توربین ماشین

۳

فصلنامه علوم، فنون و مدیریت توربین ماشین؛ شماره ۳، تابستان ۹۳؛ قیمت: ۱۵/۰۰۰ تومان

مراسم رونمایی از موتور توربوژنراتور کلاس ٤ مگاوات ساخت داخل توسط شرکت توربین ماشین خاورمیانه

تولید همزمان برق و آب شیرین

جوان‌سازی و تعمیر قطعات ناحیه داغ توربین‌های گاز

فناوری نانو در توربین‌های گاز

میکروتوربین و تولید همزمان برق و حرارت

TURBINE MACHINE NO.3
Science,Technology & Management

سرمقاله

با سلام و درود حضور خوانندگان محترم شماره سوم نشریه علوم، فنون و مدیریت توربین ماشین،
سپاس پروردگار بزرگ را که بار دیگر توفیق حضور در جمع مخاطبان محترم نشریه توربین ماشین را به خانواده این نشریه عطا نموده است. دریافت نظرات ارزشمند شما در دو شماره گذشته، مایه مباهات، دلگرمی و راهنمای ما در چاپ این شماره بوده است.

در شماره سوم نشریه، شاهد یک ویژه نامه نیز خواهید بود که به مناسبت رونمایی از موتور توربو ژنراتور کلاس ۴ مگاوات در اسفند ماه سال ۱۳۹۲ به عنوان محصول جدید شرکت توربین ماشین خاورمیانه، تهیه شده است. این پروژه با حمایت و سرمایه‌گذاری سازمان گسترش و نوسازی ایران تکمیل شده است. به همین منظور، بخشی از مطالب این شماره به این رویداد مهم و مراسم رونمایی از این محصول توسط رئیس وقت هیات عامل سازمان گسترش و نوسازی ایران اختصاص داده شده است.

در بخش پایانی این شماره، تجربیات ارزشمند به دست آمده طی بیش از یک دهه فعالیت عزیزان دست‌اندرکار و در حین فرآیند ساخت این محصول، به عنوان اولین توربین گاز ساخت داخل کشور با تکنولوژی صد در صد بومی‌سازی شده، در قالب مصاحبه‌ها، یادداشت‌ها، گزارش‌ها و مقالات علمی توسط گروه‌های مختلف فعال در انجام این پروژه ملی، نگارش شده و در این شماره به چاپ رسیده است.

علاوه بر این ویژه‌نامه، در این شماره نیز همانند قبل تلاش شده است به نشر مطالب تخصصی و کاربردی صنعت ماشین‌های دوار در حوزه‌های عملیاتی و کاربردی نیز پرداخته شود. اخیرا وزیر محترم نفت ابلاغ فرموده‌اند که صنعت نفت به ۱۰ خانواده کالای اساسی بیش از دیگر کالاها نیاز دارد که تجهیزات سر چاهی، تجهیزات درون‌چاهی و ماشین‌های دوار از جمله این کالاها هستند. همچنین با توجه به اشراف ایشان به آسیب‌پذیر بودن کشور در زمینه ماشین‌های دوار در صنعت نفت، گاز و پتروشیمی، علاقه‌مندی وزارت نفت را به حمایت از سرمایه‌گذاری در بخش طراحی و ساخت توربین، پمپ و کمپرسور ابراز نموده‌اند. در همین راستا، در این شماره نیز به چاپ مقالات تخصصی در حوزه‌های مختلف مرتبط با صنعت ماشین‌های دوار پرداخته شده است.

همانطور که خوانندگان محترم استحضار دارند، کاهش نزولات آسمانی و کمبود آب شرب در کشور موجب توجه بیشتر به تولید آب شیرین از آب دریا شده است. لذا، تولید همزمان برق و آب یکی از حوزه‌های فعال و مرتبط با صنعت توربین گاز می‌باشد که در این شماره، مقاله‌ای در خصوص این مهم اختصاص داده شده و در آن مسائل مربوط به تولید همزمان برق و آب مورد بررسی قرار گرفته است.

در انتها، از عزیزان خواننده تقاضا داریم که با ارائه پیشنهادات و انتقادات ارزشمند خود، ما را در بالابردن هرچه بیشتر کیفیت این نشریه یاری رسانند.

پدرام حنفی زاده
سردبیر

سوپر آلیاژهای پایه نیکل مورد استفاده در توربین گاز ۴
سید حمزه باغجری، احمد ملکان، جواد تقی زاده صدقیانی

تغییر آرایش الکترو کمپرسور گریز از مرکز تک مرحله‌ای ۸
احمد حیدری، جواد تقی زاده صدقیانی، جعفر هاشمی دریان، مهدی طاهری مقدم

تدوین دانش فنی ریخته گری پره های ناحیه داغ توربین گاز ۱۲
احمد ملکان، سید حمزه باغجری، جواد تقی زاده صدقیانی

معرفی انواع ژورنال بیرینگ‌ها در ماشین آلات دوار و بررسی اصول طراحی آن‌ها ۱۶
بهنام نوری، علیرضا سیفی، هدیه عربکوهی

فناوری نانو در توربین‌های گاز ۲۰
مهدیه صفیاری، احمد حیدری، علیرضا سیفی

تولید همزمان برق و آب شیرین ۲۴
فریبا جهانمردی، محمدرضا امینی‌مقام، کاوه قربانیان

پوشش‌های دمای بالا ۳۰
الناز میرطاهری، شهاب میرآقائی

میکروتوربین و تولید همزمان برق و حرارت ۳۴
سینا طاهری، محمدرضا امینی مقام، کاوه قربانیان

جوان‌سازی و تعمیر قطعات ناحیه داغ توربین‌های گاز ۴۶
نوذر انجبین، روزبه منصوری

بررسی پتانسیل ارتقای توربین گاز سولار سنتار با روش ارتقای کمپرسور ۵۲
محمدرضا امینی مقام، کاوه قربانیان، ارشیا تافته

مراسم رونمایی از «موتور توربوژنراتور کلاس ٤ مگاوات» ۵۸

بازتاب خبری مراسم رونمایی از موتور توربوژنراتور ٤ مگاوات ساخت داخل توسط شرکت توربین ماشین خاورمیانه ۶۶

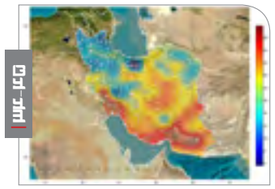
نوزدهمین نمایشگاه بین‌المللی نفت، گاز و پتروشیمی ۷۰

نمایشگاه دستاوردهای شرکت‌های دانش بنیان و فناور دانشگاه صنعتی شریف ۷۲

بیست و دومین کنفرانس مهندسی برق ایران ۷۳

ص-۱۲

ص-۱۲


ص-۱۲

ص-۱۲

ص-۱۲

ص-۱۲

TURBINE MACHINE
Science, Technology & Management

فصلنامه توربین ماشین
علوم، فنون و مدیریت
شماره ۳؛ تابستان ۹۳
شماره پیاپی: ۳، قیمت: ۱۵/۰۰۰ تومان
صاحب امتیاز: توربین ماشین خاورمیانه
مدیر مسئول: حسن هلالی

سردبیر: پدرام حنفی‌زاده
مدیر اجرایی: حسن مجیدپور
گروه اجرایی: سارا جوادزاده، حامد محدث دیلمی

همکاران تحریریه در این شماره:
محمدرضا امینی‌مقام، نوذر انجبین، سید حمزه باغجری، ارشیا تافته، جواد تقی‌زاده صدقیانی، فریبا جهانمردی، احمدحیدری، علیرضا سیفی، مهدیه صفیاری، سینا طاهری، مهدی طاهری مقدم، هدیه عربکوهی، کاوه قربانیان، احمد ملکان، روزبه منصوری، شهاب میرآقائی، الناز میرطاهری، بهنام نوری، جعفر هاشمی دریان

گرافیک و صفحه آرایی: خانه نو، تلفن: ۸۸۰۵۹۰۰۷
مدیر هنری: سعید آقاموسی
چاپ: آئین چاپ

تلفکس: ۵-۸۸۵۶۲۲۹۴
کد پستی: ۸۳۷۴۱-۱۴۶۶۹
صندوق پستی: ۱۱۵۴-۱۴۶۶۵
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.

شکل ۱- پره‌های توربین ساخته شده از آلیاژهای پایه نیکل

سوپر آلیاژهای پایه نیکل مورد استفاده در توربین گاز

سید حمزه باغجری[۱]، احمد ملکان[۲]، جواد تقی زاده صدقیانی[۳] به‌منظور توسعه توربین‌های گاز مصرفی در هواپیماها و افزایش دماهای کاری و کارآیی موتورها، نیاز به استفاده از سوپرآلیاژها و بهبود روش‌های تولید آن است. به آلیاژهای فلزی که در دمای بالا که معمولا بالاتر از ۰/۷ دمای ذوب مطلق خود قابلیت کاربردی دارند، سوپرآلیاژ گفته می‌شود. مهمترین خواص این آلیاژها مقاومت در برابر خزش و اکسیداسیون می‌باشد. معمولا سوپر آلیاژها بر پایه عناصری چون آهن، کبالت و نیکل ساخته می‌شوند. آلیاژهای پایه نیکل به‌عنوان مناسب‌ترین آلیاژها جهت استفاده در محیط‌های با دمای بالا و خورنده شمرده می‌شوند.

امروزه آلیاژهای نیکل در حالت‌های «مستحکم‌شده توسط محلول جامد»، «رسوب سختی شده» و «مستحکم‌شده توسط رسوبات اکسیدی» در مصارف صنعتی مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. سوپرآلیاژهای پایه نیکل پیچیده‌ترین ترکیباتی می‌باشند که در قطعات دمای بالا به کار می‌روند. در حال حاضر ۵۰ درصد وزن موتورهای هواپیماهای پیشرفته از جنس این آلیاژها می‌باشد. خصوصیات اصلی آلیاژهای نیکل، پایداری حرارتی و قابلیت مستحکم‌شدن می‌باشد.

