گروه توربین ماشین خاورمیانه
www.turbinemachinegroup.com
توربین های گاز و بخار
ارتقا و ساخت توربین گاز

گروه توربین
ملی نفت ایران

در صفحه ۵۴ بخوانید ویژه نامه

توسط شرکت توربین ماشین خاورمیانه...

تیدا

نخستین توربین گاز کلاس ۴ مگاوات ساخت داخل

بسم الله الرحمن الرحیم

سرمقاله

قلب ما بود مملو از شادی بی پایان
سعی ما بود بهر آبادی این سامان
(کریم فکور)

به‌نام خدا

خردادماه سال جاری برای گروه توربین ماشین خاورمیانه، ماه بزرگی بود؛ خانواده صنعتی توربین ماشین خاورمیانه، یک فرآیند تکاملی و تکوینی از ایده تا محصول را با موفقیت پشت‌سر نهاد.

نخبگان صنعتی این شرکت دست اندرکار یک عزم بزرگ و تلاش بی‌وقفه از تعمیرات اساسی، ساخت قطعات حساس و ساخت اجزاء دوار و تیغه‌ها تا ساخت روتورهای ناحیه سرد و گرم و در نهایت ساخت توربین کامل، یک توربین با طراحی مجدد و با همه تجهیزات جانبی و کنترلی بدون هیچگونه کمک و حمایت خارجی یا انتقال تکنولوژی از خارج کشور را به سرانجام رسانیدند.

این مهم که با حمایت معاونت پژوهشی و فناوری وزرات نفت و شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب به قرارداد انجامیده بود، پس از اتمام در منطقه مارون ۳ با موفقیت نصب و راه‌اندازی شد و تحت بهره‌برداری قرار گرفت. کلیه عملیات مهندسی مجدد توربین، بررسی راه‌های ارتقاء و افزایش طول عمر قطعات، طراحی سیستم کنترل و انتخاب بهترین روش با تغییرات در منطقه احتراق و دیافراگم‌ها نتیجه این عملیات مهندسی بوده است. کلیه مراحل با آخرین تکنولوژی روز و نرم افزارهای بین المللی تطبیق داشته است. البته مسیر در پیش گرفته شده فرآیندی مستمر بوده که گام بعدی آن رفع ایرادات احتمالی، اعمال تغییرات مورد نیاز مشتری و بهینه سازی پیوسته می باشد و امیدواریم در این رهگذر همراهی و مشاوره همه دست‌اندرکاران این حوزه تخصصی را داشته باشیم.

با ساخت این توربین افتخاری بزرگ نصیب فرزندان این کشور شده است که محصولی حساس با فناوری بالا و با تکیه بر توانمندی‌های میهن عزیزمان به عنوان نمادی از توانمندی صنعت ساخت داخل در حوزه تکنولوژی‌های برتر باری دیگر به منصه ظهور رسید. در فرآیندهای آتی و در طی مراحل تکمیلی امید است با حمایت وزارت نفت، صنعت، معدن و تجارت و نیرو، این شرکت با بهره‌گیری از توانمندی حاصل شده در دوران پساتحریم و بواسطه تسهیل روابط صنعتی خارجی و بین المللی گام‌های تکمیلی در کسب دانش فنی تولید و نهایتا صادرات محصول و خدمات را محکم‌تر و استوارتر بردارد.

این دستاورد را به کلیه صنعتگران عزیز، خانواده توربین ماشین خاورمیانه، مسئولین حامی و باورمند ساخت، تبریک و تهنیت عرض می‌نماید.

با تشکر

حسن هلالی

رییس هیئت مدیره و مدیرعامل

TURBINE MACHINE

Science,Technology & Management

فصلنامه توربین ماشین

علوم، فنون و مدیریت

شماره ۵؛ بهار و تابستان ۹۴

شماره پیاپی: ۵، قیمت: ۱۵/۰۰۰ تومان

صاحب امتیاز: شرکت توربین ماشین خاورمیانه

مدیر مسئول: حسن هلالی

سردبیر: شورای سردبیری

مدیر اجرایی: حسن مجیدپور

گروه اجرایی: علی شاکری‌پور، سارا جوادزاده

همکاران تحریریه در این شماره:

محمدرضا امینی‌مقام، سینا صفریان، علی شاکری پور،
کاوه قربانیان، توحید شاهپوری، مینا وحیدی،
قاسم مصیبی، سینا طاهری، نگار دائمی،
احمد گلی، ارشیا تافته، علیرضا شهرابی

صفحه‌آرایی و چاپ:

استودیو نقطه

www.Noghteh-art.com

مدیر هنری: سعید آقاموسی

ویرایش: میلاد حسینی شکیب

تلفکس: ۵-۸۸۵۶۲۲۹۴

کد پستی: ۱۴۶۶۹-۸۳۷۴۱

صندوق پستی: ۱۴۶۶۵-۱۱۵۴

آدرس: تهران، سعادت آباد، بلوار دریا، خیابان رامشه،
کوچه توحید ۵ غربی، پلاک ۱۱A

ارسال مقالات:

از نویسندگان و پژوهشگران محترم تقاضا می‌شود مقالات خود در حوزه محتوایی نشریه را به آدرس الکترونیکی:
magazine@turbinemachine.com
ارسال کنند. بدیهی است که نشریه در انتخاب و تلخیص مطالب آزاد است.

اشتراک:

برای اشتراک فصلنامه توربین ماشین با شماره تلفن ۵-۸۸۵۶۲۲۹۴ تماس بگیرید و یا با آدرس پست الکترونیک
info@turbinemachinemagazine.com
مکاتبه فرمایید. همکاران ما نشریه را بلافاصله پس از انتشار در هر دوره برای شما ارسال خواهند کرد.

۴ بررسی فنی و اقتصادی استفاده از توربین گاز تیدا در سامانه تولید پراکنده و همزمان آب و برق و مقایسه با سایر گزینه‌ها
محمدرضا امینی‌مقام، کاوه قربانیان

۱۰ بررسی جریان هوای ثانویه و انتقال حرارت در حفره بین دیسک‌های توربین گاز تیدا
قاسم مصیبی

۱۶ ریسک‌ها و خطرات ایمنی در ارتباط با حوادث و خسارات توربین‌ها
سینا صفریان

۲۰ شبیه‌سازی جریان در کمپرسور و توربین محوری توربین گاز تیدا
مینا وحیدی

۲۶ پیش‌بینی بازار آینده توربین‌های گاز و بخار
توحید شاهپوری

۳۱ بررسی اثر تغییر زاویه پره راهنمای ورودی و استاتورهای متغیر روی عملکرد کمپرسور توربین گاز تیدا با استفاده از روش CFD
قاسم مصیبی، احمد گلی، ارشیا تافته

۳۴ توسعه شبیه‌ساز عملکرد توربین تیدا
مینا وحیدی، نگار دائمی

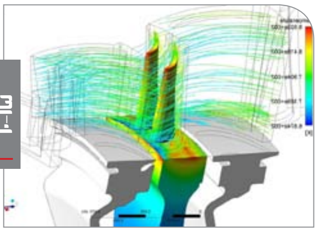
۴۲ پروژه به‌روزرسانی سیستم کنترل نیروگاهای مرکزی و حرارتی مجتمع ذوب آهن اصفهان
علیرضا شهرابی

۴۶ توربو اکسپندر
سینا طاهری، کاوه قربانیان، محمدرضا امینی مقام

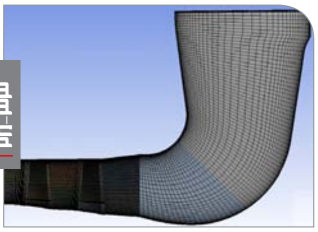
۵۴ **ویژه نامه:**
رونمایی از تیدا نخستین توربین گاز بومی سازی شده در کلاس ۴ مگاوات

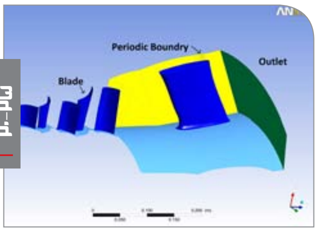
۶۱ مصاحبه

۶۵ حضور گروه توربین ماشین خاورمیانه در بیستمین نمایشگاه بین المللی نفت و گاز


۱۰-۱۵

۴-۹


۲۶-۳۱



۲۰-۲۵

۵۴-۶۰

۳۴-۴۱

بررسی فنی و اقتصادی استفاده از توربین گاز ساخت داخل در سامانه تولید پراکنده و همزمان آب و برق و مقایسه با سایر گزینه‌ها

محمدرضا امینی‌مقام[۱]، کاوه قربانیان[۲]

توربین گاز ساخت داخل توسط شرکت توربین ماشین خاورمیانه

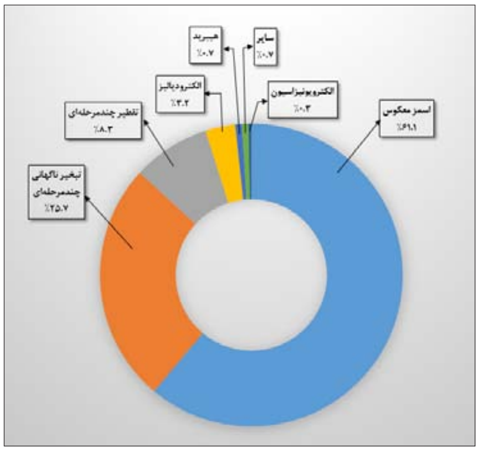
امروزه تامین آب مورد نیاز در بخش‌های مسکونی، کشاورزی و صنعتی به یکی از اساسی‌ترین و بحرانی‌ترین موضوعات مطرح در کشـــور تبدیل شده اســـت. گزارش حاضر حاصل همکاری شرکت توربین ماشین خاورمیانه و **سازمان بهره‌وری انرژی ایران (سابا)** در راستای توسعه صنعت شیرین‌سازی آب و رفع بحران آب در کشور از منظر مصرف انرژی، با بررسی دقیق فنی و اقتصادی سامانه‌های تولید پراکنده و همزمان آب و برق، تهیه و تنظیم شده است. لازم به ذکر است که محاسبات و بررسی‌های فنی و اقتصادی انجام شده با همکاری ســـازمان بهره‌وری انرژی ایران صورت پذیرفته که بدین منظور از هدایت و پشتیبانی **جناب آقای مهندس نجف‌زاده**، معاونت محترم بهینه‌سازی تامین انرژی تشکر و قدردانی می‌شود.

در خصوص اهمیت و لزوم استفاده از آب شیرین کن‌ها در کشور، در مجامع و مراجع مختلف بسیار تاکید شده است. به‌رغم اهمیت بســـیار زیاد جایگاه آب در ایران به دلیل خشکسالی‌های متعدد، از بین رفتن بسیاری از ذخایر طبیعی آب، خشک شدن سفره‌های زیرزمینی و کاهش ۴۰ درصدی روان آب‌ها، در حال حاضر تنها حدود ۵۰۰ هزار متر مکعب آب دریا در ایران شیرین می‌شود. این رقم معادل سرانه تنها ۷ لیتر آب شیرین‌شده در روز برای هر فرد ایرانی است. در طول دهه‌های گذشته، برخی مناطق جنوب کشور با وجود امکان شیرین‌سازی آب، با مشکل تامین آب و حتی جیره‌بندی مواجه بوده‌اند. این امر در حالیست که کشورهای حاشیه خلیج فارس مانند عربستان سعودی و امارات متحده عربی، سرمایه‌گذاری‌های زیادی روی شیرین‌سازی آب انجام داده‌اند و با داشتن جمعیت کمتر، چندین برابر ایران از آب خلیج فارس استفاده می‌کنند. نمک‌زدایی قدمتی حدود پنج دهه دارد. در ابتدا در اوایل دهه ۱۹۶۰ تنها فرایند نمک‌زدایی آب، فرآیند تبخیر- تقطیر و تنها گزینه ممکن و اقتصادی برای دســـت‌یابی به ظرفیت‌های بزرگ تاسیسات دوگانه تولید برق و آب، استفاده از تکنولوژی تبخیر ناگهانی چندمرحله‌ای بود. در حدود ۱۰ ســـال بعد دو تکنولوژی نمک‌زدایـــی به نام‌های تقطیر چندمرحله‌ای و اسمز معکوس معرفی شد.

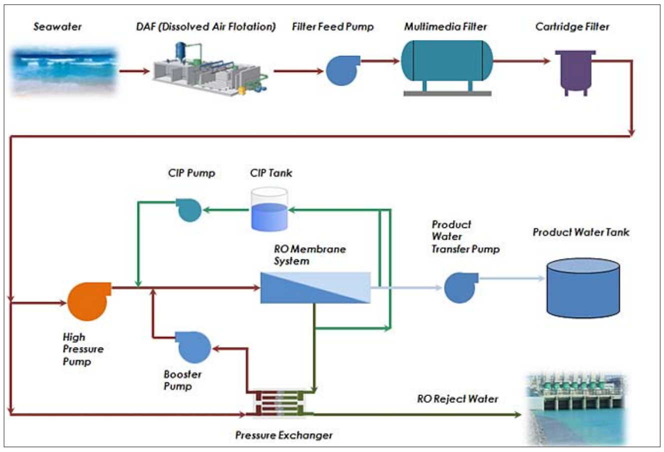
ایده اصلی شیرین‌ســـازی، جدایش نمک اضافی و ســـایر مواد معدنی نامطلوب از آب دریا و یا آب کم‌شـــور از طریق به‌کارگیری یـــک منبع انرژی اســـت. در این میان متداول‌ترین روش‌های مورد استفاده روش‌های حرارتی و الکتریکی جدایش آب هستند. در ادامه، به طور مختصر به توضیح دو روش غشایی اسمز معکوس (RO) و شیرین‌سازی حرارتی تقطیر چندمرحله‌ای (MED)، به عنوان پرکاربردترین روش‌های آب‌شیرین‌کنی در مقیاس کوچک پرداخته شده است.

آب‌شیرین‌کن اسمز معکوس (RO)

یکی از روش‌های غشایی، فرآیند اسمز معکوس



شکل ۱: سهم روش‌های مختلف در تولید آب شیرین



شکل ۲: شماتیک فرآیند اسمز معکوس

۱: محمدرضا امینی‌مقام: واحد مهندسی شرکت مدیریت پروژه‌های توربین ارکان ایرانیان
۲:کاوه قربانیان: نایب رئیس هیئت مدیره شرکت توربین ماشین خاورمیانه

است. در فرآیند اسمز معکوس، جریان طبیعی اسمز با اعمال فشاری بیش از فشار اسمزی، برعکس می‌شود. در عمل، آب دریا از یک واحد پیش آماده‌سازی عبور داده می‌شود تا از ته‌نشین شدن نمک و رشد میکرو ارگانیسم‌ها جلوگیری شود. سپس وارد یک محفظه فشار می‌شود که در آن فشارش افزایش می‌یابد. فشار در این محفظه بسته به عواملی مانند دما و مقدار شوری آب، باید بین ۱۷ تا ۲۷ بار باشد. سپس آب آشامیدنی با مقدار اندکی نمک از غشای عبور می‌کند و به واحد عملیات بعد از شیرین‌سازی می‌رود تا برای ذخیره‌سازی و یا استفاده آماده شود.

فرآیند اسمز معکوس از جریان برق به‌عنوان منبع انرژی جهت رانش کمپرسور و تامین فشار اسمزی مورد نیاز استفاده می‌کند. جزء اصلی این آب‌شیرین‌کن‌ها، غشای یا فیلتر مورد استفاده است. این غشای باید به گونه‌ای طراحی و ساخته شود که تا حد ممکن ذرات شناور و اجزای محلول همچنین یون‌های موجود در آب را در خود جذب کرده و آب خالص را از خود عبور دهد. اخیرا استفاده از تکنولوژی نانو در طراحی و ساخت غشای‌ها مورد توجه قرار گرفته است.

آب‌شیرین‌کن تقطیر چندمرحله‌ای (MED)

یک آب‌شیرین کن تقطیر چندمرحله‌ای، یک تبخیرکننده است که در آن آب دریا در یک یا چند مرحله، بسته به مقدار و کیفیت مورد نظر، در دمای پایین (پایین‌تر از ۷۰ درجه سلسیوس) تبخیر شده و آب شیرین تولید می‌کند. اصول این روش، یک فرآیند چندمرحله‌ای است که در آن یک اسپری از آب دریا مکررا بخار و سپس تقطیر می‌شود که هر مرحله در دما و فشار پایین‌تری اتفاق می‌افتد. روش MED از لحاظ بازده انرژی، زمانی که یک منبع بخار با فشار پایین و یا انرژی حرارتی تلف شده از یک نیروگاه و یا یک فرآیند صنعتی مناسب فراهم باشد، اقتصادی‌ترین فرآیند شیرین‌سازی آب است. فرآیند تبخیر در MED یک تکنولوژی پربازده است چون در هر مرحله برای تبخیر، از حرارت آزاد شده از چگالش بخار ایجاد شده در مرحله قبل، استفاده می‌شود. از طرف دیگر، یکی از راه‌های کاهش نرخ خروج گاز دی اکسید کربن از نیروگاه و همزمان افزایش کارایی ترمودینامیکی نیروگاه از طریق بازیابی انرژی گرمایی تلف شده، در یک سیستم حرارتی دیگر مانند فرآیند MED برای تولید آب شیرین است.

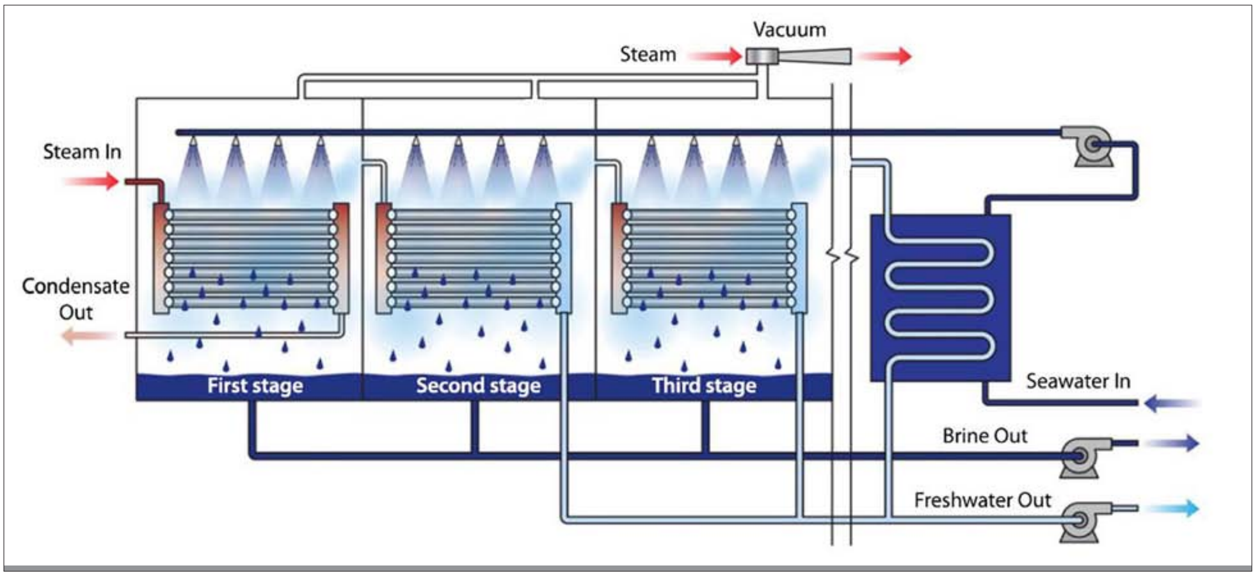
تولید پراکنده و همزمان آب شیرین و برق (CWP)

بدون شک نیروگاه‌ها و واحدهای تامین کننده آب، از زیرساخت‌های حساس در هر کشور هستند که باید تدابیر لازم برای حفاظت از آن‌ها در شرایط مختلف، اتخاذ شود. ایجاد نیروگاه‌های با ظرفیت تولید توان بالا و به صورت متمرکز، خطر مورد تهدید قرار گرفتن آن‌ها را افزایش می‌دهد و از دیدگاه پدافند غیرعامل به صلاح نیست. بنابراین به‌کارگیری این سیاست، کشورهای مختلف را به سمت استفاده از واحدهای تولید توان با ظرفیت کمتر و به صورت پراکنده، سوق داده است. علاوه بر این، با استفاده از احداث پراکنده واحدهای تولید توان و آب شیرین، مدیریت شورآبه حاصل از واحدهای آب‌شیرین‌کن، ساده‌تر خواهد بود و دفع تدریجی آن در آب دریا باعث کاهش اثرات مخرب آن خواهد شد. در این صورت با توجه به نزدیکی محل تولید و مصرف آب شیرین، خطوط لوله‌کشی طولانی نیز استفاده نخواهد شد.

براساس مطالعه انجام شده در سال ۲۰۰۷ توسط Wittholz و همکارانش در دانشگاه آدلاید استرالیا، تغییرات سرمایه‌گذاری اولیه مورد نیاز و هزینه بهره‌برداری واحد آب‌شیرین‌کن بر حسب ظرفیت واحد به صورت نمایش داده شده در شکل ۶ و شکل ۷ است.

لازم به ذکر است که هزینه سرمایه‌گذاری اولیه و بهره‌برداری در نظر گرفته شده در مطالعات Wittholz برای تکنولوژی RO تنها شامل هزینه سیستم آب‌شیرین‌کن است اما در تکنولوژی‌های حرارتی هزینه منبع تامین انرژی حرارتی (به طور کلی یک بویلر حرارتی) نیز در نظر گرفته شده

» شکل ۳: تجهیزات آب‌شیرین‌کن اسمز معکوس



» شکل ۴: شماتیک فرآیند اسمز معکوس

است. در حالی که در واحدهای تولید همزمان، انرژی حرارتی مورد نیاز به صورت رایگان و از اتلافات مولد برق تامین می‌شود. در نتیجه اعداد ذکر شده توسط Wittholz به صورت مطلق در این مطالعه قابل استناد نبوده و تنها از تغییرات و شیب آن استفاده می‌شود.

همانگونه که مشاهده می‌شود سرمایه‌گذاری اولیه در آب‌شیرین‌کن‌های غشایی کمتر از آب‌شیرین‌کن‌های حرارتی است و در آب‌شیرین‌کن‌های حرارتی نیز تکنولوژی MED نسبت به تکنولوژی MSF به سرمایه‌گذاری کمتری نیاز دارد. البته اختلاف سرمایه‌گذاری اولیه انواع آب‌شیرین‌کن در مقیاس کوچک و تولید پراکنده مقدار چشمگیری نیست.

با توجه به شکل ۷ مشاهده می‌شود که هزینه بهره‌برداری با کاهش ظرفیت به مقیاس تولید پراکنده، با افزایش چشمگیری روبه‌رو است. شیب این افزایش در تکنولوژی‌های غشایی و MED تقریبا برابر است، اما شیب تغییرات در آب‌شیرین‌کن MSF بسیار شدیدتر است، از این رو استفاده از این تکنولوژی برای واحدهای با ظرفیت بالا مناسب است.

با توجه به توضیحات بیان شده، می‌توان نتیجه گرفت که در واحدهای تولید پراکنده و مقیاس کوچک، استفاده از تکنولوژی‌های RO و MED مقرون‌به‌صرفه‌تر است و در نتیجه در مطالعات فنی و اقتصادی از این دو تکنولوژی آب‌شیرین‌کن استفاده شده است.

بررسی فنی واحد تولید پراکنده و همزمان آب و برق

به منظور مطالعه واحد تولید پراکنده و همزمان ابتدا باید سیستم‌ها و تکنولوژی‌های مورد استفاده در واحد معین شود. همانگونه که پیش‌تر اشاره شد، متداول‌ترین تکنولوژی‌های آب‌شیرین‌کن مورد استفاده در واحدهای تولید پراکنده و مقیاس کوچک، آب‌شیرین‌کن حرارتی با تکنولوژی تقطیر چندمرحله‌ای (MED) و آب‌شیرین‌کن غشایی با تکنولوژی اسمز معکوس (RO) است. واحد تولید همزمان آب و برق -فارغ از نوع مولد- توانایی استفاده از هریک از این تکنولوژی‌ها به صورت مجزا و توام را داراست. از این رو برای هر مولد سه سناریو واحد تولید همزمان آب و برق به صورت زیر قابل تعریف است:

- مولد برق و حرارت به همراه آب‌شیرین‌کن ترکیبی (Hybrid: MED+RO).
- مولد برق و حرارت به همراه آب‌شیرین‌کن حرارتی (MED).
- مولد برق و حرارت به همراه آب‌شیرین‌کن غشایی (RO).

به طور کلی زیرسیستم‌های عمده مورد استفاده در این واحدها عبارتند از: مولد برق و حرارت (توربین گاز یا موتور گازسوز)، سیستم بازیافت

شکل ۵: تجهیزات آب‌شیرین‌کن تقطیر چندمرحله‌ای

حرارت و تولید بخار (HRSG) جهت تبدیل حرارت اتلافی مولد به انرژی ورودی آب‌شیرین‌کن حرارتی، سیستم آب‌شیرین‌کن حرارتی و سیستم آب‌شیرین‌کن غشایی. در این مطالعه، تحلیل‌های صورت گرفته بر پایه توربین گاز ۱۰۰ درصد بومی تولیدشده در شرکت توربین ماشین خاورمیانه با توان تولیدی ۳/۳ مگاوات و یک موتور گازسوز با توان تولیدی ۳ مگاوات با برند معتبر است. شماتیک یک واحد تولید همزمان آب و برق با استفاده از آب شیرین‌کن ترکیبی در شکل ۸ نمایش داده شده است.

با استفاده از نتایج مدل‌سازی انجام شده، مشخصات عملکردی کلی واحد تولید همزمان آب و برق در سه حالت استفاده از آب‌شیرین‌کن حرارتی، غشایی و ترکیبی در شرایط استاندارد (ISO)، به طور خلاصه در جدول ۱ نمایش داده شده است.

لازم به ذکر است که در این مدل‌سازی ظرفیت آب‌شیرین‌کن‌ها با توجه به توان الکتریکی تولیدی و انرژی حرارتی گازهای خروجی توربین (بخار تولیدی در سیستم بازیافت حرارت) تعیین می‌شود. در صورتی که عملکرد توربین گاز به هر علت از شرایط طراحی خارج شود، توان الکتریکی و انرژی حرارتی خروجی تغییر کرده و سایر تجهیزات نیز عملکرد خارج از طراحی خواهد داشت.

از آنجایی که پارامترهای عملکرد توربین گاز نظیر توان تولیدی و انرژی حرارتی خروجی از آن در حاشیه خلیج فارس متفاوت است، از ابتدا می‌توان سایر تجهیزات و زیرسیستم‌ها را متناسب با این عملکرد طراحی کرد تا دارای عملکرد بهینه‌تری باشند. همچنین با توجه به بالا بودن غلظت ذرات جامد محلول در آب خلیج فارس، عملکرد آب‌شیرین‌کن متفاوت خواهد بود که این تفاوت از ابتدا باید مورد توجه قرار گیرد.

بررسی اقتصادی واحد تولید پراکنده و همزمان آب و برق

یکی از مهم‌ترین خصوصیات سیستم‌های تولید پراکنده، علاوه بر استقلال مصرف‌کننده از شبکه سراسری، صرفه اقتصادی و قیمت تمام شده آب و برق تولیدی است. به منظور بررسی مزایای اقتصادی استفاده از سیستم‌های تولید همزمان آب و برق بر پایه توربین گاز، در این بخش به محاسبه و مقایسه قیمت تمام‌شده آب و برق تولیدی شبکه سراسری، توربین گاز و موتور گازسوز پرداخته می‌شود. در این بررسی، به طور کلی هزینه‌های موجود در تولید آب و برق شامل سرمایه‌گذاری اولیه سیستم، هزینه بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری تجهیزات و هزینه سوخت مصرفی در مجموعه است.

در محاسبات مربوط به شبکه سراسری، عملکرد متوسط تمام نیروگاه‌ها در شرایط و محل نصب آن‌ها (توان عملی) مورد استفاده قرار گرفته و هزینه برق تحویلی به مصرف‌کننده مستقل از محل مصرف بوده و در تمام کشور برابر در نظر گرفته شده است. اما در سیستم‌های تولید پراکنده، عملکرد مولد بسیار وابسته به محل بهره‌برداری و شرایط محیطی است. از این رو در این مطالعه هزینه برق تولیدی توسط سیستم‌های تولید پراکنده، علاوه بر شرایط استاندارد، در شرایط حاشیه خلیج فارس (دمای ۳۰ درجه سلسیوس) نیز سنجیده می‌شود. به منظور مقایسه هر چه بهتر هزینه برق تولیدی در سیستم‌ها مختلف، در جدول ۳ هزینه برق تولیدی هر سیستم به صورت نرمال شده نسبت به هزینه برق تحویلی شبکه ارائه شده است.

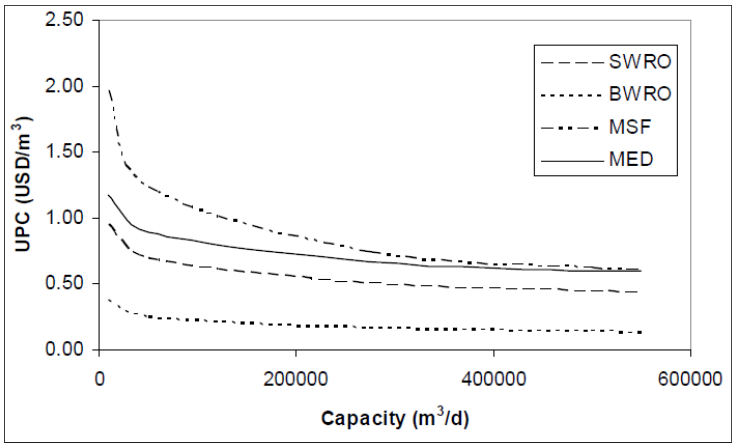
همانگونه که مشاهده می‌شود، با استفاده از سیستم‌های تولید پراکنده، هزینه برق تولیدی بسیار کمتر از هزینه تمام‌شده برق تحویلی شبکه سراسری برق است. شایان ذکر است که در تمامی شرایط هزینه برق تولیدی در سیستم تولید

پراکنده بر پایه توربین گاز کمتر از هزینه برق تولیدی با استفاده از موتور گازسوز است.

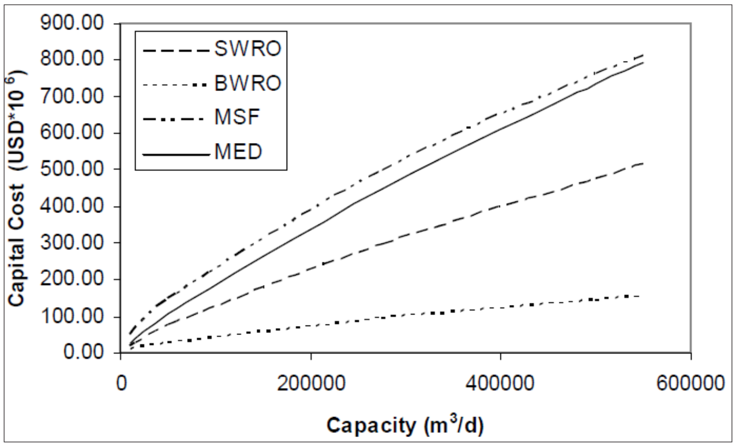
به منظور محاسبه قیمت تمام‌شده تولید آب شیرین، هزینه‌هایی نظیر سرمایه‌گذاری اولیه تجهیزات، هزینه انرژی (برق) مصرفی، هزینه‌های بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری تجهیزات در نظر گرفته می‌شود.

در آب‌شیرین‌کن حرارتی علاوه بر خود آب شیرین‌کن MED، سیستم بازیافت حرارت و تولید بخار HRSG نیز مورد استفاده است. در آب شیرین کن غشایی تنها سیستم آب‌شیرین‌کن و تجهیزات جانبی آن مورد نیاز است. لازم به ذکر است که هزینه مواد شیمیایی مورد استفاده در پیش-پردازش (Pre-treatment) و پس-پردازش (Post-treatment) آب در هزینه‌های بهره‌برداری تجهیزات آورده شده است.

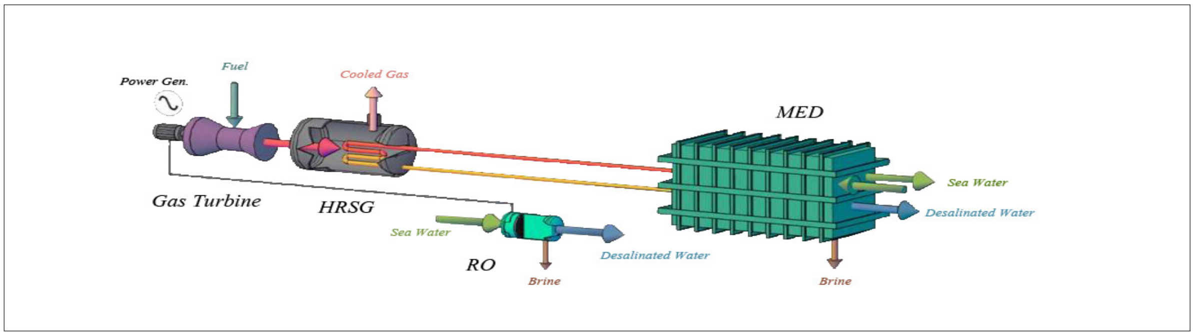
همانگونه که اشاره شد، در استفاده از برق شبکه به عنوان منبع انرژی، به علت عدم وجود اتلافات حرارتی در محل مصرف، تنها استفاده از آب‌شیرین‌کن غشایی امکان‌پذیر است. اما در استفاده از سیستم‌های تولید پراکنده توربین گاز و موتور گازسوز، از انرژی حرارتی اتلافی در خروجی مولدها می‌توان در آب شیرین‌کن حرارتی استفاده کرد، در نتیجه برای این مولدها سه نوع سیستم آب‌شیرین‌کن حرارتی، غشایی و ترکیبی استفاده می‌شود.



شکل ۶: تغییرات سرمایه‌گذاری اولیه بر حسب ظرفیت واحد آب‌شیرین‌کن



شکل ۷: تغییرات هزینه بهره‌برداری بر حسب ظرفیت واحد آب‌شیرین‌کن



شکل ۸: شماتیک واحد تولید همزمان آب و برق با استفاده از آب‌شیرین‌کن ترکیبی

جدول ۱: مشخصات عملکردی واحدهای تولید همزمان بر پایه توربین گاز بومی در شرایط استاندارد

تکنولوژی آب‌شیرین‌کن		Hybrid	MED	RO
توان خالص تولیدی	kW	۲۴	۳۲۱۲	۱۱۲
دبی آب ورودی	Kg/s	۵۸۱/۱	۱۴۳/۷	۴۳۷/۴
شوری آب ورودی	%	۳/۴۴		
دمای آب ورودی	°C	۲۵		
دبی شورآبه	Kg/s	۲۸۰/۰	۱۷/۶	۲۶۲/۴
دبی آب شیرین	Kg/s	۱۸۷/۳۱	۱۲/۳۱	۱۷۵

جدول ۲: مشخصات عملکردی واحدهای تولید همزمان بر پایه توربین گاز بومی در حاشیه خلیج فارس

تکنولوژی آب‌شیرین‌کن		Hybrid	MED	RO
توان خالص تولیدی	kW	۸۹	۲۹۷۲	۱۷۱
دبی آب ورودی	Kg/s	۴۷۶/۶	۱۵۱/۶	۳۲۵
شوری آب ورودی	٪	۴/۵		
دمای آب ورودی	oC	۳۵		
دبی شورآبه	Kg/s	۲۱۲/۴	۱۷/۴	۱۹۵
دبی آب شیرین	Kg/s	۱۴۲/۱۳	۱۲/۱۳	۱۳۰

در جدول ۴ ظرفیت و هزینه تمام‌شده تولید آب با استفاده از هر یک از مولدها و تکنولوژی‌های آب‌شیرین کن نمایش داده شده است. به منظور مقایسه هر چه بهتر قیمت تمام شده تولید آب در سناریوهای مختلف، قیمت آب تولیدی ذکر شده، نسبت به هزینه آب تولیدی با استفاده از برق شبکه و به روش غشایی بی‌بعد شده است. همچنین با فرض مصرف سرانه ۱۹۰ لیتر در روز توسط هر فرد ایرانی (طبق آمار سازمان آب و فاضلاب کشور) ظرفیت تولید آب در هر سناریو برحسب تامین آب جمعیت متناسب با آن نیز بیان شده است.

با توجه به نتایج بالا می‌توان دریافت که استفاده از سیستم تولید پراکنده و همزمان آب و برق بر پایه موتور گازسوز، با استفاده از هیچ یک از تکنولوژی‌های آب‌شیرین کن بررسی شده، اقتصادی نبوده و همواره هزینه تولید آب شیرین بیش از هزینه استفاده از برق سراسری و توربین گاز است. این در حالیست که با استفاده از سیستم تولید پراکنده و همزمان آب و برق بر پایه توربین گاز و با استفاده از آب‌شیرین کن‌های غشایی و ترکیبی، هزینه آب تولیدی بین ۸ تا ۱۰ درصد پایین‌تر از هزینه تولید آب با استفاده از برق شبکه است. مشاهده می‌شود که به دلیل هزینه نسبتا بالای آب‌شیرین کن حرارتی و ظرفیت نسبتا پایین آن، استفاده از این تکنولوژی به صورت مجزا، تنها با هدف تولید آب، مقرون‌به‌صرفه نیست. البته شایان ذکر است که در این سناریو در حدود ۳ مگاوات ساعت انرژی برق تولید می‌شود که قیمت فروش آن در محاسبات اقتصادی صورت گرفته لحاظ نشده است. چنین سناریویی در مواردی که توان الکتریکی بالا و آب شیرین نسبتا کمتر مورد نیاز است قابل توجه است.

همانطور که در بخش گذشته نیز اشاره شد، عملکرد و ظرفیت آب‌شیرین کن‌ها بسیار وابسته به دما و غلظت نمک در آب مورد استفاده است، در نتیجه هزینه تولید آب شیرین در مناطق مختلف و با استفاده از منابع متنوع آب، متفاوت خواهد بود. در جدول ۵ هزینه و ظرفیت تولید آب در سناریوهای مختلف با استفاده از آب خلیج فارس ارائه شده است.

با توجه به نتایج بالا می‌توان دریافت که در شرایط حاشیه خلیج فارس نیز هزینه آب تولیدی با استفاده از موتور گازسوز بیشتر از هزینه تولید آب با استفاده از برق شبکه است. سیستم تولید پراکنده و همزمان آب و برق بر پایه توربین گاز و با استفاده از آب‌شیرین کن‌های غشایی و ترکیبی، همچنان اقتصادی‌ترین و کم‌هزینه‌ترین گزینه‌ها هستند.

در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که در هیچ یک از شرایط آب و هوایی، استفاده از موتور گازسوز جهت تولید آب شیرین مقرون‌به‌صرفه نیست. کم‌هزینه‌ترین روش تولید مربوط به آب‌شیرین کن غشایی با استفاده از توربین گاز است. هزینه تولید آب با استفاده از آب‌شیرین کن ترکیبی بر پایه توربین گاز حدود ۲ درصد بیشتر از آب‌شیرین کن غشایی است، اما با توجه به بازیابی حرارت و کاهش دما و آلایندگی گازهای خروجی در واحد آب‌شیرین کن ترکیبی، این سیستم از دیدگاه زیست محیطی مناسب‌تر است. همچنین در کاربردهایی که تامین برق اولویت اول مصرف‌کننده است، استفاده از آب‌شیرین کن حرارتی به تنهایی گزینه مناسبی است. در این شرایط با وجود هزینه تمام‌شده بالاتر آب تولیدی نسبت به سایر گزینه‌ها، درآمد حاصل از فروش برق تولیدی (که هزینه تولید آن نسبت به سایر مولدها پایین‌تر است) موجب می‌شود تا این سامانه در مجموع اقتصادی و مقرون‌به‌صرفه باشد. شایان ذکر است که هزینه آب و برق تولیدی در سامانه تولید همزمان آب و برق بر پایه توربین گاز کمتر از هزینه تولید آب و برق در سامانه مشابه و بر پایه موتور گازسوز است.

استفاده از سیستم تولید پراکنده و همزمان آب و برق بر پایه موتور گازسوز، با استفاده از هیچ یک از تکنولوژی‌های آب‌شیرین‌کن بررسی شده، اقتصادی نبوده و همواره هزینه تولید آب شیرین بیش از هزینه استفاده از برق سراسری و توربین گاز است

جدول ۳: مقایسه هزینه برق تولیدی سیستم‌های تولید مختلف نسبت به برق شبکه

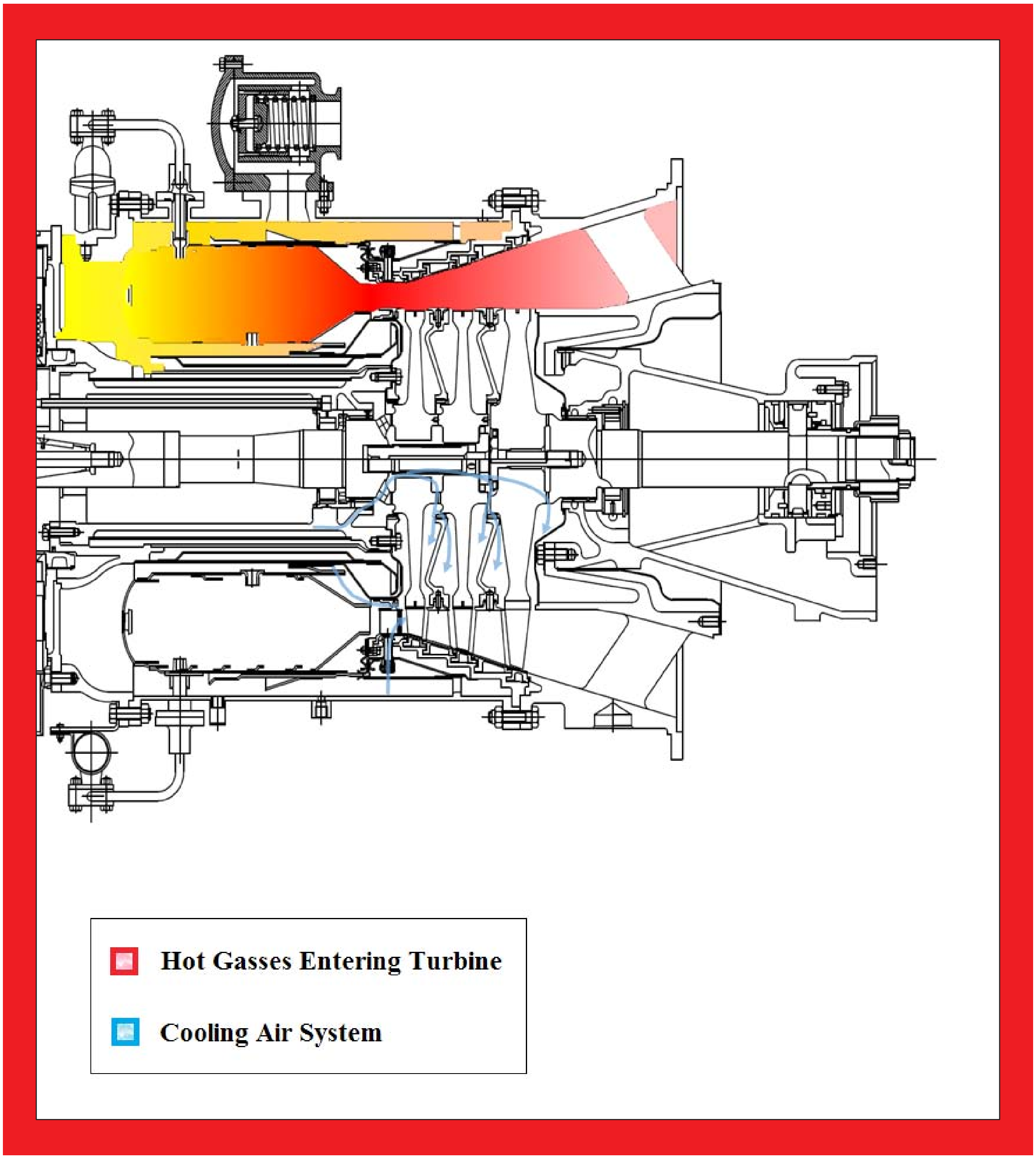
	شرایط استاندارد	حاشیه خلیج فارس
قیمت برق شبکه سراسری	۱/۰	۱/۰
قیمت برق با توربین گاز بومی	۰/۶۹۲	۰/۷۳۷
قیمت برق با موتور گازسوز	۰/۸۶۶	۰/۸۶۶

جدول ۴: هزینه و ظرفیت تولید آب شیرین در سناریوهای مختلف در شرایط استاندارد

		Hybrid	MED	RO
ظرفیت تولید آب (m3/day)	شبکه	–	–	۱۵/۱۲۰
	توربین گاز	۱۶/۱۸۳	۱/۰۶۳	۱۵/۱۲۰
	موتور گازسوز	۱۴،۵۹۵	۳۳۹	۱۴/۲۵۶
ظرفیت تولید آب (هزار نفر)	شبکه	–	–	۷۹/۶
	توربین گاز	۸۵/۲	۵/۶	۷۹/۶
	موتور گازسوز	۷۶/۸	۱/۸	۷۵/۰
هزینه آب تولیدی	شبکه	–	–	۱/۰
	توربین گاز	۰/۹۲۷	۱/۲۸۴	۰/۹۰۲
	موتور گازسوز	۱/۰۴۷	۱/۴۵۵	۱/۰۳۸

جدول ۵: هزینه و ظرفیت تولید آب شیرین در سناریوهای مختلف در شرایط خلیج فارس

		Hybrid	MED	RO
ظرفیت تولید آب (m3/day)	شبکه	–	–	۱۱/۲۳۲
	توربین گاز	۱۲/۲۷۴	۱/۰۴۲	۱۱/۲۳۲
	موتور گازسوز	۱۱/۵۷۲	۳۴۰	۱۱/۲۳۲
ظرفیت تولید آب (هزار نفر)	شبکه	–	–	۵۹/۱
	توربین گاز	۶۴/۶	۵/۵	۵۹/۱
	موتور گازسوز	۶۰/۹	۱/۸	۵۹/۱
هزینه آب تولیدی	شبکه	–	–	۱/۰
	توربین گاز	۰/۹۳۰	۱/۲۰۷	۰/۹۰۴
	موتور گازسوز	۱/۰۳۶	۱/۳۵۰	۱/۰۲۶



» شکل یک: نمونه‌ای از یک ترکیب‌بندی هوای خنک‌کاری و آب‌بندی (رولزرویس ۱۹۹۶)

بررسی جریان هوای ثانویه و انتقال حرارت در حفره بین دیسک‌های توربین گاز تیدا

قاسم مصیبی*

چکیده

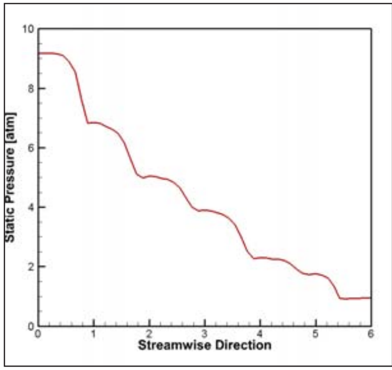
بالابردن دمای ورودی به توربین یکی از روش‌های افزایش بازده و توان توربین گاز است. در مقابل مواد به‌کار رفته در ساخت بخش‌های مختلف باید توان مقاومت در برابر این دمای زیاد را داشـــته باشند. یکی از روش‌های افزایش دمای بخش داغ استفاده از خنک‌کاری اســـت. در این تحقیق به بررسی و مدل‌سازی جریان در توربین و نیز حفره‌های بین دیسک‌ها و دیافراگم‌ها در دو مدل پرداخته شده است. مدل‌سازی در چند مرحله صورت گرفته و در هر بخش نتایج به طور کامـــل مورد تحلیل و بحث قرار گرفته است. نتایج حاصل، الگوی جریان و نحوه خنک‌کاری و توزیع دما در دیســـک دوم توربین را نشان می‌دهد.

