیت تمیز کاری ، مشکلات فرآیندی محدود کننده ( حداقل ارتعاش مجاز ناشی از جریان) ، ایمنی ، هزینه ساخت و نگه داری و تعمیرات . علاوه بر اینها ، مهمترین عاملی که باید در نظر گرفته شود این است که چه سیالی در سمت پوسته و چه سیالی در سمت لوله جریان می یابد.

در مبدل پوسته و لوله سیال درون لوله به گونه ای انتخاب میشود که : رسوب کنندگی بیشتر ، فشار بالاتر ، خوردندگی بیشتر ، ویسکوزیته و ضریب انتقال حرارت کوچکتری داشته باشد .

## ۲- طراحی حرارتی و هیدرولیکی

طراحی حرارتی و هیدرولیکی مبدل های حرارتی شامل تعیین مقدار انتقال حرارت و ارزیابی افت فشار یا سایزینگ مبدل است .

### طراحی حرارتی

طراحی حرارتی شامل تعیین ساده ضرایب انتقال حرارت سیال دو طرف برای بدست آوردن ضریب انتقال حرارت در حالت بدون جرم گرفتگی ( $U$ ) است. با در نظر گرفتن مقداری منطقی برای ضریب جرم گرفتگی، ضریب انتقال حرارت کلی ( $U_d$ ) به دست می آید که با توجه به آن و استفاده از معادله  $q = U_d A \Delta T$ ، سطح مورد نیاز مشخص خواهد شد .

برای طراحی حرارتی یا پیش بینی عملکرد یک مبدل حرارتی ، بایستی روابطی بین نرخ انتقال حرارت کلی و کمیت هایی مانند دماهای ورودی و خروجی سیال ، ضریب انتقال حرارت کلی و مساحت سطح انتقال حرارت به دست آورد که می توان با اعمال موازنه انرژی کلی برای دو سیال ، دو رابطه به دست آورد.

مثلا اگر  $q$  نرخ کلی انتقال حرارت بین سیال گرم و سرد باشد و انتقال حرارت بین مبدل حرارتی و محیط و تغییرات انرژی جنبشی و پتانسیل ناچیز باشد ، با اعمال موازنه انرژی ، نتیجه می شود :

$$q = \dot{m}_h (h_{h,i} - h_{h,o})$$

$$q = \dot{m}_c (h_{c,i} - h_{c,o})$$

که در آن  $h$  آنتالپی سیال است ، اندیسهای  $h, c$  اشاره به سیال سرد و گرم دارند در حالی که  $i, o$  شرایط خروجی و ورودی را مشخص می کنند . اگر در هیچ یک از سیالات تغییر فازی رخ ندهد و گرمای ویژه ثابت فرض شود ، روابط فوق به صورت زیر در می آیند :

$$q = \dot{m}_h c_{p,h} (T_{h,i} - T_{h,o}) = \dot{m}_c c_{p,c} (T_{c,i} - T_{c,o})$$

دمای ظاهر شده در این معادلات ، دمای متوسط در مقاطع مربوطه اند .

معادله انتقال حرارت را می توان به صورت زیر نیز نشان داد که در آن اختلاف دمای متوسط در طول مبدل جایگزین اختلاف دمای سیال گرم و سرد در یک مقطع می شود :  $(\Delta T_m)$  اختلاف دمای متوسط در طول مبدل است)

$$q = UA\Delta T_m$$

## طراحی هیدرولیکی

همانطور که ذکر شد طراحی هیدرولیکی شامل ارزیابی افت فشار و سایزینگ مبدل است . دلیل عمده افت فشار در مبدل های حرارتی ، اصطکاک ناشی از جریان سیالات درون لوله و پوسته مبدل است. اصطکاک ناشی از انبساط و انقباض ناگهانی و یا معکوس شدن جهت جریان نیز موجب افت فشار می شود. تغییرات بوجود آمده در کلگی و انرژی جنبشی نیز می تواند بر افت فشار موثر باشد ولی این تاثیرات نسبتا کوچک است و می توان در اغلب محاسبات طراحی از آنها صرف نظر کرد.

## الف - مسائل مربوط به طراحی حرارتی مبدل حرارتی

از نقطه نظر آنالیز کمی، مسائل متعددی در مورد طراحی مبدل حرارتی وجود دارد. مسائل دسته بندی و اندازه بندی دو مورد از ساده ترین و مهم ترین این مسائل هستند.

### مسئله دسته بندی

تعیین انتقال حرارت و عملکرد افت فشار مبدل موجود یا مبدلی که از قبل اندازه های آن تعیین شده است را rating problem می گویند. ورودی های مربوط به نسبت مسئله عبارتند از : ساختار مبدل حرارتی، آرایش جریان ، ابعاد طراحی، جزئیات کامل مواد و هندسه سطح در هر دو طرف ، از جمله مشخصات افت فشار و انتقال حرارت اسکالر ، نسبت های جریان سیال، دماهای ورودی و عوامل رسوب گیری . دمای خروجی سیال، نسبت انتقال حرارت و افت فشار در هر طرف مبدل حرارتی هم باید مد نظر قرار داده شوند. مسئله دسته بندی را گاهی اوقات تحت عنوان عملکرد یا مسئله شبیه سازی می شناسند.

### مسئله اندازه بندی

در مفاد کلی و گسترده، طراحی مبدل حرارتی جدید به معنای انتخاب و تعیین انواع ساختار مبدل ، آرایش جریان، انتخاب مواد سازنده پره ها و صفحه ها و اندازه فیزیکی مبدل برای برآوردن انتقال حرارت تعیین شده و افت فشار مجاز است. به هر حال در مسئله اندازه بندی برای یک مبدل حرارتی با سطوح پره دار ، باید به تعیین اندازه های فیزیکی (اعم از طول،

پهنا، ارتفاع و سطح مقطع هر طرف) مبدل حرارتی پرداخته شود و در مورد مبدل های پوسته و لوله ، موضوع اندازه بندی به تعیین نوع پوسته ، قطر و طول ، تعداد و قطر لوله ها ، طرح بندی لوله ، آرایش گذرها ( مسیر عبور لوله ها ) و موارد مشابه اطلاق می شود .

## ب- روش های اساسی طراحی حرارتی و هیدرولیکی

بر اساس تعداد متغیرهای مربوط با آنالیز مبدل حرارتی ، گروه های وابسته و مستقل بدون بعد فرمول بندی می شوند. روابط بین گروه های بدون بعد یا اسکالر برای آرایش های مختلف جریان تعیین می شوند. بر اساس انتخاب گروه های بدون بعد ، از چند روش برای طراحی استفاده شده است. این شیوه ها شامل  $\epsilon$ -NTU ،  $p$ -NTU ، فاکتور تصحیح MTD و سایر شیوه ها می باشند. همانگونه که در شکل ۱ نشان داده شده است؛ ورودی های به فرآیند حرارتی و هیدرولیکی عبارتند از انتقال حرارت سطحی و مشخصات سایش جریان ، ویژگی های هندسی ، ویژگی های ترموفیزیک سیالات و مشخصات طراحی و پروسه .

## ج- مشخصات اساسی سطح

مشخصات اساسی سطح برای هر طرف سیال را با  $z$  یا  $Nu$  و  $f$  نشان می دهند. همچنین ضریب انتقال حرارت با  $h$  ، افت فشار با  $\Delta p$  ، نسبت جریان جرم سیال که با  $m$  ، سرعت جرم سیال با  $G$  نشان داده می شود. مشخصات دقیق و معتبر اساسی سطح یک ورودی کلیدی برای طراحی حرارتی و هیدرولیک مبدل محسوب می شود.

## د- مشخصات هندسی سطح

برای آنالیز انتقال حرارت و افت فشار، حداقل مشخصات هندسی سطح انتقال حرارت مورد نیاز برای هر کدام از وجه های یک مبدل حرارتی دو سیالی، عبارت است از: مینیمم مساحت عاری از جریان  $A_0$ ، سطح جلویی مرکزی  $A_{ff}$  و مساحت سطح انتقال  $A$  گرماکه شامل مساحت دو قسمت اصلی و پره ها، قطر هیدرولیکی  $D_h$  و طول جریان  $L$  است. این کمیت ها با اتخاذ سطح انتقال حرارت و هسته محاسبه می شوند. برای قسمت پوسته مبدل حرارتی پوسته و لوله، مساحت گذرگاه های گوناگون جریان هم مورد نیاز است.

## ه- مشخصات ترموفیزیکی

برای طراحی حرارتی و هیدرولیکی، مشخصات ترموفیزیکی زیر برای سیالات مورد نیاز است: ویسکوزیته دینامیکی  $\mu$ ، دانسیته  $\rho$ ، حرارت ویژه  $C_p$  و ضریب هدایت حرارتی  $k$ . برای دیوار، ضریب هدایت حرارتی مصالح بکار رفته و گرمای ویژه آن ها نیز مورد نیاز می باشد.

## و- راه حل مسائل طراحی حرارتی و هیدرولیکی

راه حل ها برای مسائل نسبت بندی و اندازه بندی ماهیت عددی و محاسباتی دارند. همه داده های تجربی مربوط به انتقال گرما و ویژگی های فرسایش سیال و سایر ویژگی های دائمی برای محاسبات مورد نیاز هستند. بواسطه پیچیدگی محاسبات این فرآیندها اغلب با استفاده از



برنامه های کامپوتری و نرم افزارهای ویژه محاسبه می شوند. از آنجا که متغیرهای هندسی و وضعیت های متعددی وابسته به شرایط کاربرد مسئله اندازه بندی وجود دارد لذا موضوع فرمول بندی بهترین راه حل طراحی ( انتخاب مقادیر این متغیرها و پارامترها ) در میان همه راه حل های ممکن که معیارهای عملکرد و طراحی را برآورده می کنند ، مطرح است . این خواسته تنها با به کارگیری تکنیک های بهینه سازی محاسبات بعد از تعیین اندازه اولیه محقق میشود تا اهداف طراحی مبدل حرارتی در میان چهار چوب محدودیت های تحمیلی بهینه سازی شود .

### ۳- طراحی مکانیکی

برای تضمین اینکه مبدل حرارتی تحت شرایط پایدار ، به هنگام حمل و نقل ، به هنگام راه اندازی و خاموش کردن موقت یا دراز مدت سیستم تحت شرایط نیمه بار در طول مدتی که کار می کند ، شرایط خود را حفظ کند ، لازم است طراحی مکانیکی انجام شود. مبدل مرکب از المان های تبادل حرارتی ( هسته یا ماتریسی که انتقال حرارت در آن اتفاق می افتد ) و المان های توزیع کننده سیال (نظیر هدرها ، شیرها ، مخزن ها ، نازل های ورودی و خروجی ، لوله ها ، آب بند ها ) است. طراحی مکانیکی و ساختاری باید برای تک تک المان ها انجام شود. همچنین لازم است این نکته به خاطر سپرده شود که طراحی ساختاری مبدل حرارتی از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

هسته مبدل گرمایی برای استحکام ساختار های مورد نیاز طراحی می شود. برای طراحی ساختار باید عواملی همچون دما ، فشار، خوردگی یا واکنش شیمیایی سیالات با مواد سازنده مد نظر قرار داده شود. محاسبات مربوط به تنش حرارتی و فشاری برای تعیین ضخامت قسمت های مهم در مبدل ها نظیر پره ، صفحه ، پوسته و صفحه لوله باید مورد توجه قرار گیرد . یک راه برای انتخاب صحیح مواد و روش های اتصال ( نظیر جوش کاری، لحیم کاری، پرچ کردن و برنج کاری) این است که به دما ، فشار ، نوع سیالات ، خوردگی و جرم گرفتگی احتمالی ، طول عمر طراحی و سایر موارد توجه شود.

به طور مشابه از تکنیک های صحیح اتصال باید برای اتصالات لوله به هدرها ( سر شیرها )، اتصالات لوله به صفحه لوله ، اتصالات گسترش؛ فلنج ها و سایر موارد استفاده نمود. این شیوه های اتصال معمولاً قبل از انجام آنالیز حرارتی و هیدرولیک انتخاب می شوند. در این مرحله هم باید نسبت به مسائل کارکردی دستگاه دقت کافی داشت .

تنش حرارتی و محاسبات خستگی هم باید انجام شوند تا مانایی و طول عمر مبدل حرارتی برای مدت زمان راه اندازی و دوره خاموشی با تخمین محاسبه گردد. از این گذشته، برخی از مسائل کاری که کمتر بدیهی به نظر می رسند باید مورد ملاحظه دقیق قرار گیرند.

همچنین لازم است بررسی و چک های لازم انجام شود تا لرزش های ناشی از جریان سیال به حداقل برسد، چون این لرزش ها موجب بروز پدیده هایی همچون خستگی، خوردگی و موارد مشابه می شوند. سرعت جریان سیال هم باید چک گردد تا فرسودگی ، خوردگی و جرم گرفتگی به حداقل برسد. در این مرحله هم لازم است توجه زیادی به مسائل کارکرد شود و در

صورت وجود نسبت به حذف آنها اقدام شود. از جمله این مسائل می توان به یخزدگی و ناپایداری اشاره نمود.

طراحی صحیح ابزارهای توزیع سیال (شامل سرشیرها، مخازن ذخیره ، مانیفولدها، نازل ها و لوله های ورودی و خروجی ) هم باید علاوه بر هسته مبدل حرارتی انجام گیرد تا این تضمین ایجاد شود که هیچکدام از موارد خوردگی و خستگی در طول مدت کارکرد مبدل حرارتی به عنوان یک مشکل خاص محسوب نمی شوند.

مبدل حرارتی را می توان بر روی زمین ، سقف در اتاق یا محیط باز یا بر روی سیستم در کنار سایر قسمت ها و مؤلفه ها نصب نمود. پشتیبانی ساختاری در مبدل های حرارتی نیازمند به طراحی صحیح پایه ها ، متعلقات و سایر قسمت های مناسب است تا این تضمین ایجاد شود که هیچگونه ایرادی بخاطر لرزش و بارهای تحمیلی و خستگی ایجاد نمی شود.

در طراحی مکانیکی باید توجه بسیاری به ضروریات مربوط به نگهداری همچون تمیز کاری ، تعمیرات و سرویس دهی مجدد و بازرسی کلی نمود. محدودیت های مربوط به حمل و نقل هم همانند اندازه کلی باید مورد توجه قرار داده شوند.

هر مبدل حرارتی باید با استانداردها و کدهای محلی، استانی، کشوری و بین المللی ( همچون استاندارد TEMA ، کد مخازن تحت فشار ASME و غیره ) همخوانی داشته باشد و باید طراحی مکانیکی به گونه ای مطلوب انجام گیرد تا بهترین عملکرد حرارتی را برای آن شاهد باشیم. مبدل های حرارتی به ویژه نیازمند به طراحی ساختاری هستند تا کدها و استانداردها را برای یک یا چندتا از شرایط زیر برآورده کنند : کار در شرایط سخت (فشار و دمای بسیار بالا)، تعداد قابل توجه سیکل های فشار و دما در طول مدت طراحی، معیارهای زلزله ، کاربرد ویژه

برای محل هایی که انجام تست های ویژه ، تعمیر و تعویض و موارد دیگر به آسانی مقدور نیست؛ طراحی ساختاری شامل تنش حرارتی، خستگی و آنالیز خزش است تا طول عمر مبدل حرارتی محاسبه شود.

هر چند برخی از جنبه های طراحی مکانیکی را باید قبل از طراحی حرارتی مد نظر قرار داد، یک کار مشترک در برخی از مبدل های حرارتی این است که ابتدا نسبت به طراحی مبدل ها اقدام شود به این منظور که ضروریات هیدرولیکی و حرارتی برآورده گردند و بعد طراحی از نظر طراحی ساختاری چک شود و تکرارهای لازم انجام شود تا اینکه ضروریات حرارتی و هیدرولیک و طراحی ساختاری با هم برآورده گردند. بنابراین طراحی مکانیکی مبدل های حرارتی به همان اندازه طراحی حرارتی مهم و مشکل تر از آن است؛ چون همه چیز تحلیلی نیست و فرد باید بر تجارب، آزمایشات و عملکرد خویش تکیه کند. بسیاری از معیارهای طراحی مکانیکی باید به صورت همزمان مورد توجه قرار داده شوند.

همانگونه که در شکل ۱ نشان داده شده است، چندین راه حل بهینه شده بعد از تکمیل طراحی های مکانیکی و حرارتی در دسترس قرار می گیرند. طراح بعد از سنجش و سبک سنگین کردن عوامل گوناگون و مد نظر قرار دادن ملاحظات تولید و تخمین هزینه ها، سرانجام بهترین گزینه را انتخاب می کند. در مورد مبدل های پوسته و لوله هم، از آنجا که جزئیات استانداردهای TEMA به طراحی مکانیکی مربوط است ، لذا قیمت گذاری مبدل ها قبل از اتمام طراحی مکانیکی انجام می شود و طرح های نهایی بعد از آن انجام می شود.

## ۴- ملاحظات مربوط به تولید و تخمین هزینه ها

ملاحظات تولید و تخمین هزینه ها برای آن راه حل های بهینه شده ای در نظر گرفته می شوند که مربوط به ملاحظات طراحی مکانیکی و حرارتی هستند.

### الف- ملاحظات تولید و ساخت

ملاحظات ساخت و تولید را می توان به ملاحظات مربوط به تجهیزات تولید و ملاحظات پردازش تقسیم بندی کرد و در کنار آن ها معیارهای کیفی دیگر را هم مد نظر قرار داد. ملاحظات تجهیزاتی که بر طراحی هم تأثیر می گذارند عبارتند از : انتخاب ابزارهای کار در برابر ابزارهای نو ، در دسترس پذیری و محدودیت های قالب ها ، ابزارها ، ماشین ها، کوره ها و مکان هایی که کارخانجات تولید در آنجا واقع شده اند ، تولید در برابر زمان خاموشی سیستم ها و تامین بودجه برای کالاهای سرمایه ای.

ملاحظات مربوط به پردازش هم عبارتند از: ملاحظات مربوط به اینکه چگونه قطعات و مؤلفه های مبدل حرارتی ساخته می شوند و نهایتاً سوار می شوند. این خود شامل تولید تک تک قطعات در تلرانس های مشخص شده است و عبارت است از : روند قطعات، انبار کردن مبدلها و نهایتاً برنج کاری های، لحیم کاری، جوشکاری یا گسترش مکانیکی لوله ها یا سطوح انتقال گرما ، اتصالات عاری از نشت و سوار کردن سر شیرها، مخازن ذخیره، مانیفولدها (چند راهه ها)، زانوها و برگشت دهنده ها، سوار کردن لوله ها، شستشو و نظافت مبدلها، تست نشتی،

سوار کردن مبدل ها بر روی سیستم و پشتیبانی ساختاری . نه تنها تجهیزات تولید بلکه کل ملاحظات مربوط به پردازش ، امروزه مورد ارزیابی قرار می گیرند - بویژه زمانی که قرار است یک طراحی جدید از مبدل حرارتی رونمایی شود. سایر معیارهای ارزیابی شامل تاریخ تحویل، حجم کار، خط مشی کمپانی و تخمین نقاط قوت رقبا می باشند.

## ب- برآورد هزینه

هزینه های کلی که به آنها هزینه های طول عمر سیستم هم می گویند همراه با مبدل حرارتی می تواند تحت عنوان هزینه های سرمایه گذاری، نصب، کارکرد و گاهی هم هزینه های مربوط به دفع و فرسوده کردن سیستم باشد . هزینه های مربوط به سرمایه گذاری (کاملاً نصب شده) شامل هزینه های طراحی، تهیه مصالح، تولید (اعم از هزینه ماشین آلات، کارگر و هزینه های کلی)، تست، حمل و نقل، نصب و استهلاک می باشد. نصب مبدل در یک سایت در مورد برخی از مبدلها گاهی آنقدر زیاد می شود که با هزینه برخی مبادله گرهای پوسته و لوله برابری می کند. هزینه های کارکردی شامل هزینه های برق مربوط به راه اندازی پمپ سیال، هزینه های بیمه و ضمانت و نگهداری و تعمیر و کم شدن تولید به خاطر خرابی و هزینه های برق مصرفی و هزینه های راه اندازی مجدد در صورت خراب شدن سیستم می باشد. تخمین برخی هزینه ها خیلی سخت است ولی برخی را می توان در همان مرحله طراحی انجام داد.