مهمترین کاربردهای آلیاژهای نیکل را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

پره‌های توربین هوایی و توربین گازی

یکی از مهمترین کاربردهای سوپرآلیاژهای پایه نیکل در ساخت پره‌های توربین‌های گاز و هوایی می‌باشد. زیرا پره‌های تحت فشار و دمای بالا یکی از قسمت‌های بحرانی توربین‌ها می‌باشند. در طول ۱۵ سال گذشته تحقیقات بسیاری در زمینه افزایش راندمان توربین‌ها صورت گرفته است و عمده این تحقیقات بر امکان افزایش دمای ورودی، فشار کاری و کاهش هزینه‌های تولید استوار بوده است. توسعه فرآیند انجماد جهت‌دار به منظور تولید تک کریستال‌های ریختگی سبب شده تا بتوان از این طریق پره‌های توربین را با دانه‌های جهت دار در راستای اعمال تنش تولید نمود و به این ترتیب علاوه بر خواص پایدار حرارتی، استحکام خستگی، استحکام خزشی و انعطاف‌پذیری نیز افزایش یابند. نمونه‌ای از پره‌های توربین ساخته شده از آلیاژهای پایه نیکل در شکل ۱ نشان داده شده است.

پره‌های سوپرآلیاژ به طور گسترده در نقاطی از موتورهای هوایی و توربین گاز که دمای محیط به بالاتر از $400\,^{o}C$ می‌رسد به کار گرفته می‌شوند. آلیاژهای تیتانیوم بیشتر در نقاط با دمای کم کاربرد دارند. این به علت قابلیت اشتعال‌زایی فلز تیتانیوم (Titanium ignition) در دمای بالاتر از $400\,^{o}C$ می‌باشد.

دیسک توربین

پره‌های توربین به یک دیسک متصل می‌شوند که این دیسک با اتصال به شفت روتور، واسطه انتقال حرکت چرخشی از پره توربین به روتور می‌باشد. خواص مورد نیاز برای دیسک موتورهای هوایی متفاوت از دیسک مخصوص توربین گازی می‌باشد. چرا که دیسک به کار رفته در مورد اول تحت دمای کم و در مورد دوم تحت دمای بالا قرار دارد. اما خاصیت اصلی مورد نیاز، مقاومت آلیاژ در برابر ترک خستگی می‌باشد. این دیسک‌ها معمولا به صورت ریخته‌گری تهیه شده و سپس فورج می‌شوند. بر خلاف پره‌های توربین، دیسک‌ها دارای ساختار چند کریستالی می‌باشند. دو مشکل در ساختار ریختگی آلیاژهای پایه نیکل وجود دارد. یکی ساختار ستونی درشت دانه ایجاد شده و دیگری ناهمگونی شیمیایی به دلیل جدایش درحین انجماد، که مشکل دوم بحرانی‌تر می‌باشد، زیرا که با عملیات حرارتی پس از ریخته‌گری، این ناهمگونی شیمیایی به‌طور کامل بر طرف نمی‌گردد.

توربوچنجر

موتورهای احتراق داخلی معمولا نسبت مشخصی از سوخت به هوا را استفاده می‌کنند. توربوچنجر به عنوان یک وسیله برای ورود هوا به داخل محفظه احتراق عمل می‌نماید. توربوچنجر از دو جزء ساخته می‌شود. توربین توسط حرکت گازهای ناشی از احتراق به گردش درآمده و پمپ هوا را نیز به گردش در می‌آورد. سرعت چرخش معمولا ۱۰۰۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰۰ دور بر دقیقه می‌باشد. به علت تماس شدید توربوچنجر با گازهای حاصل از احتراق، مقاومت دربرابر اکسیداسیون داغ و استحکام در دمای بالا برای ساخت این قطعه اهمیت ویژه‌ای دارد.

معرفی آلیاژهای پایه نیکل

آلیاژهای پایه نیکل جزء آلیاژهای مقاوم در برابر حرارت و خوردگی هستند که علاوه بر مقاومت در برابر خوردگی، دارای استحکام و پایداری متالورژیکی مناسب در دمای بالا می‌باشند. به عنوان مثال آلیاژ اینکونل ۷۱۸ در برابر اکسیداسیون در دمای بالا مقاوم بوده و استحکام خود را تا دمای $700\,^{o}C$ حفظ می‌کند. بنابراین آلیاژ اینکونل ۷۱۸ جزء آلیاژهای مقاوم در برابر حرارت است.

عناصر متعددی قابلیت انحلال با نیکل را دارند، که برای آلیاژسازی به نیکل اضافه می‌گردند. این عناصر به منظور بهبود خواص مکانیکی، مقاومت خوردگی یا مقاومت در برابر اکسیداسیون در دمای بالا به آلیاژ اضافه می‌شوند. آلیاژهای پایه نیکل، دارای ساختار آستنیتی با شبکه fcc گاما هستند که توسط سه روش ۱) محلول جامد ۲) رسوب سختی و ۳) کاربید سختی، استحکام‌دهی می‌شوند. گروه بزرگی از این آلیاژها نیز توسط مکانیزم رسوب سختی یا پیرسازی مستحکم می‌گردند. مکانیزم مورد استفاده برای استحکام‌دهی آلیاژهای پایه نیکل، معیار مناسبی برای طبقه‌بندی این آلیاژها به شمار می‌آید.

شکل ۲- دیسک توربین گازی ساخته شده از آلیاژهای پایه نیکل

روش دیگر دسته‌بندی آلیاژهای پایه نیکل براساس عناصر اضافه شده به آن است. در شکل ۴ دسته‌بندی آلیاژهای پایه نیکل براساس عناصر افزوده شده و مکانیزم استحکام‌دهی نشان داده شده است.

در ادامه به معرفی مهمترین رده‌های آلیاژی پایه نیکل براساس مکانیزم استحکام دهی می‌پردازیم.

آلیاژهای استحکام‌دهی شده توسط مکانیزم محلول جامد

تمام آلیاژهای پایه نیکل توسط مکانیزم استحکام‌دهی محلول جامد، قابل سخت شدن هستند. اضافه کردن عناصری چون Al، Cr، Co، Cu، Fe، Mo، Ti و W منجر به افزایش استحکام فلز در شرایط آنیل انحلالی می‌گردند.

آلیاژهای رسوب سخت‌شونده

استحکام دهی این سری از آلیاژها توسط مکانیزم رسوب فاز دوم از زمینه فوق اشباع که به نام فاز گاما (γ) معروف است، انجام می‌گیرد. عملیات رسوب‌دهی یا پیرسازی از حرارت دادن مجدد ساختار آنیل انحلالی شده و کوئنچ شده در دمای مناسب انجام می‌گیرد. برخی از آلیاژهای ریخته‌گری شده بلافاصله پس از انجماد، در قالب مورد عملیات پیرسازی قرار می‌گیرند. مهمترین فاز افزایش‌دهنده استحکام در این آلیاژها فاز γ' می‌باشد که ترکیب شیمیایی آن Ni_3Al می‌باشد. عنصر Al مهمترین

امروزه آلیاژهای نیکل در حالت‌های «مستحکم‌شده توسط محلول جامد»، «رسوب سختی شده» و «مستحکم‌شده توسط رسوبات اکسیدی» در مصارف صنعتی مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند

۱: سید حمزه باغجری: بخش متالورژی، ساخت و ریخته‌گری، واحد ساخت و تولید شرکت تامین کالای توربین ماشین خاورمیانه
۲: احمد ملکان: مدیر بخش متالورژی، ساخت و ریخته‌گری، واحد ساخت و تولید شرکت تامین کالای توربین ماشین خاورمیانه
۳: جواد تقی‌زاده صدقیانی: عضو هیات مدیره و مدیر عامل شرکت تامین کالای توربین ماشین خاورمیانه

شکل ۳- توربوچیجر موتور احتراق داخلی ساخته شده از آلیاژ Inconel 713C

عامل در استحکام بخشی این رسوب می‌باشد. همچنین عنصر Ti باعث کاهش نرخ رسوب‌دهی می‌گردد. آلیاژهای اینکونل ۶۲۵، ۷۱۸، ۷۲۵ و ۹۲۵ جزء مهم‌ترین این آلیاژها هستند.

مهمترین آلیاژهای تجاری پایه نیکل

آلیاژهای نیکل–مس

اولین آلیاژ پایه نیکل مقاوم در برابر خوردگی که در سال ۱۹۰۵ توسعه یافت، آلیاژ نیکل–مس مونل ۴۰۰ بوده است. این آلیاژ در اکثر محیط‌ها از جمله محیط‌های آب شور و اسیدی دارای مقاومت در برابر خوردگی بالایی است.

آلیاژ K-500 جزء آلیاژهای نیکل–مس است که به‌علت درصد بالای Ti و Al با رسوبات γ' سخت شده است. این آلیاژ برای کاربردهایی که نیاز به استحکام بالا و مقاومت در برابر خوردگی بالا است، استفاده می‌شود.

آلیاژهای نیکل–کروم

این آلیاژها دارای مقاومت دربرابر اکسیداسیون و استحکام بالایی هستند. این رده از آلیاژها توسط اضافه کردن مقادیری از آلومینیوم و تیتانیوم و برخی مواقع کلومبیوم مستحکم می‌شوند. درصد کروم موجود از ۱۳ تا ۲۰ درصد متغیر است. استحکام آلیاژ پس از عملیات حرارتی کاملا وابسته به میزان سه عنصر مذکور می‌باشد. هرچه مقادیر این عناصر بیشتر باشد، استحکام نهایی آلیاژ نیز بالاتر می‌باشد. از مهمترین کاربرد این رده از آلیاژها می‌توان به قطعات مربوط به توربین گاز، قطعات هواپیما و فضاپیما اشاره کرد.

آلیاژ اینکونل X-750 اولین سوپرآلیاژ نیکل–کروم می‌باشد که توسط γ' استحکام‌دهی شده و ترکیب مناسبی از مقاومت خوب در برابر اکسیداسیون و استحکام در دمای بالا از خود نشان داده است. آلیاژهای Nimonic نیز جزء این رده آلیاژها هستند که به منظور ایجاد استحکام، مقاومت در برابر خزش و حرارت بالا، توسعه یافته‌اند.

آلیاژهای نیکل–کروم–آهن

ترکیب این آلیاژها شبیه فولاد زنگ نزن آستنیتی می‌باشد که در آن فقط مقدار عناصر آهن و نیکل تغییر کرده است. این رده آلیاژی حاوی ۴۰ تا ۴۵ درصد نیکل، ۱۳ تا ۱۵ درصد کروم، ۳۰ تا ۴۰ درصد آهن و مقادیر کمی از آلومینیوم و تیتانیوم می‌باشد. به‌دلیل ایجاد اکسید سطحی Cr_2O_3، مقاومت در برابر اکسیداسیون در این آلیاژها بسیار بالاست. بنابراین می‌توان از آلیاژهای نیکل–کروم–آهن تا دمای ۱۲۰۰ °C استفاده نمود. آلیاژ اینکونل ۶۰۰ که در سال ۱۹۳۱ توسعه یافته است، یک آلیاژ تک فاز می‌باشد که تا دمای ۱۰۹۳ °C قابل استفاده می‌باشد.