مقدمه

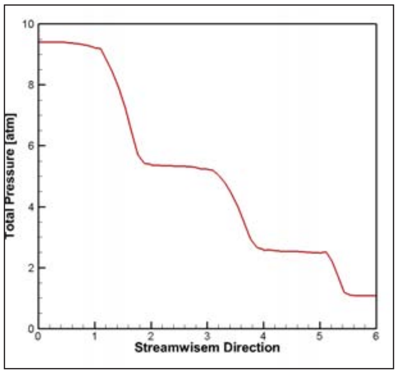
در موتورهای هوایی و توربین‌های گاز تقریبا تا ۱۰ درصد از جریان هوای اصلی برای تغذیه مسیرهای جریان هـــوای ثانویـــه[1] از جمله سیســـتم‌های خنـــک‌کاری و جریان‌های آب‌بنـــد[2] زیرکش[3] می‌شوند[۱]. بهینه‌سازی این مسیرها به عنوان یکی از موثرترین تکنیک‌ها در افزایش بازده کلی توربین گاز است. پیش‌بینی دقیق دمای استاتور، روتور و دیسک‌ها برای طرح‌ریزی قابل اطمینان این سیستم‌ها یک نقطه بحرانی است. همچنین پیش‌بینی دما در محاسبه صحیح انبساط گرمایی و تغییرات فواصل موجود، تنش‌های گرمایی و نهایتا تخمین زمان عمر قطعات لازم است. نمونه‌ای از یک ترکیب‌بندی جریـــان که برای خنک‌کاری و آب‌بندی مجراهای توربین اســـتفاده می‌شود در شکل یک نشان داده شـــده است. در جدیدترین تحقیقات توجه به توسعه روش‌های تحلیل انتقال حرارت مزدوج[4] و حل جریان با روش‌های عددی در ابعاد بـــزرگ منجر به بررســـی‌های کاملی از محیط جریان و انتقال حرارت به صورت کامل در یک موتور توربین گاز شـــده است. تحلیل انتقال حرارت مزدوج به ســـبب حذف محاسبه ضرایب در سطح مشترک سیال و جامد یک حل مستقیم برای انتقال حرارت در جریـــان ارائه می‌کند. این روش به صورت گسترده توسط افراد مختلف برای محاسبه توزیع شار حرارتی در توربین به کار گرفته شده است. در یک موتور توربین گاز قطعات دوار در مقابل قطعات ثابت با فاصله کم قرار گرفته‌اند. این در حالی است که سرعت چرخش بخش‌های دوار معمولا بسیار زیاد اســـت. در این تحقیق به بررسی سیستم خنک‌کاری و جریان هوای ثانویه در مجرای دیســـک‌های توربین گاز تیداپرداخته می‌شود.

مروری بر تحقیقات انجام گرفته در این زمینه

در زمینه انتقال حرارت و جریان هوای داخلی در توربین گاز تحقیقات متفاوت و متنوعی از حدود دهه ۶۰ تا ۷۰ میلادی آغاز شده و با افزایش توان کامپیوترها این فعالیت‌ها به سمت شبیه‌سازی‌های عددی گرایش یافته است. به برخی از تحقیقات صورت گرفت در اینجا اشاره شده است. گوستاوو و همکارانش از مرکز تحقیقات GE در مقاله‌ای که در کنفرانس ASME Turbo Expo ارائه شده است، به بررسی مدل‌های مختلف آشفتگی در تحلیل انتقال حرارت مزدوج برای دو پیکربندی مختلف خنک‌کاری داخلی و خنـــک‌کاری لایه‌ای روی مدل نازل C3X پرداختند. نتایج نشـــان می‌دهد در حالت خنک‌کاری داخلی تطابق خوبی با نتایج تجربی وجود دارد و مدل‌های آشفتگی که در آن انتگرالگیری تا دیوار صورت می گیرد نتایج بهتری را نسبت به مدل‌های توابع دیوار نشان داده است. با استفاده از به کارگیری یک مدل تک‌معادله‌ای گذرش در مدل SST نیز می‌توان نتایج دقیق‌تری برای دما و شار حرارتی روی سطح بدست آورد[۲]. اســـتفاده از CFD در ابعاد وسیع در شبیه‌سازی یک موتور توربینی با استفاده از پردازش موازی به سرعت در حال پیشرفت است. چو و همکارانش در تحقیق انجام گرفته به سمت ایجاد سلول تست مجازی حرکت کرده‌انـــد و بالاترین تکنولوژی‌ها را در این راستا معرفی کرده‌اند. موارد بحرانی در این مسیر دقت تحلیل‌های CFD، انجام تحلیل ســـیالاتی، حرارتی و مکانیکی در تمام ســـیکل پروازی، تحلیل کوپل شده سیال و جامد و مقیاس زمانی مســـئله مورد بررسی است. اگر چه صحت مدل‌های کامپیوتری تحت تاثیر مدل آشفتگی و دیگر مدل‌های ریاضی اســـت، اما مدل‌ســـازی چند مقیاســـی و چند فیزیکی در این زمینه‌ها رو به افزایش است[۳]. الکســـیو و ماتیوداکیس نیز یک دیدگاه شی گرا در مدل‌سازی اجزای سیستم جریان ثانویه توربین گاز و محاسبه عملکرد آن را معرفی کرده‌اند. مدل‌ســـازی اجزا براساس روابط تجربی و مدل‌سازی یک‌بعدی، دوبعدی یا سه‌بعدی صورت گرفته اســـت و عملکرد اجزا بدست آمده است. سپس در یک مدل شـــبکه‌ای با استفاده از معادلات بقای جـــرم، مومنتوم و انرژی به صورت نقطه‌ای رفتار کلی سیستم با شرایط مرزی بدست آمده اســـت. در این نوع مدل‌ســـازی به سادگی می‌توان پیکربندی‌های مختلف و پیچیده را مدل کرد و عملکـــرد آن را در برخورد با عملکرد موتور بدست آورد. این نوع مدل به سادگی قابلیت ارتقا به سطوح بالاتری از دقت و جزئیات را دارد[۴].



» شکل ۲: تغییرات فشار استاتیک میانگین در طول توربین



» شکل ۳: تغییرات فشار کل در راستای جریان در توربین

سیستم هوای ثانویه به جریانی اطلاق می‌شود که مستقیما در ایجاد توان یا نیروی پیشران شرکت ندارد

*قاسم مصیبی: کارشناس واحد مهندسی شرکت مدیریت پروژه های توربین ارکان ایرانیان

جدول ۱:پارامترهای مربوط به کیفیت شبکه تولید شده

Number of Nodes	320497		
Number of Cells	1187920		
	MIN	MAX	AVE
Element Quality	0.0	0.99	0.80
Aspect Ratio	1.03	171	2.36
Skewness	0.0	1.0	0.24
Orthogonal Quality	0.0	0.99	0.86
Corner Angle	60	178	93

روش جایگزین جهت شبیه‌سازی سیستم هوای ثانویه استفاده از شبیه‌سازی یک‌بعدی است. این روش با اینکه دقت پایین‌تری دارد اما روش موثرتری در مدل‌سازی است، زیرا می‌توان اثر تغییر پارامترها را به سادگی در سیستم کلی بررسی کرد و از این‌رو ابزار مناسبی در طراحی است

سیستم‌هوای‌ثانویه‌در‌توربین‌گاز‌و‌مسائل‌پیرامون‌آن

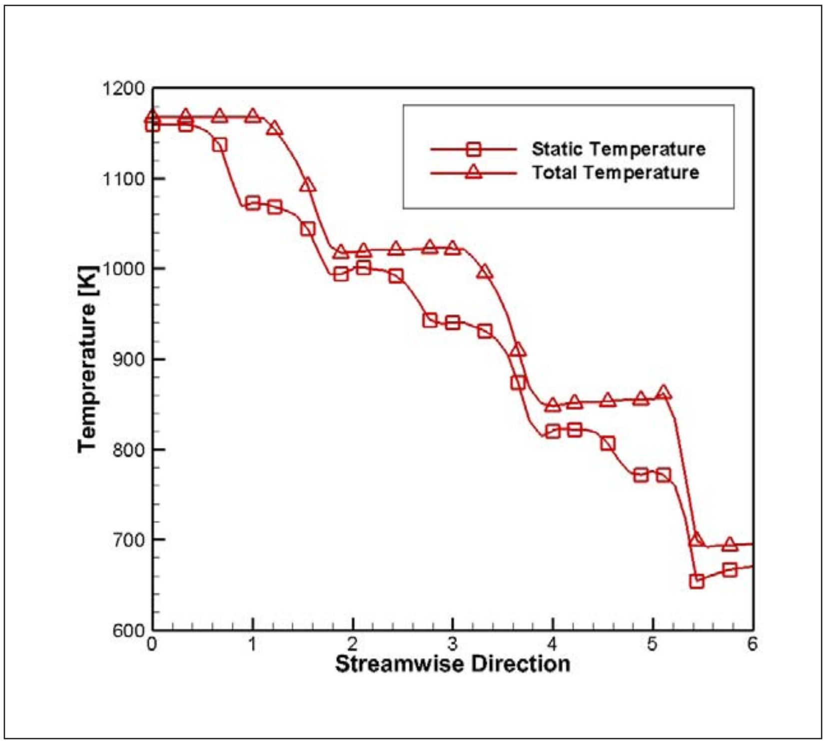
سیستم هوای داخلی[۵] یا ثانویه به جریانی اطلاق می‌شـود که مسـتقیما در ایجاد توان یا نیروی پیشران شرکت ندارد.این سیستم وظایف مختلفی برای کارکرد ایمن و مفید موتور بر عهده دارد. این وظایف شامل خنک‌کاری داخلی موتور و واحدهای جانبی آن، جلوگیری از نشـت گازهـای داغ به فضای حفره میان دیسک‌ها، کنترل بیرینگ‌های[۶] بار محوری، کنترل فاصله نشـتی لبـه پره و نیز جلوگیری از یخزدگی در توربین گاز هوایی است. علاوه بر این سیستم هوای داخلی وظیفه تامین هوا برای سایر سیستم‌ها را نیز بر عهده دارد. مسیر هوای ثانویه توربین گاز شـامل پیچیدگی‌های هندسی بسیار زیادی از قبیل سوراخ‌ها، کانال‌ها، لوله‌ها، دیسـک، پره، آب‌بندها و اجزای متفاوت دیگری اسـت که هر کدام تاثیرات متفاوتی را در دینامیک و انتقال حرارت جریان دارند.

توسعه خنک‌کاری در توربین گاز یک نقش اساسی در افزایش توان و بازده گرمایی آن ایفا می‌کند.برای توربین گازهای زمینی که شامل سیکل‌های تولید توان، پیشرانش‌های دریایی و کاربری‌های صنعتی از قبیل پمپاژ و تولید همزمان هستند،برای افزایش توان، دمای ورودی به توربین باید افزایش یابد. اما این نرخ با محدودیت‌هـای تولید NOX تعیین می‌شود.با تاکید بر کاهش تولید آلاینده‌ها استفاده مفید از هوای خنک‌کاری مهم‌تر و دسـت یافتن به بازده بالاتر مشـکل‌تر خواهد بود. بنابراین در توان‌های بالا و عملکردهای بالا توسعه مواد دمابالا از قبیل پوشش‌های مقاوم در برابر حرارت[۷] و نیز سیستم‌های خنک‌کاری پیچیده و پیشرفته دو راهکاری هستند که در پیش‌رو قرار دارند.هر چه دمای ورودی به توربین افزایش یابد مقدار گرمای انتقال یافته به پره توربین نیـز افزایش می‌یابد. تغییرات دمـا درون پره منجر به ایجاد تنش‌های حرارتی و در نتیجه از کار افتادگی آن می‌شود.برای رسیدن به عمر مورد نظر باید این تنش‌ها محدود شوند. باید توجه داشـت اگر دمای یک پره تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد بیشتر از پیش‌بینی‌ها افزایش یابد عمر مفید آن تا نصف کاهش خواهد یافت.بنابراین برای افزایش عمر پره‌ها باید یک پیش‌بینی دقیق از دما و شار حرارتی پره‌ها انجام داد.

در مجموع می‌توان گفت یکی از روش‌های افزایش راندمان موتور افزایش دمـای گازهای ورودی به توربین است، به‌طوری که دمای ورودی به توربین از مقدار ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد در سال ۱۹۴۰ تا ۱۶۰۰ درجه در سال ۲۰۰۵ ارتقا یافته است که این دما از دمای عملکرد ایمـن آلیاژهای به کار رفته بالاتر است که نشان می‌دهد خنک‌کاری موثر اجزای توربین نتایج خوبی را به دنبال داشته است. برای خنک‌کاری بخشی از هوای کمپرسور از مسیر اصلی جدا شده و وارد مسیرها و روزنه‌های اجزای توربین و محفظه احتراق می‌شود. سیستم جریان هوای ثانویه توربین گاز عملکردهای مختلفی از قبیل تهویه (که اغلب شـامل خنک‌کاری است) آب‌بندی و پاکسـازی فضای بین دیسـک‌ها، محورها، حفره‌ها و محفظه‌های یاتاقان‌ها را برای یک کارکرد ایمن موتور بر عهده خواهند داشت. در مجموع استفاده از این جریان هوا می‌تواند باعث کاهش عملکرد کلی موتور شود (افزایش تا حدود ۶ درصدی مصرف سـوخت ویـژه در موتورهای توربوفن مدرن) زیرا این هـوا معمولا در مقاطع مناسبی از طبقه‌های مختلف کمپرسور زیرکش خواهد شـد. در حالی که برای افزایش فشار آن مقداری کار صورت گرفته اسـت. به طور کلی در تخمین صحیح از عملکرد موتور باید افت مربوط به جریان ثانویه را نیز به حسـاب آورد و این مورد به علت پیچیدگی‌های هندسی ساخت و تولید، ایمنی و محدودیت‌های مالی معمولا با سـختی مواجه اسـت. علاوه بر این در بیشتر موتورهای توربین گاز پای اسـتاتورها بـا آب‌بندهای لانه زنبوری[۸] تجهیز می‌شوند. نشان داده شده است که استفاده از آب‌بندهای لانه زنبوری از نفوذ جریان خارجی به سمت حفره اسـتاتورها به طرز قابل توجهی جلوگیری می‌کند. در مدل‌های عمومی برای شبیه‌سازی امکان در نظر گرفتن آب‌بندهای لانه زنبوری به صورت جزئی وجود ندارد. اما برای

جدول ۲- مشخصات مربوط جنس دیسک توربین

Property	Value
Alloy Name	Inconel 718
Density	8.22 [g/cm3]
Specific Heat Capacity	560 ‘J/kg.K] at 538 oC
Thermal Conductivity	19.6 [W/m.K] at 538 ºC



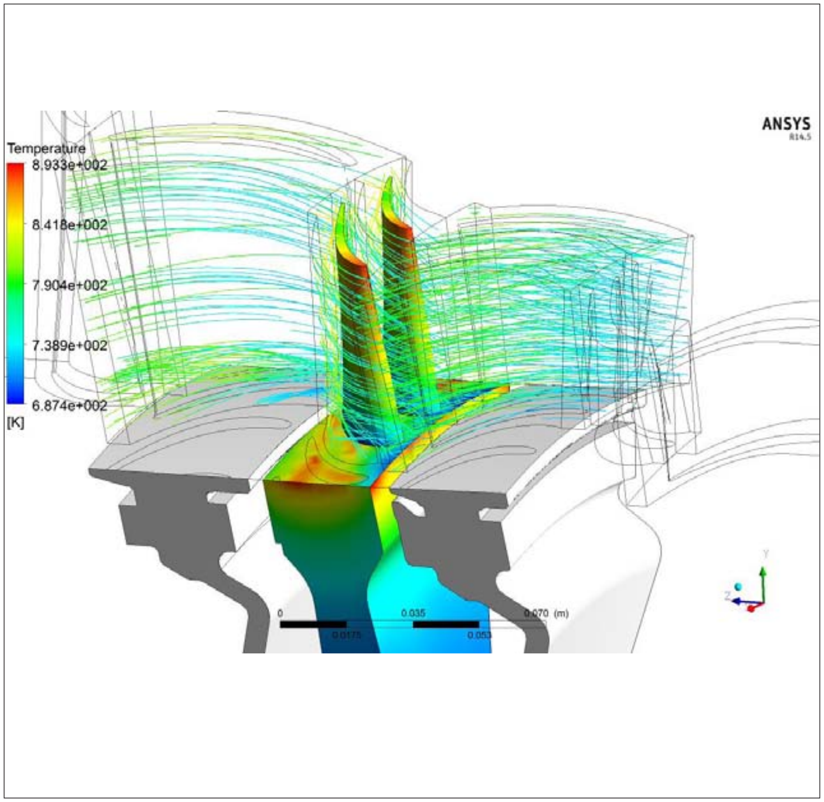
شکل ۴ تغییرات دمای استاتیک و دمای کل در راستای جریان در توربین

دقیق‌ترین راه‌حل جهت شبیه‌سازی، طراحی و پیش‌بینی رفتار سیستم هوای ثانویه شبیه‌سازی سه‌بعدی با استفاده از روش‌های دینامیک سیالات عددی است

بهره‌گیری از اثرات و عملکرد درزبندی‌های موجود و احتساب آن در مدل یک فاصله معادل از پای استاتور تا دندانه‌های آب‌بند می‌تواند در نظر گرفته شود.

تحلیل جریان و انتقال در پره‌ها و حفره بین دیسک‌های توربین

دقیق‌ترین راه‌حل جهت شبیه‌سازی، طراحی و پیش‌بینی رفتار سیستم هوای ثانویه شبیه‌سازی سه‌بعدی با استفاده از روش‌های دینامیک سیالات عددی است که امری پیچیده و زمان‌بر است و معمولا تنها برای بررسی جزئیات در نقاط خاص مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش جایگزین جهت شبیه‌سازی سیستم هوای ثانویه استفاده از شبیه‌سازی یک‌بعدی است. این روش با اینکه دقت پایین‌تری دارد اما روش موثرتری در مدل‌سازی است، زیرا می‌توان اثر تغییر پارامترها را به سادگی در سیستم کلی بررسی کرد و از این‌رو ابزار مناسبی در طراحی است. در این روش هر جزء به صورت جداگانه مدل‌سازی می‌شود و یک سری روابط تجربی یا تئوری برای هر کدام ایجاد می‌شود. سپس این اجزا در یک مدل شبکه‌ای به کمک شرایط مرزی انتقال حرارت و جریان با یکدیگر کوپل خواهند شد. استفاده از این مدل تاثیر بسزایی در کاهش هزینه و زمان خواهد داشت. در این تحقیق حفره‌های موجود در فاصله بین روتور و استاتور توربین در نظر گرفته شده است. یک جریان خنک‌کاری به صورت ثابت به سمت حفره بین دیسک‌ها حرکت می‌کند تا از ورود جریان گاز داغ به این سمت جلوگیری کند و همچنین مانع از گرمایش اضافی دیسک‌ها شود. برای بررسی رفتار جریان در این ناحیه یک مدل شامل حفره‌های بین روتور اول و دوم و سوم به همراه سایر مسیرهای اطراف آن و جریان اصلی در توربین ساخته شده است. برای بررسی رفتار انتقال حرارت بین سیال و جامد از روش تحلیل انتقال حرارت مزدوج استفاده شده است. با توجه به اینکه در این حفره انتقال حرارت به فرم رسانش در سطح دیسک‌ها و انتقال حرارت همرفت در مرز بین جامد و سیال رخ می‌دهد، استفاده از این روش در پدیدارسازی



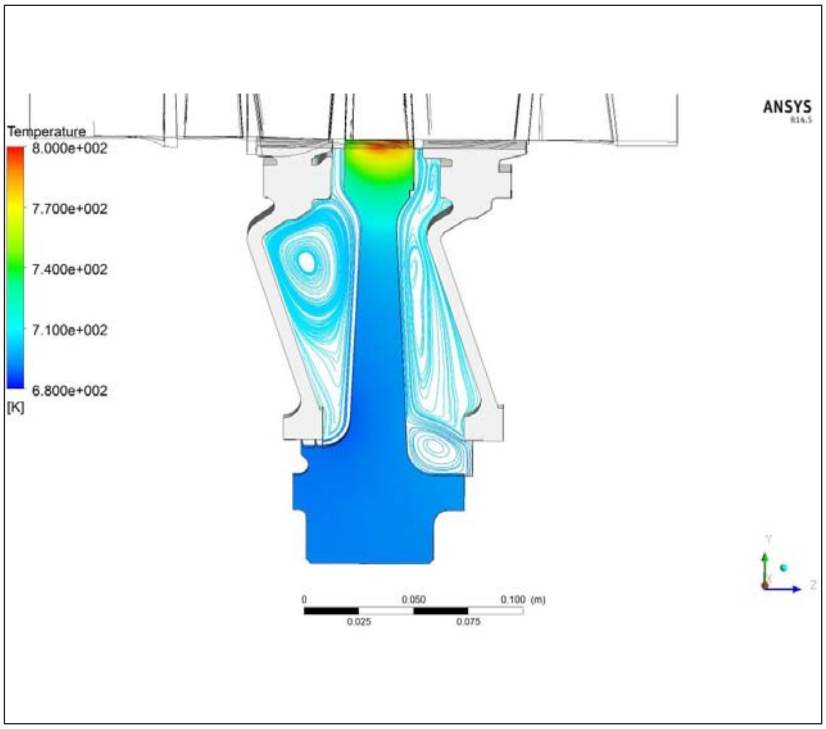
» شکل ۵: کانتور دما در سطح دیسک و پره‌های روتور طبقه دوم در توربین گاز تیدا به همراه خطوط جریان

فیزیک موجود کمک بسیاری زیادی خواهد کرد. مسیر جریان هوای داخلی از زیر محفظه احتراق توربین گاز عبور می کند. در زیر محفظه احتراق این توربین دو مسیر برای جریان هوای داخلی وجود دارد که توسط یک صفحه از یکدیگر جدا شده‌اند. مسیر هوای بالایی، جریان هوای لازم در خنک‌کاری نازل ردیف اول را فراهم می کند و مسیر پایینی از طریق سوراخ‌هایی در دیسک اول به فضای درون محور و بخش پیچ مرکزی[۹] اتصال دیسک‌ها خواهد رسید و سپس از طریق سوراخ‌هایی در طرف دیگر دیسک به حفره بین دیسک اول و دیافراگم نازل دوم خواهد رسید. در مدل تک‌شفت از طریق همین پیچ مرکزی جریان هوا تا انتهای دیسک دوم خواهد رسید، ولی در مدل دوشفت هوا از فاصله کوچک میان دیسک دوم و سوم به حفره میان دیسک جریان می‌یابد. توسط آب‌بندی پای دیافراگم‌ها، فضای بین دو دیسک، توسط دیافراگم به دو بخش تقسیم شده است. این آب‌بندها از نوع لانه‌زنبوری بوده و افت لازم جهت ایجاد جریان آب‌بند و خنک کننده در مسیر دیسک‌ها را فراهم می کنند. میزان مساحت عبوردهی جریان به فضای بین دیسک‌ها با توجه به فشار جریان در گذرگاه پره‌ها تعیین شده است. بخشی از سیستم جریان هوای داخلی که در این قسمت مورد تحلیل قرار گرفته، شامل جریان‌های خنک‌کاری دیسک دوم توربین است. به علت کوپل بودن شرایط جریان ثانویه با جریان اصلی، گذرگاه پره‌های توربین نیز در نظر گرفته شده است. مدل‌سازی جریان عبوری از این قسمت شامل پیچیدگی‌های متفاوتی است. ابعاد هندسی متفاوت که موجب ایجاد ناپایداری و عدم دقت در حل می‌شود. میدان‌های در حال چرخش و ثابت در کنار هم، فصل مشترک بین ناحیه‌های مختلف سیال و جامد، انتقال حرارت مزدوج، حجم بزرگ مسئله که لزوم به کارگیری میدان تناوبی را ایجاد می‌کند، از چالش‌ها و مشکلات پیش‌روی تحلیل این مسئله است. به دلیل پیچیدگی موجود در هندسه از شبکه بی‌سازمان در تمام حجم‌ها استفاده شده است. جزئیات مربوط به کیفیت شبکه ایجاد شده در ناحیه محاسباتی نیز در جدول ۱ آورده شده است. تولید مش در هر ناحیه به صورت جداگانه انجام گرفته و بنابراین در فصل مشترک نواحی مش غیرمنطبق ایجاد شده است که تنظیمات مربوط به این سطح مشترک‌ها در حلگر انجام خواهد شد.

در این شبیه‌سازی از نرم‌افزار CFX Ansys 14.5 استفاده شده است.به منظور مدل‌سازی جریان تراکم‌پذیر آشفته در گذرگاه پره‌ها و حفره‌های داخلی، معادلات پیوستگی، اندازه حرکت، انرژی و معادلات مربوط به مدل‌سازی آشفتگی در شکل متوسط گیری‌شده باید در تمام میدان حل شود. برای حل این مسئله برای هر طبقه یک پره در نظر گرفته شده است. در قسمت دیسک و دیافراگم‌ها با توجه به اینکه به صورت متقارن محوری هستند، یک قطاع ۱۶ درجه‌ای از کل در نظر گرفته شده است. شرایط مرزی ورودی و خروجی توربین با توجه به حل صورت گرفته در بخش قبل تعیین شده و در این صورت تنها شرایط ورودی جریان هوای ثانویه به حفره دیسک باقی می‌ماند که با توجه به نامشخص بودن آن تحلیل به صورت پارامتری برای دبی جرمی‌های مختلف و با فرض مقدار میانی در حدود ۵ درصد دبی کل توربین انجام شده است. با توجه به محدوده دمایی جریان خواص ترمودینامیکی سیال به صورت متغیر با دما در نظر گرفته شده است. خواص جامد نیز با توجه به جنس دیسک‌ها و پره‌ها تنظیم شده است. خواص مواد جامد در جدول ۲ آورده شده است.

جمع‌بندی نتایج

حل کامل این مسئله در سه مرحله صورت گرفته است. در مرحله اول جریان در گذرگاه پره‌های توربین مورد تحلیل قرار گرفته است. در گام دوم از نتایج فشار در نقاط مختلف در راستای توربین که از حل قبل بدست آمده است، جهت مدل‌سازی جریان در حفره دیسک‌ها استفاده شده و در نهایت در بخش آخر تمام محدوده میدان با هم مدل‌سازی شده است. شرایط مرزی جریان اصلی با توجه به اطلاعات عملکرد موتور مشخص است اما برای جریان داخلی با توجه به محدود کردن دامنه جریان مشکلات زیادی در تعیین شرایط مرزی وجود دارد. به همین دلیل کمیت‌هایی در



» شکل ۶: کانتور دمای دیسک دوم به همراه خطوط جریان در حفره‌ها

که مدل‌سازی نامعلوم هستند به صورت پارامتری مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. نمودار تغییرات فشار استاتیک در ناحیه داغ در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود روند تغییرات فشار استاتیک کاهشی است. فشار سکون در استاتور ثابت می‌ماند و در روتور کاهش قابل ملاحظه‌ای پیدا می‌کند. در شکل ۳ نمودار تغییرات فشار کل در راستای توربین نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در عبور از روتورها فشار کل به شدت کاهش یافته و در استاتورها ثابت می‌ماند. این کاهش فشار به دلیل انجام کار روی توربین است که در نتیجه سیال انرژی خود را از دست می‌دهد. در توربین‌های عکس‌العملی هر دو پره استاتور و روتور در نقش نازل منبسط کننده عمل می‌کنند. بنابراین فشار استاتیک در هر دو پره چرخنده و ثابت کاهش می‌یابد. استاتورها در توربین در نقش یک نازل عمل کرده و جریان را با سرعتی کمی بیشتر از سرعت روتورها به پره‌های در حال چرخش هدایت می‌کنند. با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود که تغییرات دما نیز مانند فشار روند کاهشی داشته و در اثر انجام کار، همچنان که سیال انرژی خود را از دست می‌دهد، دمای آن نیز کاهش می‌یابد. افت دمای استاتیک در روتور و استاتور اتفاق می‌افتد ولی دمای کل در استاتور ثابت می‌ماند. همچنین جریان در عبور از استاتور به دلیل هندسه مسیر جریان افزایش سرعت داده و با ماکزیمم سرعت وارد روتور می‌شود و در روتور سیال با انجام کار بر روی توربین انرژی خود را از دست می‌دهد و از سرعت آن کاسته می‌شود. (شکل ۵)

جریان عبوری در حالت کلی برای خنک‌کاری در حدود ۵ درصد فرض شده است. در این حالت در سمت دیافراگم دوم که تغییر هندسه نیز در آن به وجود آمده است، همانند شکل ۶ یک ناحیه بزرگ چرخش جریان وجود دارد ولی در سمت دیافراگم سوم جریان شبیه به جریان روی پله حرکت می‌کند و در نتیجه دو ناحیه چرخش که در جریان روی پله در رینولدزهای پایین نیز مشاهده می‌شود، در اینجا دیده می‌شود. جریان در این حفره‌ها با توجه به سرعت چرخش محور دارای سرعت حرکت بالایی است. اما نرخ خروج جریان از حفره‌ها با توجه به اختلاف فشار موجود پایین است.

در توربین‌های عکس‌العملی هر دو پره استاتور و روتور در نقش نازل منبسط‌کننده عمل می‌کنند. بنابراین فشار استاتیک در هر دو پره چرخنده و ثابت کاهش می‌یابد

منابع:

1-Zerelli N., "Analysis of a Turbine Rim Seal Cavity via 3D-CFD Using Conjugated Heat Transfer Approach", AIAA Journal of Turbomachinery, April 1994, Vol. 116.
2-Ledezmo G. A., Laskowski G. M., and Talpadi A. K., "Turbulent Model Assessment for Conjugate Heat Transfer in a High Pressure Turbine Vane Model", ASME Turbo Expo 2008, June ,13-9 2008, Berlin, Germany.
3-Chew J. W. and Hills N. J.," CFD and Virtual Aeroengine Modeling", Journal of Mechanical Engineering Science, 2009.
4-Alexio A. and Mathioudakis, "Secondary Air System Component Modeling for Engine Performance Modeling", Journal of Engineering for Gas Turbine and Power, May 2009, Vol.131

پی نوشت:

1-Secondary Air Flow
2-Sealing
3-Bleed
4-Conjugate Heat Transfer
5-Internal Air System
6-Bearings
7-Thermal Barrier Coatings (TBC)
8-Honey Comb Sealing
9-Center Bolt

ریسک‌ها و خطرات ایمنی در ارتباط با حوادث و خسارات توربین‌ها

سینا صفریان*

کاهش وقفه[1]های آزاردهنده، کاهش ریسک ایمنی[2]، افزایش سطح ایمنی و قابلیت اطمینان در توربو ماشینری[3]، از عوامل بسیار مهم و مورد توجه اپراتورها و پرسنل مسئول در یک سایت بوده و در واقع راه‌اندازی ماشین در قالب یک روش موثر، هدف اصلی و تعریف شده این افراد است. لذا توجه این مقاله بیشتر معطوف به ریسک‌ها و خطرات ایمنی در ارتباط با موارد و حوادث مخرب است که علاوه بر خسارات شدید مالی، می‌تواند منجر به جراحات سنگین و حتی مرگ نیز شود. از جمله این موارد می‌توان به افزایش خارج از حد مجاز دور[4] در توربین‌ها اشاره کرد.

آنالیز و انطباق

جلوگیری از حوادث و اتفاقات یاد شده، نیازمند بررسی بسیار دقیق عوامل شکست[5] و بکار بردن راهکارهایی جهت کاهش آمار آن بوده و این خود مستلزم پیروی از استانداردهای طراحی مربوطه است. با این وجود، پیروی و مطابقت کامل با استانداردهای ایمنی از جمله استاندارد IEC 61508 و ملزومات آن، علاوه بر تحمیل هزینه‌های مضاعف خرید تجهیزات و سیستم‌های ایمنی، باعث پیچیدگی در طراحی سیستم‌های کنترل مربوطه خواهد شد. این موضوع خود به تنهایی مسبب حساسیت امر و اعمال بار مضاعف بر روی مهندسان سایت در انتخاب سیستم مناسب است. حساسیت موضوع به این دلیل است که سیستم انتخاب شده در عین ایمنی و قابل اطمینان بودن، باید دارای قابلیت ارتقای عملکرد پردازش نیز باشد.

با در نظر گرفتن موارد ذکر شده، در ذیل به اختصار، به تعریف و رفع ابهامات موجود در این مباحث و نیز روش‌های مختلف استفاده، طراحی و اجرای سیستم‌های SIS[6] (سیستم ایمنی) و TCS[7] (سیستم کنترل ماشین) خواهیم پرداخت.

استانداردهای TCS

در طول ۱۵ سال گذشته، استفاده از استاندارد IEC 61508 و ملزومات اجرای آن به‌تدریج جای خود را در بازار سیستم‌های کنترل توربوماشینری باز کرده و مقبولیت و پذیرش مد نظر را بدست آورده است. در واقع هدف اصلی استانداردهای IEC 61508 و IEC 61511 فراهم کردن روش‌های جایگزین و قابل اطمینان برای تولیدکننده‌های تجهیزات، شرکت‌های مهندسی و خریداران این تجهیزات، جهت رسیدن به میزان ایمنی مورد تایید است. در سیستم‌های معمول و تکنولوژی نسل قبل، این وظیفه برعهده واحدهایی بوده که در کنار سیستم کنترل توربوماشینری قرار داده می‌شد و در کنار بحث مربوط به کنترل عملکرد ماشین موجود، حفظ ایمنی نیز توسط همان سیستم تامین می‌شد که این امر باعث کندی عکس‌العمل و نیز کاهش اطمینان‌پذیری سیستم بوده است.

امروزه به منظور کاهش ریسک و خطرات مربوطه و افزایش قابلیت اطمینان، سیستم‌های کنترلی و حفاظتی به روش‌هایی از یکدیگر مجزا شده و در شاخصی به نام SIL[8] (سطح یکپارچگی ایمنی) درجه‌بندی می‌شوند.

سطح SIL مورد نیاز سیستم، بر مبنای میزان ریسک قابل پذیرش در سایت و طبق تعیین مهندسان سایت در نظر گرفته می‌شود و این امر حاصل از مقایسه میزان ریسک تجهیز تحت کنترل (EUC)[9] با میزان ریسک قابل پذیرش است.

بنا بر استاندارد IEC61508، سطح SIL مورد نیاز براساس PFD[10] تعیین و مشخص می‌شود. در صورتی که

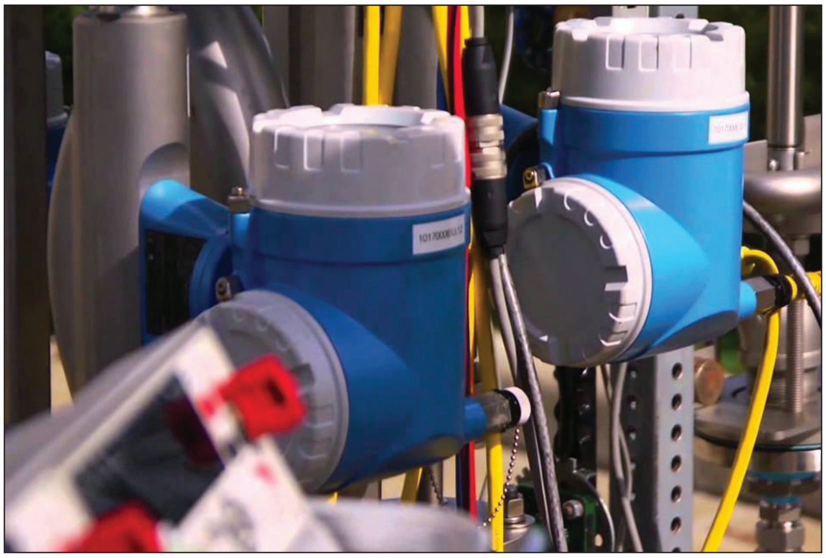


TABLE1. IEC 61508 and IEC 61511 standards	
IEC 61508	IEC 61511
Generic safety standard for broad range of applications	Sector-specific safety standard for the process industries
Applies to all safety-related systems and external risk reduction facilities	Applies only to safety-instrumented systems
Primarily for manufacturers and suppliers of safety systems and devices	Primarily for system designers, integrators and safety system users and devices

*سینا صفریان: دپارتمان کنترل و ابزار دقیق، کارشناس کنترل پروژه و ابزار دقیق

در تحلیل انجام شده، ریسک EUC بالاتر از میزان قابل تحمل اعلام شود، در نتیجه به سیستم SIS نیاز خواهد بود.

با توجه به بررسی انجام شده، میانگین PFD در سیستم SIS، در قالب عامل کاهش ریسک[11] اعلام می‌شود. سطح خطر و ریسک EUC باید پایین‌تر از این میزان قرار گیرد و در نتیجه این آنالیز و با رعایت سطح SIL مربوطه، میزان مشخصی از PFD را تضمین می‌کند.

به طور معمول سطح SIL در مبحث توربوماشینری، SIL 2 یا SIL3 است.

مخاطره از کار افتادگی

آنالیز ریسک، علاوه بر کنترل گرهای میکروپروسسوری[12]، تمامی سیستم از جمله ترانسمیترها و عملگرها (ACTUATORS) را شامل می‌شود.

بررسی PFD در این بخش، سخت‌افزار و نرم‌افزار سیستم را بطور همزمان شامل می‌شود. این موضوع بدین معنی است که تامین و بکار بردن کنترل گر با سطح SIL مشخص، در برگرفتن کل سیستم SIS در سطح SIL مربوطه را تضمین نخواهد کرد.

بررسی‌ها در وقوع حوادث در سایت‌های صنعتی، نمایانگر این مسئله است که بیشتر شکست‌ها در SIS، در نتیجه عدم عملکرد مناسب تجهیزات سایت[13] است و نه کنترل گرهای مربوطه.

با در نظر گرفتن تمامی موارد مذکور، سیستم SIL تنها به عنوان یک توصیه‌نامه و مشاوره جهت طراحی دقیق سیستم بوده و نباید توقع داشت، سیستمی که بر مبنای SIL طراحی شده باشد به طور حتم دارای قابلیت اطمینان بیشتر از سیستم طراحی شده NON-SIL باشد.

روش‌های دیگر کاهش ریسک

در کنار طراحی و ساخت بهینه سخت‌افزار تجهیزات کنترل و ابزار دقیق، دو روش اصلی جهت کاهش سطح ریسک وجود دارد:

- جداسازی[14] سیستم‌های ایمنی و کنترل
- REDUNDANCY

از نظر نرم‌افزاری، TCS سیستم پیچیده‌ای مشتمل بر لوپ‌های چندگانه PID، سیگنال‌های مختلف I/O و منطق پیچیده است. این موضوع پیش‌بینی و اعتبار تمامی روابط بین کنترل گرها، مانیتورینگ و حفاظت را بسیار دشوار می‌کند. لذا ساده‌تر آن است که بخش‌های ایمنی مجزا شده و بطور جداگانه بررسی شود. در نتیجه، سیستم کنترل، که در واقع قسمتی از SIS را تشکیل می‌دهد (نه کل آن را)، شامل کدهای ساده‌ای با قابلیت اطمینان در عملکرد بالا خواهد بود.

از نظر سخت‌افزاری، شکست‌های معمول و مشترک بین عملکردهای ایمنی و کنترلی باید حداقل شوند و منظور از آن مجزا کردن منابع تغذیه، ماجول‌های I/O، باس ارتباطی و پردازش مجزا در سیستم‌های SIS و TCS است.

سیستم‌های ایمنی و کنترلی

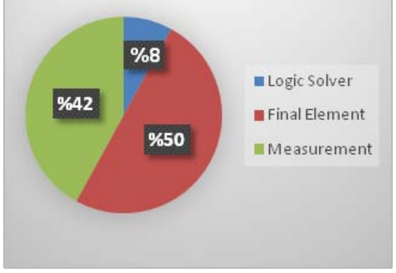
از معایب جداسازی سیستم‌های ایمنی و کنترلی از یکدیگر، پیچیدگی در اجرا و نیز افزایش چشمگیر هزینه‌های اجرا خواهد بود. در بسیاری از موارد، سیگنال‌های مورد استفاده در سیستم TCS، بطور همزمان در سیستم SIS به عنوان ورودی عملیات ایمنی در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه مبحث پیچیدگی طراحی و افزایش هزینه، زمانی خود را آشکار می‌کند که کل سیستم نیاز به استفاده از ترانسدیوسرهای دوگانه به‌منظور در اختیار گذاشتن سیگنال I/O در سیستم‌های TCS و SIS را دارد و این امر باید بدون نقض اصل جداسازی باشد.

برخی از سازندگان تجهیزات سخت‌افزاری و طراحان سیستم‌های کنترل، جهت پرهیز از پیچیدگی‌های مذکور، سیستم‌های یکپارچه TCS و SIS را پیشنهاد می‌دهند. با این تفاوت که کل مجموعه دارای سطح SIL استاندارد و مورد نیاز است. طراحی این سیستم‌ها به طریقی انجام گرفته که سطح جداسازی مورد نیاز بین سیستم ایمنی و کنترل، بدون جداسازی سخت‌افزاری و فیزیکی تامین می‌شود. در نتیجه از نظر نرم‌افزاری، یک سیستم یکپارچه ممکن است شامل عملکردهای ایمنی و کنترلی باشد که نرم‌افزار مربوط به TCS در قسمت کنترلی عمل می‌کند. اما اگر TCS علاوه بر عملکردهای کنترلی (non-safety)، عملکردهای ایمنی سیستم را نیز بر عهده داشته باشد، در این صورت عملکرد کل سیستم که ممکن است شامل کنترل توربین، ژنراتور و یا کمپرسور باشد، باید تحت آنالیز ایمنی قرار گرفته و محدودیت‌های مربوط به هر موضوع بر آن اعمال شود و این خود شامل تغییر در پارامترها به‌منظور تامین سطح SIL مربوطه است.

با ذکر تمامی موارد بالا، بطور کلی TCS و SIS، هر یک دارای وظایف مختلف و متمایز هستند. وظیفه TCS تامین عملکرد قابل اطمینان واحد و ارتقای قابلیت اتکا در پردازش است. لذا در اختیار داشتن سیستم TCS که با تامین بیشترین حد ایمنی، واحد را در سرویس قرار دهد ضروری به نظر می‌رسد. این امر خود مستلزم بکارگیری الگوریتم‌های پیچیده کنترلی جهت پایدارسازی واحد، حتی با وجود چندین سیگنال ورودی در وضعیت شکست است.