## ۵- فاکتورهای لازم برای سبک و سنگین کردن

بعد از ارزیابی دقیق ملاحظات طراحی تولید، مکانیکی و حرارتی، تخمین هزینه ها باید به همان صورتی که در فوق عنوان شد، انجام گردد. اکنون بعد از اقدامات یاد شده ما در مرحله ای قرار می گیریم که می توانیم ارزیابی را بر اساس سبک و سنگین کردن فاکتورها انجام دهیم. این کار می تواند با مد نظر قرار دادن وزن و هزینه های مربوط به افت فشار، عملکرد انتقال گرما، اندازه کلی، میزان نشتی، هزینه های اولیه برای طول عمر مبدل حرارتی در برابر خوردگی و خستگی و موارد مشابه انجام شود. عوامل سبک و سنگین کردن مربوط به ورودی فیزیکی هم شامل مشخصات مسئله و مد نظر قرار دادن همه محدودیت های تحمیلی از جمله شرایط کاری انجام می شود. آنالیز سبک و سنگین کردن شامل شرایط و ملاحظات اقتصادی و قانون دوم ترمودینامیک در مورد طراحی مبدل حرارتی می باشد.

اگر مبدل حرارتی تنها یک مؤلفه از سیستم یا سیکل ترمودینامیک باشد، طراحی بهینه سیستم باید انجام گیرد تا به  $\Delta p, q$  برسیم به این منظور که تجهیزات، هزینه ها و سایر موارد به حداقل برسند. در یک چنین موردی، مسئله طراحی مبدل حرارتی برای بار دیگر فرمول بندی می شود و این کار بعد از طراحی بهینه انجام می شود و سرانجام هم فاکتورهای سبک و سنگین کردن اعمال می شوند.

## ۶- طراحی بهینه

خروجی نهایی آنالیزهای کمی و کیفی، یک طراحی بهینه است که میتوان چندین مورد طراحی ( بسته به تعداد سطح یا هسته هندسی در نظر گرفته شده ) به مشتری عرضه کرد .

## ۷- سایر ملاحظات

اگر مبدل حرارتی مشخصات طراحی جدیدی را شامل شود، این می تواند یک بخش مهم و تعیین کننده ای از سیستم باشد یا اگر قرار باشد مدل و طرح اولیه که در آزمایشگاه تست های لازم بر روی آن انجام شده است؛ به تولید انبوه برسد، لازم است در مورد آیتم های زیر اطمینان کافی جلب شود: انتقال گرمایی سیستم، افت فشار و عملکرد آن که به عنوان مؤلفه ای از کل سیستم یا بخشی از آن در نظر گرفته می شود، ویژگی هایی نظیر خستگی، سیکل دمایی، خوردگی و ویژگی های فرسایش و نیز حد فشار.



## نرم افزار HTFS ( شبیه سازی و طراحی مبدل های حرارتی )

نرم افزارهای مجموعه HTFS عمدتاً برای طراحی انواع تجهیزات انتقال حرارت به کار می روند. این مجموعه از تعدادی نرم افزار قدرتمند که زمینه های فنی زیر را پوشش می دهند تشکیل شده است :

- مبدلهای حرارتی پوسته و لوله
- خنک کننده های هوایی
- مبدلهای حرارتی صفحه ای
- مبدلهای حرارتی صفحه ای پره دار
- مبدلهای حرارتی برای تهویه مطبوع و بازیافت حرارت
- مبدلهای حرارتی نیروگاهی
- کوره ها

نرم افزارهایی که در این مجموعه قرار می گیرند عبارتند از :

## TASC، طراحی حرارتی ، بررسی عملکرد و شبیه سازی مبدل‌های پوسته و

### لوله

نرم افزاری توانمند و جامع برای محاسبات مهندسی در خصوص کاربردهای مختلف مبدل‌های پوسته و لوله است از جمله در گرمایش و سرمایش بدون تغییر فاز ، میعان در کندانسورهای ساده یا همراه با خشکی زدایی (desuper heating) ، فراسرد سازی (sub cooling) ، کندانسورهای چند جزئی، جوش آورها و تبخیر کننده های از نوع falling-film کاربرد دارد. اتصال این نرم افزار به برنامه شبیه ساز HYSYS و تبادل دوطرفه اطلاعات به صورت زنده و فعال ، از ویژگی های برجسته آن است .

## FIHR، شبیه سازی کوره ها با سوخت گاز و مایع

نرم افزاری توانا برای شبیه سازی انتقال حرارت و افت فشار در کوره هایی است که با سوخت مایع یا گاز کار میکنند. از لحاظ هندسی حالت های متنوعی شامل محفظه های استوانه ای یا جعبه ای ، تکی یا دوقلو و حاوی لوله های عمودی ، افقی یا مرکزی و مجهز به سیستم باز یا گردش گازهای حاصل از احتراق ، همگی قابل شبیه سازی است. از نظر فرایندی نیز جریانهای ورودی تک فاز یا دو فازی با چند بار گذر قابل قبول هستند. در قسمت کنوکسیون کوره ، امکان نصب ۹ دسته لوله به صورت مجزا با لوله های ساده یا پره دار یا شمع دار وجود

دارد. این برنامه به شبیه سازها و بانک های اطلاعاتی خواص فیزیکی متصل می شود. خروجی FIHR در قالب استاندارد API و همراه با نقشه کوره ها است.

## MUSE، شبیه سازی مبدل های صفحه ای پره دار

این نرم افزار می تواند انواع مبدل های صفحه ای پره دار که در جداسازی اجزای هوا و صنایع نفت ، گاز و پتروشیمی به کار می روند را شبیه سازی کند. MUSE می تواند تا ۱۵ جریان فرایندی تک فاز و در حال جوشش یا میعان را بررسی کند. از لحاظ هندسی نیز هر نوع پیچیدگی نقاط ورودی و خروجی مانند جوش آورهای ترموسیفون و مبدل های با جریان متقاطع در آن قابل قبول است .

## TICP، محاسبه عایق کاری حرارتی

از این نرم افزار در شبیه سازی انواع عایق بندی استفاده میشود. این نرم افزار جامع مجموعه ای از استانداردها و خصوصیات عایق های مختلف متعارف است و می تواند انواع محاسبات مانند تعیین ضخامت بهینه عایق ، محاسبه پروفیل دما ، ارزیابی خواص حرارتی و برآورد هزینه ها را انجام دهد .

## PIPE، طراحی، پیش بینی و بررسی عملکرد خطوط لوله

با بهره گیری از این نرم افزار ، می توان عملکرد سیستم خطوط لوله حاوی سیالات تک فاز یا دو فازی را در حالت یکنواخت شبیه سازی کرد. افزون بر لوله ها ، انواع اتصالات مانند زانویی ، کاهش یا افزایش ناگهانی قطر، شیرهای تویی ، پروانه ای، کروی و دروازه ای ، اریفیس و روزنه ها و هر نوع عامل نامشخص افت فشار را میتوان در نرم افزار PIPE مدلسازی کرد .

## ACOL، شبیه سازی و طراحی مبدل های حرارتی هواخنک

از این نرم افزار می توان برای شبیه سازی مبدل های حرارتی هواخنک ، واحدهای بازیافت حرارت ، تاسیسات و تهویه مطبوع ، سرماسازی و تبرید و خنک کننده های میان مرحله ای استفاده کرد. حالت های مختلفی مانند جریان اجباری ، القایی و آزاد ( بدون پنکه ) جریان هوا یا هر نوع گاز در حالت گرمایش یا سرمایش در قسمت متقاطع با لوله ها و حالت های مختلفی مانند تک فاز ، جوشش یا میعان در طرف لوله ها قابل بررسی است.

روش اختصاصی HTFS در طراحی مبدل های فرآیندی هواخنک به صورت تصویری و محاوره ای در ACOL گنجانده شده است. نوع گذر لوله ها را می توان ساده یا پیچیده در نظر

گرفت و لوله ها را نیز میتوان از نوع ساده یا پرده دار انتخاب کرد. این برنامه به نرم افزارهای انتخاب پنکه ها ، شبیه سازها و بانک های داده های خواص فیزیکی متصل می شود و در خروجی برگه های اطلاعاتی نوع API را ارائه می کند.

## FRAN، بررسی و شبیه سازی مبدل های نیروگاهی

از این نرم افزار برای شبیه سازی عملکرد مبدل های پوسته و لوله که برای گرم کردن آب تغذیه دیگ بخار به کار می روند استفاده می شود. جریانهای گرم کننده بخار مراحل مختلف توربین ها با فشارهای مختلف و بخار چگالیده هستند. در حالت، بررسی، سطح حرارتی مورد نیاز به ازای شرایط مشخص در هر قسمت مبدل محاسبه می شود. در این نرم افزار امکان بررسی و شبیه سازی با جزئیاتی مانند تعداد مناطق درون گرمکن ها، نوع قسمت خنک کن آب خروجی ، عمودی یا افقی بودن مبدل، تعداد گذر لوله ها، نوع کلگی، جزئیات قسمت خشکی زدائی (desuper heating) ، الگوی چین لوله ها و بسیاری جزئیات دیگر فراهم آمده و بدین ترتیب نرم افزاری حرفه ای برای این کار محسوب می شود. توانایی ارزیابی ارتعاش از دیگر توانایی های این نرم افزار است. خصوصیات آب و بخار به طور کامل در درون نرم افزار محاسبه می شود.

## TASC، طراحی حرارتی، بررسی و شبیه سازی مبدل‌های حرارتی

### پوسته و لوله

با انتخاب TASC اطمینان بیشتری در طراحی تجهیزات و عملیات وجود دارد. در این نرم افزار از روش ها اختصاصی HTFS استفاده شده است که بر مبنای بیش از ۳۰ سال تجربه و تحقیق استوار است.

### توانایی ها

TASC به چهار روش مختلف مورد استفاده قرار می گیرد :

- طراحی ( Design ) - طراحی حرارتی بر مبنای سطح یا هزینه بهینه با شرایط مشخص فرآیندی و محدودیت های ابعادی.
- بررسی ( Checking ) - بررسی این مطلب که آیا مبدل موجود، بار حرارتی مورد نیاز را با در نظر گرفتن شرایط خاص ورودی و خروجی برآورده می کند یا خیر. در این حالت، نسبت سطح حرارتی موجود به سطح حرارتی مورد نیاز محاسبه می شود.
- شبیه سازی ( Simulation ) - محاسبه شرایط خروجی و کارکرد مبدل براساس شرایط ورودی.

- ترموسیفون ( Thermosiphon ) - محاسبه عملکرد ریپویلر ترموسیفون عمودی یا افقی، میزان جریان در گردش و افت فشار در لوله های ورودی و خروجی.

## کاربرد در فرآیند

TASC جریانهای فرایندی را در حالت های مختلفی مانند تک جزئی یا مخلوطی از اجزا شامل مایعات یا گازهای تک فازی ، مایعات در حال جوش ، بخارهای در حال میعان (همراه یا بدون گازهای غیرقابل میعان) در هر حالت فیزیکی (بخار فوق گرم ، بخار اشباع ، فاز مایع اشباع یا فوق سرد) می پذیرد. این قابلیت بدان معناست که TASC ابزار عام و مشترک شرکت هایی است که در محدوده نفت ، گاز، پتروشیمی ، نیروگاهی و ساخت مبدل فعالیت دارند. این نرم افزار به طور گسترده در این زمینه ها مورد استفاده قرار می گیرد :

- کندانسورها با Desuper heating و Cooling.
- کندانسورهای پاره ای با جریانهای چند جزئی (Multi component partial condenser).
- کندانسورها
- جوش آورنده از نوع Kettle .
- تبخیر کننده های Falling film.
- مجموعه های چند پوسته، چند فاز Feed-effluent
- جوش آورنده های از نوع ترموسیفون

## مشخصات فنی و توانایی ها

- نمایش نمایی از مبدل و ارائه برگه های اطلاعاتی به فرم استاندارد TEMA با اطلاعات خروجی. قابلیت ورود اطلاعات به فرم جداول اطلاعاتی TEMA
- نوع جریان : تک فازی ، در حال جوش و میعان .
- قابلیت قبول مبدلهای سری – موازی ، تا ۱۲ پوسته به صورت سری و هر تعداد به صورت موازی.
- پوسته های نوع E, F, G, H, J, K, X طبق استاندارد TEMA.
- مبدل های دو لوله ای و چند لوله ای از نوع Hairpin.
- واحدهای افقی یا عمودی.
- لوله های ساده یا پره کوتاه.
- داشتن پایگاه داده ها برای لوله های پره کوتاه.
- بافل یک یا دو تکه ای ، بدون لوله در روزنه ( in windows no tubes )، تیغه های میله ای و مبدل های بدون بافل.
- تجزیه و تحلیل ارتعاش، پایداری جریان برای جوش آورنده های نوع ترموسیفون
- دادن اطلاعات ورودی در سیستم SI ، متریک یا انگلیسی
- اتصال کامل و دو طرفه به نرم افزار شبیه سازی فرایندی HYSYS .
- قابلیت ارتباط با نرم افزارهای شبیه سازی فرایندی HYSIM و ASPEN-PLUS.
- تولید فایل های با فرمت DXF ، برای استفاده در نرم افزارهای گرافیکی کاربردی نظیر AutoCAD.



- بسته نرم افزاری برای محاسبه هزینه با قابلیت تغییر بر مبنای هزینه مواد و نیروی کار مورد نظر.

## خواص فیزیکی

تغییر خواص با دما و فشار به طور کامل در محاسبات TASC منظور می گردد. کاربر می تواند خواص فیزیکی سیال را مشخص کرده یا آن را از بسته نرم افزاری فرایندی یا بسته نرم افزاری تعیین خواص، استخراج و به برنامه دهد و یا اجازه دهد TASC خود از ترکیبات مخلوط داده شده این خواص را محاسبه نماید.

## بررسی ارتعاش ناشی از جریان

ارتعاش در مبدل های حرارتی پوسته و لوله ممکن است باعث بروز مشکلات عملیاتی حاد ، کاهش تولید به دلیل کاهش میزان جریان ( برای دوری جستن از ارتعاش ) و کاهش زمان عملیاتی به دلیل خسارات سنگین به وجود آمده ، گردد. TASC به طور دقیق و بر مبنای روش های امتحان شده و معتبر ، مسائل مربوط به ارتعاش احتمالی ناشی از جریان های گازی مایع ، یا دو فازی سمت پوسته را شناسایی می کند .

## خروجی

در خروجی TASC، از قابلیت انعطاف پذیری و راحتی کار در محیط این نرم افزار برای تجزیه و تحلیل شکل هندسی و مشخصات تفصیلی کارکرد مبدل استفاده گردیده است. محیط گرافیکی و توانایی تمرکز موجود در نرم افزار باعث افزایش توانایی تجزیه و تحلیل گرافیکی اطلاعات خروجی و قابلیت بررسی دقیق بی نظمی های موجود در اطلاعات عملکردی می گردد. خروجی TASC شامل :

- اطلاعات تفصیلی طرح بهینه (در حالت Design) یا طرح موجود (در حالت های Simulation یا Checking) از جمله وزن های تقریبی مبدل و جدول طرح های ممکن دیگر (در حالت Design)
- برگه اطلاعاتی بر طبق استاندارد TEMA با اطلاعات تفصیلی مبدل.
- نقشه جزئیات هندسی مبدل.
- اطلاعات جامع در مورد افت فشار در پوسته و لوله، توزیع جریان در پوسته و شرایط بین پوسته های به هم متصل.
- تغییر دما و ضریب انتقال حرارت در طول مبدل (در حالت Simulation یا Checking) شامل دمای فلز لوله به تفصیل.
- تجزیه و تحلیل ارتعاش به همراه شناسایی دلایل آن.
- فایل های با فرمت DXF برای استفاده در برنامه های گرافیکی کاربردی.

- فایل های INTOUT برای ارتباط خودکار با پایگاه داده ها و سایر برنامه های کاربردی .
- فایل ورودی داده ها برای نرم افزار OPTU.

## ACOL، شبیه سازی و طراحی مبدل‌های حرارتی هواخنک

شش حالت شبیه سازی برای رسیدن به خواسته های کاربران ، سازندگان و مهندسان ارائه می دهد :

- دمای جریان خروجی قسمت لوله ها
- دمای جریان ورودی قسمت لوله ها
- عملکرد کنوکسیون طبیعی برای حالت “ پنکه ها خاموش ”
- مقدار جریان قسمت لوله ها
- مقدار جریان طرف دیگر مبدل (مقاطع با لوله ها) به ازای شرایط مشخص شده جریان قسمت لوله
- ضریب جرم گیری قسمت لوله ها

## طراحی

روش منحصر به فرد تصویری محاوره ای ACOL در طراحی مبدل‌های حرارتی هوا خنک ، شیوه همیشگی HTFS است. این روش در عمل امکان دستیابی به شرایط بهینه ترکیب و وضعیت واحد عملیاتی به ازای بار حرارتی مشخص را فراهم می آورد. برنامه ACOL تعداد دسته لوله ها و پنکه ها را به علاوه مقدار جریان هوای لازم محاسبه می کند. در این مسیر طرح ها و گزینه های مختلفی که همگی عملی بوده و محدودیت های فرآیند در آنها رعایت

شده است مورد بررسی قرار می گیرند. یک اشاره کوچک موس کافیت تا خلاصه نتایج طراحی نشان داده شود. در روش طراحی پیشرفته ACOL طول و عرض مورد نظر طراح ، اندازه بهینه پنکه ها و جداول طراحی های جایگزین تعیین می شود. سپس با شبیه سازی تفصیلی می توان خطای طراحی های خلاصه اولیه واحد را تصحیح کرد.

## کاربرد در فرآیند

جریان فرایند در قسمت لوله ها می تواند تک فاز یا دو فازی گرم یا سرد باشد. محاسبات محدود به مواد منفرد نیست و هر مخلوطی (با گازهای غیرقابل میعان یا بدون آن) در هر شرایطی (بخار خشک، بخار اشباع، دو فاز، مایع اشباع یا مادون سرد ) را می توان به کار برد. جریان های X-side ( که مربوط به حالت متقاطع است ) می تواند هوای خشک یا مرطوب یا مخلوطی از گازها باشد. این قابلیت انعطاف زمینه کاربرد مداوم ACOL در صنایع نفت، گاز، شیمیایی، پتروشیمی و انرژی را فراهم می آورد.

## مشخصات فنی و توانایی

### انواع کاربرد

مبدل‌های حرارتی که با هوا خنک می شوند (ACHE) ، بازیافت حرارت ، تهویه مطبوع ،

Charge Cooler

### انواع لوله ها

ساده ، پره بلند ، پره کوتاه ، پره دندانه دار ( Serrated Fin ) ، پره صفحه ای

### High fin انواع

Extruded, L, G دوفلزی (bi-metallic) , Shoulder grooved

### انواع کلگی

U-tube, Manifold, D, Cover Plate, Plug, Box

### تعداد گذر

تا ۵۰ عدد با آرایش ساده یا پیچیده. امکان چیدن و تنظیم گذرها به صورت تصویری

### اندازه دسته لوله

۲ تا ۱۰۰ ردیف با دسته لوله های چند گانه در هر bay و چندین bay در هر unit

## نوع جریان هوا

اجباری، القایی، آزاد (بدون پنکه)

## طرف جریان فرآیندی

گرمایش و سرمایش تک فاز، میعان یا جوشیدن

## تقویت انتقال حرارت در طرف لوله ها

مشخص شده به ازای هر گذر، نوار پیچان ( twisted tapes )، ضرایب تقویت

## X-side (جریان متقاطع)

هوای خشک، هوای تر (رطوبت زدایی)، مخلوط گازی چند جزئی، پروفیل دما و سرعت

درورودی، عملکرد سطوح اختصاصی را نیز می توان مشخص کرد.

## خواص فیزیکی

مواد خالص و مخلوط های چند جزئی

## بانکهای داده داخلی

بانک داده ها با ۴۰ ماده، بانک داده های مواد خاص کاربر و خواص جریان، بانک خاص کاربر

## برای X-side

## واسطه های مخصوص

برنامه های PPDS<sup>۲</sup>, ASPENPLUS, HYSYS, HYSIM از طریق فایل های

PSF، برنامه انتخاب پنکه CF-P<sup>۲۰</sup>، بانک اطلاعاتی خواص مواد DIPPR

## جرم گیری

مقاومت استاندارد یا مقدار جرم گیری در قسمت لوله به عنوان تابعی از سرعت، دما، کیفیت،

فاز یا طول، X-side به عنوان تابعی از شماره ردیف لوله ها

## نتایج خروجی

ACOL از توان و قابلیت های محیط ویندوز برای نشان دادن تمامی مشخصات مبدل

استفاده می کند. ترسیم منحنی به صورت گسترده برای تجزیه و تحلیل اطلاعات خروجی به

کار گرفته شده است. خروجی ACOL شامل موارد زیر است:

- خلاصه عملکرد حرارتی – هیدرولیکی مبدل
- جزئیات نتایج شامل :
  - طرف لوله، طرف متقاطع با لوله ها و افت فشار دهانه ها
  - منحنی های شرایط جریان و نتایج بدست آمده در مبدل
- برگه اطلاعاتی API با ورودی جزئیات مبدل به صورت خودکار



- آرایه مبدل حرارتی برای واحدهای از نوع API
- خروجی متنی شامل
  - خلاصه عملکرد حرارتی – هیدرولیکی شامل تخمین وزن
  - نمودار جانمایی کلگی
  - اطلاعات جامع افت فشار در طرف لوله و طرف متقاطع
  - منحنی های خواص جریان و بار حرارتی محاسبه شده توسط برنامه یا ضمیمه شده به برنامه
  - جداول با جزئیات شرایط فرآیند و عملکرد آن در طول مبدل در قسمت لوله و X-side برای ۲۰ نقطه در طول لوله در هر گذر یا ردیف
  - نصب X-side و داده های Fan noise
- فایل های INTOUT برای ارتباط خودکار با بانک های اطلاعاتی و سایر برنامه ای کاربردی .