آلیاژهای نیکل–مولیبدن

می‌توان با اضافه کردن مولیبدن به نیکل، مقاومت در برابر خوردگی را در اکثر محیط‌ها و دماهای بالا، افزایش داد. اصلی‌ترین آلیاژ نیکل–مولیبدن آلیاژ Hastelloy B می‌باشد که در سال ۱۹۲۳ معرفی شده‌است. برای بالا بودن مقاومت این آلیاژ در محیط اسید کلریک، حداقل مولیبدن آن باید ۲۶ درصد باشد. در سال ۱۹۷۴ نیز آلیاژ Hastelloy B-2 که دارای مقدار آهن و کربن کمتری است و خواص آن نسبت به نوع قبلی بهبود یافته، معرفی شد. در سال‌های بعدی نیز آلیاژ Hastelloy W که دارای کاربرد زیادی در جوشکاری و تعمیر موتورهای هوایی دارد، توسعه یافت.

آلیاژهای نیکل–کروم–مولیبدن

این آلیاژها دارای مقاومت بسیار بالایی در برابر خوردگی و حرارت هستند. سری آلیاژهای Hastelloy C که در سال ۱۹۳۰ معرفی شدند، جزء اولین نوع از این آلیاژها هستند. نوع دیگری از این رده آلیاژها، اینکونل ۶۲۵ و ۶۱۷ است که در سال ۱۹۶۰ معرفی شدند. این آلیاژها در ابتدا برای استفاده در موتورهای هوایی توسعه یافتند، ولی بعدها برای کاربردهایی که نیاز به استحکام در دمای بالا و مقاومت در برابر خوردگی می‌باشد، مورد استفاده قرار گرفتند.

آلیاژهای Hastelloy S یکی دیگر از این نوع آلیاژها می‌باشد که دارای پایداری حرارتی، عمر خستگی و مقاومت در برابر اکسیداسیون بالا و ضریب انبساط حرارتی پایین است. از این آلیاژ در توربین‌های گاز توان پایین استفاده می‌شود.

آلیاژهای نیکل–کروم–آهن–مولیبدن

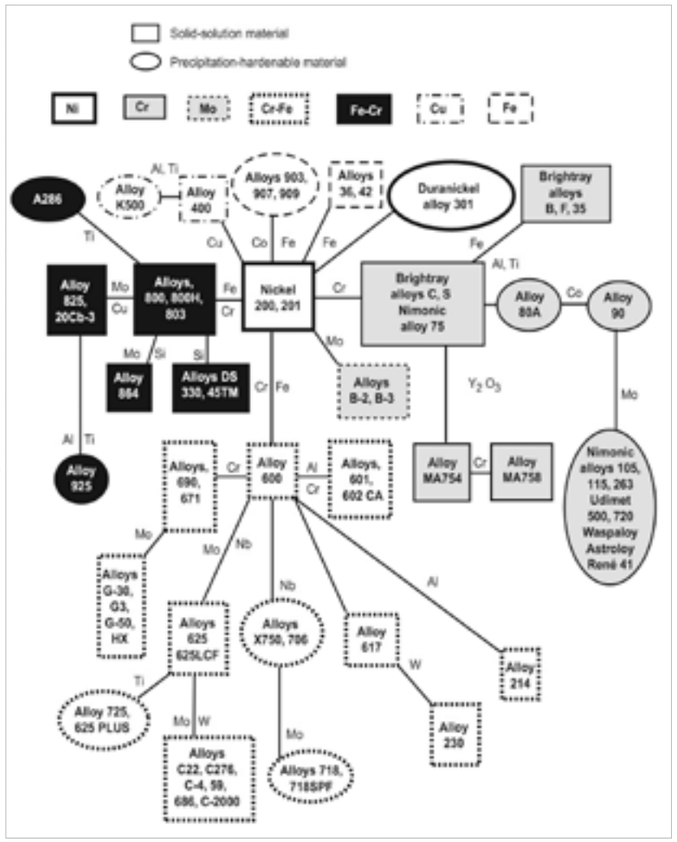
آلیاژهای اینکونل ۷۱۸ و ۷۲۵ از مهمترین این آلیاژها هستند. این آلیاژها از نوع رسوب سخت شده می‌باشند که استحکام خود را در دمای بالا حفظ کرده و مقاومت در برابر خوردگی بالایی دارند. به‌همین دلیل اینکونل ۷۱۸ یکی از پرکاربردترین و پرمصرف‌ترین آلیاژهای پایه نیکل در صنعت می‌باشد.

آلیاژهای پایه نیکل مورد استفاده در توربین‌های گاز

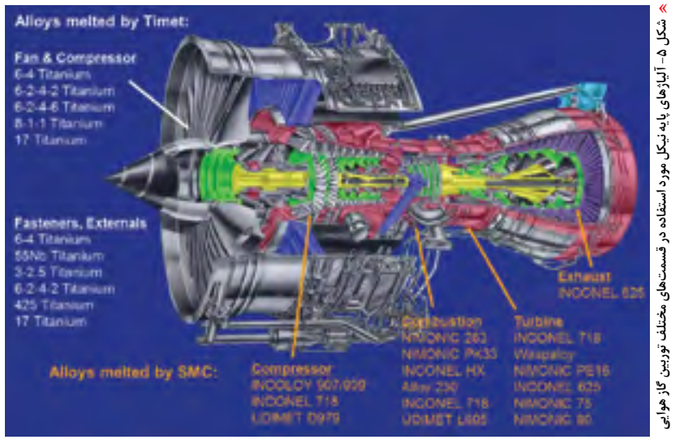
قبلا اشاره شد که آلیاژهای پایه نیکل مختلف با توجه به دمای کاری و استحکام مورد نیاز و محیط خورنده‌ای که قطعه در آن قرار دارد، توسعه یافته‌اند و به‌همین دلیل رده‌های مختلف آلیاژهای نیکلی ایجاد شده‌اند. در توربین‌های گاز نیز در قسمت‌های مختلف دمای کاری و فشار وارد شده بر قطعات مختلف متفاوت است. به‌همین دلیل نیاز به استفاده از رده‌های مختلف آلیاژهای پایه نیکل می‌باشد. در تصویر ۵ نمونه‌ای از آلیاژهای پایه نیکل که در قسمت‌های مختلف توربین گاز مورد استفاده قرار گرفته‌اند، نشان داده شده است. این آلیاژها شامل رده‌های Inconel، Nimonic، Waspaloy، Udimet و Incoloy می‌باشند.

جمع بندی

به منظور افزایش کارآیی توربین‌های گاز و هوایی نیاز به استفاده و بهبود سوپرآلیاژهای پایه نیکل می‌باشد. زیرا این آلیاژها دارای مقاومت در برابر خوردگی و دارای استحکام و پایداری متالورژیکی مناسب در دمای بالا می‌باشند. سوپرآلیاژهای پایه نیکل به دو دسته آلیاژهای محلول جامد و رسوب سخت شونده تقسیم می‌شوند که نوع رسوب سخت شونده به‌علت حفظ استحکام در دمای بالا، بیشتر در ناحیه گرم توربین‌های گاز مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل ۴- دسته‌بندی آلیاژهای پایه نیکل براساس عناصر افزوده شده و مکانیزم استحکام‌دهی



شکل ۵- آلیاژهای پایه نیکل مورد استفاده در قسمت‌های مختلف توربین گاز هوایی

تغییر آرایش الکترو کمپرسور گریز از مرکز تک مرحله‌ای

گزارش فنی یک تجربه موفق توسط شرکت توربین ماشین خاورمیانه و شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب - گچساران

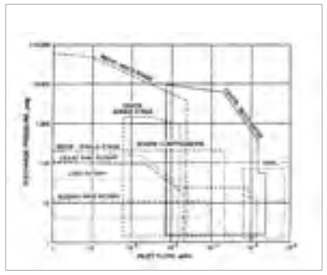
احمد حیدری[1]، جواد تقی زاده صدقیانی[2]، جعفر هاشمی دریان[3]، مهدی طاهری مقدم[4]

کمپرسورهای گریز از مرکز (Centrifugal Compressor) از سال ۱۹۰۰ میلادی در اروپا توسط شرکت‌های سازنده توربین‌های بخار طراحی و توسعه یافتند. این نوع کمپرسورها اولین‌بار در صنایع فولاد و معادن مورد استفاده قرار گرفته، در سال ۱۹۳۰ وارد صنایع نفت و پتروشیمی گردیده و از سال ۱۹۴۷ در خطوط انتقال گاز به کار گرفته شدند. در سال‌های ۱۹۴۵ تا ۱۹۵۰ استفاده از این کمپرسورها به طور وسیع در ایالات متحده آغاز گردید. از عوامل افزایش کاربری این نوع کمپرسورها می‌توان به لزوم استفاده از دبی‌های حجمی بالا در صنایع مرتبط، سهولت دستیابی به سرعت‌های دورانی بالا، کارایی و راندمان بالا، هزینه کمتر، تعمیر و نگهداری آسان و فونداسیون سبک‌تر اشاره کرد.

۱: احمد حیدری: مدیر بخش متالورژی، واحد فنی مهندسی شرکت تامین کالای توربین ماشین خاورمیانه
۲: جواد تقی‌زاده صدقیانی: عضو هیات مدیره و مدیر عامل شرکت تامین کالای توربین ماشین خاورمیانه
۳: جعفر هاشمی دریان: کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک حرارت و سیالات، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۴: مهدی طاهری مقدم: دانشجوی دکترای مهندسی مکانیک جامدات، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تهران

شرایط مطلوب گاز خروجی	شرایط گاز خروجی موجود	گاز ورودی	واحد	پارامتر طراحی
72.57	60.74	46.5	oC	دما
1.7	1.3	1.02	Bar	فشار
2.5	2.5	2.5	MMSCFD	دبی حجمی
1.123	1.146	1.15		Cp/Cv
35.97	35.97	35.97		جرم مولکولی
0.9892	0.9905	0.9915		فشردگی Z
4478	4478	4478	Kg/h	دبی جرمی

جدول۱- شرایط موجود و مطلوب فرایندی



شکل۱- محدوده کارکرد کمپرسورها در فشار و دبی‌های مختلف

کمپرسور گریز از مرکز یک ماشین دینامیکی می باشد. در کمپرسورهای گریز از مرکز، افزایش فشار، ناشی از برخورد پره‌های در حال چرخش پروانه (Impeller) به سیال بوده و موجب افزایش انرژی جنبشی سیال و تبدیل این انرژی به فشار می‌شود

توسعه توربین‌های گاز و توربوشارژرها از سال ۱۹۳۵ توسط Boeing, NACA, DVL, whittel, Birmann-Delaval, Moss-GE, Rateau سهم چشمگیری در طراحی و ساخت کمپرسورهای تک مرحله‌ای داشتند. همچنین راندمان کمپرسورها از ۷۰ تا حدود ۸۰ درصد و نسبت فشار خروجی از ۱/۲ - ۱/۵ تا حدود ۷:۱ افزایش یافت.

