

اصول طراحی نیروگاه سیکل ساده و ترکیبی با نرم افزار

tf **Thermoflow**

علی رفیعی سفید دشتی



PTEC

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

سرشناسه	: رفیعی سفیددشتی، علی، ۱۳۶۲ -
عنوان و نام پدیدآور	: اصول طراحی نیروگاه سیکل ساده و ترکیبی با نرم افزار ترموفلو - نرم افزارهای GT Pro و GT Master
مشخصات نشر	: تهران: الیاس، ۱۳۹۵ .
مشخصات ظاهری	: ۳۹۶ ص: مصور ، جدول ، نمودار .
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۵۷۲۷-۳۳-۳
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: این کتاب با حمایت مالی شرکت خدمات مهندسی و آموزشی پیتک (پرداد پترو دانش) منتشر شده است .
موضوع	: نرم افزار ترموفلو
موضوع	: -Thermoflow (Computer software)
موضوع	: نیروگاه های گازی -- طرح و ساختمان -- نرم افزار
موضوع	: Gas power plants -- Design and construction -- Software
موضوع	: نیروگاه های سیکل ترکیبی -- طرح و ساختمان -- نرم افزار
موضوع	: Combined cycle power plants -- Design and construction -- Software
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۵ ۶ الف ۷ / TJ۷۶۸
رده بندی دیویی	: ۷۷/۶۶۵
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۴۶۹۸۵۴



این کتاب با حمایت مالی شرکت خدمات مهندسی و آموزشی پیتک (پرداد پترو دانش) به انتشار رسیده است.

نام کتاب: اصول طراحی نیروگاه سیکل ساده و ترکیبی با نرم افزار ترموفلو - نرم افزارهای GT Pro و GT Master

نویسنده: علی رفیعی سفید دشتی

ناشر: الیاس

طراح جلد: فرزانه قائدی

چاپ: مرکز چاپ پیتک

نوبت چاپ: اول - پاییز ۱۳۹۵

تیراژ: ۵۰۰ نسخه

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۷۲۷-۳۳-۳

قیمت: ۴۴۰۰۰ تومان

هرگونه حق چاپ و تکثیر، برای نویسنده و شرکت خدمات مهندسی پیتک محفوظ است.

تقدیم به:

پدر و مادر بزرگواری که در تمام مراحل زندگی همواره
پشتیبانی محکم و یآوری دلسوز برایم بوده‌اند.

و

همسر مهربانم که مشوق من در نگارش این کتاب بوده و
محیطی سرشار از آرامش و آسایش برایم فراهم آورد.

و

دختر عزیزم که نشانه لطف الهی در زندگی من است.

پیشگفتار:

از زمان تولد توربینهای گازی امروزی در مقایسه با سایر تجهیزات تولید قدرت، زمان زیادی نمی‌گذرد. با این وجود از اوایل دهه ۱۹۹۰ توربین‌های گازی بخش مهمی از فرآیند تولید قدرت در سراسر جهان را تشکیل می‌دهد. امروزه به فناوری توربینهای گازی تکنولوژی مادر گفته می‌شود و کشوری که بتواند توربینهای گازی را طراحی کرده و بسازد هر چیز دیگری را هم می‌تواند تولید کند. توربین گاز، می‌تواند به صورت سیکل ساده (Single Cycle) و یا سیکل ترکیبی (Combined Cycle) برای تولید انرژی الکتریکی استفاده شود. در ایران ظرفیت نامی نیروگاه‌های سیکل ساده و سیکل ترکیبی نصب شده تا پایان سال ۹۳ به ترتیب در حدود ۳۶٪ و ۲۵٪ بوده است و ظرفیت مابقی را عمدتاً نیروگاه‌های بخاری (۲۲٪) و برق آبی (۱۵٪) به خود اختصاص داده‌اند. از این جهت می‌توان به وضوح به اهمیت نیروگاه‌های گازی و سیکل ترکیبی در ایران پی برد.

طراحی یک نیروگاه کار پیچیده و زمانبری می‌باشد که نیازمند متخصصان با تجربه‌ای در زمینه‌های مختلف از قبیل مکانیک، برق، عمران، شیمی، متالورژی، کنترل و غیره می‌باشد. از اینرو لازم است متخصصانی که در زمینه طراحی نیروگاه فعالیت می‌کنند تا حدی با تخصص‌های مختلف آشنا بوده و با همکاری بسیار نزدیکی با دیگر متخصصان داشته باشند. فرآیند طراحی یک نیروگاه با انتخاب محل یا سایت احداث نیروگاه آغاز می‌شود که در این مرحله با توجه به شرایط محیطی، منابع موجود، نیازهای مشتری نیاز به انجام یک آنالیز فنی - اقتصادی می‌باشد. امروزه با توجه به پارامترهای زیادی که در طراحی هر نیروگاه می‌بایست در نظر گرفته از برنامه‌های کامپیوتری برای طراحی و انتخاب بهینه پارامترهای مختلف یک نیروگاه بهره برده می‌شود. این نرم‌افزارها به متخصصان کمک می‌کنند تا قبل از ساخت یک نیروگاه تخمین نسبتاً صحیحی از عملکرد یک نیروگاه داشته باشند. اگرچه این نرم‌افزارها زمان محاسبات را به شدت کاهش می‌دهند اما لازم است تا کاربران نیز اطلاعات جامعی نسبت به تمام اجزای یک نیروگاه، شرایط کارکرد و پارامترهای طراحی تجهیزات و سیکل یک نیروگاه داشته باشند.

یکی از معروفترین و کاربردی‌ترین نرم‌افزارهای موجود در صنعت طراحی نیروگاه از سال ۱۹۸۷ نرم‌افزار ترموفلو (Thermoflow) می‌باشد که امروزه در بسیاری از شرکت‌های بزرگ ساخت نیروگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نرم‌افزار نه تنها قابلیت انجام محاسبات فنی - اقتصادی را برای انواع نیروگاه را داراست بلکه با استفاده از مقادیر پیش‌فرض مناسب زمان طراحی و مدلسازی یک نیروگاه را بسیار کاهش داده و کاربر می‌تواند در کوتاهترین زمان به تخمین نسبتاً صحیحی از عملکرد یک نیروگاه در شرایط مختلف دست یابد.

این کتاب مروری مختصر بر مبانی طراحی اولیه نیروگاه‌های گازی و سیکل ترکیبی با استفاده از نرم‌افزار ترموفلو می‌باشد که در حد بضاعت علمی نویسنده تهیه شده و علیرغم کوششی که در رفع اشکالات احتمالی به عمل آمده بدون نقص نمی‌باشد. در نگارش این کتاب نویسنده سعی نموده تا تنها ترجمه‌ای از متون آموزشی نرم‌افزار مربوطه نباشد و همراه با فصل‌ها و توضیحات اضافه در کنار مثال‌های مختلف برای متخصصان، دانشجویان و علاقه‌مندان به طراحی نیروگاه و تجهیزات آن مفید واقع شود. پیشاپیش از همه خوانندگان و صاحب نظران محترم که با بیان تصحیحات و پیشنهادات خود راهنمای اینجانب خواهند بود تشکر کرده و از همکاری تمام دوستان و همکاران در شرکت مهندسی و ساخت توربین مینا (توگا) سپاسگزاری می‌نمایم.

علی رفیعی سفید دشتی

Rafiee.ali@gmail.com

۹۵/۰۳/۰۳

www.Thermoflow.ir

دپارتمان مهندسی نیروگاه پیتیک

شرکت خدمات مهندسی و آموزشی پیتیک (پرداز پترو دانش) از سال ۱۳۸۸ توسط، جمعی از کارشناسان صنایع نیروگاه و نفت و گاز کشور تاسیس گردید. از همان ابتدا، ارائه خدمات و آموزش‌های تخصصی نیروگاه، جز اهداف اصلی شرکت قرار گرفت. در این مسیر، اولین مجموعه جامع دوره‌های تخصصی نیروگاه تدوین گردید. این مجموعه در حال حاضر، شامل بیش از ۶۵۰ دوره تخصصی، در حوزه‌های طراحی، ساخت، تعمیرات و بهره‌برداری از نیروگاه است و بیش از ۳۵ شرکت معتبر نیروگاهی از خدمات تخصصی پیتیک در زمینه مهندسی نیروگاه بهره‌برده‌اند. شرکت پیتیک در حال حاضر، توانایی آن را دارد که کلیه دوره‌های مورد نیاز شرکت‌های طراحی، مشاور، سازنده، بهره‌بردار و تعمیرات نیروگاهی را در سطوح مختلف، تدوین و اجرا کند. در حال حاضر، برخی از نیروگاه‌های کشور، کلیه آموزش‌های بدو استخدام و ارتقا حین خدمت خود را به پیتیک واگذار نموده و برخی دیگر نیز، به صورت مداوم از خدمات آموزشی پیتیک، استفاده می‌کنند. همچنین برگزاری دوره‌های عمومی و تخصصی نیروگاه در سطوح ابتدایی و پیشرفته بسیاری از شرکت‌های مشاور و پیمانکار معتبر نیروگاهی کشور، بر عهده پیتیک است. در صفحات انتهایی کتاب، لیستی از برخی از دوره‌های برگزار شده توسط پیتیک در بخش‌های مختلف این صنعت، از سال ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۴ ارائه شده است. شرکت‌ها و مسئولین آموزش، می‌توانند برای اطلاع از لیست کامل دوره‌های نیروگاهی پیتیک، با مرکز آموزش شرکت، تماس حاصل نمایند.

همچنین پیتیک از ابتدا به ارائه خدمات مهندسی نیروگاه نیز پرداخته است که در حال حاضر برخی از شرکت‌ها و نیروگاه‌های کشور از خدمات مشاوره و مهندسی شرکت بهره می‌برند.

علاوه بر آن، با توجه به ارتباط موثر و گسترده پیتیک، با کارشنان و مدرسان مجرب نیروگاهی سراسر کشور، بخش نشر کتب نیروگاهی پیتیک نیز از سال ۱۳۹۴ شروع به فعالیت نموده و تاکنون ۷ عنوان کتاب منتشر نموده که ۵ عنوان آن، مرتبط با صنعت نیروگاه است.

افقی پیش روی مدیران و همکاران پیتیک، گسترش کلیه فعالیت‌های آموزشی، مشاوره و نشر شرکت، در حوزه نیروگاه است، به نحوی که در سال‌های آتی، پیتیک به قطب اصلی آموزش و مشاوره صنعت نیروگاه کشور تبدیل شود و در این مسیر از همکاری کلیه کارشناسان مجرب این صنعت استقبال می‌کند.

دپارتمان تخصصی مهندسی نیروگاه پیتیک

آبان ۱۳۹۵

فهرست مطالب:

۱- اصول اولیه طراحی نیروگاه	۱۸
۱-۱- مقدمه	۱۸
۲-۱- انتخاب سیکل ترکیبی	۱۹
۱-۲-۱- بررسی نیازهای مشتری	۲۰
۲-۲-۱- ارزیابی تاثیر شرایط محیطی	۲۲
۳-۲-۱- تعیین نحوه اجرای نیروگاه	۲۶
۳-۱- مفاهیم اولیه سیکل‌های آب و بخار	۲۷
۱-۳-۱- سیکل تک فشاره	۲۸
۲-۳-۱- سیکل دو فشاره	۳۷
۳-۳-۱- سیکل سه فشاره	۴۰
۴-۳-۱- سیکل‌های دارای احتراق اضافی	۴۲
۲- شروع به کار با نرم‌افزار	۴۶
۱-۲- معرفی نرم‌افزار	۴۶
۲-۲- شروع به کار	۴۷
۱-۲-۲- طراحی بصری	۵۰
۲-۲-۲- طراحی سنتی	۵۱
۳-۲-۲- طراحی توسط متخصص طراحی نیروگاه	۵۱
۴-۲-۲- طراحی بر اساس پیشفرضهای استاندارد	۵۲
۳-۲- انتخاب روش طراحی	۵۳
۴-۲- موازنه قیمت و راندمان	۵۴
۵-۲- انتخاب سوخت اصلی توربین گاز	۵۵
۶-۲- آرایش عمومی نیروگاه	۵۶
۷-۲- تنظیمات اضافی نیروگاه	۵۷
۸-۲- منوی تنظیمات نرم‌افزار	۵۸
۹-۲- مقایسه فایلها	۵۸

- ۳- معیارهای طراحی نیروگاه ۶۲
- ۱-۳- تنظیم شرایط محیطی سایت ۶۲
- ۲-۳- نوع سیستم خنک کننده ۶۳
- ۱-۲-۳- سیستم خنک کن تر حلقه باز یکبار گذر ۶۳
- ۲-۲-۳- سیستم خنک کن آبی و برج خنک کن با جریان اجباری ۶۳
- ۳-۲-۳- سیستم خنک کن آبی و برج خنک کن تر و خشک ۶۵
- ۴-۲-۳- سیستم خنک کن آبی و برج خنک کن با جریان طبیعی ۶۵
- ۵-۲-۳- سیستم خنک کن آبی و برج خنک کن خشک ۶۶
- ۶-۲-۳- کندانسور خنک کننده هوایی خشک ۶۷
- ۷-۲-۳- کندانسور خنک کننده هوایی با هوای از پیش خنک شده ۶۷
- ۸-۲-۳- کندانسور خنک کننده هوایی با هوای اشباع شده دائمی ۶۸
- ۹-۲-۳- کندانسور خنک کننده هوایی با صفحات تر ۶۸
- ۱۰-۲-۳- کندانسورهای تماس مستقیم با برج خنک کن خشک (هلمر) ۶۹
- ۱۱-۲-۳- بدون کندانسور، بخار به فرآیند تزریق می شود ۷۰
- ۳-۳- آب جبرانی و فرآیند ۷۰
- ۴-۳- گزینه های محاسبات ۷۱
- ۵-۳- فرضیات افت فشار و انتالپی خطوط بخار اصلی ۷۲
- ۶-۳- تنظیم فرضیات متفرقه ۷۳
- ۷-۳- هزینه های محلی ۷۴
- ۸-۳- مشخصات سایت ۷۵
- ۹-۳- تغییر نوع سیکل ۷۶
- ۴- انتخاب توربین گاز و نحوه محاسبات آن ۷۸
- ۱-۴- استفاده از برنامه ساخت مدل توربین گاز ۷۸
- ۲-۴- تعریف عملکرد توسط کاربر ۷۸
- ۳-۴- عدم وجود توربین گاز ۷۸
- ۴-۴- انتخاب توربین گاز از کتابخانه موجود ۷۸
- ۱-۴-۴- مدل های فیزیکی ۸۰
- ۲-۴-۴- مدل تعریف شده بر اساس داده ۸۰
- ۳-۴-۴- مدل تخمین منحنی برای داده های سازنده تجهیز ۸۰

۸۰.....	۴-۵- رویه انجام محاسبات در مدل فیزیکی
۸۱.....	۴-۵-۱- مدلسازی اجزای اصلی توربین گاز
۸۳.....	۴-۵-۲- کنترل دمای توربین در بار کامل
۸۴.....	۴-۵-۳- کنترل دمای خروجی تصحیح شده بر اساس نسبت فشار و دمای خروجی
۸۵.....	۴-۵-۴- کنترل دمای خروجی تصحیح شده بر اساس نسبت فشار و دمای خروجی
۸۶.....	۴-۵-۵- کنترل مستقیم دمای ورود به توربین
۸۶.....	۴-۵-۶- کنترل دمای توربین در بار جزئی
۹۰.....	۵- پارامترهای ورودی توربین گاز
۹۰.....	۵-۱- پارامترهای اصلی توربین گاز
۹۰.....	۵-۱-۱- تزریق آب یا بخار
۹۲.....	۵-۱-۲- انتخاب سوخت
۹۲.....	۵-۱-۳- پارامترهای دیگر صفحه اصلی ورودی
۹۳.....	۵-۲- پارامترهای توربین‌های تعریف شده توسط کاربر
۹۴.....	۵-۳- سرمایش و گرمایش هوای ورودی به توربین گاز
۹۵.....	۵-۳-۱- چیلرها
۱۰۱.....	۵-۳-۲- هیتر هوای ورودی
۱۰۲.....	۵-۳-۳- کولرهای تبخیری یا سیستم مدیا
۱۰۲.....	۵-۳-۴- سیستم فاگ یا مه پاش
۱۰۵.....	۵-۴- تنظیمات مدل توربین گاز
۱۰۸.....	۵-۵- کنترل‌ها و حاشیه‌ها
۱۱۱.....	۵-۶- گرمایش سوخت و خنککاری توربین گاز
۱۱۱.....	۵-۶-۱- گرمایش سوخت
۱۱۲.....	۵-۶-۲- اتلاف حرارتی
۱۱۳.....	۵-۷- تزریق و مکش از توربین گاز
۱۱۵.....	۵-۸- تجهیزات متفرقه و کمکی
۱۱۶.....	۵-۹- تنظیمات تجهیزات PEACE
۱۱۸.....	۶- اتصال توربین بخار و بویلر بازیاب
۱۱۸.....	۶-۱- انتخاب اولویت دبی جریان یا پینچ
۱۱۹.....	۶-۱-۱- بر اساس پینچ

- ۱۱۹-۱-۲-۶ بر اساس دبی جرمی ۱۱۹
- ۱۱۹-۲-۶ تعریف فشار، دما و دبی جریانهای اصلی ۱۱۹
- ۱۲۰-۱-۲-۶ شرایط بخار HP ۱۲۰
- ۱۲۱-۲-۲-۶ شرایط بخار فرآیند HP ۱۲۱
- ۱۲۱-۳-۲-۶ شرایط بخار IP ۱۲۱
- ۱۲۴-۴-۲-۶ شرایط بخار فرآیند IP ۱۲۴
- ۱۲۴-۵-۲-۶ شرایط بخار LP ۱۲۴
- ۷- پارامترهای ورودی بویلر بازیاب ۱۲۶**
- ۱۲۶-۱-۷ ورودی‌های اصلی ۱۲۶
- ۱۲۶-۱-۱-۷ مشخصات مشعل اضافی ۱۲۶
- ۱۲۹-۲-۱-۷ جهت جریان گاز ۱۲۹
- ۱۲۹-۳-۱-۷ مشخصات ترمودینامیکی اصلی بویلر بازیاب ۱۲۹
- ۱۳۱-۴-۱-۷ میزان بلودان و بازیابی آن ۱۳۱
- ۱۳۲-۵-۱-۷ معیار طراحی داکت بویلر بازیاب ۱۳۲
- ۱۳۳-۶-۱-۷ هوای تازه رقیق سازی ۱۳۳
- ۱۳۳-۷-۱-۷ بای پس دود خروجی توربین گاز ۱۳۳
- ۱۳۳-۸-۱-۷ کمترین دمای دودکش و یا اختلاف دمای دود با نقطه شبنم سولفور ۱۳۳
- ۱۳۴-۹-۱-۷ گردش جریان در اواپراتور ۱۳۴
- ۱۳۵-۲-۷ فرضیات طراحی ترمودینامیکی ۱۳۵
- ۱۳۷-۳-۷ طراحی سخت افزاری بویلر بازیاب ۱۳۷
- ۱۳۹-۱-۳-۷ طراحی اتوماتیک بویلر بازیاب با روشهای (۱)، (۲) یا (۳) ۱۳۹
- ۱۴۲-۲-۳-۷ روش طراحی دستی بویلر بازیاب با روشهای (۴)، (۵) و (۶) ۱۴۲
- ۱۴۲-۳-۳-۷ مشخصات فین تیوبها: ۱۴۲
- ۱۴۸-۴-۷ تنظیمات بخش تشعشعی بویلر بازیاب ۱۴۸
- ۱۵۱-۵-۷ تنظیمات متفرقه بویلر بازیاب ۱۵۱
- ۱۵۴-۶-۷ تنظیمات تجهیزات PEACE بویلر بازیاب ۱۵۴
- ۱۵۵-۱-۶-۷ تخمین سائز مشعل اضافی یا داکت برنر ۱۵۵
- ۱۵۵-۲-۶-۷ سوخت اصلی و ثانویه داکت برنر ۱۵۵
- ۱۵۶-۳-۶-۷ دودکش ۱۵۶