به طور همزمان با عملکرد TCS، وظیفه کلی و نهایی سیستم SIS، خاموشی[15] واحد در وضعیت ایمن و جلوگیری از هرگونه شکست مخرب است و قابلیت اطمینان در این عملکرد سیستم SIS، هیچ ارتباطی با پیچیدگی در طراحی آن ندارد. در واقع در بیشتر مواقع، قابلیت اطمینان[16] در یک سیستم

FIG.2.Main causes of SIS failure



استفاده از سیستم تولید پراکنده و همزمان آب و برق بر پایه موتور گازسوز، با استفاده از هیچ یک از تکنولوژی‌های آب‌شیرین‌کن بررسی شده، اقتصادی نبوده

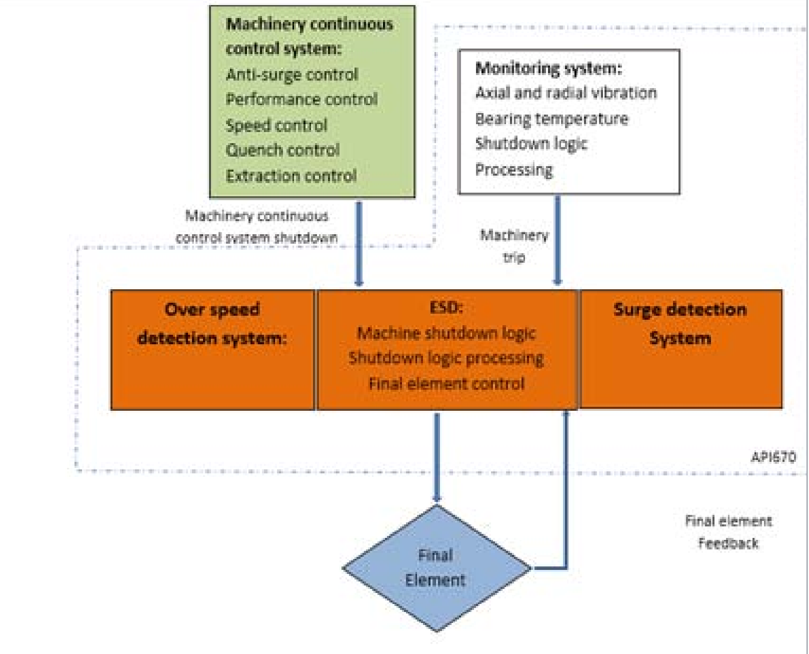


FIG.4. Integrated API670 architecture for the MPS

با یک طراحی خوب و منطقی می‌توان باعث کاهش ریسک و خطرات مواجه شده در واحدهای در حال سرویس شد

SIS بطور معکوس با پیچیدگی‌های بکار رفته در طراحی آن متناسب است. به بیان دیگر در بسیاری از موارد، الگوریتم خاموشی ساده‌تر، سطح اطمینان بالاتری نیز دارد.

موضوع دیگری که بسیار حائز اهمیت است، تغییرات در سیستم‌های SIS و TCS است. در حالی که در طول راه‌اندازی یک واحد، سیستم TCS ممکن است نیازمند انجام تنظیم‌های مکرر باشد و این عمل ممکن است در طول عمر عملکرد سیستم بارها و بارها اتفاق بیافتد. اما هر گونه انجام تغییرات در سیستم SIS قویا مورد تایید نبوده و به هیچ وجه توصیه نمی‌شود.

طراحی

نحوه طراحی و توانایی‌های ایجاد شده در TCS می‌تواند در سطح SIL مورد نیاز در سیستم SIS، موثر باشد. به‌طوری که با یک طراحی خوب و منطقی می‌توان باعث کاهش ریسک و خطرات مواجه شده در واحدهای در حال سرویس شد؛ به طور مثال، در یک خط لوله، جهت جلوگیری از افزایش فشار خروجی، خارج از محدودیت‌های ساختاری خط در سیستم SIS، توابع و عمل‌گرهای محدودکننده در نظر گرفته می‌شود که در صورت عبور از نقاط مشخصه، خط off می‌شود. در حالی که با اعمال شرایط و محدودیت‌ها در سیستم TCS و انجام اقداماتی از جمله کاهش دور توربین، باز کردن شیرهای تخلیه مربوطه و کاهش فشار خط، ریسک چنین اقداماتی بطور چشمگیری پایین خواهد آمد.

ریداندانسی[17] یکی دیگر از مواردی است که اغلب توسط طراحان سیستم کنترل در طراحی سیستم SIS به‌منظور کاهش PFD و رسیدن به سطح دسترسی[18] بالا بکار گرفته می‌شود و اغلب اوقات از TMR[19] و یا dual redundancy در طراحی SIS استفاده می‌شود.

ریداندانسی، قابلیت اطمینان در عملکرد سیستم‌ها را تا حد زیادی افزایش می‌دهد. در واحدهای با اهمیت بالا که نیاز به سطح دسترسی بالا در سیستم‌های TCS است، رسیدن به چنین سطحی از اطمینان بدون استفاده از ریدانسی عملا امکان‌پذیر نیست. البته تکنولوژی و روش مورد استفاده در طراحی سیستم TCS redundance با روش استفاده شده در طراحی سیستم‌های SIS کامل یکسان است، با این تفاوت که در دریافت گواهی‌های SIL، فرایند طراحی SIS باید تحت سطح بالاتری در SIL قرار گیرد و همچنین این امر در مبحث عیب‌یابی[20] در سیستم‌های SIS و TCS نیز صادق است.

با وجود تمام موارد بالا، نباید از این موضوع غافل شد که با اعمال تمام موارد ایمنی و احتیاط‌های قید شده، با وجود کاهش محسوس PFD، این موضوع می‌تواند باعث افزایش در زمان اجرای نرم‌افزار[21] شده و بروز وقفه‌های ناخواسته اجتناب‌ناپذیر می‌شود.

ادغام استانداردها

نسخه پنجم استاندارد API 670 با مضمون Machinery protection standard (MPS)، تمامی جزئیات و دستورالعمل‌های اجرای سیستم‌های محافظت ماشینری (MPS) را مطابق با IEC61508 و IEC61511 فراهم کرده و در واقع شامل حداقل نیازمندی‌های یک سیستم MPS است. طبق استاندارد API 670 یک سیستم MPS به چندین واحد عملکردی مجزا تقسیم می‌شود که شامل vibration monitoring، over speed detection، surge detection و ESD است. طبق تعریف استاندارد، ESD شامل یک کنترل‌گر منطقی مجزاست که عملکرد آن بالا بردن قابلیت اطمینان در اعمال دستورهای خاموشی از نظر زمان‌بندی و ترتیب اجرا[22] است.

در یک سیستم MPS در سیستم‌های ماشینری، اندازه‌گیری و در دسترس بودن متغیرهای زیر ضروری است:

- Radial shaft vibration
- Casing vibration
- Shaft axial position
- Shaft rotational speed
- Overspeed
- Compressor parameters (such as fow, pressure and temperature)
- Critical machinery temperatures

معماری عملکرد

یک سیستم MPS عموما بر پایه دو ساختار مجزا[23] و یکپارچه[24] است. ساختار مجزا به عنوان پیش‌فرض در موارد مختلف مطرح است.

مطابق استانداردهای IEC 61508 و IEC 6151، مبحث SIL فقط برای سیستم ESD در نظر گرفته می‌شود (مخصوصا زمانی که سیستم ESD، شامل تمام موارد موجود در SIS باشد). با این وجود و با

توجه به ارتقای عملکرد سیستم، رشد درخواست اعمال تاییدهای SIL از سوی استفاده‌کنندگان اجرای آن در تمام قسمت‌ها و تجهیزات MPS دیده می‌شود. لذا بنا به تعاریف ذکر شده، در یک سیستم یکپارچه، کل سیستم باید تحت سطح‌بندی SIL باشد. مطابق چیدمان و طراحی سیستم‌ها در گذشته، پایش ارتعاشات[۲۵] و میزان محدودیت سرعت[۲۶] جزئی جدانشدنی از سیستم SIS ماشینری بوده‌اند، که به‌تدریج سیستم پایش سرج[۲۷] نیز به این بحث اضافه شد. با این وجود در حال حاضر استانداردها بر مستقل بودن سیستم پایش سرج برای کمپرسورهای axial و centrifugal توصیه دارند، به‌ویژه در مواردی که نسبت بالای فشار و توان دیده می‌شود.

با ذکر تمامی موارد بالا، همانطور که قبلا ذکر شد، نیازی به اعمال محدودیت‌های استاندارد IEC 61508 در سیستم تشخیص سرج نیست، مگر اینکه بنا به نتیجه آنالیز ریسک این مورد الزامی شود.

طبق تعریف SIS، نه تنها سیستم ESD، بلکه تمام سیستم از جمله سنسورها و عمل‌گرها باید مطابق SIL مورد نیاز باشند. در نتیجه جهت اطمینان از مطابقت کامل SIL، آنالیز PFD باید برای کل سیستم اعمال شود و گواهینامه[۲۸]های مربوط به سیستم ESD به تنهایی بیانگر احراز شرایط ایده‌آل SIL نخواهد بود.

توابع و عملکرد حفاظتی

تفکیک عملکرد یکی از اصول اولیه MPS است و در هر دو سیستم مجزا و یکپارچه این مسئله باید رعایت شود. در واقع درخواست و ترجیح استاندارد برای یک سیستم MPS، تفکیک و جداسازی کامل فیزیکی سیستم حفاظت از سیستم کنترل است که در نتیجه شاهد حذف تمامی خطاها و تداخل‌ها در حالت مشترک خواهیم بود.

استاندارد IEC61508 سخت‌گیری‌های بسیاری را در تحلیل خطر و در نتیجه انتخاب سیستم SIL مناسب اعمال کرده که این موضوع باعث پیدایش یک درک مشترک از تجهیزات کنترلی در بین سازندگان این تجهیزات و نیز استفاده‌کنندگان در انتخاب سیستم SIL مناسب شده است.

در نتیجه تفکیک سیستم حفاظت و کنترل، تحلیل SIL به‌طور ساده شده است. حتی بدون در نظر گرفتن استاندارد IEC61508، این موضوع در صنعت اثبات شده که تا زمانی که موارد حفاظتی در نظر گرفته شود، سادگی در سیستم معادل با قابلیت اطمینان است. لذا بسط نیازها و محدودیت‌های سیستم SIL و گواهی‌های مربوطه به سیستم کنترل برای هر دو سیستم حفاظتی و کنترلی می‌تواند بسیار مخرب باشد.

به طور کلی، پیچیدگی در سیستم کنترل می‌تواند با توجه به عملکرد حساس آن توجیه شود. با این حال این پیچیدگی زیاد، می‌تواند باعث بروز مشکلاتی بسیار در رسیدن به سطح SIL مورد نیاز شود. از طرفی با قرارگرفتن نرم‌افزار سیستم کنترل توربوماشینری TMC، در سخت افزار منطبق بر سطح‌بندی SIL، بطور اتوماتیک کل سیستم را مطابق SIL قرار نمی‌دهد، مگر اینکه نرم‌افزار در آنالیز PFD کل سیستم بررسی شده باشد.

نرم‌افزارهای کنترلی با قابلیت عملکردی و انعطاف‌پذیری بسیار بالا، آشکارا می‌توانند باعث پیچیدگی آنالیز PFD شده و این امر شامل کاهش

به طور کلی، پیچیدگی در سیستم کنترل می‌تواند با توجه به عملکرد حساس آن توجیه شود

سطح SIL قابل دست یافتن شود.

نسخه پنجم استاندارد API 670، با توجه به تجربیات صنعتی بدست آمده، تفکیک سیستم‌های کنترل و حفاظت را اجباری کرده است.

جمع‌بندی

درک این مطلب بسیار ضروری است که سطح‌بندی SIL معادل با سطح بالای دسترسی[۲۹] نیست. استفاده مناسب از سیستم ریدانداسی[۳۰]، سیستم عیب‌یابی و الگوریتم‌های کنترلی، باعث ارتقای یک سیستم غیر SIL به سطح دسترسی مشابه با سیستم منطبق بر SIL می‌شود.

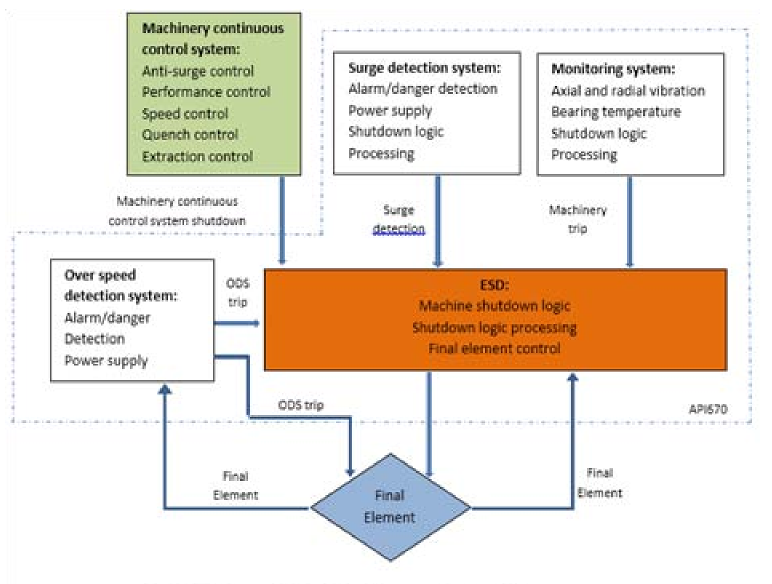
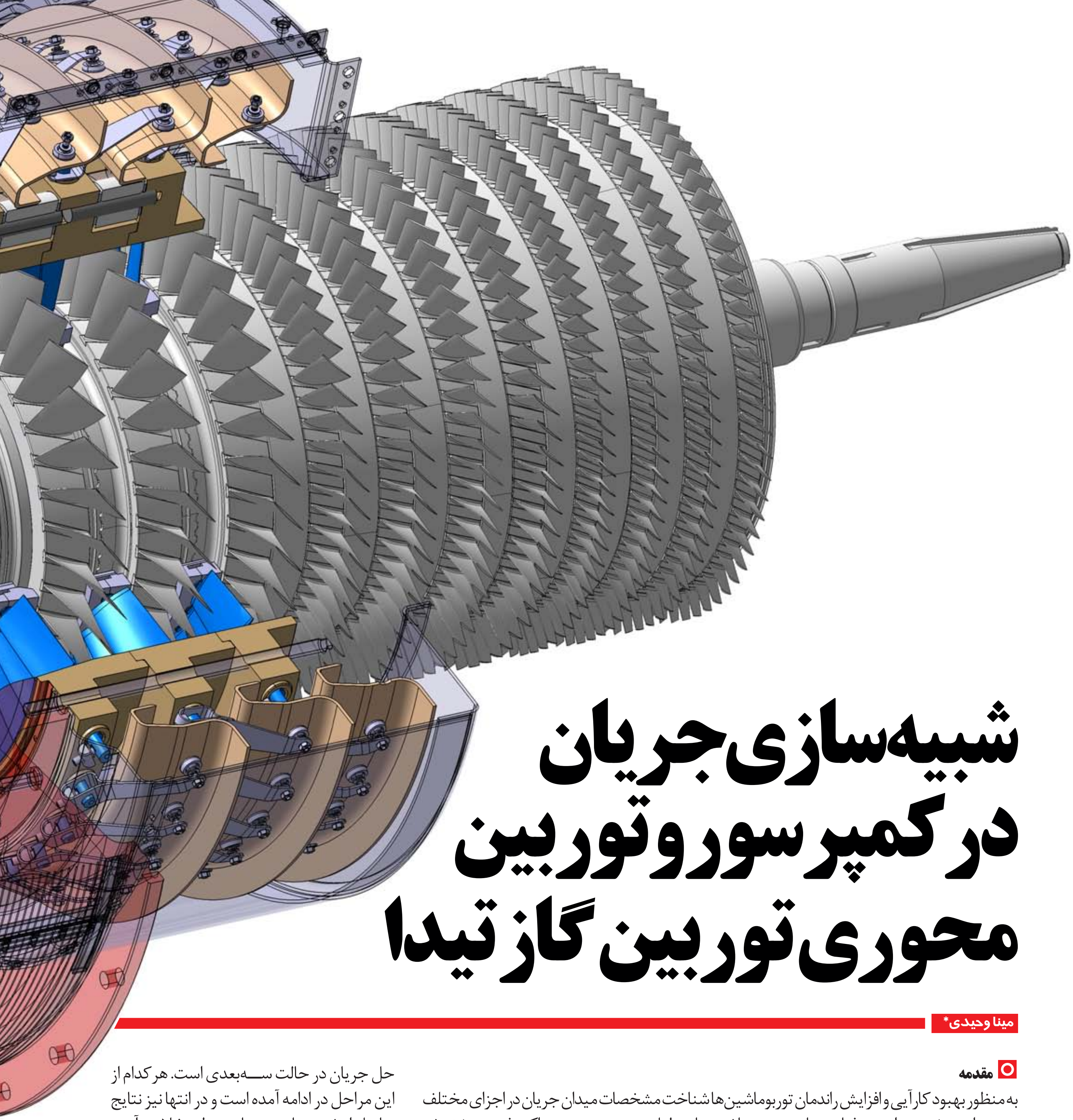


FIG.3. Distributed API670 architecture for the MPS

پی نوشت

1-trip
2-safety
3-Turbo Machinery
4- Over speed
5-Failure
6-Safety Instrumented System
7-Turbo Machinery Control System
8-Safety Integrity Level
9-Equipment Under Control
10-Probability of Failure on Demand
11-Risk Reduction Factor
12-Logic Solver
13-Field Instrument
14-Separation
15-Shutdown
16-Reliability
17-redundancy
18- Availability
19-triple modular redundancy
20-Diagnostic
21-software execution cycle time
22-Sequence
23-Distributed
24- Integrated
25-Vibration Monitoring
26-Overspeed
27-Surge Detection
28-Certification
29-availability
30-redundancy



شبیه‌سازی جریان در کمپرسور و توربین محوری توربین گاز تیدا

مینا وحیدی*

مقدمه

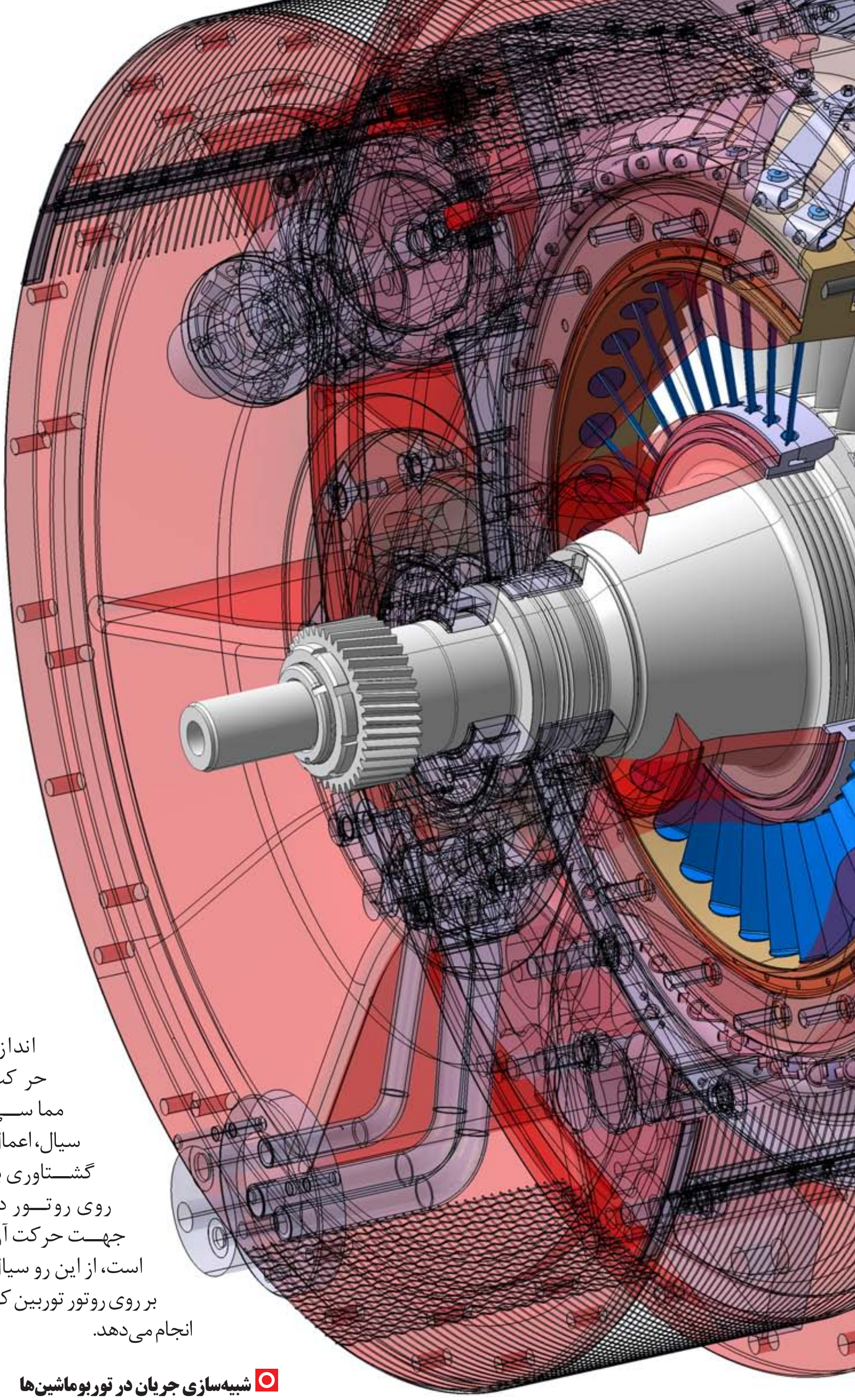
به منظور بهبود کارآیی و افزایش راندمان توربوماشین‌ها شناخت مشخصات میدان جریان در اجزای مختلف توربین امری ضروری است. رفتار جریان در توربوماشین‌ها به دلیل هندسه پیچیده، تراکم‌پذیری، مغشوش و غیردائم بودن جریان، از پیچیدگی‌های فراوانی برخوردار است. از طرفی کوچک‌ترین جزئیات هندسی همچون فاصله بین پره‌ها، زوایای ورود و خروج جریان، ضخامت لبه فرار، لبه حمله و انحنای نواحی مختلف پره تاثیر بسزایی در عملکرد توربین دارد. بنابراین برای بهبود کارآیی و افزایش راندمان توربین گاز نیاز به تغییر این پارامترها و مشاهده اثر این تغییرات بر راندمان و کارایی توربین گاز است، از آنجایی که تغییر این پارامترها و تست کردن این تغییرات از طریق روش‌های تجربی بسیار پرهزینه است، از روش‌های عددی برای شبیه‌سازی سه‌بعدی جریان استفاده می‌شود. یکی از روش‌های مدل‌سازی رایج و کارا در مطالعه رفتار سیال در توربوماشین‌ها شبیه‌سازی عددی آن‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای تجاری مانند Fluent و Ansys CFX است.

در این مقاله با استفاده از روش‌های محاسبات عددی، به تحلیل آیرودینامیک و ترمودینامیکی مجموعه توربین و کمپرسور توربین گاز تیدا پرداخته شده است. این کار کلید افزایش سرعت چرخه محاسبات و کاهش زمان و هزینه‌های تست است. علاوه بر این با فراهم کردن نتایج شبیه‌سازی‌های عددی، بینشی از فیزیک جریان ارائه می‌شود. بنابراین با استفاده از معادلات رینولدز میانگین نویر-استوکس (RANS) به شبیه‌سازی جریان در حالت پایا در یازده طبقه کمپرسور و سه طبقه توربین محوری در این توربین گاز پرداخته شده است. شبیه‌سازی شامل سه قسمت عمده مدل‌سازی هندسی، تولید شبکه و در نهایت حل جریان در حالت سه‌بعدی است. هر کدام از این مراحل در ادامه آمده است و در انتها نیز نتایج حاصل از شبیه‌سازی جریان به طور خلاصه آمده است.

مبانی فیزیک جریان در توربوماشین‌ها

یک کمپرسور محوری از یک یا چند طبقه تشکیل شده که هر طبقه متشکل از یک ردیف پره روتور و یک ردیف پره استاتور است. پره‌های روتور بر روی جریان کار انجام می‌دهند و در ردیف‌های استاتور فشار استاتیک افزایش می‌یابد. تعداد طبقات براساس نسبت فشار مورد نظر انتخاب می‌شود. با پیشروی به سمت طبقات انتهایی، جرم مخصوص، فشار و دمای جریان افزایش پیدا می‌کنند. در شکل یک مشاهده می‌شود که در نتیجه افزایش چگالی، سطح مقطع مفید جریان و ارتفاع پره نیز کاهش می‌یابد. افزایش فشار سکون

*مینا وحیدی: کارشناس واحد مهندسی شرکت مدیریت پروژه های توربین ارکان ایرانیان



« شـــکل ۱: نمای جانبی کمپرسور محوری توربین گاز تیدا

به طور عمــده در روتور اتفــاق می‌افتد. در عمل مقداری افت فشار کل در استاتور ناشی از لزجت و وجود جریان‌های ثانویه باعث کاهش فشار سکون می‌شـــود. همچنین در روتور نیز افت‌هایی وجود دارد که باعث می‌شود افزایش فشار سکون در آن کمتر از تراکم آیزنتروپیک باشد.
هر طبقه توربین محوری از ردیف پره‌های ساکنی به نام نازل یا استاتور تشکیل می‌شود که به دنبال آن روتور قرار دارد. نازل‌ها ســبب شتاب گرفتن جریان می‌شوند و مولفه مماسی سرعت را افزایش می‌دهند. با توجه به تفاوت در تغییر در ســرعت مماسی جریان، نمودار مثلث‌های سرعت توربین با کمپرسور تفاوت دارد. واکنش ناشی از این تغییر در اندازه حرکت مماسی سیال، اعمال گشـــتاوری بر روی روتـــور در جهـــت حرکت آن است، از این رو سیال بر روی روتور توربین کار انجام می‌دهد.

شبیه‌سازی جریان در توربوماشین‌ها

به دلیل پیچیده بودن میــدان جریان برای حل جریان از روش‌های عددی اســتفاده می‌شود که در این بررسی روش دینامیک سیالات محاسباتی به خدمت گرفته شــده اســت. در ابتدا به کمک نرم‌افزار Turbo Grid هندســه مدل شــده در نرم‌افزار CATIA شـــبکه‌بندی [۱] شده است. در ادامه با انتقال شبکه مناسب تولید شده به نرم‌افزار ANSYS CFX و تعیین شرایط مرزی و انتخاب روش حل، میدان سیال حل می‌شود. در مرحله آخر، تجزیه و تحلیل جریان و بررسی جواب‌های به دست آمده انجام می‌شود. در شکل ۲ روند کلی شبیه‌سازی انجام شده نشان داده شده است. برای بررسی ساده‌تر و انتخاب سریع‌تر مدلی بهینه برای تحلیل جریان شبیه‌ســازی در حالت پایا [۲] انجام داده می‌شـــود. در این مدل عبارت‌های وابسته به زمان تحلیل حذف می‌شود. این امر سبب می‌شود هزینه محاســـباتی کاهش یابد. در واقع در مدت زمان کمتری می‌توان مدل و تنظیمات مناســـب را انتخاب کرد تا در مراحل بعـــدی که به مراتب زمان حل محاسبات طولانی‌تر است از اتلاف زمان جلوگیری شود.

مدل‌سازی هندسه

به منظور تعیین هندســـه ناحیه مورد بررســـی، هندسه تولید شده در نرم‌افزار سه بعدی CATIA به محیط Design Modeler در نرم‌افزار Ansys Workbench منتقل می‌شـــود. شکل ۳ نمایی از پره‌های توربین را در مرحله تولید دامنه حل در این محیط نشان می‌دهد. در ادامه ورودی و خروجی جریان، ریشه و نوک هر پره و همچنین مرزهای پریودیک مشخص می‌شـــوند. با مشخص کردن تعداد پره‌ها در هر ردیف و مسیر جریان، محدوده حل برای هر پره به خوبی مشـــخص می‌شـــود. هندسه مدل شده شامل یک استاتور و یک روتور از هر طبقه و ۱/۸ از دیفیوزر خروجی اســـت که شامل یک استرات است. توربین محوری در توربین گاز تیدا دارای ۳ طبقه است که به همراه دیفیوزر خروجی مدل شده است.

تولید شبکه محاسباتی

از آنجایی که حل عددی معادلات حاکم بر مسئله از گسسته‌سازی این معادلات به‌دست می‌آید، از این رو باید خطاهایی که در حل عددی وجود دارد تا حد امکان کوچک شوند تا جواب به دست آمده به جواب واقعی نزدیک شود. یکی از عوامل مهم در افزایش دقت جواب‌ها تولید شـــبکه با کیفیت است. برای تولید شـــبکه پیرامون هر پره هندسه ایجاد شده در محیط Design Modeler به محیط Turbogrid انتقال داده می‌شود. شبکه استفاده شده در این شبیه‌سازی از نوع شش‌وجهی است.

شرایط مرزی

یک حل برای مسائل مقدار مرزی یک حل برای معادله دیفرانسیلی است که شرایط مرزی را نیز ارضا می‌کند. شـــرایط مرزی متغیرهای جریان و دمایی را بر روی مرزهـــای مدل فیزیکی معین می‌کند. شرایط مرزی که در این مدلسازی لحاظ شده‌اند، شامل دما و فشار ورودی، فشار خروجی، مرز تناوبی و دیوار اســـت. در این مسئله شرایط مرزی در ورودی کمپرســـور شرایط محیط است و چون سرعت ورودی مشخص نیست، در ورودی

از آنجایی که حل عددی معادلات حاکم بر مسئله از گسسته‌سازی این معادلات به‌دست می‌آید، از این رو باید خطاهایی که در حل عددی وجود دارد تا حد امکان کوچک شوند تا جواب به دست آمده به جواب واقعی نزدیک شود

شرط مرزی فشار و دما مطابق با شرایط استاندارد در نظر گرفته شده است. در مورد توربین شرایط سیال ورودی (دبی و دمای کل) عینا مطابق با خروجی محفظه احتراق در نظر گرفته شده است. به دلیل نبودن اطلاعات دقیق از شرایط سرعت خروجی جریان از کمپرسور و حساس بودن پایداری حل به دبی جرمی، ناگزیر از شرط فشار استاتیک در خروج استفاده می‌شود. به این صورت که حل برای چندین حالت با فشار استاتیک مختلفی انجام می‌شود تا در نهایت نسبت فشار کل مورد نظر ارضا شود.

برای شرط دمایی نیز در دیواره‌ها شرط مرزی آدیاباتیک در نظر گرفته شده‌است. این شرط مرزی برای مجزا کردن مرز سیال از جامد مشخص شده است. به طور پیش‌فرض دیوارها ثابت در نظر گرفته شده‌اند و نسبت به دستگاه مطلق در چرخشند و تنها شروط ثابت است و سرعت مطلق آن صفر است. در این مطالعه با توجه به تاثیر هر پره بر روی پره مجاور شبیه‌سازی تمام پره‌های کمپرسور نیازمند شبکه عددی بسیار حجیم و هزینه‌بر است. لذا به منظور فائق آمدن بر این مشکل و کاهش هزینه محاسباتی، به جای در نظر گرفتن تمام روتور و استاتورها تنها یک روتور و استاتور از هر طبقه شبیه‌سازی می‌شود و اثر سایر پره‌های موجود، با استفاده از شرط مرزی تناوبی اعمال شده است.

تعیین سیال عامل

مشخصات فیزیکی و ترمودینامیکی سیال عامل جاری در ناحیه گرم توربین با کمپرسور تفاوت دارد. سیال عامل توربین گازهای حاصل از ترکیب سوخت و هوا در محفظه احتراق است که با دمای حدود ۱۶۶۰ درجه فارنهایت وارد ناحیه داغ توربین می‌شود. برخی مشخصات ترمودینامیکی گازها وابسته به دماست. با توجه به بازه تغییر دمایی در ناحیه گرم توربین این مسئله اهمیت پیدا می‌کند. این مشخصات ترمودینامیکی شامل ظرفیت گرمایی ویژه گاز، ویسکوزیته و ضریب رسانش گرمایی است. که این مشخصات وابسته به نوع گاز نیز است.

نتایج شبیه‌سازی عددی جریان در توربین‌های مولد گاز و قدرت

با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی و رابطه (۱) می‌توان توان کل توربین گاز و سهم کمپرسور و توربین را به‌دست آورد. در این رابطه τ گشتاور وارد بر هر روتور، ω سرعت زاویه‌ای و N تعداد پره‌های روتور است. با استفاده از اطلاعات موجود برای طبقه سوم توربین، توان تولیدی توربین توان بدست می‌آید.

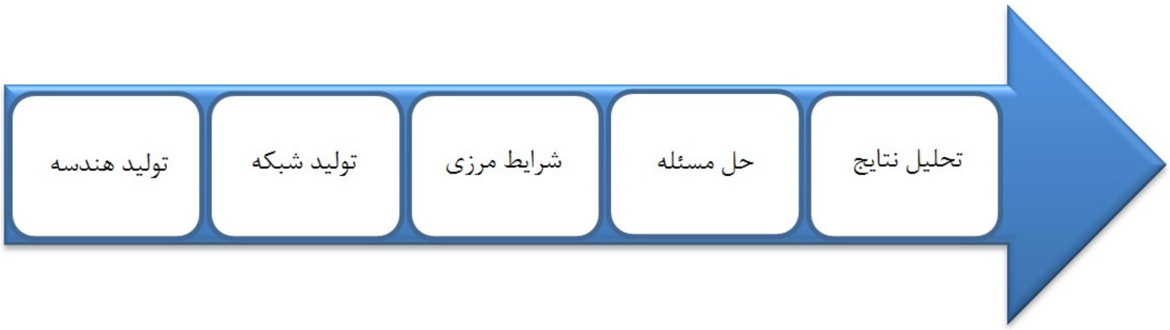
$$P = \tau * \omega * N * \left(\frac{2\pi}{60}\right) \quad (1)$$

توان محاسبه شده برای توربین توان برابر ۴۴۱۴ اسب بخار است که در مقایسه با توان اعلام شده (۴۳۹۰ اسب بخار)، خطای محاسبات ناچیز است. در طراحی توربین‌های محوری سه پارامتر بدون بعد وجود دارد که اهمیت زیادی دارند. ضریب عکس‌العمل طبقه پارامتر طراحی است که نقش مهمی در بازده طبقه دارد. طبقاتی که ضریب عکس العمل ۵۰ درصد دارند، افزایش آنتالپی در روتور و استاتور آن طبقه به صورت مساوی انجام می‌گیرد. در این طبقات لایه مرزی جریان تمایل کمتری به جدایش از سطح جامد دارد و این سبب جلوگیری از اتلاف مقدار زیادی فشار سکون می‌شود. در شکل ۶ مقدار ضریب عکس‌العمل طبقات به صورت نمودار نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در اکثر طبقات این مقدار تقریبا برابر ۰/۵ است که نشان‌دهنده توزیع مساوی میزان افزایش آنتالپی در روتور و استاتور است. همچنین می‌توان گفت این پارامتر برای ۳ طبقه ابتدایی که مقداری بیشتر از ۰/۵ دارد، افزایش آنتالپی آن‌ها بیشتر توسط روتور انجام می‌گیرد. همچنین در طبقه آخر عکس این اتفاق رخ می‌دهد.

تغییرات آنتالپی کل از ورود تا خروجی ناحیه داغ در شکل ۷ به‌صورت بی‌بعد شده نشان داده شده است. به عنوان مثال فاصله صفر الی یک نشان‌دهنده استاتور اول و بازه یک تا ۲ روتور اول است. طبق قانون اول ترمودینامیک، آنتالپی کل در فرآیندهای آدیاباتیکی که در آن‌ها کاری انجام نمی‌گیرد ثابت می‌ماند و هنگامی که کار از حجم کنترل گرفته می‌شود کاهش می‌یابد.

شکل ۸ توزیع فشار اطراف پره‌های توربین را به‌صورت دوبعدی نشان می‌دهد. در توربین‌های عکس‌العملی هر دو پره استاتور و روتور در نقش نازل منبسط‌کننده عمل می‌کنند. بنابراین فشار استاتیک در هر دو پره‌های چرخنده و ثابت کاهش می‌یابد. استاتورها در نقش یک نازل عمل کرده و جریان را با سرعتی کمی بیشتر از سرعت روتورها به پره‌های چرخان هدایت می‌کنند.

در بین افت‌هایی که در پره توربین وجود دارد، افت لقی سر پره بیشترین سهم را دارد، به این سبب که در نوک پره گاز مسیر جریان را دنبال نمی‌کند و با لایه مرزی دیواره تداخل پیدا می‌کند، بنابراین این بخش از جریان در تولید توان توربین سهیم نخواهد بود. افزایش لقی سر پره [۳] کارایی توربین را کاهش می‌دهد و مصرف سوخت را افزایش می‌دهد. در شکل ۹ و شکل ۱۰ خطوط جریان بر روی پره توربین تیدا و یک پره نمونه در یک آزمایش نشان داده شده است. مشخصه این ورتکس‌ها که چسبیده به سطح می‌مانند، فشار

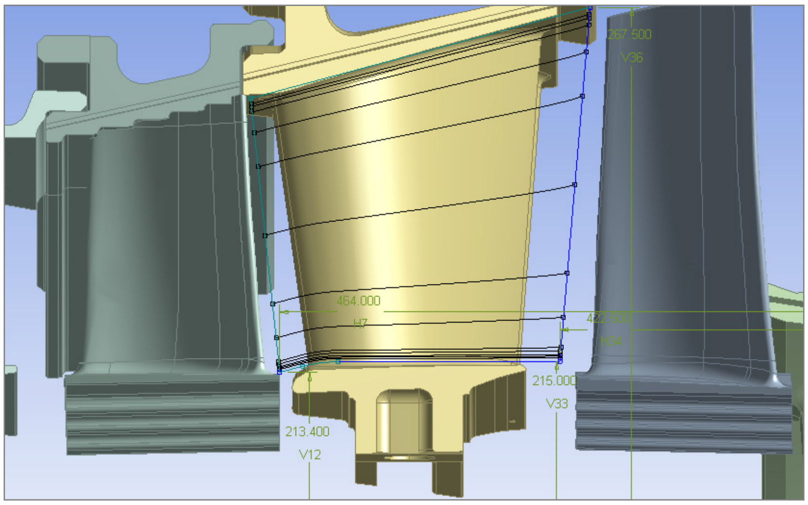


شکل ۲: روند کلی شبیه‌سازی جریان در توربوماشین‌ها

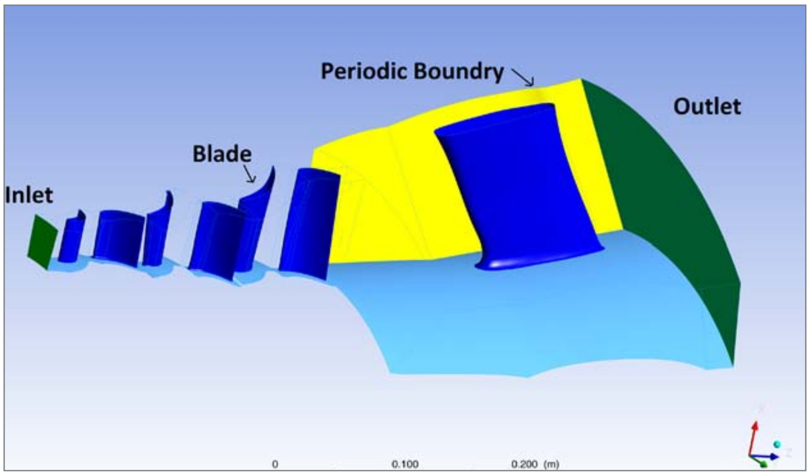
نسبی کمتر نسبت به جریان آزاد است. هنگامی که این جریـــان به پایین دســـت جریان حرکت می‌کند، در اختلاط با جریان اصلی ســـبب ایجاد افت می‌شود.

نتایج شبیه‌سازی عددی جریان در کمپرسور

در جدول ۲ ضرایب بی‌بعد محاسبه شده برای هر طبقه کمپرسور، مانند ضریب عکس‌العمل، ضریب جریان و ضریب بارگذاری جریان نشان داده شده است. ضریب جریان نسبت سرعت نصف‌النهاری به سرعت پره است. در طبقات ابتدایی که میزان ضریب جریان بالاست نشانگر مقدار زیاد جریان نسبت به سرعت پره است. همچنین در طبقاتی که ضریب جریان بالاتری دارند، تغییر ســـرعت چرخشی کمتر است. ضریب عکس‌العمل طبقه پارامتر طراحی است که نقش مهمی در بازده طبقه دارد. طبقاتی که ضریب عکس العمل ۵۰ درصد دارند، افزایش آنتالپی در روتور و استاتور آن طبقه به صورت مساوی انجام می‌گیرد. در اکثر طبقات این مقدار تقریبا برابر ۰/۵ اســـت که نشان‌دهنده توزیع مســـاوی میزان افزایش آنتالپی در روتور و استاتور است. همچنین می‌توان گفت این پارامتر برای ۳ طبقه ابتدایی که مقداری بیشـــتر از ۰/۵ دارد، افزایش آنتالپی آن‌ها بیشـــتر توسط روتور انجام می‌گیرد. همچنین در طبقه آخر عکس این اتفاق رخ می‌دهد. شـــکل ۱۱ نشان‌دهنده توزیع فشار در امتداد محور کمپرسور است. همانطور که انتظار می‌رود با حرکت به سمت انتهای کمپرسور فشـــار افزایش پیدا می‌کند. و همچنین مشاهده می‌شود طبقات ابتدایی کمپرسور سهم بیشتری در افزایش فشـــار کلی دارند. شـــکل ۱۲ پروفیل ســـرعت محوری در خروجی طبقات کمپرسور را نشـــان می‌دهد. این پروفیل سرعت در طبقات ۱ تا ۵ تقریبا مشـــابه بوده و از طبقه ۶ شـــروع به افزایش می‌کند. شـــدت این تغییرات و افزایش ضخامت لایه مرزی از طبقـــه ۷ افزایش می‌یابد. همانطور که مشاهده می‌شود در مرکز پره سرعت بیشتر از میانگین سرعت است و در مقطع میانی پره کار کمتری انجام می‌گیـــرد. از لحاظ تئوری انتظار می‌رود که ریشه و نوک پره، به دلیل داشتن

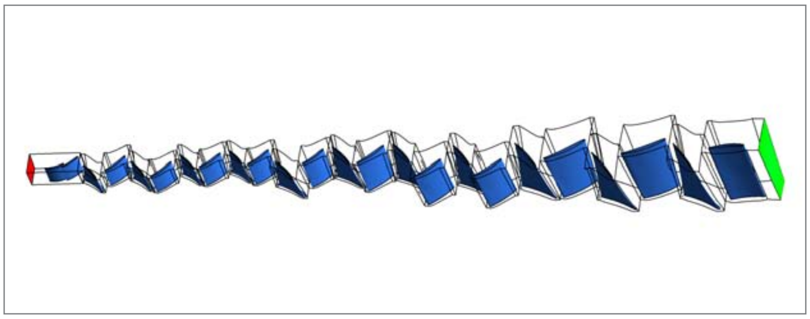


شکل ۳: نمایی از پره‌ها در مرحله تولید دامنه حل در محیط Design Modeler

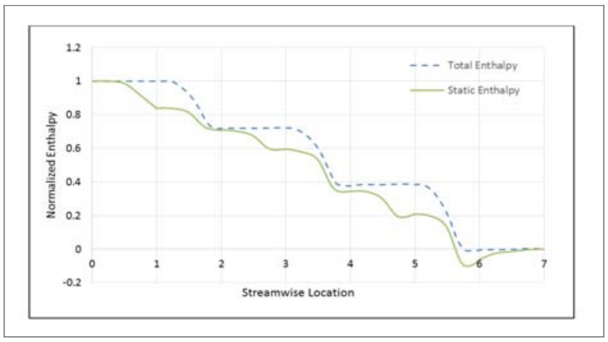


شکل ۴: نمایی از شرایط مرزی در توربین محوری توربین گاز تیدا

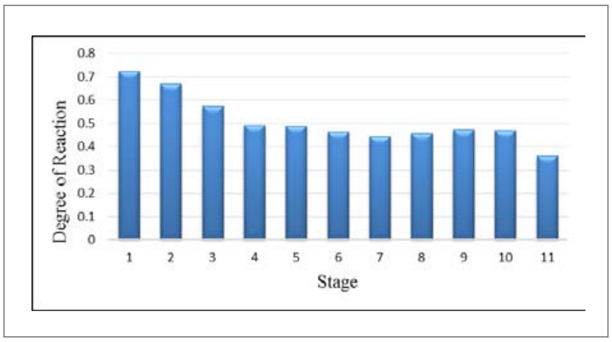
شکل ۵: دامنه حل در کمپرسور محوری توربین گاز تیدا



شکل ۷: تغییرات آنتالپی از ورود تا خروج



شکل ۶: ضریب عکس‌العمل طبقات در دور ۱۰۰ درصد



جدول یک: توان محاسبه شده در هر طبقه روتور

	روتور ۱	روتور ۲	روتور ۳
سرعت دورانی [rpm]	۱۵۰۰۰	۱۵۰۰۰	۱۵۵۰۰
گشتاور[N.m]	۲۵	۳۰	۲۹
تعداد پره	۶۱	۶۱	۶۹
توان تولیدی [kW]	۲۳۸۹	۲۸۸۸	۳۲۹۱
توان تولیدی [hp]	۳۲۰۴	۳۸۷۳	۴۴۱۴

جدول ۲: ضرایب بی‌بعد در دور ۱۰۰ درصد

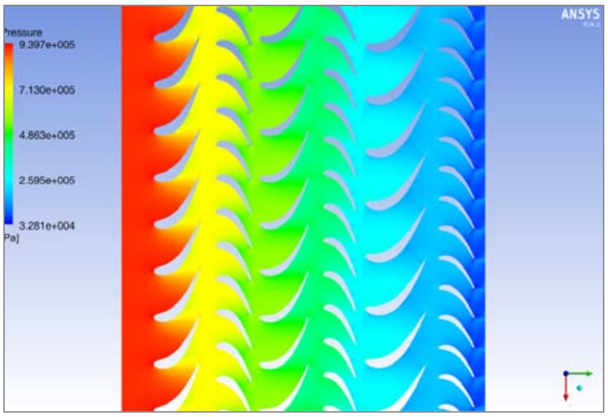
طبقه	Ψ	φ	R
۱	۰/۲۷	۰/۷۱	۰/۷۳
۲	۰/۳۴	۰/۶۵	۰/۶۷
۳	۰/۳۲	۰/۵۸	۰/۵۸
۴	۰/۲۷	۰/۵۲	۰/۴۹
۵	۰/۳۳	۰/۴۹	۰/۴۹
۶	۰/۳۴	۰/۴۶	۰/۴۶
۷	۰/۳۶	۰/۴۳	۰/۴۴
۸	۰/۳۴	۰/۴۳	۰/۴۶
۹	۰/۳۷	۰/۴۱	۰/۴۷
۱۰	۰/۳۳	۰/۴۱	۰/۴۷
۱۱	۰/۳۳	۰/۴	۰/۳۶

سرعت پایین‌تر اثر جبرانی داشته باشند. اما به علت واماندگی این مقاطع (و اثر لقی نوک پره) آنچنان افزایش کاری اتفاق نخواهد افتاد و در نتیجه کار نهایی انجام شده توسط پره کمتر از مقدار طراحی است. رفتار آیرودینامیکی یک توربوماشین به‌شدت تحت تاثیر عدد ماخ جریان عبوری از آن است. عدد ماخ با افزایش سرعت جریان، و کاهش دما افزایش می‌یابد. در کمپرسورهای پیشرفته، طبقات ابتدایی کمپرسور ترنسونیک هستند، به این معنی که سرعت نسبی ورودی به روتور بیشتر از سرعت صوت است، در حالی که در خروج از روتور کمتر از سرعت صوت است. شکل ۱۳ میانگین عدد ماخ را در عبور از کمپرسور نشان می‌دهد. در شکل ۱۴ و شکل ۱۵ عدد ماخ حول پره راهنمای ورودی و روتور اول نشان داده شده است. با توجه به توضیحات ارائه شده و شکل‌های زیر، چگونگی تغییرات عدد ماخ در مقاطع مختلف قابل مشاهده است.