اصول کلی و کاربرد

کمپرسور گریز از مرکز یک ماشین دینامیکی می باشد. برخلاف آنچه در کمپرسورهای جابجایی مثبت که در آنها افزایش فشار توسط کاهش حجم مقدار معینی از سیال درون یک محفظه (یا برای مثال درون سیلندر در کمپرسورهای رفت و برگشتی) ایجاد می گردد، در کمپرسورهای گریز از مرکز، افزایش فشار، ناشی از برخورد پره‌های در حال چرخش پروانه (Impeller) به سیال بوده و موجب افزایش انرژی جنبشی سیال و تبدیل این انرژی به فشار می‌شود. در صنایع پتروشیمی هر مرحله از این کمپرسورها معمولا نسبت فشار ۱ :۱/۲ را دارد. علیرغم پایین بودن نسبت فشار تولیدی در این کمپرسورها، می‌توان این نسبت را با کمپرسورهای چند مرحله‌ای افزایش داد. که نمونه آن، تولید فشار ۶۹۰ بار برای گازهای سر چاهی جهت تزریق مجدد به مخازن زیر زمینی می‌باشد.

کاربردهای صنعتی این کمپرسورها عبارتند از:

۱- انتقال گاز طبیعی در خط لوله
۲- پالایشگاه‌های نفتی، واحدهای فراورش گاز طبیعی، پتروشیمی
۳- واحدهای جداسازی اجزاء هوا برای تولید گازهای خالص
۴- چرخه های تبرید و تهویه مطبوع
۵- نیروگاه های گازی و سیکل ترکیبی
۶- تزریق دوباره گاز به میادین نفتی

بهینه سازی و آرایش مجدد کمپرسور (Rerate or Restaging)

تغییر آرایش کمپرسورها به دلایل مختلفی انجام می‌شود که برخی از آنها عبارتند از:

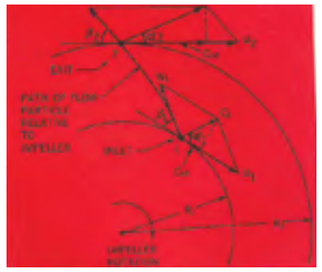
- افزایش ظرفیت کمپرسور
- افزایش فشار خروجی
- افزایش راندمان
- تغییرات مورد نیاز بر اساس تغییرات شرایط فرآیندی
- ایجاد فاصله مناسب عملکردی تا نقطه سرج (Surge Point) کمپرسور

در شکل ۲ شرایط بهینه سازی روی منحنی عملکرد قابل مشاهده می باشد.

شرح مختصری از یک پروژه که توسط مهندسان شرکت توربین ماشین خاورمیانه با عنوان تغییر آرایش کمپرسور با هدف افزایش فشار خروجی انجام شده است، در ادامه ارائه می گردد.

شرح کار پروژه

این پروژه متعلق به ایستگاه فشار ضعیف گاز مرحله چهارم شرکت بهره‌برداری نفت وگاز گچساران به‌عنوان کارفرما و شرکت توربین ماشین خاورمیانه به‌عنوان پیمانکار می‌باشد. مجموعه مذکور شامل دو ردیف الکترو کمپرسور گریز از مرکز تک مرحله‌ای از نوع (Over Hung) ساخت شرکت الیوت می‌باشد. محرکه کمپرسور، توسط موتور القایی با توان نامی ۲۱۵ اسب بخار تامین می‌شود و نیروی تولید شده به‌وسیله گیربکس افزاینده

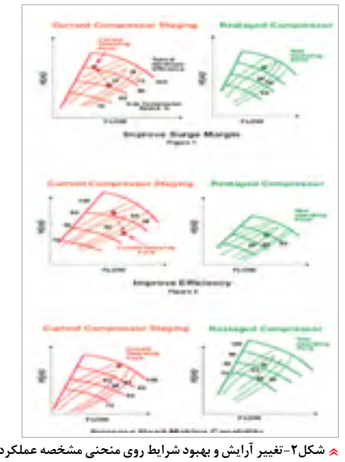


« شکل ۳- دیاگرام سرعت‌های برآیندی در ورودی و خروجی پروانه

از نوع جناغی، دور خروجی موتور را به مقدار 9736 RPM افزایش داده و به کمپرسور منتقل می‌کند.

آخرین مرحله از جداسازی گازهای محلول در نفت خام و با فشار بسیار پایین ۱/۰۲ بار، که به گازهای مرحله چهارم معروف می‌باشد بعد از طی فرایند جداسازی وارد این کمپرسورها گردیده و بعد از افزایش فشار تا مقدار ۱/۳ بار، با گازهای مرحله ۲ و۳ دارای فشار بالاتر ترکیب و به فرآیند بالادست انتقال می‌یابد.

مشکل اصلی این سیستم کاهش فشار خروجی گاز مرحله چهارم، ناشی از افت چگالی گاز ورودی در طی چندین سال بهره برداری می‌باشد. مجری بهره بردار با توجه به سنگینی و میعانات گازی غنی این مرحله، جهت امکان تزریق این مرحله به بالادست، بخشی از فشار بالاتر مراحل ۲ و۳ را با سوزاندن این گازها، کاهش داده تا گاز مرحله چهارم پس از ایجاد اختلاف فشار مثبت، امکان جریان به این مراحل را به دست آورد. لذا پروژه به گونه ای تعریف گردیده تا با افزایش فشار خروجی گاز مرحله چهارم توسط تغییرات لازمه روی کمپرسورهای این مرحله، بدون هدر رفت گازهای سایر مراحل امکان استفاده از آنها را به طورهمزمان فراهم آورد که در جدول شماره ۱ به طور مختصر شرح کلی شرایط قبلی و شرایط مورد نیاز کنونی طراحی کمپرسور ارائه گردیده است.



« شکل۲-تغییر آرایش و بهبود شرایط روی منحنی مشخصه عملکرد

« جدول ۲- مقایسه نسبت فشار با تغییرات گاز در هد ثابت

Adiabatic head Ft-lb/lb	Gas	Mol.wt	C_p/C_v	Pressure ratio
10,000	Propane	44.09	1.135	1.702
10,000	Carbon	44.01	1.30	1.673
10,000	Air	28.96	1.40	1.41
10,000	Methane	16.04	1.31	1.216
10,000	Hydrocarbon mix	10.0	1.30	1.131

فعالیت‌های انجام شده در این پروژه را در چند بخش به شرح ذیل می‌توان طبقه‌بندی نمود:

- جمع‌آوری اطلاعات: اعم از تمامی اطلاعات دستگاه و بهره‌برداری، نقشه‌های PFD، PID از منطقه، آخرین وضعیت عملکرد دستگاه از نظر فراورشی و مکانیکی، نوع سیستم ابزار دقیقی و مونیتورینگ دستگاه، روش نصب، راه اندازی و اورهال دستگاه، نحوه عملکرد آنتی سرج.
- دمونتاژ دستگاه، نقشه‌برداری و مدلسازی تمام قطعات کمپرسور و گیربکس، در این بین می‌توان به قطعات مثل پروانه، مکانیکال سیل، بیرینگ‌های تیلت پد، مکانیزم مونتاژ هیدرولیکی پروانه روی شفت اشاره کرد.
- طراحی: جهت آشنایی با روش طراحی انجام گرفته، مختصری درباره تئوری طراحی بیان می‌گردد:

عملکرد کمپرسورها توسط هد (Head) تولید شده در بازه دبی حجمی و با منحنی مشخصه آن مشخص می‌گردد. یک کمپرسور با یک گاز مشخص و با شرایط مکانیکی مشخص اعم از سرعت دوران، نوع پروانه و در یک دبی خاص، هد ثابتی تولید می‌کند. رابطه عمومی بین هد آدیاباتیک و فشار را می‌توان با رابطه ذیل بیان کرد:

$$H = \frac{ZRT}{(k-1)/k}\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(k-1)/k} - 1\right]$$

در جدول ۲، اثر شرایط گاز روی فشار خروجی در هد ثابت مقایسه گردیده است. از آنجا که ماشین‌های دوار، فشار افزایی را به‌وسیله افزایش سرعت سیال انجام می‌دهد، فاکتور اصلی سرعت لبه خروجی پروانه می‌باشد که از آن به عنوان Tip Speed نام برده می‌شود.

در یک روش طراحی با حدس پارامترهای ظاهری پروانه، معادلات پیچیده سرعت‌های برآیندی و روابط انرژی، هد تولیدی محاسبه و بهینه سازی می‌گردد.

$$H_{ad} = h/g(C_{u2}U_2 - C_{u1}U_1)$$

$$H_{ad} = (h/g)(U_2^2)(1 - s - (\frac{C_{M2}}{U_2 \tan b_2})$$

با توجه به پیچیدگی محاسبات از روش فوق، روش دیگری به نام روش تناسب وجود دارد که در آن روش، اندازه کمپرسور جدید را براساس نمونه‌های عملی موجود تعیین می‌کنند. با استفاده از ضرایب تناسب به نام ضریب هد و ضریب جریان و محاسبه هد، سرعت لبه پروانه و بعد از آن با توجه به سرعت دورانی پروانه، قطر پروانه تعیین می‌شود. آنچه که دراین روش باید بسیار به آن توجه شود، تقریبی بودن آن است. علت تقریب استفاده از ضریب هد است که در عمل تعیین دقیق آن غیرممکن است و باید از مقادیر از پیش تعیین شده استفاده کنیم. همچنین در این روش جزئیات پروانه و دیفیوز مانند زوایای حمله و خروج و طول دیفیوزر را نمی‌توان محاسبه کرد.