۱۵۷.....	۷-۶-۴- بویلر کمکی
۱۶۰.....	۸- مسیرهای گردش آب
۱۶۰.....	۸-۱- پارامترهای ورودی اصلی مسیر گردش آب
۱۶۰.....	۸-۱-۱- منابع و مقاصد مسیرهای گردش آب
۱۶۳.....	۸-۱-۲- جریانهای برگشتی از فرآیند
۱۶۴.....	۸-۱-۳- مقصد آب جبرانی سیکل
۱۶۴.....	۸-۱-۴- منبع آب دی سوپرهیتر
۱۶۴.....	۸-۲- گرمایش آب تغذیه
۱۶۴.....	۸-۲-۱- هیترهای آب تغذیه
۱۶۶.....	۸-۲-۲- گردش آب در اکونومایزر کم دما
۱۶۶.....	۸-۳- اطلاعات مربوط به هوازدا
۱۶۶.....	۸-۳-۱- انواع آرایش دی‌اریتور
۱۶۹.....	۸-۳-۲- بخار تثبیت دی‌اریتور
۱۶۹.....	۸-۳-۳- دمای خروجی از اکونومایزر کم‌دما
۱۷۰.....	۸-۳-۴- انتخاب جنس اکونومایزر LTE
۱۷۱.....	۸-۴- منطق آب تغذیه در برنامه
۱۷۱.....	۸-۵- پمپ‌ها
۱۷۲.....	۸-۵-۱- صفحه اطلاعات اصلی
۱۷۷.....	۸-۵-۲- دیگر اطلاعات پمپها
۱۷۸.....	۸-۵-۳- تغییر و مشاهده منحنی پمپها
۱۷۸.....	۸-۵-۴- تغییر و مشاهده منحنی تلفات موتور
۱۷۸.....	۸-۶- آب گرم فرآیند
۱۸۱.....	۸-۷- هیتر آبی دودکش
۱۸۳.....	۸-۸- پارامترهای طراحی هیترهای آب تغذیه و کندانسورهای گرمایش منطقه‌ای
۱۸۶.....	۹- آرایش بویلر بازیاب
۱۸۶.....	۹-۱- عملکرد و محل مبدل‌های حرارتی
۱۸۷.....	۹-۱-۱- مسیر آب و بخار در مدل بویلر بازیاب GT PRO
۱۹۱.....	۹-۱-۲- مدل مسیر گاز بویلر بازیاب
۱۹۳.....	۹-۱-۳- تغییر دماهای آب و بخار

- ۹-۱-۴- دی سوپر هیت کردن در نقطه طراحی ۱۹۴
- ۹-۱-۵- بررسی های حین محاسبه ۱۹۵
- ۹-۲- افزودن دبی جرمی و حرارت به بویلر بازیاب ۱۹۵
- ۹-۲-۱- برگشت آب سرد یا کندانس ۱۹۶
- ۹-۲-۲- قیدهای اعمالی بر افزودن دبی جرمی و حرارت ۱۹۷
- ۹-۲-۳- قیدهای اعمالی بر خروج جریان و حرارت ۱۹۸
- ۹-۳- انتقال حرارت خارجی به بویلر بازیاب ۱۹۸
- ۱۰- سیستم های خنک کن ۲۰۲
- ۱۰-۱- ورودی های اصلی سیستم خنک کن ۲۰۲
- ۱۰-۱-۱- پارامترهای مشترک در همه سیستم های خنک کن ۲۰۲
- ۱۰-۱-۲- سیستم های دارای کندانسور سطحی آب خنک ۲۰۳
- ۱۰-۱-۳- کندانسورهای هوا خنک ۲۱۰
- ۱۰-۱-۴- کندانسور تماس مستقیم با برج خنک کن خشک (سیستم هلمر) ۲۱۴
- ۱۰-۱-۵- سیستم بدون کندانسور، خروجی توربین بخار به فرآیند متصل میشود ۲۱۶
- ۱۰-۲- برگه نمودار T-Q ۲۱۷
- ۱۰-۳- تنظیمات کندانسور و برج خنک کن ۲۱۷
- ۱۰-۳-۱- روش اتوماتیک ۲۱۸
- ۱۰-۳-۲- روش تعریف توسط کاربر ۲۱۸
- ۱۰-۴- تنظیمات کندانسورهای هوا خنک ۲۲۳
- ۱۰-۴-۱- روش اتوماتیک ۲۲۳
- ۱۰-۴-۲- روش تعریف توسط کاربر ۲۲۳
- ۱۰-۵- خصوصیات سیال حاصل از میعان یا کندانس ۲۲۶
- ۱۰-۶- دیگر خصوصیات تجهیزات PEACE ۲۲۶
- ۱۰-۶-۱- نیروگاه های دارای کندانسور آب خنک ۲۲۷
- ۱۰-۶-۲- نیروگاه های دارای برج خنک کن تر یا هیبریدی تر و خشک ۲۲۹
- ۱۰-۶-۳- نیروگاه های دارای برج خنک کن خشک یا سیستم هلمر ۲۳۲
- ۱۰-۶-۴- نیروگاه های دارای کندانسورهای هوا خنک یا سطوح مرطوب ۲۳۲
- ۱۰-۷- نمایان شدن ابر بخاری برج خنک کن ۲۳۲
- ۱۱- پارامترهای ورودی توربین بخار ۲۳۶

۲۳۶.....	۱-۱۱- ساختار مدل توربین بخار.....
۲۳۶.....	۱-۱۱-۱- بخشها و پوسته‌ها.....
۲۳۶.....	۱-۱۱-۲- پورته‌ها و گروه‌ها.....
۲۳۸.....	۱-۱۱-۳- طبقه‌ها.....
۲۳۹.....	۱-۱۱-۴- مشخصات راندمان.....
۲۴۰.....	۱-۲- پارامترهای اصلی توربین بخار.....
۲۴۰.....	۱-۲-۱- تعداد توربین‌های بخار.....
۲۴۰.....	۱-۲-۲- پورته‌های فشار بالا و فشار پایین توربین بخار.....
۲۴۲.....	۱-۲-۳- آرایش پوسته.....
۲۴۴.....	۱-۲-۴- بای‌پس جریان اضافی.....
۲۴۴.....	۱-۳- فرضیات طراحی ترمودینامیکی.....
۲۴۸.....	۱-۴- طراحی گروه.....
۲۵۰.....	۱-۵- طراحی انتهای خروجی بخار.....
۲۵۴.....	۱-۵-۱- روش طراحی آخرین ردیف و تخمین افت خروجی.....
۲۵۵.....	۱-۵-۲- روش طراحی اتوماتیک آخرین ردیف و تخمین ابعاد خروجی.....
۲۵۹.....	۱-۵-۳- طراحی انتهای خروجی توربین توسط کاربر.....
۲۶۰.....	۱-۵-۴- طراحی انتهای خروجی توربین در دبی حجمی پایین.....
۲۶۰.....	۱-۶- نشی‌های توربین بخار.....
۲۶۳.....	۱-۷- سیستم بخار آب‌بندی.....
۲۶۶.....	۱-۸- ژنراتور.....
۲۶۷.....	۱-۹- مشخصات تجهیزات بخش توربین بخار.....
۲۷۲.....	۱۲- پارامترهای محیط زیست.....
۲۷۲.....	۱-۱۲- انتشار گازهای آلاینده توربین گاز و مشعل اضافه.....
۲۷۲.....	۱-۱۲-۱- انتشار آلاینده‌ها از توربین گاز.....
۲۷۳.....	۱-۱۲-۲- انتشار آلاینده‌ها از مشعل اضافی.....
۲۷۴.....	۱-۱۲-۳- کاهش آلودگی بعد از احتراق.....
۲۷۵.....	۱-۱۲-۴- کنترل آلاینده‌ها.....
۲۷۵.....	۱۲-۲- محاسبه آب.....
۲۷۸.....	۱۳- تجهیزات متفرقه PEACE.....

- ۱-۱۳- تجهیزات الکتریکی ۲۷۸
- ۱-۱۳-۱- ولتاژها ۲۷۸
- ۱-۱۳-۲- آرایش ترانسفورماتور و ژنراتور ۲۷۹
- ۱-۱۳-۳- تخمین اندازه ترانسفورماتور افزایشده ۲۸۳
- ۱-۱۳-۴- راه اندازی نیروگاه بدون نیاز به شبکه (BLACK START) ۲۸۳
- ۱-۱۳-۵- برق اضطراری ۲۸۴
- ۱-۱۳-۶- دیگر تجهیزات الکتریکی ۲۸۴
- ۱-۱۳-۲- سیستم محافظت از آتش ۲۸۴
- ۱-۱۳-۳- مخازن ۲۸۶
- ۱-۱۳-۴- ویژگی سیستم خنک کننده ۲۸۷
- ۱-۱۳-۴-۱- سیستم خنک کننده توربین گاز ۲۸۹
- ۱-۱۳-۴-۲- سیستم خنک کننده توربین بخار ۲۸۹
- ۱-۱۳-۴-۳- سیستم خنک کننده تجهیزات دیگر ۲۸۹
- ۱۴- نتایج موازنه حرارتی ۲۹۲
- ۱-۱۴-۱- تعریف انواع راندمان در نتایج خروجی ۲۹۲
- ۱-۱۴-۱-۱- راندمان توربین گاز ۲۹۲
- ۱-۱۴-۲-۱- راندمان بویلر بازیاب ۲۹۳
- ۱-۱۴-۳-۱- راندمان توربین بخار ۲۹۳
- ۱-۱۴-۴-۱- راندمان بر اساس قانون سیاستگذاری خدمات عمومی ۲۹۳
- ۱-۱۴-۵-۱- نرخ حرارتی کلاس ۴۳ ۲۹۳
- ۱-۱۴-۶-۱- راندمان کلی تولید همزمان توان و حرارت ۲۹۴
- ۱-۱۴-۲- نتایج متنی بالانس حرارتی ۲۹۴
- ۱-۱۴-۲-۱- سیستم ۲۹۴
- ۱-۱۴-۲-۲- توربین گاز ۲۹۵
- ۱-۱۴-۳-۲- بویلر بازیاب ۲۹۶
- ۱-۱۴-۴-۲- توربین بخار ۲۹۶
- ۱-۱۴-۵-۲- برج خنک کننده ۲۹۷
- ۱-۱۴-۳- نتایج بصری (گرافیکی) بالانس حرارتی ۲۹۷
- ۱-۱۴-۴- نتایج خروجی PEACE ۲۹۸

۱۵-مدلسازی نیروگاه در شرایط خارج از نقطه طراحی در GT MASTER.....	۳۰۲
۱-۱۵- تفاوت‌های بین ماژول GT PRO و GT MASTER.....	۳۰۲
۱-۱۵- تفاوت‌های مفهومی بین نقطه طراحی و خارج از نقطه طراحی.....	۳۰۳
۱-۱۵- نحوه تعیین فشار در یک سیکل ترکیبی در خارج از نقطه طراحی.....	۳۰۴
۱-۱۵-۳- نحوه تغییرات افت فشار در خارج از نقطه طراحی.....	۳۰۵
۱-۱۵-۴- استفاده از GT MASTER.....	۳۰۶
۱-۱۵-۵- چندین راهنمایی در ایجاد طراحی اولیه GT PRO.....	۳۰۷
۱-۱۵-۶- تعریف تعداد واحدها.....	۳۰۹
۱-۱۵-۲- معیارهای نیروگاه در GT MASTER.....	۳۱۲
۱-۱۵-۲-۱- گزینه‌های محاسبات.....	۳۱۲
۱-۱۵-۲-۲- تلفات لوله‌های بخار اصلی.....	۳۱۴
۱-۱۵-۳- اطلاعات ورودی توربین گاز.....	۳۱۵
۱-۱۵-۱-۳- مدل توربین گاز در شرایط خارج از نقطه طراحی.....	۳۱۵
۱-۱۵-۳-۲- افت فشار ورودی و خروجی توربین گاز.....	۳۱۷
۱-۱۵-۳-۳- کنترل‌ها و حاشیه‌ها.....	۳۱۸
۱-۱۵-۴- اطلاعات ورودی توربین بخار.....	۳۱۸
۱-۱۵-۴-۱- منحنی مشخصه فشار-دبی.....	۳۱۸
۱-۱۵-۴-۲- راندمان طبقه.....	۳۲۰
۱-۱۵-۴-۳- روش‌های کنترل فشار ورودی توربین بخار و زیرکشا.....	۳۲۱
۱-۱۵-۴-۴- کنترل دما و فشار ورودی توربین HPT.....	۳۲۹
۱-۱۵-۵- اطلاعات ورودی بویلر بازیاب.....	۳۳۳
۱-۱۵-۱-۵- تفاوت مدل بویلر بازیاب در GT PRO و GT MASTER.....	۳۳۳
۱-۱۵-۲- انتقال حرارت و افت فشار سمت گاز.....	۳۳۶
۱-۱۵-۳- انتقال حرارت و افت فشار سمت آب.....	۳۳۷
۱-۱۵-۴- کنترل جوشش در اکونومایزر.....	۳۳۹
۱-۱۵-۵- درصد بلودان.....	۳۴۱
۱-۱۵-۶- پارامترهای ورودی دیگر در بویلر بازیاب.....	۳۴۲
۱-۱۵-۷- تغییر اجزای بویلر بازیاب.....	۳۴۲

- ۱۵-۸- نقاط تنظیم دما ۳۴۶
- ۱۵-۹- تغییر تنظیمات بویلر تشعشعی ۳۴۷
- ۱۵-۶- مسیرهای آب ۳۴۹
- ۱۵-۱-۶- بای پس آب مبدل حرارتی LTE ۳۴۹
- ۱۵-۲-۶- گردش آب اکونومایزر LTE ۳۵۰
- ۱۵-۳-۶- کنترل فشار دی‌اریتور ۳۵۲
- ۱۵-۷- سیستمهای خنک‌کننده ۳۵۳
- ۱۵-۱-۷- سیستمهای دارای کندانسور سطحی آب خنک ۳۵۳
- ۱۵-۲-۷- مدلسازی کندانسورهای هوا خنک ۳۶۱
- ۱۵-۳-۷- کندانسورهای تماس مستقیم با برج خنک‌کننده خشک (سیستم هلر) ۳۶۴
- ۱۵-۴-۷- بدون کندانسور و تخلیه بخار خروجی توربین بخار به فرآیند ۳۶۴
- ۱۶- نمونه مثالهای کاربردی طراحی نیروگاه ۳۶۸**
- ۱۶-۱- مثال ۱: تعیین پارامترهای عملکردی یک نیروگاه سیکل ساده گازی ۳۶۸
- ۱۶-۲- مثال ۲: بررسی اثر تغییر دمای محیط بر توان و راندمان نیروگاه سیکل ساده گازی ۳۷۱
- ۱۶-۳- مثال ۳: نحوه تعریف سوخت توسط کاربر ۳۷۲
- ۱۶-۴- مثال ۴: نحوه تنظیم مدل توربین گاز ۳۷۴
- ۱۶-۵- مثال ۵: طراحی یک بلوک سیکل ترکیبی ۳۷۵
- ۱۶-۶- مثال ۶: طراحی یک بلوک سیکل ترکیبی با سیستم خنک‌کننده تبخیری ۳۸۲
- ۱۶-۷- مثال ۷: بررسی رفتار سیکل ساده گازی با دو فلسفه کنترل IGV ثابت و TIT ثابت ۳۸۴
- ۱۶-۸- مثال ۸: تغییر شرایط بهره‌برداری نیروگاه سیکل ترکیبی ۳۸۷
- ۱۶-۹- مثال ۹: استفاده از ماکرو در یک حلقه کنترلی ۳۸۹
- ۱۶-۱۰- مثال ۱۰: اتصال ترموفلو و اکسل ۳۹۲
- ۱۷- علائم اختصاری ترموفلو ۳۹۷
- ۱۸- مراجع ۴۰۰

۱- اصول اولیه طراحی نیروگاه

۱-۱- مقدمه

نیروگاه مجموعه‌ای از سیستم‌ها و تأسیسات صنعتی است که از آن برای تولید انرژی الکتریکی استفاده می‌شود. وظیفه اصلی یک نیروگاه تبدیل انرژی از دیگر شکل‌های آن مانند انرژی شیمیایی، انرژی هسته‌ای، انرژی خورشیدی و... به انرژی الکتریکی است. وظیفه اصلی تولید برق در تقریباً همه نیروگاه‌ها بر عهده ژنراتور است؛ ماشینی دوار که انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. انرژی مورد نیاز برای چرخاندن شفت یک ژنراتور از راه‌های مختلفی تأمین می‌شود که عموماً به میزان دسترسی به منابع مختلف انرژی در آن منطقه و دانش فنی سازنده بستگی دارد. نیروگاه‌ها، انواع مختلفی دارند که نوع آنها عموماً بر اساس نوع محرک اصلی ژنراتور تعیین می‌شود. در یک نیروگاه حرارتی انرژی مکانیکی مورد نیاز برای حرکت مولدها به وسیله حرارت حاصل از سوختن سوخت‌ها تأمین می‌شود و شامل انواع مختلفی نیروگاه از قبیل نیروگاه‌های گازی، بخاری، دیزل، هسته‌ای و غیره می‌شوند. در نیروگاه‌های بخار سیال کاری بخار می‌باشد و از فشار دینامیکی بخار برای چرخاندن پره‌های متحرک توربین بخار استفاده می‌شود در حالیکه در نیروگاه‌های گازی از گاز به عنوان عامل محرک یا سیال کاری استفاده می‌شود. به عبارت دیگر در نیروگاه‌های گازی از فشار گازهای ناشی از سوختن سوخت‌ها برای به حرکت درآوردن پره‌های توربین گاز استفاده می‌شود از آنجا که در این نوع نیروگاه‌ها انرژی حرارتی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود به آنها نیروگاه حرارتی گفته می‌شود.

سیکل ترکیبی را می‌توان به عنوان ترکیب دو سیکل حرارتی در یک نیروگاه تعریف نمود. وقتی که دو سیکل با یکدیگر ترکیب می‌شوند، راندمانی که می‌توان به آن دست یافت بیشتر از راندمان هر یک از سیکل‌ها به تنهایی می‌باشد. نیروگاه‌های حرارتی با سیال‌های کاری یکسان یا متفاوت را می‌توان با یکدیگر ترکیب نمود اما ترکیب دو سیکل با سیال‌های کاری متفاوت بیشتر مورد توجه واقع شده است زیرا می‌توانند مزایای یکدیگر را تکمیل کنند. هنگامیکه دو سیکل با یکدیگر ترکیب می‌شوند، سیکلی که در سطح دمای بالاتری کار می‌کند را سیکل بالایی^۱ می‌نامند. سپس از حرارت هدر رفته این سیکل در سیکل دومی که در سطح دمای پایین‌تری بهره‌برداری می‌شود استفاده می‌شود و به آن سیکل پایینی^۲ گفته می‌شود. انتخاب

^۱ Topping Cycle

^۲ Bottoming Cycle

مناسب سیال کاری به آن معناست که فرآیند کاملی ساخته شود که در آن به منظور دستیابی به شرایط ترمودینامیکی بهینه، از حرارت در بالاترین محدوده دمایی استفاده کند و حرارت هدررفته را در پایین‌ترین دمای ممکن به محیط برگرداند.

ترکیبی که در بسیاری از نیروگاه‌های تولید برق متداول امروزی مورد استفاده قرار می‌گیرد استفاده از سیکل بالایی گازی به همراه سیکل پایینی بخاری می‌باشد. شکل (۱-۱) نمودار جریان ساده شده برای چنین سیکلی را نمایش می‌دهد که در آن از گرمای خروجی سیکل ساده توربین گاز جهت تولید بخار و انبساط در توربین بخار استفاده می‌شود. این ترکیب دارای مزایای زیر می‌باشد:

- هوا یک سیال کاری مناسب می‌باشد که می‌تواند در دمای بالایی (بیش از 1200°C) در توربین‌های گاز مدرن امروزی استفاده شود و پیشنهاد یک سیکل بالایی بهینه و مناسب می‌باشد.
- آب و بخار ارزان قیمت، بی‌خطر و به صورت گسترده در دسترس می‌باشد که برای محدوده دماهای پایین مناسب بوده و در نتیجه برای سیکل پایینی ایده‌آل می‌باشد.

پیشرفت‌های صورت گرفته در توسعه توربین‌های گاز و افزایش دمای هوای ورودی به توربین باعث گردیده تا گازهای خروجی از توربین گاز انرژی بالایی داشته و در نتیجه امکان طراحی سیکل ترکیبی با راندمان بالا را فراهم می‌سازد به نحویکه امروزه در نیروگاه‌های سیکل ترکیبی دستیابی به راندمان ۶۱/۵٪ امکان‌پذیر می‌باشد.