## PIPESYS، شبیه سازی خطوط لوله

خطوط لوله از عوارض گوناگون زمین تحت شرایط اقلیمی مختلف عبور می کنند. انتقال سیال در این شرایط زمانی بنحو مطلوب صورت می گیرد که اندازه خط لوله به درستی و با در نظر گرفتن عواملی مانند افت فشار و اتلاف حرارت تعیین شده و تجهیزات و لوازم نصب شده در داخل خط مانند کمپرسورها، گرم کن ها و اتصالات با آن متناسب باشد.

با توجه به پیچیدگی محاسبات شبکه خطوط لوله، طراحی دقیق اندازه مشکل بنظر می رسد. معمولاً برای جبران خطای محاسبه افت فشار در طراحی، لوله با اندازه بزرگتری انتخاب می شود. در جریان های چند فازی این مسئله باعث افت دما و فشار بیشتر، افزایش ملزومات برای انتقال مایع و خوردگی بیشتر لوله خواهد شد. مدلسازی دقیق سیال از این مسائل جلوگیری کرده و نتیجه آن سیستم خط لوله با صرفه تری است. برای این کار می توان از مجموعه دانسته های تکنولوژی جریان تک فاز و چند فازی در قالب نرم افزار برای شبیه سازی دقیق و موثر جریان در خطوط لوله استفاده کرد. PIPESYS با قابلیت های فراوان در مدلسازی دقیق هیدرولیک خطوط لوله چنین نرم افزاری است. PIPESYS پس از نصب به صورت جزئی از نرم افزار HYSYS درآمده و به قابلیت های این نرم افزار مانند بانک داده های مواد و خواص سیال دسترسی دارد.

مجموعه ای از تجهیزات داخل خط که برای ساخت خط لوله و آزمایش آن به کار می روند در PIPESYS پیش بینی شده است و به کمک آن می توان خطوط لوله ای را که در محیط ها و ارتفاعات مختلف سطح زمین کشیده شده اند مدلسازی کرد.

## امکانات و توانایی ها

- مدلسازی دقیق و تفصیلی جریان های تک فاز و چند فاز.
- محاسبه جزئیات پروفیل دما و فشار برای خطوط لوله ای که از زمین های ناهموار، چه در خشکی و چه در فلات قاره دریایی عبور می کنند.
- محاسبه فشار از ابتدای خط به انتها یا برعکس. مدلسازی اثرات تجهیزات داخل خط مانند ایستگاه های تقویت فشار گاز و تلمبه خانه ها، گرم کن، خنک کن، رگلاتورها و اتصالات شامل شیرالات و زانویی.
- اجرای تجزیه و تحلیل های ویژه شامل :
  - پیش بینی لخته مایع حاصل از ارسال توپک (Pig)
  - پیش بینی حد سرعت برای سایش
  - ارزیابی حالت های حاد لخته سازی و آثار آن در لوله های عمودی و افقی
- محاسبات تحلیل حساسیت جهت تصمیم گیری در مورد وابستگی رفتار سیستم به هر پارامتر
- اجرای محاسبات سریع و موثر با بهینه کننده داخلی که محاسبات را بدون کاهش دقت به طرز چشمگیری تسریع می کند.
- مطالعه امکان افزایش ظرفیت خطوط موجود بر مبنای تاثیرات ترکیب مواد، خطوط لوله و شرایط اقلیمی .
- مدلسازی یک خط لوله یا شبکه خطوط به تنهایی یا به عنوان بخشی از تاسیسات کامل جمع آوری و فراورش (به کمک HYSYS)

مجموعه گسترده ای از روابط و مدل های محاسباتی مربوط به جریان های افقی، مایل، عمودی، پیش بینی رژیم جریان، سهم مایع (hold up) و افت فشار اصطکاکی در PIPESYS گنجانده شده است. روش اجرای محاسبات در PIPESYS از قابلیت انعطاف قابل ملاحظه ای برخوردار است.

## نمونه هایی از کاربرد PIPESYS در عمل

- محاسبه پروفیل فشار براساس پروفیل معین دما، محاسبه هر دو پروفیل فشار و دما براساس شرایط یک سر لوله، محاسبه پروفیل فشار در جهت جریان یا برخلاف آن برای تعیین شرایط بالادست یا پایین دست.
- اجرای محاسبات مکرر برای رسیدن به یک شرط در ابتدای لوله و شرط دیگری در انتهای لوله مثلاً محاسبه فشار بالادست و دمای پایین دست بر مبنای فشار پایین دست و دمای بالادست.
- محاسبه شدت جریان متناظر با شرایط معلوم بالادست یا پایین دست.

PIPESYS از لحاظ ظاهر شبیه HYSYS طراحی شده تا دسترسی به اطلاعات تسهیل شود. اما نظر به طراحی ماهرانه و در عین حال ساده آن حتی بدون آشنایی با HYSYS نیز می توان در مدت کوتاهی به آن خو گرفت.

## نرم افزار Aspen B-jac

نرم افزار Aspen B-jac شامل تعدادی برنامه جهت طراحی حرارتی ، طراحی مکانیکی ، برآورده هزینه ها و ترسیم برای مبدل های حرارتی و مخازن تحت فشار می باشد.

برنامه های اصلی این نرم افزار عبارتند از :

Aspen Hetran طراحی حرارتی مبدل های پوسته و لوله

Aspen Teams طراحی مکانیکی ، برآورده هزینه ها و طراحی ترسیمی مبدل های حرارتی پوسته و لوله

Aspen Aerotran طراحی حرارتی کولرهای هوایی ، مبدلهای اکونومايزر خروجی کوره ها و بخش جابه جایی کوره ها

علاوه بر برنامه های اصلی تعدادی برنامه برای پشتیبانی برنامه های طراحی وجود دارند که عبارتند از :

Props	بانک اطلاعات خواص شیمیایی و فیزیکی
Priprops Props	برنامه ای برای ساختن بانک اطلاعات شخصی برای
Metals	بانک اطلاعات خواص مواد
Primetals Metal	برنامه ای برای ساختن بانک اطلاعات شخصی برای
Ensea	برنامه چیدمان صفحه لوله
Qchex	برنامه تخمین و برآورد هزینه ها
Draw	برنامه کمکی گرافیکی برای طراحی و ترسیم
Newcost	برنامه ای برای تداوم کار و اطلاعات پایه مواد
Defmats	برنامه ای برای ساختن مواد پیش فرض

## آشنایی با نرم افزار Aspen Hetran

نرم افزار Aspen Hetran برنامه ای برای طراحی ، ارزیابی و شبیه سازی مبدل های پوسته و لوله در کلیه کاربردهای صنعتی نظیر انتقال حرارت بدون تغییر فاز ، میعان و تبخیر می باشد.

۱- در حالت طراحی ( Design Mode ) ، نرم افزار مبدل حرارتی بهینه را با بار حرارتی مشخص و با در نظر گرفتن محدوده های افت فشار مجاز ، سرعت ، قطر پوسته ، طول لوله و دیگر محدودیت هایی مشخص شده ، طراحی می نماید.

۲- در حالت ارزیابی ( Rating Mode ) ، نرم افزار کارایی یک مبدل موجود ( ساخته شده ) را در شرایط عملیاتی مورد نظر بررسی می کند. در این حالت نرم افزار مشخص می کند که آیا سطح انتقال حرارت موجود در شرایط مورد نظر اهداف را برآورده می سازد یا خیر.

۳- در حالت شبیه سازی ( Simulation Mode ) ، نرم افزار با مشخص کردن ساختار مبدل و شرایط ورودی ها ، شرایط جریان های خروجی را پیش بینی می کند.

نرم افزار Aspen Hetran دارای بانک اطلاعاتی وسیعی است که می توان از اطلاعات آن به عنوان پیش فرض استفاده نموده و بدین طریق امکان راحتی با حداقل داده های ورودی را فراهم ساخت. برای حالت پیچیده که همراه با تغییر فاز در سیال خروجی است ( میعان و یا تبخیر ) ، برنامه نیاز به داده های تعادلی بخار - مایع و خواص ترموفیزیکی در گستره دمای عملیاتی دارد که به دو طریق می توان این نیاز را برآورده ساخت :

۱- به طور مستقیم توسط طراح وارد شود

۲- نرم افزار به صورت خودکار داده های تعادلی مایع و بخار را محاسبه کند

نرم افزار قادر به طراحی مکانیکی اولیه برای مشخص کردن ضخامت پوسته و کلگی ها می باشد. همچنین ضخامت صفحه لوله را به صورت تخمینی معین می کند ولی طراحی مکانیکی دقیق توسط Aspen Hetran انجام نگرفته و توسط برنامه Aspen Teams - که به راحتی می توان از محیط Hetran وارد آن شد - انجام می پذیرد.

نرم افزار Hetran تمامی انواع مبدل های استاندارد TEMA را پوشش می دهد ، بنابراین با استفاده از آن میتوان کلیه مبدل های TEMA را طراحی نمود. این نرم افزار شامل استانداردهای ANSI ، DIN و ISO نیز می باشد. برنامه Aspen B-jac برآوردی از هزینه ساخت و هزینه تغییرات طراحی را نیز ارائه می دهد. برنامه برآورد هزینه تولید مبدل ، مشابه بانک اطلاعاتی Qchex عمل می نماید.



نرم افزار Aspen Hetran یک برنامه هوشمند است به این معنی که امکان ارزیابی تغییرات طراحی را در حین اجرای برنامه فراهم کرده و طراح را در وارد کردن داده های ورودی ، محاسبات ، نمایش نتایج ، تغییرات طراحی و پرینت خروجی های مورد نظر ، راهنمایی می نماید.

## نحوه کار نرم افزار Hetran در حالت طراحی

نرم افزار Hetran در حالت طراحی به جستجوی ساختارهای مناسبی برای مبدل می پردازد تا شرایط عملیاتی مورد انتظار را فراهم کند. در این جستجو نرم افزار از برخی متغیرهای هندسی به عنوان متغیرهای تصمیم گیری استفاده می نماید. در نهایت آنچه نرم افزار به عنوان نتیجه نهائی ارائه می دهد مجموعه ای از مبدل ها با ساختارهای متفاوت است که هر یک از آنها می تواند شرایط عملیاتی مورد نیاز را پوشش دهد ( نرم افزار به طور اتوماتیک مبدلی با هزینه کم را به عنوان یکی از نتایج گزارش میدهد ). لذا در این میان وظیفه طراح میباید که با استفاده از علم مهندسی خود مبدل خاصی را به عنوان بهترین مبدل انتخاب کند.

نرم افزار Hetran موارد زیر را در طراحی به عنوان تابع هدف در نظر می گیرد :

- سطح انتقال حرارت کافی برای بار حرارتی مورد نظر
- محدودیت افت فشار در دو بخش پوسته و لوله
- ابعاد امکان پذیر و معقول
- دامنه سرعت سیال قابل قبول برای دو بخش پوسته و لوله
- محدودیت های عملی ساخت

علاوه بر توابع هدف بالا ( که بهتر است گفته شود محدودیت ) ، نرم افزار Hetran هزینه نهایی ساخت مبدل و همچنین وضعیت مبدل را از لحاظ لرزش ، برای تمامی مبدل هایی که در نهایت ارائه کرده است ، بعنوان یکی از نتایج ( بصورت مزایا و یا معایب ) اعلام می نماید. دانستن این نکته حائز اهمیت است که نرم افزار در انتخاب و ارائه مبدل هایی که برای شرایط عملیاتی مورد نظر پیشنهاد کرده است دو فاکتور بالا را دخالت نداده ، و این وظیفه بر عهده طراح می باشد.

به عنوان مثال بیش از ۳۰ پارامتر مکانیکی وجود دارد که بطور مستقیم و غیر مستقیم بر روی طراحی مبدل پوسته و لوله تاثیر می گذارد. بررسی ترکیبی این متغیرها کاری دشوار و در برخی موارد امکان ناپذیر است. علاوه بر این دامنه قابل قبول برخی از متغیرهای طراحی به ملاحظات فرآیندی و هزینه ای بستگی دارد ( برای مثال اهمیت و هزینه تمیزکاری ). بنابراین نرم افزار Hetran در جستجو ، تنها از برخی متغیرها که از فرآیند ، عملیات ، نگهداری و ملاحظات ساخت مستقل باشند ، بعنوان متغیرهای تصمیم گیری استفاده می نماید. در زیر

لیست متغیرهای مذکور آورده شده است. در ادامه نحوه بهینه سازی پارامترهای تصمیم گیری توسط برنامه توضیح داده می شود.

- قطر پوسته ( Shell diameter )
- فضای بین بافلها ( Baffle spacing )
- نوع آرایش مسیرها ( Pass layout type )
- طول لوله ( Tube length )
- تعداد بافلها ( Number of baffles )
- تعداد مبدل هایی که به باید طور موازی به کار گرفته شوند ( Exchangers in parallel )
- تعداد لوله ها ( Number of tubes )
- تعداد مسیرهای لوله ( Tube passes )
- تعداد مبدلهایی که باید به طور سری به کار گرفته شود ( Exchangers in series )

### بهینه سازی قطر پوسته

یکی از متغیرهای بسیار مهم در حالت طراحی ، قطر پوسته می باشد. برنامه بهینه سازی نرم افزار ، کوچکترین قطر لازم را برای تامین سطح مورد نیاز انتقال حرارت ، افت فشار مجاز پوسته و حداکثر سرعت مجاز سیال پوسته جستجو می کند. محدوده جستجو از مینیمم قطر شروع میشود و در صورت برآورده نشدن شرایط ، قطر با یک گام معینی افزایش خواهد یافت.

## بهینه سازی فاصله بافل ها

نرم افزار Hetran ، مینیمم فاصله مرکز به مرکز بافل ها را طوری تعیین می کند که در آن حداکثر افت فشار مجاز و حداکثر سرعت مجاز پوسته رعایت شده و در عین حال با افزایش سرعت پوسته موجب افزایش ضریب فیلم حرارتی شود. افزایش سرعت سیال پوسته موجب کاهش جرم گرفتگی نیز خواهد شد ولی این مساله جزء متغیرهای بهینه سازی نمی باشد.

## بهینه سازی تعداد بافل ها

نرم افزار Hetran ، ماکزیمم تعداد بافل هایی را که می توان بین مسیر دو نازل ورودی و خروجی پوسته قرار داد جستجو می نماید. از آنجا که موقعیت دقیق نازل های ورودی و خروجی را طراحی مکانیکی مشخص می کند ، نرم افزار با تخمین اولیه ضخامت صفحه لوله ها و هم چنین ضخامت رینگ فلنج ها ، تعداد مورد نیاز بافل ها را تعیین می نماید. مقدار عدد بدست آمده ، مجموع بافل ها و نگهدارنده ها می باشد.

## بهینه سازی طول لوله

در حالت طراحی، هر بار که قطر پوسته تغییر می کند ، متناسب با آن کمترین طول لوله مطابق با استاندارد موجود انتخاب می گردد.

## بهینه سازی تعداد گذرهای لوله

نرم افزار Hetran ، ماکزیمم تعداد مسیرهای لوله را طوری تعیین می کند که حداکثر فشار مجاز و حداکثر سرعت رعایت گردد. با افزایش تعداد مسیرهای لوله ، سرعت در بخش لوله ها افزایش یافته و در نتیجه ضریب انتقال فیلمی داخل لوله ها افزایش می یابد. ماکزیمم تعداد مسیرهای لوله معمولاً تابعی از قطر پوسته و قطر خارجی لوله هاست. همچنین این متغیر می تواند تابعی از نوع سرویس بخش لوله ها و کلاگی عقب باشد. به عنوان مثال برای کلاگی نوع W تنها دو گذر لوله باید استفاده شود ، همچنین برای کندانسورهایی که سیال ، داخل لوله کندانس می گردد ، حداکثر باید از دو گذر لوله استفاده کرد.

## بهینه سازی تعداد لوله ها

برنامه Hetran ، از یک برنامه جهت طراحی صفحه لوله استفاده می کند( این برنامه در نرم افزار Ensea نیز بکار برده می شود). با استفاده از این برنامه تعداد دقیق لوله محاسبه می گردد برنامه با تغییر آرایش مسیرهای لوله و انجام آنالیز آن ، بیشترین تعداد لوله را در یک صفحه لوله طراحی می نماید.

## بهینه سازی مبدل های سری

زمانی که قطر پوسته و طول لوله از مقدار استاندارد بیشتر شد و برنامه به دلیل کم بودن سطح انتقال حرارت نتوانست به جوابی همگرا گردد ، بطور اتوماتیک از طرف برنامه یک مبدل به صورت سری به مبدل اول افزوده می شود. استفاده از این مبدل زمانی انجام می شود که MTD به زیر ۰,۷ ( یا به مقدار تعیین شده طراح ) کاهش یابد. لازم به ذکر است که منظور از مبدل سری همان پوسته های سری می باشد.

## بهینه سازی مبدل های موازی

زمانی که قطر پوسته مبدل از ماکزیمم مقدار خود تجاوز نماید و همچنین طول لوله به مینیمم طول استاندارد خود برسد ولی حداکثر افت فشار مورد انتظار رعایت نگردد ، برنامه بطور خودکار مبدل را بطور موازی ( پوسته موازی ) طراحی خواهد نمود.

## محاسبات نازل

در صورتی که قطر نازل ها به عنوان ورودی از طرف طراح وارد نگردد ، برنامه بر اساس ماکزیمم سرعت ، قطر نازل ها را تعیین خواهد نمود.

## کمترین سرعت سیال

اگرچه برنامه Hetran مینیمم سرعت را به عنوان یک ورودی دریافت می کند ، اما این ورودی بطور مستقیم جزء محدودیت های بهینه سازی قرار نمی گیرد. از سوی دیگر برنامه با افزایش سرعت سیال ( نه بطور مستقیم- مثلاً با قرار دادن بافل بیشتر ) در محدوده افت فشار مجاز ، سعی در افزایش ضریب انتقال حرارت فیلمی و کاهش سطح مبدل دارد. نرم افزار ، ورودی طراح را برای سرعت مینیمم ( یا مقدار پیش فرض سرعت مینیمم ) با سرعت محاسبه شده مقایسه کرده و بعنوان هشدار چاپ می نماید.

## بیشترین سرعت سیال

دانستن حداکثر سرعت مجاز در داخل پوسته و لوله برای طراح بسیار مهم است. انتخاب صحیح ماکزیمم سرعت سیال برای قسمت پوسته ، از لرزش مبدل جلوگیری کرده و احتمال سایش و خستگی مکانیکی لوله ها را می کاهد. همچنین برای بخش لوله کار کردن زیر سرعت ماکزیمم موجب محدود شدن سایش لوله و کاهش فرسایش اتصالات لوله به صفحه لوله میشود. در صورتی که ماکزیمم سرعت به عنوان ورودی در اختیار نرم افزار قرار نگیرد ، یک مقدار پیش فرض که مستقل از جنس لوله است ، برای آن محاسبه می شود.

همانطور که در بالا اشاره شد ، متغیرهای دیگری نیز وجود دارند که بر روی طراحی مبدل تاثیر گذار می باشند اما در توابع هدف و محدودیت های مدل طراحی مبدل نقش ندارند و

این وظیفه مهندس طراح است که با توجه به محدودیت های موجود و تجربیات شخصی خود این متغیرها را تعیین نماید ( لازم به ذکر است که برای این متغیرها نرم افزار معمولاً مقدار پیش فرضی را دارد).