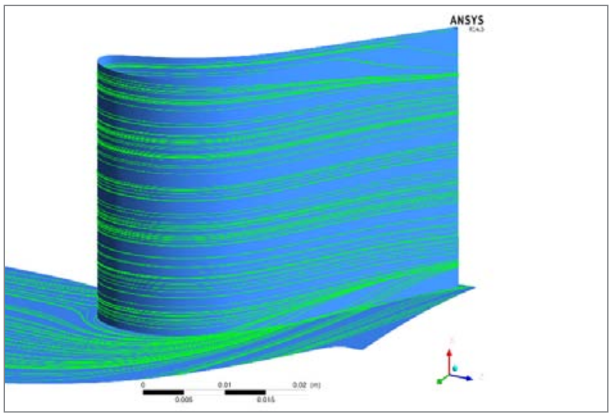
جمع‌بندی

در این مقاله روشی برای بررسی آیرودینامیکی و ترمودینامیکی جریان ارائه شد. با استفاده از این روش که با کمک نرم‌افزار تجاری CFX انجام شده، کمپرسور و توربین محوری توربین گاز تیدا به صورت سه‌بعدی مدل شده و با حل جریان در میدان در نظر گرفته شده، مشخصات جریان عبوری در شرایط کارکرد متفاوت به‌دست آمده است. که با استفاده از این داده‌ها می‌توان به بهبود هندسه توربین پرداخت. نتایج این شبیه‌سازی مانند ضرایب بی‌بعد طراحی و مثلث سرعت در طبقات مختلف دید مناسبی پیرامون پارامترهای مهم در نظر گرفته شده در طراحی این کمپرسور ارائه می‌دهد. نتایج حل عددی در توربین الگوی تغییرات فشار، دما، سرعت و دیگر مشخصات ترمودینامیکی جریان را در مقاطع طولی و همچنین از ریشه تا نوک پره‌ها ارائه می‌دهد. با

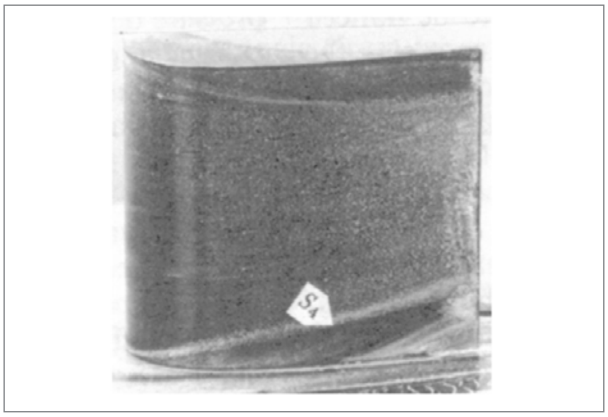
شکل ۸: کانتور فشار استاتیک در طبقات توربین در مقطع ۵۰ درصد از ارتفاع پره‌ها



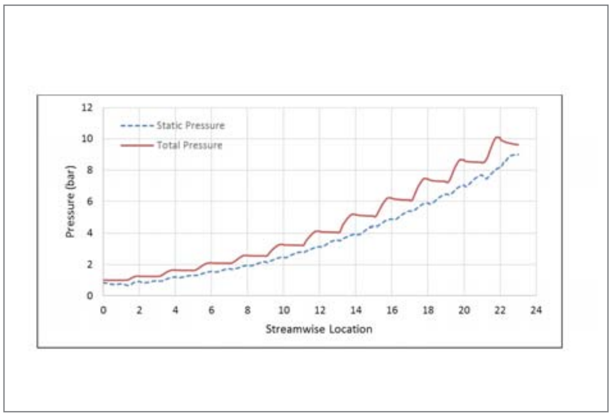
شکل ۹: خطوط جریان بر روی سطح مکشی استاتور اول



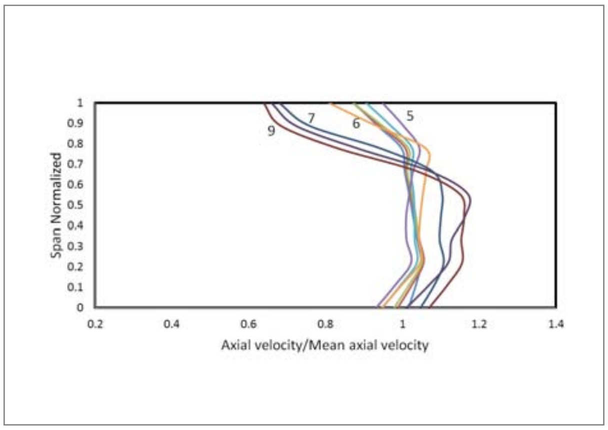
شکل ۱۰: جریان نعل اسبی بر روی سطح مکشی پره



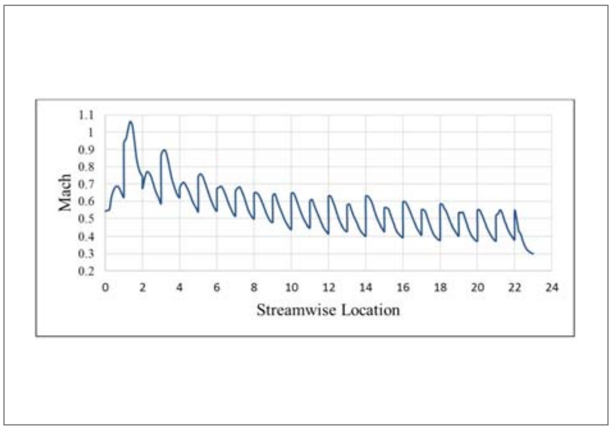
شکل ۱۱: توزیع فشار از ورود تا خروج کمپرسور



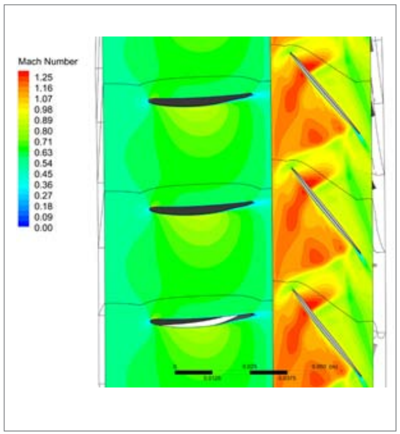
شکل ۱۲: پروفیل سرعت محوری در خروجی طبقات کمپرسور



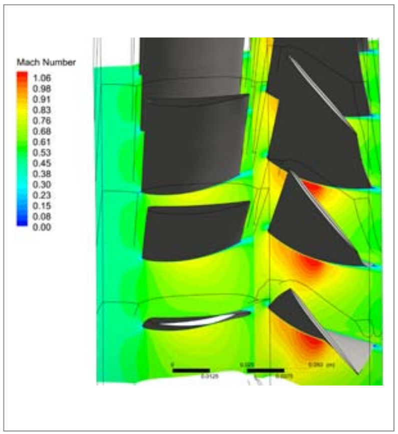
شکل ۱۳: توزیع عدد ماخ از ورود تا خروجی کمپرسور



مقایسه روند تغییرات این پارامترها با نمونه‌های دیگر مشاهده می‌شود که تطابق خوبی با هم دارند. بازده کلی محاسبه شده توربین از این روش ۹۰ درصد است که با مقایسه با دوره تکنولوژی که توربین در آن طراحی شده است، مقدار قابل قبولی را نشان می‌دهد. همچنین با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده از این حل عددی می‌توان توان مصرفی کمپرسور و توان تولیدی توربین قدرت را محاسبه کرد. همچنین توزیع فشار و دمای به‌دست آمده مطابق با اطلاعات موجود از توربین است.



شکل ۱۴: توزیع عدد ماخ در مقطع میانی



شکل ۱۵: توزیع عدد ماخ در ریشه

پی نوشت:

1-Mesh
2-Steady Simulation
3-Tip Clearance

پیش‌بینی بازار آینده توربین‌های گاز و بخار

توحید شاهپوری*

مقدمه

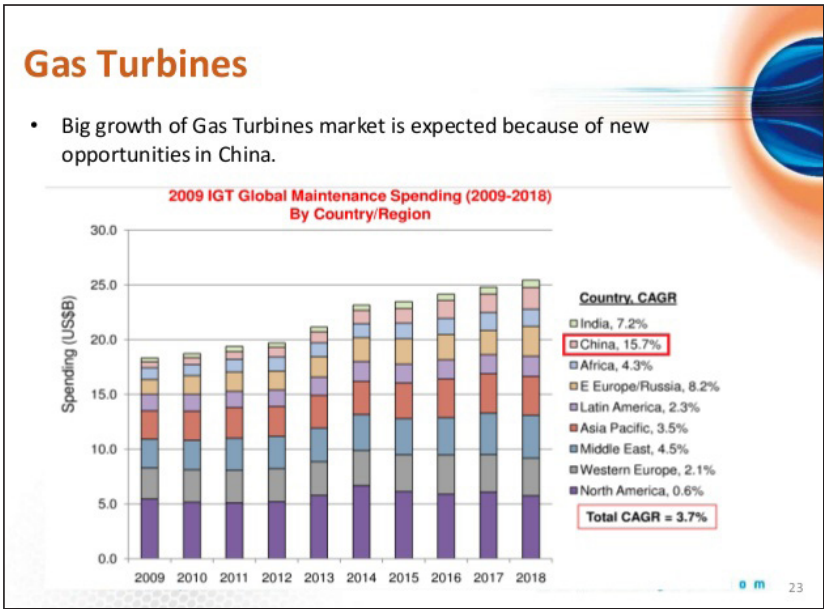
پیش‌بینی تحلیل گران بازار توربین در آمریکا نشان از رشد ۰/۹ درصدی توربین‌های گاز در سال‌های بین ۲۰۱۹-۲۰۱۴ است. بازار توربین در آمریکا را می‌توان به سه بخش تقسیم کرد: توربین‌های گاز، توربین‌های بخار، سیکل ترکیبی. این گزارش بر مبنای تجزیه و تحلیل عمق بازار از طریق اطلاعات کارشناسان صنعت گردآوری شده که چشم‌انداز و رشد بازار توربین‌های گاز را در سال‌های آتی نشان می‌دهد. بنابراین گزارش شامل تحلیل عملکرد فروشندگان کلیدی بازار است. پیش‌بینی می‌شود شرکت‌های پیشرو در این عرصه به‌عنوان بازیگران کلیدی در بازار توربین نقش ایفا کنند. در اظهار نظری از یک تحلیل گر آمده است: «بیشتر سازندگان برتر توربین، در بالابردن بهره‌وری استفاده از گاز، با بسط و گسترش ظرفیت‌های توربین‌های گاز تولیدی خود بسیار نفوذی و کلیدی عمل کرده‌اند. سابقه شرکت‌های کوچک به شرکت‌های پیشرو و برتر کمک می‌کند تا آن‌ها ظرفیت تولیدشان را در سبد محصولاتشان به خوبی افزایش دهند». طبق این گزارش، گاز شیل (shale) نقش کلیدی را در ایجاد انرژی الکتریکی در آمریکا بازی می‌کند. این شیل بیشتر از منابع گازهای طبیعی است و نقش مهمی را در فراهم کردن تقاضای انرژی در یک کشور دارد. سهم بزرگی از انرژی آمریکا احتیاج دارد که از گاز شـیل تامین شود. آنچه مشخص است این است که آمریکا یکی از بزرگ‌ترین صادرات گاز شیل است که از بازار توربین‌های گاز فایده خواهد برد. تنوع در کیفیت سوخت نیز یکی از نگرانی‌های بزرگ در عملکرد توربین‌های گاز است که می‌تواند دلیل ناکارآمدی شرکت‌ها قلمداد شود. این مطالعه تحلیل عمیقی از بازار جهانی توربین‌های گاز و بخار را ارائه می‌دهد.

پیش‌بینی می‌شود، بازار تقاضای توربین‌های گاز در جهان افزایش یابد (مطابق نرخ رشد سالانه مرکب-CAGR-در این بازه زمانی). بازار با جایگزینی کارخانه فرسوده زغال سنگ با نیروگاه‌های گاز مدرن، افزایش دسترسـی و کاربرد گاز طبیعی در تولید توان، گسـترش قوی صنایع نفت و گاز جهانی و نیاز روزافزون به تجهیزات تولید توان انعطاف‌پذیر که به رشـد متناوب تولید توان براسـاس منابع انرژی احیاپذیر مرتبط شده است، رشد قوی برای سال‌های بعد از ۲۰۱۶ پیش بینی می‌شود. مطابق این دورنما نیروگاه‌های جدید گاز شرایط نواحی ضعیف اروپا را بهبود داده و در چین و هند نیز این رشد شتاب می‌گیرد.

پیش‌بینی می‌شود تقاضای جهانی توربین‌های گاز بین فواصل ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۰ افزایش یابد. بازار این صنعت بطور قابل توجهی در سال ۲۰۱۵ به بعد با یک افزایش سطح تقاضا روبه‌رو خواهد بود. در اواخر دوره پیش‌بینی‌شده بازارهای جدید بالغ‌تر شده و انرژی‌های تجدیدپذیر موضوع جذاب‌تری برای تولیدات توان در مقیاس بزرگ خواهند بود.

گسـتره خروجی توربین‌های کوچک و متوسط رشد سـریع‌تری خواهند داشت. این امر، با توجه

*توحید شاهپوری: واحد تحلیل بازار شرکت توربین ماشین خاورمیانه



به روند نامعلوم بازار در بخش تسهیلات زندگی (مانند تامین برق و ....) بخصوص در بازارهای توسعه‌یافته و همچنین با توجه به آینده بازارهای زغال سنگ و توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر که بر تولیدات مرسوم توان تاثیر گذاشته است، به وجود خواهد آمد. توربین‌های گاز کوچک‌تر به جهت انعطاف‌پذیری در واحدهای تولید و گسترش صنایع نفت و گاز برای تامین افزایش تقاضا، منفعت بیشتری خواهند داشت.

فراهم‌آورندگان برق خانگی و نیروگاه‌های مستقل بخش عمده‌ای از متقاضیان بازار خواهند بود (تقریبا دوسوم سفارشات). به مرور زمان، هر دو بخش موتوری و صنعتی بطور سریعتری نسبت به فراهم‌آورندگان برق خانگی وارد این صنعت می‌شوند. قیمت توربین‌های گاز به دلیل کاهش تقاضا در تولید توان (به دلیل بحران اقتصادی) نسبت به زمان اوج خود افت کرده است، اما از سال ۲۰۱۲ بطور نسبی ثابت مانده است. انتظار می‌رود قیمت جهانی گاز از سال ۲۰۱۴ به دلیل افزایش تقاضای توربین‌های گاز و کاهش ظرفیت تولیداضافی توسط سازندگان (که به‌دلیل تغییرات منطقه‌ای مهم است)، افزایش یابد.

در ابتدا در آخرین نسل توربین‌های گاز راندمان کاری بیشتر به‌عنوان هدف کلیدی مورد توجه بود ولی اکنون انعطاف‌پذیری بیشتر در هنگام بکارگیری به میدان جنگ سازندگان اصلی تبدیل شده است. انتظار می‌رود چین رهبری بازار توربین‌های گاز خاورمیانه را بدست بگیرد که تا اینجا بدون منازعه و به تدریج بدست آورده است. چین در مناقصات با کاهش وابستگی به کارخانجات زغال سنگ و تنوع‌بخشی به سوخت، به‌شدت در حال ارتقای نیروگاه‌های توربین گاز است.(CAGR–پیش بینی می‌شود ، بازار تقاضای توربین‌های بخار در جهان افزایش یابد (مطابق نرخ رشد سالانه محرک این امر در بازار افزایش ظرفیت تولید زغال سنگ در بازارهای نوظهور چین و هند، رشد استفاده از استفاده از توربین‌های گاز سیکل ترکیبی که توربین بخار نیاز دارند، گسترش نیروگاه‌های هسته‌ای و روند رو به جلوی بهینه‌سازی کارخانجات زغال سنگ با تکنولوژی است. تقاضای توربین‌های بخار بطور وسیعی در بازه زمانی پیش‌بینی‌شده ثابت مانده و بطور ملایم از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۰ افزایش می‌یابد. سرعت رشد استفاده از توربین‌های بخار متوسط و کوچک در مقایسه با توربین‌های بخار بزرگ به دلیل دورنمای مالی بهتر در نیروگاه‌های کوچک و کاربردهای صنعتی بخصوص در صنعت نفت و گاز بیشتر خواهد بود. برخلاف توربین‌های گاز توربین‌های بخار بسیار متنوع و سفارشی هستند بنابراین قیمت آن‌ها نیز بسته به موقعیت، کاربرد، تکنولوژی (sub-critical versus supercritical or ultra-supercritical) و توان خرید مشتری متنوع است. Frost & Sullivan پیش‌بینی می‌کنند قیمت توربین‌های بخار در چند سال آینده بطور منصفانه‌ای ثابت و رقابتی مانده و چین بطور فزاینده‌ای در بازارهای دیگر تاخت و تاز کند. توربین‌های بخار اولتراسوپرسونیک می‌توانند بازدهی را برای انواع زیر بحرانی آن بالا ببرد. این توربین‌ها به‌تدریج در حال جایگزینی با مدل‌های قدیمی هستند. بطور مثال این توربین‌ها در چین بطور فزاینده‌ای در حال نصب هستند. صنایع و موسسات مطرح در این زمینه در اروپا، آمریکا، چین، ژاپن و هند با تمرکز بر بالا بردن دما و فشار توربین در شرایط کاری در حال کار بر روی این توربین‌ها برای افزایش راندمان هستند. ضمن اینکه سهم چین در بازار توربین بخار به مرور زمان کاهش می‌یابد و با حل شدن مشکل کمبود زغال سنگ افزایش می‌یابد. سهم جنوب شرق آسیا به‌شدت با جایگزینی زغال سنگ به جای گاز جهت کاهش وابستگی به گاز افزایش می‌یابد.

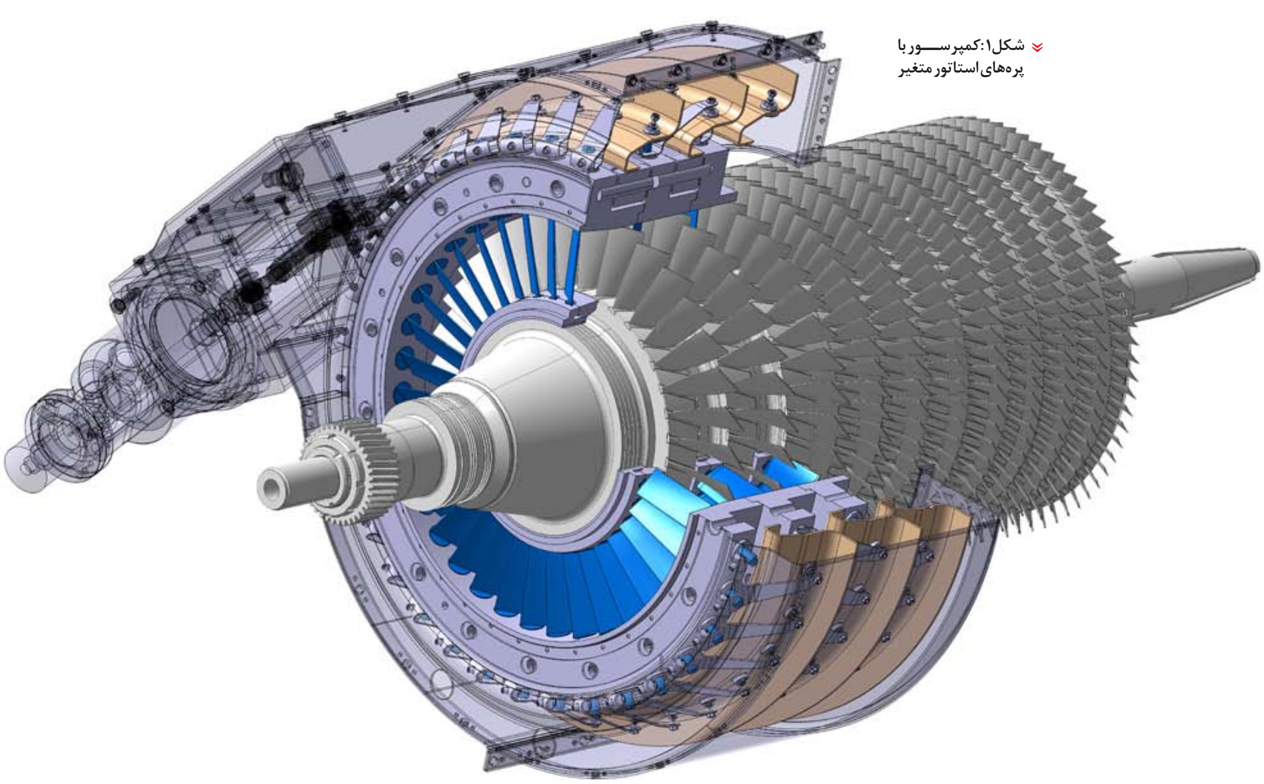
سهم توربین‌های گاز در سال پیش‌رو ۵/۵ درصد رشد خواهد داشت. بین سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ بازار سالانه ۴/۸ درصد رشد داشته است. سهم توربین‌های گاز زیر 5000 KW از این بازار ۲۳/۸ درصد و سهم نوع بالای 5000 KW نیز ۴/۲ درصد بوده است.

چین، آلمان، انگلیس، آمریکا بزرگ‌ترین بازار توربین‌های گاز را خواهند داشت، ضمن اینکه قوی‌ترین رشد سالانه در یونان (۳۹ درصد)، اسلواکی (۲۵/۴ درصد)، لیتوانی (۲۴/۷ درصد)، فنلاند (۲۱/۷ درصد) و گرجستان (۱۷/۸ درصد) رخ خواهد داد.

بازار توربین رشد ثابتی را در سال‌های پیش‌رو دارد و بازارهای نوظهور مانند آمریکای جنوبی و مرکزی، آسیای پاسیفیک سهم قابل توجهی در بازار خواهند داشت. در آسیای پاسیفیک هند و چین پیشرو خواهند بود. افزایش ترافیک حمل و نقل هوایی یکی از عامل‌های تعیین کننده در افزایش بکارگیری موتورهای هواپیماست و این درحالی است که افزایش تغییرات تکنولوژیکی در موتورهای هواپیما می‌تواند چالشی برای بکارگیری توربین‌های گاز هواپیما باشد.

نیاز به توربین با افزایش تقاضا برای انرژی‌های تجدیدپذیر احیا شده است. جایگزینی نیروگاه‌های قدیمی بر پایه زغال سنگ و گاز با نوع متکی بر انرژی احیاپذیر خود باعث رشد بازار توربین گاز شده است. همچنین استفاده از توربین گاز در بازار اروپا نیز با رشد قابل توجهی روبه‌رو خواهد بود. سیاست‌های حمایتی دولت در قبال انرژی‌های نو در این امر تاثیرگذار بوده است. در چین نیز به سبب سیاست‌های حمایتی دولت افزایش تقاضا خواهد بود. بعضی سیاست‌های دولت چین از قبیل تامین برق مناطق روستایی و کاهش مصرف زغال سنگ باعث رشد در بازار توربین خواهند داد.

بازار توربین براساس کاربر نهایی، ظرفیت تولید قدرت و منطقه کاربری تقسیم بندی می‌شود. انواع توربین‌ها شامل توربین‌های گاز هیدرولیک، آبی، بخار و بادی هستند. توربین‌های بادی نیز به دو نوع محور افقی و محور عمودی تقسیم می‌شوند. از جهت کاربر نیز به انواع خانگی، صنعتی و تجاری تقسیم می‌شوند. از نظر تولید قدرت نوع هیدرولیک به سه نوع زیر 1000 KW بین 1000 KW تا 10000KW و بیش از 10000KW تقسیم می‌شوند در حالی که توربین‌های بخار به دو نوع کمتر 40MW و بیش از 40MW تقسیم می‌شوند



شکل ۱: کمپرسور با پره‌های استاتور متغیر

بررسی اثر تغییر زاویه پره راهنمای ورودی و استاتورهای متغیر روی عملکرد کمپرسور توربین گاز تیدا با استفاده از روش CFD

قاسم مصیبی[۱]، احمد گلی[۲]، ارشیا تافته[۳]

تیدا توربین گاز ساخت داخل توسط شرکت توربین ماشین خاورمیانه

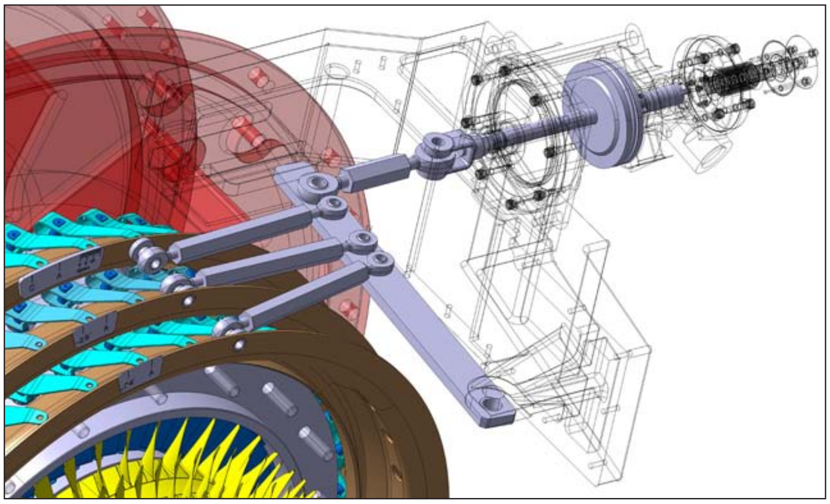
چکیده

در تحقیق حاضر با استفاده از ابزار CFD به بررسی تغییر هندسه کمپرسور پرداخته شده است. در واقع با تغییر هندسه، یک کمپرسور جدید حاصل خواهد شد که نقشه عملکردی متفاوتی خواهد داشت. هدف اصلی در اینجا بررسی تغییرات نقشه عملکرد کمپرسور در اثر تغییر زاویه پره‌های متغیر است. از سوی دیگر تغییر در عملکرد کمپرسور موجب تغییر در عملکرد توربین گاز و در نتیجه جابجایی پارامترهای عملکردی آن خواهد شد. در بخش‌های مختلف این گزارش ابتدا توضیحاتی پیرامون مکانیزم عملکرد پره‌های متغیر و نتایج مطالعات انجام شده در زمینه کمپرسورهای هندسه متغیر آمده و سپس فرایند شبیه‌سازی و نتایج بدست آمده از آن شرح داده شده است. نتایج نشان می‌دهد با تغییر زاویه پره‌های متغیر می‌توان پارامترهای عملکردی را در نقاط خارج از طراحی بهبود داد. به طور خاص در سرعت‌های کمتر از طراحی می‌توان با تغییر هندسه تا حد زیادی حاشیه پایداری و بازده کمپرسور را افزایش داد.

مقدمه

در میان اجزای مختلف، کمپرسور حساس‌ترین بخش یک توربین گاز است زیرا که هوای مورد نیاز برای محفظه احتراق و انبساط در توربین را فراهم می‌کند. توان تولیدی در توربین متناسب با مقدار شار جرمی فراهم شده توسط کمپرسور است. بهترین کارایی کمپرسور در حداکثر تراکم با حداقل افزایش دما بدست می‌آید. توربین‌های گاز طوری طراحی می‌شوند تا در نقطه طراحی با بهترین بازده کار کنند. اما شرایط متفاوتی پیش خواهد آمد که موتور مجبور است در نقاط دور از طراحی کار کند. یکی از راهکارهای مقابله با کارکرد ناپایدار کمپرسور در نقاط دور از طراحی، استفاده از هندسه متغیر است. عملکرد یک کمپرسور

۱: قاسم مصیبی: کارشناس واحد مهندسی شرکت مدیریت پروژه توربین ارکان ایرانیان
۲: احمد گلی: واحد مهندسی شرکت توربین ماشین خاورمیانه
۳: ارشیا تافته: واحد مهندسی شرکت مدیریت پروژه توربین ارکان ایرانیان



شکل ۲: مکانیزم تغییر زاویه پره های متغیر

در رژیم‌های مختلف و ویژگی‌های آن به وسیله منحنی‌های مشخصه کمپرسور که براساس نتایج تجربی آزمایش‌های کمپرسور رسم می‌شود تعیین می‌شود. پره‌های متغیر می‌تواند شامل چند ردیف باشد که با پره‌های راهنمای ورودی [1] آغاز شده و چند ردیف از استاتورهای متغیر [2] را شامل می‌شود. این پره‌ها می‌توانند به صورت مجزا و یا همه با یک مکانیزم کنترل شوند تا عملکرد بهتری را حاصل کنند. به طور کلی در کمپرسور استفاده از هندسه متغیر راهکاری جهت مقابله با تغییرات شرایط محیطی، کارکرد پایدار در دور موتورهای پایین، دوری از شرایط سرج و برآورده‌سازی الزامات توان در بارهای مختلف است. در شکل ۱ تصویری از یک کمپرسور با استاتورهای متغیر نشان داده شده است.

عملکرد پره‌های راهنمای ورودی و استاتورهای متغیر

در سرعت‌های پایین‌تر از سرعت طراحی چسبیدگی جریان به پره‌ها بسیار ضعیف است. همچنین با توجه به اینکه چگالی نسبت به شار جرمی در طبقات آخر تغییرات بیشتری خواهد داشت، به موجب آن طبقات آخر دچار خفگی و طبقات جلوتر دچار استال می‌شوند. یک راه درمان برای این شرایط نامطلوب، چینش جدید پره‌ها به منظور تغییر شار جرمی ورودی به کمپرسور است. برای دور شدن از شرایط کارکرد استال باید به نحوی یا خط کارکرد را از سرج دور کرد یا خط سرج را از شرایط کارکردی دور کرد. این کار می‌تواند تا حدودی با باز کردن دریچه زیرکش جریان یا بهبود شتاب تغییرات نرخ پاشش سوخت صورت پذیرد اما با توجه به اینکه مقدار توان مورد تقاضا ثابت است، راه حل بهتر تغییر خط سرج است. بنابراین حاشیه پایداری افزایش می‌یابد در حالیکه خط کارکردی تغییری پیدا نکرده است. بهترین راه برای کنترل این مسئله استفاده از پره‌های راهنمای متغیر برای کنترل مساحت ورودی و سرعت هواست. اثر استفاده از مکانیزم تغییر زاویه پره‌های راهنمای ورودی متغیر در شکل ۲ نشان داده شده است.

پره‌های راهنمای قابل تنظیم و استاتورهای متغیر راهی برای افزایش عملکرد بارهای جزئی خارج از طراحی و بهبود پایداری موتور هستند. در کمپرسورهایی با نسبت فشار بالا ممکن است چند ردیف از پره‌های استاتور متغیر در کنار IGV در ابتدا قرار گیرند. معمولا در کمپرسورهای با بیشتر از پنج طبقه بیش از یک ردیف متغیر نیاز است تا در سرعت‌های پایین‌تر از طراحی بتواند شرایط راضی‌کننده را برای دوری از سرج فراهم کند. برای کاهش پیچیدگی مکانیکی معمولا تنها استاتورها تغییر زاویه می‌دهند. معمولا تغییر در هندسه متغیر برای بازه بارگذاری ۵۰ تا ۸۰ درصد انجام می‌شود. در بازه‌های پایین‌تر معمولا از زیرکش کردن جریان در طبقات میانی کمپرسور استفاده می‌شود. در این حالت می‌توان موقعیت استاتورها (زاویه) را تغییر داد تا پره‌ها را با مسیر جریان هم‌جهت کرد.

مروری بر تحقیقات در این زمینه

در یک تحلیل عددی با شبیه‌سازی یک‌بعدی نشان می‌دهد بهبود بهتری با تغییر زاویه IGV در خط سرج ایجاد می‌شود. این تحقیق نشان می‌دهد تغییر زاویه تنظیم IGV در سرعت‌های پایین بسیار سودمند واقع می‌شود و در این حالت خط سرج به سمت بالا حرکت کرده و بنابراین ناحیه کارکرد که در فاصله سرج تا خفگی قرار دارد، افزایش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد در نقطه طراحی با تغییر زاویه IGV از مقدار عملکرد کمپرسور کاسته می‌شود. اما در دورهای کمتر از طراحی با بسته شدن زاویه IGV تا رسیدن به یک نقطه بهینه افزایش می‌یابد و پس از آن دوباره کاهش می‌یابد [۱]. در یک بررسی دیگر برای بهبود حاشیه سرج در عملکرد بارهای جزئی، از هندسه متغیر در یک کمپرسور چندمحوره پیشرفته استفاده شده است. آزمایش در سه حالت با حاشیه سرج ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد انجام شده است. برای هر حالت از تنظیم پره‌های متغیر، سرعت موتور کاهش یافته تا حاشیه پایداری ایجاد شود. در این نقطه، تنظیمات پره‌های متغیر تغییر کرده تا در جهت کاهش دبی جرمی بسته شود. نتایج نشان می‌دهد بدون توجه به تنظیمات حاشیه سرج، زمانیکه از پره‌های راهنمای متغیر در کمپرسور فشار پایین استفاده می‌شود، بازده سیکل در نقاط خارج از طراحی تغییر نمی‌کند. اما نتایج تغییر در بازده کمپرسور فشار بالا در سرعت‌های جزئی را نشان می‌دهد [۲].

معرفی کمپرسور توربین گاز تیدا

کمپرسور توربین گاز تیداشامل ۱۱ طبقه و به همراه یک ردیف پره راهنمای ورودی است. هوا از طریق یک مجرای ورودی به سمت پره‌های راهنما کشیده می‌شود. استاتورهای ردیف اول و دوم این کمپرسور به همراه پره‌های راهنمای ورودی توسط یک مکانیسم به حرکت درمی‌آیند و باعث تغییر هندسه کمپرسور می‌شوند. بررسی اثر این هندسه متغیر در عملکرد توربین گاز هدف اصلی این تحقیق است. پره‌های استاتور ردیف سوم تا یازدهم ثابت هستند. در شکل ۳ تصویر کمپرسور در صفحه نصف‌النهاری نمایش داده شده که در آن علاوه بر مسیر عبور جریان محل قرارگیری پره‌ها نسبت به یکدیگر نیز مشخص است. کمپرسور این توربین گاز در دور ۱۵۰۰۰ دور بر دقیقه کار می‌کند که مقدار ۱۷/۰۶ کیلوگرم بر ثانیه (۳۷/۶۳ پوند بر ثانیه) هوا را تا مقدار ۹/۶ برابر فشرده می‌کند. در این کمپرسور علاوه بر ردیف پره‌های راهنمای

> **کمپرسور توربین گاز تیداشامل ۱۱ طبقه و به همراه یک ردیف پره راهنمای ورودی است. هوا از طریق یک مجرای ورودی به سمت پره‌های راهنما کشیده می‌شود. استاتورهای ردیف اول و دوم این کمپرسور به همراه پره‌های راهنمای ورودی توسط یک مکانیسم به حرکت درمی‌آیند و باعث تغییر هندسه کمپرسور می‌شوند**

ورودی ردیـــف اول و دوم از پره‌هـــای اســـتاتور نیز متغیر هســـتند برای حرکـــت دادن پره‌ها از یک جک هیدرولیکی اســـتفاده شده است که با جابه‌جایی بازوهایی که بـــه انتهای پره‌ها متصل هستند، باعث چرخش و تغییر زاویه آن‌ها می‌شود. محور پره‌های قابل تنظیـــم از طریق بازوهایی به رینگ‌های متحرک روی پوسته خارجی متصل شده‌اند. با چرخش این رینگ بازوها جابه‌جا شده و پره‌ها حرکت خواهند کرد. با توجه به اینکه همه ردیف‌های پره‌های متغیر با یک مکانیسم به حرکت درمی‌آیند، بنابراین می‌توان مقـــدار تغییر زاویه مجموعه پره‌ها را بـــا تنها تغییر زاویه IGV معین کرد و به صورت رابطه‌ای با تغییر زاویه IGV بیان کرد. با مرجع قرار دادن مقدار زاویه پره‌ها در حالت بسته مقدار زاویه قرارگیری پره‌های استاتور اول و دوم نسبت به پره‌های راهنمای ورودی به صورت زیر تخمین زده شده است. در روابط بیان شده فوق مقادیر زوایا برحسب درجه هستند.

$$\alpha_{۲} = ۰/۷۳۵\,\alpha_{۱} + ۰/۹۸۵$$
$$\alpha_{۳} = ۰/۶۴۱\,\alpha_{۱} - ۳/۴۰۹ \qquad (۱)$$

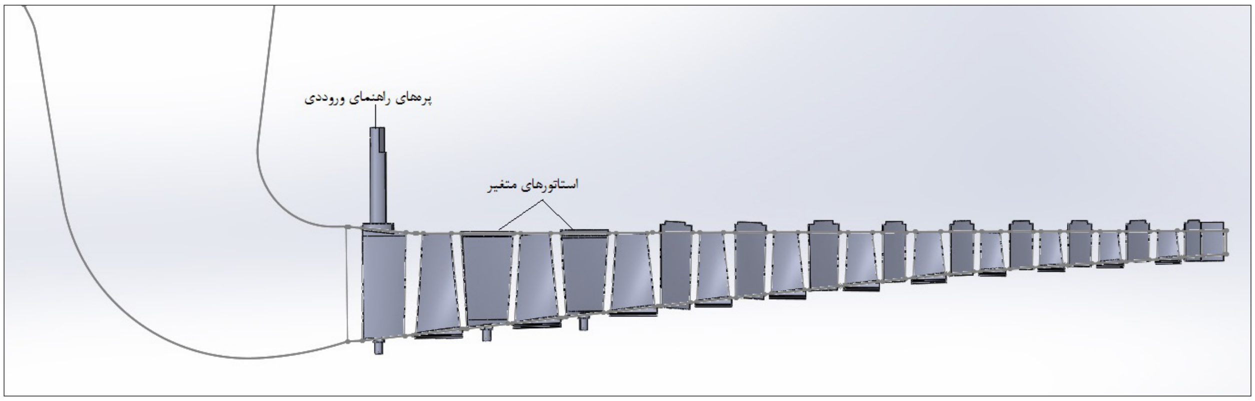
تعریف مسئله و مراحل تحلیل آن

در این بررسی هدف کنترل بهتر پره‌های راهنما به قصد حصول عملکرد بهتر در توربین گاز است. به طور کلی می‌توان گفـــت بازکردن زاویه IGV راهی برای کنترل سرعت محور، بازده کمپرسور، حاشیه پایداری و دمای خروجی از توربین است. معمولا از روش جایگذاری طبقات[۳] به عنوان یک ابزار تحقیقاتی برای تحلیل مسائل کمپرسور در نقاط خارج از طراحی استفاده می‌شود. این روش همچنین برای تعیین اثرات زیرکشی جریان در طبقات میانی یا اثرات هندسه متغیر، در عملکرد کمپرسور مورد اســـتفاده اســـت. از سوی دیگر دینامیک سیالات عددی[۴] در طول چند دهه اخیر توانسته به ابزاری مطمئن جهت تحلیل جریان‌های پیچیده تبدیل شود. در این تحقیق با استفاده از ابزار CFD به بررسی تغییر هندسه در کمپرسور می‌پردازیم. هدف اصلی در اینجا بررسی تغییرات نقشه عملکرد کمپرسور در اثر تغییر زاویه پره‌های متغیر است. در این بررسی ابتدا هندسه مورد نظر و ابعاد و اندازه‌های مورد نیاز دریافت و ســـپس با استفاده از نرم‌افزارهای CAD مراحل پاک‌سازی و ایجاد میدان حل روی آن انجام گرفته است. سپس شبکه محاســـباتی روی آن تولید و تحلیل مورد نظر انجام گرفته اســـت. با توجه به اینکه هندسه میدان تغییر می‌کند و اثر این تغییر هندسه مورد بررســـی خواهد بود، نیاز است تا هندسه و شبکه محاسباتی به صورت پارامتریک تولید شود. سپس تنظیمات حل انجام و تحلیل‌ها انجام شود. با توجه به اینکه هندسه کمپرســـور براساس تغییر زاویه IGV تغییر می‌کند، با در نظر گرفتن زوایای IGV مختلف هندسه‌های مختلف کمپرسور به صورت پارامتریک بدست آمده است.

بررسی استقلال نتایج از شبکه عددی

در اولین گام باید اســـتقلال نتایج بدست آمده از شبکه محاســـباتی را مورد بررسی قرار داد. بدین منظور باید شـــبکه محاســـباتی به اندازه‌ای ریز باشد تا تغییرات محسوسی در نتایج دیده نشود. عدم توجه به ایـــن موضوع می‌تواند موجب تولید نتایج غیرواقعی شود. بر این اساس از چهار شبکه محاسباتی درشـــت، متوســـط، ریز و خیلی‌ریز استفاده شده اســـت. در جدول ۱ جزئیات مربوط به المان‌های شبکه و کیفیت آن‌ها در حالت‌های مختلف آورده شـــده است. در شـــکل ۴ پروفیل عدد ماخ در دستگاه ساکن در طول جریان برای مش‌بندی‌های مختلف آورده شده است. در بیشتر نقاط اختلاف محسوسی بین نتایج مش‌بندی‌های مختلف دیده نمی‌شـــود. بیشـــترین اختلاف در نقاط با تغییرات شدید دیده می‌شود که به صورت بزرگ‌نمایی شـــده نیز در شکل آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در شبکه درشت نتایج به نســـبت اندکی اختلاف را نشان می‌دهد. اما در شبکه ریز و خیلی‌ریز نتایج به خوبی تطابق پیدا کرده‌اند. بنابراین شبکه ایجاد شده در حالت ریز دارای دقت مناسبی نسبت به شبکه خیلی‌ریز است و بنابراین برای ادامه کار انتخاب شده است. شبکه تولید شده در این حالت در شکل ۵ نشان داده است.