تکنولوژی طراحی

در ابتدا بعد از تعیین دقیق شرایط موجود و برآورد اولیه، تغییرات مورد نیاز محاسبه گردید. در این شرایط با ثابت ماندن هندسه پروانه، سرعت دورانی در حدود 14500 RPM نیاز می‌باشد که در صورت تغییرات روی سرعت دورانی، تمام قطعات کمپرسور اعم از شفت، گیربکس، یاتاقان‌ها و جایگزینی پروانه با گرید استحکامی مورد نیاز، می‌بایست تغییر یابند ولی با توجه به جنبه اقتصادی طرح، روش فوق مقرون به صرفه نمی‌باشد.

روش و پایه کار طراحی با توجه به محاسبات اولیه، تغییرات روی پروانه و تولید حداکثری فشار با بیشترین تغییر روی پروانه و کمترین تغییرات روی سایر بخش‌های مجموعه می‌باشد. همانگونه که در تصاویر ۴ تا ۷ مشاهده می‌شود، جهت انجام عملیات طراحی از دانش نرم‌افزاری از جمله HYSIS و ANSYS, ABAQUSE,CFTURBO جهت محاسبات سیالاتی، طراحی دو بعدی و سه بعدی پروانه و پره، تحلیل تنش قطعات دوار و همچنین شبیه‌سازی استفاده گردید.

با استفاده از تکنیک نرم‌افزاری FE، مدل‌های تولید شده شبیه‌سازی شده و شرایط ایجاد شده مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. این عملیات بیش از چندین مرتبه با اعمال تغییرات و بهینه‌سازی طراحی پیش رفته و طرح نهایی با در نظر گرفتن قابلیت ساخت ایجاد گردید. در این بین با کمک نرم افزارهای مکانیکی، رفتار ارتعاشی، رزونانسی و تنش مجاز وارده روی قطعات، شکل، هندسه، جنس و استحکام مورد نیاز برای قطعات طراحی گردید.

به طور کلی اهم تغییرات مکانیکی و آیرودینامیکی ایجاد گردیده را می‌توان این گونه بیان کرد:

۱-افزایش قطر خارجی پروانه در حدود ۲۰ درصد

۲- تغییر پره و زوایای ورود و خروج گاز از نوع دو بعدی عقب رونده (Back Swept) به نوع پره های شعاعی جهت حداکثر تولید فشار و پایداری

۳-افزایش راندمان با ایجاد پروانه با هندسه سه بعدی و شکل خاص ورودی در پروانه (Inducer)

۴-طراحی نشت‌بندی جدید برای چشمه ورودی پروانه از نوع دندانه‌ای با کاهش فضای خالی مورد نیاز و افزایش تعداد دندانه‌های درگیر

۵-طراحی و افزودن دیفیوزر از نوع پره‌دار جهت کاهش تلفات و تقویت شرایط تبدیل انرژی جنبشی به هد فشاری

۶-افزایش سرعت دورانی با طراحی و تغییرات روی چرخ‌دنده‌های گیربکس و افزایش نسبت دنده در حدود ۵ درصد

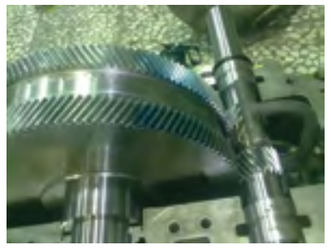
۷-طراحی و ساخت برخی از قطعات جانبی مثل نازل ورودی، بولت مخصوص بستن پروانه جهت افزایش راندمان فرآیند و تلفات افت فشار

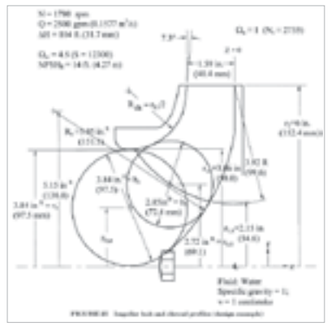
ساخت، مونتاژ، نصب و راه‌اندازی

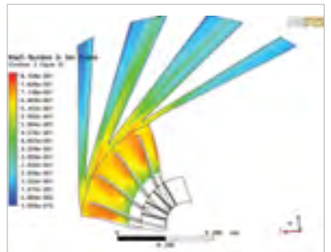
قطعات اصلی که بر اساس طراحی صورت گرفته می‌بایست ساخته شوند شامل پروانه، دیفیوزر، چرخ‌دنده گیربکس، نازل ورودی، سیل، بولت پروانه می‌باشد.

با توجه به طراحی آیرودینامیکی جدید پروانه و شکل یکپارچه پروانه، در ابتدا از روش ریخته‌گری دقیق جهت ساخت پروانه استفاده گردید و در سری دوم با توجه به پیچیدگی کار، با اندکی تغییرات در شکل هندسی پره‌ها، پروانه به صورت دوتکه طراحی شد که کفه پایینی آن با فرزکاری ۵ محوره و ایجاد پره‌ها روی دیسک توپر تولید و کاور فوقانی با روش جوشکاری TIG به آن متصل گردید. از دیگر قطعات ساختی مشکل پروژه، ساخت چرخ‌دنده با دور بالا بوده، که ساخت این قطعه به روش فرز هاب و سنگ دنده و تهیه گراف کنترلی جهت تعیین دقت ابعادی دنده‌ها، مورد ارزیابی قرار گرفته و تولید گردید.

بر اساس استاندارد API 617 کمپرسور و پروانه مربوط، بعد از طراحی می‌بایست تحت تست عملکردی از نظر پروسسی و مکانیکی قرار گیرند. استاندارد ASME PTC 10 روش های تست عملکردی را در دو روش با گاز اصلی و همچنین گاز معادل تعیین کرده است لذا به دلیل عدم وجود امکانات و تجهیزات تست، عملیات فوق در سایت و بعد از نصب صورت پذیرفت. ضمن توجه به این مسئله که سیستم‌های بهره‌برداری موجود در داخل کشور، اکثرا مستعمل بوده و به روزرسانی نشده‌اند، با کوچکترین تغییرات در سیستم، امکان بروز هر گونه اشکالی وجود خواهد داشت. از جمله اشکالات پیش آمده در مرحله نصب و راه‌اندازی کمپرسور جدید، موارد مربوط به برق و ابزار دقیق و مونیتورینگ دستگاه می‌باشد، با این حال با همکاری واحد بهره‌بردار مشکلات مرتفع گردیده و ردیف در سرویس قرار گرفت. بعد از راه‌اندازی و پایدار شدن شرایط کار دستگاه، در چند نوبت فشار گاز مربوط به بخش بالادست این ردیف به طور دستی افزایش و کاهش داده شد تا تاثیر آن بر روی کمپرسور تغییر آرایش شده مشخص و همچنین نمودار عملکردی آن ثبت گردد. گراف ایجاد شده با گراف طراحی، مورد بررسی قرار گرفته و نتیجه کار با اندکی کاهش فشار در خروجی از مقدار طراحی تایید گردید. در حال حاضر این کمپرسور با دبی مطلوب و قابلیت ایجاد فشار خروجی ۱/۵-۱/۶۵ بار در مدار قرار گرفته است. ارتعاشات روتور که بعنوان تاییدیه طراحی مکانیکی و آیرودینامیکی، ساخت و مونتاژ صحیح می‌باشد در محدوده 1- 2 Mils و در محدوده پذیرش کارکرد این نوع دستگاه‌ها قرار دارد.







» شکل ۴ تا ۷- فرایند طراحی پروانه

تدوین دانش فنی ریخته‌گری پره‌های ناحیه داغ توربین گاز

احمد ملکان[1]، سید حمزه باغجری[2]، جواد تقی زاده صدقیانی[3]

توربین‌های گاز به‌دلیل کاربردهای زیاد آن از جمله تامین انرژی الکتریکی، روز به روز بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرند و به لحاظ پیشرفت سریع فناوری و امتیازاتی چون ساخت، نصب و راه‌اندازی، در مدت زمان کوتاهی استفاده از آن‌ها ده‌ها برابر شده است. به منظور دستیابی به تکنولوژی ساخت این توربین‌ها می‌بایست به فن‌آوری ساخت اجزای مختلف آن رسید. پره‌های توربین گاز از جمله قطعات حساس صنعتی می‌باشند که تحت شرایط خاص (دما و تنش بالا) کار می‌کنند. در کشور ما پره‌ها عموما با فرآیند مهندسی معکوس تولید می‌شوند. فرآیند تولید این قطعات و کنترل کیفی آن‌ها دارای پیچیدگی‌های فراوانی می‌باشد. هرگونه انحراف قطعه تولیدی از قطعه اصلی، چه از نظر خواص فیزیکی و مکانیکی و چه از نظر ابعادی، به شدت بر راندمان عملکردی و عمر پره تاثیر منفی می‌گذارد. در این میان به دست آوردن تلرانس‌های دقیق ابعادی به دلیل پیچیدگی‌های این نوع از قطعات به‌خصوص در قسمت ایرفویل آن دارای اهمیت بسیاری می‌باشد. به‌همین دلیل روش ریخته‌گری دقیق رایج‌ترین روش تولید این قطعات می‌باشد. به‌طور کلی ساخت این پره‌ها شامل مراحل ذیل می‌باشد:

- ساخت مدل
- ساخت قالب سرامیکی
- ریخته‌گری
- کنترل کیفی

سوپرآلیاژهای پایه نیکل مورد استفاده

به‌منظور توسعه توربین‌های گاز مورد استفاده در هواپیماها و افزایش دماهای کاری و کارآیی موتورها، نیاز به استفاده از سوپرآلیاژها و بهبود روش‌های تولید آن‌ها، مورد توجه بسیار است. به آلیاژهای فلزی که در دماهای بالا که معمولا بالاتر از ۰/۷ دمای ذوب مطلق خود قابلیت کاربردی دارند، سوپرآلیاژ گفته می‌شود. مهمترین خواص این آلیاژها، مقاومت دربرابر خزش و اکسیداسیون می‌باشد. معمولا سوپر آلیاژها بر پایه عناصری چون آهن، کبالت و نیکل ساخته می‌شوند.