۲-۱- انتخاب سیکل ترکیبی

همانطور که در نمودار شکل (۲-۱) نشان داده شده است در هنگام طراحی مفهومی سیکل ترکیبی لازم است سه گام اصلی زیر در فرآیند طراحی آن مورد بررسی قرار گیرد که عبارتست از:

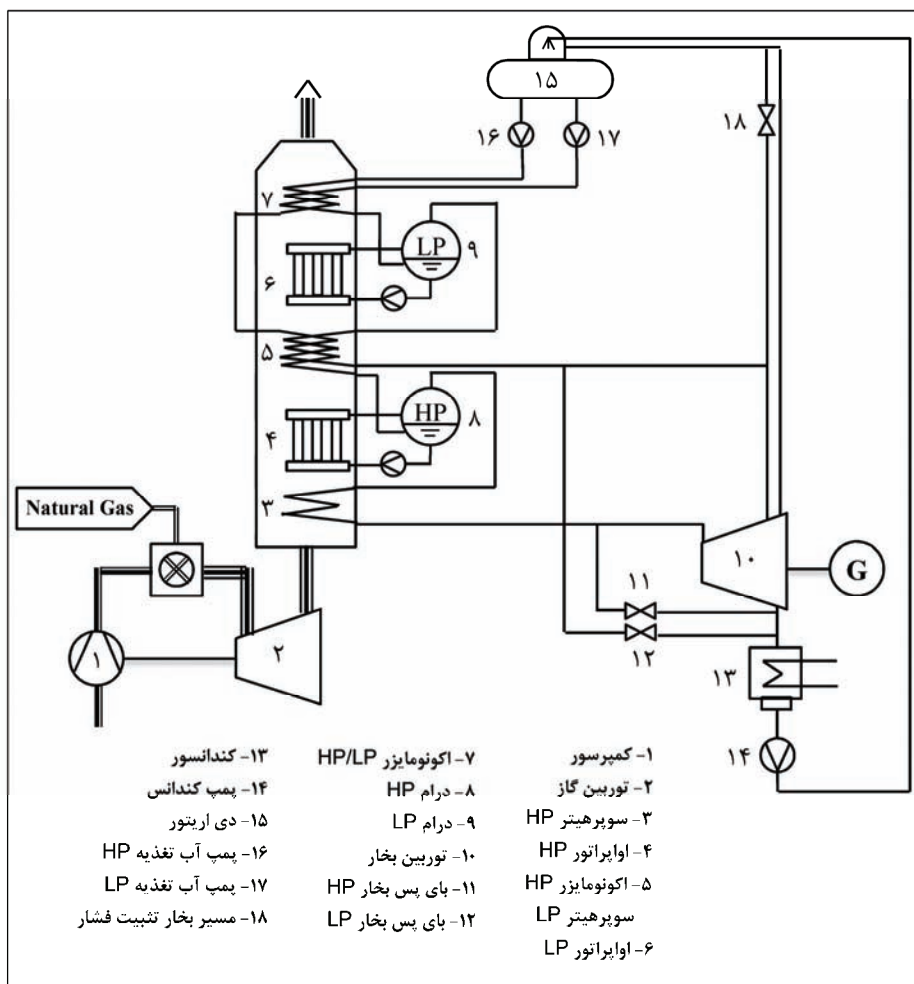
- بررسی نیازهای مشتری
- ارزیابی تاثیر شرایط محیطی
- تعیین نحوه اجرای نیروگاه

۱-۳-۲- سیکل دو فشاره

سیکل دوفشاره از دو حلقه مجزای فشار پایین^۱ و فشار بالا^۲ تشکیل شده است. نمایی از یک سیکل ساده دو فشاره در شکل (۱-۱۴) نمایش داده شده است که در آن حلقه کم فشار (۶ و ۹) بخار لازم برای توربین بخار و گرمایش مخزن ذخیره (۱۵) را تولید می‌کند. در صورتیکه سوخت دارای گوگرد زیادی باشد کندانس خروجی از پمپ کندانس (۱۴) را می‌توان توسط بخار زیرکش شده از توربین بخار را گرم کرده و در نتیجه دمای آب خروجی از دی‌اریتور را قبل از ورود به اکونومایزرهای کم فشار (۷) افزایش داد. از لحاظ ترمودینامیکی این کار منطقی می‌باشد زیرا بخاری که برای گرمایش مورد استفاده قرار می‌گیرد دارای کیفیت ترمودینامیکی پایینی می‌باشد. در هر حال با افزایش دمای آب تغذیه و مصرف بخار بیشتر برای گرمایش آن، توان خروجی توربین بخار نیز کاهش خواهد یافت. یک راه برای کاهش این میزان افت، افزایش تعداد مراحل پیش گرمایش با مبدل حرارتی می‌باشد که در این حالت بخار لازم برای هر مرحله به صورت جداگانه از توربین بخار زیرکش می‌شود. در این حالت با توجه به اینکه بخشی از بخار قبل از خروج از توربین اندکی در آن انبساط پیدا می‌کند و کار تولید می‌کند میزان افت توان توربین بخار نیز کاهش می‌یابد. لازم به ذکر است به ندرت تعداد این مراحل پیش گرمایش از ۲ یا ۳ مرحله بیشتر می‌شود که دلیل آن پیچیده شده طراحی توربین بخار و افزایش هزینه‌ها نسبت به افزایش توان توربین بخار می‌باشد. در بعضی از طراحی‌ها با توجه به افزایش دمای آب تغذیه و دمای دودکش می‌توان اکونومایزر کم فشار را نیز حذف نمود.

در حالتیکه مقدار گوگرد موجود در سوخت ناچیز باشد می‌توان از آرایش شکل (۱-۱۴) استفاده نمود که در آن دمای آب تغذیه به نسبت کمتر می‌باشد. همچنین وجود اکونومایزر کم فشار در بویلر بازیاب امکان استفاده بیشتر از انرژی گازهای خروجی و کاهش دمای دودکش را می‌دهد. اولین بخش بویلر بازیاب (۷) یک اکونومایزر دو فشاره می‌باشد که به دو بخش اکونومایزر فشار پایین و اولین اکونومایزر فشار بالا تقسیم می‌شود. با توجه به مازاد بخار تولیدی در سیکل کم فشار، توان توربین بخار به نسبت سیکل تک فشاره افزایش خواهد یافت و در نتیجه راندمان سیکل بخار نیز بهبود پیدا خواهد کرد.

^۱ Low Pressure (LP)^۲ High Pressure (HP)



شکل (۱۴-۱): دیاگرام جریان یک سیکل دو فشاره

شکل (۱۵-۱) دیاگرام انرژی/دمای یک بویلر بازیاب دو فشاره را نمایش می‌دهد. عمده انتقال حرارت در بخش فشار بالای بویلر بازیاب رخ می‌دهد که نسبت مستقیم با انتخاب فشارهای سیکل دارد. مقایسه نمودار شکل (۱۵-۱) و شکل (۸-۱) نشان می‌دهد که در سیکل دوفشاره، استفاده از انرژی در بخش خنک‌تر انتهایی بویلر بازیاب بهبود یافته است.

۲- شروع به کار با نرم افزار

۲-۱- معرفی نرم افزار

نرم افزار ThermoFlow شامل مجموعه نرم افزارها یا ماژولهای لازم جهت امکان سنجی و طراحی مفهومی پروژه های تولید توان و یا تولید همزمان حرارت و توان (CHP)، محاسبات راندمان در شرایط طراحی و خارج از نقطه طراحی و تخمین دقیق هزینه ها می باشد. هر یک از این کارها توسط برنامه های به خصوصی انجام می گیرد که در زیر به طور خلاصه توضیح داده شده است:

برنامه GT PRO: طراحی نیروگاه های تولید توان و یا تولید همزمان حرارت و توان با استفاده از توربین گازی و یا موتورهای گازی با استفاده از این ماژول ترموفلو امکان پذیر است و با توجه به اینکه در حدود ۱۶۰۰ متغیر ورودی دارد بسیار انعطاف پذیر می باشد. با استفاده از ماژول داخلی ارزیاب ساخت و مهندسی نیروگاه^۱ موجود در آن، امکان تولید مدارک مشخصات تجهیزات و تخمین هزینه های نیروی کار و غیره برای تمامی نیروگاه هایی که از این ماژول نیز در طراحی استفاده می کنند امکان پذیر می باشد.

برنامه GT MASTER: این برنامه جهت شروع از مدلی که در برنامه GT PRO ساخته شده استفاده می کند و با استفاده از ۲۵۰۰ ورودی اطلاعات، شبیه سازی سیکل طراحی شده را در بارهای مختلف و شرایط محیطی مختلف امکان پذیر می نماید. همچنین ابزار PEACE داخل آن امکان طراحی دقیق تر سیکل را از نظر راندمان و قیمت فراهم می کند.

برنامه PDE: یک ماژول حرفه ای می باشد که روند اجرای برنامه GT PRO را به صورت اتوماتیک بسیار آسان تر می کند هر چند انعطاف پذیری آن را کاهش می دهد. به عبارت دیگر با استفاده از این نرم افزار می توان پارامترهای ورودی GT PRO را در کوتاه ترین زمان تنظیم نمود.

برنامه STEAM PRO: طراحی نیروگاه های بخار با استفاده از این ماژول ترموفلو امکان پذیر می باشد و با توجه به حدود ۱۲۵۰ متغیر ورودی موجود در آن بسیار منعطف می باشد. قابلیت اجرای چندگانه^۲ این ماژول می تواند به خوبی از عهده آنالیز حساسیت نسبت به پارامترهای مختلف طراحی سیکل برآید.

برنامه STEAM MASTER: این برنامه جهت شروع نیاز به مدلی دارد که در STEAM PRO ساخته می شود و با استفاده از ۱۵۰۰ متغیر ورودی، شبیه سازی سیکل طراحی شده را در بارهای مختلف، فلسفه های

^۱ Plant Engineering and Construction Estimator (PEACE)

^۲ Multiple Run

مختلف بهره‌برداری و شرایط محیطی مختلف امکان‌پذیر می‌نماید. همچنین ابزار PEACE موجود در آن امکان طراحی دقیق‌تر سیکل را با موازنه بین راندمان و قیمت را فراهم می‌نماید. این برنامه با استفاده از قابلیت اجرای چندگانه، منحنی‌های کارکرد را نیز راحت‌تر و سریع‌تر ایجاد می‌کند.

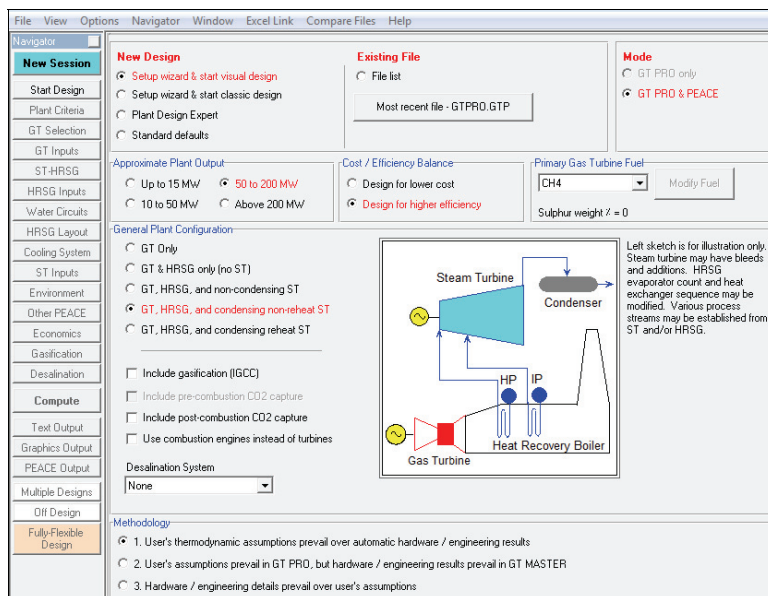
برنامه RE-MASTER: با استفاده از مدل ساخته شده در STEAM MASTER که مشخص‌کننده نیروگاه پایه می‌باشد به کاربر امکان مدل‌سازی انواع روش‌های بازتوانی^۱ را با استفاده از توربین گاز می‌دهد. این روش‌ها شامل حفظ بویلر اصلی موجود و استفاده از انرژی دود خروجی توربین گاز جهت استفاده در بویلر و یا سیستم آب و بخار و یا هر دو می‌باشد. همچنین روشهای دیگری از قبیل جایگزین کردن بویلر معمولی با بویلر بازیاب نیز در این برنامه موجود می‌باشد.

برنامه THERMOFLEX: یک برنامه با انعطاف‌پذیری بسیار بالا جهت طراحی انواع سیکل‌های حرارتی می‌باشد. همچنین جهت طراحی کلبه سیکل‌های تولید توان یا بخار، سیکل‌های ترکیبی، سیکل‌های متداول یا صنعتی و یا تاسیسات تولید بخار نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. تمامی کارهای مربوط به بالانس حرارتی نرم‌افزارهای ذکر شده در بالا با استفاده از این ماژول انعطاف‌پذیر نیز با صرف وقت بیشتر قابلیت اجرا دارد. برنامه GTTRAN: به منظور مدل‌سازی رفتار گذرای بویلر مورد استفاده قرار می‌گیرد که از نسخه ۲۳ نرم‌افزار به GTMASTER اضافه شد. این ماژول در مدل‌سازی رفتار گذرای بویلر بازیاب از ظرفیت گرمایی مواد استفاده شده در بویلر، آب و بخار موجود در محاسبات زمانی استفاده می‌کند و انرژی لازم جهت گرمایش مبدلها و مواد مورد استفاده در ساخت تجهیزات آن را محاسبه می‌کند.

۲-۲- شروع به کار

نرم‌افزار GT PRO یکی از پرکاربردترین برنامه‌های Thermoflow می‌باشد که جهت طراحی سیکل‌های ترکیبی و تولید همزمان توان و حرارت از آن استفاده می‌شود. این برنامه بر اساس ملاحظات طراحی ترمودینامیکی و فرضیات در نظر گرفته شده برای تجهیزات، امکان موازنه حرارتی نیروگاه، ایجاد نمودارهای جریان و طراحی اولیه تجهیزات اصلی را فراهم می‌کند. این برنامه در واقع برای مطالعات امکان‌سنجی توسعه داده شده است که با توجه به سرعت، فرآیندهای اتوماتیک منطقی و سادگی استفاده از آن، ارزیابی تعداد زیادی از حالت‌های مختلف را برای طراحی تسهیل می‌نماید. شکل (۲-۱) نمایی از صفحه ورودی به این نرم‌افزار را نشان می‌دهد.

^۱ Repowering



شکل (۲-۱): نمایی از صفحه ورود به نرم‌افزار GT PRO

در سمت چپ صفحه اطلاعات ورودی، دکمه‌های موضوعی مختلف قرار دارد که بعد از انتخاب پارامترهای اصلی اولیه و انتخاب دکمه شروع طراحی فعال می‌شوند و کاربر می‌تواند اطلاعات مربوط به طراحی بخش‌ها و تجهیزات مختلف نیروگاه یا پلنت^۱ را در کادرهای مربوطه وارد نماید. در بخش New Session که در بالاترین کادر سمت چپ صفحه می‌باشد پارامترهای اولیه طراحی نیروگاه تعیین می‌شود که تعیین این پارامترها توسط برنامه به انتخاب‌های طراح در پنج قسمت زیر وابسته است:

۱. تقریب توان خروجی نیروگاه

۲. آرایش و پیکربندی عمومی پلنت یا نیروگاه

۳. موازنه اقتصادی- کارایی

۴. تعیین سوخت اصلی توربین گاز

۵. انتخاب روش طراحی

^۱ Plant



آشنایی با نیروگاه : مفهوم موازنه جرم و حرارت

در هنگام طراحی نیروگاه مدرکی تحت عنوان موازنه جرم و حرارت توسط مهندسين فرآیند یا مکانیک تولید می شود که گاهی اوقات یک مدرک مستقل نبوده و بخشی از دیاگرام جریان فرآیندی یا PFD می باشد. برگه موازنه جرم و حرارت بیانگر حالت و شرایط فرآیندی تمامی جریان ها در دیاگرام PFD می باشد. به طور معمول در برگه موازنه حرارتی اطلاعات زیر برای هر جریان ارائه می شود:

۱- دما و فشار در شرایط کارکرد معمولی

۲- دبی جرمی یا حجمی هر یک از جریان ها

۳- دانسیته و ویسکوزیته هر یک از جریان ها در فشار و دمای مشخص. در صورتیکه جریان دارای چند فاز باشد باید برای هر یک از فازها به طور جداگانه گزارش شوند.

۴- درصد بخاری، وزن مولکولی، نسبت ظرفیت گرمایی و ضریب تراکم پذیری برای فاز گازی جریان ها گزارش شود.

۵- گاهی اوقات انتالپی جریان ها نیز گزارش می شود.

محاسبات جرم و حرارت با استفاده از معادلات موازنه جرم و موازنه انرژی برای هر تجهیز در نیروگاه یا پلنت انجام می گیرد. موارد ذکر شده در بالا در واقع متغیرهای مجهول می باشند و هنگامیکه تعداد این متغیرهای مجهول با تعداد معادلات موازنه جرم و انرژی برابر باشد می توان به جواب یکتایی برای سیستم دست یافت. از اینرو جهت حل یک سیستم لازم است تا تعدادی از متغیرها ثابت باشند. در صورتیکه جریان های ورودی کاملاً شناخته شده باشند، می توان با حل سیستم معادلات از شرایط جریان های خروجی اطلاع یافت و در صورتیکه اطلاعات جریان های خروجی موجود باشند می توان با حل سیستم از شرایط جریان های ورودی لازم برای رسیدن به شرایط خروجی مشخص آگاه شد.

لازم است این نکته به خاطر سپرده شود که با کلیک بر روی دکمه New Session، تمامی پارامترهای طراحی به مقدار پیش فرض نرم افزار برمی گردد هرچند دست کاربر در تغییر آنها در هر زمان در طی کار با برنامه باز گذاشته می شود. در شکل (۲-۲) این ۵ پارامتر مهم اولیه که در هنگام شروع به طراحی باید در خصوص آنها تصمیم گیری شود نمایش داده شده است.

۳- معیارهای طراحی نیروگاه

در بخش معیارهای طراحی نیروگاه در خصوص پارامترها و ملاحظات طراحی عمومی نیروگاه باید تصمیم گرفته شود. این پارامترها عبارتند از:

- شرایط محیطی سایت
 - دما و فشار آب جبرانی یا آب و بخار برگشتی از فرآیند
 - نوع سیستم خنک کننده
 - انتخاب دیگر گزینه‌ها پیش از محاسبات از قبیل در نظر گرفتن اتوماتیک مشعل اضافی، افزایش اتوماتیک دمای پینچ، نحوه تخمین راندمان توربین بخار و ...
 - افت فشار و انتالپی خطوط اصلی بخار
 - فرضیات متفرقه از قبیل میزان برق مصرفی تجهیزات جانبی نیروگاه، تلفات ترانسفورماتور و ...
 - تنظیم پارامترهای محاسبات اقتصادی نیروگاه از قبیل تعیین ضرایب قیمت تجهیزات، نوع خاک زمین نیروگاه و موقعیت قرارگیری تجهیزات اصلی و ...
- برگه‌های که با رنگ سبز در اینجا و بخش‌های دیگر مشخص شده است مربوط به پارامترهای اقتصادی PEACE می‌باشد که تاثیر کمی بر بالانس حرارتی نیروگاه داشته و بیشتر برای تخمین ساین و قیمت تجهیزات کاربرد دارد.

۳-۱- تنظیم شرایط محیطی سایت

در این بخش شرایط محیطی سایتی که در آن نیروگاه یا پلنت قرار است احداث شود تعریف می‌شود و شامل موارد زیر می‌شود:

- دمای محیط: که محدوده دمایی آن از ۴۴- تا ۵۵ درجه سانتیگراد می‌باشد.
- ارتفاع سایت: که محدوده آن بین ۹۱۴- تا ۳۰۴۸ متر می‌باشد.
- فشار محیط: که متناسب با ارتفاع سایت در محدوده ۰/۶۹۷ تا ۱/۱۲۷ بار می‌تواند انتخاب شود. کاربر مجاز به تغییر یکی از پارامترهای فشار محیط یا ارتفاع می‌باشد و در صورت تغییر یکی دیگری به صورت اتوماتیک محاسبه می‌شود.
- رطوبت نسبی محیط: که در محدوده ۵٪ تا ۱۰۰٪ می‌تواند انتخاب شود.

- دمای حبات تر محیط: که محدود به دمای حباب خشک و دمای حباب تر با رطوبت نسبی ۵٪ می‌شود. البته در صورت تنظیم پارامترهای فوق به صورت خودکار محاسبه شده و نیازی به تغییر آن توسط کاربر نمی‌باشد.
- فرکانس شبکه: که می‌تواند ۵۰ Hz یا ۶۰ Hz باشد.



شکل (۳-۱): سربرگ مربوط به تنظیم شرایط محیطی سایت

در این بخش دو آیتم مختلف دیگر نیز وجود دارد که یکی برای تنظیم شرایط سایت بر اساس داده‌های محیطی موجود در هندبوک ASHRAE می‌باشد و دیگری جهت استفاده از پارامترهای برگه‌های سبز رنگ PEACE این بخش که در یک طراحی قبلی در GT PRO تنظیم شده است می‌باشد.

۳-۲- نوع سیستم خنک‌کننده

این نرم‌افزار یازده انتخاب برای سیستم خنک‌کننده دارد که می‌توان برای مدلسازی انواع وسیعی از کندانسورها و سیستمهای خنک‌کننده از آن استفاده نمود. نوع سیستم خنک‌کننده و پارامترهایی که در اینجا انتخاب می‌شود از قبیل فشار کندانسور و دمای آب خنک‌کن جهت مقداردهی اولیه پارامترهای سیستم خنک‌کن استفاده می‌شود. همچنین در کادر این بخش تصویری شماتیک از برج خنک‌کن انتخابی نمایش داده می‌شود.

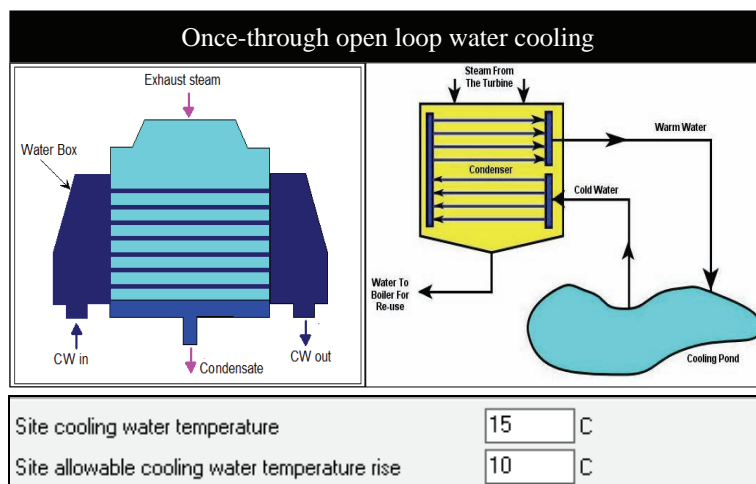
۳-۲-۱- سیستم خنک‌کن تر حلقه باز یکبار گذر

همانند شکل (۳-۲) آب خنک‌کن از یک منبع خارجی (رود، دریا، اقیانوس و...) گرفته می‌شود که برای آن دمای آب خنک‌کننده سایت و میزان افزایش دمای مجاز آب خنک‌کننده سایت تعیین می‌شود.