در اولین گام باید استقلال نتایج بدست آمده از شبکه محاسباتی را مورد بررسی قرار داد. بدین منظور باید شبکه محاسباتی به اندازه‌ای ریز باشد تا تغییرات محسوسی در نتایج دیده نشود



شکل ۳: مسیر عبور جریان و محل قرارگیری پره‌های کمپرسور

جدول ۱:جزئیات پارامترهای شبکه‌های مورد استفاده در بررسی استقلال از شبکه

Grid Properties	Coarse	Medium	Fine	Very Fine
Number of Elements	1067976	1782076	2679648	4044356
Number of Nodes	898627	1647608	2581267	3993692
Mean Skewness	0.264	0.229	0.197	0.147
Mean Orthogonal Quality	0.877	0.904	0.925	0.953
Maximum Edge Length Ratio	459.8	332.9	332.9	332.9
Mean Element Quality	0.434	0.427	0.436	0.455

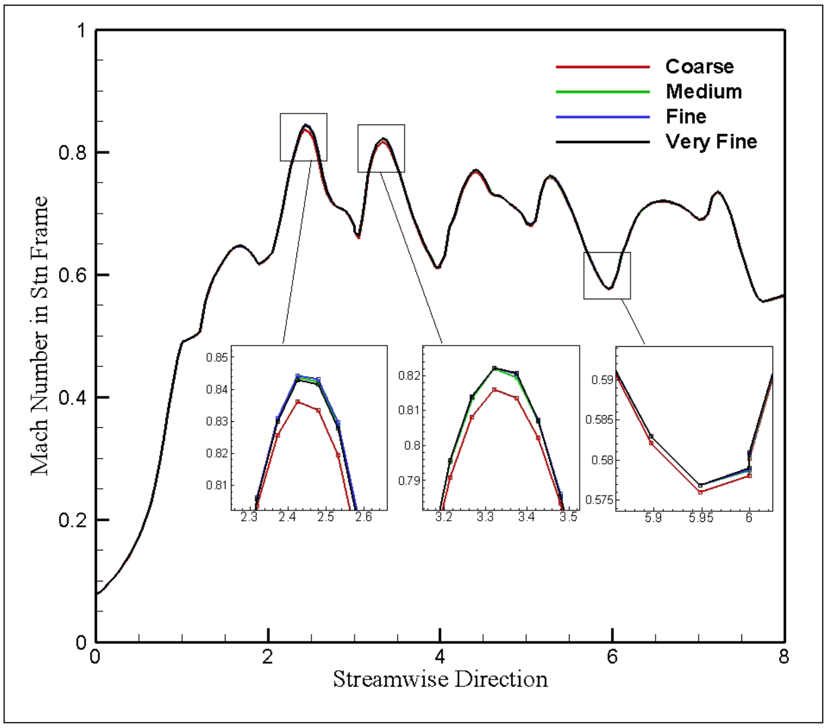
اثر مجرای ورودی در توزیع جریان

جریان در این کمپرسور از طریق یک مجرای همگرا به سمت ردیف پره‌ها کشیده می‌شود. این مجرای همگرا در شبیه‌سازی جریان اثری نخواهد داشت، اما به لحاظ کارکردی در مجموعه کمپرسور یک توربین گازی زمینی ضروری به نظر می‌رسد. در شکل ۶ تغییرات فشار استاتیک و در شکل ۷ تغییرات عدد ماخ در راستای جریان در مجرای ورودی آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در این مجرای همگرا عدد ماخ در ورودی به کمتر از ۰/۱ کاهش می‌یابد و فشار استاتیک در قسمت ورودی نزدیک اتمسفر خواهد بود. بنابراین این بخش ورودی بدون ایجاد اتلاف قابل ملاحظه سرعت را در بخش ورودی کاهش داده و فشار استاتیک را با محیط تنظیم می‌کند.

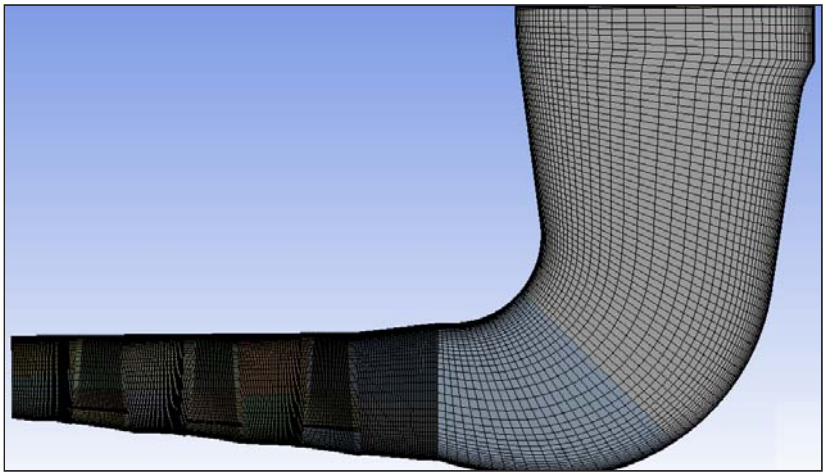
بررسی میزان تغییرات نقشه عملکردی کمپرسور

نقشه عملکردی سه طبقه اول کمپرسور در حالت باز بودن IGV و همچنین در حالتی که IGV به اندازه ۸ درجه بسته شده است در شکل ۸ رسم شده است. با بسته شدن IGV در دور ۱۰۰ درصد مقدار بازده کمپرسور کاهش می‌یابد اما در دورهای پایین‌تر به تدریج موجب افزایش بازده کمپرسور شده است. در هر صورت بسته‌تر شدن پره راهنمای ورودی موجب کاهش دبی جرمی ورودی خواهد شد. اما با کاهش دور موتور تنظیم زاویه ورودی جریان به روتور طبقه بعد دچار مشکل خواهد شد. برای تنظیم دوباره زاویه جریان با توجه به مثلث سرعت باید سرعت محوری جریان کاهش یابد. بدین ترتیب با کاهش دبی جرمی می‌توان سرعت را کاهش و زاویه آن را تنظیم کرد. از این‌رو در زمان کاهش دور موتور بستن زاویه پره راهنمای ورودی می‌تواند به تصحیح عملکرد کمپرسور و در نتیجه توربین گاز کمک کند. زمانی که مکانیسم پره‌های متغیر به کار گرفته می‌شود، برای ساده شدن کار،

شکل ۴: پروفیل عدد ماخ در طول جریان در دستگاه ساکن در شبکه‌های مختلف



شکل ۵: تصویر شبکه تولیدشده از نمای روبه‌رو



در این گزارش به طور کلی به بررسی تغییرات پارامترهای عملکردی کمپرسور در اثر تغییر هندسه در سرعت‌های چرخشی مختلف پرداخته شده است. استفاده از تغییر هندسه می‌تواند یک راهکار برای برگرداندن جریان در راستای پره‌ها و ارتقای کارکرد توربین گاز شود

همه آن‌ها با یک مکانیسم حرکت می‌کنند. در این حال، غالبا پره راهنمای ورودی با جریان هماهنگ می‌شود و بقیه ردیف‌ها با یک نسبت مشخص با آن حرکت خواهند کرد. حرکت پره‌های راهنمای ورودی نیز تابعی از سرعت گردش موتور خواهد بود که توسط نسبت فشار کمپرسور بدست می‌آید. در این حالت در هر سرعت گردش مشخص با تغییر زاویه یک نقشه عملکردی مجزا بدست خواهد آمد. یک راه‌کار جهت بیان این انتقال نقشه عملکرد استفاده از روابط نیمه تجربی است که در آن پارامترهای عملکردی را براساس روابط خطی یا سهموی، تابعی از میزان تغییرات زاویه پره متغیر بیان خواهند کرد. یک نمونه از روابط پیشنهاد شده برای این کار به صورت زیر خواهد بود.

که در این روابط α مقدار تغییر زاویه پره متغیر، π نسبت فشار، η بازده، $\dot{m}$ شار جرمی و ضرایب k_1، k_2 و k_3 ضرایب ثابتی هستند. بدین ترتیب می‌توان یک تبدیل برای نقشه عملکردی کمپرسور در اثر تغییر هندسه بدست آورد.

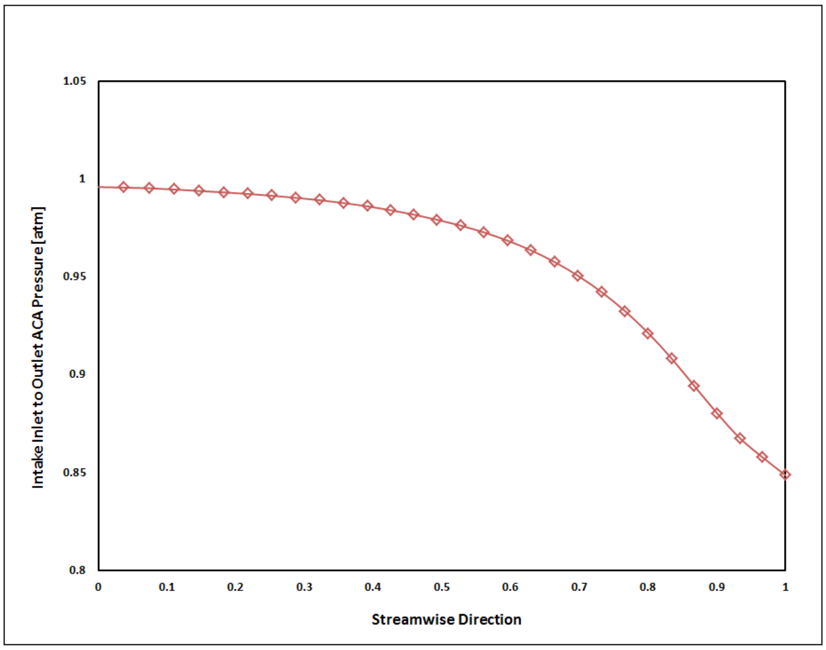
$$\Delta \dot{m} = k_1 \alpha$$

$$\Delta(\pi - 1) = k_2 \alpha$$

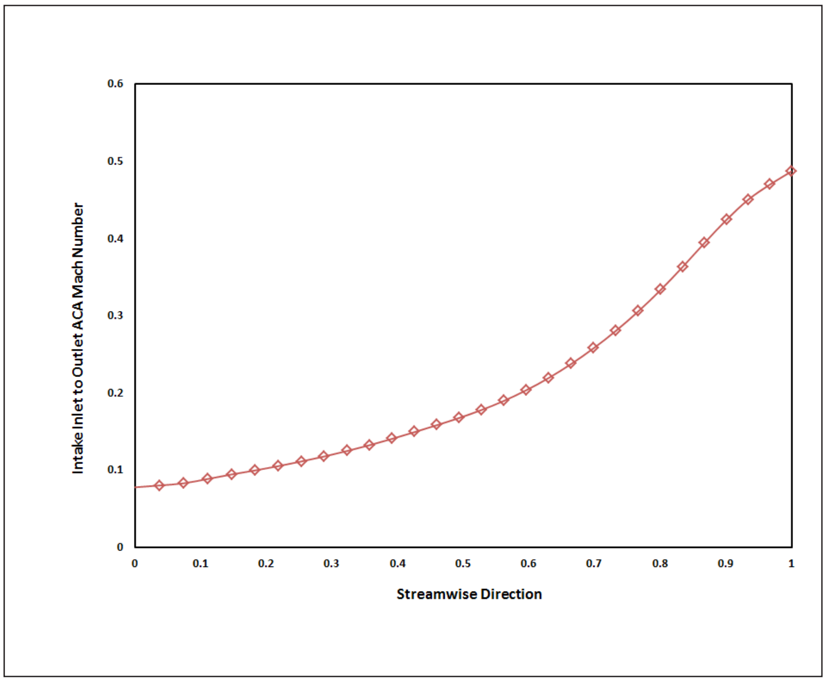
$$\eta = \eta_{map}\left(1 - k_3 \alpha^2\right)$$

۲

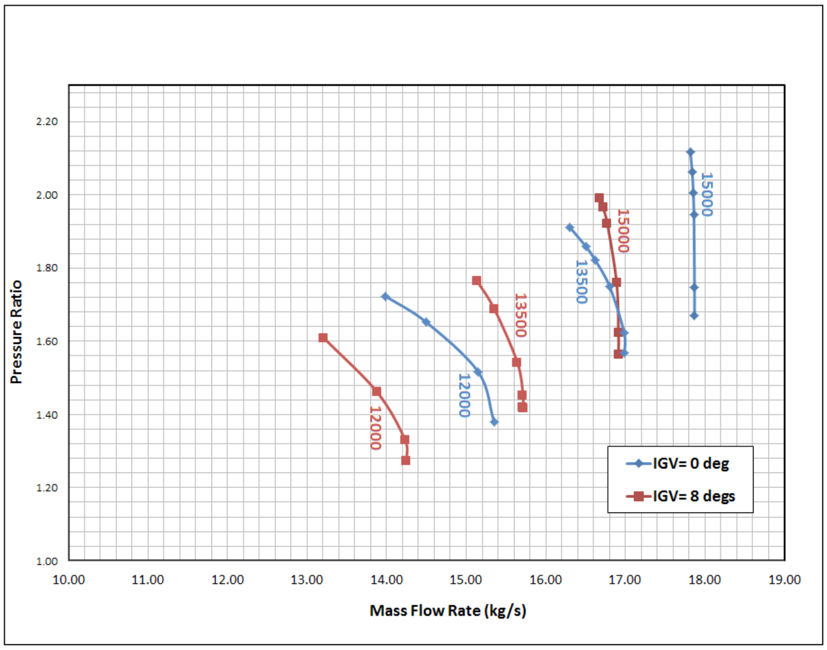
شکل۶: پروفیل تغییرات فشار استاتیک در راستای جریان در بخش ورودی

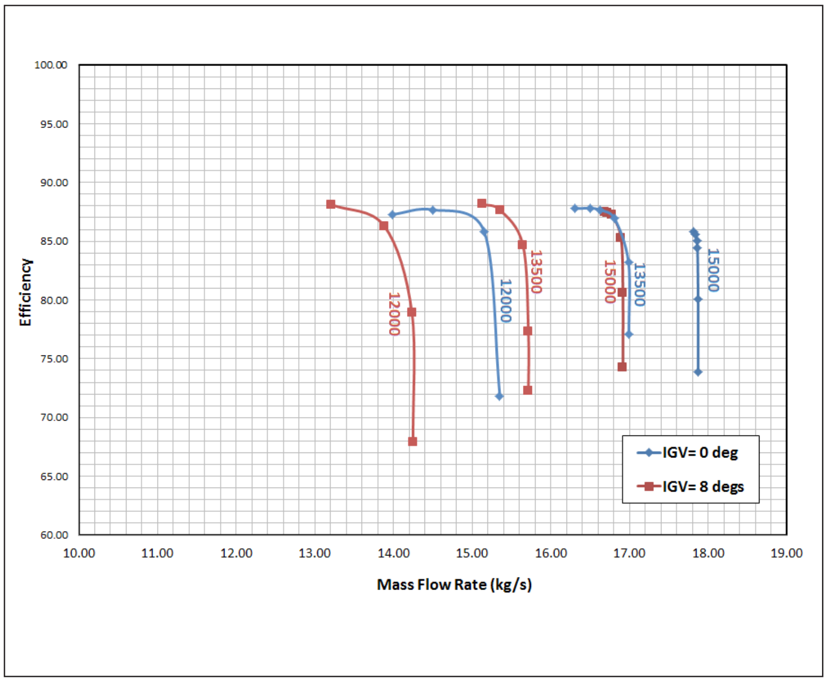


شکل۷: پروفیل تغییرات عدد ماخ در راستای جریان در بخش ورودی



شکل۸:نقشه عملکرد در حالت‌های IGV=0 deg و IGV=8 deg





جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این گزارش به طور کلی به بررسی تغییرات پارامترهای عملکردی کمپرسور در اثر تغییر هندسه در سرعت‌های چرخشی مختلف پرداخته شده است. استفاده از تغییر هندسه می‌تواند یک راهکار برای برگرداندن جریان در راستای پره‌ها و ارتقای کارکرد توربین گاز شود. در هر سرعت گردش مشخص موتور با تغییر زاویه پره‌های متغیر یک نقشه عملکردی مجزا بدست خواهد آمد. یک راهکار جهت بیان این انتقال نقشه عملکردی استفاده از روابط نیمه تجربی است که در آن پارامترهای عملکردی را براساس روابط خطی یا سهموی تابعی از میزان تغییرات زاویه پره متغیر بیان خواهد کرد. بدین ترتیب می‌توان از این تغییرات جهت استفاده در شبیه‌سازهای ترمودینامیکی و سیکل‌های توربین گاز جهت بدست آوردن اثر تغییر هندسه کمپرسور در عملکرد کلی توربین گاز استفاده کرد.

منابع:

[1].Tomita J. T., “Numerical Simulation of Axial Flow Compressors”, Master of Science Thesis, Sao Jose Dos Campos, Brazil, 2003
[2].Bringhenti C. and Barbosa J. R., “Analysis of Gas Turbine Off-Design safe Operation Using Variable Geometry Compressor”, ”, 17th International Congress of Mechanical Engineering, November 2003 ,14-10, Sao Paulo

پی نوشت:

1-Inlet Guide Vane (IGV)
2-Variable Stator Vane (VSV)
3-Stage Stacking
4-Computational Fluid Dynamics (CFD)

توسعه شبیه‌ساز عملکرد توربین تیدا

مینا وحیدی[۱]، نگار دائمی[۲]

تیدا توربین گاز ساخت داخل توسط شرکت توربین ماشین خاورمیانه

مقدمه

با پیشرفت کامپیوترها و تکنیک‌های محاسباتی، شبیه‌سازی در تعریف و اجرای پروژه‌ها جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده است. طراحی و ساخت توربین گازی نیز از این قاعده مستثنی نیست. از آن‌جا که هزینه تحقیق، توسعه و اعمال فناوری جدید در سیستم‌های توربین گاز بسیار زیاد است، رقابت جهانی در صنعت تجاری توربین گاز به دنبال کاهش هزینه و زمان توسعه، بهبود عملکرد، راندمان و قابلیت اطمینان موتور است. هزینه‌های طراحی و توسعه با به‌کارگیری شبیه‌سازهای محاسباتی به طرز قابل توجهی کاهش می‌یابد. یکی دیگر از کاربردهای گسترده استفاده از ابزار شبیه‌سازی، صرفه‌جویی در بخش بزرگی از هزینه‌های تست و ایجاد امکان مطالعه اثر تغییرات اجزا در فرایند طراحی است.

ابزارهای شبیه‌ساز توربین گاز را براساس عملکرد به گروه‌های مختلف می‌توان دسته‌بندی کرد. این شبیه‌سازها توانایی‌های متفاوتی از جمله شبیه‌سازی عملکرد موتور توربین گاز در نقطه طراحی، بررسی عملکرد خارج از طراحی و همچنین شبیه‌سازی در حالت پایا یا گذرا دارند. شبیه‌ساز در شرایط مختلف آب و هوایی، فلسفه‌های کنترلی متفاوت و ترکیبات متفاوت سوخت، میزان بازشدگی پره‌های راهنمای ورودی، میزان بارگذاری، سرعت شفت، مصرف سوخت و دما و فشار در مراحل مختلف را تخمین می‌زند.

روش‌های شبیه‌سازی عملکرد پایای موتور توربین گاز معمولا براساس تعداد ابعاد در نظر گرفته شده (صفربعدی تا سه‌بعدی) برای تحلیل جریان و یا براساس پیچیدگی جریان دسته‌بندی می‌شوند. در شبیه‌سازهای صفربعدی، توربین گاز به اجزای مختلف تقسیم شده و به هر یک به صورت یک جعبه سیاه نگاه می‌شود. در نتیجه تحلیل عملکرد توربین گاز با توجه به تحلیل عملکرد هر کدام از بخش‌ها و نوع رابطه آن‌ها با یکدیگر امکان‌پذیر می‌شود. نتیجه حاصل از این تحلیل در ابتدا دستیابی به اطلاعات ترمودینامیکی توربین گاز مثل دما و فشار سیال است.

سپس با توجه به این نتایج پارامترهای عملکردی توربین گاز مانند توان، بازده گرمایی و مصرف سوخت محاسبه می‌شود. در حال حاضر شبیه‌سازهای دوبعدی و سه‌بعدی روی تحقیق و توسعه اجزا تمرکز دارند، در حالی که مدل‌های صفربعدی معمولا کل موتور را شبیه‌سازی می‌کنند.

نرم‌افزارهای شبیه‌ساز عملکرد توربین گاز

طیف وسیعی از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز عملکرد توربین گاز با عملکرد صنعتی یا آموزشی موجود هستند. کاربرد این نرم‌افزارها به سه گروه طراحی، بسته شبیه‌سازی عملکرد و در مواردی هر دو تقسیم می‌شود. GasTurb ،GSP و GPAL سه نمونه موفق تجاری از این نوع شبیه‌سازها هستند. دو نوع رویه مدل‌سازی پیکره‌بندی موتور موجود است: در نوع اول کاربر ابزار تحلیل تک‌جزئی را در یک محیط شی‌گرا به چندجزئی توسعه می‌دهد (مانند نرم‌افزار GSP) و در نوع دوم از ابتدا برای مدل‌سازی کل موتور پیکره‌بندی‌های از پیش تعریف شده موجودند (مانند نرم‌افزار GasTurb). شبیه‌سازهای شی‌گرا کاربرد تحقیقاتی دارند و شبیه‌سازهای از پیش آماده بیشتر در صنعت استفاده می‌شوند.

ارزیابی محیط‌های توسعه شبیه‌ساز توربین گاز

در طراحی شبیه‌ساز از پلتفرم‌های متفاوتی همچون متلب، فرترن، جاوا، سی شارپ و ++C برای برنامه‌نویسی استفاده می‌شود. زبان برنامه‌نویسی مورد استفاده برای طراحی شبیه‌ساز باید دارای قابلیت تولید رابط گرافیکی کاربر، سرعت

۱: مینا وحیدی: کارشناس واحد مهندسی شرکت مدیریت پروژه های توربین ارکان ایرانیان

۲: نگار دائمی: کارشناس واحد مهندسی شرکت مدیریت پروژه های توربین ارکان ایرانیان

محاســـبات بالا و کتابخانه‌های مهندسی باشد.
به‌منظور توسعه هسته محاسباتی شبیه‌ساز توربین تیدا، از زبان برنامه‌نویســـی فرترن استفاده شد. از مزایای این زبان می‌توان به سرعت محاسبات بالا نسبت به دیگر محیط‌ها، کتابخانه‌های ریاضی غنی و پرکاربرد بودن در زمینه‌های علمی و مهندسی اشاره کرد. از سوی دیگر فرترن یک زبان محاسباتی قدیمی با توانایی‌های محـــدود به‌ویژه در زمینه ورودی/خروجـــی اســـت و دارای رابط گرافیکی کاربر ضعیفی است. با این وجود فرترن همچنان زبان برنامه‌نویسی اســـتاندارد برای شبیه‌سازی توربین گاز است. امروزه بسیاری از شبیه‌سازهای توربین گاز از یک رابط گرافیکی کاربر قوی استفاده می‌کنند. از مزایای یک رابط گرافیکی کاربر مناسب به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

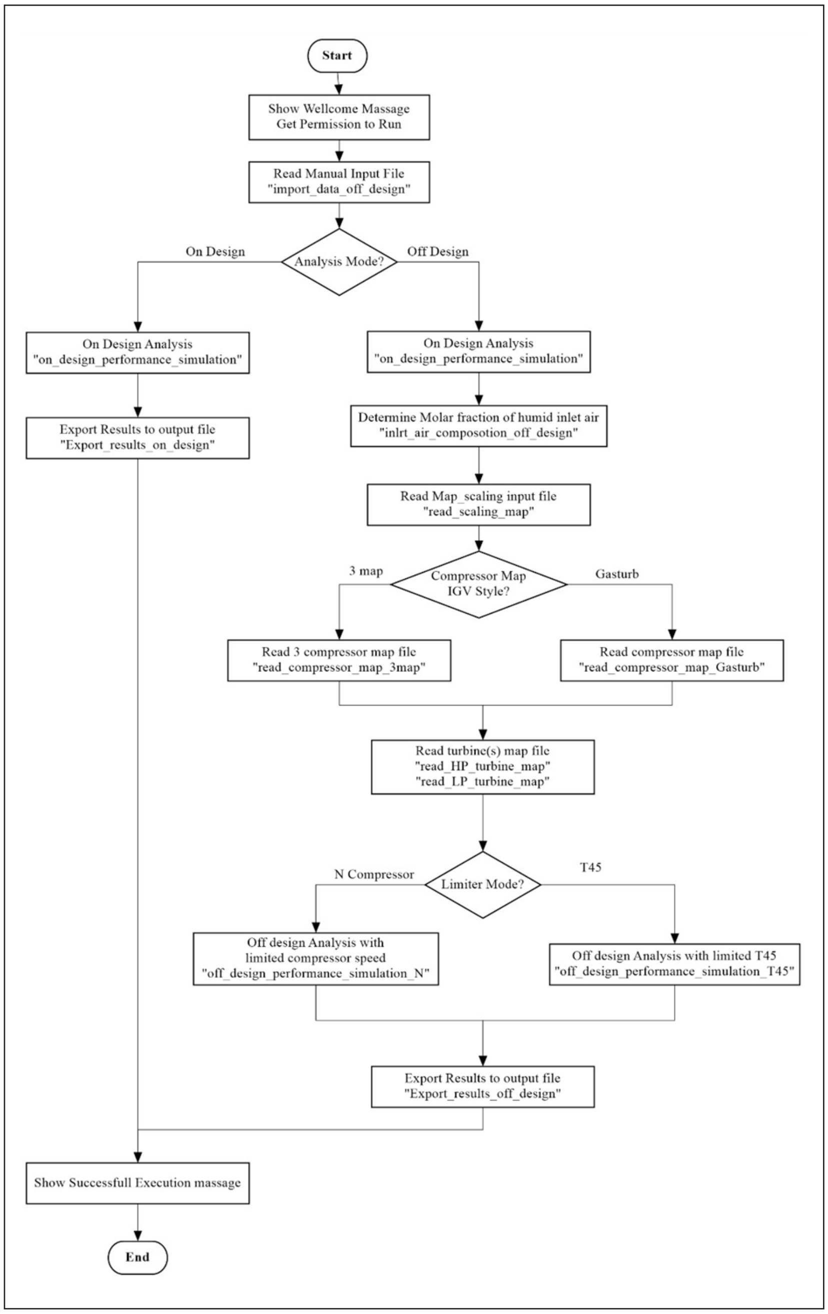
- کاربرپسند شدن نرم‌افزار.
- کاهش پیچیدگی کار با کد و متعاقبا کاهش زمان یادگیری کاربر.
- حذف نیـــاز به کاربر باتجربه و آشـــنا به محیط برنامه‌نویسی.
- با توجه به هشـــدارهای موجود، کاربر بازخورد فوری از عملکرد خود دریافت می‌کند.
- تشخیص و اصلاح سریع خطاهای کاربر.

شبیه‌ساز توربین گاز TEDA

این شبیه‌ســـاز بـــا هـــدف بومی‌ســـازی دانش شبیه‌سازی عملکرد توربین‌های گاز تک‌شفت و دوشفت تولید شده است. در این مسیر یک ابزار شبیه‌ســـاز برای توربین گاز تک‌شفت و دوشفت به صورت جداگانه توســـعه داده شده است. شیوه مدل‌سازی و ابزار شبیه‌ساز با توجه به نمونه تجاری خارجی در دســـترس پیاده شده است. دستیابی به یک نرم‌افزار شبیه‌ساز بومی که می‌توان کلیه ویژگی‌های آن را با توجه به نیاز مصرف‌کننده تغییر داد، به‌عنوان دستاورد این پروژه مطرح است. در این پروژه عملکرد توربین گاز در سطح صفربعدی مدل شده اســـت؛ به این معنی که توربین گاز به اجزای مختلف تقسیم شده و به هر کدام به صورت یک جعبه سیاه نگاه می‌شـــود. در نتیجه تحلیل عملکرد توربین گاز با توجـــه به تحلیل عملکرد هر کدام از بخش‌ها و نـــوع رابطه آن‌ها با یکدیگر امکان‌پذیر می‌شود. نتیجه حاصل از این تحلیل در ابتدا دستیابی به اطلاعات ترمودینامیکی توربین گاز مانند دما و فشـــار سیال است. سپس با توجه به این نتایج پارامترهـــای عملکردی مانند توان، بازده گرمایی و مصرف سوخت محاسبه می‌شوند. فلوچارت برنامه شبیه‌ساز TEDA در شکل یک نشان داده شده است.

تحلیل ســـیکل توربیـــن گاز به معنـــی تعیین خصوصیـــات ترمودینامیکـــی ســـیال کاری در ورودی و خروجی هر جزء از آن به منظور محاسبه پارامترهای عملکردی توربین گاز اســـت. در این

از آن‌جا که هزینه تحقیق، توسعه و اعمال فناوری جدید در سیستم‌های توربین گاز بسیار زیاد است، رقابت جهانی در صنعت تجاری توربین گاز به دنبال کاهش هزینه و زمان توسعه، بهبود عملکرد، راندمان و قابلیت اطمینان موتور است



« شکل ۱: فلوچارت برنامه شبیه‌ساز TEDA

شبیه‌سازی، سیال کاری هوای محیط است و پارامترهای عملکردی شامل توان تولیدی، میزان مصرف سوخت و بازده گرمایی هستند. یک توربین گاز از دیدگاه تحلیل سیکل به بخش سیستم ورودی، کمپرسور، محفظه احتراق، توربین و سیستم خروجی تقسیم می‌شود. در یک توربین گاز دو شفت سیستم توربین، خود به دو قسمت توربین پرفشار و توربین کم‌فشار تقسیم می‌شود. محاسبه خصوصیات ترمودینامیک هوا در توربین گاز به صورت ترتیبی صورت می گیرد؛ به این معنی که با معلوم بودن خصوصیات هوا در ورودی به اولین قسمت توربین گاز و تحلیل عملکرد آن بخش، خصوصیات ترمودینامیک هوا در خروجی آن قسمت محاسبه می‌شود. این فرایند ترتیبی تا خروجی توربین گاز ادامه یافته و خصوصیات ترمودینامیک هوا در ورودی و خروجی هر بخش از توربین گاز محاسبه می‌شود. در این پروژه، سیال کاری توربین گاز به صورت هوای مرطوب تک‌فازی مدل شده است. برای مدل‌سازی ترمودینامیکی هوا نیز از معادله حالت گاز کامل استفاده شده است. به طور خلاصه برای مدل‌سازی عملکرد توربین گاز ابتدا باید تقسیم‌بندی و تعیین ساختار قرارگیری آن‌ها صورت گیرد. سپس عملکرد اجزای آن به صورت ترتیبی انجام شود. مدل‌سازی هر بخش به معنی تعیین دبی جرمی هوای خروجی، ترکیب هوای خروجی، دمای سکون هوای خروجی و فشار سکون هوای خروجی از آن بخش است.

مدل‌سازی خصوصیات ترمودینامیکی هوا

منظور از مدل‌سازی خصوصیات ترمودینامیکی هوا، تعیین انتالپی، انتروپی، ظرفیت گرمایی ویژه، وزن مولکولی و نسبت ظرفیت گرمایی هوا با معلوم بودن دما، فشار و ترکیب گازهای تشکیل‌دهنده آن است. مدل‌سازی انتالپی و انتروپی و ظرفیت گرمایی ویژه براساس مدل ارائه شده توسط ون وایلن (Sonntag, 2003) انجام شده است. در این رویکرد ظرفیت گرمایی ویژه گاز در فشار ثابت تنها تابعی از دما در نظر گرفته می‌شود.

مدل‌سازی عملکرد سیستم ورودی

همانطور که اشاره شد، مدل‌سازی عملکرد هر زیرسیستم از توربین گاز به معنی تعیین دمای سکون، فشار سکون، دبی جرمی و ترکیب مولی گازهای تشکیل‌دهنده هوا در خروجی از آن بخش است. سیستم ورودی هوا بدون انتقال حرارت مدل‌سازی می‌شود. در نتیجه دمای سکون هوای خروجی با دمای سکون هوای ورودی برابر خواهد بود. همچنین ترکیب مولی گازهای تشکیل‌دهنده هوا نیز بدون تغییر می‌ماند. مقدار فشار سکون هوای خروجی با توجه به مقدار نسبت فشار سیستم ورودی و رابطه (۱) تعیین می‌شود.

برای مدل‌سازی عملکرد توربین گاز ابتدا باید تقسیم‌بندی و تعیین ساختار قرارگیری آن‌ها صورت گیرد. سپس عملکرد اجزای آن به صورت ترتیبی انجام شود

$$P_{intake,out}=P_{intake,in}*(\text{Intake Pressure Ratio}) \quad (۱)$$

مدل‌سازی عملکرد کمپرسور

جریان خروجی از دهانه ورودی، مستقیما وارد کمپرسور می‌شود. ترکیب گازهای هوا در عبور از کمپرسور بدون تغییر می‌ماند. فشار هوای خروجی از کمپرسور براساس فشار ورودی و نسبت فشار کمپرسور محاسبه می‌شود. دمای هوای خروجی از کمپرسور با توجه به میزان بازده آن تعیین می‌شود. نقشه عملکردی کمپرسور دربردارنده اطلاعات عملکردی آن است. نسبت فشار، بازده آیزنتراپیک و دبی جرمی اصلاح شده کمپرسور در این نقشه بر حسب دورهای کاری اصلاح شده مختلف و مقادیر مختلف از پارامتر β آورده می‌شود. در شرایط خارج از طراحی، عملکرد کمپرسور با توجه به دور کاری و مقدار β آن از روی نقشه عملکردی کمپرسور مشخص می‌شود. پس از مشخص شدن β، دور کاری و شرایط ترمودینامیکی ورودی به کمپرسور، اطلاعات نقشه عملکردی کمپرسور درون‌یابی شده و مقادیر نسبت فشار، دبی جرمی ورودی اصلاح‌شده و بازده آیزنتروپیک آن مشخص می‌شود. در صورت استفاده از پره هدایت ورودی (IGV) نیز اطلاعات خوانده‌شده از نقشه عملکردی کمپرسور اصلاح می‌شوند. این اصلاح به دو روش قابل اعمال است. در روش اول که توسط نرم‌افزار Gasturb مورد استفاده قرار گرفته است، اطلاعات نقشه عملکردی در یک ضریب تصحیح ضرب می‌شود. مقدار این ضرایب تصحیح با توجه به میزان تغییر زاویه IGV تعیین می‌شود. در روش دوم از سه نقشه عملکردی مرجع برای حالت‌های کاملا باز، نیمه‌باز و کاملا بسته استفاده شده و مقادیر پارامترهای آن‌ها با درون‌یابی اطلاعات حاصل می‌شود.

مدل‌سازی عملکرد محفظه احتراق

هوای خروجی از کمپرسور پس از کسر جریان‌های خنک‌کاری وارد محفظه احتراق می‌شود. سوخت استفاده شده در محفظه احتراق گاز طبیعی یا سوخت مایع دیزل است. گاز طبیعی شامل مقدار مشخصی از متان، اتان، پروپان و نیتروژن است. در شرایط نقطه طراحی، برای مدل‌سازی فرآیند احتراق فرض می‌شود که در محفظه احتراق، انتقال حرارت به خارج وجود نداشته باشد. در نتیجه براساس قانون بقای انرژی، مقدار انتالپی مجموعه فراورده‌ها با انتالپی مجموعه واکنش‌دهنده‌ها برابر خواهد بود. مقدار مصرف سوخت در محفظه احتراق با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$\dot{m}_{fuel} = \dot{m}_{cold,air} * \lambda * \frac{MW_{fuel}}{MW_{cold,air}} \quad (۲)$$

در حالتی که در محفظه احتراق از سوخت مایع دیزل استفاده شود، نحوه مدل‌سازی متفاوت خواهد بود. در این حالت به دلیل پیچیدگی فرایند احتراق، نحوه مدل‌سازی اندکی با شرایط سوختن گاز طبیعی متفاوت خواهد بود. در غیر این صورت بقیه فرایند مدل‌سازی سوخت مایع دیزل مشابه با حالت گاز طبیعی است. سوخت دیزل مایع با فرمول شیمیایی $C_{12}H_{23}$، وزن مولکولی $157\,\frac{kg}{kmol}$ و ظرفیت گرمایی ویژه $1750\,\frac{J}{kg.K}$ مدل‌سازی شده است. معادله شیمیایی احتراق دیزل در رابطه (۳) آورده شده است.

$$\lambda\,(C_{12}H_{23}) + (Y_{N_2}N_2 + Y_{O_2}O_2 + Y_{H_2O}H_2O + Y_{CO_2}CO_2 + Y_{Ar}Ar) \xrightarrow{yields} (Y_{N_2}N_2 + Y_{O_2}O_2 + Y_{H_2O}H_2O + Y_{CO_2}CO_2 + Y_{Ar}Ar)|_{burned} \quad (۳)$$

مقدار مصرف سوخت با فرض اولیه ثابت بودن نسبت مولی هوا در فراورده‌ها و واکنش‌دهنده‌ها براساس رابطه (۴) حاصل می‌شود.

$$\text{mass fuel air ratio}_{ideal} = \frac{h_{cold,air} - h_{cold,air}}{h_{cold,air} - h_{fuel} - \text{Fuel Heat Value}} \quad (۴)$$

مدل‌سازی عملکرد توربین در توربین گاز تک شفت

برای تحلیل عملکرد توربین دارای سیستم خنک‌کاری، توربین به سه بخش تقسیم می‌شود. این سه بخش شامل نازل ردیف اول، بخش روتور توربین و بخش خروجی توربین می‌شود. کلیه توان تولیدی در توربین توسط بخش روتور تامین می‌شود. گاز خروجی از نازل وارد روتور توربین شده و توان مورد نیاز را تولید می‌کند. در بخش تولید توان، مقدار دبی جرمی و ترکیب گازهای هوا ثابت می‌ماند. در شرایط نقطه طراحی، فشار خروجی از روتور توربین براساس فشار هوای محیط، میزان افت فشار در بخش خروجی توربین و نسبت فشار هوا در خروجی توربین گاز تعیین می‌شود.

$$P_{out,rotor} = P_{amb} * \frac{\text{Exhaust Pressure Ratio}}{\text{Turbine Exit Duct Pressure Ratio}} \quad (۵)$$

در این مدل‌سازی تمامی توان توربین در مرحله دوم و توسط بخش روتور تولید می‌شود.

$$\text{Power}_{turbine} = \dot{m}_{rotor,turbine} * (h_{in} - h_{out,rotor,turbine}) \quad (۶)$$

مدل‌سازی عملکرد توربین در توربین گاز دوشفت

مدل‌سازی عملکرد توربین پرفشار در توربین گاز دوشفت شبیه به توربین گاز تک‌شفت است؛ با این تفاوت که شرایط خروجی از توربین پرفشار با توجه به فشار محیط به دست نمی‌آید. بلکه برای تحلیل عملکرد آن از این حقیقت استفاده می‌شود که کار مورد نیاز کمپرسور و سایر تجهیزات جانبی توسط توربین پرفشار تامین می‌شود. در نتیجه با معلوم بودن توان کمپرسور، بازده مکانیکی شفت و شرایط ورودی به توربین پرفشار، مقدار انتالپی جریان خروجی از آن براساس رابطه (۷) مشخص می‌شود.

$$h_{out,rotor,turbine} = h_{in} - \frac{\text{Power}_{compressor} + \text{Power}_{offtake}}{\dot{m}_{rotor,turbine} * \eta_{mechanical}} \quad (۷)$$

به دلیل وجود نشتی جریان با شرایط مشابه شرایط گاز خروجی کمپرسور به خروجی توربین کم‌فشار لازم است تا جریان خروجی اصلاح شود. جریان نشتی دارای فشاری برابر با فشار خروجی توربین کم‌فشار بوده اما دمای آن برابر با دمای خروجی کمپرسور است و محاسبه تغییرات در دبی جرمی و دمای گاز خروجی از توربین کم‌فشار عینا مانند مدل‌سازی ترکیب جریان خنک‌کاری در خروجی توربین پرفشار است. در شرایط خارج از نقطه طراحی محاسبه خصوصیات عملکردی توربین کم‌فشار نیز مانند توربین پرفشار با استفاده از نقشه عملکردی انجام می‌شود.

کلیه توان تولیدی در توربین توسط بخش روتور تامین می‌شود. گاز خروجی از نازل وارد روتور توربین شده و توان مورد نیاز را تولید می‌کند

مدل‌سازی عملکرد سیستم خروجی

در سیستم خروجی به دلیل عدم انتقال حرارت و همچنین عدم نشتی، دما و دبی جرمی هوا و ترکیب گازهای هوا ثابت می‌ماند. برای اینکه هوای خروجی از توربین گاز به صورت ایمن از سیستم خارج شود، مقدار فشار هوای خروجی اندکی بیشتر از فشار هوای محیط است. در نتیجه فشار هوای خروجی از توربین گاز طبق رابطه (۸) محاسبه می‌شود.

$$P_{out} = P_{amb} * (\text{Exhaust Preessure Ratio}) \quad (۸)$$

مدل‌سازی پارامترهای عملکردی سیستم توربین گاز

پس از تعیین خصوصیات ترمودینامیکی هوا، دبی جرمی و ترکیب هوا در ورودی و خروجی هر قسمت، پارامترهای عملکردی توربین گاز محاسبه خواهند شد. توان مفید توربین گاز تک‌شفت به صورت رابطه (۹) مشخص می‌شود. در توربین گاز دوشفت، توان مفید توربین گاز برابر با توان توربین کم‌فشار تحت تاثیر بازده مکانیکی آن حاصل می‌شود (رابطه (۱۰). بازده گرمایی توربین گاز نیز براساس توان تولیدی و دبی سوخت مصرفی به صورت رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود. دبی سوخت مصرفی نیز در حین فرایند تحلیل محفظه احتراق مشخص شده است.

$$\text{single Spool Gas turbine Power} = \left(\text{Power}_{\text{Turbine}} - \frac{\text{Power}_{\text{compressor}}}{\eta_{\text{mechanical}}}\right) * \eta_{\text{mechanical}} \quad (۹)$$

$$\text{Two Spool Gas turbine Power} = \frac{\text{Power}_{\text{LPT}}}{\eta_{\text{mechanical,LPT}}} \quad (۱۰)$$

$$\eta_{\text{themal}} = \frac{\text{Gas Turbine Power}}{\text{Fuel Flow Rate} * \text{Fuel Heating Value}} \quad (۱۱)$$

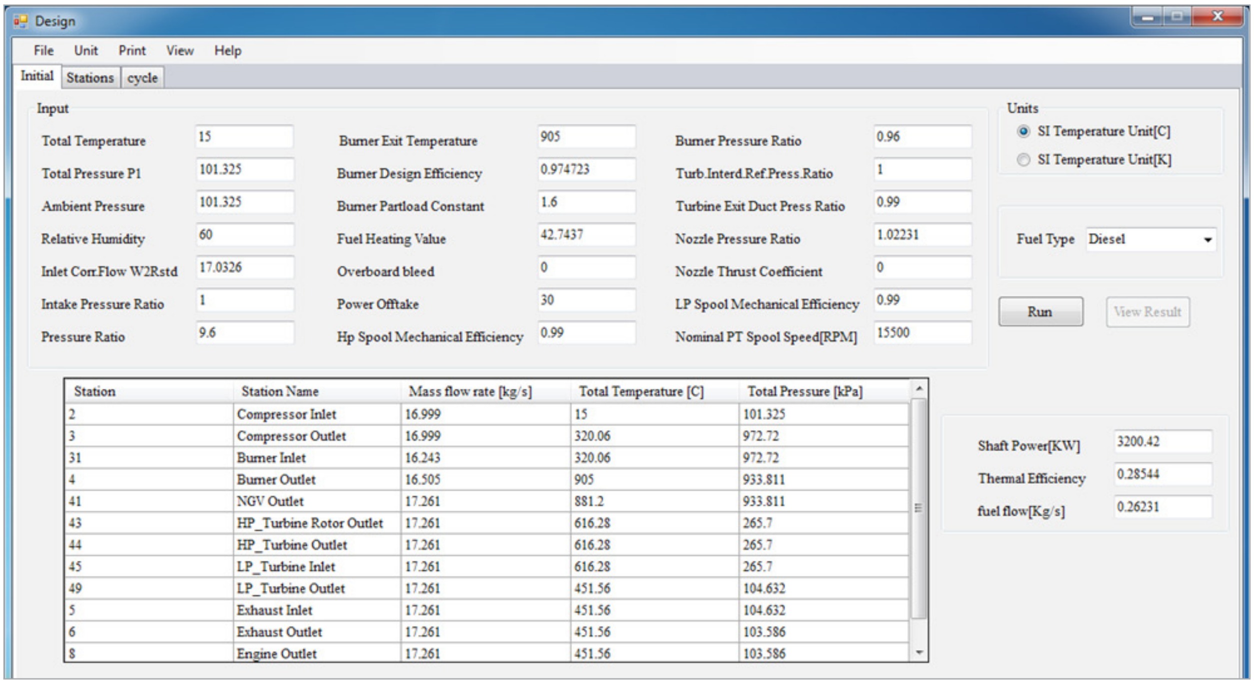
رابط گرافیکی شبیه‌ساز توربین گاز تیدا

در شکل‌های زیر تعدادی از پنجره‌های رابط گرافیکی شبیه‌ساز توربین تیدا نشان داده شده است. شکل ۲ اولین پنجره را در ابتدای شبیه‌سازی نشان می‌دهد که به کاربر امکان انتخاب حالت طراحی و یا خارج از طراحی را می‌دهد. در شکل ۵ الی شکل ۷ برخی از نتایج استخراج شده از شبیه‌ساز نشان داده شده است.