آلیاژهای پایه نیکل جزء آلیاژهای مقاوم در برابر حرارت و خوردگی هستند که علاوه بر مقاومت در برابر خوردگی، دارای استحکام و پایداری متالورژیکی مناسب در دماهای بالا می‌باشند. آلیاژ اینکونل 738LC جزء سوپرآلیاژهای پایه نیکل و از نوع آلیاژهای نیکل-کروم-آهن-مولیبدن است که در ساخت پره‌ها و سگمنت‌های ناحیه داغ توربین‌های گاز مورد استفاده قرار می‌گیرند. استحکام‌دهی این سری از آلیاژها توسط مکانیزم رسوب فاز دوم از زمینه فوق اشباع که به نام فاز گاما پرایم (γ') معروف است، انجام می‌گیرد. عملیات رسوب‌دهی با پیرسازی از حرارت دادن مجدد ساختار آنیل انحلالی و کوئنچ شده در دمای مناسب انجام می‌گیرد. برخی از آلیاژهای ریخته‌گری شده بلافاصله پس از انجماد در قالب، مورد عملیات پیرسازی قرار می‌گیرند.

یکی از مهمترین کاربردهای سوپرآلیاژهای پایه نیکل در ساخت پره‌های توربین‌های گاز و هوایی می‌باشد. زیرا پره‌های تحت فشار و دمای بالا یکی از قسمت‌های بحرانی توربین‌ها می‌باشند. پره‌های سوپرآلیاژ به طور گسترده در نقاطی از موتورهای هوایی و توربین گاز که دمای محیط به بالاتر از ۴۰۰ °C می‌رسد، به‌کار گرفته می‌شود. در طول ۱۵ سال گذشته تحقیقات بسیاری در زمینه افزایش راندمان توربین‌ها صورت گرفته است و عمده این تحقیقات بر امکان افزایش دمای ورودی، فشارکاری و کاهش هزینه‌های تولید استوار بوده است. توسعه فرآیند ریخته‌گری دقیق برای تولید پره‌های توربین باعث بهبود خواص پایدار حرارتی، استحکام خستگی، استحکام خزشی و انعطاف‌پذیری شده و از این طریق کارایی و بازده توربین افزایش می‌یابد.

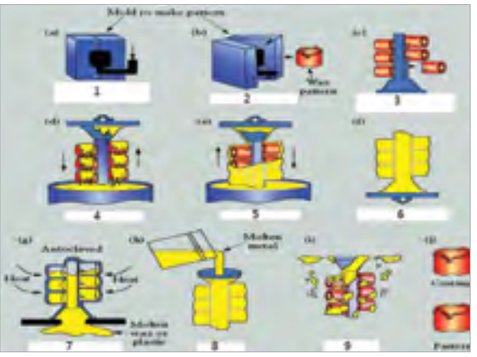
بررسی مواد اولیه خریداری شده

شمش آلیاژ اینکونل 738LC از خارج از کشور و در حد استانداردهای سازندگان خارجی خریداری شده و مراحل ذوب و تصفیه مواد اولیه فوق تحت خلاء انجام شده است. برای تایید مواد اولیه تهیه شده، آنالیز ترکیب شیمیایی کوانتومتری انجام شده که نتایج حاکی از آن بود که ترکیب مواد اولیه تهیه شده با آلیاژ اینکونل 738LC مطابقت دارد.

عملیات ریخته‌گری دقیق پره‌های ناحیه داغ

روش‌های مختلفی مانند ریخته‌گری دقیق، آهنگری و ماشینکاری برای ساخت پره‌های توربین به کار برده می‌شوند. یکی از معمول‌ترین این روش‌ها که دارای مزایای زیادی می‌باشد، روش ریخته‌گری دقیق می‌باشد. در شکل ۱ مراحل مختلف ریخته‌گری دقیق به‌طور شماتیک نشان داده شده است. در این روش ابتدا مدل اولیه پره که از جنس موم می‌باشد با تزریق موم به داخل یک قالب فلزی از پیش ساخته شده تهیه می‌گردد. قطعات مومی بر روی شاخه‌ای که به عنوان سیستم راهگاهی می‌باشد، متصل می‌گردند (شکل ۲). این شاخه مومی توسط دوغاب و پودرهایی از جنس سرامیک مقاوم در برابر حرارت پوشانده شده و پوسته‌ای سرامیکی پیرامون آن ایجاد می‌گردد (شکل ۳). با استفاده از حرارت، موم داخل پوسته تخلیه شده و قالب سرامیکی پس از پخت آماده ریخته‌گری می‌گردد. باتوجه به جنس آلیاژی که باید ریخته‌گری شود، ریخته‌گری در هوا، تحت اتمسفر کنترل شده و یا خلاء انجام می‌شود. برای ریخته‌گری پره‌های ناحیه داغ که جنس آن‌ها سوپرآلیاژ اینکونل 738LC می‌باشد، ریخته‌گری در محیط خلاء انجام می‌شود. راهگاه تزریق حتما باید مخروطی شکل باشد تا موم با فشار یکنواخت وارد قالب شود و فشار اولیه را افزایش دهد. همچنین، پس از خروج مدل از قالب بتوان به راحتی این قسمت را از قطعه مومی جدا نمود. در

شکل ۱- مراحل ریخته‌گری دقیق



پره‌های توربین گاز از جمله قطعات حساس صنعتی می‌باشند که تحت شرایط خاص (دما و تنش بالا) کار می‌کنند. در کشور ما پره‌ها عموماً با فرایند مهندسی معکوس تولید می‌شوند. فرایند تولید این قطعات و کنترل کیفی آن‌ها دارای پیچیدگی‌های فراوانی می‌باشد

۱: احمد ملکان: مدیر بخش متالورژی، ساخت و ریخته‌گری، واحد ساخت و تولید شرکت تامین کالای توربین ماشین خاورمیانه
۲: سید حمزه باغجری: بخش متالورژی، ساخت و ریخته‌گری، واحد ساخت و تولید شرکت تامین کالای توربین ماشین خاورمیانه
۳: جواد تقی‌زاده صدقیانی: عضو هیات مدیره و مدیر عامل شرکت تامین کالای توربین ماشین خاورمیانه

شکل ۴- تصویر نهایی پره‌ها پس از خنک شدن و شکستن قالب سرامیکی

جدول ۲- نتایج تست کشش در دمای 650°C

	Elong A%	Yield stress MPa	Tensile stress MPa
Standard	4	690	895
Result	9.8	750	1068

جدول ۳- نتایج تست خزش

	Temperature (°C)	Stress (MPa)	Rupture Time (hr)	Elongation (%)	Reduction of Area (%)
Standard	982	152	30	5	10
Result	982	152	49	13.4	27.4

شکل ۳- تهیه قالب سرامیکی با غوطه‌ور کردن قطعات مومی در دوغاب مخصوص

جمع‌بندی

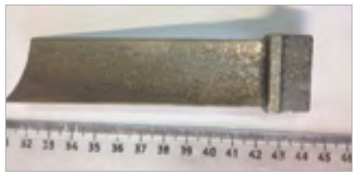
پره‌های توربین گازی از جمله قطعات حساس صنعتی می‌باشند که تحت شرایط خاص (دما و تنش بالا) کار می‌کنند. هرگونه انحراف پره تولیدی از قطعه اصلی، چه از نظر خواص فیزیکی، مکانیکی و ابعادی، به شدت برراندمان عملکردی و عمر پره تاثیر منفی دارد. در نتیجه برای تولید پره با دقت بسیار بالا، از روش ریخته‌گری دقیق استفاده می‌شود. به این منظور ابتدا مدل مومی پره ساخته شده و سپس با غوطه وری آن در دوغاب سرامیکی، قالب سرامیکی پره ساخته می‌شود. سپس عملیات مذاب ریزی در کوره خلاء انجام شده و بعد از منجمد شدن پره‌ها، قالب سرامیکی شکسته می‌شود. در مرحله آخر نیز بخاطر اطمینان از عدم انحراف ابعاد و خواص مکانیکی و متالورژیکی پره‌ها از استاندارد تعیین شده، کنترل کیفی بر روی آنها انجام می‌گیرد.

سندبلاست و شتشو، پره‌ها به‌صورت غوطه‌وری در محلول $90\%\ HCL+10\%\ H_2O$ اچ سطحی شدند. در شکل ۵ نمونه‌ای از پره‌های اچ سطحی شده مشاهده می‌شود. نتایج اچ سطحی قطعات نشان می‌دهد که توزیع دانه‌بندی سطحی پره‌های ریخته‌گری شده در محدوده معیار دانه‌بندی استاندارد می‌باشد. به‌منظور بررسی ریزساختار پره‌های ریخته‌گری شده، یک عدد از نمونه‌ها تحت بررسی‌های متالوگرافی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ریزساختار شامل زمینه آستنیتی حاوی رسوبات گاما پرایم به همراه ذرات کاربیدی پراکنده در زمینه و مرزدانه‌ها می‌باشد. رسوبات گاما پرایم بعد از عملیات حرارتی رسوب سختی در زمینه ایجاد می‌شوند و جهت استحکام‌دهی در این آلیاژها ضروری است.

جدول ۴- ترکیب شیمیایی قطعه ریخته‌گری شده (درصد وزنی %)

عناصر	C	Mn	Si	W	S	Cr	Mo	Ti	Cb	Zr	Ta	Al	B	Co	Fe	Al+Ti	Ni
حداقل	0.09	0	0	2.4	0	15.7	1.5	3.2	0.6	0.03	1.4	3.2	0.007	8.0	0	6.5	balance
حداکثر	0.13	0.2	0.3	2.8	0.015	16.3	2.0	3.7	1.1	0.08	2.0	3.7	0.012	9.0	0.35	7.2	balance
نتیجه	0.13	0.02	0.05	2.8	0.005	15.7	1.8	3.7	0.8	0.08	2.0	3.4	0.009	9.0	0.15	7.1	Base

شکل ۵- تصویر نمونه‌ای از پره‌ها پس از اچ سطحی



جدول ۵- میزان گازهای نیتروژن و اکسیژن در نمونه ریخته‌گری شده

	O_2 PPM	N_2 PPM
Standard	25	50
Result	21	20

شکل ۲- خزانه‌گیری قطعات مومی بر روی شاخه‌ای که به عنوان سیستم راهگاهی عمل می‌کند

بازرسی غیرمخرب برای اطمینان از عدم وجود عیب در پره‌های ریخته‌گری شده، با پیشرفته‌ترین روش‌های NDT پس از انجام مراحل تمیزکاری انجام می‌شود

شکل ۴ نیز شکل نهایی پره‌ها پس از خنک شدن و شکستن قالب سرامیکی مشاهده می‌شود.