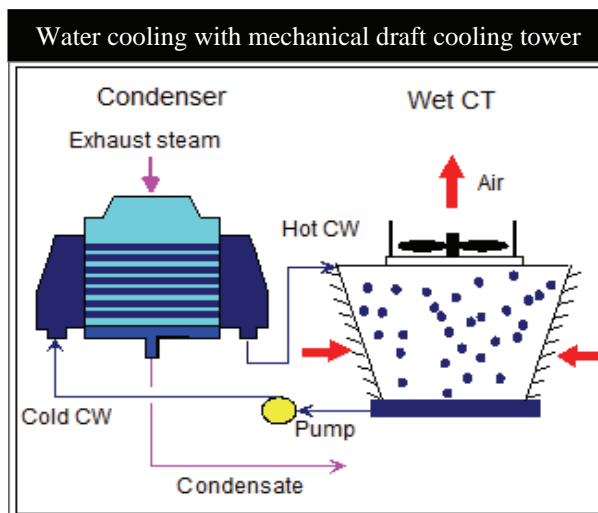
۳-۲-۲- سیستم خنک‌کن آبی و برج خنک‌کن با جریان اجباری

آب گرم سیستم خنک‌کن کندانسور سطحی از طریق پاشش روی جریان هوای در برج خنک‌کن، خنک می‌شوند. بخش کمی از این آب خنک‌کن، در حدود ۲-۳٪، تبخیر می‌شود و گرمای نهان خود را از مابقی آب گرم گرفته و آن را خنک می‌کند و آب تبخیر شده به همراه جریان هوای گرم مرطوب به اتمسفر راه پیدا می‌کند. در این حالت آب جبرانی جهت موازنه مقدار جرم تبخیر شده شامل قطرات آب تبخیر نشده که

همراه هوا خارج می‌شوند^۱ و آبی که جهت کنترل انباشت ناخالصی‌ها خارج می‌شوند^۲ اضافه می‌گردد. فن‌ها هوا را به داخل برج خنک‌کن مکش کرده و توان مصرفی آنها محاسبه شده و در بخش توان جانبی نیروگاه نشان داده می‌شود (شکل (۳-۳)).



شکل (۳-۳): سیستم خنک‌کن تر حلقه باز یکبارگذر



شکل (۳-۳): سیستم خنک‌کن آبی و برج خنک‌کن با جریان اجباری

^۱ Drift

^۲ Blowdown

۴- انتخاب توربین گاز و نحوه محاسبات آن

کادر پایین این صفحه شامل لیستی از مدل‌های توربین گاز موجود در نرم‌افزار می‌باشد. بیشتر این لیست شامل کتابخانه‌ای از توربین‌های گاز واقعی هستند که بر اساس مهندسی معکوس مدل آنها ساخته شده و یا بر اساس یک پایگاه داده از داده‌های عملکردی سازنده توربین گاز می‌باشد. علاوه بر آن، در بالای لیست چندین روش جهت تعریف عملکرد توربین گاز نیز وجود دارد که در زیر بدان اشاره شده است.

۴-۱- استفاده از برنامه ساخت مدل توربین گاز

این یک برنامه جانبی از مجموعه نرم‌افزارهای ترموفلو می‌باشد که به کاربر اجازه تعریف عملکرد توربین گاز را در شرایط نامی می‌دهد. بعلاوه می‌توان منحنی‌های تصحیحی برای شرایط محیطی مختلف، پارامترهای نصب و رفتار در بارهای جزئی نیز برای آن تعریف نمود. سپس برنامه از این اطلاعات برای یافتن عملکرد توربین گاز استفاده می‌کند.

۴-۲- تعریف عملکرد توسط کاربر

به کاربر این امکان را می‌دهد تا به جای مدلسازی کل توربین گاز، عملکرد توربین را در یک نقطه تعریف کند و در نتیجه به ماشین به عنوان یک جعبه سیاه نگاه می‌کند. پارامترهای عملکردی در این حالت در بخش ورودی‌های توربین گاز تعریف می‌شوند.

۴-۳- عدم وجود توربین گاز

در این حالت کاربر می‌تواند بویلر بازیابی را تعریف کند که منبع انرژی آن دود خروجی توربین گاز نباشد بلکه یک جریانی از گاز باشد. در هنگام استفاده از این گزینه، بخش ورودی بویلر بازیاب جایگزین بخش پارامترهای ورودی توربین گاز می‌شود و کاربر می‌تواند مشخصات جریان گاز ورودی به بویلر بازیاب را تعیین کند.

۴-۴- انتخاب توربین گاز از کتابخانه موجود

با توجه به لیست طولانی توربین‌های گاز موجود در کتابخانه این نرم‌افزار یک سری فیلتر برای محدودسازی تعداد نمایش توربین گاز و یا آرایش مجدد لیست وجود دارد که برخی از آنها با توجه به انتخاب کاربر در

بخش‌های قبل همچون فرکانس شبکه و محدوده ساینز توربین گاز به صورت پیشفرض انتخاب می‌شوند. مقادیر عملکردی نمایش داده شده در این لیست برای توربین گاز در شرایط استاندارد ایزو^۱ می‌باشند.

شرایط ایزو برای توربین گاز به صورت زیر تعریف می‌شود:

- توربین گاز در حالت تمیز و نو باشد.
- توربین گاز در بار پایه و سوخت آن متان با دمای 25°C باشد.
- توربین گاز در دمای محیط 15°C در ارتفاعی همسطح دریا و با رطوبت نسبی ۶۰٪ کار کند.
- افت فشار ورودی و خروجی توربین گاز صفر در نظر گرفته شود.

برای تمامی توربین‌های گاز، توان خروجی نامی و نرخ حرارتی (و یا راندمان) ذکر شده در انتهای ژنراتور و بعد از کسر افت ژنراتور و گیربکس تعریف شده است. در جدول (۴-۱) اطلاعات موجود برای یکی از توربین‌های گاز که تقریباً مشابه توربین‌های گاز مورد استفاده در اغلب نیروگاه‌های کشور می‌باشد ذکر شده است. لازم به ذکر است دمای ورود به توربین که با TIT نمایش داده می‌شود دمای سکون در ورود به اولین ردیف از پره‌های متحرک روتور می‌باشد. همچنین قیمت ذکر شده در جدول بر اساس میلیون دلار برای مجموعه توربین گاز و بدون در نظر گرفتن قیمت دودکش آن می‌باشد.

جدول (۴-۱): نمایش مشخصات یکی از توربین‌های موجود در کتابخانه ترموفلو

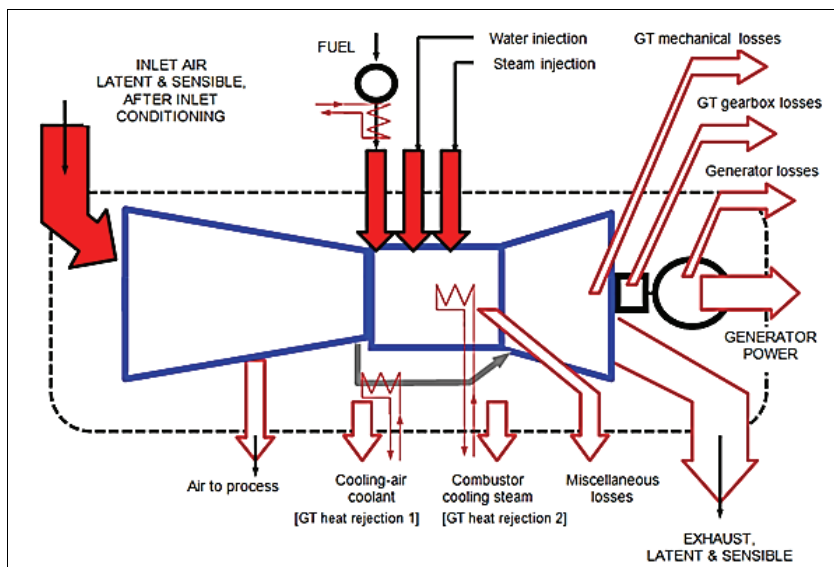
ID	Manufacturer & Model	Other Name(s)	Shafts	RPM	PR	TIT C	TET C	Air Flow Kg/s	Gen Power kW	LHV HR kJ/kWh	LHV Eff.	Price MM\$
293	Siemens SGT5-2000E	KWU V94.2	1	3000	11.8	1149	542	518	164700	10350	34.8	42.1

مدل‌های موجود در کتابخانه GT PRO شامل سه نوع زیر می‌باشد:

- مدل‌های فیزیکی
- مدل تعریف شده بر اساس داده
- مدل تخمین منحنی برای داده‌های سازنده تجهیز

^۱ International Organization for Standardization (ISO)

عملکرد کمپرسور برای ایجاد ارتباط بین راندمان، نسبت فشار و دبی تصحیح شده در ورودی آن ساخته می‌شود. مشخصه‌های اصلی این منحنی عملکرد موقعیت، توزیع و شکل خطوط راندمان، محدودیت‌های کارکرد و خطوط سرعت تصحیح شده می‌باشد که در شکل (۳-۴) نمایش داده شده است.



شکل (۳-۴): مرز بالانس حرارتی برای مدلسازی یک توربین گاز

برای مدل محفظه احتراق محاسبات تعادلی عمومی با در نظر گرفتن راندمان حل می‌شود. استفاده از هر سوختی با هر ترکیبی و فازی در این مدل مجاز می‌باشد. رویه محاسباتی موجود افت فشار محفظه احتراق، تزریق آب یا بخار و دمای تحویلی سوخت را نیز در نظر می‌گیرد.

Siemens SGT5-2000E - Revised 08-25-2004, estimated price updated January 2013.
This machine specification is no longer available new (superseded by engine ID #342).
Source : Siemens nominal data and correction curves dated 10/95
Source : Updated full load data from SIPFP 2.2.2 08/04
Change to nominal data : -0.91% to HR
Max model errors in test range : Mex<1% kW<1% HR<1% Tex<5F (2.8C)
Test range : 20 to 120 F (-7 to 49 C) full load dry
Part load model with variable IGV control included

شکل (۳-۴): نمایش مقدار تنظیم مشخصات عملکردی در یک مدل توربین گاز

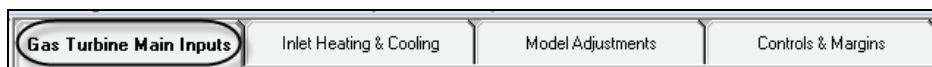
منحنی عملکرد توربین برای هر ماشینی جهت تعیین ارتباط راندمان توربین به نسبت فشار و دبی تصحیح شده تشکیل می‌شود. در شکل (۳-۴) یک نمونه عمومی از منحنی عملکرد توربین را که در آن محدوده

۵- پارامترهای ورودی توربین گاز

این بخش شامل پارامترهای ورودی و تنظیمات لازم برای توربین گاز می‌باشد که صفحه اول آن با توجه به انتخاب یا عدم انتخاب توربین گاز از لیست کتابخانه موجود و یا انتخاب گزینه تعریف توسط کاربر ممکن است اندکی تغییر یابد. در صورتیکه توربین گاز از لیست بخش قبل انتخاب شود تنظیمات مختلف زیر برای کاربر فعال می‌شود.

۵-۱- پارامترهای اصلی توربین گاز

برای توربین‌های گاز انتخاب شده از کتابخانه نرم‌افزار در این برگه اطلاعات مربوط به سیستم تزریق آب، نوع و فشار سوخت توربین گاز، افت فشار در ورود و خروج توربین گاز تعریف می‌شود و برای توربین‌های گازی که توسط کاربر تعریف می‌شود علاوه بر موارد فوق شامل پارامترهای لازم برای تعریف عملکرد توربین گاز از قبیل توان، نرخ حرارتی ژنراتور، دما و دبی دود خروجی از توربین نیز می‌باشد.



شکل (۵-۱): سربرگ مربوط به پارامترهای اصلی توربین گاز

۵-۱-۱- تزریق آب یا بخار

با انتخاب گزینه‌های تزریق آب یا بخار و یا هر دو، سیستم تزریق آب و بخار برای توربین گاز فعال می‌شود و تجهیزات مربوط به آن از قبیل لوله‌کشی آن و پکیج تزریق به توربین گاز و سیستم کنترل در نظر گرفته شده که در نهایت منجر به افزایش قیمت مجموعه توربین گاز می‌گردد. در صورتیکه که کاربر تمایل داشته باشد از این سیستم در هنگام طراحی استفاده نشود و تنها در خارج از نقطه طراحی در GT MASTER مورد استفاده قرار گیرد حتماً باید در مرحله طراحی GT PRO گزینه مربوط به آن فعال شود.

شکل (۵-۲): پنجره طراحی سیستم تزریق آب و بخار

View GT exhaust loss

Filter pressure drop
10 millibar

Duct & stack draft loss
5 millibar

GT Exhaust Loss

Catalyst pressure drop may be edited at the Emission & Instrumentation tab of the Other PEACE topic. HRSG pressure drop may be edited at the main HRSG Inputs screen. Current values are shown below.

SCR = 0
CO catalyst = 0
Duct & stack = 5
HRSG = 25

Total loss = 30 millibar

OK

شکل (۳-۵): نمایش افت فشار در بخش‌های مختلف خروجی توربین گاز

۲-۵- پارامترهای توربین‌های تعریف شده توسط کاربر

در صورتیکه از لیست توربین‌های گاز بخش قبل گزینه تعریف توربین توسط کاربر انتخاب شود علاوه بر موارد فوق لازم است اطلاعات بیشتری که بیانگر عملکرد توربین گاز است تعیین شود. چهار پارامتر اصلی توان ژنراتور، نرخ حرارتی ژنراتور، دما و دبی دود خروجی از توربین هستند که عملکرد توربین را در شرایط بهره‌برداری موجود تعیین می‌کنند و می‌بایست مطابق شکل (۴-۵) تعیین شوند. اگر کاربر یکی از توربین‌های موجود از لیست کتابخانه موجود را انتخاب کند و بعد از یکبار انجام حل دوباره در پنجره انتخاب توربین گاز گزینه تعریف توسط کاربر را انتخاب نماید داده‌های موجود در کادر این چهار پارامتر بر اساس مشخصات توربین گاز انتخابی مقداره‌ای اولیه می‌شود.

Exhaust Analysis

☐ Specify compressor air flow

Compressor air flow 88.33 kg/s

Heat Rejection 1 0 kW

Heat Rejection 2 0 kW

Generator power 30000 kW

Exhaust temperature 540 C

Generator heat rate 10049 kJ/kWh

Exhaust flow 90 kg/s

GT Exhaust Analysis

Gas Turbine Exhaust Composition

☒ Computed by GT PRO ☐ User-specified

O2 volume percent 13.5 %

CO2 volume percent 3.3 %

H2O volume percent 7.5 %

SO2 volume percent 0 %

Ar volume percent 0.9 %

N2 volume percent 74.8 %

OK

Cancel

Incorrect specification of exhaust composition will cause a heat balance error in the gas turbine calculation.

شکل (۴-۵): پارامترهای ورودی توربین‌های تعریف شده توسط کاربر

دو روش برای طراحی چیلر وجود دارد:

۱- بر اساس بالانس حرارتی: با توجه به مقدار کاهش دمای هوای ورودی و افت فشار تعیین شده توسط کاربر، نرم‌افزار به طور اتوماتیک چیلر را طراحی می‌کند. اگر چیلر برای نیروگاه در نظر گرفته شود اما در نقطه طراحی مورد استفاده قرار نگیرد نرم‌افزار آن را برای ۵ تن تبرید طراحی می‌کند. دو پارامتر اصلی طراحی چیلر میزان کاهش دمای هوای ورودی و میزان افت فشار هوای ورودی می‌باشد. در این نرم‌افزار می‌توان دمای هوا را حداکثر تا دمای $2/8^{\circ}\text{C}$ کاهش داد. منبع گرمایی بخار برای چیلرهای جذبی دو مرحله‌ای معمولاً ۵ تا ۱۰ بار و برای چیلرهای جذبی یک مرحله‌ای $1/4$ تا $2/8$ بار می‌باشد.

۲- بر اساس سایز مشخص: کاربر می‌تواند به طور مستقیم ظرفیت نامی چیلر را نسبت به دبی هوای ورودی برای هر توربین گاز وارد کند.

The screenshot shows a software interface for chiller design. It is divided into several sections with Persian annotations:

- نوع چیلر (Chiller type):** A dropdown menu set to "Single stage water-cooled absorption chiller".
- مشخصات پمپ‌های آب خنک‌کن چیلر (Chiller water pump details):** A section for pump specifications.
- تعیین ضریب عملکرد (Performance coefficient determination):** A section for determining the performance coefficient.
- موازنه حرارتی جهت تخمین اندازه چیلر و افت فشار هوا (Heat balance for chiller sizing and air pressure drop):** A section for heat balance calculations.
- معیار تخمین اندازه چیلر: موازنه حرارتی توسط کاربر (Chiller sizing criterion: user-defined heat balance):** A section for user-defined sizing criteria.
- پارامترهای طراحی چیلر (Chiller design parameters):** A section for chiller design parameters.
- نوع سیستم خنک کننده (Cooling system type):** A dropdown menu set to "Plant condenser cooling water".

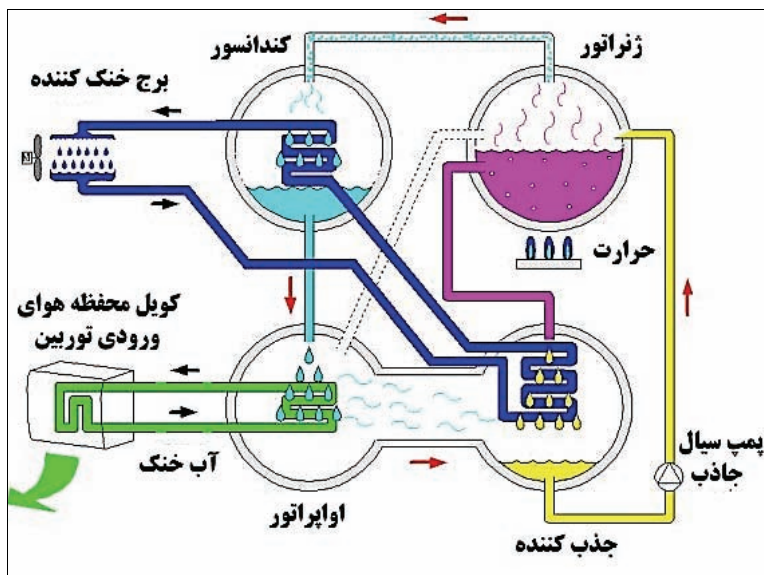
The interface includes various input fields for temperature, pressure, and capacity, as well as output fields for COP and design parameters.

شکل (۵-۸): تنظیمات بخش‌های مختلف طراحی چیلر



آشنایی با نیروگاه : چیلرهای جذبی

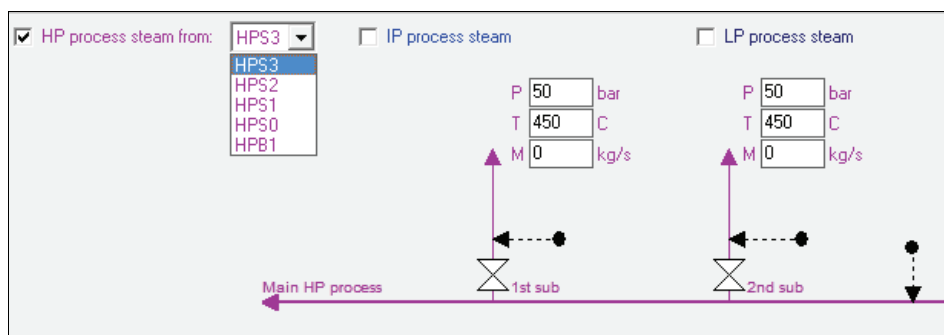
در هر سیکل تبرید جذبی، یک سیال جاذب و یک سیال مبرد وجود دارد. به طور مثال در چیلر جذبی لیتیوم بروماید، سیال مبرد آب و سیال جاذب، محلول لیتیوم بروماید می باشد. چیلر جذبی از چهار قسمت اصلی اواپراتور، جذب کننده، ژنراتور و کندانسور تشکیل گردیده است. در یک دسته بندی چیلرهای جذبی به یک مرحله ای (تک اثره) یا دو مرحله ای (دو اثره) تقسیم می شوند. ژنراتور چیلر جذبی دو مرحله ای از دو ژنراتور دما بالا و دما پایین تشکیل شده است. استفاده از دو ژنراتور دما بالا و دما پایین باعث افزایش ضریب عملکرد (COP) از ۰/۶ الی ۰/۸ به ۱ الی ۱/۲ می شود. مایع مبرد (آب) در قسمت اواپراتور تبخیر شده و باعث سرد شدن محیط اطراف می گردد. بخار خارج شده از اواپراتور در جذب کننده توسط محلول غلیظ لیتیوم بروماید جذب می گردد و محلول با جذب آب رقیق گشته و توسط پمپ کوچکی به قسمت فوقانی چیلر یعنی ژنراتور منتقل می گردد که در آن محلول لیتیوم بروماید در یک یا دو مرحله تغلیظ می شود. سپس لیتیوم بروماید تغلیظ شده به قسمت جذب کننده بازگشت داده می شود. بخارات آب در ژنراتور توسط لوله های کندانسور تقطیر گشته و پس از عبور از شیر انبساط مجدداً وارد اواپراتور شده و سیکل تکرار می شود.