در توربین گاز دوشفت، توان مفید توربین گاز برابر با توان توربین کم‌فشار تحت تاثیر بازده مکانیکی آن حاصل می‌شود

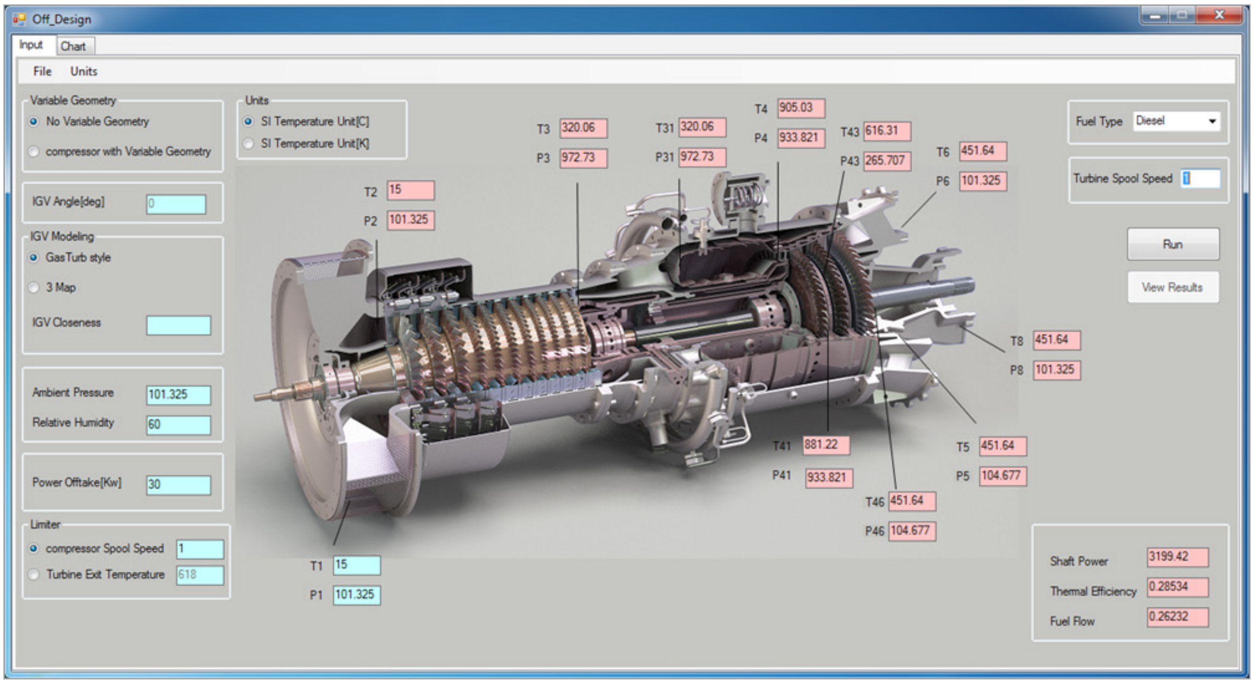
» شکل ۲: پنجره انتخاب حالت شبیه‌سازی

در شکل‌های زیر تعدادی از پنجره‌های رابط گرافیکی شبیه‌ساز توربین تیدا نشان داده شده است



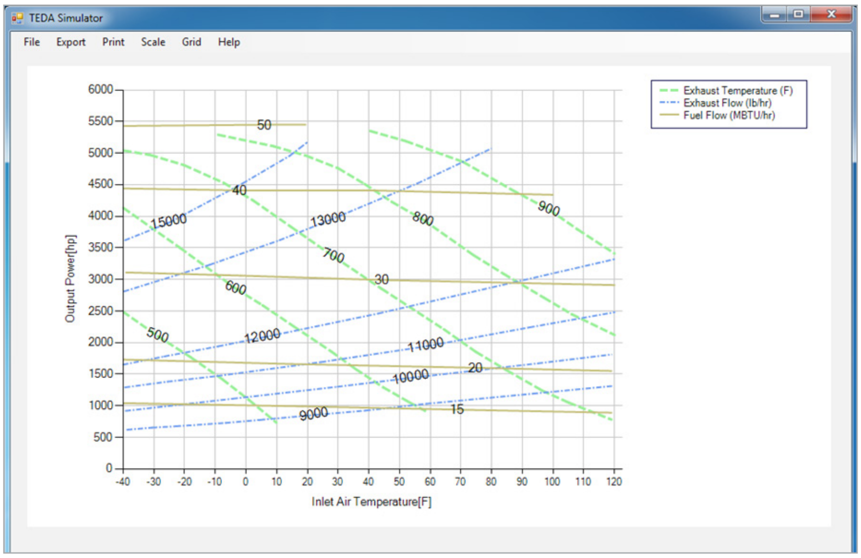
Station	Station Name	Mass flow rate [kg/s]	Total Temperature [C]	Total Pressure [kPa]
2	Compressor Inlet	16.999	15	101.325
3	Compressor Outlet	16.999	320.06	972.72
31	Burner Inlet	16.243	320.06	972.72
4	Burner Outlet	16.505	905	933.811
41	NGV Outlet	17.261	881.2	933.811
43	HP_Turbine Rotor Outlet	17.261	616.28	265.7
44	HP_Turbine Outlet	17.261	616.28	265.7
45	LP_Turbine Inlet	17.261	616.28	265.7
49	LP_Turbine Outlet	17.261	451.56	104.632
5	Exhaust Inlet	17.261	451.56	104.632
6	Exhaust Outlet	17.261	451.56	103.586
8	Engine Outlet	17.261	451.56	103.586

» شکل ۳: پنجره شبیه‌ساز در حالت طراحی

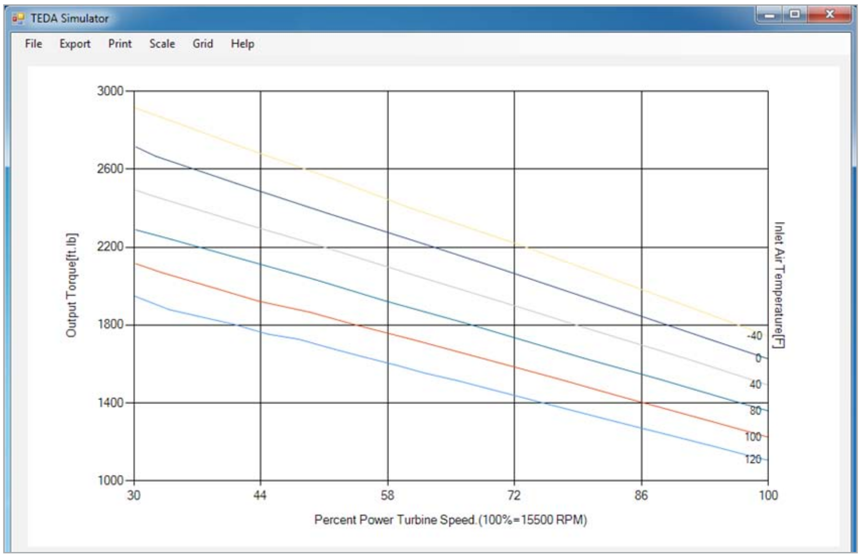


» شکل ۴: پنجره شبیه‌ساز در حالت خارج از طراحی

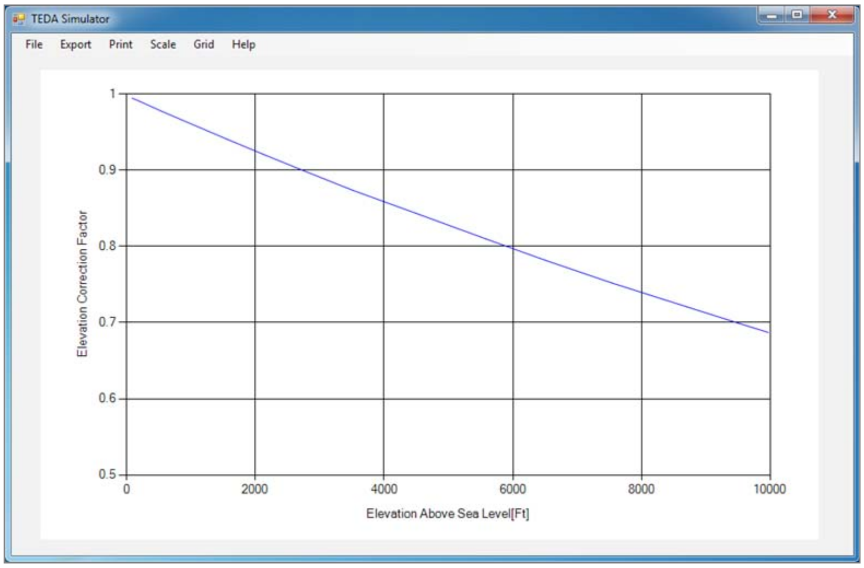
از نتایج مهم طراحی یک‌بعدی، مثلث‌های سرعت است که در واقع زاویه ورود و خروج جریان را مشخص می‌کند. به علاوه با استفاده از مشخصات هندسی به دست آمده، مسیر عبوری جریان داخل روتور تعیین می‌شود



» شکل۵: نمودار تغییرات توان، جریان خروجی و سوخت براساس دمای ورودی (سوخت گاز)



» شکل ۶: نمودار گشتاور خروجی بر حسب دور توربین در دمای ورودی مختلف



» شکل ۷: نمودار ضریب تصحیح بر حسب ارتفاع از سطح دریا

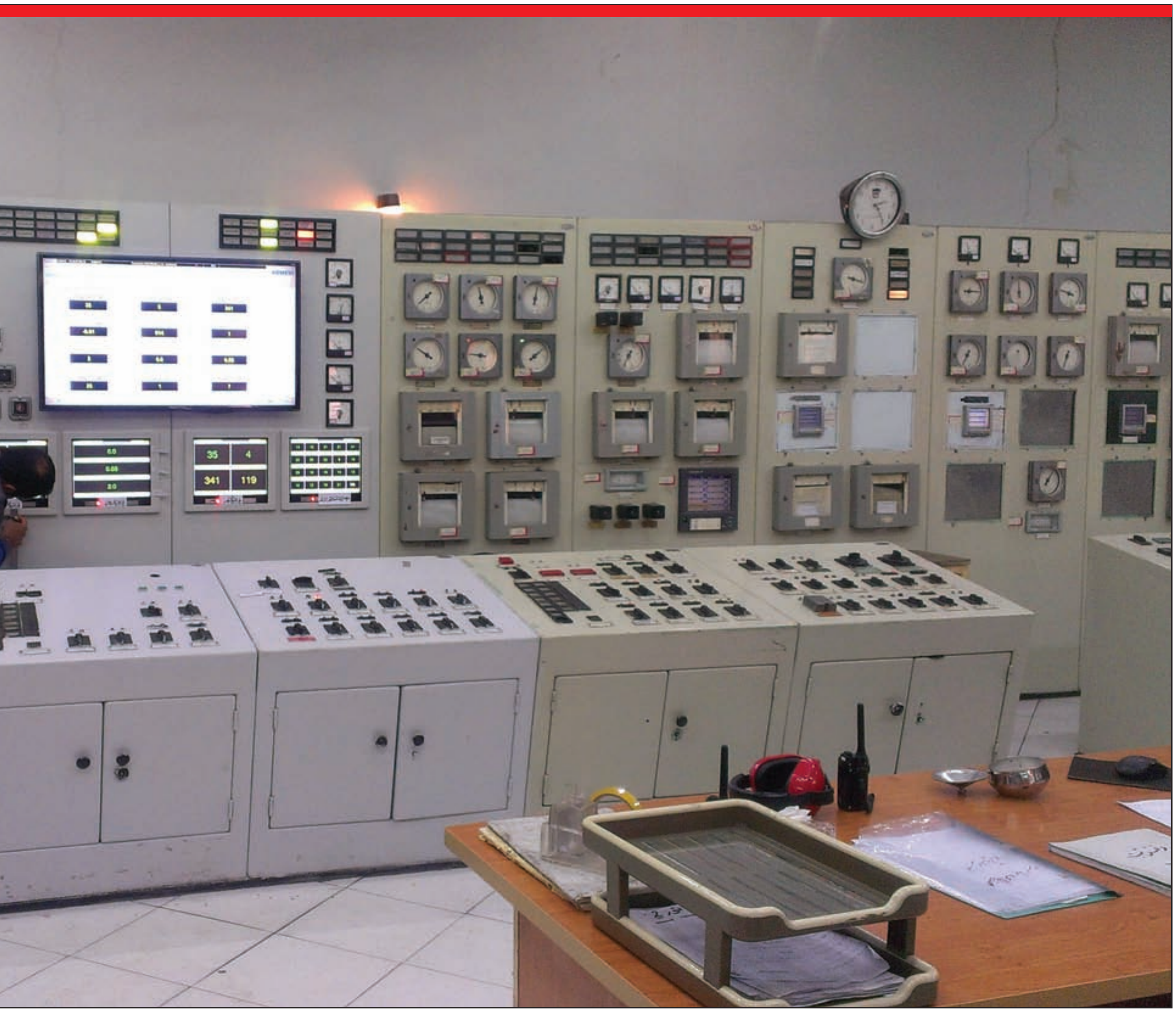
جدول ۱: مقایسه نتایج در یک نقطه خارج از طراحی			
#	Outputs	Gasturb 10	Simulator
1	Inlet Total Temperature (K)	270	
2	Inlet Total Pressure (kPa)	80	
3	Ambient Pressure (kPa)	84	
4	Relative Humidity [%]	70	
5	Power Off-take (kW)	30	
6	Nominal PT Spool Speed [RPM]	20000	
7	Relative Compressor Spool Speed	0.83	
8	Relative PT Spool Speed	0.92	
9	Variable Geometry Setting [°]	2	
10	Shaft Power Delivered (kW)	322.4781	317.78
11	Fuel Flow (kg/s)	0.038985	0.0386
12	Thermal Efficiency	0.166313	0.16554
13	PT Turbine Exit Temp T5 (K)	657.477	654.82

اعتبارسنجی نتایج شبیه‌ساز با نرم‌افزار Gasturb10

در این بخش بررسی تصدیق نتایج شبیه‌ساز با نتایج حاصل از نرم‌افزار Gasturb10 آورده شده است. این نتایج برای یک نقطه خارج از طراحی توربین گاز دوشفت ارائه شده است.

جمع‌بندی

شبیه‌سازهای توربین گاز ابزار بسیار قدرتمندی برای آنالیز عملکرد سیستم هستند. مدل‌سازی استاندارد شبیه‌ساز توربین گاز TEDA به صورت اختصاصی براساس نیاز مشتریان در صنعت نفت و گاز طراحی شده است که این مسئله مانع از پیچیدگی‌های احتمالی استفاده کاربر از این برنامه خواهد شد. در فازهای آینده از هسته محاسباتی این نرم‌افزار شبیه‌ساز در طرح‌های پایش وضعیت و همچنین توسعه پکیج‌های توربوکمپرسور و توربوپمپ استفاده خواهد شد.



پروژه به‌روزرسانی سیستم کنترل نیروگاهای مرکزی و حرارتی مجتمع ذوب آهن اصفهان

علیرضا شهرابی*

مجری پروژه: شرکت توربین ماشین خاورمیانه

کلیات و اهداف اجرای پروژه (شمای پروژه)

نیروگاه مرکزی فعالیت خود را همزمان با بهره‌برداری از کوره بلند شماره یک (سال ۱۳۵۰)آغاز کرد.این نیروگاه بخار دردرجه اول وظیفه تامین هوای دمشی کوره بلند رابر عهده دارد که توسط دو دستگاه توربو کمپرسور بخار(یکی در حال کار ودیگری رزرو) برای هر کوره بلند انجام می‌شود. همچنین نیروگاه حرارتی نیز درجهت تامین نیروی برق مورد نیاز واحدهای مختلف مجتمع ذوب آهن اصفهان، با بهره‌گیری از دو توربوژنراتور بخار با توان نامی ۵۵ مگاوات، از زمان احداث مجتمع تا به حال در مدار است وطبعا تولید برق در این مجموعه باعث صرفه‌جویی اقتصادی و زیست‌محیطی برای مجتمع ذوب آهن اصفهان می‌شود.

*علیرضا شهرابی: دپارتمان کنترل و ابزار دقیق، مدیر پروژه شرکت توربین ماشین خاورمیانه

تصویر ۲: پنل جدید در کنار پنلهای قدیمی نیروگاه مرکزی

تصویر یک: نیروگاه مرکزی

وابستگی شدید کوره بلند به هوای دمشی باعث شـــده تا عملکرد توربوکمپرسورهای بخار بسیار حســـاس باشـــد ودرصورت بروز هرگونه اشکال در اجزای مختلف آن، خســـارات شدید به کوره بلند وارد شـــود. به همین لحاظ کلیه تجهیزات توربوکمپرسورها بایداز لحاظ قابلیت اطمینان در وضعیت مناسب ومطمئن باشند که این موضوع جهت تجهیزات کنترل وابزار دقیق نیز الزامی است. از طرف دیگر در نیروگاه مرکزی همزمان با ارسال هوای دم به کوره بلند، انرژی الکتریکی نیز توسط دو دســـتگاه توربوژنراتور بخار تولید می‌شود. به علت آنکه مدت زمان نسبتا زیادی از شروع به کار توربوکمپرسورهای یک و۲، توربوژنراتورهای یک و۲ وهمچنین تجهیزات جانبی(شامل گرمکن‌های شبکه شـــوفاژ،آب خام،آب نرم، آب بدون نمک، کاهنده‌های فشار و درجه حرارت بخار، دئوراتورها و...) می گذرد، به دلایل زیر نوسازی ومدرنیزاسیون دستگاه‌های اتوماسیون سیستم‌های فوق‌الذکر لازم است:

- فرسودگی شـــدید دســـتگاه‌های اندازه‌گیری (گذشت بالغ بر ۴۰ سال از بهره‌برداری).
- عدم اجرای بازسازی بر روی سیستم‌های فوق (توربو کمپرســـورهای یک و۲ و توربوژنراتورهای یک و۲).
- وجود تقویت‌کننده‌هـــای لامپی وعدم موجود بودن لامپ‌های مذکور.
- خرابـــی برخـــی قطعـــات الکترومکانیکـــی دستگاه‌های ثبات ونشان‌دهنده ونبودن قطعات یدکی.
- خرابی ترانسمیترها وعدم وجود قطعات یدکی مربوطه.

حال باتوجه به موارد فوق وبه منظورامکان تداوم بهره‌برداری مطمئن از دســـتگاه‌های مزبور طرح جایگزینی تجهیزات فعلی با سیستم‌های جدید ترانسمیتر و ثبات‌های بدون کاغذ، تهیه وپیشنهاد شد که مشـــابه این عملیات در سایر کارگاه‌ها نیز انجام شـــده که باعث حذف توقف‌های ناخواسته وتعمیرات معمول شده است.

سیستم‌های دیگر نیروگاه‌های حرارتی و مرکزی که دراین نوسازی دســـتگاه‌های ابزار دقیق آن‌ها تغییر خواهد کرد، خشک کن‌های بخار هستند. به منظور تامین بخار توربوکمپرسورها واستفاده از

تصویر ۳: نیروگاه حرارتی

وابستگی شدید کوره بلند به هوای دمشی باعث شده تا عملکرد توربوکمپرسورهای بخار بسیار حساس باشد ودرصورت بروز هرگونه اشکال در اجزای مختلف آن، خسارات شدید به کوره بلند وارد شود

اجرای پروژه به‌روزرسانی سیستم کنترل نیروگاهای مرکزی و حرارتی کاملا الزامی وضروری بوده، زیرا درصورت تداوم وضعیت فعلی واستفاده از تجهیزات فرسوده، امکان بروز توقف‌های نابجا وجود دارد که متعاقب آن خسارت‌های شدیدی حادث خواهد شد

بخار اشباع تولید شده در دیگ‌های اتیلیزاتورهای فولادسازی، سه دستگاه بخار خشک کن در نظر گرفته شده است.دستگاه‌های ابزار دقیق این خشک‌کن‌ها نیز دارای مشکلات فوق است که با توجه به راه‌اندازی دیگ‌های جدید اتیلیزاتور وامکان ارسال بخار اشباع، لازم است کلیه اجزای خشک‌کن‌ها، از جمله تجهیزات ابزار دقیق، آماده به کار باشد که نوسازی آن‌ها با جایگزینی تجهیزات فعلی با ترانسمیترهای جدید وثبات‌های بدون کاغذ دراین پروژه مدنظر است.

در ضمن باتوجه به عدم بازسازی توربوژنراتورهای ۳و۴ نیروگاه حرارتی و مستهلک شدن ترانسمیترها، ثبات‌ها،کنترلرها و ... طرح جایگزینی تجهیزات مذکور نیز انجام می‌شود.

نتایج حاصله

درمجموع می‌توان گفت، اجرای پروژه مذکور کاملا الزامی وضروری بوده، زیرا درصورت تداوم وضعیت فعلی واستفاده از تجهیزات فرسوده، امکان بروز توقف‌های نابجا وجود دارد که متعاقب آن خسارت‌های شدیدی حادث خواهد شد.علاوه بر این، با اجرای این پروژه امکان نمایش اطلاعات با دقت بالا وسهولت در بهره‌برداری بااستفاده از سیستم HMI میسر می‌شود.به‌عنوان مثال با اجرای این پروژه امکان حذف دیاگرام‌های کاغذی وذخیره الکترونیکی اطلاعات وارسال اطلاعات به بخش برآورد و سیستم دیسپاچینگ کارخانه به‌راحتی مقدور می‌شود.

اثرات زیست‌محیطی

- حذف دستگاه‌های مکانیکی نشان‌دهنده و ثبات که حذف روغن و نشت روغن الکترموتور این دستگاه‌ها را به‌دنبال خواهد داشت.
- حذف دیاگرام‌های کاغذی.

تصویر ۴: پنل طراحی شده برای نصب در روی توربین

برآوردهای مالی (حجم سرمایه‌گذاری، هزینه‌های مصروفه، صرفه‌جویی احتمالی و ...)

برآورد میزان سرمایه‌گذاری

صرفه‌جویی‌های احتمالی: باتوجه به هزینه‌های بسیار سنگین توقف توربوکمپرسور و در نتیجه توقف کوره بلند یا هزینه‌های بسیار زیادتوقف توربوژنراتورهای نیروگاه‌های حرارتی و مرکزی که ممکن است به علت خرابی تجهیزات ابزار دقیق اتفاق بیافتد، برآورد صرفه‌جویی احتمالی آسان نیست. در تاریخ ۱۳۹۲/۰۵/۰۱ قراردادی با شرکت توربین ماشین خاورمیانه جهت خرید تجهیزات اتوماسیون وابزار دقیق و نصب و راه‌اندازی تجهیزات خریداری‌شده منعقد شد.

شرح کار

شرکت توربین ماشین خاورمیانه بادر دست داشتن نفرات متخصص و کاردان در مرحله اول با بررسی نقشه‌های P&ID موجود و تغییرات مورد نیاز پروژه،در سه مرحله اقدام به به‌روزرسانی سیستم کنترل ادوات نیروگاه‌های حرارتی و مرکزی کرده است.

تصویر ۵: پنل‌های جدید کنترلی شامل ثبات‌ها، کنترل‌ها و سیستم متنیترینگ، نیروگاه مرکزی

مرحلـــه اول: طراحـــی نقشـــه‌های مربوط به ترمینیشـــن، لوپ‌های کنترلی، طراحی سیستم HMI، ساخت اســـکلت تابلوها و دسک‌های اتاق فرمان و طراحی نقشـــه‌های وایرینگ براســـاس نقشه‌های روسی موجود و به سبک جدید اروپایی.

مرحله دوم: جمـــع‌آوری تجهیـــزات کنترلی وابزار دقیق قدیمی شامل ترانسمیترهای فشار و رکوردرهای کاغذی، از داخل سایت و اتاق فرمان.

مرحله ســـوم: نصب اســـتندها و جانکشـــن باکس‌های جدیدونصب تجهیزات اتوماسیون از قبیل سنسورهای فشار، اختلاف فشار، سطح، دما و ...در روی اسکید توربین‌ها.

نصب نمایشگرهای کنترلی بدون کاغذ و تابلوهای جدید الکترواستاتیک به همراه کنترلرها در اتاق فرمان که این امر در دو وضعیت آنلاین و آفلاین (به منظور جلوگیری از تداخل در عملکرد عادی توربین‌ها و امکان انجام کار بدون خاموشـــی در توربین‌ها) انجام گرفته است.

تاکنون این شرکت توانســـته با مجوزهای قطع، توربوژنراتور شماره ۳ نیروگاه حرارتی و تجهیزات جانبی آن و توربوژنراتورشماره ۲ نیروگاه مرکزی و تجهیزات جانبی آن را در کوتاه‌ترین زمان ممکن به‌روزرسانی و راه‌اندازی کند.

اخیرا نیز تجهیزات مشترک نیروگاه مرکزی تماما طی یک هفته به‌روزرسانی شده و مورد بهره‌برداری قرار گرفته است.

جمع‌بندی

با عنایت به پیشـــرفت بیش از ۹۰ درصدی پروژه خرید و پیشرفت بیش از ۴۰ درصدی پروژه اجرا، پیش‌بینی می‌شـــود این پروژه طی چند ماه آتی به اتمام برســـد. طبعا این مهم با ادامه کمک‌های پرســـنل توانمند و زحمتکش مجتمع ذوب آهن اصفهـــان، به‌خصـــوص مدیران و کارشناســـان واحد اتوماسیون میسر اســـت. با پایان این پروژه پیش‌بینی می‌شود اطمینان بیشتر در بهره‌برداری باعث افزایش تولیـــد و همچنین کاهش حوادث ناشی از فرسودگی ادوات کنترلی شود.

تصویر ۶: ترنسمیترهای جدید نصب‌شده در نیروگاه حرارتی

با پایان این پروژه پیش‌بینی می‌شود اطمینان بیشتر در بهره‌برداری باعث افزایش تولید و همچنین کاهش حوادث ناشی از فرسودگی ادوات کنترلی شود

توربواکسپندر

سینا طاهری[۱]، کاوه قربانیان[۲]، محمد رضا امینی مقام[۳]

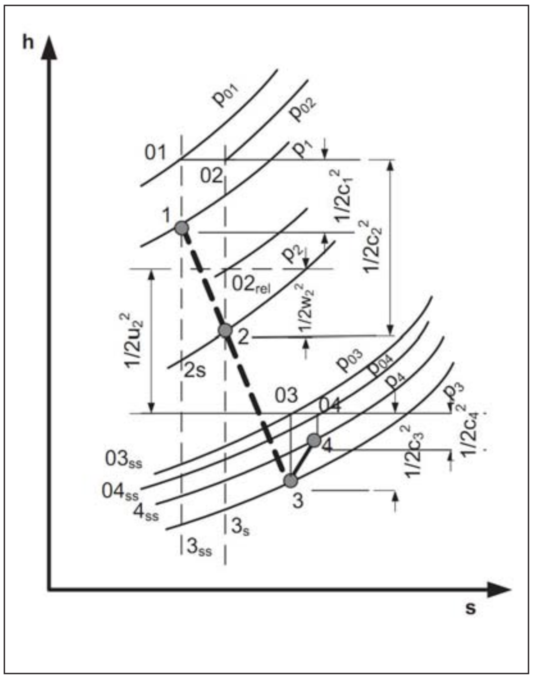
مقدمه

رشد و پیشرفت تکنولوژی در هر کشور وابسته به منابع انرژی آن و میزان انرژی مصرفی در بخش‌های مختلف صنعت است. در سال‌های اخیر با توجه به محدود بودن منابع انرژی و همچنین اثرات مخرب زیست محیطی ناشی از سوخت‌های فسیلی، استفاده از منابع انرژی پاک و بهره‌برداری بهینه از منابع موجود بسیار مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از دورریز حرارتی و یا بهره‌گیری از گازهای با فشار بالا، امکان تولید انرژی در مقیاس‌های کوچک را فراهم می‌کند. یکی از ابزارهای پرکاربرد در این زمینه، توربین‌های انبساطی هستند.

از سوی دیگر، ایران کشوری با ذخایر عظیم گاز طبیعی است و به علت وسعت بسیار زیاد آن، انتقال گاز به نقاط مختلف کشور تنها با استفاده از ایستگاه‌های متعدد تقویت فشار امکان‌پذیر است. در تمامی این ایستگاه‌ها، مقدار قابل توجهی گاز از طریق شیرهای فشارشکن منبسط می‌شود که باعث هدررفت انرژی این گاز پرفشار می‌شود. در صورت استفاده از توربین‌های انبساطی در این ایستگاه‌ها، می‌توان انرژی موجود در گاز طبیعی را به برق تبدیل کرد و علاوه بر تامین نیاز داخلی ایستگاه، به شبکه سراسری برق نیز کمک کرد.

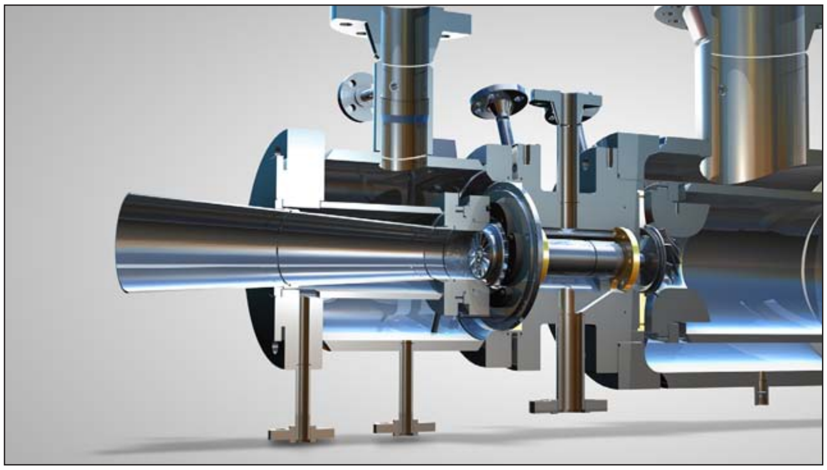
معرفی توربین‌های انبساطی

توربین‌های انبساطی دسته‌ای از ماشین‌های دوار هستند که انرژی فشاری گاز عبوری از آن طی فرایند انبساط به کار مکانیکی تبدیل می‌شود. فرایند انبساط در این ماشین‌ها به صورت آنتروپی ثابت انجام می‌شود و به همین دلیل با کاهش

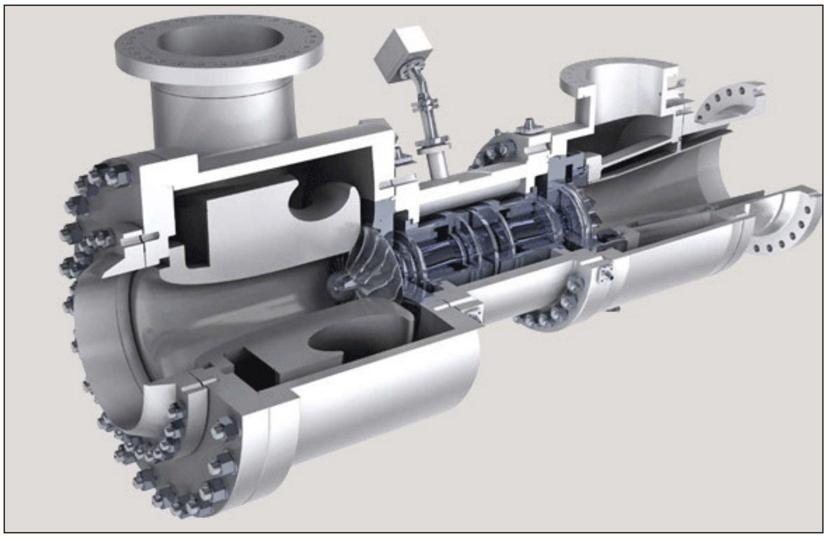


شکل ۱: نمودار آنتالپی بر حسب آنتروپی برای فرایند انبساط در توربین انبساطی

۱: سینا طاهری: کارشناس واحد مهندسی شرکت مدیریت پروژه‌های توربین ارکان ایرانیان
۲: کاوه قربانیان: نایب رئیس هیئت مدیره شرکت توربین ماشین خاورمیانه
۳: محمد رضا امینی مقام: واحد مهندسی شرکت مدیریت پروژه‌های توربین ارکان ایرانیان



» مجموعه اکسپندر ژنراتور



» شکل ۲: توربین انبساطی-کمپرسور

فشـــار گاز، دمای آن نیز کاهـــش می‌یابد. باتوجه به این ویژگی، از توربین‌های انبســـاطی به ســـه منظور استفاده می‌شود؛ اول تولید کار مکانیکی که در این فرایند، کاهش دما فرایند جانبی محسوب می‌شود. دوم به‌منظور کاهش دمای گاز در صنایع جداسازی و تولید گاز طبیعی مایع وسوم، به‌منظور کاهش و تنظیم فشـــار گاز کـــه در دو مورد آخر، تولید کار مکانیکی، محصـــول جانبی خواهد بود. درهرصورت، هدف اصلی به کارگیری توربین‌های انبساطی، استفاده هرچه بیشتر از انرژی موجود اســـت. امروزه کاربردهای تجاری این توربین‌ها، محدوده وسیعی از توان بین ۷۵ کیلووات تا بیش از ۲۵ مگاوات را پوشش می‌دهد.

توجیه اقتصادی توربین‌های انبساطی

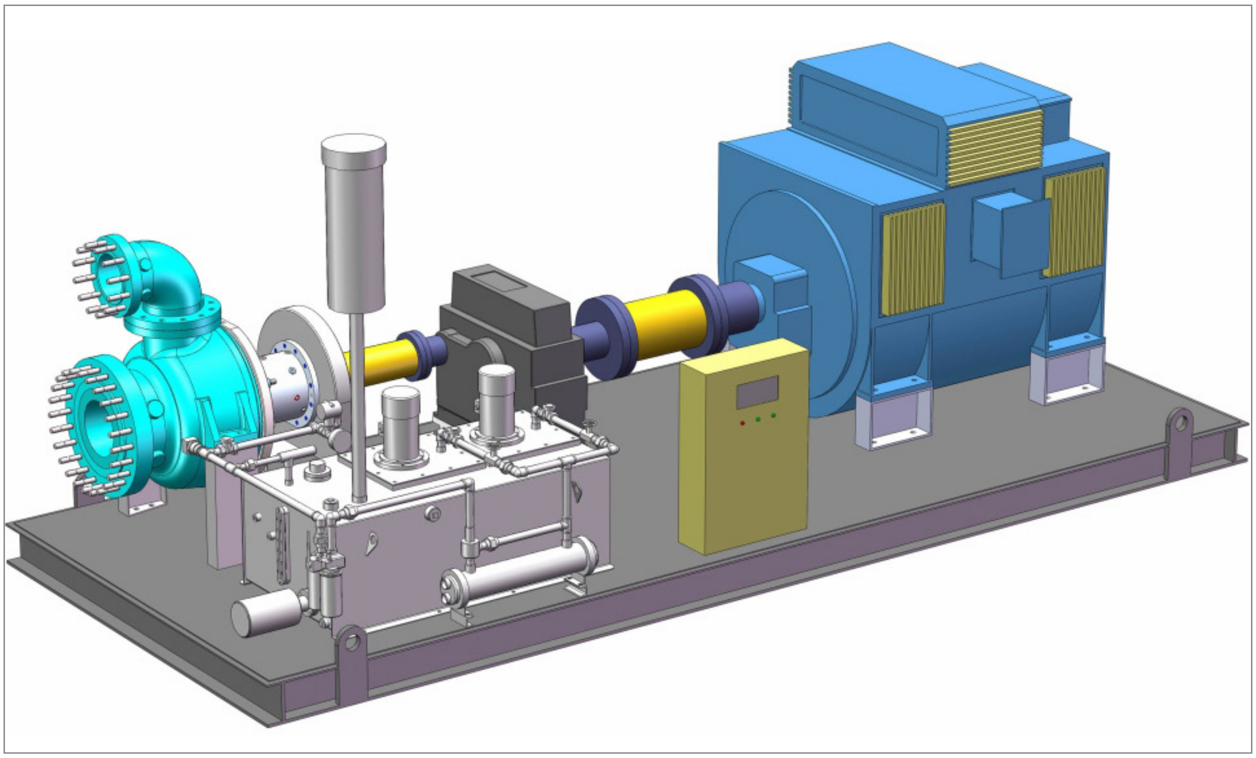
پیشرفت‌های مختلف در زمینه تکنولوژی طراحی و ساخت توربین‌های انبساطی، باعث شده قابلیت اطمینان این ماشین‌ها به طور محسوسی افزایش یافته و امکان بهره‌بـــرداری از آن‌ها به صورت ۲۴ ساعته و در ۷ روز هفته میسر شده است. تجربیات مختلفی که طی دهه‌های گذشته به دست آمده، باعث افزایش بازده این دسته از ماشین‌ها شده و در نهایت تولید انـــرژی از منابع دورریز حرارتی و یا ایستگاه‌های تقلیل فشار را مقرون‌به‌صرفه کرده است. به علاوه افزایش تقاضا برای انرژی و روند رو به اتمام منابع انرژی، باعث توجه بیشتر به سیستم توربین‌های انبساطی به عنوان منابع جدید انرژی، شده است.

بازدهی بالای سیستم توربین انبساطی و توانایی بالای این سیستم برای بازگرداندن سرمایه در مدت کوتاه، باعث شده که حتی واحدهای کوچک تولید توان نیز مورد توجه جدی قرار بگیرند. همچنین وجود صدها واحد توربین انبساطی در دنیا، نشان داده که این سیستم قابلیت اطمینان بالایی داشته و به همین دلیل نیاز به تجهیزات پشتیبان و تعمیر و نگهداری‌های متعدد را به طور قابل توجهی کم کرده است. در ادامه اصول پایه و انواع توربین‌های انبساطی بررسی شده و کاربردهای مختلف آن‌ها معرفی شده است.

فرایند عملکرد ترمودینامیکی

فرایند کاهش فشـــار در توربین‌های انبساطی به صورت آیزنتروپیک صـــورت می گیرد، به همین دلیل با کاهش فشـــار گاز، دمای آن نیز به میزان

پیشرفت‌های مختلف در زمینه تکنولوژی طراحی و ساخت توربین‌های انبساطی، باعث شده قابلیت اطمینان این ماشین‌ها به طور محسوسی افزایش یافته و امکان بهره‌برداری از آن‌ها به صورت ۲۴ ساعته و در ۷ روز هفته میسر شده است



شکل ۴: توربین انبساطی-ژنراتور

قابل توجهی کاهش می‌یابد. در حالت کلی سه نوع توربین به منظور منبسط کردن گاز وجود دارد. اولین نوع توربین، توربین‌های ضربه‌ای هستند که در آن‌ها تمامی افت فشار در نازل اتفاق افتاده و سرعت گاز توسط روتور به کار مکانیکی تبدیل می‌شود. دسته دوم، توربین‌های عکس‌العملی هستند که در بخش نازل آن‌ها نیمی از انرژی فشاری جریان گاز به سرعت تبدیل می‌شود. سپس جریان پرسرعت گاز وارد روتور می‌شود و در اثر کاهش فشار، گاز با سرعت زیاد از انتهای روتور خارج می‌شود. دسته سوم توربین‌های شعاعی هستند، نسبت به دو نوع قبل بهینه‌تر بوده و در آن‌ها افت فشار در دو مرحله اتفاق می‌افتد اما کاهش شعاع روتور به کم کردن فشار و افزایش کار مکانیکی تولیدی کمک می‌کند.

درشکل ۱ نمودار آنتالپی بر حسب آنتروپی برای یک توربین انبساطی شعاعی نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با کاهش فشار گاز، آنتالپی آن کاهش یافته و در حقیقت تبدیل به کار مکانیکی می‌شود. با توجه به اینکه این فرایند به طور صددرصد آیزنتروپیک نیست، میزان کاهش آنتالپی در آن کمتر از حالت ایده‌آل است که این تفاوت معرف بازده توربین انبساطی خواهد بود.

از کاربردهای مهم توربین‌های انبساطی، بازیابی انرژی از منابع مختلف حرارتی مانند حرارت زمین‌گرمایی، انرژی خورشید، حرارت هدررفت توربین‌های گاز و ... است. به علاوه یکی از کاربردهای مهم توربین‌های انبساطی، کاهش فشار در خطوط انتقال گاز است

کاربردهای توربین‌های انبساطی

همانطور که اشاره شد، توربین‌های انبساطی کاربردهای متفاوتی دارند و استفاده از آن‌ها به دهه ۵۰ میلادی بازمی‌گردد. در آن زمان، توربین‌های انبساطی به طور گسترده‌ای در صنایع برودتی و فرایندهای جداسازی گازها مورد استفاده قرار می‌گرفتند. با توجه به اینکه فرایند آنتروپی ثابت در توربین‌های انبساطی باعث کاهش قابل توجه دما می‌شود، از این سیستم برای جداسازی اجزای هوا، جداسازی هیدروکربن‌ها، مایع‌سازی گاز طبیعی و سایر گازها استفاده می‌شود. در تمامی این کاربردها، تولید کار مکانیکی به عنوان محصول جانبی مورد توجه قرار می‌گیرد.

یکی دیگر از کاربردهای مهم توربین‌های انبساطی، بازیابی انرژی از منابع مختلف حرارتی مانند حرارت زمین‌گرمایی، انرژی خورشید، حرارت هدررفت توربین‌های گاز و ... است. بدین منظور از توربین‌های انبساطی در یک چرخه طبیعی رنکاین (ORC) استفاده می‌شود.

به علاوه یکی از کاربردهای مهم توربین‌های انبساطی، کاهش فشار در خطوط انتقال گاز است. مقدار فشار در بخش‌های مختلف شبکه توزیع گاز متفاوت بوده و به منظور اتصال این بخش‌ها، فشار

گاز در برخی نقاط باید کاهش یابد. در این موارد با استفاده از توربین‌های انبساطی، علاوه بر کاهش فشار گاز، امکان تولید کار مکانیکی نیز به وجود خواهد آمد.

در تمامی کاربردهای اشاره شده، یکی از محصولات توربین‌های انبساطی، کار مکانیکی یا همان کار شفت است. به منظور استفاده از این انرژی تولید شده، معمولا از دو روش استفاده می‌شود. در روش اول، کار شفت مستقیما به یک کمپرسور منتقل شده و باعث افزایش فشار در یک سیال می‌شود (شکل ۲). اما در روش دوم با استفاده از یک ژنراتور، کار مکانیکی تولیدی به برق تبدیل شده و به صورت محلی مصرف و یا تحویل شبکه برق می‌شود (شکل ۳).

توربین‌های انبساطی در ایستگاه‌های تقویت فشار

اصلی‌ترین روش انتقال گاز طبیعی در ایران، استفاده از خطوط انتقال گاز است. اما به دلیل پهناور بودن کشور ایران و طولانی بودن خطوط انتقال، فشار گاز درون خطوط افت کرده و به منظور جبران این افت فشار، در فواصل معینی ایستگاه‌های تقویت فشار احداث شده است. در این ایستگاه‌ها با استفاده از یک یا چند کمپرسور، افت فشار خطوط انتقال جبران می‌شود؛ که انرژی لازم برای این کمپرسورها از طریق توربین‌های گاز تولید می‌شود. از طرفی سوخت مورد نیاز ایستگاه برای مصارف مختلف از خود خطوط انتقال تامین می‌شود. با توجه به اینکه فشار گاز در خطوط لوله بسیار بالاتر از فشار قابل قبول برای استفاده در ایستگاه است، فشار گاز برای مصرف باید کاهش یابد. همانطور که در بخش قبل اشاره شد، یکی از راه‌های کاهش فشار گاز، استفاده از توربین‌های انبساطی است که علاوه بر تنظیم فشار گاز طبیعی مورد استفاده در توربین گاز، امکان تولید برق را نیز فراهم می‌آورد.

در حال حاضر تقریبا در تمامی ایستگاه‌های تقویت فشار گاز در ایران، از شیرهای فشارشکن به منظور کاهش فشار گاز استفاده می‌شود. این شیرها در یک فرایند آنتالپی ثابت، فشار گاز را کاهش می‌دهند که باعث هدر رفتن انرژی فشاری گاز می‌شود. با توجه به تعداد زیاد ایستگاه‌های تقویت فشار، استفاده از توربین‌های انبساطی باعث تولید حجم انبوهی برق به صورت پراکنده می‌شود که علاوه بر تامین نیازهای داخلی ایستگاه، به شبکه سراسری برق نیز کمک خواهد کرد.

اجزای اصلی سیستم توربین–ژنراتور

سیستم‌های تولید انرژی الکتریکی با استفاده از توربین‌های انبساطی معمولا به صورت یک مجموعه ارائه شده و تمامی تجهیزات لازم برای تولید برق را شامل می‌شوند. لیستی از اجزای اصلی سیستم توربین انبساطی-ژنراتور در زیر ارائه شده است.

- توربین انبساطی
- گیربکس
- ژنراتور
- سیستم پیش گرم کن گاز ورودی
- سیستم فیلتراسیون گاز ورودی
- سیستم روغن کاری اجزای توربین
- سیستم کنترل
- سیستم خنک کاری ژنراتور (در صورت نیاز)

مزایای توربین‌های انبساطی

با توجه به مطالب گفته شده، جایگزین کردن شیرهای انبساطی با توربین‌های انبساطی منطقی بوده و مزایای بسیاری خواهد داشت که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- جلوگیری از هدررفت انرژی فشاری گاز طبیعی و تبدیل آن به کار مکانیکی و تولید برق.
- تولید انرژی الکتریکی بدون استفاده از سوخت‌های فسیلی و جلوگیری از آلودگی هوا (تولید برق با این روش جزو روش‌های پاک (سبز) محسوب می‌شود).
- تولید پراکنده برق و کمک به شبکه سراسری انتقال برق.
- افزایش قابلیت اطمینان سیستم به واسطه استقلال ایستگاه از شبکه سراسری برق.
- صرفه اقتصادی سیستم به واسطه فروش مازاد برق تولیدی، به‌رغم هزینه بیشتر برای نصب، راه‌اندازی و نگهداری سیستم نسبت به شیرهای انبساطی.
- راندمان بالای توربین‌های انبساطی (۸۰ تا ۹۰ درصد).
- عدم ایجاد وقفه در انتقال گاز.
- استفاده بهینه از منابع انرژی و کمک به حفظ سرمایه ملی.

شرایط عملکردی در ایستگاه تقویت فشار

شرایط ترمودینامیکی و همچنین دبی حجمی گاز مورد استفاده در ایستگاه‌های تقویت فشار معمولا به گونه‌ای است که توان تولید شده با استفاده از توربین‌های انبساطی زیر یک مگاوات خواهد بود. با توجه به اینکه کاهش فشار گاز با استفاده از توربین انبساطی به صورت آیزنتروپیک انجام می‌شود، دمای گاز طبیعی به میزان قابل توجهی افت خواهد کرد که به منظور جلوگیری از میعان گاز، از سیستم پیش گرم کن استفاده می‌شود. در ادامه با توضیح روند طراحی توربین‌های انبساطی، طراحی اولیه یک نمونه توربین برای شرایط گفته شده، آورده شده است.