کنترل کیفی پره‌های ناحیه داغ

برای اطمینان از عملکرد مناسب پره‌ها قبل از نصب بر روی توربین، نیاز به کنترل کیفی آن‌ها می‌باشد. کنترل کیفی پره‌ها شامل سه مرحله بازرسی غیرمخرب، بازرسی مخرب و بازرسی متالورژیکی است.

بازرسی غیرمخرب برای اطمینان از عدم وجود عیب در پره‌های ریخته‌گری شده، با پیشرفته‌ترین روش‌های NDT پس از انجام مراحل تمیزکاری انجام می‌شود که شامل بازرسی چشمی، ابعادی، تست مایع نافذ فلورسنت و رادیوگرافی است. بازرسی‌های مخرب از جمله تست کشش دمای پایین، تست کشش دمای بالا و تست خزش برای اطمینان از مناسب بودن خواص مکانیکی پره‌های ریخته‌گری شده در دمای پایین و بالا انجام می‌شود. بازرسی متالورژیکی مرحله آخر کنترل کیفی پره‌ها برای اطمینان از مناسب بودن خواص متالورژیکی می‌باشد.

این نوع بازرسی شامل آنالیز ترکیب شیمیایی، آنالیز میزان گازها، آنالیز میزان عیوب، ارزیابی دانه‌بندی سطح، بررسی تصاویر ریزساختار و میزان ریز حفرات است.

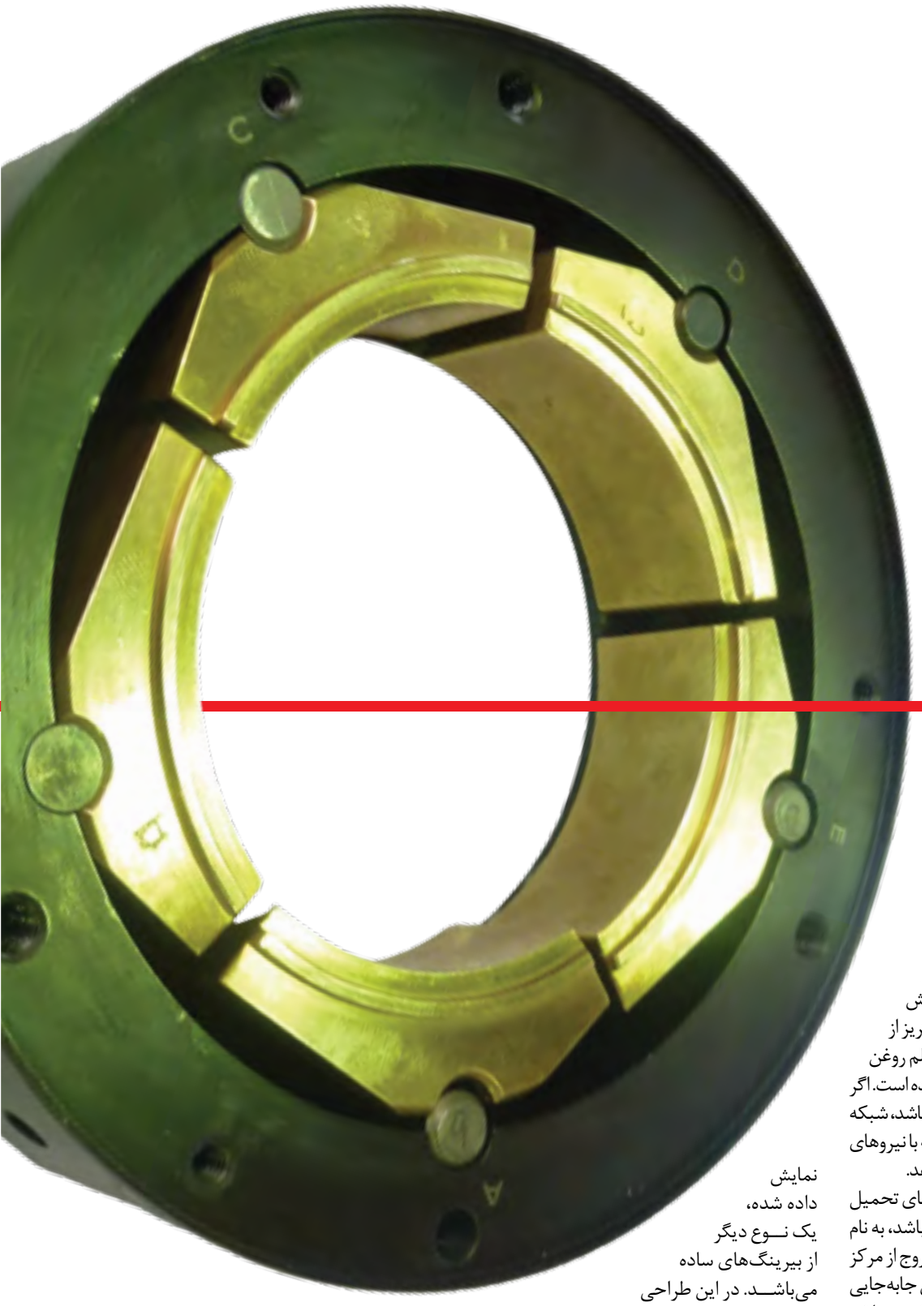
نمونه‌ای از کنترل کیفی پره‌های تولید شده

ابتدا طی بررسی‌های چشمی برخی از عیوب ریخته‌گری از جمله عیوب سطحی و یا ریزش قالب سرامیکی در لبه ایرفویل مشاهده گردید. در بازرسی ابعادی، مشاهده شد که ابعاد تعداد محدودی از پره‌ها در محدوده مجاز نبوده و لذا غیرقابل استفاده هستند. سپس با استفاده از تست مایع نافذ فلورسنت نیز تعدادی از عیوب سطحی که با چشم قابل مشاهده نبودند، شناسایی شده و قطعاتی که دارای عیوبی بزرگتر از اندازه مجاز بودند، رد شدند. به منظور بررسی عیوب داخلی، پره‌های ریخته‌گری شده تحت بازرسی رادیوگرافی زنده با اشعه X قرار گرفتند. نتایج رادیوگرافی حاکی از وجود تخلخل و حفرات گازی در بعضی از نمونه‌ها داشته که نمونه‌هایی که اندازه عیوب بزرگتر از حد پذیرش داشتند رد شده و بقیه آن‌ها تایید گردیدند. در مرحله بعد تعدادی از پره‌ها برای انجام آزمایش‌های کشش دمای پایین و بالا، تست خزش و تست سختی‌سنجی، تخریب شدند. در جدول ۱ نتایج تست کشش دمای پایین، در جدول ۲ تست کشش دمای بالا و در جدول ۳ تست خزش و مقدار استاندارد آن‌ها نشان داده شده است. نتایج حاکی از مطلوب بودن استحکام مکانیکی کششی و خزشی می‌باشد. به‌منظور تایید متالورژیکی پره‌های ریخته‌گری شده، آنالیز ترکیب شیمیایی کوانتومتری انجام شده که نتیجه آن در جدول ۴ نشان داده شده است.

مشاهده می‌شود که ترکیب شیمیایی پره‌های ریخته‌گری شده با آلیاژ اینکونل 738LC مطابقت دارد. در مرحله بعد آزمایش LECO که میزان گازهای موجود در فلز را نشان می‌دهد، برای تعدادی از پره‌ها انجام شده است. این گازها در مرحله ریخته‌گری تحت خلاء در مذاب باقی‌مانده و بعد از انجماد در داخل قطعه محبوس شده‌اند. اگر در حین ریخته‌گری، خلاء کوره در حد مناسبی نباشد، باعث افزایش میزان این گازها می‌شود. درنتیجه می‌توان با اندازه‌گیری میزان این گازها که شامل اکسیژن و نیتروژن است، کیفیت مناسب کوره خلاء در حین فرآیند ریخته‌گری را تایید کرد. در جدول ۵ نتایج مربوط به آنالیز گازهای اکسیژن و نیتروژن و حداکثر مقدار قابل قبول در پره‌های ریخته‌گری نشان داده شده است که مشاهده می‌شود، میزان این گازها در محدوده مجاز می‌باشد. جهت ارزیابی دانه‌بندی سطحی پس از انجام عملیات

جدول ۱- نتایج تست کشش در دمای اتاق

	Elong A%	Yield stress MPa	Tensile stress MPa	Hardness
Max				42
Min	4	792	895	31
Result	5.5	811	952	41



معرفی انواع ژورنال بیرینگ‌ها در ماشین آلات دوار و بررسی اصول طراحی آن‌ها

بهنام نوری[1]، علیرضا سیفی[2]، هدیه عربکوهی[3]

ساخت قطعات در مجموعه ماشین‌های دوار به علت بارگذاری و باربرداری‌های متعدد و همچنین دماهای کاری نامتعارف و بسیار بالا همواره چالش‌های پیچیده‌ای را پیش روی مهندسان طراح و سازندگان این نوع از قطعات قرار داده است. در انواع ماشین‌های دوار فشارها و بارگزاری‌ها در نهایت به مرکز دوران منتقل می‌شوند. در مرکز دوران از تکیه‌گاه‌هایی استفاده می‌شود که با نام یاتاقان یا بیرینگ شهرت یافته‌اند. وظیفه خطیر حفظ دوران بدون لرزش‌های ویرانگر و یا کمترین اصطکاک برای مدت‌های طولانی و بدون وقفه بر عهده بیرینگ‌ها می‌باشد. در طول سال‌های متوالی و از زمان اختراع چرخ تاکنون، طراحی و ساخت انواع بیرینگ‌ها در حال تغییر و پیشرفت بوده است و از زمان ساخت اولین توربین، دستخوش تغییرات و پیشرفت‌های بسیار بزرگی شده است. مقاله حاضر با هدف معرفی انواع بیرینگ‌های دور بالا که در صنایع نفت، گاز و نیروگاهی کاربرد دارند، ارائه گردیده است.

در این مقاله به بررسی چند نوع مختلف از ژورنال بیرینگ‌های هیدرودینامیکی که در ماشین‌های دوار پرکاربرد هستند، پرداخته شده است. تاکید این مقاله بر روی طراحی عوامل هندسی کلیدی در هر یک از ژورنال بیرینگ‌ها می‌باشد. دو چارچوب برای انتخاب و هم‌سنجی بیرینگ‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. چارچوب اول کاربرد در سرعت‌های بحرانی و چارچوب دوم پارامترهای بدون اندازه در طراحی بیرینگ‌ها می‌باشد. هر دو چارچوب مطالعه کاربردی هستند و قابلیت استناد برای طراحی بیرینگ‌ها را دارا می‌باشند.