۶- اتصال توربین بخار و بویلر بازیاب

پارامترهای اصلی این بخش مشخصات مربوط به دما و فشار هدرهای اصلی بخار می‌باشد که بین توربین بخار و بویلر بازیاب مشترک می‌باشد. همچنین داده‌های مربوط به جریان فرآیندها که از این هدرها گرفته می‌شوند نیز در این بخش تعیین می‌شود. جریان مورد نیاز فرآیندهایی که تنها از بخش توربین بخار و یا بویلر بازیاب انشعاب گرفته می‌شود را می‌توان در بخش‌های مربوط به توربین بخار و یا بویلر بازیاب تعریف نمود.

جریان مورد نیاز فرآیند با توجه به فشار و دمای مورد نیاز از هدرهای اصلی مختلفی می‌تواند گرفته شود. با توجه به انتخاب‌های قبلی کاربر برای نوع سیکل و سطوح فشاری ممکن است برخی از انتخاب‌های موجود برای منبع جریان فرآیند غیر فعال باشد و در غیر این صورت کاربر می‌تواند منبع مناسب را برای جریان فرآیندهای فشار پایین^۱، فشار متوسط^۲ و فشار بالا^۳ تعیین کند.



شکل (۶-۱): تعیین مشخصات جریان‌های لازم برای فرآیند

۶-۱- انتخاب اولویت دبی جریان یا پینچ

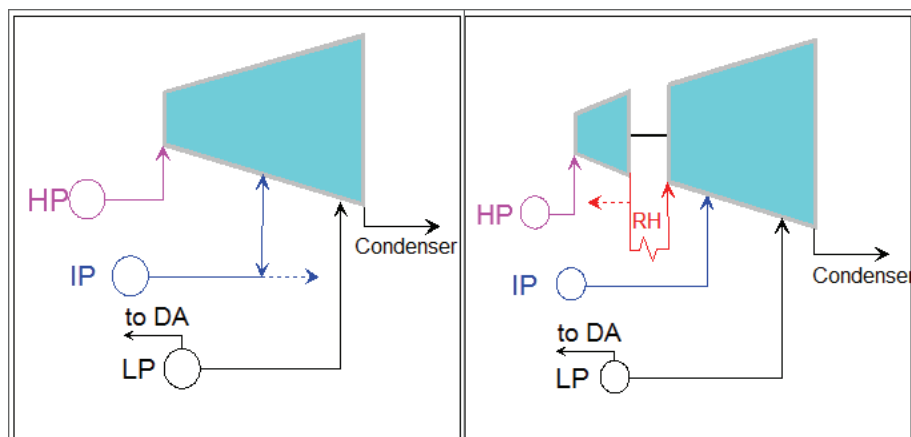
در طراحی سیکل‌های ترکیبی دارای کندانسور معمولاً هدف تولید بیشترین بخار با در نظر گرفتن اختلاف دمای پینچ مشخص می‌باشد و از این رو اختلاف دمای پینچ، متغیر ورودی مستقل مناسبی جهت طراحی سیکل‌های دارای کندانسور می‌باشد. در نیروگاه‌های بدون کندانسور که چاه حرارتی^۴ برای قبول بخار اضافی

^۱ Low Pressure (LP)

^۲ Intermediate Pressure (IP)

^۳ High Pressure (HP)

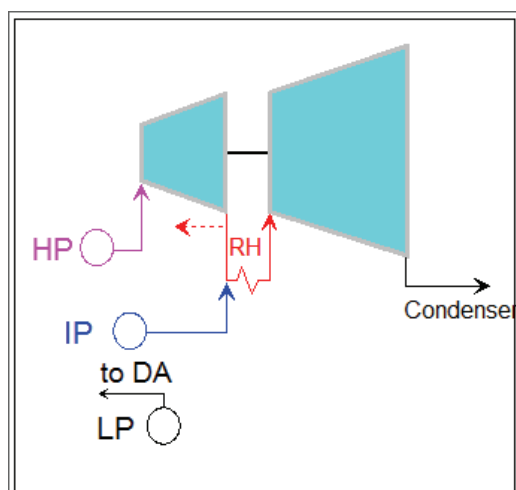
^۴ Sink



شکل (۲-۶): سیکل بدون ری هیت (سمت چپ) و سیکلی که ری هیت آن قبل از IP می باشد (سمت راست)

سیکل های ری هیت دار:

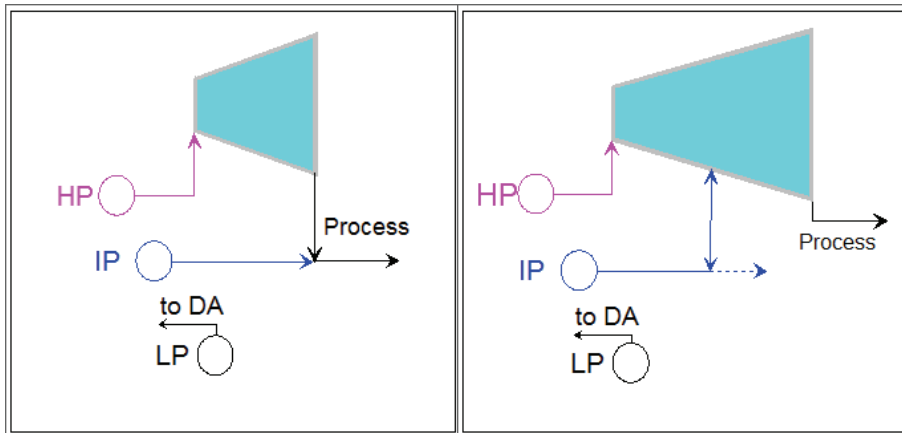
در اینگونه سیکل ها همانند شکل (۳-۶) که در آن بخار ری هیت سرد با بخار IP ترکیب می شود فشار بخش IP در قسمت ری هیت گرم و در ورود به بخش LP توربین تعریف می شود. در نتیجه فشار اواپراتور IP بویلر باز یاب بیشتر از مجموع افت خطوط لوله کشی ری هیت گرم، ری هیت سرد و سوپرهیتر بخش IP در نظر گرفته می شود. فشار ری هیت سرد در خروج از بخش HP توربین نیز توسط برنامه به اندازه مقدار افت فشار خطوط لوله کشی ری هیت سرد بیشتر از فشار در خروجی سوپرهیتر IP خواهد شد.



شکل (۳-۶): سیکل دارای ری هیت

در سیکل‌های بدون کندانسور (در توربین‌های بخار با فشار پشت)

به طور کلی در اینگونه سیکل‌ها، بخار بخش فرآیند IP از انتهای توربین بخار به تنهایی یا همراه با بخش بخار IP بویلر بازیاب تأمین می‌شود. وقتی بخار فرآیند همزمان توسط توربین بخار و بویلر بازیاب تأمین می‌شود، می‌توان با انتخاب گزینه letdown فشار خروجی توربین بخار و یا فشار اواپراتور IP را به طور مستقل بیشتر از فشار بخار فرآیند تنظیم نمود.



شکل (۴-۶): سیکل بدون کندانسور

در سیکل‌های دارای ری‌هیت می‌توان مقادیر فشار و دمای ری‌هیت گرم و سرد را به طور مستقل تعیین نمود که جهت فعال شدن گزینه‌های فشار و دمای ری‌هیت گرم و سرد باید در مسیر زیر گزینه محاسبه راندمان توربین بخار با توجه به شرایط ری‌هیت انتخاب شود. در صورتیکه راندمان توربین بخار با توجه به شرایط بخار ری‌هیت سرد که توسط کاربر تعیین می‌شود بیشتر از ۹۵٪ و یا کمتر از ۶۵٪ شود دمای ری‌هیت سرد متناسب با محدودیت راندمان تغییر خواهد کرد. محدودیت دیگر اختلاف فشار ری‌هیت سرد و گرم جهت در نظر گرفتن افت فشار خطوط لوله‌کشی و ری‌هیت می‌باشد که در نتیجه افت فشار ری‌هیت نمی‌تواند از ۲٪ کمتر باشد.

Plant Criteria > Calculation Options > Reheat Cycle Specification >
☒ Compute ST efficiency for user-defined cold reheat conditions

به بیشتر کاربرها توصیه می‌شود که از این امکان نرم‌افزار استفاده نکنند و اجازه دهند بر اساس راندمان توربین بخار و شرایط بخار ورودی شرایط بخار ری‌هیت سرد تخمین زده شود.

۷- پارامترهای ورودی بویلر بازیاب

۷-۱- ورودی‌های اصلی

پارامترهای اصلی بویلر بازیاب در صفحه اول این بخش قابل مشاهده می‌باشد که شامل دو بخش مجزا می‌باشد. سه کادر بالای صفحه مربوط به تنظیمات مشعل اضافی یا داکت برنر^۱ بوده و بخش پایینی آن مربوط به مشخصات اصلی ترمودینامیکی بویلر بازیاب می‌باشد که در طراحی آن و تولید بخار در سطوح فشاری مختلف اثر می‌گذارد.



شکل (۷-۱): سربرگ مربوط به پارامترهای اصلی بویلر بازیاب

۷-۱-۱- مشخصات مشعل اضافی

این نرم‌افزار اجازه تعریف حداکثر دو مشعل اضافی را در ابتدای بویلر بازیاب می‌دهد. همانند شکل (۷-۲) کادر میانی انواع روش‌های متداول تعریف این تجهیز را نشان می‌دهد که در آن سوخت طی یک فرآیند آدیاباتیک سوخته و دمای گاز در عبور از داکت برنر افزایش می‌یابد. موقعیت این مشعل اضافی در بخش آرایش بویلر بازیاب قابل تغییر می‌باشد. علاوه بر استفاده از این مشعل که در اکثر بویلرهای بازیاب مرسوم است امکان تعریف مشعل تشعشی^۲ در سیستمهای پیچیده‌تر نیز وجود دارد. در اینگونه بویلرهای بازیاب، دیواره آنها از لوله‌هایی تشکیل شده است که در آن آب و بخار وجود دارد و به اختصار دیواره آبی^۳ نامیده می‌شوند. در دیواره‌های آبی تحت تاثیر انرژی تشعشی این نوع مشعل خاص، آب به بخار تبدیل می‌شود. همانند سوخت توربین گاز در این بخش نیز امکان تعریف انواع سوخت برای داکت برنر فراهم می‌باشد. همچنین کاربر می‌تواند سوخت بویلر بازیاب را همانند سوخت توربین گاز تعریف نماید که در این حالت نوع سوخت مطابق تعریف سوخت برای بخش بویلر بازیاب می‌باشد.

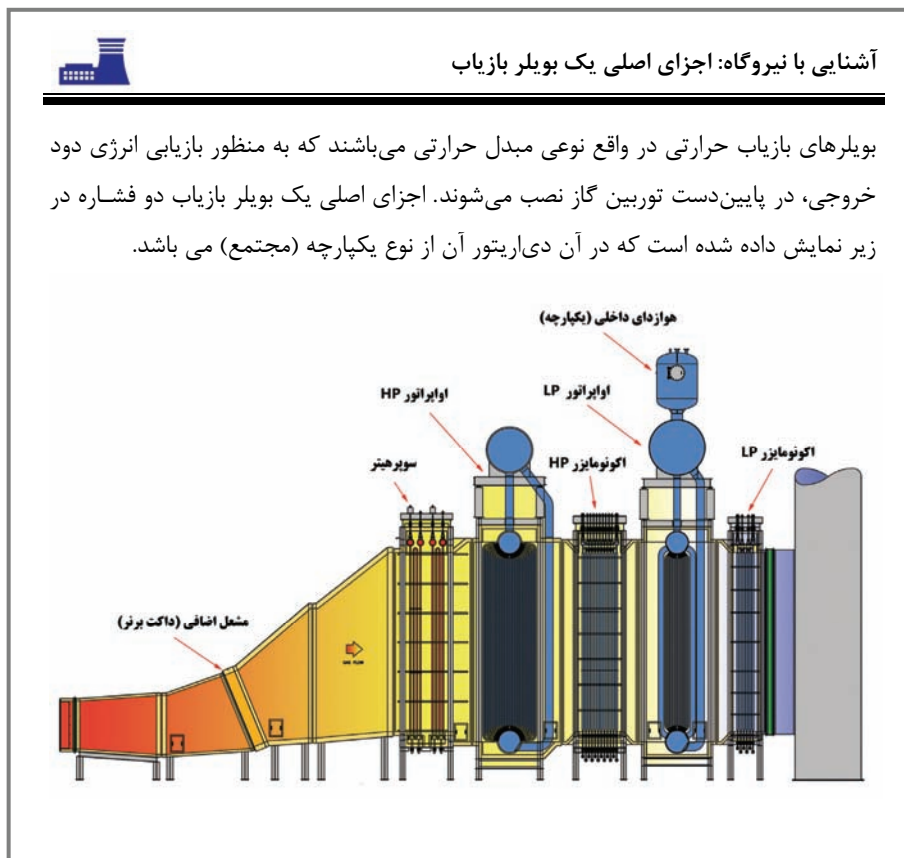
^۱ Duct Burner

^۲ Radiant Duct Burner

^۳ Water-walls

Duct Burner Fuel CH4 CH4 Distillate oil Gas turbine fuel User-defined	Duct Burner Not in plant Not in plant Included, specify exit temperature Included, specify fuel flow Included, specify LHV heat input Included, specify HHV heat input	Radiant Boiler / Additional Duct Burner Included, specify fuel flow Fuel flow (plant total) 0 kg/s
---	---	---

شکل (۷-۲): تنظیمات مشعل اضافی در بویلر بازیاب



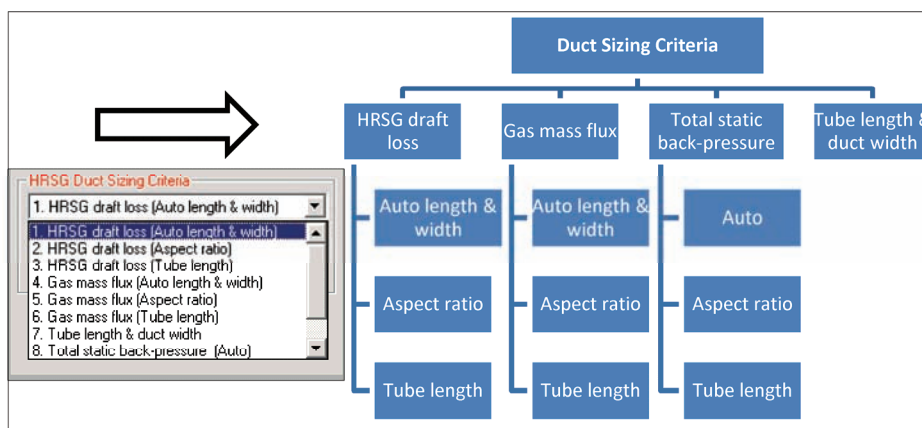
مطابق شکل (۷-۲) در کادر میانی می‌توان مقدار پاشش سوخت در بویلر بازیاب را برای موازنه حرارتی موجود با چهار روش مختلف تعریف نمود. در صورتیکه مشعل اضافه در نظر گرفته شود اما در طراحی مورد استفاده قرار نگیرد نرم‌افزار هزینه و اندازه مشعل اضافی و تجهیزات مربوط به آن را در نظر می‌گیرد و در انتخاب جنس و موقعیت فین تیوب‌های داخل بویلر بازیاب این مسئله را لحاظ می‌کند. برای مشعل اضافی بویلر بازیاب گزینه‌های زیر موجود می‌باشد:

۵-۱-۷- ملاحظات طراحی داکت بویلر بازیاب

روش‌های مختلفی برای طراحی داکت بویلرهای بازیاب وجود دارد که طول فین تیوب‌ها و عرض داکت بویلر بازیاب را تعیین می‌کند. این روش‌ها به طور خلاصه در شکل (۶-۷) نمایش داده شده است. به بیشتر کاربرها توصیه می‌شود که گزینه پیشفرض ۱ را انتخاب کنند تا با تعیین میزان افت منطقی برای بویلر بازیاب، نسبت ابعاد داکت توسط برنامه تعیین می‌شود.

در نظر گرفتن مقادیر کمتر افت فشار برای بویلر بازیاب اگرچه توان خروجی توربین گاز را افزایش می‌دهد اما موجب افزایش قیمت بویلر بازیاب نیز می‌شود. در این حالت برنامه به صورت اتوماتیک مقدار پیش‌فرض افت فشار بویلر بازیاب را با توجه به انتخاب کاربر و بر اساس موازنه راندمان و قیمت و نوع نیروگاه انتخاب می‌کند. به طور کلی برای یک آرایش یکسان در صورتیکه نیروگاه بر اساس راندمان بالاتر طراحی شود میزان افت فشار بویلر بازیاب کمتر در نظر گرفته می‌شود.

با توجه به روش طراحی داکت بویلر بازیاب، سطح عبور جریان از بویلر بازیاب به طور مستقیم یا غیرمستقیم تخمین زده می‌شود و سپس ابعاد فین تیوب‌ها مشخص می‌گردد. در صورتیکه در حین طراحی مشخص شود ابعادی که توسط برنامه محاسبه و یا توسط کاربر تعیین شده غیر منطقی می‌باشد مورد اصلاح قرار می‌گیرند. افت فشار تعیین شده برای داکت بویلر بازیاب شامل تجهیزات کاهنده آلایندگی و یا دودکش نمی‌شود.



شکل (۶-۷): انواع روش‌های طراحی داکت بویلر بازیاب

۸- مسیرهای گردش آب

این بخش در خصوص آرایش‌های مختلف آب تغذیه از قبیل پیش گرمایش کندانس، گرمایش آب تغذیه، پمپ‌های تغذیه و انتخاب‌هایی برای منبع آب مسیرهای مختلف گردش آب بویلر بازیاب می‌باشد. همچنین به آب فرآیند در سیستم‌های تولید همزمان و گزینه‌های مختلف آن مانند انتخاب محلی برای افزودن آب جبرانی یا برگشت کندانس فرآیند می‌پردازد.

۸-۱- پارامترهای ورودی اصلی مسیر گردش آب

این بخش شامل سه قسمت می‌باشد. اولین قسمت مربوط منابع و مقاصد می‌باشد که منابع آب اکونومایزرهای HP و IP را بعلاوه مکان‌های افزودن آب برگشتی به سیکل و یا محل تأمین آب مورد نیاز دی‌سوپرهیتر را مشخص می‌کند. کادر دوم مربوط به گزینه‌های مختلف گرمایش آب تغذیه می‌باشد. در کادر سوم شماتیک مسیرهای گردش آب را با توجه به انتخاب طراح در دو کادر قبلی را نشان می‌دهد.



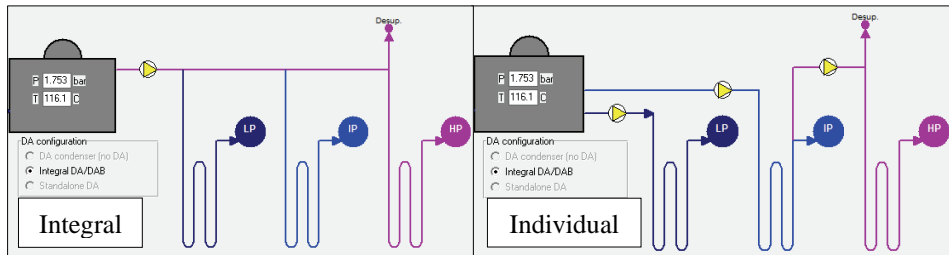
شکل (۸-۱): سربرگ مربوط به پارامترهای ورودی اصلی مسیر گردش آب

۸-۱-۱- منابع و مقاصد مسیرهای گردش آب

اگر از آب تغذیه یک منبع یکسان، معمولاً دی‌اریتور، چندین سطح فشاری تأمین شود می‌توان از یکی از دو آرایش زیر استفاده نمود:

- پمپ‌های تغذیه جداگانه: برای هر سطح فشاری یک پمپ جداگانه در نظر گرفته شود.
 - پمپ تغذیه یکپارچه^۱: تنها یک پمپ در نظر گرفته شود که از خروجی انتهایی آن بالاترین فشار مورد نیاز و از زیرکشی‌های بین طبقه‌ها فشارهای پایین‌تر تغذیه گردند.
- نتایج ترمودینامیکی هر دو گزینه فوق تقریباً شبیه به هم می‌باشد اما هزینه یک پمپ یکپارچه با زیرکشی میانی کمتر از مجموع هزینه‌های پمپ‌های جداگانه می‌باشد. ماژول PEACE جهت تخمین قیمت بین این گزینه‌ها تمایز قائل می‌شود.