متغیرهای دیگر که تصمیم گیری در مورد آنها بر عهده طراح است عبارتند از : نوع پوسته ، قطر خارجی لوله ، نوع کلگی عقب ، گام و آرایش لوله ها ، اندازه نازل ، نوع لوله ، تعیین موقعیت مبدل، نوع صفحه لوله ، نوع بافل ، مواد ، برش بافل ، تخصیص سیال، ضخامت دیواره لوله

## محیط نرم افزار Aspen Hetran

در شاخه Hetran ، دو زیر شاخه اصلی Input و Results وجود دارد که هر یک نیز دارای زیر شاخه های مربوط به خود است. در شاخه Input ، نرم افزار اطلاعات مورد نیاز جهت طراحی را از طراح دریافت خواهد نمود. این اطلاعات شامل موارد زیر است :

- تعریف مساله ( Problem Definition )
- اطلاعات خواص فیزیکی ( Physical property data )
- ساختار مبدل ( Exchanger Geometry )
- داده های طراحی ( Design data )
- تنظیمات برنامه ( Program Options )



## تعریف مساله ( Problem Definition )

اولین اطلاعاتی که لازم است در اختیار نرم افزار قرار گیرد تعریف مساله ای است که قرار است طراحی برای آن انجام گیرد. در شاخه تعریف مساله ، اطلاعات لازم در قالب سه فرم زیر دریافت می گردد :

- فرم توضیحات ( Description Form )
- فرم انتخاب نوع سیستم مورد مطالعه ( Application options Form )
- فرم داده های فرآیندی ( Process data Form )

فرم توضیحات شامل سه زیر شاخه می باشد :

سربرگ ( Heading ) ، نام جریان ها ( Fluid name ) و ملاحظات ( Remarks ). هدف از این بخش وارد کردن اطلاعاتی است که مبدل در فرآیند با آنها شناخته می شود. این اطلاعات شامل نام و محل شرکت ، مشخصات سرویس ، ID مربوط به مبدل ، تاریخ ، شماره Revision و نام سیال بخش پوسته و لوله می باشد که معمولاً در بالای برگ داده ها ( Data sheet ) نوشته می شود. همچنین در این بخش سه سطر برای تذکرها و توضیحات وجود دارد که باید توضیحات لازم وارد شود.

هدف از فرم Application options تعیین موارد زیر است :

- نوع فرآیند موجود در دو بخش پوسته و لوله
  - نحوه محاسبه موارد ویژه تبخیر و کندانس شدن ( در صورت وجود )
  - نوع کندانسور و یا تبخیر کننده ( در صورت وجود )
  - حالت نرم افزار
  - تعیین سیال پوسته و لوله
- شاخه انتخاب نوع سیستم مورد مطالعه دارای گزینه های مختلفی به صورت زیر است :

**الف - گزینه های طرف گرم ( Hot side application ) :**

- مایع ، بدون تغییر فاز ( Liquid no phase change )
  - گاز ، بدون تغییر فاز ( Gas no phase change )
  - میعان محدوده باریک ( Narrow range condensation )
- این مورد تمام حالت هایی را که ضریب فیلم طرف میعان در محدوده دمایی ، تغییر قابل ملاحظه ای نداشته باشد شامل می شود. بنابراین با فرض خطی بودن پروفایل میعان می توان محاسبات را انجام داد. این مورد برای حالت های میعان در دمای ثابت و میعان چند جزئی بدون اجزای غیر قابل میعان که تغییرات دمایی محدوده میعان کمتر از ۶ درجه سانتیگراد ( ۱۰ درجه فارنهایت) باشد ، پیشنهاد می گردد.

- میعان چند جزئی ( Multi-component condensation )

این مورد تمام حالت‌هایی را که ضریب فیلم طرف میعان در محدوده دمایی میعان ، تغییر قابل ملاحظه ای داشته باشد شامل میشود بنابراین محدوده میعان باید به چندین ناحیه شکسته شود و خصوصیات و شرایط برای هر ناحیه خطی گردد. این مورد برای تمام حالت‌هایی که اجزای میعان ناپذیر موجود هستند یا چندین جزء قابل میعان با محدوده میعان بیشتر از ۶ درجه سانتیگراد وجود دارد پیشنهاد می گردد.

- بخار اشباع ( Saturated steam condensation )

این مورد وقتی است که طرف گرم ، بخار خالص بوده و میعان در دمای ثابت باشد.

- حالت Falling film liquid cooler

این حالت زمانی است که سیال به طرف پایین جریان داشته و سرد می شود.

### ب- منحنی میعان ( Condensation curve )

طراح می تواند منحنی تعادل بخار- مایع را وارد کرده ( Specified in input ) یا با انتخاب ( Calculated by program ) به نرم افزار اجازه دهد منحنی مورد نظر را با استفاده از قوانین گاز ایده آل یا روش های دیگر محاسبه نماید.

### ج- نوع کندانسور ( Condenser type )

در بیشتر کندانسورها ، جهت جریان های بخار و میعانات مشابه است. اما به هر حال برای بعضی کاربردهای خاص که طراح بخواهد مقدار زیر سرد شدن را کم کند ، می تواند کندانسور نوع knock back reflex را انتخاب کند. در این حالت میعانات تشکیل شده به طرف ورودی بخار برمی گردند.

### د- گزینه های طرف سرد ( Cold side application )

- مایع ، بدون تغییر فاز ( Liquid no phase change )
- گاز ، بدون تغییر فاز ( Gas no phase change )
- تبخیر محدوده باریک ( Narrow range vaporization )
- تبخیر چند جزئی ( Multi-component vaporization )

### ه- منحنی تبخیر ( vaporization curve )

طراح می تواند منحنی تعادلی بخار- مایع را وارد نماید و یا برنامه با استفاده از قوانین گاز ایده آل یا چندین روش دیگر محاسبه منحنی را انجام دهد.

## و- انواع تبخیر کننده ( vaporization curve )

### • جوشش استخری ( pooling boiling )

سیالی که دارای جوشش استخری است تنها می تواند در سمت پوسته جریان داشته باشد. مبدل هایی که در این شرایط استفاده می شوند تنها می توانند در حالت افقی قرار گیرند. این جوشش می تواند در پوسته نوع K یا در انواع دیگر پوسته موسوم به " دسته لوله کامل " یا " دسته لوله ناقص " که در آن لوله ها به دلیل فضای آزاد حذف شده اند ، صورت گیرد.

### • ترموسیفون ( Thermosiphon )

این مورد می تواند در طرف پوسته فقط در حالت افقی یا در طرف لوله در هر دو حالت افقی و عمودی صورت گیرد.

### • گردش اجباری ( Forced circulation )

هم در طرف پوسته و هم در طرف لوله می تواند صورت گیرد.

### • فیلم ریزان ( Falling Film )

تبخیر فیلم ریزان فقط در طرف لوله و در حالت عمودی که مایع از بالا به لوله ها وارد شده و به طرف پایین جریان می یابد ، اتفاق می افتد. معمولاً بخار تشکیل شد به علت اختلاف فشار بین بالا و پایین لوله به سمت پایین جریان می یابد. این نوع تبخیر از افزایش زیاد نقطه حباب جلوگیری کرده و به کاهش افت فشار کمک میکند.

## ز- مکان جریان گرم ( Location of hot fluid )

در حین انجام برنامه Hetran ، می توان مکان جریان گرم را تغییر داد. بنابراین مقایسه بین دو حالت ممکن طرف لوله و طرف پوسته بسیار ساده خواهد بود.

## ح- حالت های برنامه ( program mode )

- حالت طراحی
- حالت ارزیابی
- حالت شبیه سازی

## ت- انتخاب فایل استاندارد ( select from standard file )

در این حالت طراح می تواند فایل اندازه های استاندارد مبدل - فایلی که لیستی از اندازه های استاندارد مبدل را دارد- را انتخاب کند. نرم افزار از این لیست اندازه ای از مبدل را انتخاب می کند که نیاز های مورد انتظار طراح را فراهم کند.

هدف از فرم داده های فرآیندی :

وارد کردن دبی سیال بخش پوسته و لوله و نیز شرایط عملیاتی مورد نظر از قبیل دما ، فشار ، حداکثر افت فشار مجاز ، میزان جرم گرفتگی و بار حرارتی مورد نظر می باشد.

شاخه داده های فرآیندی در زیر شاخه process data شامل گزینه های ورودی زیر است :

- دبی جریان ها

دبی جریان های گرم و سرد باید در این بخش وارد گردد. البته زمانی که تغییر فاز وجود نداشته باشد می توان دبی ها را وارد نکرد. برنامه از روی بار حرارتی و با مشخص بودن دماها ، دبی را محاسبه می کند. هنگامیکه تغییر فاز رخ میدهد برنامه ، حداقل به دو دبی از سه دبی جریان کل ، جریان بخار و جریان مایع در ورودی و خروجی نیاز دارد.

- دماهای ورودی و خروجی

دماهای ورودی و خروجی جریان های گرم و سرد در این بخش وارد می گردد. در حالتیکه تغییر فاز رخ نمی دهد برنامه می تواند از روی بار حرارتی مشخص شده یا بار حرارتی طرف مقابل با معلوم بودن دبی و دمای ورودی ، دمای خروجی را محاسبه نماید.

- دمای حباب / دمای شبنم

برای میعان و تبخیر محدوده باریک ، دماهای حباب و شبنم مورد نیاز است. برای کندانسورها دمای شبنم ضروری است اما اگر هنوز بخار در دمای خروجی وجود داشته باشد ، به دمای حباب نیازی نیست.

- فشار عملیاتی ( مطلق )

فشار عملیاتی مطلق سیال بخش پوسته و لوله ، باید در این بخش وارد گردد ، که بسته به کاربرد می تواند فشار ورودی یا خروجی باشد اما در بیشتر موارد فشار ورودی است. برای ریبویلرهای ترموسیفون ، فشار عملیاتی ، فشار سطح مایع در برج می باشد.

- حرارت مبادله شده

در صورتیکه لازم باشد مبدل بر اساس بار حرارتی خاص طراحی شود ، باید بار حرارتی مورد نظر را در این قسمت وارد کرد. در صورتیکه مقدار حرارت مبادله شده از طرف طراح وارد شود ، برنامه بار حرارتی محاسبه شده در دو طرف گرم و سرد را با این مقدار مقایسه می کند. اگر اختلاف آنها بیشتر از ۲درصد باشد ، برنامه دبی یا دمای خروجی را تصحیح می کند.

- افت فشار مجاز

طراح می تواند افت فشار مجاز را به طور دلخواه تعیین نماید اما این مقدار نباید از فشار عملیاتی بیشتر باشد ، افت فشار مجاز معمولاً باید کمتر از ۴۰درصد فشار عملیاتی باشد. همچنین با یک محاسبه سر انگشتی افت فشار مجاز برای سیستم مایع برای هر دو بخش لوله و پوسته مقدار ۰,۵ تا ۰,۷ کیلوگرم بر سانتی متر مربع گزارش شده است. برای گاز این مقدار بین ۰,۰۵ تا ۰,۲ کیلوگرم بر سانتی متر مربع می باشد که معمولاً از ۰,۱ استفاده میشود.



- مقاومت جرم گرفتگی

اگر این گزینه توسط طراح مشخص نشود ، برنامه بصورت پیش فرض آن را صفر در نظر خواهد گرفت. علاوه بر آن نرم افزار هم لیستی از مقادیر معمول را پیشنهاد می کند.

در شاخه داده های فرآیندی زیرشاخه دیگری با عنوان Heat load balance options وجود دارد. در صورتیکه در هر دو قسمت Hot & Cold process stream adjustmen ، گزینه Program انتخاب شود ، بسته به نوع اطلاعاتی که در اختیار نرم افزار قرار گرفته است ، سایر مشخصه ها با استفاده از موازنه انرژی محاسبه خواهد شد.

برخی از مشخصه ها به شرح زیر ، متناسب با میزان انتقال حرارت (محاسبه شده و یا ورودی ) محاسبه خواهند شد :

۱- در حالتیکه فقط دمای خروجی جریان سرد و حرارت منتقل شده وارد نگردد ، میزان انتقال حرارت کل با استفاده از اطلاعات مربوط به جریان گرم به دست خواهد آمد و دمای خروجی سیال سرد از موازنه انرژی محاسبه خواهد شد.

۲- در صورتیکه دمای جریان سرد خروجی وارد شود ولی میزان دبی جریان سرد وارد نگردد ، نرم افزار با توجه به میزان انتقال حرارت لازم ، دبی جریان سرد را محاسبه خواهد کرد.

۳- در صورتیکه هر دو مشخصه جریان سرد خروجی و دبی جریان سرد توسط طراح وارد شده باشد ، برنامه دمای خروجی سرد را محاسبه خواهد کرد.

۴- در صورتیکه سه مشخصه جریان سرد وارد شود و برای جریان گرم تنها دبی و یا دمای خروجی آن از طرف طراح وارد شده باشد مشخصه دیگر ، مطابق با میزان انتقال حرارت به دست آمده از طریق جریان سرد و موازنه انرژی محاسبه خواهد شد.

۵- در صورتیکه سه مشخصه جریان سرد و هر دو مشخصه جریان گرم وارد شده باشد ، این حالت همانند حالت سوم خواهد شد و مشخصه دمای جریان سرد تطبیق داده خواهد شد.

۶- در حالتیکه هر سه مشخصه جریان گرم همراه با مشخصه دمای سرد خروجی و همچنین کل بار حرارتی از طرف طراح وارد گردد ، برنامه دبی سیال سرد و دمای خروجی جریان گرم را تطبیق خواهد داد. اگر در این حالت دبی جریان گرم وارد نشده باشد بجای دمای جریان گرم ، دبی جریان گرم تطبیق داده خواهد شد.

در صورت عدم برقراری موازنه انرژی ، دماهای خروجی توسط نرم افزار تغییر داده می شوند. برای هر دو بخش لوله و پوسته بجای گزینه Program ، می توان گزینه های Flow rate ، Outlet temperature و No adjustment را انتخاب نمود.

## اطلاعات خواص فیزیکی ( Physical property data )

این بخش شامل قسمت های زیر می باشد : انتخاب های خواص ، ترکیب طرف گرم ، خواص طرف سرد ، ترکیب طرف سرد ، خواص طرف سرد

## انتخاب های خواص ( Property Options )

در این بخش طراح باید گزینه های پیش فرض را قبول نماید. پیش فرض بدین معنی است که تمامی خواص ترمودینامیکی بخش پوسته و لوله توسط Aspen B-jac تعیین می شود. این شاخه شامل صفحات زیر است :

## بانک های اطلاعاتی ( data banks )

در مورد داخل و خارج لوله ها به صورت جداگانه ، می توان دو انتخاب در مورد خواص فیزیکی داشت :

انتخاب اول : گزینه اول می تواند شرایط زیر را پوشش دهد :

- استفاده از خواص فیزیکی B-jac ( بانک اطلاعاتی نرم افزار )
- استفاده خواص فیزیکی که توسط کاربر مشخص شوند
- استفاده از محیط نرم افزار Aspen plus جهت خواص فیزیکی

با انتخاب این مورد ، طراح می تواند به بانک اطلاعاتی نرم افزار مراجعه کند و خواص ویژه سیال داخل لوله و سیال خارج لوله را تعیین نماید و یا می تواند مستقیماً اطلاعات را از برنامه شبیه سازی Aspen plus به B-jac منتقل کند.

بانک اطلاعاتی خواص B-jac شامل پایگاه داده DIPPR می گردد که دارای خواص فیزیکی بیش از ۱۵۰۰ ماده خالص است که در فرآیند های شیمیایی ، نفت و سایر صنایع به کار برده می شوند. طراح می تواند به این داده ها مراجعه نموده ، اجزای جریان ها را در ترکیبات وارد کند. اگر طراح خواص را در بخش خواص مشخص کند ، نباید هیچ ماده ای را در قسمت ترکیب وارد نماید ، مگر اینکه بخواهد هم از خواص بانک اطلاعاتی B-jac و هم از خواص تعیین شده استفاده کند. در چنین شرایطی ، خواص تعیین شده توسط طراح بر همه خواص فیزیکی در بانک اطلاعاتی اولیت دارد و لذا نرم افزار از آن استفاده خواهد نمود.

#### انتخاب دوم : استفاده از بانک اطلاعاتی Aspen Properties

نرم افزار B-jac امکان دسترسی به بانک های اطلاعاتی خواص فیزیکی مواد را در ماژول Aspen properties که به صورت نرم افزاری جداگانه در مجموعه نرم افزارهای مهندسی Aspen است ، فراهم می کند.

## انتخاب فلش

زمانی که طراح به بانک خواص Aspen Properties مراجعه کند و فایل مورد نظر با پسوند APPDF را تهیه نماید ، باید تنظیماتی را برای محاسبه فلش انتخاب کند که B-jac از آن برای بدست آوردن خواص تعادلی و نمودارهای تعادل بخار- مایع استفاده نماید.

## انتخاب های میعان / تبخیر (Condensation/Vaporization Options)

برگه انتخاب های میعان و یا تبخیر شامل بخش های ذیل است. لازم به ذکر است در صورت انتخاب کاربرد داخل لوله له صورت مایع بدون تغییر فاز این پنجره قابل مشاهده نخواهد بود.

روش محاسبه منحنی میعان و تبخیر :

### • مدل ایده آل

در صورت انتخاب این روش ، برنامه از قانون گاز ایده آل برای فاز بخار و از قانون محلول ایده آل برای فاز مایع استفاده خواهد نمود. زمانیکه اطلاعات کافی از درجه غیر ایده آل بودن سیستم در دسترس نباشد ، می توان از این روش استفاده نمود. این روش برای تعداد اجزای تا ۵۰ جزء مجاز است.

• مدل های NTRL , Wilson , Van Laar , Uniquac

این مدل ها برای مخلوط های غیر ایده آل مناسب بوده و به تعیین پارامترهای تداخل متقابل مولکولی نیاز دارند. این مدل ها برای حداکثر ۱۰ ماده قابل استفاده هستند. هریک از این معادلات دارای پارامترهای تداخل متقابل مولکولی برای هر جفت از اجزاء میباشند. همچنین مدل ترمودینامیکی Uniquac نیاز به پارامتر سطح و پارامتر حجم و مدل NTRL نیاز به پارامتر آلفا دارند. روش Wilson برای مخلوط های دوتایی به شدت غیر ایده آل مانند الکل-هیدروکربن مناسب می باشد. مدل Uniquac برای تعادل های بخار-مایع و مایع - مایع و نیز برای محلول های شامل مولکول های کوچک و بزرگ و پلیمرها قابل استفاده است. در این مدل پارامترهای تداخل متقابل مولکولی نسبت به معادلات Wilson , Van Laar , کمتر تابع دما می باشد.

• مدل های Soave-Redlich-Kwong , Peng-Robinson , Chao-Seader

این مدل ها برای مخلوط های غیر ایده آل کاربرد داشته و نیازی به پارامترهای تداخل متقابل مولکولی ندارند. مدلهای ترمودینامیکی SRK , PR برای سیستم های شامل هیدروکربن ها ، نیتروژن ، دی اکسید کربن ، مونوکسید کربن و سایر اجزای با قطبیت ضعیف مناسب هستند. همچنین می توان از آنها برای سیستم های شامل آزنوتروپ ، سیستم هایی که اجزای وابسته مانند آب و الکل دارند و برای پیش بینی خواص فاز بخار در هر فشاری استفاده کرد. روش CS از معادلات SRK برای فاز بخار غیر ایده آل و از یک معادله تجربی برای فاز مایع غیر ایده آل استفاده می کند. این روش برای برش های نفتی با فشار کمتر از ۶۸ بار و دمای بیشتر

از ۱۸- درجه سانتیگراد پیشنهاد میگردد. استفاده از این روش ها برای تعداد اجزای تا ۵۰ جزء مجاز است.

تخمین افت فشار برای طرف گرم/ سرد :

طراح باید برای افت فشار در طرف گرم/ سرد مبدل تخمینی بزند. نرم افزار این افت فشار را برای تعیین منحنی تعادل VLE به کار می برد. اگر فشار واقعی در نتایج ، بیشتر از ۲۰٪ با این افت فشار اختلاف داشته باشد ، مقداری جدید را برای افت فشار تخمین زده و نرم افزار را مجدد اجرا می نماید.

نوع محاسبه منحنی میعان :

- میعان انتگرالی

در این نوع میعان فرض می شود که بخار و میعانات ایجاد شده به همراه هم بوده و تعادل بین بخار و مایع همچنان حفظ می شود. میعان در داخل لوله عمودی ، بهترین مثال برای میعان انتگرالی می باشد.

حالت های دیگری که به میعان انتگرالی نزدیکتر هستند عبارتند از : میعان طرف لوله در حالت افقی ، میعان طرف پوسته در حالت عمودی و هم چنین میعان طرف پوسته زمانی که جریان متقاطع باشد

## • میعان دیفرانسیلی

در این نوع میعان ، میعان‌ات متشکله از بخار جدا می گردند ، بنابراین تعادل بخار- مایع متغیر بوده و دمای نقطه شبنم سیر نزولی خواهد داشت. این نوع میعان در کندانسور knockback reflex اتفاق می افتد که میعان‌ات به طرف ورودی بخار برای خارج شدن هدایت می گردند. میعان طرف پوسته در حالت افقی در پوسته های نوع J, E حالتی میان این دو نوع میعان است. در صورتیکه طراح بخواهد محتاط برخورد نماید برای این نوع سیستم ها ، نوع دیفرانسیلی را انتخاب می کند. به هر حال بطور معمول این مبدل ها بصورت انتگرالی طراحی می شوند. با فرض میعان انتگرالی ، میزان میعان‌ات محاسبه شده بیشتر از نوع دیفرانسیلی خواهد بود. بنابراین در طراحی مبدل با روش انتگرالی ، دمای میانگین بالاتری نسبت به روش دیفرانسیلی پیش بینی خواهد شد.