با توجه به حساسیت عملکرد توربوماشین‌ها به شرایط مسئله موردنظر، امکان استفاده از توربین‌های آماده وجود ندارد. بنابراین چگونگی طراحی و اطمینان از عملکرد آن‌ها نکته مهمی خواهد بود

معرفی روند طراحی

با توجه به حساسیت عملکرد توربوماشین‌ها به شرایط مسئله موردنظر، امکان استفاده از توربین‌های آماده وجود ندارد. بنابراین چگونگی طراحی و اطمینان از عملکرد آن‌ها نکته مهمی خواهد بود. روند طراحی توربین‌های شعاعی وابسته به دید طراح بوده و در مراجع مختلف، روندهای متفاوتی برای این مسئله پیشنهاد شده است. توربین‌های شعاعی به عنوان یک سیستم دوار از بخش‌های مختلفی تشکیل شده‌اند که در شکل ۴ مشاهده می‌شود. هر یک از این اجزا در روند طراحی، از اهمیت متفاوتی برخوردار بوده و به

شکل ۴: اجزای مختلف توربین انبساطی

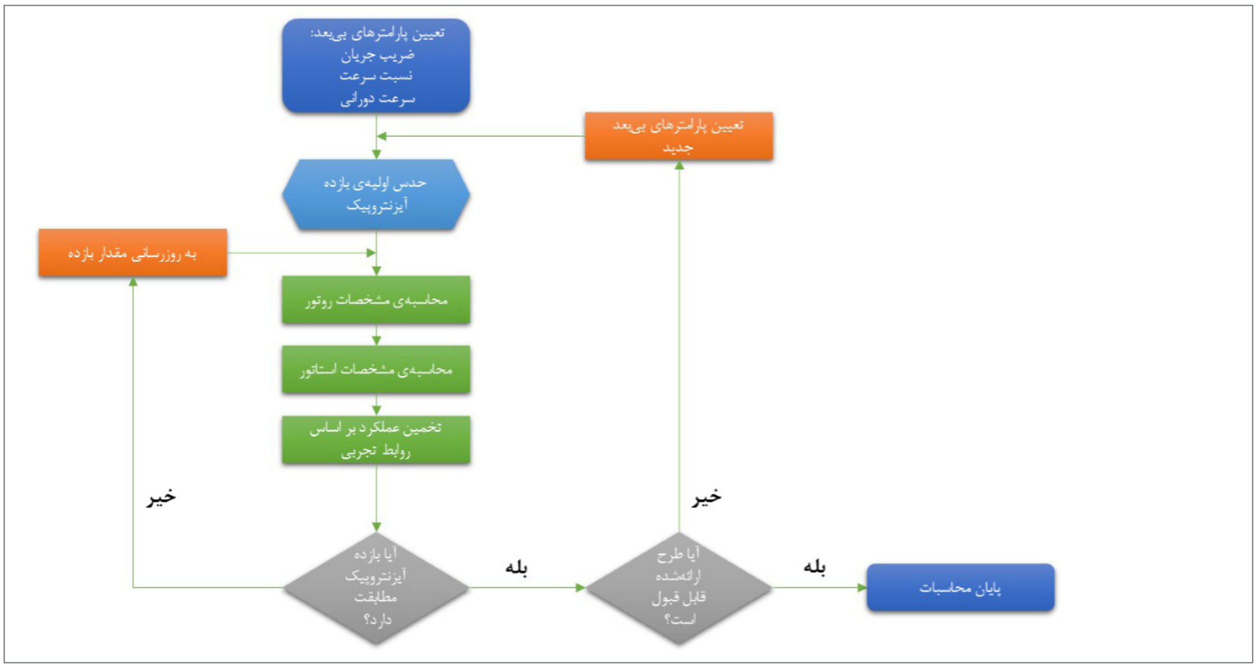
همین دلیل طراحی این توربین‌ها معمولا بر چند قسمت تمرکز بیشتری خواهد داشت.
همانطور که مشاهده می‌شود، مهم‌ترین قسمت توربین‌های شعاعی، بخش ایمپلر و نازل است. به طور معمول روند طراحی ایمپلر ونازل در توربین‌های انبساطی شامل سه بخش اصلی است. در ساده‌ترین قسمت، ابعاد هندسی و زوایای ورود و خروج جریان به صورت یک‌بعدی محاسبه می‌شوند. در این بخش مشخصات عملکردی توربین با استفاده از روابط تحلیلی و تجربی مشخص خواهد شد. در بخش بعدی، با در نظر گرفتن تئوری‌های دوبعدی جریان، پروفیل کامل پره‌های ایمپلر و نازل به‌دست می‌آید. در نهایت با مدل‌سازی سه‌بعدی این اجزا و شبیه‌سازی عددی، رفتار کامل جریان و مشخصات مکانیکی آن‌ها تعیین شده و در صورت امکان بهینه‌سازی خواهد شد. در این بخش، مشخصات کامل عملکردی توربین انبساطی به دست آمده و با نتایج مرحله اول مقایسه می‌شود. با انجام تمامی این مراحل، نقشه‌های ساخت آماده شده و فرایند ساخت و مونتاژ توربین آغاز می‌شود. روند طراحی توربین انبساطی در شکل ۵ نشان داده شده است. در طراحی توربین‌های انبساطی، ابتدا مشخصات

روند طراحی توربین‌های شعاعی وابسته به دید طراح بوده و در مراجع مختلف، روندهای متفاوتی برای این مسئله پیشنهاد شده است

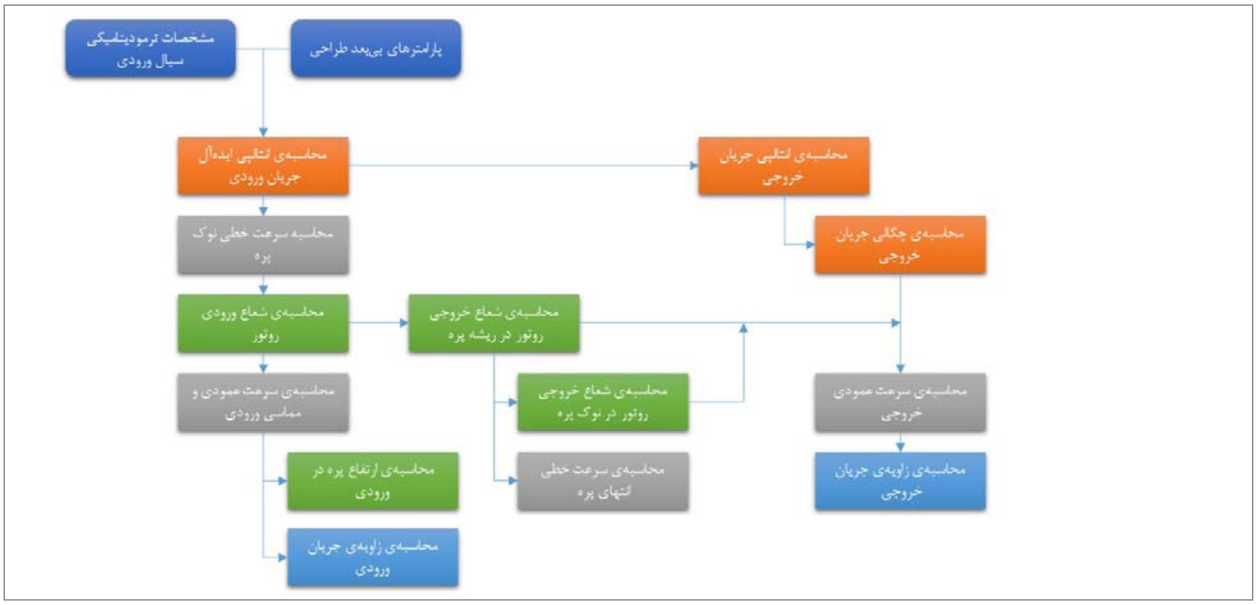
ایمپلر تعیین می‌شود. سپس با استفاده از شرایط جریان در ورودی ایمپلر، مشخصات نازل به دست خواهد آمد. در نهایت مشخصات بخش حلزونی محاسبه خواهد شد. در شکل ۶ و شکل ۷ روند طراحی ایمپلر و نازل مشخص شده است.
در نهایت با استفاده از روابط تجربی و تحلیلی ارائه‌شده در مراجع، عملکرد توربین انبساطی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. به طور معمول این روند طراحی تا جایی تکرار می‌شود که شرایط عملکردی مطلوب به دست آید. در شکل ۸ چگونگی محاسبه مشخصات عملکردی توربین انبساطی آورده شده است.

طراحی یک‌بعدی توربین انبساطی

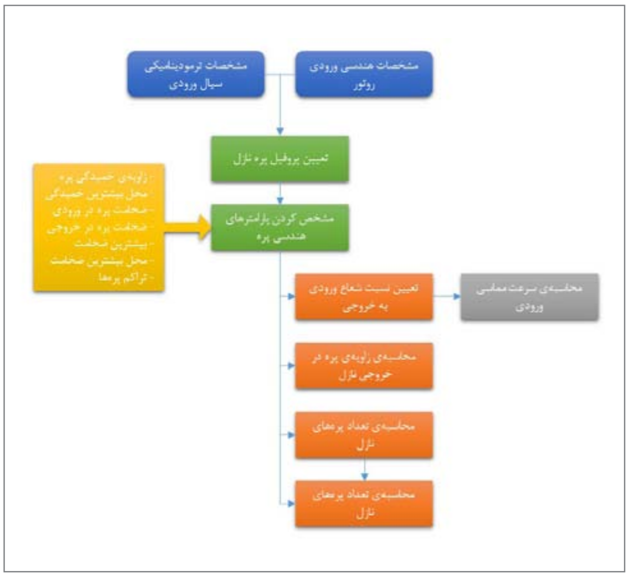
در ادامه مشخصات طراحی یک توربین انبساطی به منظور کاهش فشار گاز طبیعی آورده شده است. فرایند طراحی روتور این توربین در سه گام انجام می‌شود. در مرحله اول، طراحی به صورت یک‌بعدی و با استفاده از مفهوم مثلث‌های سرعت صورت می‌گیرد. در این قسمت با استفاده از نرم‌افزارهای موجود مفاهیم یک‌بعدی مانند مثلث‌های سرعت طراحی می‌شوند.
با تعیین ورودی‌های لازم برای طراحی، مشخصات



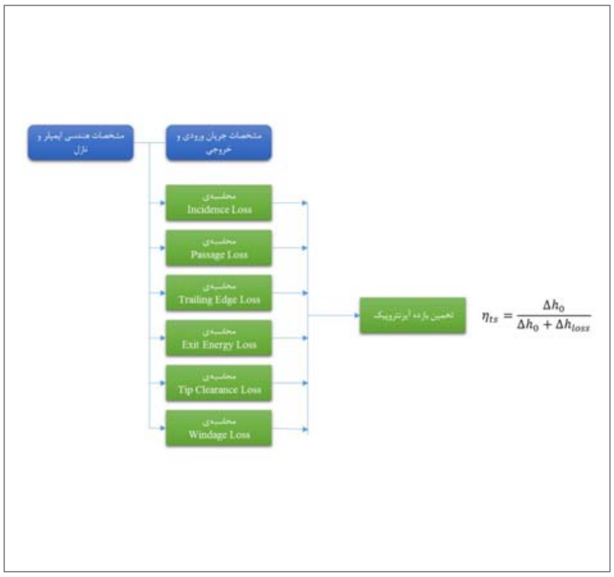
» شکل ۵: فلوچارت طراحی بخش‌های اصلی توربین‌های انبساطی



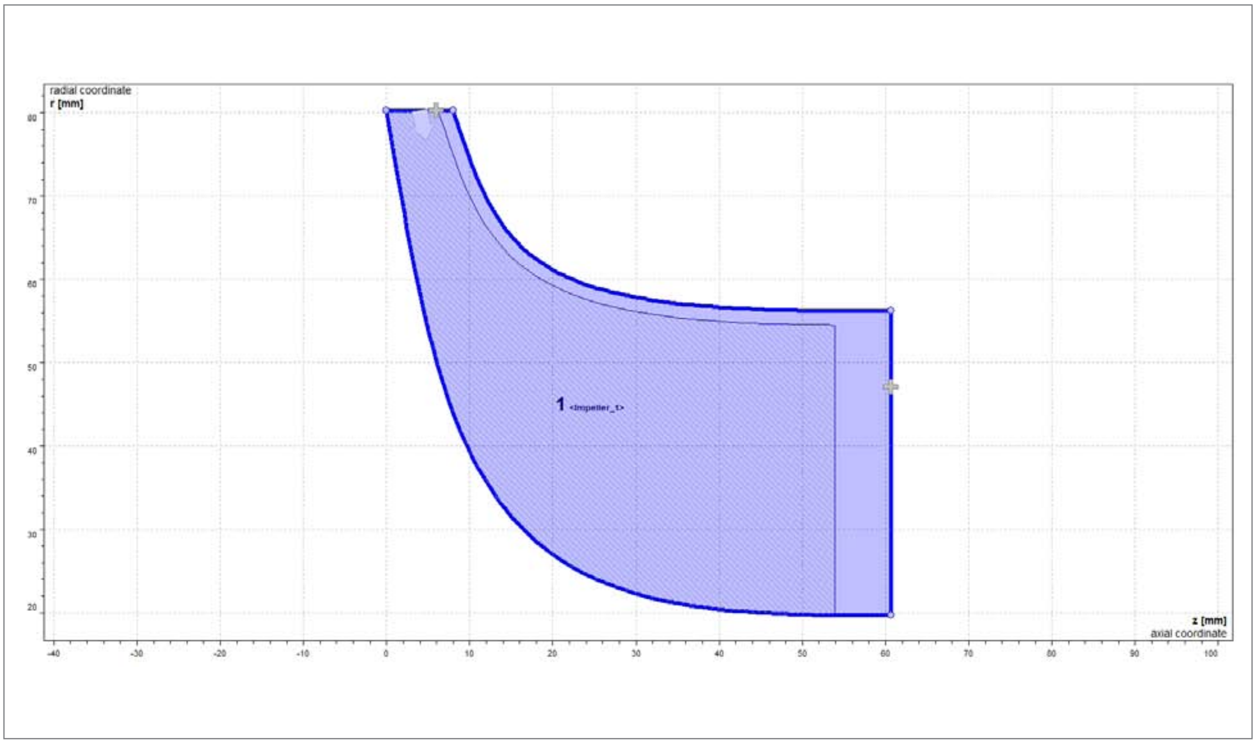
» شکل ۶: فلوچارت طراحی ایمپلر توربین‌های انبساطی



» شکل ۷: فلوچارت طراحی نازل توربین‌های انبساطی



» شکل ۸: فلوچارت تخمین عملکرد توربین انبساطی



» شکل ۱۰: مسیر عبوری جریان درون توربین انبساطی

هندسی و عملکردی روتور توربین براساس الگوریتم طراحی مورد استفاده مشخص می‌شوند. در جدول ۱ مشخصات هندسی روتور مشاهده می‌شود. همچنین جدول ۲ مشخصات عملکردی کل توربین طراحی‌شده را نمایش می‌دهد.

از نتایج مهم طراحی یک‌بعدی، مثلث‌های سرعت است که در واقع زاویه ورود و خروج جریان را مشخص می‌کند. به علاوه با استفاده از مشخصات هندسی به دست آمده، مسیر عبوری جریان داخل روتور تعیین می‌شود. در شکل ۹ مثلث‌های سرعت و زاویه جریان در ورودی و خروجی روتور مشاهده می‌شود. همچنین شکل ۱۰ مسیر عبوری جریان را نشان می‌دهد.

در مرحله بعدی طراحی با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده از طراحی یک‌بعدی، پروفیل پره‌های روتور تعیین می‌شود. بدین منظور با استفاده از تئوری‌های موجود، چگونگی پیچش پره و تغییرات زوایا از ریشه تا نوک محاسبه شده و در نهایت پروفیل پره مشخص می‌شود. در شکل ۱۱ دو نمای مختلف از مقاطع مختلف پره نمایش داده شده است.

در نهایت با استفاده از پروفیل به‌دست‌آمده مدل سه‌بعدی روتور توربین انبساطی به دست می‌آید. در شکل ۱۲ نمای سه‌بعدی کل روتور نمایش داده شده است.

جمع‌بندی و پیشنهادها

در این مقاله، به معرفی توربین‌های انبساطی و کاربردهای آن‌ها در صنایع مختلف از جمله صنایع برودتی، صنایع جداسازی گاز، تولید انرژی

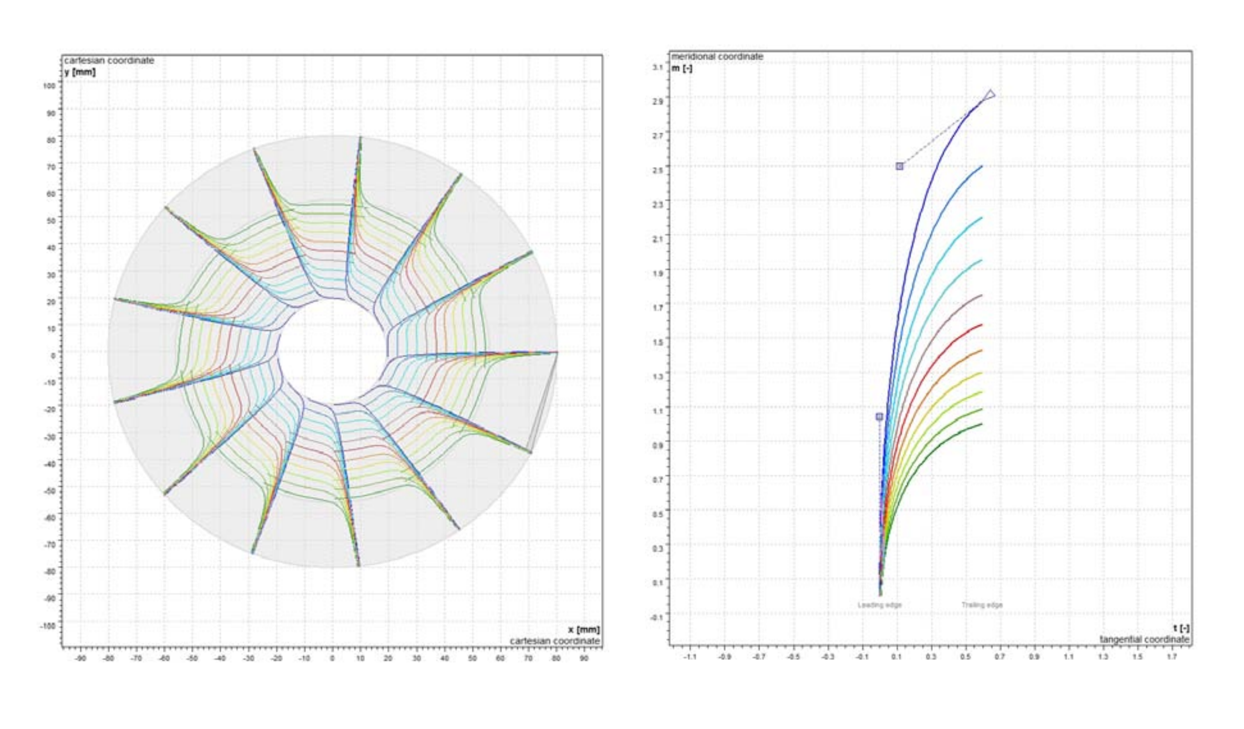
از نتایج مهم طراحی یک‌بعدی، مثلث‌های سرعت است که در واقع زاویه ورود و خروج جریان را مشخص می‌کند. به علاوه با استفاده از مشخصات هندسی به دست آمده، مسیر عبوری جریان داخل روتور تعیین می‌شود

جدول ۱: مشخصات هندسی توربین انبساطی

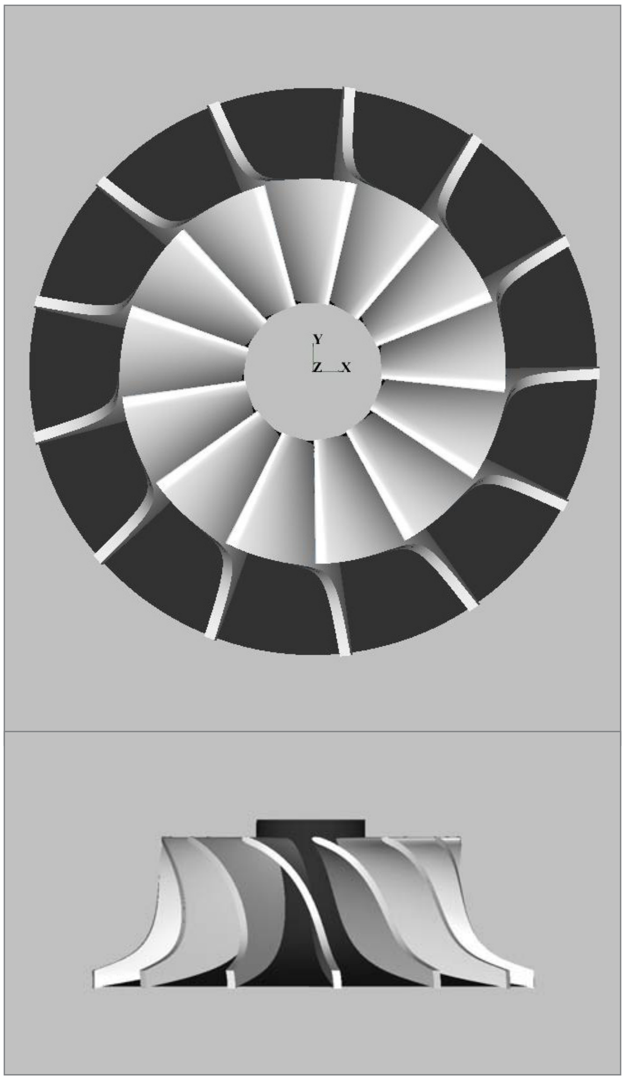
قطر ورودی روتور	۱۶۴ mm	d_2
ارتفاع پره در ورودی روتور	۷/۵ mm	b_2
قطر خروجی روتور در Hub	۴۴ mm	$d_{3,hub}$
قطر خروجی روتور در Shroud	۱۱۰ mm	$d_{3,shroud}$
تعداد پره‌های روتور	۱۳ یا ۱۷	N_R

جدول ۲: مشخصات عملکردی توربین انبساطی

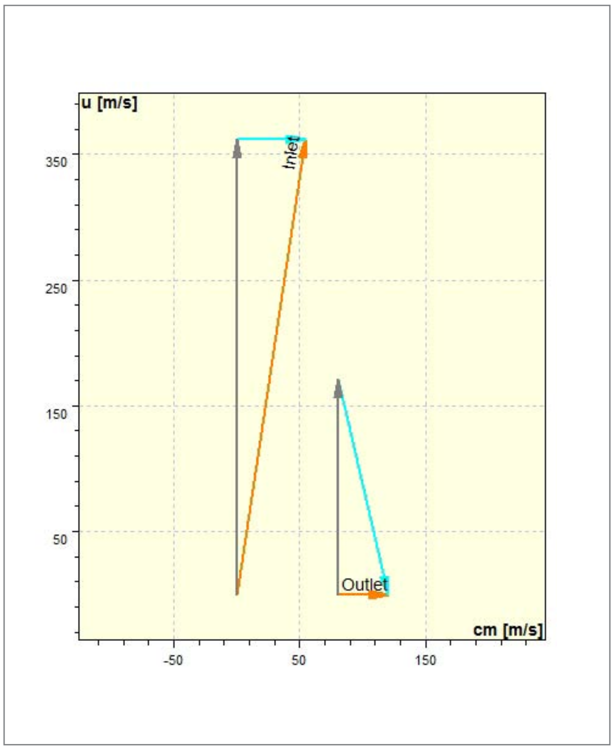
توان خروجی	۷۲۴ kW	Shaft-Power
بازده استاتیک روتور	۸۹ %	$n_{ts,Imp}$
بازده نازل	۹۲ %	n_{NOZ}
بازده استاتیک توربین انبساطی	۸۳/۳ %	$n_{ts,Stg}$



شکل ۱۱: نمای روبه‌رو (چپ) و نمای راستای جریان (راست) از مقاطع مختلف پره روتور



شکل ۱۲: نمای سه‌بعدی روتور کامل



شکل ۹: مثلث‌های سرعت و زوایای جریان در ورودی و خروجی روتور توربین انبساطی

از منابع مختلف حرارتی و همچنین کاهش فشار خطوط گاز طبیعی پرداخته شد. پس از بررسی شرایط موجود برای کاهش فشار گاز طبیعی و برشمردن مزایای استفاده از توربین‌های انبساطی، اجزا و روند طراحی این توربین‌ها مورد مطالعه قرار گرفت. در نهایت طراحی یک بعدی و پروفیل پره‌ها برای ایمپلر یک توربین انبساطی به منظور کاهش فشار گاز طبیعی، انجام شده و نتایج آن آورده شد. در ادامه این پژوهش می‌توان با استفاده از مدل سه‌بعدی به‌دست‌آمده، به شبیه‌سازی سیالاتی و مکانیکی این ایمپلر پرداخته و نتایج دقیق این طراحی را ارائه کرد.

توربین ماشین خاورمیانه
Turbine Machine m.e. Group
پروژه :
مهندسی، ارتقاء و بومی سازی ساخت
اولین توربین گازمدل TMC-52

ویژه نامه

رونمایی از توربین گاز تیدا

توسط شرکت توربین ماشین خاورمیانه ...

رونمایی از تیـــدا نخستین توربین گاز بومی سازی شده در کلاس ۴ مگاوات

نخستین توربین گاز ساخت داخل که از تجهیزات حساس صنعت نفت به شمار می‌رود، توسط شرکت توربین ماشین خاورمیانه ساخته شد.

به گزارش واحد مرکزی خبر آیین رونمایی از نخستین توربین گاز ساخت داخل، عصر روز گذشته (یکشنبه، ۱۰ خردادماه) با حضور مدیرعامل شرکت ملی نفت ایران، مدیر عامل شرکت مناطق نفتخیز جنوب، مدیر عامل شرکت توربین ماشین خاورمیانه و برخی از مدیران ارشد صنعت نفت برگزار شد.

در این مراسم رکن‌الدین جوادی، مدیر عامل شرکت ملی نفت ایران، ضمن بازدید از خط تولید مجموعه‌ها و قطعات مورد استفاده در توربین‌های گاز و کمپرسورهای مورد استفاده در صنعت نفت و گاز در جمع خبرنگاران اظهار کرد: «ساخت توربین گاز مدل TMC-52 نشان می‌دهد که پس از این می‌توان بسیاری از تجهیزات بالادستی صنعت نفت را در داخل کشور تولید کرد».

وی اعلام کرد: «این توربین از نظر مسائل فنی کامل و هیچ کمبودی ندارد و این توربین با نمونه‌های مشابه خارجی رقابت‌پذیر است».

جوادی تصریح کرد: «ساخت توربین گاز با توان ۴ هزار و ۵۰۰ اسب بخار که توسط شرکت توربین ماشین خاورمیانه، مهندسی، ارتقا و بومی‌سازی شده، نشـان‌دهنده حمایت صنعت نفت و باور و غیرت افرادی است که این تجهیزات را بومی‌سازی کرده‌اند؛ به همین جهت ساخت این توربین ارتباط خوب و موثر بیـن کارفرما و پیمانکار را نشـان می‌دهد».

مدیر عامل شـرکت ملی نفت ایران اضافه کرد: «توربین فوق جزو پیچیده‌ترین قطعاتی اسـت که در دنیا ساخته می‌شود و بومی‌سازی آن نشان

نخستین توربین سولار سنتار گاز ساخت داخل که از تجهیزات حساس صنعت نفت به شمار می‌رود، توسط شرکت توربین ماشین خاورمیانه ساخته شد

می‌دهد که توان ساخت تجهیزات و ماشین‌آلات بسیار پیچیده‌تر نیز در کشور وجود دارد و بر همین اساس باید ظرفیت ساختمان در ماشین‌های دوار و تامین نیاز داخل بیش از پیش افزایش یابد».

وی با اشاره به اینکه سطح توان تولیدکنندگان داخلی در حوزه تجهیزات صنعت نفت بیش از ۸۰ درصد است، افزود: «پروژه‌های آتی صنعت نفت بر مبنای توان و تولید محصولات ساخت داخل تعریف شده و تا زمانی که تولیدات داخلی تامین‌کننده هستند از خارج کشور وارد نخواهد شد».

هلالی مدیر عامل شرکت توربین ماشین خاورمیانه در مراسم رونمایی از توربین گاز مدل TMC -52 اظهار داشت: «این شرکت در حوزه انتقال تکنولوژی فعالیت خود را به خوبی انجام داده، به طوری که در دو شرکت ارزشمند عملا ساخت توربین به وقوع پیوسته است همچنین در سایزهای ۲۵ مگاوات که در مپنا اتفاق افتاده است».

وی تصریح کرد: «در حوزه زیر ۲۵ مگاوات نیز کشور صاحب ابتکار و صاحب یک محصول است که می‌تواند نیازهای صنعت نفت را پوشش دهد».

مدیرعامل شرکت توربین ماشین خاورمیانه ادامه داد: «نبود تولید زیر ۲۵ مگاوات در کشور حس می‌شد بنابراین این شرکت توانست این توربین را بسازد که می‌تواند علاوه بر نیازهای توسعه‌ای نیازهای ناوگان را پوشش دهد».

هلالی افزود: «ما درصدد انتخاب یک شعار برای رونمایی از این توربین بودیم که همکاران در مناطق نفت‌خیز جنوب شعار تجلی توان ملی را در کمیته فنی بعد از بررسی ارزیابی پیشنهاد دادند».

وی ادامه داد: «توان ملی و دست به دست هم دادن حوزه کارفرمایی از ۱۸ سال پیش صنعت نفت در کشور و خاورمیانه در تمام مدت انرژی و تلاش خود را برای تحقق ساخت این توربین متمرکز کردند».

هلالی تاکید کرد: «زنجیره تامین تولید این توربین بسیار گسترده طراحی و در سطح کشور ترسیم شده و ما امروز صاحب رونمایی از یک محصول در شرکت خاورمیانه هستیم».

مدیرعامل شرکت توربین ماشین خاورمیانه اظهار داشت: «ما از سال ۸۶ عملا ارتقای تجهیزات تولیدی را در دستور کار خود قرار دادیم و ماشین‌آلاتی که در سطح پایین بودند را با دانش و تکنولوژی ارتقا دادیم».

وی ادامه داد: «در این شرکت، سرمایه‌گذاری خاصی به عنوان ماشین‌آلات که به نیروی خارجی آموزش بدهند وجود نداشت ما با اراده و توان داخلی خودمان آن را در معرض نمایش قرار دادیم امیدواریم با نگاهی که به این مجموعه نگریسته می‌شود به تولید تجهیزات در کشور توجه ویژه‌ای معطوف شود».

هلالی افزود: «افراد فعال در این حوزه بیش از ۱۰ سال بالای ۵۰ درصد تجربه دارند و امروز توربین ساخته شده به سرزمین خوزستان که صحنه هشت سال دفاع مقدس بوده هدیه خواهیم کرد».

مدیرعامل شرکت توربین ماشین خاورمیانه اظهار داشت: «همچنین در سبد ۱۰ کالا ما پیشنهاد سفارش انبوه و تولید بیشتر از این توربین را درخواست دادیم تا بتوانیم حرکت بزرگتری را نهادینه کنیم».

وی تاکید کرد: «این شرکت توانست قطعات منفک را در شرکت مناطق نفت‌خیز جنوب، خط لوله و مخابرات با موفقیت تست کند به طوری که اکثر قطعات تولیدی امتحان خود را به خوبی پشت سر گذاشته‌اند».

هلالی افزود: «امروز در این توربین یک ارتقای ۱۰ درصدی در عملکرد و توان مشخصات فنی تجربه کردیم و ما ظرف دو سه هفته آینده جشن موفقیت را برپا خواهیم کرد».

مدیرعامل شرکت توربین ماشین خاورمیانه ادامه داد: «این توربین بیش از ۶۰۰ قطعه دارد که هر از

هلالی: هم‌اکنون در حوزه‌های بسیار وسیعی تجهیزات ما در پالایشگاه تهران، پالایشگاه سرخون، شرکت ملی گاز، خطوط لوله و مخابرات، فلات قاره، پالایش و پخش و پتروشیمی و بندر امام خمینی تست و ارزیابی شده است

یک این قطعات توربین به تعداد یک تا ۷۴ قطعه طراحی تکنولوژی در آن لحاظ شده به طوری که ۱۸ نوع تکنولوژی متفاوت در این توربین استفاده شده است که در هیچ محصولی چنین پرداخته نشده است».

هلالی گفت: «امروز می توانیم آلیاژهای نفت و گاز یا جایگزین را تعریف کنیم. این محصول انتقال تکنولوژی نیست که متریال را چگونه تهیه و یا مواد را جایگزین کنیم امروز در جاهایی که به مشکل برمی‌خوریم آلیاژها را با آلیاژ دیگر جایگزین می کنیم چراکه تحقیقات فنی محصول را به دست آوردیم».

او ادامه داد: «ماموریت‌هایی که صنعت نفت تعریف می کند ژنراتور، سکوی نفتی، ایستگاه پمپاژ برای انتقال فرآورده، یوتیلیتی در صنایع نفت و گاز و پتروشیمی، توربوکمپرسور برای عملیات فرآیندی چاه‌ها مورد استفاده قرار می گیرد».

هلالی گفت: «ما در گروه توربین ماشین خاورمیانه شش شرکت را که زیر مجموعه این گروه است تحت پوشش قرار داده و فعالیت‌های تخصصی را رعایت و جمع‌بندی و به صورت فنی عمق بخشیده‌ایم، هر چند که گروه در سطح فعالیت جهانی یک محصول را به انجام رسانده ولی در این گروه گروه به تنوع محصولات دیگر دست یافته‌ایم».

او افزود: «در شرکت توربین ماشین خاورمیانه به این صورت هدفمان را تعریف کردیم که یک محصول را که مورد نیاز صنعت نفت است پاسخگو باشیم. هم‌اکنون در حوزه‌های بسیار وسیعی تجهیزات ما در پالایشگاه تهران، پالایشگاه سرخون، شرکت ملی گاز، خطوط لوله و مخابرات، فلات قاره، پالایش و پخش و پتروشیمی و بندر امام خمینی تست و ارزیابی شده است».

هلالی افزود: «این شرکت سالیانه ۴۰ میلیارد تومان تعهد برای وزارت نفت دارد که امکان افزایش ۴۶۰ میلیارد تومان را در سال به راحتی دارد».

مدیرعامل شرکت توربین ماشین خاورمیانه ادامه داد: «معیارهای جهانی امروز در سطح دنیا در

عرصه تخصصی، ملی و حرفه‌ای مثل صنایع نفت و گاز و صنایع تک به ازای هر نفر یک میلیون دلار است. فاصله‌ای که ما با استانداردهای جهانی در ظرفیت کاری داریم به دو علت بر می‌گردد، یک موضوع بحث کارشناسی در این حیطه است که ما به ازای یک نفر، یک میلیون دلار باید کار تعریف کنیم. همچنین این دو بخش در کشور ما تحقق پیدا نمی‌کند بخش نخست بهره‌وری در نیروی انسانی و مسئولان است که در جهت جذب آن باید تدابیر ویژه‌ای اندیشیده شود و بخش دیگر موضوع کارفرمایی است که امروز کارفرما در بخش‌های استراتژی و در حوزه‌های تک تعریفی که دارند تا به یک برند تبدیل شوند امروز به شرکت‌هایی که عمرشان بیش از ۲۰ سال است سپرده می‌شود».

او ادامه داد: «ما همواره به تعهدات خودمان در راستای ماموریت تعیین شده درست عمل کردیم و یک تعامل درست و منطقی در شرکت‌هایی که این مسئولیت را می‌پذیرند داشتیم تا بتوانیم به برندسازی برسیم».

مدیرعامل شرکت توربین ماشین خاورمیانه گفت: «اگر برندسازی در کشور صورت نگیرد نمی‌توان به صادرات امیدوار بود. قطعا صادرات در حوزه‌ای صورت می‌گیرد که ما امتحان خودمان را به وفور و کرات در داخل کشور پس داده باشیم و گروه توربین ماشین خاورمیانه این آزمون را باز پس داده است».

هلالی افزود: «ما بیش از ۴۰۰ قطعه و ۳۰ محصول تولیدی را به صنعت نفت تحویل دادیم به‌طوری که ماموریت‌ها را بدون هیچ کوتاهی و با هر وضعیتی با رعایت همه جانبه نقدینگی و متریال به انجام رساندیم».

مدیرعامل شرکت توربین ماشین خاورمیانه ادامه داد: «در این حوزه انتظار داریم حمایت‌های اساسی صورت گیرد نه حمایت انحصاری. در کشورهای زیادی توربین ساخته می‌شود در کشور ما نیز این کار باید نهادینه شود که با ساخت یک دستگاه در کشور نهادینه نمی‌شویم. موقعی این موضوع تحقق پیدا می‌کند که طراحی را برای شرکت کالای نفت

محمدحسین خندان، معاون مدیر تولید شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب: بیش از ۳۰۰ توربین گاز از ۲۵ تا ۵۰۰ مگاوات در مناطق نفت خیز وجود دارد که در سال‌های گذشته برای نگهداری و تعمیر و یا جایگزینی قطعات آن‌ها مشکلات بسیاری وجود داشته است

تهران انجام دهیم. بیش از ۳۰ دستگاه را در دستور کار خود قرار دادیم و پیشنهاد شده که بیش از ۱۰ تا ۱۵ دستگاه که اعلام نیاز شده است ساخته شود. امیدواریم این کالاها در ۱۰ گروه قلم کالایی به نتیجه برسد یا با سیاست‌گذاری درستی که صورت می‌گیرد این دستاورد را به صورت نهادینه در کشور به سرانجام برسانیم».

هلالی گفت: «همه فرآیندی که در ۱۳ سال گذشته سپری شده مبتنی بر یک نقشه راه بوده که ما معیار برنامه پنج ساله توسعه برای شرکت را از ۱۲ سال پیش تعریف کردیم و هیچ حرکت و اتفاقی یا جرقه‌ای در مجموعه ما رخ نداده است».

او خاطرنشان کرد: «در برنامه پنج ساله دوم این شرکت توجه ویژه‌ای به ساخت توربین صورت خواهد گرفت و در این راستا برنامه‌های ویژه‌ای را برای تولید آن در دستور کار قرار داده‌ایم تا بتوانیم با توجه به ماموریت‌ها در حوزه توربین به عنوان محصول به گام بالاتری در عرصه‌های جهانی دست پیدا کنیم».

محمدحسین خندان، معاون مدیر تولید شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب نیز به عنوان کارفرمای این پروژه، با بیان اینکه توربین گاز به‌ویژه این مدل آن جزو تجهیزات اصلی مورد نیاز مناطق نفت‌خیز جنوب است، یادآور شد: «توربین‌های گاز از مواردی است که از قدیم در مناطق نفت‌خیز جنوب کاربرد داشته است و تاکنون این نیاز اساسی توسط کشورهای خارجی تامین می‌شد؛ هر چند که با عقب کشیدن آن‌ها از جریان تامین، حرکت به سمت خودکفایی در دستور کار قرار گرفت». او اشاره کرد: «بیش از ۳۰۰ توربین گازی از ۲۵ تا ۵۰۰ مگاوات در مناطق نفت خیز وجود دارد که در سال‌های گذشته برای نگهداری و تعمیر و یا

رضا پدیدار رئیس انجمن سازندگان تجهیزات صنعت نفت: امروزه سه مولفه مدیریت زمان، قیمت و کیفیت در ساخت تجهیزات صنعت نفت به خوبی لحاظ می‌شود به طوری که سازندگان ما این زمینه را برای رقابت در عرصه جهانی دارند

جایگزینی قطعات آن‌ها مشکلات بسیاری وجود داشته است».

معاون مدیر تولید شـرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب ادامه داد: «از حدود ۲۰ سـال پیش دیگر سازندگان خارجی پاسخگوی نیازها و پرسش‌ها درباره توربین‌ها نبودند و از آن پس ساخت توربین و بومی‌سازی آن در داخل کشور مطرح شد».

رضا پدیدار رئیس انجمن سـازندگان تجهیزات صنعت نفت در مراسـم رونمایـی از توربین گاز مدل TMC-52 گفت: «روند سـاخت تجهیزات در کشور روند مناسبی را طی می‌کند به طوری که کشور ما توانسته اکثر تجهیزات را در داخل کشور بسازد. براساس آخرین مطالعاتی که در دفتر اتاق بازرگانی صورت گرفته پتانسـیل فنی اقتصادی تولید در کشـور بر پایه عدد ۱۰۰ است که حدود ۷۲ درصـد آن مورد توجه بوده بـه طوری که در کشوری مثل ترکیه تناسب مقایسه‌ای ۷۴ یا ۷۵ درصد است و این عدد در کره جنوبی ۷۸ و مالزی ۷۵ درصد است».

پدیدار گفت: «کشـور ترکیه برای ساخت داخل این عدد را بالاتر از ۷۰ رسانده است. در مورد سایر کشورها براساس مطالعات صورت گرفته بهره‌وری ۳۰ درصد افزایش یافته است».

رئیس انجمن سـازندگان تجهیزات صنعت نفت تاکید کرد: «در ۱۰ سال اخیر کشور ما موفق شده ظرفیت‌ها را ارتقا دهد چرا که تولید توربین گاز در کشور این نوع پتانسیل را نشان می‌دهد».

او با اشاره به سخنان وزیر نفت در خصوص تولید کالا که براساس سه مولفه کیفیت، زمان و قیمت باید صورت گیرد، اعلام کرد: «امروزه سـه مولفه مدیریت زمان، قیمت و کیفیت در ساخت تجهیزات صنعت نفت به خوبی لحاظ می‌شود به طوری که سـازندگان ما این زمینه را برای رقابت در عرصه جهانی دارند».

پدیدار افزود: «برای سـاخت توربین و تجهیزات آن مصوبه از شورای معاونین وزارت نفت دریافت کردیم تا مدیریت بازار برای حضور در بخش‌های مختلف صورت گیرد».

وی اعلام کرد: «در حال حاضر ۷۰۰ شرکت تنوع کالایی در کشور وجود دارد که امروز به اقتدار و با توان داخلی ساخته می‌شود و نیازی به کشورهای خارجی نداریم».

پدیدار با اشاره به اینکه ۷۵ درصد نیاز داخلی در کشور از طریق سـازندگان تامین می‌شود اظهار داشت: «تلاش و تخصص و اعتماد به نسل جوان یکی دیگر از مولفه‌هایی اسـت کـه زمانی که به باور ملی در سـاخت تجهیزات برسیم پل اعتماد بین سازنده و مدیریت ارشد و کارفرما اتصال پیدا می‌کند به طوری که باور تبدیل به اعتماد و اعتماد به اعتبار تبدیل می‌شود».