^۱ Integral feed pump



شکل (۸-۲): انواع آرایش پمپ‌های تغذیه

منابع آب تغذیه HP:

آب مسیر گردش HP از پنج منبع مختلف زیر می‌تواند تأمین شود که در شکل (۸-۳) انواع آرایش آن نمایش داده شده است که عبارتند از:

خروجی اکونومایزر فشار متوسط (IPE exit): در این حالت یک اکونومایزر IP یکپارچه در نظر گرفته می‌شود که به هر دو آب مدار IP و مدار HP حرارت می‌دهد. مجموع دبی‌ها در یک اکونومایزر بزرگ IP حرارت دریافت می‌کند و بعد از آن به دو بخش تقسیم می‌شود بگونه‌ای که بخشی از جریان وارد اواپراتور HP شده و مابقی آن در پمپ به فشار آب تغذیه HP می‌رسد. گزینه دیگر آن است که فشار اکونومایزر IP را، که مخلوط جریان HP و IP را حمل می‌کند، تا فشار HP افزایش داده شود. سپس در خروجی، فشار بخشی را که وارد اواپراتور می‌شود به فشار کمتر تراشل یا شکسته^۱ شود و مابقی بدون نیاز به پمپ به اواپراتور HP جریان یابد. طبیعتاً مقداری افت راندمان در اثر پمپاژ و سپس شکستن فشار بخشی از جریان IP وجود دارد اما این میزان افت انرژی ناچیز است و ممکن است به سادگی سیکل و در نتیجه توجیه‌پذیری طرح بیانجامد. درام سیکل فشار متوسط (IPB): در این حالت یک اکونومایزر IP یکپارچه در نظر گرفته می‌شود که مخلوط هر دو جریان به اواپراتور IP وارد می‌شود. در این حالت آب تغذیه HP تا دمای اشباع IP حرارت داده می‌شود و سپس به فشار بالاتر HP پمپ می‌شود. این آرایش اغلب در بویلرهای گردش اجباری دیده می‌شود. دی‌اریتور: آب تغذیه HP مستقیماً توسط دی‌اریتور تأمین می‌شود که مستقل از جریان‌های آب تغذیه LP و IP می‌باشد. جریان‌های فشار پایین و بالا ممکن است در عمل از طریق یک پمپ با دو خروجی مجزا تأمین شود. از لحاظ ترمودینامیکی این آرایش مشابه پمپ‌های مجزا می‌باشد اما هزینه یک پمپ یکپارچه با زیرکش میانی کمتر از مجموع هزینه پمپ‌های مستقل می‌باشد.

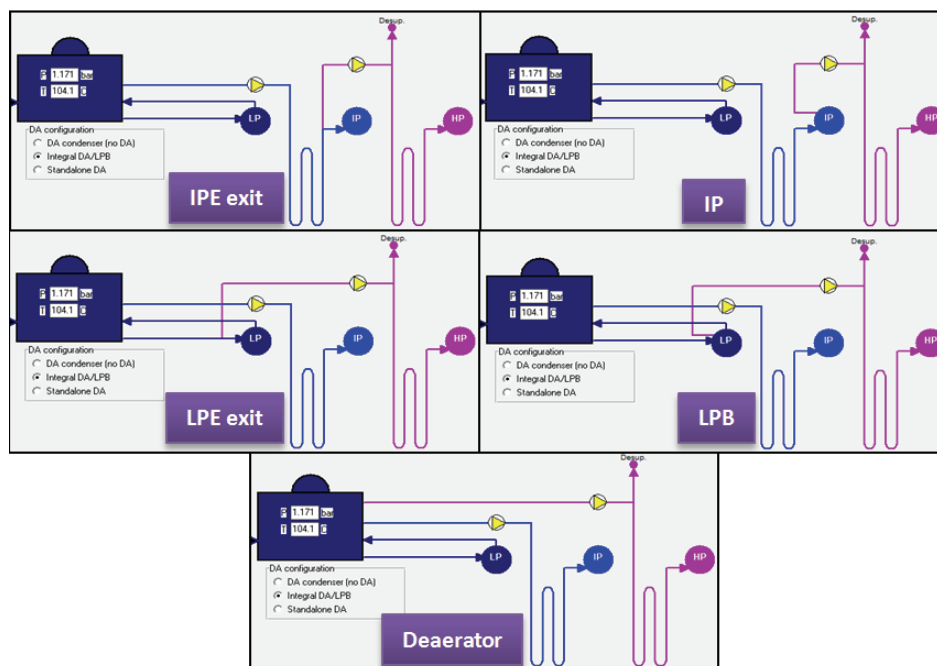
^۱ Throttled

خروجی اکونومایزر LP: جریان HP از اکونومایزر LP گرفته می‌شود و از این رو به صورت اتوماتیک در حد نیاز سائز خط آن افزایش می‌یابد تا جوابگوی مقدار اضافی آب تغذیه باشد. در عمل، ممکن است افزایش فشار اکونومایزر LP، که هر دو جریان را منتقل می‌کند، و سپس شکستن فشار بخشی از آب در ورود به اواپراتور LP منطقی باشد. ناکارآمدی این روش در افزایش فشار و شکستن فشار جریان اندک می‌باشد و افزایش قیمت تیوب‌های LP متوسط می‌باشد. از این رو در نهایت سادگی این روش ممکن است استفاده از این طرح را توجیه کند.

درام سیکل کم فشار (LPB): همانند روش قبل می‌باشد با این تفاوت که جریان HP به صورت مایع اشباع و با فشار LP از درام سیکل کم فشار گرفته می‌شود و تا سطح فشاری HP پمپ می‌شود.

منابع آب تغذیه IP:

همانند سیکل HP می‌باشد با این تفاوت که تنها سه انتخاب وجود دارد و شامل دی‌اریتور، خروجی اکونومایزر LP و درام LP می‌باشد.



شکل (۸-۳): انواع آرایش منبع آب تغذیه بخار HP

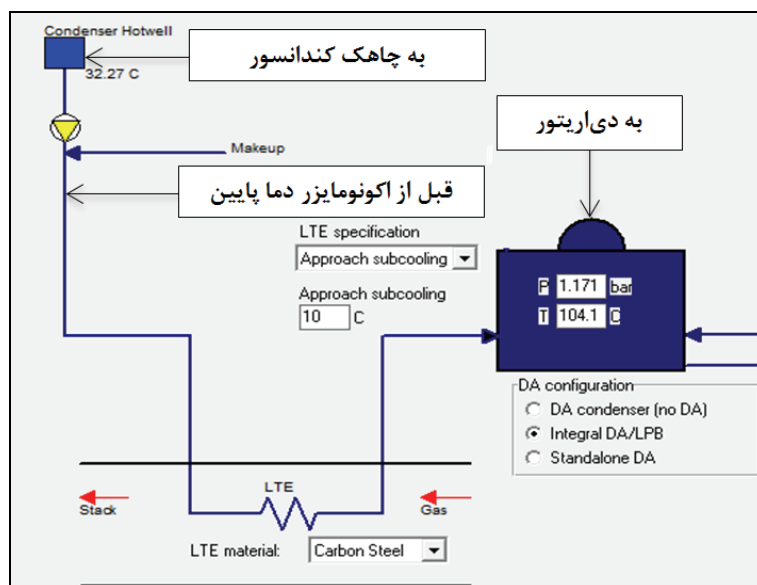
۸-۱-۲- جریانهای برگشتی از فرآیند

مطابق شکل (۸-۴) سه گزینه برای انتخاب مقصد کندانس برگشتی فرآیندها در سیکل بخار وجود دارد که عبارتند از:

قبل از اکونومایزر دما پایین (LTE) و به تانک تغذیه: آب برگشتی از فرآیند قبل از هرگونه گرمایش کندانس با آن ترکیب می‌شود. این نقطه مکان مناسبی برای آب‌هایی می‌باشد که قبل از بازگشت به نیروگاه از سیستم تصفیه آب عبور می‌کند.

دی‌آریتور: جریان فرآیند برگشتی در هوازا با کندانس ترکیب شده و احتمالاً بر میزان گرمایش توسط بخار تاثیر می‌گذارد. اگر آب برگشتی دارای اکسیژن باشد این انتخاب گزینه مناسبی می‌باشد زیرا مانع از خوردگی اکونومایزر کم‌دما می‌شود.

چاهک کندانسور^۱: جریان برگشتی فرآیند در کندانسور ترکیب می‌شود که احتمالاً بر میزان انتقال حرارت آن تاثیر می‌گذارد. در صورتیکه آب برگشتی تمیز، سرد و عاری از هرگونه گازهای محلول باشد این محل انتخاب مناسبی می‌باشد.



شکل (۸-۴): نمایش سه انتخاب موجود برای مقصد کندانس برگشتی فرآیند

^۱ Condenser hotwell

۹- آرایش بویلر بازیاب

۹-۱- عملکرد و محل مبدل‌های حرارتی

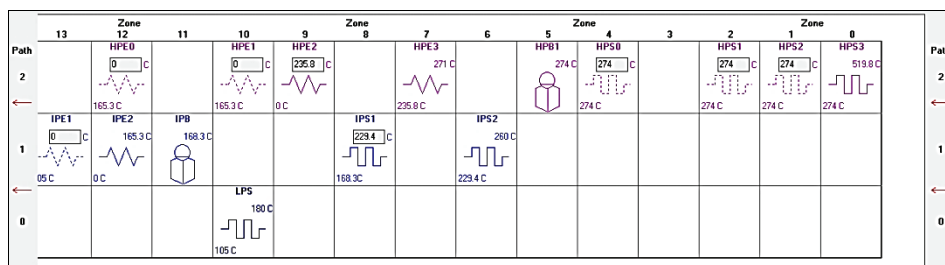
به دو صورت اتوماتیک و تعریف توسط کاربر می‌توان عملکرد و محل مبدل‌های حرارتی بویلر بازیاب را مشخص نمود:

- روش اتوماتیک (Automatic): انتخاب پیش‌فرض نرم‌افزار است که بر اساس منطق ترمودینامیکی مناسب برای مبدل‌های حرارتی مورد استفاده، عملکرد آنها و ترتیب چیدمان آنها را در مسیر گاز انتخاب می‌کند. به کاربرهای تازه‌کار توصیه می‌گردد از این مقادیر پیش‌فرض استفاده کنند.
- تعریف توسط کاربر (User-defined): امکان کنترل کامل بر روی انتخاب مبدل‌های حرارتی بویلر بازیاب فعال، عملکرد و نحوه چیدمان آنها را در مسیر گاز را فراهم می‌کند.

HX Locations & Duties	HRSR Heat & Mass Flow Additions	HRSR External Heat Transfer
-----------------------	---------------------------------	-----------------------------

شکل (۹-۱): سربگ مربوط به عملکرد و محل مبدل‌های حرارتی

در هنگام طراحی یک نیروگاه جدید توصیه می‌شود که از گزینه پیش‌فرض طراحی اتوماتیک نرم‌افزار استفاده شود و یا حداقل تغییرات در آن صورت گیرد. اگرچه نرم‌افزار با روش‌های ریاضی پیچیده طراحی را بهینه‌سازی نمی‌کند اما منطق آن بسیار پایدار بوده و به صورت گسترده تست و اثبات شده است که در نتیجه منجر به طراحی نسبتاً بهینه می‌شود. از این رو به کاربرانی که جهت دستیابی به طراحی بالانس حرارتی دیگران مقادیر ورودی اتوماتیک را تغییر می‌دهند توصیه می‌شود که نتایج نرخ حرارتی و مساحت سطوح بویلر را با نتایج اتوماتیک نرم‌افزار در شرایط یکسان مقایسه نمایند.



شکل (۹-۲): آرایش مبدل‌های حرارتی سمت گاز در بویلر بازیاب

۹-۱-۱- مسیر آب و بخار در مدل بویلر بازیاب GT PRO

در پیکربندی بویلر بازیاب ۲۴ مبدل حرارتی وجود دارد. راه آب در هر مسیر از تعداد ثابتی مبدل حرارتی تشکیل شده است که در صورتیکه از سمت آب/بخار به آن نگاه شود، آب/بخار به داخل آن به ترتیب مشخصی جریان می‌یابد. این ترتیب هنگامی که از سمت گاز به آن نگاه شود کاملاً انعطاف‌پذیر می‌باشد. میزان انتقال حرارت برای هر مبدل حرارتی توسط پارامترهای ورودی سمت آب/بخار تعیین می‌شوند. هر مبدل حرارتی در صورتیکه عملکرد آن غیر صفر باشد فعال می‌شود. عملکرد یا مقدار انتقال حرارت به صورت اتوماتیک یا توسط کاربر با توجه به مقادیر داده‌ها و انتخاب‌های قبلی تعیین می‌شود. ترتیب جریان سمت آب برای هر سطح فشار مسیر بویلر بازیاب در زیر نشان داده شده است. کاربر می‌تواند جهت مشاهده هر مسیر آب به منوی View برود. هر مبدل حرارتی جهت شناسایی در داخل برنامه با یک شماره سریال مشخص شده است که در بیشتر موارد اهمیتی برای کاربر ندارد. برای مثال اولین اکونومایزر فشار بالای HPE1 دارای شماره سریال ۶ در برنامه می‌باشد.

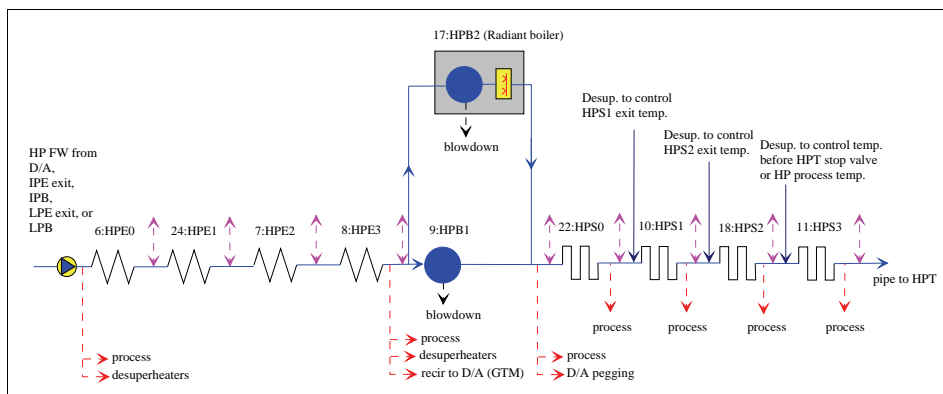
مسیر HP

آب HP از منبعی که در بخش قبل توضیح داده شد سرچشمه می‌گیرد. در ابتدا از سه اکونومایزر با نام‌های HPE1 تا HPE3 جریان می‌یابد و دو اواپراتور موازی هم را که مکان قرارگیری آن در مسیر گاز به دلخواه می‌باشد تغذیه می‌کند. یکی از آنها HPB1 می‌باشد که همان اواپراتور متداول معمولی است و دیگری HPB2 که دارای جزئیات بیشتر است و در کاربردهای خصوصی استفاده می‌شود. اواپراتور HPB2 شامل سطوح جابجایی معمولی می‌باشد که می‌تواند دارای مشعل و دیواره‌های آبی تشعشعی هم باشد. بخار این دو اواپراتور با هم ترکیب شده و از بین ۴ سوپرهیتر به نام‌های HPS0 تا HPS3 همانند شکل زیر به ترتیب عبور می‌کند. این شکل را می‌توان در حین کار در منوی View مشاهده نمود. کاربر باید به این نکته توجه داشته باشد که الزاماً تمامی مبدل‌های حرارتی وجود ندارند و آنهایی هم که وجود دارند در هر مکانی در مسیر گاز درون بویلر می‌توانند قرار گیرند. بر اساس دیگر ورودی‌ها، جریان‌های آب/بخار در بین این مبدل‌ها می‌توانند اضافه یا جدا شوند.

مسیر ری‌هیتر

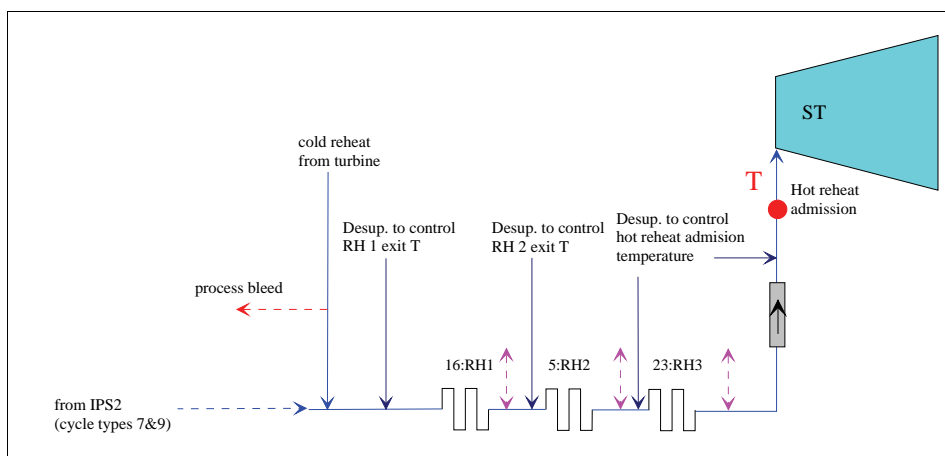
این مسیر تنها در سیکل‌های ترکیبی ری‌هیتر دار یا سیکل‌های بویلر بازیاب تنها^۱ با ری‌هیتر مدل می‌شود. در مدل سیکل ترکیبی، بخاری که وارد این مدار می‌شود از ری‌هیتر سرد می‌آید و احتمالاً با توجه به انتخاب‌های دیگر کاربر با بخار مسیر IP ترکیب می‌شود. در مدل بویلر بازیاب تنها، بخاری که وارد این مسیر

^۱ HRSG-only model



شکل (۳-۹): مسیر سمت آب HP و ترتیب مبدل‌های حرارتی

می‌شود از خارج از مرزهای GT PRO سرچشمه گرفته و مستقیماً توسط کاربر تعریف می‌شود و یا در صورتیکه با THERMOFLEX لینک شده باشد مستقیماً توسط آن برنامه تعیین می‌شود. بخاری که وارد این مدار می‌شود از ۳ ری‌هیتر به ترتیب عبور می‌کند و سپس وارد توربین بخار در مدل سیکل ترکیبی می‌شود و یا مرزهای GT PRO را در مدل بویلر بازیاب تنها ترک می‌کند تا احتمالاً به THERMOFLEX، در صورت لینک شدن به برنامه، دوباره وارد شود.



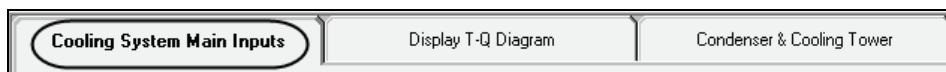
شکل (۴-۹): مسیر سمت آب RH و ترتیب مبدل‌های حرارتی

۱۰- سیستم‌های خنک‌کن

این بخش جهت طراحی کندانسور و برج خنک‌کن برای سیکل‌های ترکیبی می‌باشد و در صورتیکه سیستم کندانسور نداشته باشد مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.

۱۰-۱- ورودی‌های اصلی سیستم خنک‌کن

- نرم‌افزار GT PRO سیستم‌های خنک‌کن زیر را برای توربین‌های بخار دارای کندانسور طراحی می‌کند:
- پنج سیستم خنک‌کننده شامل یک کندانسور سطحی می‌باشند که بخار بر روی سطح خارجی تیوب‌ها کندانس و به مایع تبدیل می‌شود و در داخل تیوب‌ها آب خنک‌کن می‌باشد. تفاوت این پنج روش در نحوه تأمین آب خنک‌کن آن می‌باشد. یکی از آنها دارای سیستم حلقه باز و چهار نوع دیگر دارای برج‌های خنک‌کن مختلف می‌باشد.
 - چهار نوع کندانسور هوا خنک که بخار داخل تیوب‌ها کندانس می‌شود. سطح خارجی تیوب‌ها با هوا خنک می‌شود و دارای انواع روش بهبود انتقال حرارت به وسیله خنک‌کاری تبخیری می‌باشد.
 - یک سیستم خنک‌کننده که در آن بخار با آب گردشی مخلوط شده و در یک برج خنک‌کن خشک (برج هلر) خنک می‌شود.
 - در آخرین روش انرژی بخار خروجی به جای هدر در کندانسور به فرآیند داده می‌شود و به صورت کندانس به کندانسور بر می‌گردد.
- نوع سیستم خنک‌کن در همان ابتدا در برگه معیارهای طراحی نیروگاه تعیین می‌شود زیرا سیستم‌های خنک‌کن مختلف دارای تنظیمات به خصوصی می‌باشند که در نتیجه نمایش آن با توجه به نوع سیستم انتخابی تغییر خواهد کرد.



شکل (۱۰-۱): سربرگ مربوط به پارامترهای ورودی اصلی سیستم خنک‌کن

۱۰-۱-۱- پارامترهای مشترک در همه سیستم‌های خنک‌کن

سه روش برای طراحی کندانسور موجود می‌باشد:

۱. اتوماتیک: در این حالت نرم‌افزار فشار کندانسور و پارامترهای ورودی ترمودینامیکی را با توجه به نوع سیستم خنک‌کن انتخاب می‌کند که این کار با در نظر گرفتن شرایط محیطی، نوع سیستم

خنک‌کن و انتخاب روش طراحی سایت بر اساس راندمان یا قیمت می‌باشد. این روش انتخاب پیش‌فرض نرم‌افزار می‌باشد و برای حل‌های اولیه در طراحی جدید توصیه می‌شود.