## تاثیر افت فشار بر میعان و تبخیر :

پیش برنامه در محاسبات تعادلی ، فشار ثابت در طول مبدل می باشد. در صورتیکه طراح گزینه Adjust curve را در برگه انتخاب های میعان / تبخیر انتخاب نماید ، برنامه بر اساس گام دمایی در طول منحنی میعان یا تبخیر ، افت فشار را در نظر میگیرد. در صورت تخمین افت فشار برای طرف گرم یا سرد ، برنامه از این افت فشار برای تنظیم منحنی VLE استفاده می کند. اگر افت فشار واقعی بیش از ۲۰٪ با فشار تخمین زده اختلاف داشته باشد ، طراح مقادیر افت فشار را با فشار واقعی تنظیم کرده و مجدداً برنامه را اجرا میکند. برنامه محاسبات



VLE به میعانات اجازه تبخیر ناگهانی مجدد ( re-flash ) را نمیدهد. اگر محاسبات نشان دهد که تبخیر ناگهانی مجدد اتفاق می افتد ، برنامه افت فشار تخمینی کمتری را پیش بینی می نماید.

### ترکیب طرف گرم / سرد ( Hot / Cold Side Composition )

برگه ترکیب ( composition ) تعیین کننده ترکیب مواد موجود در جریان است و مبنای محاسبات خواص فیزیکی قرار میگیرد و شامل : اجزای ترکیب ، مقادیر بخار و مایع ورودی و خروجی ، نوع اجزا و منبع اطلاعاتی آن ها می شود.

اجزای ترکیب :

اجزای جریان را می توان با مشخص کردن اسم ترکیب در بانک اطلاعاتی نرم افزار به دست آورد. زمانی که نرم افزار نیاز به محاسبه منحنی تعادل بخار- مایع داشته باشد ، طراح میتواند با استفاده از ورودی Source خواص فیزیکی اجزای منحصراً بفرد را بدست آورد که در این صورت برای تعیین ترکیب نهایی به کار میرود.

بخار و مایع ورودی و خروجی :

در این قسمت نسبت جریان در هر فاز مشخص می شود که بستگی به بخش اجزای ترکیب دارد. در صورتی که برای به دست آوردن خواص فیزیکی به بانک اطلاعاتی رجوع شود ، باید ترکیبات ورودی مشخص گردد. اگر ترکیبات خروجی مشخص نباشند ، نرم افزار آن ها را مانند ترکیبات ورودی تخمین می زند. داده ها به منظور محاسبه اجزای ترکیبات ، در یک ستون قرار می گیرند.

نوع اجزا :

قسمت نوع اجزا زمانی فعال میگردد و قابل تغییر است که کاربرد داخل لوله از نوع میعان چند جزئی تعریف گردد. نوع اجزا شامل موارد موارد ترکیبات غیرقابل میعان و قابل میعان مخلوط نشدنی می باشد. در صورتی که کاربرد داخل لوله از نوع تبخیر چند جزئی تعریف گردد ، نوع جز شامل ماده بی اثر خواهد بود. انتخاب این موارد به کاربرد اجازه می دهد که این گونه ترکیبات شناسایی و به نرم افزار معرفی نماید. اگر کاربر از نوع اجزا مطمئن نباشد ، می بایست گزینه انتخاب توسط برنامه را انتخاب نماید تا نرم افزار نوع ماده را تشخیص دهد. اما در حالت کلی بهتر است نوع اجزا توسط طراح وارد گردد. اگر جزئی ، در بیشترین دمای کندانسور هیچ مایعی را تولید ننماید ، بهتر است که غیرقابل میعان در نظر گرفته شود.

منبع اطلاعاتی :

این منبع فقط برای اجزائی قابل دسترس است که نرم افزار منحنی های تعادل بخار- مایع آنها را محاسبه میکند. منبع اجزا ممکن است بانک اطلاعاتی نرم افزار و یا داده های طراح باشد.

### خواص طرف گرم / سرد ( Hot / Cold Side Properties )

داده های مربوط به خواص فیزیکی سیال در بخش های زیر وارد می گردند : برگه تعادل بخار- مایع ، برگه خواص مایع ، برگه خواص بخار ، برگه اجزای غیرقابل میعان در اینجا به توضیح برخی از اطلاعاتی که در این برگه ها مشاهده می گردد پرداخته می شود :

دما :

پارامتر دما در هر سه برگه تعادل بخار- مایع ، خواص مایع و بخار وجود دارد که طراح می بایست خواص مورد نیاز را در این دماها به نرم افزار بدهد ، اگر طراح بخواهد منحنی تعادلی بخار- مایع را به نرم افزار وارد نماید تا محاسبات بر اساس آن محاسبه گردند ، باید نقاط دمایی متعددی را روی منحنی مشخص کند. در توصیه می شود که نقطه شبنم و حباب جریان تعیین شوند. منحنی های میعان باید دارای نقاط شبنم و منحنی های تبخیر دارای نقطه حباب باشند. لزومی ندارد که اولین نقطه روی منحنی، با دمای ورودی مبدل مطابقت داشته باشد ، اما توصیه می شود که این مساله رعایت شود. دماهایی را که برای سیال بدون تغییر فاز

وارد می کند ، باید حداقل شامل دماهای ورودی و خروجی باشد. همچنین برای سیالات ویسکوز باید دمای سیال طرف مقابل به عنوان سومین دما در نظر گرفته شود. دماهای ورودی و خروجی را باید زمانی وارد کرد که تغییر فاز وجود داشته باشد.

بار حرارتی :

برای تعیین منحنی تعادلی آنتالپی و ترکیب درصد نیاز است تا برای هر دما بایستی پارامتری را که معرف بار گرمایی باشد ، تعیین نمود. بدین منظور باید بار گرمایی انباشته ، بار گرمایی افزوده یا آنتالپی تعیین شود.

ترکیب بخار/ مایع :

برای هر دما باید پارامتری را که معرف ترکیب بخار/ مایع است ، مشخص کرد. برای یک ترکیب می توان دبی جریان بخار ، دبی جریان مایع ، جزء جرمی بخار یا مایع را مشخص نمود. این نرم افزار سایر پارامترها را بر اساس اطلاعات ورودی و جریان کلی که در قسمت داده های فرآیند تعیین شده اند ، محاسبه می کند. جزء جرمی بخار و مایع به علت مستقل بودن از دبی جریان توصیه می شوند. برای کندانسورهای پیچیده ، این ترکیب باید جریان بخار کلی میعان ناپذیر باشد.

## خواص مایع و بخار :

خواص فیزیکی مورد نیاز بستگی به نوع کاربرد دارد. اگر از بانک داده ها برای یک سیال استفاده شود ، نیازی به وارد کردن اطلاعات خواص فیزیکی ورودی نیست. البته می توان با مراجعه به بانک داده ها نیز ، هر خاصیتی را تعیین نمود. اما خواص تعیین شده بر خواصی که از بانک داده ها به دست می آید ارجحیت دارد. این خواص به صورت مجزا در برگه های مایع و برگه بخار وارد می گردند.

داده های دیگری که در این شاخه وجود دارد عبارتند از : گرمای ویژه ، ضریب هدایت حرارتی، ویسکوزیته ، دانسیته ، کشش سطحی ، گرمای نهان ، وزن مولکولی ، ضریب انتشار

## ساختار مبدل ( Exchanger Geometry )

شاخه هندسه و ساختار مبدل از شش زیر شاخه تشکیل شده است که عبارتند از : نوع مبدل ، لوله ها ، دسته لوله ، بافل ها ، داده های ارزیابی / شبیه سازی ، نازل ها

### نوع مبدل ( Exchanger Type )

برخی از آیتم های این شاخه به صورت زیر است :

- نوع کلگی جلویی

نوع انتخاب کلگی جلویی باید بر اساس نیازهای مبدل باشد.

- نوع پوسته

- نوع کلگی عقب

نوع کلگی عقب بر طراحی حرارتی تاثیر گذار است زیرا محدوده لوله بیرونی را مشخص میکند

- موقعیت مبدل

این آیتم مشخص می کند که مبدل به صورت افقی قرار گیرد یا عمودی

- نوع پوشش جلویی و عقبی

- نوع صفحه لوله

- نوع فلنج طرف گرم و سرد

## لوله ها ( Tubes )

این شاخه شامل برگه لوله ها ، برگه پره ها و برگه عمومی است که برخی از جزئیات آنها به شرح زیر است :

نوع لوله :

لوله ها به دو نوع لوله های ساده ( plain ) و لوله های پره دار تقسیم می شوند. لوله های پره دار خارجی زمانیکه ضریب فیلم طرف پوسته بسیار کمتر از ضریب فیلم طرف لوله باشد ، مفید می باشند. اما این نوع لوله ها مشکلات خاص خود را داشته و برای فرآیندهایی که در طرف پوسته میزان جرم گرفتگی بالا است و یا سیال طرف پوسته بسیار ویسکوز باشد و یا برای میعان زمانیکه کشش سطحی مایع بالا باشد ، پیشنهاد نمی گردد.

قطر خارجی لوله :

در این قسمت می توان هر اندازه ای را مشخص نمود ، اما روابط بر اساس اندازه های ۱۰ تا ۵۰ میلیمتر توسعه داده شده اند. چنانچه اندازه لوله مشخص نباشد ، در صورتیکه استاندارد ISO مورد استفاده قرار گیرد ، بهتر است با قطر ۲۰ میلیمتر شروع شود.

ضخامت دیواره لوله :

ضخامت دیواره لوله بر اساس میزان خوردگی ، فشار و استانداردهای شرکت های سازنده است. در صورتیکه طراح با استانداردهای ANSI کار میکند ، ضخامت از استانداردهای BWG پیروی می کند. پیش فرض های برنامه برای ضخامت دیواره لوله بر اساس پیشنهادات TEMA تابع جنس لوله و همچنین فشار فرآیند می باشد. اگر ضخامت دیواره لوله ( که توسط طراح به نرم افزار داده شده ) نتواند فشار داخلی را تحمل کند، برنامه پس از بررسی اخطار خواهد داد.

زبری جداره داخلی لوله :

میزان افت فشار در لوله ها تابع زبری سطح داخلی لوله ها می باشد. پیش فرض برنامه برای تمامی لوله ها بصورت لوله تقریباً صاف می باشد.

مشخصه دیواره لوله :

در بیشتر کشورها ضخامت دیواره به صورت میانگین و یا مینیمم بیان می گردد. این گزینه تاثیر کمی بر افت فشار طرف لوله و تاثیر متوسطی بر قیمت مبدل دارد. پیش فرض برنامه میانگین است.



فاصله مرکز - مرکز لوله :

این فاصله تقریباً باید ۱,۲۵ برابر قطر خارجی لوله باشد. بعضی مواقع به دلیل ملاحظات افت فشار مجاز طرف پوسته بهتر است این فاصله بیشتر در نظر گرفته شود اما بیشتر از ۱,۵ برابر قطر خارجی توصیه نمی شود. ماکزیمم این فاصله بوسیله TEMA بعنوان تابعی از قطر خارجی ، آرایش لوله ها و کلاس TEMA پیشنهاد می گردد.

جنس لوله :

برنامه کربن استیل را بعنوان پیش فرض در نظر میگیرد که بستگی به نوع فرآیند ، خوردگی سیال و... دارد.

الگوی آرایش لوله ها :

از آرایش مثلثی زمانی استفاده می شود که هدف افزایش ضریب فیلم حرارتی طرف پوسته و افزایش تعداد لوله ها در صفحه لوله بوده و تمیز کاری مکانیکی پوسته مهم نباشد. در صورتیکه نیاز به تمیز کاری خارجی لوله باشد ، توصیه میشود از آرایش مربعی و مربعی چرخیده استفاده شود. لازم به ذکر است آرایش مربعی چرخیده در مقایسه با مربعی ، ضریب فیلم حرارتی و افت فشار بیشتری دارد اما معمولاً تعداد لوله های کمتری در صفحه لوله جا می گیرد. آرایش مثلثی چرخیده به ندرت استفاده می گردد ، زیرا افزایش ضریب فیلم حرارتی حاصل از ازدیاد افت فشار این نوع آرایش کمتر است.

## بافل ها ( Baffles )

نوع بافل :

بافل ها به دو دسته اصلی بافل های برشی و شبکه ای تقسیم می شوند. بافل های برشی عبارتند از صفحه هایی که به منظور عبور لوله ها سوراخ شده اند و قطعه ای از آن که به پنجره لوله موسوم می باشد ، بریده شده است. بافل های تک برشه ، دو برشه ، سه برشه و بدون لوله در پنجره مثال هایی از بافل برشی بوده و بافل های میله ای و مارپیچی نیز مثال هایی از بافل های شبکه ای می باشند. بافل های شبکه ای در مواردی که افت فشار مجاز پایین باشد و پشتیبانی لوله ها برای جلوگیری از ارتعاش مهم باشد ، استفاده می گردد.

بافل های برشی رایج ترین نوع بافل های می باشند ، مخصوصاً بافل های تک برشه که بسیار مرسومند و بالاترین ضریب فیلم حرارتی طرف پوسته را ایجاد می نمایند. اما افت فشار آن ها از انواع دیگر بالاتر است. بافل های دو برشه با همان فاصله بافلها باعث افت کمتر ( از ۵۰ تا ۷۵ درصد ) شده اما ضریب فیلم طرف پوسته کمتری دارند. بافل ها باید حداقل یک ردیف همپوشانی داشته باشند یعنی این همپوشانی باید حداقل به اندازه قطر یک لوله ۲۰ میلیمتری برای بافل تک برشه با قطر پوسته ای ۳۰۵ میلیمتر باشد. با افزایش قطر پوسته این حداقل باید افزایش یابد. بدین منظور برای بافل های دو برشه ، دو نقطه همپوشانی لازم است که با افزایش قطر باید این حداقل افزایش یابد.

بافل های نگهدارنده در پوسته های نوع  $K, X$  زمانی به کار می روند که بافل کاری برای جهت دادن جریان طرف پوسته لازم نباشد. بافل های بدون لوله در پنجره برای اجتناب از

ارتعاش لوله ها استفاده می شوند. بافل های میله ای محدود به آرایش مربعی لوله ها میباشد. بافل های مارپیچی معمولاً برای الگوی آرایش مثلثی لوله ها قابل استفاده است.

برش بافل ها :

برش بافل در بافل های تک برشه ، به نسبت ارتفاع پنجره بافل به قطر پوسته و در بافل های دوبرشه و سه برشه به نسبت ارتفاع داخلی ترین بخش بافل به قطر پوسته گفته می شود. برای بافل تک برشه ، نرم افزار برش های ۱۵ تا ۴۵ درصد را مجاز می داند. برش بالای ۴۵ درصد به دلیل عدم همپوشانی مناسب بافل ها عملی نمی باشد. برش پایین تر از ۱۵ درصد نیز عملی نیست زیرا به افت فشار بالا در پنجره بافل می گردد. عموماً برش حدود ۲۵ درصد بهینه می باشد. برای بافل های دو و سه برشه ، برش بافل ها طوری است که پنجره بافل مرکزی بیشترین مقدار باشد ، برنامه بطور خودکار اندازه پنجره سایر بافل ها را برای یک سطح عبور یکسان ، بدست می آورد. محدوده برش بافل برای انواع دو و سه برشه به ترتیب ۳۰ تا ۴۰ درصد و ۱۵ تا ۲۰ درصد می باشد.

جهت برش بافل ها :

این گزینه به کاربرد طرف پوسته بسیار وابسته است. در مبدل های عمودی جهت برش زیاد تاثیر نداشته و شاید بر تعداد لوله ها در مبدل های عمودی چند گذر تاثیر بگذارد. اما در مبدل های افقی بسیار مهم است. برای سیال تک فاز در پوسته افقی ، برش افقی ارجحیت دارد. البته

انواع عمودی و چرخیده نیز می توانند به کار روند. جهت برش ، بر کارایی تاثیری ندارد اما روی تعداد لوله ها در مبدل های چندگذر موثر است. زمانیکه سرعت پایین است ممکن است باعث جدا شدن و لایه بندی مخلوط چند جزئی گردد.

از برش چرخیده به ندرت استفاده می شود ، تنها کاربرد آن برای دسته لوله قابل تعویض با چندین گذر لوله با آرایش مربعی چرخیده می باشد. در این مورد تعداد لوله ها را میتوان افزایش داد. زمانیکه در طرف پوسته افقی میعان رخ می دهد ، برش باید همیشه عمودی باشد تا میعانات بتوانند آزادانه در ته مبدل به حرکت درآیند. این بافل ها معمولاً زهکشی می گردند ( به فرم V ) که اصطلاحاً گفته می شود notch میگردند. زمانیکه در طرف پوسته جوشش استخری رخ می دهد (در صورتیکه از بافلهای برشی استفاده گردد) برش باید عمودی باشد. زمانیکه تبخیر چرخش اجباری در طرف پوسته اتفاق می افتد به منظور مینیمم کردن جداسازی مایع و بخار، برش باید افقی باشد. در بافل های دو و سه برشه ، برش عمودی ترجیح داده می شود زیرا دسته لوله را بهتر از حالت افقی حمایت می کند.

### داده های ارزیابی و شبیه سازی ( Rating/Simulation Data )

اگر هدف بررسی ارزیابی و شبیه سازی یک مبدل موجود باشد ، اطلاعات هندسی را که در ادامه می آیند باید مشخص نمود. برای اطلاعاتی که از طرف طراح وارد نشده اند ، برنامه پیش فرض های خود را در نظر می گیرد. اطلاعاتی که باید وارد شوند عبارتند از :

- قطر خارجی یا داخلی پوسته

زمانیکه پوسته با رول کردن و جوشکاری یک صفحه ساخته شده باشد فرقی نمی کند که قطر خارجی یا قطر داخلی مشخص شود اما زمانیکه پوسته ، یک لوله استاندارد باشد مشخص کردن قطر خارجی ارجحیت دارد. برنامه از روی ردیف لوله های استاندارد قطر داخلی را می یابد. برای مبدل نوع کتل این مقدار ، قطر نزدیک کُلگی جلو می باشد نه قطر بزرگ بخش بخار پوسته کتل.

- فاصله بافل ها

این فاصله ، فاصله مرکز به مرکز بافل های میانی از یکدیگر می باشد.

- فاصله بافل ابتدایی

این مقدار ، فاصله اولین بافل از نازل ورودی پوسته می باشد ، برای پوسته های نوع  $G, J, H$  این فاصله عبارت است از فاصله مرکز نازل تا بافل بعدی. این پوسته ها باید یک بافل نگهدارنده زیر نازل ورودی داشته باشند. در صورتیکه این مقدار بعنوان ورودی داده نشود ، از طریق فاصله مرکز به مرکز بافل ها و فاصله انتهایی ( همچنین طول لوله ) محاسبه می شود. اگر مقدار فاصله بافل انتهایی هم داده نشود ، فاصله باقی مانده ، از بافل های میانی محاسبه و به صورت مساوی برای هر دو فاصله ابتدایی و انتهایی تخصیص داده می شود.

- تعداد بافل ها

وارد کردن این مقدار اختیاری است. اگر تعداد بافل ها و فاصله بافل های ابتدایی و انتهایی در دسترس نباشد ، می توان با تقسیم طول لوله به فاصله بافل ها منهای یک ، آن را تخمین است. اما اگر تعداد بافل ها مشخص نباشد بهتر است محاسبه آن به برنامه واگذار شود ، در این صورت برنامه اندازه نازل ها و ضخامت صفحه لوله را در نظر خواهد گرفت.

- فاصله بافل انتهایی

این مقدار فاصله آخرین بافل از نازل خروجی می باشد.

- طول لوله

این طول علاوه بر طول انتقال حرارت باید شامل طول لوله داخل صفحه لوله هم باشد ، برای لوله های U شکل این طول از ابتدای لوله تا نقطه مماس بخش U شکل می باشد.

- تعداد لوله ها

این مقدار ، تعداد سوراخ های موجود در صفحه لوله است که برابر با تعداد لوله های مستقیم می باشد. برنامه ، این مقدار را چک خواهد نمود تا مشخص گردد این تعداد در صفحه لوله می گنجد یا خیر. در صورتی که این مقدار به برنامه داده نشود ، برنامه با استفاده از زیر برنامه آرایش لوله ها ، آن را محاسبه خواهد نمود.

- تعداد پوسته های سری و موازی

در صورتیکه چندین مبدل وجود داشته باشد باید تعداد پوسته های سری یا موازی مشخص گردد. لازم به ذکر است که برنامه نیاز دارد که هر دو طرف پوسته و لوله مشابه هم باشند ( یا هردو سری یا هردو موازی ). چندین مبدل می تواند به هر دو صورت موازی و سری وجود داشته باشند. برای مثال دو مجموعه موازی که در هر مجموعه سه مبدل بصورت سری باشند یعنی مجموعاً ۶ مبدل.