نصرالله سلیمانی، مدیر کمیته معین توربین در وزارت نفت:

توربین ملی می‌تواند طرح‌های توسعه صنعت نفت را خودکفا کند

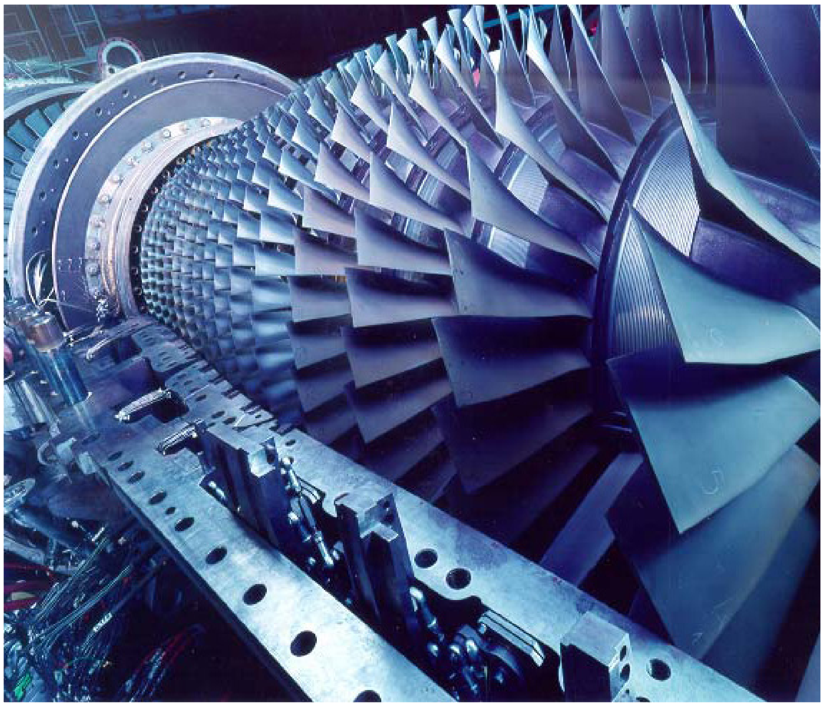
مدیرمعین توربین در وزارت نفت گفت: توربین گاز کالای استراتژیک صنعت نفت است و بومی‌سازی آن برکات بسیاری برای توسعه صنعت نفت دارد و کشـور ما را به خودکفایی کامل در این عرصه می‌رساند.
نصرت‌الله سلیمانی در گفت‌وگو با خبرنگار نشریه در تشریح کاربرد توربین ملی در مناطق نفت‌خیز جنوب اظهار کرد: تا قبل از تولید توربین گازی در داخل کشور تمام توربین‌های موجود که ساخت کشور آمریکا است مورد استفاده قرار می‌گرفت و ما از نظر وابستگی در حد تامین قطعات این توربین‌ها هم در داخل امکان جایگزینی نداشتیم در حالی که با درایت و تلاش جوانان این مرز و بوم به طور کامل این توربین را در داخل کشور به عنوان یک ماشین استراتژیک تولید کردیم.
او خاطرنشـان کرد: این توربین گازی نه تنها در صنعت نفت، بلکه در ناوگان دریایی و ناوگان هوایی نیز می‌تواند کاربرد داشته باشد چراکه این توربین یک جت است و همانند یک موشک که در صنایع دفاعی از اهمیت بسیاری برخوردار است، می‌تواند در آینده با توجه به دانشی که هم‌اکنون بومی سازی شده ما را به خودکفایی کامل برساند.
مجری پروژه بومی‌سـازی توربین ملی در ادامه با بیان اینکه پیش از سـاخت این توربین تمام امور حوزه توربین و تعمیر آن وابسـته به شرکت‌های خارجی سازنده بود، گفت: خوشبختانه هم‌اکنون در مناطق نفت‌خیز جنوب می‌توانیم توربین ملی را که به صورت نمونه در مدار کار قرار دادیم توسعه دهیم چراکه در مناطق نفت‌خیز هم‌اکنون بیش از ۶۰ دستگاه توربین گازی ساخت دیگر کشورها در مدار تولید و بهره‌برداری است و عمر اکثر آن‌ها رو به اتمام است.
سلیمانی تصریح کرد: عمده خروجی توربین‌های گازی در مناطق نفت خیز جنوب جابه‌جایی نفت و گاز و یا تزریق گاز است و در سطح وزارت نفت بیش از یکصد دستگاه از این توربین در حال استفاده است که اگر تولید داخلی را توسعه دهیم به سادگی امکان جایگزینی این توربین با نمونه‌های فعلی در صنعت نفت پس از به پایان رسیدن عمر توربین‌های فعلی ممکن است.
او همچنین در مورد برندسازی توربین ملی اظهار کرد: این برند ملی می‌تواند ناوگان فرسوده صنعت نفت را نوسازی کند چراکه عمر مفید این توربین ها حدود ۳۰ تا ۴۰ سال است و اعمال تحریم‌ها پس از پیروزی انقلاب موجب شد که در این زمینه صنعت نفت با محدودیت‌هایی مواجه شود که این شرایط زمینه خود اتکایی را هر چه بیشتر برای ما فراهم ساخت. مدیر معین توربین در وزارت نفت تاکید کرد: قاعدتا توربین‌های ملی جایگزین توربین‌های فرسوده آمریکایی می‌شوند و با دستیابی به دانش ساخت توربین گازی علاوه‌بر توسعه صنعتی، مقوله مهم کارآفرینی در صنعت نفت فراهم شده که هم به شکل تخصصی و هم به لحاظ وضعیت اقتصادی و بیکاری جامعه از اهمیت بسیاری برخوردار است.
سلیمانی همچنین به عدم امکان تعمیر توربین‌های تولید آمریکا در مناطق نفت‌خیز جنوب اشـاره کرد و ادامه داد: در گذشـته امکان تعمیر و اجازه این کار را هم نداشـتیم در حالی که هم‌اکنون در مناطق نفت‌خیز جنوب ۷۰ عـدد از این توربین تعمیر اساسی شده و این در شرایطی است که در خاورمیانه هیچ گروهی نمی‌تواند این ادعا را داشته باشد که می‌تواند توربین‌های رولزرویس را اورهال کند در حالی که تنها متخصصان داخلی موفق به این مهم شدند.
او یادآور شد: قبل از نهایی شدن تولید توربین در کشور تمام تعمیرات اساسی را در مناطق نفت‌خیز جنوب با کمک شرکت سازنده این توربین انجام دادیم و امیدواریم در ادامه هیچ وقفه‌ای در امر تولید این توربین نداشته باشیم.

شاپور کریمی، مدیر پروژه ساخت ماشین‌آلات فرآیندی شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب:

توربین ملی نماد توان ایرانی در خاورمیانه است

آقای شـاپور قائدی کریمی مجری پروژه ساخت ماشـین آلات فرآیندی مناطق نفت‌خیز جنوب از موفقیت در بومی‌سازی ساخت توربین‌های گاز و دسترسی به ساخت و تامین قطعات یدگی آنها در کشور خبر داد و افزودند در راستای فرمایشات مقام معظـم رهبری دال بر توجه به سـازندگان داخلی و بومی سـازی صنایع نفت، وزارت نفت گام‌های بزرگ و مثبتی در این راسـتا برداشـته و با اعتماد به سـازندگان داخلی و حمایت همه جانبه، این شـرکت‌ها به دانش ساخت و فناوری تولید توربین‌های گاز دست یافته‌اند و در همین راستا تکنولوژی ساخت توربین‌های گاز کمتر از ۵ مگاوات و قطعات آنها فراهم شده است که بدین وسیله بخش عمده‌ای از نیازهای صنعت نفت که تاکنون از کشورهای خارجی تامین می‌شد، مرتفع گردیده است.
شـاپور قائدی کریمی در اهمیت موضوع ساخت توربین گاز در داخل کشور اشاره نمودند: که نه تنها به لحاظ زمان تامین قطعات بلکه به لحاظ هدررفت و صرف هزینه‌های بسیار زیاد و همچنین انتقال آنها از خارج به داخل کشور ممانعت بعمل آمده و همچنین جوانان تحصیل کرده این مرز و بوم نیز مشغول به کار گردیده‌اند و آموزش‌های صنعتی لازم را فرا گرفته‌اند. ایشـان افزودند: توربین‌های با قدرت بالاتر از ۵ مگاوات از کشـورهای اروپائی و آمریکایی تامین می‌گردند که با توجه به اهمیت و اسـتراتژیک بودن این ماشین‌آلات خصوصا در شرایط کنونی بایستی برای تصاحب تکنولوژی و ساخت آنها توسط سازندگان داخلی و دسترسی به تکنولوژی تولید قطعات آنهـا همت گمارد و قطعا این مهم در صورت حمایت دور از دسترس نخواهد بود.
با توجه به پتانسـیل بالای علمـی و تخصصی

سازندگان داخلی، آقای قائدی کریمی اظهار داشتند: در حال حاضر شرکت توربین ماشین خاورمیانه در زمینه ساخت توربین‌های گاز مورد نیاز صنعت نفت زیر ۵ مگاوات پیشتاز می‌باشد و امید است که با حمایت همه جانبه از شرکت‌ها و منابع داخلی، وابستگی خود را در این زمینه از به حداقل برسانیم. در ضمن دسترسی به این تکنولوژی توسط شرکت‌های داخلی از آن جهت قابل اهمیت خواهد بود که با توجه به حجم ناوگان ماشین‌آلات و تنوع آنها و نیاز به انجام تغییرات بسته به نیاز فعلی و همچنین تعمیرات اساسی از شرایط ویژه‌ای برخوردار می‌باشد و بایستی توجه شود که شرکت‌ها خود را به یادگیری فنون و دانش روز در این زمینه از سازنگان مختلف دنیا موظف نمایند و تمامی تلاش خود را در جهت ارتقاء دانش در ساخت ماشین‌آلات صنعتی و بومی‌سازی بکار گیرند تا بتوان نیازهای صنعت را برطرف و گام‌های خودکفائی را طبق فرمایشات مقام معظم رهبری یکی پس از دیگری برداشته که قطعا جز با حمایت مسئولین محترم امکان‌پذیر نخواهد بود.



هادی زارعی، مدیر پروژه ساخت توربین گاز تیدا (TEEDA) در شرکت توربین ماشین خاورمیانه:

توربین‌های کلاس ۳ تا ۵ مگاوات ستون فقرات شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب است

مدیر پروژه ساخت توربین گازی تیدا (TEEDA) در شرکت توربین ماشین خاورمیانه می گوید: قلب صنعت نفت ایران با توربین‌های زیر ۱۰ مگاوات می‌تپد به همین جهت ساخت توربین کلاس ۴ مگاوات در دستور کار قرار گرفت.

هادی زارعی، مدیر پروژه ساخت توربین گازی تیدا در شرکت توربین ماشین خاورمیانه، در گفت‌وگوی اختصاصی با خبرنگار نشریه در خصوص این توربین گفت: زمینه دستیابی به تکنولوژی ساخت توربین گازی از یک دهه قبل از زمانی که شرکت توربین ماشین خاورمیانه اولین روتورهای توربین گازی را برای صنعت نفت تولید کرد، آغاز شده است.

او ادامه داد: شرکت توربین ماشین خاورمیانه گام‌به‌گام دانش فنی و تکنولوژی‌های متنوع ساخت قطعات توربین را بدست آورد و موفق شد تمامی قطعات مصرفی و اصلی یک توربین را تولید کند.

زارعی با بیان این مطلب افزود: شرکت توربین ماشین خاورمیانه پس از تکمیل و تحویل روتورهای توربین، ساخت قطعات پرمصرف توربین را آغاز کرد و در کنار آن، کارهای مطالعاتی توربین‌های موجود را نیز به طور همزمان شروع کرد و در نهایت موفق شد بومی‌سازی دانش مهندسی و ساخت کامل توربین و همچنین ارتقای توان توربین‌های گازی کلاس ۴ مگاوات را به انجام برساند.

مدیر پروژه ساخت توربین گازی تیدا در شرکت توربین ماشین خاورمیانه عنوان کرد: قلب صنعت نفت با توربین‌های زیر ۱۰ مگاوات می‌تپد، به همین جهت شرکت توربین ماشین خاورمیانه طی سال‌های گذشته، ساخت توربین کلاس ۴ مگاوات را در دستور کار خود قرار داد.

او با اشاره به اینکه صنعت توربین نیاز به تکنولوژی بالایی دارد و وارد کردن هر توربین هزینه بالایی به کشور تحمیل می کند، تصریح کرد: تولید این نوع توربین از دو جنبه صرفه‌جویی ارزی و ارتقای دانش فنی مورد توجه قرار گرفته است، به طوری که علاوه بر مهندسی و ساخت کامل یک توربین، صنعتگران و متخصصان کارآزموده‌ای نیز به صنعت کشور اضافه شده‌اند.

زارعی با بیان اینکه تعداد محدودی از کشورهای دنیا که دارای تکنولوژی پیشرفته هستند، توانایی ساخت توربین را دارند، یادآور شد: شرکت توربین ماشین خاورمیانه برای ساخت توربین گازی تیدا به کمک گروه‌های دانشگاهی و صنعتی توانست سختی‌های موجود در این پروژه را پشت سر بگذارد و به نتیجه مطلوب دست یابد.

مدیر پروژه ساخت توربین گازی تیدا در شرکت توربین ماشین خاورمیانه اذعان کرد: ساخت این توربین در سایه حمایت و همراهی شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب و تلاش بی‌وقفه و حداقل ۲ سال کار متمرکز بیش از ۱۷۰ نفر نیروی متخصص و کارآمد در گروه توربین ماشین خاورمیانه و با به کارگیری و مدیریت زنجیره گسترده‌ای از صنعتگران داخلی تحقق یافته است.

او اشاره کرد: با توجه به توان و تخصص بالایی که در شرکت توربین ماشین ایجاد شده، امکان ساخت توربین‌های گازی در کلاس‌های مختلف وجود دارد. زارعی ابراز امیدواری کرد که با برنامه‌ریزی و دلسوزی مسئولان و دست‌اندرکاران، زمینه استفاده از پتانسیل ایجاد شده در جهت رفع نیازهای صنعت کشور به بهترین شکل ممکن فراهم شد.

شفاءالدین حسینی‌نژاد، مدیر عامل شرکت تامین کالای توربین ماشین خاورمیانه:

آمادگی تولید انبوه توربین TMC-52 وجود دارد

مدیرعامل شرکت تامین کالای توربین ماشین خاورمیانه طی جلسه رونمایی از توربین کلاس ۴ مگاوات اظهار داشت: در حال حاضر اقلام تولید انبوه ۵۰ دستگاه کامل توربین فراهم شده است.
سید شفاءالدین حسینی‌نژاد در گفت‌وگو با خبرنگار نشریه در خصوص توربین گاز بومی‌سازی شده با قدرت ۴۵۰۰ اسب بخار گفت: نزدیک به ۲۷۰۰ قلم کالا در شرکت تامین کالای توربین ماشین خاورمیانه، مهندسی و ساختع شده که ۶۵۰ قلم آن متعلق به توربین مذکور است.
او با اشاره به اینکه تکنولوژی‌های مربوط به ساخت توربین در این شرکت توسعه داده شده، تصریح کرد: در توربین TMC -52 که توسط شرکت توربین ماشین خاورمیانه ساخته شده، نزدیک به ۵۰۰۰ قلم قطعه ساخته شده است. این در حالی است که ۶-۵ دستگاه کالا برای توربین ساخته و قالب‌ها و ابزار برای ساخت ۵۰ دستگاه توربین فراهم شده است.
حسینی‌نژاد ادامه داد: توسعه تکنولوژی‌های ساخت توربین مذکور به صورت کامل در شرکت تامین کالای توربین ماشین خاورمیانه انجام پذیرفته و دانش آن به صورت کامل بومی شده و نیاز ویژه‌ای به استفاده از دانش و تجهیزی در خارج از کشور نیست.
او اظهار داشت: به منظور داخلی‌سازی این تکنولوژی به توسعه دانش بیش از ۴۰ روش ساخت نیاز بوده است که طی یک برنامه‌ریزی دوساله، این دانش ایجاد و توسعه داده شده و برای بعضی از این موارد ثبت اختراع هم شده است.
او با بیان اینکه حدود ۹۰ هزار نفر ساعت صرف مهندسی، ارتقاء و ساخت پروژه توربین گازی مذکور شده است، افزود: در زنجیره تامین نزدیک به ۳۰۰ هزار نفر ساعت به طور مستقیم و غیر مستقیم همکاری کرده‌اند که در مجموع از چند صد دستگاه تولیدی در فضایی بالغ بر ۳۰۰۰۰ متر مربع استفاده شده است.
حسینی‌نژاد در ادامه به بیان دیگر خدمات ارائه شده توسط شرکت تامین کالای توربین ماشین خاورمیانه پرداخت و گفت: دانش ساخت و تجاری سازی بیش از ۲۶۰۰ اقلام متنوع مربوط به انواع ماشین‌آلات دوار شامل توربین، پمپ و کمپرسور توسط این شرکت بومی‌سازی شده و علاوه بر مهندسی معکوس، بازطراحی و ارتقای کارکردی و عملکردی نیز داده شده است. او اعلام کرد: استراتژی این شرکت بر سرمایه‌گذاری در بخش تربیت نیروی انسانی در زمینه ایجاد دانش مهندسی ماشین‌های دوار و به طور اختصاصی توربین‌های گازی بنا شده است و در این زمینه توانسته علاوه بر تولید محصولات متنوع، ارزش افزوده‌ای ملی در جهت تربیت نیروی متخصص و زنجیره تامین تخصصی در این زمینه ایجاد کند.
حسینی‌نژاد با اشاره به اینکه برون‌سپاری فرآیندهای ساخت در زنجیره تامین جزو استراتژی‌های این شرکت قرار دارد، افزود: شرکت تامین کالای توربین ماشین خاورمیانه، با ایجاد یک زنجیره تامین تخصصی مبتنی بر دانش مدیریت زنجیره‌های تامین شامل ۸۰ شرکت پیمانکاری در زمینه‌ها و تخصص‌های متنوع و سطوحی مختلف همکاری داشته است تا قطعات مورد نیاز محصولات شرکت را با توجه به مختصات تعریف شده، ساخته، کنترل و تحویل دهند.
مدیر عامل شرکت تامین کالای توربین ماشین خاورمیانه ادامه داد: این شرکت در راستای نیل به دستیابی به جایگاه بین‌المللی در تولید باکیفیت قطعات ماشین‌های دوار، موفق به دریافت گواهینامه ISO9001 مدیریت کیفیت شده و برای اولین بار در کشور سیستم جامع مدیریت زنجیره ساخت و تامین را به صورت دیجیتال راه‌اندازی کرده که با استفاده از آن فرآیندهای تولید را نظارت و مدیریت می‌کند.

کاوه قربانیان، نایب رییس هیئت مدیره شرکت توربین ماشین خاورمیانه:

ورود به باشگاه سازندگان توربین گاز

کاوه قربانیان نایب رییس هیئت مدیره شرکت توربین ماشین خاورمیانه در گفت‌وگو با خبرنگار نشریه با بیان اینکه در حال حاضر ستون فقرات کشور ایران صنایع نفت و گاز آن کشور است، اشاره کرد که نیز ستون فقرات صنایع نفت و گاز هم یقینا ماشین‌آلات دوار هستند که در بین این ماشین‌آلات، توربین‌های گاز از جایگاه بسیار ویژه‌ای برخوردار است و از آنجا که در دنیا تعداد سازندگان توربین‌های گاز از تعداد انگشتان دست کمتر است، لذا تکنولوژی توربین‌های گاز در زمینه‌های متفاوت خواه در ساخت قطعات، ارتقاء و یا نصب و راه‌اندازی و به سادگی به کشورهای در

حال توسعه انتقال نمی‌یابد. او افزود: در حال حاضر به واسطه تحریم‌ها دست‌آوردهای مهمی چون ساخت داخلی قطعات حساس توربین، تعمیرات اساسی و نصب و راه‌اندازی ماشین‌آلات دوار در صنعت نفت را با تکیه بر توان داخلی پیش بردیم. در این راستا حتی به ارتقاء و طرح‌های توسعه‌ای دست پیدا کردیم و امروز موفق به بومی‌سازی و ساخت داخلی یک توربین گاز شده‌ایم که یکی از خوش‌نام‌ترین توربین‌های گاز در حال بهره‌برداری در ایران و جهان است.

نایب رییس شرکت توربین ماشین خاورمیانه همچنین ادامه داد: شرکت سازنده این توربین گاز ملی (شرکت توربین ماشین خاورمیانه) از ۱۳ سال پیش ابتدا با تعمیرات این توربین گاز فعالیت خود را آغاز کرد و با ساخت قطعات به‌تدریج و به موازات تعمیرات موفق شد در تولید قطعات آن به خودکفایی برسد تا جایی که امروز تمام قطعات را تولید و زمینه ساخت کامل توربین را در مدت ۱۳ سال فراهم کرده است.

قربانیان با بیان اینکه هم اکنون ۱۰۰ درصد این توربین گاز ساخت داخل کشور است، عنوان کرد: در کنار دستیابی به دانش ساخت این توربین گاز موفق به حصول دانش تحلیل مهندسی این توربین نیز شده‌ایم. این دانش دیسیپلین‌های مختلفی چون حرارت، مواد، سیالات، ارتعاشات، کنترل، سازه و ترمودینامیک تشکیل شده و خوشبختانه در این راستا به دانش مهندسی ارتقاء نیز دست یافته‌ایم. او خاطر نشان کرد: تولید این کلاس از توربین گاز تا قبل از بومی‌سازی آن در داخل کشور، در انحصار کشورهایی همچون آمریکا، انگلیس، آلمان، فرانسه، ژاپن و روسیه بوده است.

دانش ساخت توربین گاز صد در صد بومی شد

نایب رییس شرکت توربین ماشین خاورمیانه یادآور شد: اتفاق مهم تنها در ساخت این توربین گاز نبوده است بلکه بیشتر در بومی‌سازی دانش آن است که تمام دانش مهندسی ساخت، مهندسی تحلیل و مهندسی ارتقاء در کشور به واسطه همت نخبگان این مرز و بوم میسر شد، بدون آنکه بخواهیم دست کمک به مهندسان، شرکت‌ها و کشورهای خارجی دراز کنیم. لذا صد در صد این دانش که بومی شده و همچنین این محصول به طور کامل متعلق به ایران است و می‌تواند در مجموعه‌های توربوپمپ و توربوکمپرسور به کار گرفته شود که در صنعت نفت، گاز و پتروشیمی بسیار زیاد به آن در طرح‌های جاری و توسعه‌ای نیاز است. قربانیان همچنین عنوان کرد: این توربین گاز می‌تواند در سیستم‌های تولید برق و آب‌شیرین‌کن و نیز بصورت پراکنده و ترکیبی نیز به کار گرفته شود. همانطور که می‌دانید در حال حاضر کشور ما در بحران آب به سر می‌برد و قطعا عبور از بحران آب به سادگی امکان‌پذیر نخواهد بود. این طرح نوین را با وزارت نیرو و سازمان‌های ذی‌ربط مطرح کردیم و خوشبختانه مورد استقبال و مورد تایید فنی مسئولان محترم وزارت نیرو نیز واقع شده که حال نیز به پشتیبانی مالی به لحاظ اجرایی‌سازی آن نیاز دارد.

محمد طاهرخانی، مدیرعامل شرکت توربین کمپرسور آسیا:

ساخت کامل دو دستگاه روتور کمپرسور سانتریفیوژ فرآیندی بورسیگ

مدیرعامل شرکت توربین کمپرسور آسیا از ساخت ۲ دستگاه روتور کمپرسور بورسیگ آلمانی به روش مهندسی معکوس و بومی‌سازی دانش فنی آن خبر داد. محمد طاهرخانی در گفت‌وگو با خبرنگار نشریه اظهار کرد: در حال حاضر شرکت توربین کمپرسور آسیا، ساخت، تعمیر، طراحی و ارتقای مجموعه و قطعات کمپرسورهای گریز از مرکز توربین‌های بخار و انواع پمپ‌ها را در دستور کار قرار داده است.

او تصریح کرد: شرکت توربین کمپرسور آسیا بر روی مبحث ارتقای بهره‌وری فعالیت می‌کند و کاهش زمان و هزینه افزایش کیفیت را در خصوص فعالیت‌های شرکت سرلوحه خود قرار داده است

او اعلام کرد که در طی دو سال گذشته در این شرکت تعداد ۲۴ دستگاه روتور کمپرسور گریز از مرکز از سازندگان گوناگون و با تکنولوژی‌های متفاوت تعمیرات اساسی و یا ساخته شده که در این زمینه بومی‌سازی تکنولوژی و دانش ساخت آن در داخل شرکت انجام شده است. شایان ذکر است که در گذشته جهت ساخت یک دستگاه روتور ۶ ماه تا یک سال زمان لازم بود و چندین برابر هزینه امروز در برداشت. او در بیان حساسیت و ضرورت بومی‌سازی روتور کمپرسورهای گازی تصریح کرد: با توجه به وجود مخازن مشترک گاز با کشورهای همسایه، ارزش فعال نگه داشتن این دستگاه‌ها به مراتب از هزینه تعمیرات آن بیشتر است که با بومی‌سازی آن در داخل کشور صرفه‌جویی قابل توجهی به عمل خواهد آمد.

طاهرخانی ادامه داد که رسوب مدارک به صورت مستندات دانش فنی و تکنولوژی تعمیر و نگهداری برای سازندگان و بهره برداران نگاشته شده است، چرکه پیش‌تر در کنار خدماتی که از خارج کشور ارائه می‌شد، این کتابچه‌ها به هیچ عنوان در اختیار بهره‌برداران ایرانی قرار نمی‌گرفت.

طاهرخانی افزود: شرکت توربین کمپرسور آسیا توانسته با استفاده از استانداردهای روز دنیا کار تعمیرات و ساخت را کاملا منطبق بر استانداردهای جهانی همچون API انجام دهد و مستندات کاملی را در اختیار بهره‌بردار قرار بدهد.

او در پایان اشاره کرد: خدمات ارائه شده از سوی این شرکت، صدها هزار دلار صرفه‌جویی ارزی را به همراه داشته است.

شرکت توربین کمپرسور آسیا بر روی مبحث ارتقای بهره‌وری فعالیت می‌کند و کاهش زمان و هزینه افزایش کیفیت را در خصوص فعالیت‌های شرکت سرلوحه خود قرار داده است

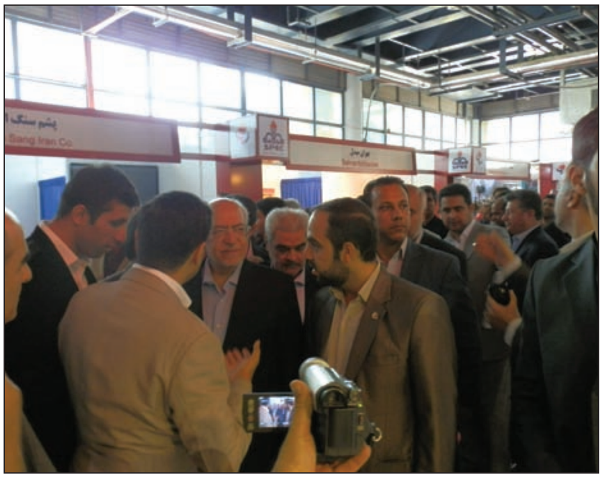
حضور گروه توربین ماشین خاورمیانه در بیستمین نمایشگاه بین المللی نفت و گاز سال ۱۳۹۴

آیینه‌ای از اعتماد صنعت

بیستمین نمایشگاه بین‌المللی نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی با حضور بیش از ۱۲۰۰ شرکت داخلی و ۸۰۰ شرکت خارجی از ۳۲ کشـور و با حضور جناب آقای مهندس زنگنه وزیر نفت، نمایندگان مجلس شورای اسلامی و برخی از سفیران کشورها و نمایندگان رسـانه‌های خارجـی از ۱۶ تا ۱۹ اردیبهشـت ماه در محل دائمی نمایشـگاه‌های بین‌المللی تهران برگزار شد.

» بازدید معاون اول رئیس جمهور دکتر جهانگیری و وزیر نفت مهندس زنگنه از غرفه شرکت توربین ماشین خاورمیانه

» غرفه شرکت توربین ماشین خاور میانه



» بازدید وزیر محترم صنعت، معدن و تجارت آقای مهندس نعمت‌زاده

» معاون اول رئیس جمهور آقای دکتر جهانگیری و وزیر نفت آقای مهندس زنگنه

» بازدید معاون پژوهش و فناوری وزارت نفت آقای دکتر مقدم

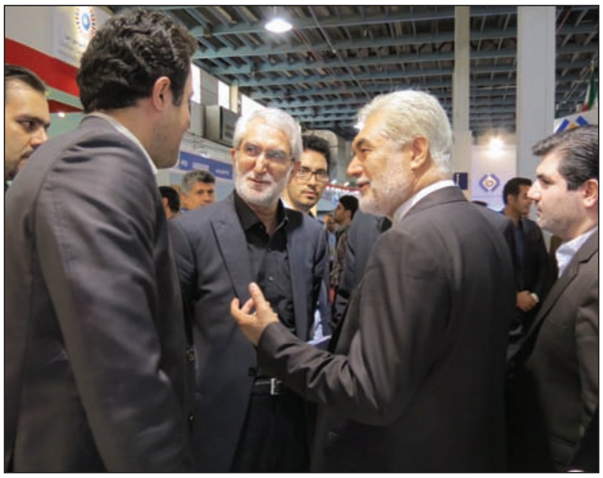
» بازدید آقای مهندس ترکان

نمایشگاه بین‌المللی نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی ایران به‌عنوان بزرگ‌ترین رخداد صنعتی و تجاری ایران در این حوزه که سالانه با حضور جمع کثیری از شرکت‌های توانمند داخلی و خارجی در زمینه صنعت نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی برپا می‌شود، فرصت بسیار مغتنمی است تا شرکت‌های فعال در این صنعت دستاوردها و محصولات خود را در معرض بازدید دست‌اندرکاران و متخصصان این صنعت قرار دهند و با در نظر گرفتن روند تقاضای بازارها و سمت و سوی رشد این صنعت، فعالیت‌ها و نوآوری‌های آتی خود را هدایت کنند.

ایران به‌عنوان دومین تولیدکننده نفت در کشورهای عضو اوپک، با در اختیار داشتن ۱۱ درصد از کل ذخایر نفت جهان و ۱۸ درصد از ذخایر گاز طبیعی، هر ساله میزبان نمایشگاه بین‌المللی نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی است که از نظر گستردگی و تعدد شرکت‌کنندگان در زمره پراهمیت‌ترین نمایشگاه‌های تخصصی در حوزه صنعت نفت و گاز جهان به شمار می‌آید.

گروه توربین ماشین خارمیانه امسال نیز همانند نمایشگاه‌های سال‌های پیش پذیرای مسئولان عالی‌رتبه، مدیران، همکاران و دست‌اندرکاران صنعت نفت، گاز و پتروشیمی، هیئت‌های

» معاون اول رئیس جمهور آقای دکتر جهانگیری و وزیر نفت آقای مهندس زنگنه



» بازدید آقای مهندس مروی رئیس کمیسیون انرژی مجلس شورای اسلامی و هیئت همراه

» بازدید آقای مهندس جوادی مدیرعامل شرکت ملی نفت ایران

عالی‌رتبه، همکاران و عمـــوم بازدیدکنندگان از شرکت‌های معتبر داخلی و خارجی در غرفه خود در سالن میلاد و همچنین غرفه فضای باز به همراه بازدید از پکیج توربوژنراتور صد در صد ســاخت داخل بود.

شرکت‌های توربین ماشـــین خاورمیانه، توربین کمپرسور آسیا و شـــرکت تامین کالای توربین ماشـــین خاورمیانه به نمایندگی از گروه توربین ماشین خاورمیانه در این رویداد صنعتی حضور بهم رساندند. غرفه شرکت توربین ماشین خاورمیانه مورد بازدید تعدادی از مسئولان دولتی و مدیران تراز اول کشور همچون معاون اول رئیس جمهور جناب آقای دکتـــر جهانگیری، وزیر محترم نفت جناب آقای مهندس زنگنه، مشـــاور ارشد رئیس جمهور جناب آقای مهندس ترکان، وزیر محترم صنعت، معـــدن و تجارت جنـــاب آقای مهندس نعمت‌زاده، معاونت محترم پژوهش و فناوری وزارت نفت جناب آقای دکتر مقدم، معاون محترم وزیر نفت و مدیر عامل شـــرکت ملی نفت جناب آقای مهندس جوادی و همراهان ایشان قرار گرفت.

شرکت دانش بنیان تامین کالای توربین ماشین خاورمیانه به عنوان یکی از زیرمجموعه‌های اصلی گروه توربین ماشین خاورمیانه و یکی از معتبرترین شرکت‌های تولیدکننده تخصصی تامین قطعات

بازدید آقای مهندس کاظمی، معاون وزیر نفت و مدیر عامل شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده های نفتی و هیئت همراه از غرفه شرکت تامین کالای توربین ماشین خاورمیانه

دیدار آقای مهندس عبدلی رئیس تعمیرات مکانیک مجتمع پارس جنوبی با مدیران ارشد شرکت

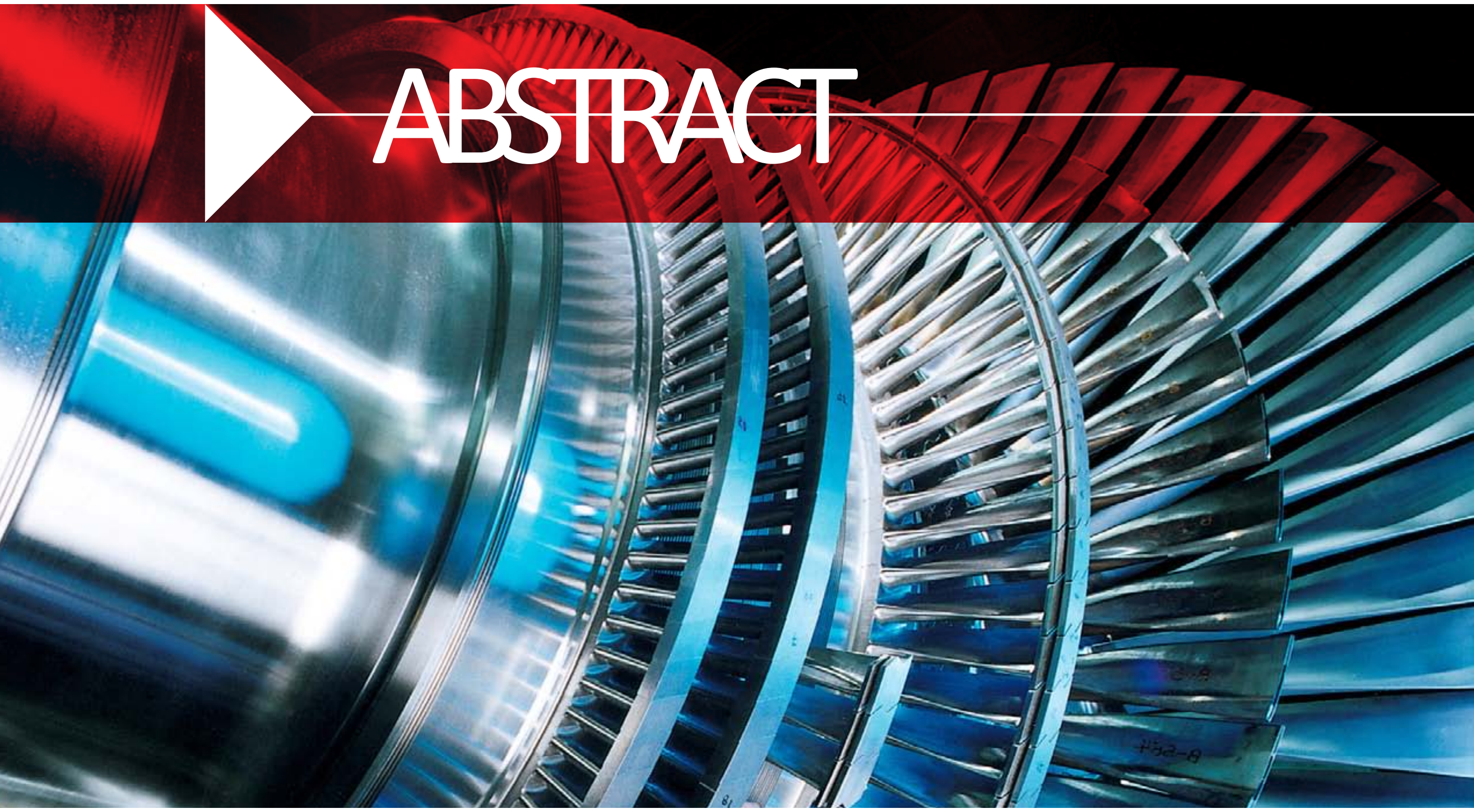
دیدار بازدید کننده های شرکت های خارجی با نماینده شرکت تامین کالا

دیدار آقای مهندس واحدی، رئیس مهندسی ساخت کالای مدیریت تدارکات و امور شرکت مناطق نفت‌خیز جنوب با نمایندگان شرکت توربین ماشین

مورد مصرف در ماشین آلات دوار، با تجربه سال‌ها کار مهندسی و اجرایی با استانداردهای تخصصی و تولید قطعات و مجموعه‌های دوار نظیر API و نیز استانداردهای شاخص ISO و ... به ساخت و تامین قطعات مورد نیاز شرکت مادر و همچنین اقدام به ارائه محصولات باکیفیت بالا در ایران کرده که بیش از پیش در این نمایشگاه حضوری فعال داشته و به صورت مجزا از شرکت مادر شروع به فعالیت‌های بازرگانی و توسعه بازار فروش کرده که در این زمینه فعالیت‌های قابل توجه‌ای صورت پذیرفته است.

شرکت توربین کمپرسور آسیا که به‌عنوان یک شرکت دانش‌بنیان در گروه توربین ماشین خاورمیانه در بخش توربین بخار، کمپرسور، پمپ و توربواکسپندر در زمینه ساخت، تعمیر، بازسازی، تامین قطعات و مجموعه توربین بخار، توربواکسپندر کریواستار، اطلس کوپکو و کمپرسورهای سانتریفیوژ سولار، الیوت، کوپربسمر، نئوپینیونه، دماگ دلاوال، کلارک و ترموداین و .... فعالیت دارد، در بیستمین نمایشگاه بین‌المللی نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی حضوری فعال داشت که منجر به ایجاد زمینه‌های همکاری بیشتر با سازندگان و بهره‌برداران تجهیزات صنعت نفت و گاز شد و با استقبال بیش از پیش کارفرمایان و مقامات عالی‌رتبه روبه‌رو شد. در این نمایشگاه شرکت توربین کمپرسور آسیا از روتور کمپرسور سانتریفیوژ بورسیگ که به طور کامل توسط نیروهای جوان و متخصص کشورمان ساخته و بومی‌سازی شده بود رونمایی کرد.

بیستمین نمایشگاه بین‌المللی نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی با شعار تقویت ساخت داخل با اتکا بر اصول اقتصاد مقاومتی، از ۱۶ اردیبهشت ماه آغاز و تا ۱۹ اردیبهشت ماه در محل دائمی نمایشگاه های بین‌المللی تهران به کار خود پایان داد.



Control and Safety Systems for TurboMachinery

6

All plant workers want to reduce the safety risk associated with turbomachinery operation while avoiding nuisance trips. The goal is to run machines in an efficient manner. In this context, safety risk refers to catastrophic events, such as turbine over speeding, which can lead to severe injury or death, not to mention lost revenue and extensive repairs. It is crucial to realize that SIL rating is not synonymous with higher levels of availability. Proper use of redundancy, diagnostic coverage and control algorithms allow non-SIL rated control systems to achieve similar availability levels to SIL-rated system.

A Study on Variation of Performance of Axial Copressor in TEEDA Due to Different Variable Vane Settings

7

In this study, variation of axial compressor performance of TEEDA due to change of setting of variable inlet guide vane and the first and second stator vanes is of interest. A drastic change of geometry yields to change of performance map of the axial compressor and affects the matching of the components and overall performance of the gas turbine. First, a literature study on the topic is done and the simplified mechanism of the variable vanes is explained. Different performance maps consisted of multiple constant speed curves in mass flow – pressure ratio plain are produced and compared afterward. The results are meant to be used in order to produce a correlation for optimum IGV setting in various ambient condition, loadings and TIT ratings.

ABSTRACT

Simulation of Secondary Air System and Conjugated Heat Transfer within Cavities and Rotating Disks of TEEDA

3

Increasing TIT is a common practice and one of the most effective methods of upgrading a gas turbine. An improvement in material and cooling techniques may be required to maitain the life objective and TBO of the hot section parts. In the current study,3D simulation of the flow through the shaft, passing the cooling holes and within the cavities has been done using CFX solver. Conjugate heat transfer of fluid and solid is also included in order to calculate the temperature distribution inside the disk. Further, various cooling schemes and mass flows are compared and discussed.

Development of TEEDA Performance Simulator

4

In recent decades, improvement in computation power of the industrial and desktop computers has made the simulators reliable replacement for expensive tests of rotating systems in design and development process of the product as well as fault diagnosis. In this study, theories and development steps of TEEDA performance simulator is discussed. The software has a computing core developed in FORTRAN which is linked to a C# based graphical user interface as a dynamic-link library. The simulator is capable of calculation of power, fuel consumption, gas generator and free turbine rotating speeds as well as temperature, mass flow and pressure at the intersection of the main components, being air compressor, combustor chamber, compressor turbine and power turbine. At this stage the simulator is only capable of running steady states for different settings of variable geometry setting and various ambient conditions. Future developments of the software is planned in order to simulating turbo-pump and turbo-compressor packages as well as real-time transient simulation of performance where a new design of the control system is of concern.

CFD Simulation of Flow through Axial Compressor and Turbine of TEEDA

5

In this study simulation of flow through eleven-stage axial compressor and three-stage axial turbine of TEEDA is performed using 3D steady simulation of flow in ANSYS CFX software. The computational domain consists of single passage between two blades in each row which means all of the stages are simulated simultaneously. At the interface of the rotating and stationary rows, the so called “stage” condition is implemented by which an average boundary condition representing the frame rotation is applied between the rows. The lower and upper boundary conditions are of periodic type obviously. The results are shown and the flow condition is discussed and compared in number of stages.

ABSTRACT

1 Turboexpander

This article introduces Turboexpanders and their applications in across various indutries such as cryogenic, gas separation, energy extraction from heat sources and gas pressure let down In a specific case, pressure reduction of natural gas in transport lines and turboexpander advantages is in such application is investigated. After reviewing turboexpander main components and design methods and procedures, a basic and preliminary design for an impeller of a gas pressure reduction turboexpander is presented. Results of this study could be used in 3D and detailed design of turboexpanders.

2 Turbine Market in the US 2015-2019 - Market Landscape, Growth Prospects and Key Vendors

A turbine is a mechanical device consisting of revolving rotors and blades that transforms rotational energy into usable energy. The fluid used for the rotation can be steam, gas, or other combustion products such as CO2 and carbon monoxide. There are three types of turbines namely steam turbines, gas turbines, and CCGT. Steam turbines extract thermal energy from steam and converts it into mechanical energy. Gas turbines are generally used in gas-fired power plants wherein an internal combustion engine is placed, in which the fuel is mixedwith air and ignited. Because of the growing awareness about the environmental pollution caused by thermal power plants, most of the newly constructed gas-fired power plants are CCGT plants. The analysts forecast the turbine market in the US to grow at a CAGR of 0.9% in terms of installations over the period 2014-2019.

معرفی شرکت آرون پتروتک شریف

شرکت آرون پتروتک شریف

- **مدیر عامل: ناصر صداقتی**
- **میزان تحصیلات:**
- **کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک از دانشگاه صنعتی شریف**
- **کارشناسی ارشد MBA از دانشگاه صنعتی شریف**

ARON PetroTech

بی شک در جهان امروز، داشتن تعهد و تخصص کافی، بهره گیری از دانش بالا و تجهیزات پیشرفته و بروز، عوامل اصلی موفقیت در صنایع مختلف، بخصوص صنعت تاثیر گذار نفت و گاز خواهند بود. این مجموعه در حال حاضر با در اختیار داشتن تیم مهندسی، فروش و بازرگانی تخصصی قابلیت تامین تجهیزات مورد نیاز و قطعات یدکی آنها، در صنایع مختلف کشور را دارد.
آرون پتروتک مفتخر است تا از طریق همکاری مستمر با شرکت های معتبر بین المللی و بهره گیری از دانش، تجارب نیروی انسانی کارآمد و حس مسئولیت پذیری، با ارائه خدمات مهندسی و تامین تجهیزات اصلی صنعت نفت و گاز، در راستای شکوفایی و اعتلای هر چه بیشتر میهن عزیزمان، گام بردارد.
خرسندیم که با فعالیت های هدفمند و نگاهی مشتری مدارانه، با گذشت عمر کوتاهی از فعالیت این شرکت توانسته ایم اعتماد صاحبان صنایع مختلف در کشور را، به خود جلب نماییم.

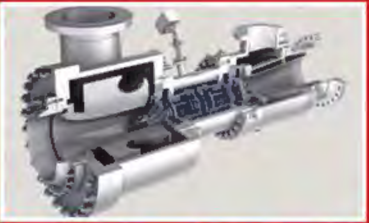
معرفی شرکت

شرکت آرون پتروتک در پاییز ۱۳۸۸ با هدف خدمات رسانی و تامین تجهیزات تخصصی صنایع مختلف به ویژه صنایع نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی تاسیس گردید. موسسین این مجموعه جمعی از دانش آموختگان دانشگاه صنعتی شریف می باشـــند که با تجارب ارزنده ای در حوزه های سرمایه گذاری و بازرگانی بین الملل و با هدف ایجاد ارتباط فنی و تخصصی بین صاحبان صنایع و تامین کنندگان، همواره در راستای رفع نیاز های آنها فعالیت می کنند. زیر ساخت های اقتصادی و مدیریتی توانمند این شرکت با همراهی بسیار نزدیک مراکز صنعتی و تخصصی و شرکت های صاحب فناوری داخلی و خارجی موجب شد تا مجریان طرح‌های مختلف صنعتی در ایران به ســـرعت بر توانمندی های این مجموعه اعتماد کنند. ارائه خدمات مهندسی و بازرگانی، تامین ماشین آلات، تجهیزات، دستگاه‌ها، قطعات یدکی، مواد اولیه و افزودنی، همچنین صادرات خدمات فنی و مهندسی، کالاهای صنعتی، محصولات پتروشیمی و فرآورده های نفتی و سرمایه گذاری در زمینه های مرتبط از جمله فعالیت های پیوسته و پایدار این مجموعه است.
شرکت آرون پتروتک، بعنوان یکی از زیرمجموعه های گروه توربین ماشین خاورمیانه، زیرساخت های فنی، مهندسی و کارگاهی لازم و همچنین ارتباط تنگاتنگ با مجریان پروژه های EPC جهت فروش محصولات را در اختیار دارد.
تامین تجهیزات و قطعات یدکی عنوان شده در زیر، تنها جزئی از توانمندی های این مجموعه می باشد:

- انواع توربین های گاز و بخار
- کمپرسور گریز از مرکز و رفت و برگشتی
- گیربکس
- انواع پمپ های صنعتی
- راکتورها و مخازن تحت فشار
- توربو کمپرسور و الکترو کمپرسور
- توربو ژنراتور و دیزل ژنراتور
- موتور رفت و برگشتی گاز و دیزل
- انواع شیرهای صنعتی
- برج، ستون و اتوکلاو ها
- توربو اکسپندر
- توربو پمپ و الکترو پمپ
- موتور الکتریکی
- پکیج های مولد گاز
- تجهیزات ابزار دقیق

TURBINE
MACHINE
توربین
ماشین
۸۸۵۶۲۲۹۴-۵
برای اشتراک فصلنامه توربین ماشین
با ما تمـــــاس بگیریـــــد
info@turbinemachinemagazine.com

TURBINE MACHINE

5

SCIENCE, TECHNOLOGY & MANAGEMENT