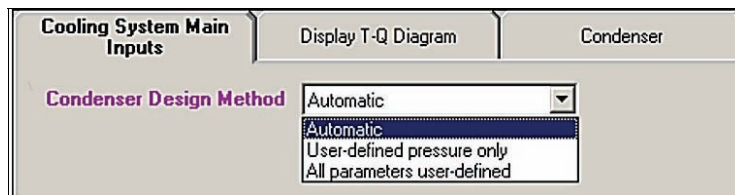
۲. تعریف تنها فشار توسط کاربر: به کاربر امکان تعیین فشار کندانسور را می‌دهد اما هنوز نرم‌افزار دیگر مقادیر اصلی ترمودینامیکی را بر اساس شرایط محیطی سایت، ملاحظات قیمت یا راندمان و فشار کندانسور مورد نظر کاربر انتخاب می‌کند. در صورتیکه نرم‌افزار نتواند به فشار مطلوب کندانسور دست بیابد خطای مناسب نمایش داده می‌شود.

۳. تعریف تمام پارامترها توسط کاربر: به کاربر این اجازه را می‌دهد تا علاوه بر تعریف فشار کندانسور کلیه پارامترهای ترمودینامیکی مربوط به طراحی را انتخاب کند. اگرچه هنوز بررسی و موازنه‌های زیادی بر روی داده‌های تعیین شده اعمال می‌شود و در صورت نیاز هشدارهای لازم توسط نرم‌افزار ایجاد می‌شود اما ایجاد طراحی مناسب بر عهده کاربر می‌باشد.

دو پارامتر زیر نیز در تمام سیستم‌ها مشترک می‌باشد:

فشار کندانسور: دو کادر ورودی بر اساس واحدهای مختلف برای تعیین فشار کندانسور وجود دارد و با تنظیم یکی دیگری نیز به صورت اتوماتیک به روز می‌شود. دمای اشباع متناظر با فشار تعیین شده برای کندانسور نیز در زیر کادر ورودی فشار نمایش داده می‌شود.

دمای آب مادون سرد چاهک کندانسور^۱: مقدار کاهش دمای کندانس به کمتر از دمای اشباع در فشار کندانسور می‌باشد. مقدار پیش‌فرض آن صفر می‌باشد و برای سیستم هلر نیز موجود نمی‌باشد.



شکل (۱۰-۲): روش طراحی به صورت اتوماتیک یا با تعیین فشار کندانسور

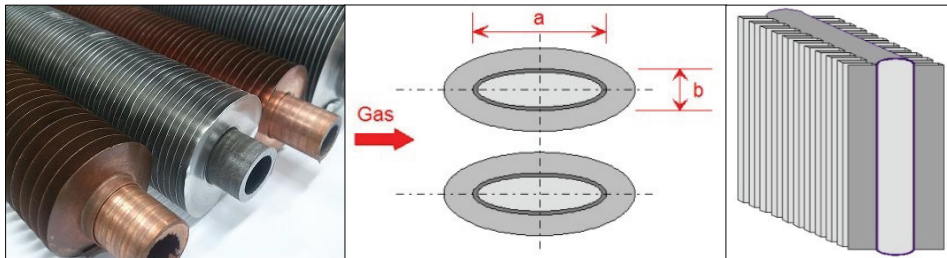
۱۰-۱-۲- سیستم‌های دارای کندانسور سطحی آب خنک

یکی از پارامترهای مشترک برای تمام سیستم‌های خنک‌کن این دسته میزان افزایش دمای آب خنک‌کن می‌باشد که اختلاف دمای آب خنک‌کن در خروج از کندانسور (Hot CW T) و دمای آب خنک‌کن در ورود به کندانسور می‌باشد (Cold CW T). این پارامتر معمولاً بر اساس محدودیت‌های محیط‌زیست برای

^۱ Hotwell subcooling

آیتم ۱: ضریب انتقال حرارت میعان یا چگالش می‌باشد. از آنجایی این ضریب انتقال حرارت بسیار بزرگتر از ضریب انتقال حرارت سمت هوا می‌باشد در طراحی کندانسور نقش کمی دارد.

آیتم ۲: ضریب رسوب گرفتگی کندانسور که به صورت مقاومت نسبت به مساحت خارجی کل بیان می‌شود.



شکل (۱۰-۲۵): هندسه انواع فین تیوب موجود در نرم‌افزار

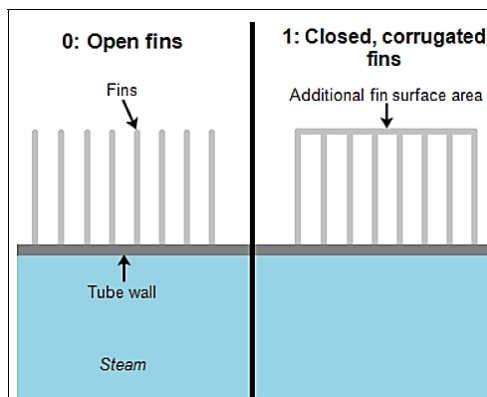
آیتم‌های ۳ تا ۱۷: مشخصات هندسی فین تیوب می‌باشد و به منظور راهنمایی کاربر تصویری در گوشه پایین صفحه برنامه نشان داده می‌شود.

آیتم ۱۸: مربوط به ضریب تصحیح برای محاسبه قدرت فن کندانسور هوایی توسط نرم‌افزار می‌باشد.

آیتم ۱۹: این آیتم مقدار بار سرمایشی اضافی ورودی به کندانسور را تعیین می‌کند.

آیتم ۲۰: تنها برای کندانسور با سطوح تر موجود می‌باشد و جهت محاسبه بلودان استفاده می‌شود.

آیتم ۲۱: تنها برای کندانسورهای هوایی موجود می‌باشد و جهت محاسبه مساحت سطوح انتقال حرارت کل مورد استفاده قرار می‌گیرد. همانطور که در شکل (۱۰-۲۶) نمایش داده شده است مقدار صفر به معنای آن است که فین‌ها از یک سمت آزاد بوده و کانال بین آنها باز می‌باشد در حالیکه مقدار یک به معنای آن است که دارای فین‌های موج‌دار بوده و کانال بین آن بسته می‌باشد.



شکل (۱۰-۲۶): هندسه انواع فین تیوب موجود در نرم‌افزار

۱۱- پارامترهای ورودی توربین بخار

۱۱-۱- ساختار مدل توربین بخار

به منظور سهولت در استفاده از مطالب این بخش، برخی از تعاریف مورد استفاده در نرم افزار GT PRO برای توربین بخار در ابتدای این بخش ارائه شده است.

۱۱-۱-۱- بخش‌ها^۱ و پوسته‌ها^۲

مدل عمومی توربین بخار به این صورت است که بخار در دو بخش انبساط می‌یابد که به عنوان توربین فشار بالا (HPT) و توربین فشار پایین (LPT) شناخته می‌شود. در قسمت مشترک بین دو بخش HPT و LPT محلی می‌باشد که بخار فشار متوسط (IP) می‌تواند از بویلر بازیاب به آن اضافه شود و یا برای فرآیند IP از آن گرفته شود. در تمام توربین‌های بخار GT PRO، بخار فشار بالا از بویلر بازیاب‌ها دریافت می‌شود و از اینرو همگی شامل بخش فشار بالا می‌باشند. توربین‌های بخار با فشار پشت^۳، معمولاً بخار در خروجی خود را به فرآیند در سطح فشاری IP تخلیه می‌کنند و در نتیجه همواره دارای یک HPT تنها می‌باشند. توربین‌های بخار کندانسی^۴ شامل هر دو بخش HPT و LPT می‌باشند.

پوسته، پوشش فیزیکی مجزا یا محفظه در برگیرنده اجزای توربین بخار است. توربین‌های بخار کوچک می‌توانند در یک پوسته قرار گیرند درحالیکه توربین‌های بخار بزرگتر ممکن است دارای پوسته‌هایی در هر سه سطح فشاری HP، IP و LP و یا ترکیبی از آنها باشند. مرز پوسته‌های فیزیکی مستقل از بخش‌های HPT و LPT توضیح داده شده در بالا می‌باشد که در بخش پارامترهای ورودی توربین بخار تعریف می‌شود.

۱۱-۱-۲- پورت‌ها^۵ و گروه‌ها

هر محلی که بخار به توربین بخار وارد یا خارج می‌شود یک پورت می‌باشد. یک گروه شامل تمام تجهیزات (نازل‌های ثابت یا دیافراگم‌ها، پره‌های متحرک و شیر کنترلی) بین دو پورت متوالی در مسیر بخار می‌باشد. بخش‌های HPT و LPT به ترتیب به سه و شش گروه تقسیم می‌شوند که در آن گروه‌های HPT از ۱ تا ۳ و

^۱ Sections

^۲ Casings

^۳ Back-pressure Steam Turbines

^۴ Condensing Steam Turbines

^۵ Ports

گروه‌های LPT از ۴ تا ۹ شماره‌گذاری می‌شود. هر گروه با کاری که در پورت پایین دست جریان انجام می‌گیرد مرتبط می‌گردد و بر همین اساس نامگذاری نیز می‌شود.

جدول (۱-۱۱): نامگذاری گروه‌ها و کارکرد پایین‌دست هر گروه

Group	Name	Downstream function
1	HPTX1	HPT extraction for process
2	HPTA1	HPT addition (or secondary extraction)
3	HPTL	HPT last group
4	LPTX1	LPT extraction for process
5	LPTA1	LPT addition (or secondary extraction)
6	LPTX2	LPT bleed for DA heating
7	LPTX3	LPT bleed for FWH2/DHC2 heating
8	LPTX4	LPT bleed for FWH1/DHC1 heating
9	LPTL	LPT last group

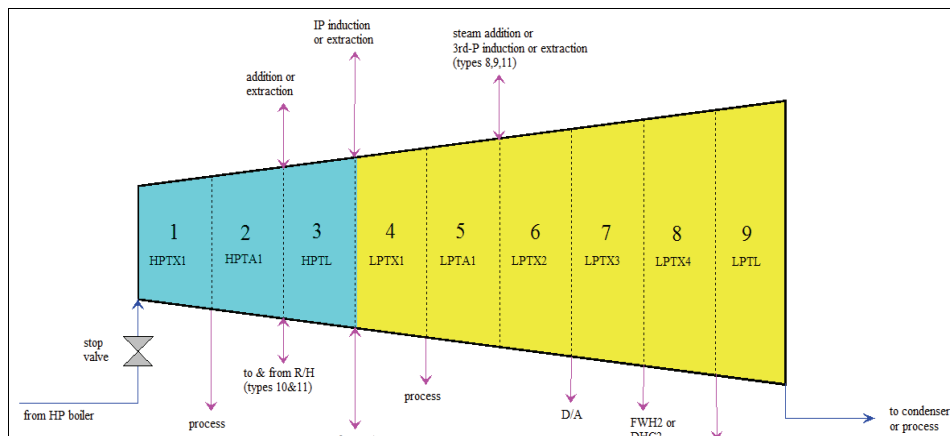
مرز پایین‌دست هر گروه با فشار تزریق یا زیرکش پورت مربوطه تنظیم می‌شود. هر گروه به تنهایی در یک منطقه^۱ در طول جریان بخار قرار دارد که در شکل (۱-۱۱) نمایش داده شده است و در آدرس زیر در منوی نرم‌افزار نیز می‌توان آن را مشاهده نمود.

View / Steam Turbine Model

مناطق همانند گروه‌ها بخش‌هایی از مسیر انبساط بخار هستند که در بین پورت‌ها می‌باشند با این تفاوت که آنها همیشه از ۱ تا ۹ در جهت جریان شماره‌گذاری می‌شوند در حالیکه ترتیب گروه‌ها در هر بخش (HPT یا LPT) می‌تواند تغییر کند. گروه ۳ و ۹ همیشه به ترتیب در مناطق ۳ و ۹ قرار می‌گیرند اما ترتیب دیگر گروه‌ها در صورت نیاز و با توجه به کارکرد گروه که باید در موقعیت (فشار) مناسب در مسیر انبساط قرار گیرد می‌تواند تغییر کند. برای مثال اگر فشار زیرکش بیشتر از فشار تزریق باشد، گروه اول (HPTX1) در منطقه یک و گروه دوم (HPTA1) در منطقه دو قرار می‌گیرد و در غیر این صورت جای آنها تغییر می‌کند. همین موضوع در مورد گروه چهارم (LPTX1) و گروه پنجم (LPTA1) برای توربین کم فشار نیز وجود دارد. در صورتیکه از تمام ۹ گروه استفاده شود، یک توربین بخار می‌تواند یک ورودی، یک خروجی و ۸ پورت میانی دیگر جهت تزریق یا مکش بخار داشته باشد. اغلب توربین‌های بخار سیکل ترکیبی تعداد جریان ورودی و خروجی کمتری دارند و در نتیجه به تمام ۹ گروه نیاز ندارند. پورت‌های مورد استفاده برای تزریق یا مکش بخار به صورت اتوماتیک توسط برنامه تعیین می‌شوند تا با تعداد تداخل جریان‌های بخار مطابقت کند. بنابراین نرم‌افزار GT PRO یک مدل توربین بخار متشکل از زیرمجموعه‌ای از ۹ گروه موجود ایجاد

^۱ Zone

می‌کند و مابقی گروه‌های غیرفعال به صورت اتوماتیک با تعیین نسبت فشار یک و تعداد طبقه انبساطی صفر برای آنها حذف خواهند شد و بنابراین تنها پورت‌های جریانهای موجود مورد استفاده قرار می‌گیرند. مدل ساخته شده توربین بخار در GT PRO می‌تواند به GT MASTER برای شبیه‌سازی کارکرد خارج از نقطه طراحی منتقل شود. ماژول GT MASTER اگرچه مجاز است خصوصیات گروه‌های باقیمانده توربین بخار را تغییر دهد اما نمی‌تواند گروهی را اضافه و یا کم کند.



شکل (۱۱-۱): نمایش گروه‌های توربین بخار و کارکرد آنها

در صورتیکه در طراحی نیروگاهی، تزریق و یا مکش بخار تنها در خارج از نقطه طراحی مورد استفاده قرار گیرد لازم است تا در ماژول GTPRO وجود آن پیشبینی و نصب گردد زیرا امکان افزودن هیچگونه پورتهی در GT MASTER وجود ندارد. ماژول GT PRO چنین پورتهی را در صورتی در نظر می‌گیرد که کاربر حداقل مقدار غیر از صفری برای تزریق یا مکش بخار در فشار مناسب در نظر گیرد سپس در GT MASTER کاربر می‌تواند مقدار متفاوتی برای جریان بخار در نظر گیرد.

۱۱-۳-۱- طبقه‌ها^۱

یک طبقه که گاهی اوقات یک مرحله نیز نامیده می‌شود، مجموعه نازل‌های ثابت و پره‌های متحرک (یک دیافراگم و یک دیسک) می‌باشد که بخار در آن انبساط یافته و به محور توربین گشتاور وارد می‌کند. تعداد طبقه‌ها در هر گروه در حین حل تعیین می‌شود. هر گروهی که در طراحی موجود باشد حداقل دارای یک طبقه می‌باشد.

^۱ Stages

۱۴- نتایج موازنه حرارتی

کاربر می‌تواند بعد از تنظیم پارامترهای نیروگاه جهت انجام محاسبات و انتخاب سیکل بهینه، دکمه محاسبه (Compute) را انتخاب کرده تا نرم‌افزار شروع به انجام محاسبات نماید. مدت زمان لازم برای انجام محاسبات به نوع سیکل و پارامترهای انتخاب شده برای آن بستگی دارد. در صورت موفقیت آمیز بودن محاسبات برگه‌های مربوط به نتایج و دیگر عملیات‌ها که در هنگام ورود اطلاعات غیرفعال و خاکستری بودند فعال می‌گردند. لازم به ذکر است در صورتیکه کاربر بخواهد بعد از انجام محاسبات هر یک از بخش‌های ورودی اطلاعات را تغییر دهد بخش‌های مربوط به نتایج غیرفعال می‌شوند تا محاسبات دوباره انجام گیرد. شکل (۱-۱۴) کاربرد هریک از بخش‌هایی که بعد از انجام محاسبات فعال می‌شوند را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است تعداد این بخش‌ها با توجه به نسخه مورد استفاده نرم‌افزار ترموفلو متفاوت می‌باشد.

نتایج متنی بالانس حرارتی	Text Output
نتایج گرافیکی بالانس حرارتی	Graphics Output
اطلاعات خروجی قیمت و مهندسی PEACE	PEACE Output
انجام محاسبات چندگانه	Multiple Designs
انتقال طراحی به ماژول GT MASTER	Off Design
انتقال طراحی به ماژول THERMOFLEX	Fully-Flexible Design

شکل (۱-۱۴): کاربرد انواع دکمه‌های موجود بعد از اتمام محاسبات

۱-۱۴- تعریف انواع راندمان در نتایج خروجی

بر حسب نیاز کاربران مختلف راندمان‌های مختلفی برای نیروگاه محاسبه می‌شود که می‌توان در نتایج خروجی مشاهده نمود. در ادامه تعریف انواع راندمان بیان شده است:

۱-۱۴-۱- راندمان توربین گاز

این راندمان بیان‌کننده راندمان خالص توربین گاز می‌باشد که گرمای خروجی و انرژی برای تزریق آب یا بخار و یا انتالپی محسوس سوخت را در نظر نمی‌گیرد. اگر سوخت با دمای بالاتر از دمای استاندارد 25°C تأمین شود انتالپی محسوس آن در محاسبات دبی سوخت مصرفی در نظر گرفته می‌شود اما راندمان توربین

گاز بر اساس شرایط استاندارد و دمای 25°C می‌باشد. بنابراین راندمان توربین گازی که در حالت تزریق بخار و یا سوخت گرم بهره‌برداری می‌شود بالاتر می‌باشد.

$$\text{Gas turbine efficiency} = \frac{\text{Electricity output @ generator}}{\text{Fuel input (LHV)}}$$

۱۴-۱-۲- راندمان بویلر بازیاب

در این حالت انرژی سوخت مشعل اضافی بر اساس ارزش حرارتی پایین می‌باشد و انرژی دود خروجی توربین گاز شامل مولفه گرمای نهان نمی‌باشد. در این حالت انرژی گرفته شده از دود، اختلاف بین انتالپی محسوس در خروجی توربین گاز و انتالپی محسوس در دمای محیط سایت می‌باشد.

$$\text{Heat recovery boiler efficiency} = \frac{\text{Actual heat recovered}}{\text{Energy from GT exhaust \& duct burner fuel}}$$

۱۴-۱-۳- راندمان توربین بخار

این راندمان بیان‌کننده راندمان خالص توربین بخار می‌باشد. سیکل بخار انرژی خارج شده برای فرآیند و یا بخار ورودی از یک منبع خارجی را در نظر نمی‌گیرد.

$$\begin{aligned} \text{Steam cycle internal gross electric efficiency} &= \frac{\text{ST Electricity output}}{\text{Actual heat recovered}} \\ \text{Steam cycle overall gross electric efficiency} &= \frac{\text{ST Electricity output}}{\text{Energy from GT exhaust \& duct burner fuel}} \end{aligned}$$

۱۴-۱-۴- راندمان بر اساس قانون سیاستگذاری خدمات عمومی^۱

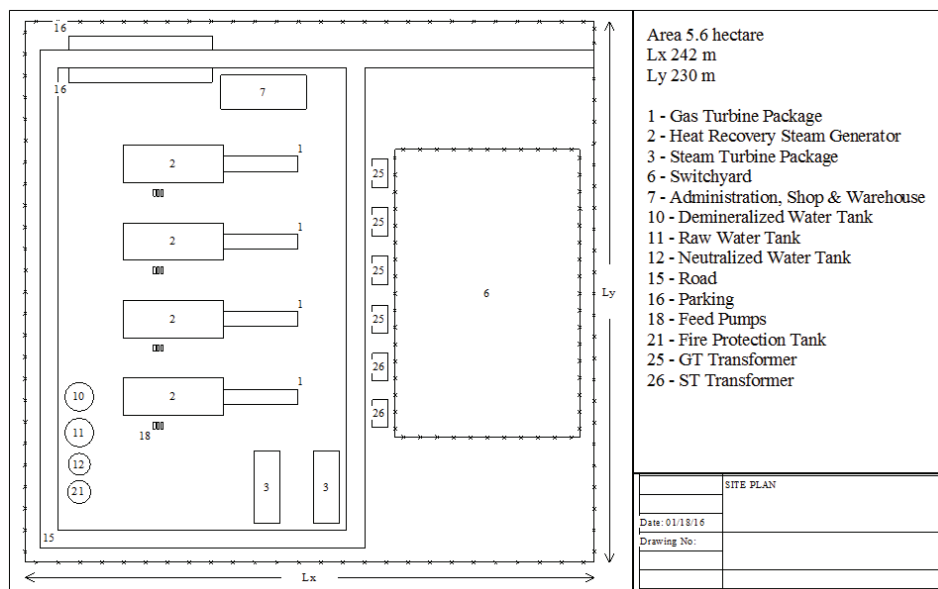
این راندمان در آمریکا برای بهبود استفاده از انرژی تعریف شده است و در خارج از آمریکا معمولاً کاربردی ندارد:

$$\text{PURPA efficiency} = \frac{\text{Net plant electric output + half useful heat output}}{\text{Total fuel LHV input}}$$