- قطر داخلی و خارجی پوسته نوع کتل

برای پوسته هایی که با رول کردن و جوش دادن ورقه ها درست شده اند ، می توان قطر داخلی یا خارجی را مشخص نمود. اما برای پوسته هایی که از لوله استفاده می شود ، بهتر است قطر خارجی مشخص گردد. برنامه از روی استاندارد موجود ، قطر داخلی لوله را محاسبه می کند.

- گزینه آرایش و چیدمان لوله

برای اجرای برنامه می توان آرایش لوله را از اول ایجاد و یا از آرایش موجود ، استفاده نمود. برای گزینه دوم ، طراح باید ابتدا Hetran را برای ثابت کردن آرایش اجرا نماید ، سپس آرایش موجود را انتخاب کند. برای فعال شدن این گزینه مشخصه های صفحه لوله باید تثبیت کردن آرایش اجرا نماید ، سپس آرایش موجود را انتخاب کند. برای فعال شدن این گزینه مشخصه های صفحه لوله باید تثبیت گردد. پیش فرض برنامه این است که در هر اجرا آرایش جدیدی ایجاد شود.

- تعداد گذر لوله

- قطر داخلی و خارجی کمربندهای توزیع بخار

- طول کمربند توزیع بخار

این طول تقریباً دو سوم طول پوسته می باشد. طول مشخص شده ، بر افت فشار مساحت ورودی موثر است.

- ضخامت استوانه پوسته

اگر قطر خارجی پوسته معلوم باشد برنامه قطر داخلی را محاسبه می کند و OTL و تعداد لوله ها را مشخص می کند.

- ضخامت استوانه کلگی جلو

- ضخامت صفحه لوله جلو و عقب

- ضخامت بافل

## نازل ها ( Nozzles )

نازل ها به منظور انتقال سیال به مبدل و خارج نمودن آن در کلگی و پوسته قرار داده می شوند. نازل ها لوله هایی هستند که به بدنه مبدل متصل می شوند. قطر نازل ها به دلیل افت فشار و همچنین سرعت سیال ورودی دارای اهمیت بالایی است.



تعداد نازل ها بر حسب نوع پوسته تعیین می گردد. اما می توان هر تعداد و هر موقعیتی ( در کلگی و یا پوسته ) را در نظر گرفت. جهت منطقی نازل ها باید به صورت زیر باشد :

۱- سیالی که سرد می شود باید از بالا وارد و از پایین خارج شود.

۲- سیالی که گرم می شود باید از پایین وارد و از بالا خارج شود.

بهتر است به برنامه اجازه داده شود تا جهت نازل ها را خودش تعیین نماید. اگر طراح قصد مشخص کردن آنرا داشته باشد، باید مطمئن شود که با برش بافل ها و تعداد بافل ها همخوانی داشته باشد. بعنوان مثال اگر تعداد بافل ها فرد و بافل ها تک برش افقی باشند لازم است که جهت نازل ها مشابه باشد. برنامه به صورت پیش فرض آنرا مشخص می کند.

#### • قطر خارجی گنبد نازل

که همان قطر اسمی محل گنبدی اتصال نازل به بدنه است

#### • کلاس فلنج نازل

مشخص کلاس فلنج نازل بر روی محاسبات طراحی حرارتی یا تخمین قیمت تاثیری نخواهد داشت و تنها باعث کاملتر شدن مشخصه های مبدل می گردد. نمودارهای فشار- دما در داخل برنامه ساخته می شوند. اگر طراح به برنامه اجازه دهد که کلاس را مشخص کند برنامه بر مبنای فشار و دمای طراحی ، کلاس مناسب فلنج نازل را انتخاب می کند.

- انواع شکل فلنج نازل

برنامه به صورت پیش فرض شکل فلنج نازل را تخت در نظر می گیرد. شکل های دیگر نظیر raised face و tongue/groove نیز می تواند تعیین شود.

- جهت جریان اولین گذر لوله ها

برای مبدل های یک گذر پوسته - یک گذر لوله یا دو گذر پوسته - دو گذر لوله ، طراح می تواند جهت جریان ها را همسو یا غیر همسو در نظر بگیرد. اما برای آرایش چندین گذر لوله ، جهت جریان اول بر اساس نازل ورودی بخش پوسته مشخص خواهد شد.

- مکان نازل در خم U

پیش فرض برنامه برای استقرار نازل در خمیدگی U شکل ، بین نگهدارنده لوله ها در بخش U شکل و اولین بافل می باشد. با استقرار نازل در این مکان از عبور سیال در عرض خم U که باعث ارتعاش می شود جلوگیری می شود. عموماً مساحت سطح خم U به علت غیر یکنواخت بودن فاصله لوله ها بعنوان سطح موثر انتقال حرارت در نظر گرفته نمی شود.

## داده های طراحی ( Design Data )

داده های طراحی به سه بخش تقسیم می شوند :

( الف ) محدودیت های طراحی ( Design Constrains )

( ب ) مشخصات طراحی ( Specifications )

( ج ) مواد سازنده ( Materials )

( الف ) محدودیت های طراحی

محدودیت های موجود برای طراحی دو نوع است. نوع اول که در برگه Sell / Bundle آورده شده بیشتر شامل محدودیت های متغیرهای تصمیم گیری برنامه می شود. نوع دوم محدودیت های ثانویه هستند که در توابع هدف وجود دارند. این نوع محدودیت ، محدودیت فرآیندی است که در برگه Process آورده شده است مانند سرعت مجاز در لوله و پوسته (حداکثر و حداقل) ، میزان حداکثر افت فشار در بخش لوله پوسته و لوله ، حداکثر درصد افت فشار کل در نازل ها و مینیم سطح اضافی برای انتقال حرارت. محدودیت های نوع اول شامل موارد زیر است :

- حداقل و حداکثر قطر پوسته ( به ترتیب ۲ و ۷۲ اینچ می باشد )
- گام قطر : زمانیکه پوسته از ورق شکل داده شده ساخته شود، نرم افزار گام قطر را بعنوان مقدار افزایش قطر در حالت طراحی در نظر می گیرد. در صورتی که پوسته از لوله ساخته شود ، این پارامتر نادیده گرفته می شود.
- مینیم و ماکزیمم طول لوله ( به ترتیب ۴ و ۲۰ فوت می باشد )
- گام طول لوله برای افزایش و کاهش در حین بهینه سازی
- مینیم و ماکزیمم تعداد گذرهای لوله
- گام تعداد گذرهای لوله

- مینی‌م و ماکزیمم فاصله مرکز به مرکز بافل‌ها
- مرجع قطر پوسته- قطر داخلی و یا خارجی : زمانی که قطر خارجی در این گزینه انتخاب گردد ، قطر خارجی و داخلی پوسته و سیلندر کلگی جلو با هم یکی خواهند شد. زمانیکه ضخامت کلگی بالایی مورد نیاز باشد ، برای جلوگیری از افزایش فاصله قطر داخلی و O.T.L بهتر است قطر داخلی پوسته مرجع قرار داده شود.
- استفاده از ورق برای تولید پوسته بجای استفاده از لوله در قطرهای پایین : پیش فرض برنامه استفاده از لوله در قطرهای پایین می باشد. در صورتیکه نیاز به افزایش قطر پوسته با دقت معینی باشد، در قطرهای کوچکتر از ۲۴ اینچ باید از گزینه plat استفاده نمود.
- مینی‌م پوسته های موازی و سری ( برای هر دو حالت پیش فرض برنامه یک می باشد)
- تعداد بافل های مجاز : این تعداد اهمیت خاصی برای بافل های تک برشه در مبدل‌های افقی دارد. در صورت زوج بودن تعداد بافل های تک برشه نازل های ورودی و خروجی در خلاف جهت هم خواهند بود و در صورت فرد بودن نازل های ورودی و خروجی هم جهت خواهند بود.
- استفاده از بافل در زیر نازلها : بافل ها اصولاً نباید زیر نازلها قرار گیرند زیرا توزیع جریان در نواحی ورودی و خروجی را برهم زده و کارایی سطح انتقال حرارت را در این نواحی کاهش میدهند اما زمانیکه نازل های ورودی و خروجی آنقدر بزرگ باشد که موجب ایجاد لوله هایی که با طول غیر مجاز بدون نگهدارنده شوند و همچنین زمانیکه

لوله ها مستعد ارتعاش باشند استفاده از بافل و نگهدارنده در زیر نازل ها توجیه پذیر است.

- استفاده از برش تناسبی برای بافل : در حالت طراحی ، برنامه برش بافل را بر اساس نوع بافل و طراحی طرف پوسته انتخاب می کند. اما در بافل های تک برشه حفظ تعادل بین سرعت جریان متقاطع و سرعت در پنجره مد نظر می باشد. با انتخاب تناسب بین برش بافل و فاصله بافلها زمانیکه فاصله بافل ها افزایش یابد برنامه برش بافلها را افزایش خواهد داد.

نوع دوم محدودیت ها ، محدودیت های فرآیندی است که در زیر توضیح داده شده است :

۱- افت فشار مجاز : اگرچه افت فشار مجاز باید معمولاً کمتر از ۴۰ درصد فشار عملیاتی باشد ، اما هر مقداری را می توان برای حداکثر افت فشار در بخش های پوسته و لوله معین گردد. برنامه حالت پیش فرض ندارد.

۲- حداقل سرعت سیال : مینیمم سرعت برای یک طراحی است که برنامه برای دو بخش پوسته و لوله در نظر می گیرد. معمولاً این مقدار در بهینه سازی برای یافتن بهترین ابعاد مبدل تغییر نمی یابد. در صورتیکه سرعت از این مقدار کمتر باشد پیام هشدار در نتایج داده خواهد شد.

۳- حداکثر سرعت سیال : این گزینه یکی از کنترل کننده های بهینه سازی می باشد. در طرف پوسته ، منظور سرعت متقاطع است. در جریان دوفازی ، سرعت فاز بخار در نقطه ای که بیشترین بخار وجود دارد، مد نظر است.

۴- حداقل درصد سطح اضافه مورد نیاز : در واقع این مقدار ، ضریب اطمینان در طراحی است. برنامه با احتساب این مقدار مبدل مورد نظر را طراحی خواهد نمود. پیش فرضی برای این مقدار وجود ندارد.

۵- ماکزیمم افت فشار مجاز برای هر نازل : همان حداکثر مقداری است که برای افت فشار برای نازل ها مجاز است.

### ب) مشخصات طراحی

جزئیات گزینه های این شاخه در زیر آمده است :

#### • استاندارد طراحی

کاربر باید یکی از چهار انتخاب استاندارد آمریکایی ASME ، استاندارد فرانسوی CODAP ، استاندارد آلمانی AD-Merkblatter و یا استانداردهای متفرقه را انتخاب کند. گاهی اوقات این استاندارد تاثیر قابل توجهی بر طراحی حرارتی میگذارد زیرا که کد طراحی تعیین کننده ضخامت مورد نیاز پوسته ، درپوش ها، ضخامت صفحه لوله ، اندازه فلنج ها و استحکام نازل و محل قرار گرفتن آن ها می باشد. محاسبات طراحی مکانیکی خیلی پیچیده هستند و محاسبات Hetran فقط شامل بعضی از محاسبات اساسی طراحی مکانیکی می باشد. این ورودی بدین منظور در نرم افزار وجود دارد که مشخصات کاملتری را از مبدل حرارتی در اختیار بگذارد.

## • کلاس TEMA

در صورتی که طراحی بخواهد مبدل حرارتی طبق استانداردهای TEMA طراحی شود ، باید طبقه بندی مناسبی را شامل طبقه B برای صنایع شیمیایی ، طبقه R برای صنایع پالایشی و طبقه C برای مصارف عمومی انتخاب کند. اگر این استاندارد در طراحی مورد نیاز نباشد در محاسبه طراحی مکانیکی ، از کد طراحی انتخاب شده جهت محاسبه طراحی مکانیکی استفاده می شود. از استاندارد API ۶۶۱ نیز ممکن است استفاده شود.

## • استاندارد مواد

طراح می تواند از یکی از استانداردهای ASTM ، AFNOR ، یا DIN استفاده کند.

## • استاندارد ابعاد

استانداردهای ابعاد شامل استاندارد آمریکایی ANSI ، استاندارد بین المللی ISO و استاندارد آلمانی DIN می باشد و برای مواردی نظیر ابعاد لوله ، درجه بندی فلنج نازل و اندازه های پیچ به کار می روند. استاندارد DIN علاوه بر موارد ذکر شده برای مواردی چون گام لوله نیز به کار می رود. اصولاً انتخاب استانداردهای ابعادی فقط برای تکمیل مشخصات کامل مبدل حرارتی است و تاثیر کمی بر طراحی حرارتی و مکانیکی دارد.

## • فشار طراحی

منظور از فشار طراحی فشاری است که در محاسبات طراحی مکانیکی به کار میرود و بر ضخامت پوسته ، کلگی ، صفحه لوله و در نتیجه بر طراحی حرارتی تاثیر می گذارد. در صورتی

که طراح مقداری را برای آن مشخص نکند ، نرم افزار فشار عملیاتی به اضافه ۱۰٪ را به صورت گرد شده برای فشار طراحی مد نظر قرار خواهد داد.

- دمای طراحی

منظور از دمای طراحی دمایی است که در محاسبات طراحی مکانیکی به کار می رود و بر ضخامت پوسته ، کلگی ، صفحه لوله و در نتیجه بر طراحی حرارتی تاثیر می گذارد. اگر طراح مقداری را تعیین نکند ، نرم افزار بالاترین دمای عملیاتی به علاوه  $33^{\circ}\text{C}$  به صورت گرد شده را فرض خواهد کرد.

- فشار طراحی خلاء

در صورتی که مبدل برای تبادل حرارتی در خلاء نسبتی طراحی گردد ، طراح باید مقداری را برای فشار مطلق طراحی مشخص کند. محاسبات اساسی طراحی مکانیکی فشار خارجی را در نظر نمی گیرند ، بنابراین این پارامتر تاثیری بر طراحی حرارتی ندارد.

- مقدار مجاز خوردگی

مقدار مجاز خوردگی شامل محاسبات ضخامت تمامی استوانه ها و ورقه های موجود در مبدل می گردد و تاثیر کمی بر طراحی حرارتی دارد. فرض نرم افزار برای این پارامتر مقدار mm ۳,۲ برای کربن استیل و مقدار صفر برای سایر آلیاژها است.



## تنظیمات برنامه ( Program Options )

بخش تنظیمات برنامه به دو بخش تقسیم می شود :

- تجزیه و تحلیل حرارتی
- کدهای تغییرات

## تجزیه و تحلیل حرارتی ( Thermal Analysis )

جزئیات برخی از آیتم های این شاخه به شرح زیر می باشد :

- ضریب انتقال حرارت

ضرایب انتقال حرارت اصلی ترین مقادیری هستند که طراح انتظار محاسبه آنها را از نرم افزار دارد. با این وجود در برخی موارد مثل شبیه سازی ممکن است طراح بخواهد مقدار دلخواه خود را وارد نماید تا نرم افزار از آنها استفاده نماید. طراح می تواند هیچکدام از مقادیر ، یکی از آنها و یا هر دو را تعیین کند.

- مقدار افزاینده برای ضریب انتقال حرارت

طراح می تواند ضریبی را که موجب افزایش ضریب فیلم شود، تعیین کند که این ضریب به وسیله نرم افزار محاسبه می شود. در صورتی که کاربر ترکیبی مثل tube inserts یا لوله های پره دار داخلی داشته باشد که نرم افزار آن را پوشش ندهد با وارد نمودن یک مقدار

ضریب افزایشده می توان محاسبات را اصلاح نمود. همچنین طراح می تواند برای برقراری ضریب ایمنی برای ضریب فیلم ، از ضریب کاهنده ( کمتر از یک ) استفاده کند که نشان دهنده این است که کاربر از ترکیبات و خواص جریان سیال مطمئن نبوده است.

- مقدار افزایشده برای افت فشار

مشابه ضرایب افزایشده انتقال حرارت ، طراح می تواند ضریبی را که افزایشده افت فشار محاسبه شده توسط نرم افزار وارد کند. افت فشار افزایشده تاثیری بر افت فشار ورودی و خروجی نازل ها و کلگی ندارد. این افزایشده ها می توانند به طور مستقل یا وابسته به افزایشده های ضریب فیلم به کار روند.

- اختلاف دمای میانگین

با وجود اینکه معمولاً نرم افزار اختلاف دمای میانگین را محاسبه کند طراح می تواند مقداری را برای آن تعیین کند.

- حداقل ضریب تصحیح مجاز اختلاف دمای میانگین

اکثر منحنی های ضریب تصحیح شیب خیلی تندی را در مقادیر زیر ۰,۷ دارند. بنابراین در حالت طراحی ، نرم افزار قبل از ورود به پوسته های چندتایی متوالی حداقل مقدار ۰,۷ را به عنوان ضریب تصحیح فرض می کند. در حالت ارزیابی مقدار این پارامتر ۰,۵ فرض می شود. با این پارامتر ورودی طراح میتواند مقدار بالاتر یا پایینتر را تعیین کند.

- حداقل دمای نزدیکی مجاز

طراح می تواند حداقل دمای نزدیکی سیالات را تعیین کند. نرم افزار در صورت نیاز تعداد پوسته های متوالی را متناسب با این مقدار افزایش می دهد.

- حداکثر شار گرمایی مجاز

در کاربردهای تبخیر ، محدود کردن شار انتقال گرما اغلب دارای اهمیت می باشد به طوری که از تولید سریع بخار زیاد ( که منجر به تشکیل فیلم بخار و کاهش سریع ضریب انتقال فیلم می شود) جلوگیری می کند. نرم افزار برای شار گرمایی محدودیت هایی دارد اما طراح نیز می تواند با تعیین مقداری برای این پارامتر ، محدودیت های خود را اعمال کند.

- جهت جریان برای مبدل یک بار گذر

در کاربردهای خاص اکونومايزر طراح می تواند هر دو حالت جریان متقابل و یا هم جهت را داشته باشد که توزیع نیروی محرکه بر مبنای آن به دست می آید.

- بیشترین تعداد تکرار حالت طراحی

نرم افزار در حالت طراحی تمام پارامترهای طراحی را مجدداً تکرار میکند تا به پایین ترین قیمت محصول دست یابد. طراح می تواند جهت بهینه سازی ، بیشترین تعداد تکرار را تنظیم کند.

- تلورانس حالت شبیه سازی

طراح باید خطای مجاز محاسبات را برای حالت شبیه سازی نرم افزار مشخص کند و باید توجه کند که خطای مجاز خیلی پایین ممکن است منجر به صرف زمان بیشتری برای محاسبه شود.

- تعداد بازه های محاسبه

نرم افزار برای طراحی مبدل حرارتی به بخش های کوچکتر تقسیم می کند و این پارامتر نشان دهنده تعداد این بازه ها است.

### کدهای تغییرات ( Change Codes )

برخی پارامترها در صفحات ورودی معین ، مقدار ورودی ندارند و فقط با استفاده از کدهای تغییر می توان آن ها را مشخص نمود. نحوه نگارش این کدها به صورت ( مقدار = CODE ) می باشد.

این کدها بعد از همه ورودی های دیگر پردازش می شوند و بر همه مقادیر قبلی ارجحیت دارند. به عنوان مثال اگر طراح قطر خارجی لوله را در صفحه ورودی معین ، ۲۰ میلیمتر تعیین کند و سپس مقدار کد تغییر (TODX=۲۵) را وارد نماید مقدار ۲۵ بر ۲۰ ارجحیت خواهد داشت. در صورتی که همان کد بیش از یکبار وارد شود ، آخرین مقدار اهمیت خواهد داشت.

یکی از مهمترین کاربردهای این برگه ، فراهم کردن یک مسیر تصویری از تغییرات گوناگونی است که طراح در طول اجرای نرم افزار ایجاد کرده است. بدین منظور توصیه می شود که طراح تغییرات را برای گزینه های مختلف یک طراحی خاص ، روی یک خط جدا انجام دهد. کاربرد مفید دیگر این برگه ، اتصال زنجیری به فایل دیگر که فقط شامل کدهای تغییر است ، می باشد. در صورتی که طراح یک سری طراحی استاندارد داشته باشد که بخواهد از آن در یک طراحی مشابه استفاده کند ، مناسب خواهد بود. طراح می تواند این کار را با استفاده از کد FILE که به دنبال اسم فایل مورد نظر می آید ، انجام دهد. فایل مذکور باید دارای پسوند BJI باشد. طراح می تواند با استفاده از یک برنامه ویرایش استاندارد ، این فایل کد تغییرات را ایجاد کند.