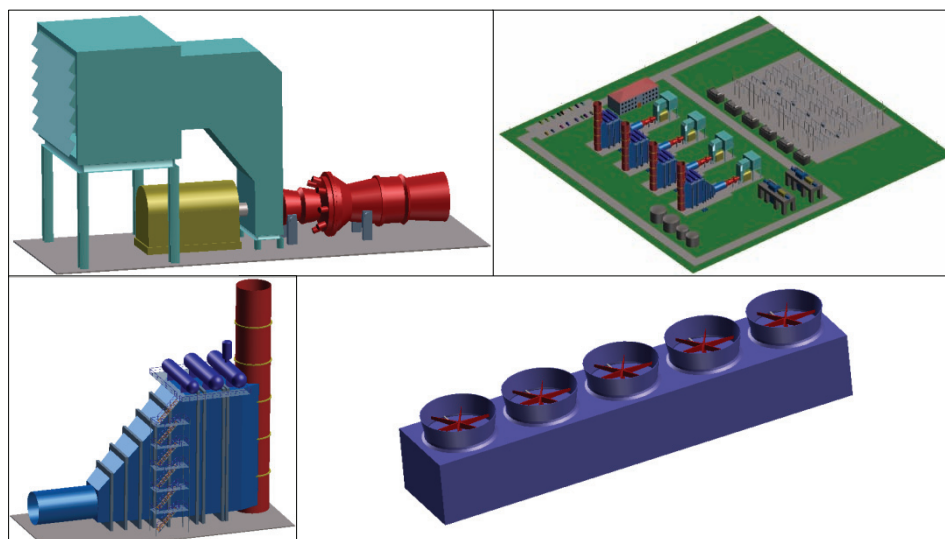
۱۴-۱-۵- نرخ حرارتی کلاس ۴۳

این نرخ حرارتی در کانادا برای بهبود استفاده از انرژی تعریف شده است و در خارج از کانادا معمولاً کاربردی ندارد:

^۱ Public Utilities Regulatory Policy Act (PURPA)



شکل (۷-۱۴): نمایش آرایش سایت ایجاد شده توسط PEACE



شکل (۸-۱۴): نقشه‌های سه بعدی جانمایی و تجهیزات اصلی نیروگاه

۱۵- مدل‌سازی نیروگاه در شرایط خارج از نقطه طراحی در GT MASTER

۱۵-۱- تفاوت‌های بین ماژول GT PRO و GT MASTER

برنامه GT PRO یک برنامه طراحی برای نیروگاه‌های سیکل‌های ترکیبی و تولید همزمان توان و حرارت می‌باشد. با توجه به معیارهای طراحی و فرضیات فیزیکی تجهیزات، برنامه بالانس حرارتی نیروگاه، شماتیک جریان و طراحی مقدماتی تجهیزات اصلی را تولید می‌کند. از آنجاییکه هدف اصلی این محاسبات مطالعات امکان‌سنجی می‌باشد تأکید این نرم‌افزار بر سرعت و سادگی در استفاده بوده تا بتوان از آن برای ارزیابی تعداد زیادی از حالات استفاده کرد. بعضی از جزئیات که تأثیر کمی بر بالانس حرارتی کلی در نقطه طراحی دارد قربانی این مزایای GT PRO می‌شوند.

هنگامیکه GT PRO جهت بررسی طرح‌های مختلف و ارزیابی فنی و اقتصادی آنها به کار گرفته می‌شود، طرح‌هایی که انتخاب می‌شوند باید در شرایط خارج از نقطه طراحی، با شرایط محیطی و بارهای مختلف نیز ارزیابی گردد که این کار با برنامه شبیه‌سازی ترموفلو به نام GT MASTER انجام می‌گیرد. پارامترهای ورودی GT MASTER مشخصات فیزیکی و سیستم کنترل را تعریف می‌کند و برنامه عملکرد ترمودینامیکی را در شرایط مختلف محاسبه می‌کند. به منظور سهولت در تعریف داده‌های سخت افزاری تجهیزات، برنامه به صورت اتوماتیک تمام مقادیر اولیه جزئیات طراحی تجهیز را بر اساس نتایج خروجی GT PRO تولید می‌کند. این اطلاعات می‌تواند برای یک طراحی جدید مورد قبول و یا اصلاح واقع شود و یا در صورت اطلاع کاربر از مقادیر دقیق آنها با جزئیات آن همخوانی پیدا کند.

کاربران جدید ترموفلو ممکن است از این که چرا ترموفلو از دو برنامه مجزا برای طراحی و شبیه‌سازی به جای یک برنامه مشترک استفاده می‌کند تعجب کنند. دلیل اصلی استفاده از دو برنامه مجزا آن است که نوع داده‌های معلوم یا مفروض در حین فرآیند طراحی با نوع اطلاعاتی که بعد از حل بدست می‌آید و نیاز به شبیه‌سازی در شرایط عملکردی متفاوت دارد کاملاً متفاوت می‌باشد. با توجه به جزئیات زیاد در مدل ترموفلو، هر یک از برنامه‌های GT PRO و GT MASTER بیش از ۱۸۰۰ پارامتر ورودی دارند و در صورتیکه در یک برنامه ترکیب شوند تقریباً پارامترهای ورودی آن دو برابر می‌شود که تنظیم همه پارامترهای آن برای کاربر بسیار مشکل خواهد شد.

۱۵-۱- تفاوت‌های مفهومی بین نقطه طراحی و خارج از نقطه طراحی

یک سیکل ترکیبی ابتدایی و ساده شامل یک بویلر برای بازیابی حرارت از گازهای خروجی توربین گاز و استفاده از آن برای تولید بخار در یک سطح فشاری می‌باشد که این بخار توربین بخار را تغذیه می‌کند. در حالت طراحی و در نرم‌افزار GT PRO کاربر برای انتخاب معیارهای طراحی ترمودینامیکی مطلوب از قبیل اختلاف دمای پینچ در بویلر، فشار و دمای بخار ورودی به بویلر و فشار کندانسور آزاد می‌باشد. بعد از حل بالانس حرارتی برنامه مقدار بخار قابل تولید را محاسبه نموده و ظرفیت توربین بخار را بر اساس آن تعیین می‌کند. بعلاوه، اندازه قسمت‌های مختلف بویلر بازیاب برای انتقال حرارت مورد نیاز تعیین می‌شود تا تعداد ردیف‌های تیوب، تعداد تیوب‌ها در هر ردیف و طول تیوب‌ها برای سوپرهیتر، اواپراتور و اکنومایزر بدست آید. همچنین مساحت سطوح لازم برای کندانسور و تعداد و ابعاد تیوب‌های آن مشخص می‌شود.

در محاسبات خارج از نقطه طراحی در GT MASTER ابعاد فیزیکی تجهیز، که در GT PRO تعیین شده است و توسط کاربر نیز قابل تغییر می‌باشد، ثابت نگه داشته می‌شود. با توجه به شرایط کارکرد از قبیل شرایط محیطی و بارهای مختلف، محاسبات برای متغیرهای عملکردی ترمودینامیکی انجام می‌شود که در این حالت متغیرهای خروجی می‌باشند در حالیکه قبلاً این متغیرها فرضیات ورودی در GT PRO محسوب می‌شدند. به طور نمونه در صورتیکه توربین گاز در بارهای کمتر، مثلاً ۷۰٪ توان نامی، در سیکل ساده ترکیبی بهره‌برداری شود اتفاقات زیر رخ می‌دهد:

۱- جریان و دمای گاز خروجی توربین کاهش یافته و در نتیجه انرژی دود ورودی به بویلر بازیاب تا کمی بیش از ۷۰٪ مقدار طراحی آن افت می‌کند.

۲- دمای بخار خروجی از سوپرهیتر از مقدار طراحی آن که در GT PRO توسط کاربر ثابت فرض شده بود کمتر می‌شود که علت آن ورود گازهای خنکتر به بویلر بازیاب می‌باشد.

۳- دبی جرمی بخار تولیدی در بویلر بازیاب تا کمتر از دبی نقطه طراحی افت می‌کند.

۴- اختلاف دمای نقطه پینچ چند درجه کمتر از مقداری می‌شود که در طراحی با GT PRO در حالت بار پایه نامی فرض می‌شود. دلیل این اتفاق آن است که سطوح بویلر بازیاب ثابت می‌باشد اما انتقال حرارت کاهش یافته و منجر به شار حرارتی کمتر می‌شود. بار حرارتی کمتر در هر متر مربع از سطوح حرارتی منجر به اختلاف دمای انتهایی کمتر می‌شود.

۵- فشار کندانسور افت می‌کند زیرا با کاهش دبی میعان بخار بار حرارتی کمتری بر کندانسور اعمال می‌شود که باعث افت در افزایش دمای سیال خنک‌کننده و کاهش اختلاف دمای انتهایی بین دمای اشباع و دمای خروجی آب خنک‌کننده می‌شود.

۱۶- نمونه مثال‌های کاربردی طراحی نیروگاه

در این بخش چندین مثال کاربردی به منظور تسلط بیشتر کاربر بر نرم‌افزار Thermoflow ارائه شده است. لازم به ذکر است مثال‌های ارائه شده در این بخش تنها جهت آشنایی با فرآیند طراحی و مدلسازی بوده و برای این منظور تا حد ممکن ساده‌سازی شده است. در مدلسازی و طراحی واقعی یک نیروگاه نیاز به تعیین جزئیات بیشتری می‌باشد. پیش از شروع به کار و انجام مدلسازی با نرم‌افزار توصیه می‌شود در ابتدا تغییرات زیر در منوی تنظیمات نرم‌افزار انجام گیرد:

Options > Set Preferences:

- Default Unit Selection for New Designs > SI with kg/s, C, bar
- Default Electric Grid Frequency for New Designs > 50 Hz

۱۶-۱- مثال ۱: تعیین پارامترهای عملکردی یک نیروگاه سیکل ساده گازی

یک نیروگاه گازی ساده با استفاده از دو توربین گاز V94.2 زیمنس بر پایه سوخت متان طراحی شود و پارامترهای عملکردی (از قبیل توان، راندمان، میزان سوخت مصرفی، دبی و دمای دود خروجی توربین) آن را در حالت ISO و شرایط سایت فرضی با ارتفاع ۱۰۰۰ متر، دمای محیط ۲۵ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی ۴۰٪ تخمین زده شود. برای این توربین گاز افت محفظه ورودی و داکت خروجی توربین گاز ۱۰ mbar در نظر گرفته شود.

<div>New Session</div>	۱- انتخاب نوع سیکل:	
<div>General Plant Configuration</div> <div> <input checked="" type="radio"/> GT Only <input type="radio"/> GT & HRSG only (no ST) <input type="radio"/> GT, HRSG, and non-condensing ST <input type="radio"/> GT, HRSG, and condensing non-reheat ST <input type="radio"/> GT, HRSG, and condensing reheat ST </div>	<div>Primary Gas Turbine Fuel</div> <div> <div>CH4</div> <div>Modify Fuel</div> </div> <div>Sulphur weight % = 0</div>	
<div>Plant Criteria</div>	۲- تنظیم شرایط سایت: شرایط محیطی سایت به طور پیش فرض در شرایط ISO می‌باشد و در صورتیکه بخواهیم پارامترهای عملکردی را در شرایط سایت بدست آوریم لازم است تا تغییرات زیر را اعمال کنیم.	

Ambient temperature <input type="text" value="25"/> C Altitude <input type="text" value="1000"/> m Ambient pressure <input type="text" value="0.8988"/> bar Ambient relative humidity <input type="text" value="40"/> % Ambient wet bulb temperature <input type="text" value="15.85"/> C Line frequency <input checked="" type="radio"/> 50 Hz <input type="radio"/> 60 Hz		Show ASHRAE Climate Data Import Plant Criteria Data on green PEACE Tabs 5-7																																																		
GT Selection	۳- انتخاب تعداد و نوع توربین گاز: برخی اوقات سازندگان توربین گاز به منظور بهبود توان و راندمان توربین‌های گاز ارتقا یا تغییراتی را در یک مدل توربین گاز انجام می‌دهند. از این رو برای یک مدل توربین گاز نیز در کتابخانه نرم‌افزار ممکن است چندین انتخاب وجود داشته باشد که کاربر باید مدل توربین گاز مناسب را با توجه به اطلاعات ارائه شده برای هر یک از توربین‌های گاز انتخاب نماید. در این مثال مدل 293# برای توربین گاز که بیشترین شباهت را به اکثر توربین‌های گاز V94.2 نیروگاهی کشور دارد انتخاب می‌شود.																																																			
Number of gas turbines <input type="text" value="2"/>																																																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>ID</th> <th>Manufacturer & Model</th> <th>Other Name(s)</th> <th>Gen Power kWe</th> <th>LHV Eff %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>43</td> <td>Siemens SGT5-2000E</td> <td>KwU V94.2</td> <td>148800</td> <td>33.4</td> </tr> <tr> <td>184</td> <td>Siemens SGT5-2000E</td> <td>KwU V94.2</td> <td>157010</td> <td>34.7</td> </tr> <tr> <td>81</td> <td>Siemens SGT5-2000E</td> <td>KwU V94.2</td> <td>158928</td> <td>34.5</td> </tr> <tr> <td>250</td> <td>Siemens SGT5-2000E</td> <td>KwU V94.2</td> <td>159410</td> <td>34.6</td> </tr> <tr> <td>293</td> <td>Siemens SGT5-2000E</td> <td>KwU V94.2</td> <td>164700</td> <td>34.8</td> </tr> <tr> <td>353</td> <td>Siemens SGT5-2000E (41MAC)</td> <td>KwU V94.2</td> <td>163700</td> <td>35.0</td> </tr> <tr> <td>396</td> <td>Siemens SGT5-2000E (41MAC) (**)</td> <td>KwU V94.2</td> <td>165100</td> <td>34.9</td> </tr> <tr> <td>342</td> <td>Siemens SGT5-2000E (33MAC)</td> <td>KwU V94.2</td> <td>167700</td> <td>35.0</td> </tr> <tr> <td>395</td> <td>Siemens SGT5-2000E (33MAC) (**)</td> <td>KwU V94.2</td> <td>169100</td> <td>35.0</td> </tr> </tbody> </table>			ID	Manufacturer & Model	Other Name(s)	Gen Power kWe	LHV Eff %	43	Siemens SGT5-2000E	KwU V94.2	148800	33.4	184	Siemens SGT5-2000E	KwU V94.2	157010	34.7	81	Siemens SGT5-2000E	KwU V94.2	158928	34.5	250	Siemens SGT5-2000E	KwU V94.2	159410	34.6	293	Siemens SGT5-2000E	KwU V94.2	164700	34.8	353	Siemens SGT5-2000E (41MAC)	KwU V94.2	163700	35.0	396	Siemens SGT5-2000E (41MAC) (**)	KwU V94.2	165100	34.9	342	Siemens SGT5-2000E (33MAC)	KwU V94.2	167700	35.0	395	Siemens SGT5-2000E (33MAC) (**)	KwU V94.2	169100	35.0
ID	Manufacturer & Model	Other Name(s)	Gen Power kWe	LHV Eff %																																																
43	Siemens SGT5-2000E	KwU V94.2	148800	33.4																																																
184	Siemens SGT5-2000E	KwU V94.2	157010	34.7																																																
81	Siemens SGT5-2000E	KwU V94.2	158928	34.5																																																
250	Siemens SGT5-2000E	KwU V94.2	159410	34.6																																																
293	Siemens SGT5-2000E	KwU V94.2	164700	34.8																																																
353	Siemens SGT5-2000E (41MAC)	KwU V94.2	163700	35.0																																																
396	Siemens SGT5-2000E (41MAC) (**)	KwU V94.2	165100	34.9																																																
342	Siemens SGT5-2000E (33MAC)	KwU V94.2	167700	35.0																																																
395	Siemens SGT5-2000E (33MAC) (**)	KwU V94.2	169100	35.0																																																
GT Inputs	۴- تنظیمات توربین گاز: در صورتیکه فشار خط گاز نیروگاه بالا می‌باشد می‌توان کمپرسور سوخت را حذف نمود. همچنین در این بخش افت محفظه ورودی و افت‌های داکت و دودکش خروجی را می‌توان تغییر داد.																																																			
Gas Turbine Main Inputs	<input type="checkbox"/> Include fuel compressor Filter pressure drop <input type="text" value="10"/> millibar Duct & stack draft loss <input type="text" value="10"/> millibar																																																			
Compute	۵- انجام محاسبات:																																																			
Text Output	۶- مشاهده نتایج متنی: بعد از انجام محاسبات، پارامترهای عملکردی هر توربین																																																			

	گاز را می توان مشاهده نمود.																														
<div>↳Gas Turbine</div> <div>↳Summary Table</div>	۱- در شرایط ISO: <table><tr><th colspan="3">Gas Turbine Summary Siemens SGT5-2000E (Physical Model #293)</th></tr><tr><th colspan="3">Estimated G.T. Site Performance</th></tr><tr><td>GT load as percent of rating</td><td>100</td><td>%</td></tr><tr><td>Gross power output</td><td>161346</td><td>kW</td></tr><tr><td>Gross LHV heat rate</td><td>10459</td><td>kJ/kWh</td></tr><tr><td>Gross LHV efficiency</td><td>34.42</td><td>%</td></tr><tr><td>Compressor pressure ratio</td><td>11.8</td><td></td></tr><tr><td>Turbine exhaust temperature</td><td>545.1</td><td>C</td></tr><tr><td>Turbine exhaust mass flow</td><td>522</td><td>kg/s</td></tr><tr><td>Fuel Flow</td><td>9.367</td><td>kg/s</td></tr></table>	Gas Turbine Summary Siemens SGT5-2000E (Physical Model #293)			Estimated G.T. Site Performance			GT load as percent of rating	100	%	Gross power output	161346	kW	Gross LHV heat rate	10459	kJ/kWh	Gross LHV efficiency	34.42	%	Compressor pressure ratio	11.8		Turbine exhaust temperature	545.1	C	Turbine exhaust mass flow	522	kg/s	Fuel Flow	9.367	kg/s
	Gas Turbine Summary Siemens SGT5-2000E (Physical Model #293)																														
	Estimated G.T. Site Performance																														
	GT load as percent of rating	100	%																												
	Gross power output	161346	kW																												
	Gross LHV heat rate	10459	kJ/kWh																												
	Gross LHV efficiency	34.42	%																												
	Compressor pressure ratio	11.8																													
	Turbine exhaust temperature	545.1	C																												
	Turbine exhaust mass flow	522	kg/s																												
Fuel Flow	9.367	kg/s																													
۲- در شرایط سایت: <table><tr><th colspan="3">Estimated G.T. Site Performance</th></tr><tr><td>GT load as percent of rating</td><td>100</td><td>%</td></tr><tr><td>Gross power output</td><td>133355</td><td>kW</td></tr><tr><td>Gross LHV heat rate</td><td>10655</td><td>kJ/kWh</td></tr><tr><td>Gross LHV efficiency</td><td>33.79</td><td>%</td></tr><tr><td>Compressor pressure ratio</td><td>11.33</td><td></td></tr><tr><td>Turbine exhaust temperature</td><td>552.3</td><td>C</td></tr><tr><td>Turbine exhaust mass flow</td><td>444</td><td>kg/s</td></tr><tr><td>Fuel Flow</td><td>7.886</td><td>kg/s</td></tr></table>	Estimated G.T. Site Performance			GT load as percent of rating	100	%	Gross power output	133355	kW	Gross LHV heat rate	10655	kJ/kWh	Gross LHV efficiency	33.79	%	Compressor pressure ratio	11.33		Turbine exhaust temperature	552.3	C	Turbine exhaust mass flow	444	kg/s	Fuel Flow	7.886	kg/s				
Estimated G.T. Site Performance																															
GT load as percent of rating	100	%																													
Gross power output	133355	kW																													
Gross LHV heat rate	10655	kJ/kWh																													
Gross LHV efficiency	33.79	%																													
Compressor pressure ratio	11.33																														
Turbine exhaust temperature	552.3	C																													
Turbine exhaust mass flow	444	kg/s																													
Fuel Flow	7.886	kg/s																													
<div>Graphics Output</div>	۷- مشاهده نتایج گرافیکی: نتایج مربوط به کل نیروگاه در شرایط سایت به صورت زیر نمایش داده می شود.																														
<div>↳System</div> <div>↳Plant Summary</div>	<div><div><div><div><div><div>0.9088 p 552.3 T 887.9 M</div><div>CH4 15.77 M 789358 kWth LHV</div><div>0.8988 p 25 T 872.1 M 40% RH</div></div><div><div>0.9088 p 552.3 T 887.9 M</div><div>2 x Siemens SGT5-2000E (Physical Model #293)</div><div>Gross Power 266710 kW LHV Gross Electric Eff. 33.79 % @ 100% load 266710 kW</div></div></div></div></div></div>																														