## نتایج ( Results )

نتایج اجرا و محاسبات نرم افزار به چهار قسمت اصلی تقسیم می شوند که عبارتند از :

- خلاصه وضعیت طراحی ( Design Summary )
- خلاصه وضعیت حرارتی ( Thermal Summary )
- خلاصه وضعیت مکانیکی ( Mechanical Summary )
- جزئیات محاسبه ( Calculation Details )

## خلاصه وضعیت طراحی

بخش خلاصه وضعیت طراحی به نوبه خود به چهار قسمت تقسیم می شود که عبارتند از :

الف) خلاصه داده های ورودی ( Input Summary )

ب) مسیر بهینه سازی ( Optimization Path )

ج) مرور طراحی ها ( Recap of Designs )

د) اخطارها و پیام ها ( Warnings & Messages )

### الف) خلاصه داده های ورودی

این بخش برای طراح خلاصه ای از اطلاعات مشخص شده در فایل ورودی را فراهم می کند. پیشنهاد می شود که طراح داده های ورودی را به عنوان بخشی از خروجی که برای سهولت در استفاده مجدد در طراحی به کار می رود ، پرینت کند.

### ب) مسیر بهینه سازی

این بخش از خروجی مربوط به قسمت استدلال نرم افزار است و بعضی از مبدل های حرارتی را که نرم افزار ارزیابی کرده است و سعی در ایجاد شرایطی برای طراحی رضایت بخش داشته ، نشان می دهد. این طرحی های میانی می تواند محدودیت هایی را که در کنترل طراحی وجود

دارند و همچنین پارامترهایی را که طراح می تواند جهت بهینه سازی بیشتر تغییر دهد ، نشان دهند.

برای کمک به طراح که بداند چه محدودیت هایی در حال کنترل طراحی هستند ، شرایطی که مشخصات مورد نظر طراح را تامین نمی کنند با یک ستاره (\*) در کنار مقدار مورد نظر نشان داده شده است. اگر مبدل سطح کمی داشته باشد، علامت ستاره در کنار طول مورد نیاز لوله و اگر از حداکثر مجاز تجاوز کند، در کنار افت فشار ظاهر می شود.

### ج) مرور طراحی ها

طراح در این مرحله شکل هندسی و کارایی همه طراحی ها را تا نقطه مورد نظر مرور می کند. این مقایسه دقیق به کاربر اجازه می دهد تا تاثیر تغییرات طراحی های مختلف را مشخص کند و بهترین مبدل را برای کاربرد مورد نظر انتخاب کند. فرض بر این است که این مرور همان خلاصه اطلاعات را که در بخش مسیر بهینه سازی نشان داده شده ، برای طراح فراهم می کند. طراح می تواند با گزینه Customize اطلاعاتی را که در این برگه نشان داده می شود تغییر دهد. طراح می تواند با مراجعه به فهرست Recap و انتخاب گزینه Select Case موردی را که می خواهد طراحی کند ، انتخاب نماید. نرم افزار نتایج طراحی را برای موردی که انتخاب شده مجدداً ایجاد می کند.

## د) اخطارها و پیام ها

در صورتی که نرم افزار مشکلات مستتر در طراحی پیدا کند ، این تذکرات ، محدودیت ها ، اخطارها و پیام های خطا در این بخش از خروجی نشان داده می شوند. این پیام ها در شرایطی اعلام می شوند که مشکلی به وجود آید ، البته نرم افزار به کار خود ادامه می دهد.

- پیام های هشدار : این پیام ها به بروز مشکلاتی اشاره می کنند که با وجود آن ها برنامه به کار خود ادامه خواهد داد.
- پیام خطا : این پیام نشان دهنده ایجاد شرایط غیرقابل قبول برای برنامه می باشد. در صورتی که پیام خطا داده شود ، نرم افزار اجازه ادامه کار خود را ندارد.
- پیام حد : بدین معنی است که شرایط طراحی خارج از محدوده تعریف شده برای برنامه می باشد
- پیام یادداشت ها : شرایطی است که برای یافتن طراحی و ارائه راهکار مناسب باید بدان توجه نمود برای مثال محدوده های سرعت مجاز سیال
- پیام پیشنهادی : در این پیام ها پیشنهادهایی برای بهبود طراحی داده می شود.



## خلاصه وضعیت حرارتی

این بخش محاسبات انتقال حرارت ، افت فشار و سطوح مورد نیاز را خلاصه می کند. برای اینکه طراح بتواند تصمیم ها لازم را برای طراحی حرارتی اتخاذ کند ، اطلاعات کافی برای او فراهم می شود.

بخش خلاصه وضعیت حرارتی به چهار قسمت زیر تقسیم می شود :

الف) عملکرد ( Performance )

ب) ضرایب و اختلاف دمای میانگین ( Coefficients & MTD )

ج) افت فشار ( Pressure Drop )

د) برگه TEMA (TEMA Sheet)

### الف) عملکرد

این بخش خلاصه ای از شرایط مورد نیاز فرآیند ، مقادیر اساسی انتقال حرارت و ضرایب انتقال حرارت را فراهم می کند. این بخش از نتایج به صورت دو برگه عملکرد عمومی و تحلیل مقاومت گرمایی می گردد که در اینجا به توضیح آن ها پرداخته می شود.

## • عملکرد عمومی

در این بخش سرعت های سیال به تفکیک گاز و مایعات ورودی و خروجی برای داخل و خارج لوله نشان داده می شوند. برای کاربردهای تغییر فاز ، دماهای ورودی و خروجی هر دو طرف مبدل همراه با دماهای نقطه شبنم و حباب داده میشود. در حالتی که در مبدل حرارتی تغییر فاز اتفاق می افتد ، ضرایب فیلم انتقال حرارت داخل و خارج لوله ، به صورت میانگین وزنی آنها گزارش می گردد. در کاربردهای تک فازی ، سرعت بر مبنای دانسیته میانگین می باشد. سرعت در کندانسورها بر مبنای شرایط ورودی و در تبخیرکننده ها بر مبنای شرایط خروجی است. پارامترهای کلی عملکرد مثل مقدار تبادل حرارت ، اختلاف دمای میانگین با هر ضریب تصحیح مورد قبول و سطح کلی موثر داده می شوند. در کاربردهای تغییر فاز چند جزئی ، میانگین وزنی اختلاف دمای میانگین بر پایه منحنی گرمایی محاسبه می گردد. ساختار مبدل که در خلاصه وضعیت تهیه می شود ، شامل : نوع TEMA ، مکان مبدل ، تعداد پوسته های موازی و متوالی ، اندازه مبدل ، تعداد لوله ها و قطر خارجی لوله ، نوع و برش بافل و تعداد گذرهای لوله می باشد.

## • تحلیل مقاومت گرمایی

این بخش به طراح اطلاعاتی می دهد تا به او در ارزیابی سطوح مورد نیاز در شرایط تمیز ، رسوب پیش بینی شده و بیشترین شرایط رسوب کمک کند. شرایط تمیز فرض می کند که هیچ رسوبی وجود ندارد و ضریب کلی شامل مقاومت رسوب نیست و با استفاده از این ضریب کلی تمیز ، سطوح توسعه یافته مورد نیاز برآورده گردد.

شرایط رسوب پیش بینی شده ، به طور مختصر ، عملکرد مبدل را با ضریب کلی بر اساس رسوب پیش بینی شده بیان می کند. نرم افزار در حالت بیشترین وضعیت رسوب دهی ، از فاکتورهای رسوب استفاده می کند و بسته به سطح موجود انتقال حرارت و افزایش آن ( اگر مبدل سطحی بیش از نیاز داشته باشد ) و یا کاهش آن ( اگر مبدل سطحی کمتر از نیاز داشته باشد ) مقدار حداکثر رسوب مجاز را محاسبه می کند. توزیع مقاومت کلی به طراح اجازه می دهد تا به راحتی مقاومت های حرارتی را ارزیابی کند. طراح باید به ستون Clean نگاه کند تا تعیین کند که کدام ضریب فیلم در حال محدود کردن است ، سپس باید به Spec.Foul نگاه کند تا تاثیر مقاومت های رسوب را ببیند. تفاوت بین سطح اضافی در وضعیت تمیز و وضعیت رسوب پیش بینی شده ، مقدار سطحی است که به دلیل حضور رسوب اضافه می شود. طراح باید عملی بودن مقاومت های رسوب مشخص را زمانی که آنها بخش وسیعی از سطح یعنی بیش از ۵۰٪ از سطح را اشغال می کنند ، ارزیابی کند.

## ب) ضرایب و اختلاف دمای میانگین

این بخش اجزای مختلف هر ضریب فیلم را نشان می دهد. بسته به کاربرد ، یک یا بیشتر ضرایب انتقال حرارت تبرید بخار داغ ، میعان ، ضریب انتقال حرارت گرمای محسوس بخار و مایع ، ضرایب جوشش و مایع سرد زیر اشباع نشان داده خواهد شد. عدد رینولدز به راحتی به طراح کمک می کند که نوع جریان را تعیین کند. ضریب بازدهی پره که در تصحیح مقاومت حرارتی فیلم و مقاومت رسوب داخل لوله به کار می رود. دمای میانگین فلز میانگین دماهای ورودی و خروجی خارج لوله است. این دما تابعی از ضریب فیلم هر دو طرف است و در طراحی

مکانیکی استفاده می شود. اختلاف دمای میانگین تصحیح شده برای کاربردهای بدون تغییر فاز حاصل ضرب میانگین لگاریتمی اختلاف دما در ضریب تصحیح است. برای کاربردهای تغییر فاز ، فرآیند به چند بازه تقسیم می شود و برای هریک از آنها ، یک اختلاف دمای میانگین تعیین می شود. اختلاف دمای میانگین کلی مبدل حرارتی ، بر اساس میانگین وزنی این بازه ها بر مبنای بار گرمایی محاسبه می شود.

شار گرمایی عبارت است از حرارت منتقل شده در واحد سطح که در کاربردهای جوشش که شار گرمایی بالا می تواند منجر به تشکیل پوشش بخار بین دیواره لوله و مایع شود ، اهمیت دارد. مقدار بیشترین شار گرمایی ورودی که طراح تعیین می کند بر شاری که نرم افزار محاسبه می کند ارجحیت دارد.

### ج) افت فشار

توزیع افت فشار یکی از مهمترین بخشهای خروجی است که باید مورد تحلیل قرار گیرد. طراح باید توجه کند که آیا افت فشار در جاهایی که انتقال حرارت ناچیزی وجود دارد ( مثل ورودی نازل ، ورودی دسته لوله ، در میان دسته لوله ، خروجی دسته لوله و خروجی نازل ) رخ می دهد یا نه. اگر در نازل افت فشار زیادی رخ دهد ، افزایش اندازه نازل باید لحاظ شود و در صورتی که ورودی و خروجی دسته لوله زیاد باشد ، افزایش سطح دسته لوله باید در نظر گرفته شود. نرم افزار افت فشار حالت رسوب دار را که در لوله با تخمین ضخامت برای رسوب که بر مبنای مقاومت طرف رسوب بوده و باعث کاهش سطح مقطع جریان میشود ، محاسبه می کند.

توزیع سرعت بین نازل ورودی و خروجی برای مراجعه طراح نشان داده می شود. برای کاربردهای دوفازی سرعت های جریان متقاطع ، بر مبنای بیشترین جریان بخار در میان بافل ها و یا لوله ها ، می باشد.

## خلاصه وضعیت مکانیکی

بخش خلاصه وضعیت مکانیکی به سه بخش تقسیم می شود :

الف) ابعاد مبدل ( Exchanger Dimensions )

ب) آنالیز ارتعاش و تشدید ( Vibration & Resonance Analysis )

ج) نقشه نصب و آرایش صفحه لوله ها ( Setting Plan & tubesheet Layout )

### الف) ابعاد مبدل

ابعاد پوسته ، کلگی جلویی ، نازل ، لوله ها و دسته لوله ها به طور خلاصه در این خروجی توضیح داده شده است. برخی از آیتم های این شاخه عبارتند از : قطر سیلندر ، نازل ها ، تعداد و طول لوله ها ، برش بافل

## ب) آنالیز ارتعاش و تشدید

ارتعاش لوله بر اثر جریان بر پوسته مبدل حرارتی می تواند باعث آسیب های جدی بر دسته لوله شود. این نکته حائز اهمیت است که با انجام تغییراتی در مراحل طراحی ، امکان وقوع ارتعاش را محدود کرد تا از آسیب های ارتعاش احتمالی جلوگیری شود. استاندارد TEMA شامل دو راه برای تحلیل ارتعاش می باشد که در برنامه های Hetran انجام می شود.

### ج) نقشه نصب و آرایش صفحه لوله ها

نقشه نصب یک ترسیم کلی از مبدل حرارتی ایجاد می کند که در آن نوع کلگی ها ، نوع فلنج ها ، موقعیت نازل ها و جایگاه واقعی بافل ها را در کنار نازل های ورودی و خروجی پوسته مشخص می شود.

نقشه آرایش لوله ها یک ترسیم کلی از چیدمان انتخاب شده لوله ها ایجاد می کند که در آن نازل های پوسته ، لوله ها ، صفحه نگهدارنده ، برش بافل ، مسیر گذرها ، آرایش لوله ، گام لوله و تعداد لوله در هر ردیف مشخص می شود. این نقشه برای فهمیدن و حل کردن مشکلات سرعت های بالا در ورودی و خروجی پوسته و دسته لوله مفید است.

## جزئیات محاسبه ( Calculation Details )

شاخه جزئیات محاسبه به شش بخش تقسیم می شود :

تحلیل بازه های داخل لوله ( Interval Analysis – Tube Side )

تحلیل بازه های داخل پوسته ( Interval Analysis – Shell Side )

منحنی تعادلی بخار- مایع طرف گرم ( VLE – Hot Side )

منحنی تعادلی بخار- مایع طرف سرد ( VLE – Cold Side )

حداکثر ارزیابی ( Maximum Rating )

حدود دمای خواص ( Property Temperature Limits )

### تحلیل بازه های داخل لوله / پوسته

بخش تحلیل بازه ها ، جدولی با مقادیر خواص مایع ، خواص بخار ، عملکرد ، ضرایب انتقال حرارت و بار گرمایی در محدوده دمایی بخش لوله را برای طراح فراهم می کند. این اطلاعات به صورت برگه هایی به شرح نشان داده خواهند شد :

- خواص مایع
- خواص بخار
- عملکرد
- ضریب انتقال حرارت- تک فازی

- ضریب انتقال حرارت- میعان
- ضریب انتقال حرارت - تبخیر
- بار گرمایی

### منحنی تعادلی بخار- مایع طرف گرم / سرد

در صورتی که نرم افزار Hetran منحنی گرما را تولید کرده باشد ، به تبع اطلاعات تعادلی بخار و مایع نیز فراهم خواهند شد. این بخش شامل نتایج زیر خواهد بود :

- تعادل بخار- مایع
- جزئیات میعان / تبخیر
- خواص بخار
- خواص مایع



## آشنایی با نرم افزار Aerotran

نرم افزار Aerotran نرم افزاری است که جهت طراحی ، ارزیابی و شبیه سازی مبدل های حرارتی که در آن جریان گاز عمود بر دسته ای از لوله ها عبور می کند ، طراحی شده است. انواع مبدل های هوایی که در نرم افزار Aerotran پوشش داده شده اند عبارتند از : کولرهای هوایی ، مبدل های اکونومایزر خروجی کوره ها و بخش جابجایی کوره ها. علاوه بر این نرم افزار اغلب کاربردهای صنعتی این نوع مبدل ها را شامل کندانسورها ، تبخیر کننده ها و مبدل های بدون تغییر فاز را پوشش می دهد. برای مبدل های حرارتی هوایی برنامه می تواند تعداد فن های مورد نیاز را برای حالت های جریان اجباری و القایی و در مورد انواع مختلف پره محاسبه نماید. در حالت کلی نرم افزار سه حالت اجرایی به شرح زیر دارد : طراحی ، ارزیابی ، شبیه سازی

در حالت طراحی برنامه برای مقدار انتقال حرارتی مشخص ، حداقل اندازه مبدل را با توجه به میزان انتقال حرارت ، افت فشار مجاز و سرعت های سیال بهینه سازی مینماید. همچنین نرم افزار طراحی دقیقی را با تمامی جزئیات در چندین مورد انجام می دهد. در این حالت مهندس طراح می تواند پارامترهای دبی جریان هوا و یا دمای سیال خروجی را به نحوی تغییر دهد که به نرم افزار اجازه دهد هزینه های عملیاتی و یا اندازه کولر بهینه گردد. زمانی که نرم افزار اجرا گردد مسیر بهینه سازی را نیز با جزئیات مشخص می کند که گزینه های بیشتری جهت طراحی مناسب در اختیار طراحی قرار گیرد. این گزینه ها ( یا به عبارت دیگر طراحی های

میانی ) تاثیر قيود را در کنترل بهینه سازی نشان می دهد و بیان می کند که کدام پارامترها جهت کاهش اندازه مبدل حرارتی بایستی اصلاح گردد.

در حالت ارزیابی کارایی یک کولر هوایی موجود با ابعاد و شرایط عملیاتی مشخص مورد بررسی قرار گیرد. برنامه در این حالت سطح انتقال حرارت موجود را مورد بررسی قرار می دهد که آیا کولر جوابگوی انتقال حرارت در شرایط عملیاتی جریان ورودی شرایط جریان های خروجی را پیش بینی نماید.

بطور کلی، AeroTRAN مجموعه گسترده ای از داده های پیش فرض طراحی دارد که کمک شایانی در کاهش حجم داده های ورودی در هنگام طراحی به طراح می نماید.

جهت انجام محاسبات پیچیده تبخیر و میعان که نیاز حیاتی به اطلاعات تعادل بخار- مایع وجود دارد ، طراح علاوه بر این که می تواند داده های تعادلی ، خواص فیزیکی دلخواه خود را در دماهای مختلف به نرم افزار دهد ، می تواند به سادگی از بانک اطلاعاتی نرم افزار استفاده نماید.

برنامه دارای روش ها و رویه های پایه طراحی مکانیکی بر اساس استاندارد API 661 می باشد و از این رو میتواند در تخمین هزینه کمک فراوانی به طراح نماید. با وجود این ، طراحی تفصیلی مکانیکی خارج از اهداف برنامه AeroTRAN قرار دارد.

## روش های طراحی نرم افزار Aerotran

در حالت طراحی ، نرم افزار پیکربندی را برای مبدل حرارتی جستجو می کند که شرایط مطلوب فرآیند را تامین کند. این نرم افزار تعدادی از پارامترهای هندسی را هنگام جستجو به طور خود کار تغییر می دهد. از آنجا که نرم افزار حاضر نمی تواند همه پیکر بندی های ممکن را به طور خودکار ارزیابی کند بنابراین نمی تواند منجر به بهینه سازی تمام عیاری شود ، اما طراح می تواند تغییراتی را در پیکربندی ایجاد کند که منجر به طراحی بهتری شود.

نرم افزار در جستجوی طراحی است که موارد زیر را تامین کند :

- سطح کافی برای انتقال حرارت مورد نیاز
- افت فشار در محدوده مجاز
- اندازه فیزیکی قابل قبول
- سرعت های قابل قبول سیال
- عملی بودن ساخت مکانیکی

علاوه بر همه مطالب ذکر شده ، نرم افزار می تواند هزینه هر طراحی را تخمین بزند که البته هزینه بر استدلال نرم افزار در بهینه سازی تاثیری ندارد. بیش از ۳۰ پارامتر مکانیکی وجود دارند که به طور مستقیم یا غیر مستقیم بر بازده حرارتی مبدل تاثیر می گذارند که برای نرم افزار ارزیابی همه ترکیبات این پارامترها عملی نیست. بنابراین نرم افزار فقط تعدادی از

پارامترها را که نسبتاً مستقل از فرآیند ، عملیات ، نگه داری یا در نظر گرفتن طرز ساخت هستند ، به طور خودکار تغییر می دهد.

پارامترهایی که به طور خودکار بهینه می شوند عبارتند از : عرض باندل ، تعداد ردیف های لوله ، باندل ها در واحدهای سری و موازی ، طول لوله ها ، تعداد گذرهای لوله ، تعداد لوله ها و تعداد فن.

سایر پارامترها را مهندس طراح باید بر مبنای دید صحیح مهندسی بهینه سازی کند. برخی از مهمترین پارامترها عبارتند از : قطر خارجی لوله ، نوع پره ، جنس مواد ، گام لوله ، ابعاد پره ، اندازه های نازل ، نوع لوله ، دانسیته پره ، شرایط لازم برای فن ، ضخامت دیواره لوله ، جهت گیری مبذل ، آرایش لوله ها و نوع صفحه لوله.

## آشنایی با نرم افزار Teams

برنامه Aspen Teams ، مجموعه کامل و جامعی از برنامه های کامپیوتری برای طراحی مکانیکی و ارزیابی مبدل های پوسته و لوله و مخازن تحت فشار پایه می باشد.

در حالت طراحی ، این برنامه ابعاد مطلوبی برای همه اجزا بر اساس ویژگی های طراحی تعیین می کند.

در حالت ارزیابی ، برنامه ابعاد مشخص هر یک از اجزا را برای مطابقت با کدهای کاربردی و استانداردها بر اساس شرایط طراحی کنترل می کند.

برنامه علاوه بر محاسبه طراحی مکانیکی ، تخمینی از جزئیات هزینه ها ، صورت حساب کاملی از مواد و ترسیمات جزئیات را از طریق ابزارهای متعدد گرافیکی نشان می دهد.

Aspen Teams ، میزان گسترده ای از جایگزین های ساختاری را پوشش می دهد از جمله تمام انواع کلگی ها، فلنج ها، نازل ها و اتصالات انبساط. این برنامه ها با همه مفاد استاندارد انجمن تولید کنندگان مبدل های حرارتی لوله ای ( TEMA ) و سایر کدهای طراحی مکانیکی مطابقت دارد. نسخه های موجود با ASME ( کد آمریکایی ) ، CODAP ( کد فرانسوی ) و AD Merkblatter ( کد آلمانی ) هماهنگی دارند. این برنامه ها به طور مرتب همزمان با اصلاحات و ضمائم صادر شده توسط TEMA و مجریان کد به روز درآورده می شوند.

طراح می تواند همه اجزا را در یک برنامه طراحی کند ، به طوریکه برنامه تاثیر متقابل عناصر متعدد را مورد توجه قرار دهد و یا اینکه اگر مایل است میتواند هر برنامه را به طور جداگانه طراحی نماید. هر بخش می تواند با ویژگی مخصوص به خودش طراحی شود.

این برنامه طراحی فلنج ها ، تقویت نازل ها و اتصالات انبساط را بهینه سازی می کند. و به طور اتوماتیک امکانات متعددی را تست کرده و بهترین طرح را بر اساس اولویت های ویژه کاری و هزینه های مواد انتخاب می کند.

برنامه Teams درجه بالایی از انعطاف پذیری برای جاگذاری نازل ها ، کوپلینگ ها ، نگه دارنده های پوسته ، اتصالات انبساط ، دسته بالابر ارائه می دهد و نیز کنترل جامعی برای ناسازگاری میان اتصالات ارائه می دهد.

برنامه Teams محاسبات فشارهای داخلی و خارجی را انجام می دهد و خلاصه ای از حداقل ضخامت برای فشار خارجی مفروض ، حداکثر فشار خارجی برای ضخامت واقعی ، یا حداکثر اندازه برای فشار خارجی معین و ضخامت واقعی را ارائه می دهد.

برنامه به طور اتوماتیک به بانک اطلاعاتی ذخیره شده خصوصیات مواد دسترسی دارد ، از جمله : چگالی ، فشار مجاز ، مدول الاستیسیته ، ضریب انبساط حرارتی ، رسانایی حرارتی و ضخامت ماکزیمم.

بانک های اطلاعاتی در دسترس ASTM ( آمریکایی ) ، AFNOR ( فرانسوی ) و DIN ( آلمانی ) می باشند. هم چنین طراح می تواند بانک اطلاعاتی شخصی خود را از مواد بسازد تا بتواند از آن در ارتباط با بانک های اطلاعاتی استاندارد استفاده کند. طراح می تواند این کار را با استفاده از برنامه بانک اطلاعاتی Primetals انجام دهد.

بسیاری از مواد مهم و استانداردهای طراحی نیز به صورت ذخیره شده است ، مانند : برنامه استاندارد لوله بر اساس استانداردهای ANSI ، ISO و DIN و طراحی های استاندارد فلنج بر اساس استانداردهای ANSI ، API و DIN.

Teams ، همچنین از چند پایگاه داده استفاده می کند که به طور اتوماتیک در خلال اجرای برنامه در دسترس می باشد. شامل : هزینه های مواد ، استانداردهای مواد ( به عنوان مثال شیوه های خرید ، عوامل تکمیلی ) ، استانداردهای ساخت ( به عنوان مثال حداکثر ابعاد غلتک ، مراحل استحکام نازل ، هزینه های کار ) ، ارتباط روش ها برای هر بخش از راه طبقه بندی مواد ، عوامل موثر بر کار برای هر نوع کاربردی.

طراح می تواند پایگاه داده را برای منعکس کردن طراحی شرکت و استانداردهای ساخت و هزینه های مواد اصلاح کند. برای انجام این تغییرات می تواند از برنامه Newcost استفاده کند.

دو سطح ترسیمی از برنامه Teams وجود دارد که ترسیمات طراحی ( شامل نقشه نصب ، ترسیم مقطعی ، آرایش دسته لوله و صفحه لوله ) و ترسیمات ساخت ( شامل ترسیمات جزئیات برای همه اجزا ) می باشد.

Teams حق انتخاب های زیادی برای ایجاد ترسیمات خود پیشنهاد می کند. استفاده از برنامه ترسیم ، از نمایشگرهای متعدد، پلاترها و پرینترهای لیزری پشتیبانی کرده و همچنین می تواند با بسیاری از برنامه های CAD و فایل های مشترک DXF یا IGES ارتباط داشته باشد.

## برنامه Props

Props برنامه ای است که خصوصیات فیزیکی شیمیایی از سه منبع ممکن را مورد ارزیابی قرار می دهد :

- بانک اطلاعاتی Aspen B-jac
- بانک اطلاعات شخصی طراح ، ساخته شده توسط برنامه Priprops
- Aspen properties plus ( تنها در صورت ایجاد منحنی تعادلی بخار- مایع می تواند در دسترس باشد )

طراح می تواند از این برنامه به عنوان یک برنامه مستقل برای نشان دادن یا پرینت خصوصیات یک جزء و یا ترکیب چند جزئی ، استفاده کند. طراح می تواند خصوصیات وابسته به دما را در یک نقطه دمای مشخص یا حتی تعدادی از دماها با استفاده از فواصل دمایی مشخص ، درخواست کند و همچنین می تواند درخواست کند منحنی تعادلی بخار- مایع نمایش داده شود.

طراح همچنین به طور مستقیم به بانک های اطلاعاتی سایر برنامه های Aspen B-jac مانند Hetran و Aerotran دسترسی دارد. همین منوال مورد استفاده در props در هریک از این برنامه ها وجود دارد.



بانک اطلاعاتی استاندارد B-jac شامل بیش از ۱۵۰۰ مورد مواد شیمیایی خالص و مرکب است که در فرآیند شیمیایی ، نفت خام ( پترولیوم ) و سایر صنایع مورد استفاده قرار می گیرد. طراح می تواند هر جزء را یا با اسم کامل یا با فرمول شیمیایی آن بازیابی کند. اکثر اجزاء با خصوصیات مایع و گاز ذخیره شده اند ، گرچه برخی با خصوصیات فقط مایع و مابقی با خصوصیات فقط گاز ذخیره شده اند. هر خصوصیت وابسته به دما برای هر جزء ، میزان دمایی دارد که به آن مرتبط است. طراح زمانی که سعی کند به خصوصیتی دسترسی داشته باشد که از میزان دمای ذخیره شده خارج باشد با اخطار روبرو خواهد شد. به عنوان یک انتخاب ، طراح می تواند بانک اطلاعاتی شخصی با استفاده از برنامه Aspen B-jac به نام Priprops بسازد. این برنامه به وی اجازه می دهد که داده هایش را در بانک اطلاعاتی تحت نام مخصوص خود ذخیره کند و می تواند هر جزء را در بانک اطلاعات شخصی خود با آن هایی که در بانک اطلاعاتی B-jac موجود است ، ترکیب نماید.

## برنامه Qchex

برنامه Qchex ، هزینه بودجه برای مبدل های پوسته و لوله را محاسبه می کند. این تنها نسخه مستقل از روش های تخمین هزینه است که در برنامه طراحی حرارتی Aspen Hetran ساخته شده است.

این روش های تخمین هزینه زیر مجموعه ای از روش های تخمین هزینه هستند که قسمتی از برنامه Teams ، تخمین هزینه جزئیات و ترسیمات مبدل پوسته و لوله می باشند. در حالیکه Teams طراحی مکانیکی کاملی را انجام داده و ساخت هر جزء را شبیه سازی می کند ، Qchex تنها طراحی مکانیکی جزئی را انجام داده و ضخامت برخی از اجزاء را تخمین می زند. این برنامه ساخت برخی از اجزاء را شبیه سازی کرده در حالیکه بیشتر از همبستگی عملی برای دیگر اجزاء استفاده می کند.

برنامه Qchex از پایگاه داده هزینه های مواد و استانداردهای ساخت استفاده می کند. این همان پایگاه داده ای است که برنامه Teams از آن استفاده می کند. پایگاه داده می تواند با Cost option تغییر کند.

دقت تخمین های بدست آمده از برنامه Qchex بستگی به عوامل زیادی دارد ، از جمله : جزئیاتی که مبدل حرارتی در آن تعیین شده ، میزان مواد مورد نیاز ، انحراف از استاندارد ساخت ، نیازمندی به حداکثر شرایط طراحی ، استفاده از مواد مطلوب ( آلیاژهای با کیفیت ) ، درجه رقابت ، کشور یا منطقه ای که مبدل حرارتی خریداری شده یا نصب شده است.

اگر طراح به هر دو برنامه Qchex و Teams دسترسی دارد ، می تواند بر اساس معیارهای زیر از برنامه مناسب استفاده کند :

#### استفاده از Teams

زمانیکه به هزینه دقیق نیاز دارد

زمانیکه می خواهد جزئیات دقیق را بداند

زمانیکه طراحی مکانیکی دقیق مورد نیاز است

زمانیکه به جزئیات لیست مواد و کار نیاز است

#### استفاده از Qchex

زمانیکه به هزینه بودجه نیاز دارد

زمانیکه از ترکیب دقیق شناخت نسبتا کمی دارد

زمانیکه طراحی مکانیکی کلی کافی است

زمانیکه نیاز به جزئیات کار و مواد ندارد

## برنامه Ensea

Ensea ، برنامه ای است که محل حفره ها و مجراهای لوله بروی صفحه لوله مبدل حرارتی پوسته و لوله را طراحی می کند. این برنامه عملاً همه اندازه ها و چیدمان های مورد نیاز در صنعت مبدل های حرارتی را پوشش می دهد. برنامه علاوه بر تعیین محل حفره ها ، مکان برش های بافل و تعداد مناسب tie rod ها را تعیین می کند.

این برنامه سه روش بهینه سازی دارد که عبارتند از :

- حداکثر سازی تعداد لوله ها برای قطر پوسته مشخص
- بهینه سازی چیدمان برای قطر پوسته مشخص و تعداد لوله ها
- حداقل سازی قطر پوسته برای تعداد مشخصی از لوله ها

این چیدمان می تواند از بالا به پایین متقارن یا نامتقارن باشد ، که همیشه از راست به چپ متقارن است. برای چیدمان های چندگذر ، این برنامه روش بهینه پیشرفته ای دارد که پارتیشن های عبوری را حرکت می دهد تا تعداد لوله ها را به حداکثر برساند در حالیکه به طور منطقی تعداد لوله ها را در هر عبور متعادل نگاه می دارد.

برنامه Ensea توانایی های زیادی برای چیدمان لوله های U شکل دارد. برنامه جدول خمیدگی U را تعیین می کند و تعداد و طول هر لوله U شکل را نشان می دهد و طول کلی همه لوله ها را محاسبه می کند.

بخش های مناسب استاندارد TEMA در برنامه ساخته شده است تا مقدار های پیش فرض را برای مرتب سازی فراهم کند. پیش فرض ها در صورت تمایل می توانند باطل شوند. به عنوان بخشی از خروجی برنامه Ensea ، طراح می تواند ترسیمی از چیدمان صفحه لوله را ایجاد کند که بتواند به ابزارهای گرافیکی متعدد و سیستم های کد ( CAD ) قابل ارسال باشد.

برنامه Ensea همچنین امکان تغییر تعداد ردیف لوله ها و تعداد لوله ها در هر ردیف را فراهم می کند و یا اینکه اگر آرایش صفحه لوله موجود است می توان آرایش را دوباره انجام داده و با مشخص کردن داده ردیف لوله ، ترسیم را انجام داد.

برنامه Ensea، محتوی همان روشهای آرایش صفحه لوله است که در برنامه طراحی حرارتی Hetran، و برنامه طراحی مکانیکی Teams، مورد استفاده قرار میگیرد. بنابراین آرایش صفحه لوله که توسط برنامه Ensea تعیین شده است ، با تعداد لوله مورد استفاده در برنامه Hetran که در حالت طراحی به کار میرود هماهنگی دارد .

## برنامه Metals

Metals، برنامه ای است که خواص مواد مورد استفاده در ساخت مخازن تحت فشار را بازبینی می کند. این برنامه شامل حیطه گسترده ای از فلزات خالص و آلیاژها به اشکال بسیار متفاوت ( به عنوان مثال، لوله ، صفحه ، قطعه کوره ای ) می باشد. همچنین شامل مواد غیر فلزی به فرم واکش نیز می باشد.

برنامه Metals به بانک اطلاعاتی مواد دسترسی دارد . این همان بانک اطلاعاتی است که از برنامه طراحی مکانیکی Teams، و برنامه طراحی حرارتی Hetran و Aerotran به دست آمده است. بانک اطلاعات بر اساس استاندارد مواد یا کشور اصلی ، به چند بخش تقسیم شده است ، برای مثال : ASTM برای مواد آمریکایی ، AFNOR برای مواد فرانسوی ، DIN برای مواد آلمانی. طراح می توان با استفاده از چهارم رقم معرف ماده B-jac ، مشخص کند که چه ماده ای را نیاز دارد. همچنین دو رقم کلی معرف ماده وجود دارد که می تواند از آنها در برنامه های Hetran، Aerotran و Teams استفاده کند. این معرفهای کلی ماده ، ماده کلی را ( به عنوان مثال استیل کربن ) ، به جای طبقه مشخصی از مواد معرفی میکنند . این برنامه تصمیم میگیرد که کدام ماده مخصوص با ویژگیهایی بر اساس اندازه و نوع ماده مورد استفاده قرار گیرد. طراح میتواند تعیین کند که از چه مواد بخصوصی برای وظایف کل ماده با استفاده از پایگاه داده Defmats استفاده کند.

داده های وابسته به دما ( به عنوان مثال فشار مجاز ) به شکل ویژگی های داده مطابق با داده مفروض در منبع، ذخیره شده است. برای دماهای داده های ذخیره شده ، برنامه وارد عمل می شود و برای دماهای خارج از داده های ذخیره شده ، برنامه به مقدار صفر برخورد گشت.

بانک اطلاعات همچنین شامل اطلاعات هزینه می باشد که بر اساس قیمت هر واحد وزنی ذخیره شده است ( به عنوان مثال  $\$/b$  یا  $\$/kg$  )، به جز لوله که بر اساس قیمت هر واحد طولی ذخیره شده است ( به عنوان مثال  $\$/ft$  یا  $\$/m$  ) برای ۱۹,۰۵ میلی متر قطر خارجی ، ۱,۶۵ میلی متر ضخامت لوله. می توان با استفاده از پایگاه داده هزینه ، اطلاعات هزینه را تغییر داد.

برنامه Metals ، خواص وابسته به دما در محدوده دمایی که طراح در ورودی تعیین می کند را بازبینی می کند. طراح همچنین می تواند از برنامه Metals برای جستجوی نام ماده یا رقم مشخص ( به عنوان مثال SA-۲۴۰ ) استفاده کند و اگر از ماده ای استفاده می کند که در بانک اطلاعاتی استاندارد B-jac ، موجود نیست ، می تواند بانک اطلاعاتی شخصی خود را با برنامه Primetals بسازد.

## برنامه Primetal

Primetal، برنامه ای است که به طراح اجازه می دهد تا بانک اطلاعاتی مواد خود را ایجاد کند که تکمیل کننده مواد موجود در بانک اطلاعاتی برنامه Metals است.

مواد می توانند به شکل صفحه ، لوله ، قطعه کوره ای ، کوپلینگ ، پیچ و واشر باشند . زمانیکه طراح نام ماده را تعیین می کند و خصوصیات ماده را ذخیره می نماید ، می تواند نام ماده جدید را در هریک از برنامه های Aspen B-jac ، که نامهای مواد مشخص در آن مجاز است ، استفاده کند.

برنامه Primetal عملکردهای زیر را ارائه می دهد :

- اضافه کردن ماده
- اصلاح کردن خصوصیات ماده
- حذف ماده
- نمایش و یا پرینت لیست مواد
- نمایش و یا پرینت خصوصیات مواد

این برنامه نیاز به فایل اطلاعاتی ورودی ندارد ، به این دلیل که تمامی داده ها در بانک اطلاعاتی ذخیره شده است. طراح داده های ورودی را مستقیماً در برنامه Primetal در زمان استفاده، مشخص می کند. اطلاعات ورودی می تواند در هر یک از واحدهای SI ، US و یا متریک مشخص شوند و به سه دسته تقسیم می شوند : اسامی ، ویژگیهای ثابت ، ویژگیهای وابسته به دما



اسامی عبارتند از :

- اسم کامل ( تا ۷۸ حرف )
- اسم کوتاه ( تا ۳۹ حرف ) برای خروجی طراحی مکانیکی
- نام بسیار کوتاه ( تا ۲۴ حرف ) برای لیست مواد

ویژگیهای ثابت شامل :

- کلاس و نوع ماده
- قیمت و رواج
- تعداد ماده معادل برای لوله ، صفحه ، قطعه کوره ای ، کوپلینگ
- چگالی
- حداقل ضخامت
- تعداد پی و تعداد گروه
- جدول فشار خارجی
- حداقل کشش
- ماکزیمم ضخامت برای مصونیت از اشعه ایکس
- ضریب پواسون
- حداقل و حداکثر قطر معتبر

ویژگیهای وابسته حرارتی شامل :

- رسانایی حرارتی
- فشار مجاز
- ضریب انبساط حرارتی
- مدول الاستیسیته
- شدت فشار
- مقاومت کششی

## برنامه Newcost

Newcost، برنامه نگاهدارنده پایگاه داده است که برای اصلاح و پرینت لیست فایلهای هزینه کار و مواد در ارتباط با برنامه های Aspen B-jac طراحی شده است که تخمین هزینه را نشان می دهد.

B-jac، یک پایگاه داده استاندارد برای هر یک از نسخه های برنامه فراهم می کند. زمانیکه طراح تغییری در پایگاه داده می دهد ، تغییرات وی همه مقادیر موجود در پایگاه داده استاندارد را باطل می کند.

برای شروع کار در پایگاه داده Newcost ، ابتدا طراح باید شاخه کاری خود را به جایی که می خواهد پایگاه داده تغییر یافته در آن مستقر شود ، تغییر دهد. این می تواند همان شاخه برنامه های Aspen B- یا سایر زیر شاخه های کاربر باشد. طراح وقتی با استفاده از برنامه Newcost، تغییری انجام می دهد ، تغییرات همواره در شاخه جاری وی ذخیره می شود. بدین ترتیب می تواند پایگاههای داده جداگانه ای بر شاخه های مختلف بسازد ، که نیازمندیهای هزینه ای متفاوت برای طرح ها و پیشنهادات متفاوت را انعکاس دهد.

برنامه Newcost امکان دسترسی به ۶ پایگاه داده متفاوت را می دهد . که عبارتند از :

۱. هزینه کلی و تطبیق کاری
۲. استانداردهای ساخت و اجرایی
۳. استانداردهای مواد وابسته به ساخت
۴. استانداردهای جوشکاری
۵. عوامل موثر کار
۶. هزینه های مواد

## منابع و مواخذ

۱- طراحی مبدل های صنعتی با ASPEN B-JAC  
نویسندگان : مهندس غلامرضا باغمیشه ، مهندس معصومه مراد زاده ، مهندس رضا درستی ،  
مهندس سید مهدی هدایت زاده

۲- طراحی مبدل های حرارتی با ASPEN HHFS +  
تالیف : مهندس ابوالفضل جاوونی

۳- مبادله کن های گرما  
تالیف : Sadik Kakac , Hongtan Liu  
ترجمه : دکتر سپهر صنایع

۴- Fundamentals of Heat Exchanger Design  
تالیف : Ramesh K.Shah , Dusan P.Sekulic

۵- Heat Exchanger Design Handbook  
تالیف : E U Schlunder

۶- سایت باشگاه مهندسان ایران [www.iran\\_eng.com](http://www.iran_eng.com)

۷- سایت انجمن علمی تامین مقالات رایگان [www.gigapaper.com](http://www.gigapaper.com)

۸- سایت مرجع متخصصین ایران [www.irexpert.ir](http://www.irexpert.ir)