ژورنال بیرینگ‌ها

ماشین‌های دوار صنایع نفت، گاز و نیروگاهی انواع مختلفی از ژورنال بیرینگ‌ها را در خود جای داده‌اند که عبارتند از:

- استوانه‌ای ساده (Plain cylindrical)
- بیرینگ جدایش محوری (Offset split)
- سد فشاری (Pressure dam)
- لیمویی شکل (Lemon bore)
- انحراف پاشنه‌ای (Offset pivot)
- سه وجهی (Three-lobe)
- چهار وجهی (Four-lobe)
- بستر معلق (Tilting-pad)

دلیل تعدد انتخاب ژورنال بیرینگ‌ها در این است که هر کدام از آن‌ها خصوصیات عملیاتی مختص خودشان را دارا هستند و شرایط مناسب‌تری را نسبت به بقیه مدل‌ها در محیط کاری مورد نظر ارائه می‌کنند.

پارامترهای اولیه برای تمام ژورنال بیرینگ‌ها شامل قطر، زاویه بالشتک، نسبت اندازه به قطر و لقی خروج از مرکز می‌باشند. برای بیرینگ‌های چند وجهی شاخص‌هایی همچون تفاوت تعداد بالشتک‌ها، پیش بار، زاویه انحراف بستر بالشتک و جهت بیرینگ نیز دارای اهمیت هستند. شاخص‌های موثر کلیدی دیگر شامل لزجت روغن، چگالی روغن، سرعت دوران، نیروی گرانش در بیرینگ و بارهای خارجی بر روی بیرینگ می‌باشند. نیروی حلزونی در پمپ‌ها و بار شبکه‌ای در جعبه دنده‌ها مثال‌هایی از بارهای خارجی می‌باشند. در شکل ۱ ژورنال بیرینگ استوانه‌ای ساده که ابتدایی‌ترین ژورنال بیرینگ می‌باشد، نمایش داده شده است. در یک تعریف ساده این بیرینگ‌ها دارای یک سوراخ استوانه‌ای می‌باشند. دوران محور داخل ژورنال بیرینگ در شکل ۲ نمایش داده شده است. همچنین حرکت گریز از مرکز محور که در مقطع فشاری فیلم روغن رشد می‌یابد، در شکل نمایش داده شده است. اگر این مقطع فشار انتگرال حول بیرینگ باشد، شبکه نیروی مقاومت‌کننده برای مقابله با نیروهای تحمیل شده نیروی W را نتیجه می‌دهد.

مکان این نیروها که تعادلی بین نیروهای تحمیل شده و نیروی هیدرودینامیکی می‌باشد، به نام نقطه هم سنگی نامیده می‌شود. خروج از مرکز محور با عنوان e، فاصله‌ای است بین جابه‌جایی محور از نقطه تعادل و مرکز بیرینگ. به علاوه برای بارهای گرانشی، نیروهای خارجی بیرینگ می‌توانند مانند حالت ذکر شده قبلی باشند.

ژورنال بیرینگ چهار وجهی محوری که در شکل ۳ نمایش داده شده، یک نوع دیگر از بیرینگ‌های ساده می‌باشد. در این طراحی چهار بالشتک که نسبت به محور عمودی ۴۵ درجه هستند و در یک مرکز قرار دارند، یکپارچه شده‌اند. این نوع طراحی برای برخی کاربردها نسبت به ژورنال بیرینگ ساده

۱: بهنام نوری: واحد فنی مهندسی شرکت تامین کالای توربین ماشین خاورمیانه
۲: علیرضا سیفی: مدیر واحد فنی مهندسی شرکت تامین کالای توربین ماشین خاورمیانه
۳: هدیه عربکوهی: واحد فنی مهندسی شرکت تامین کالای توربین ماشین خاورمیانه

پایاتر می‌باشد. بیرینگ سد فشاری در شکل ۴ نمایش داده شده است. این بیرینگ همانند بیرینگ‌های ساده می‌باشد، به جز کنگره‌های تنظیم فشار با عمق d که در نیمه بالایی این نوع از بیرینگ‌ها قرار گرفته‌اند. انتهای کنگره‌ها که در زاویه θ_s نسبت به افق قرار گرفته‌اند، در شکل نشان داده شده‌اند. کنگره موجود در این بیرینگ‌ها فشار ناهمسانی در قبل و بعد از بوجود آمدن نیروی پیوسته ایجاد می کنند که بیرینگ را به سمت پایین فشار می‌دهد و به طرز قابل توجهی بر ثبات بیرینگ تاثیر می گذارد. نوع دیگری از این شیارهای متعادل کننده محیطی در نیمه پایینی قرار دارند. این شیارها کاهش‌دهنده واحد سطح بیرینگ می‌باشند، اگرچه از طرفی نیز افزایش‌دهنده واحد بار بر روی بیرینگ‌هستند.

با توضیحاتی که درباره طراحی ژورنال بیرینگ‌ها ارائه گردید، امکان دسته‌بندی آن‌ها به وجود می‌آید. تا به اینجا به دلیل اینکه سوراخ بابیتی با سطح گرد محور هم مرکز می‌باشد، در انتهای کار یک مرکز خواهیم داشت. اما از این جا به بعد به علت وجود دو سوراخ در بیرینگ‌ها، کار طراحی پیچیده‌تر می‌شود (یکی سوراخ ماشینکاری بالشتک و دیگری سوراخ تنظیم بیرینگ).

ترکیب این دو سوراخ، تعیین کننده پارامتر شناخته شده بدون اندازه‌ای تحت عنوان پیش‌بار می‌باشد. بالشتک بیرینگ با سوراخ ماشینکاری شده به شعاع R_p و با مرکزیت O_p و سوراخ تنظیم با شعاع R_b و با مرکزیت O_b که مرکز واقعی بیرینگ است در شکل ۵ نمایش داده شده است. اگر O_p با O_b منطبق باشد در نتیجه $R_b=R_p$ می‌شود و پیش بار برابر صفر خواهد شد. در این وضعیت اگر سطح ژورنال در مرکز بیرینگ باشد، کمان بالشتک هم مرکز با سطح ژورنال خواهد بود. اگر سوراخ بالشتک بزرگتر از سوراخ تنظیم باشد، مرکز انحنا منحرف خواهد شد که در شکل نشان داده شده است. شعاع سوراخ تنظیم، فاصله مرکز بیرینگ از سطح بالشتک در حداقل لقی از مرکز محور می‌باشد. اگر سوراخ ماشینکاری بالشتک در اندازه ثابتی نگه داشته شود، پیش بار با حرکت شعاعی بالشتک داخلی به سمت میله افزایش می‌یابد. بیشترین اندازه پیش‌بار زمانی اتفاق می‌افتد که بالشتک با محور در تماس باشد. در این شرایط لقی تنظیم برابر صفر خواهد شد و پیش بار اندازه واحدی خواهد بود. نیروی پیش بار روغن به سمت هر بالشتک تقرب پیدا می کند. چون لقی در قسمت وسط بالشتک کاهش می‌یابد، جایی که لقی محور کم شده و بالشتک به ایجاد تماس تمایل دارد، باریکه روغن تاثیر خود را می گذارد.

بیرینگ سوراخ لیمویی تشکیل شده از دو بالشتک ثابت است که با پیش بار در راستای عمودی می‌باشند، نمایی از این بیرینگ در شکل ۶ نمایش داده شده است. این بیرینگ می‌تواند با جاسازی یک لایه فلزی در خط جدایش قبل از عملیات ایجاد سوراخ ساخته شود. وقتی لایی فلزی جدا شود، لقی عمودی کمتر از لقی افقی خواهد شد. توجه شود که در شکل مرکز انحنای نیمه بالا و پایین منطبق با مرکز دایره واقعی نمی‌باشد.

شکل ۲

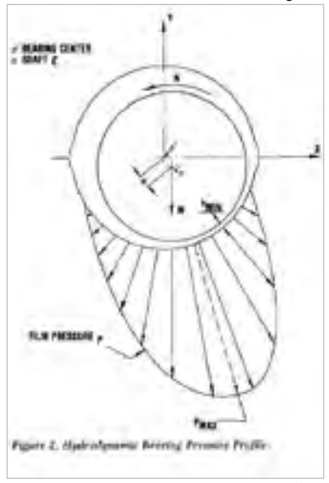


Figure 2. Hydrodynamic Bearing Pressure Profile.

شکل ۱

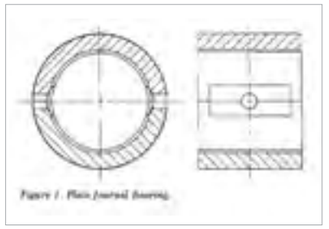


Figure 1. Plain Journal Bearing.

شکل ۳

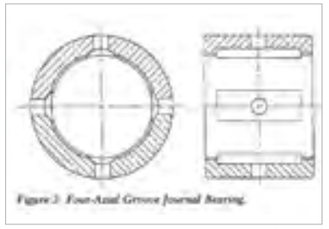


Figure 3. Four-Axial Groove Journal Bearing.

شکل ۵

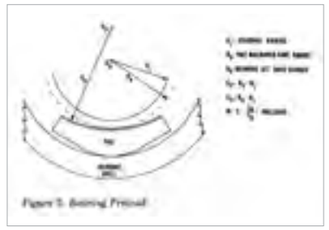


Figure 5. Bearing Friction.

شکل ۴

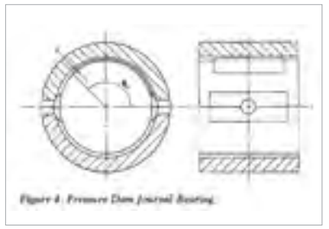


Figure 4. Pressure Dam Journal Bearing.

بیرینگ جدایش محوری در شکل ۷ نشان داده شده است. این بیرینگ در راستای افقی دارای پیش بار است. این بیرینگ با منحرف کردن نیمه‌ها قبل از ایجاد سوراخ نهایی تولید می‌شود و بعد از جفت کردن، مرکز بالشتک‌ها دارای انحراف افقی خواهد بود. در این بیرینگ لقی افقی کوچکتر از لقی عمودی است و لقی عمودی نیز با لقی بالشتک ماشین کاری شده برابر می‌باشد. لقی قطری افقی برابر است با اختلاف لقی قطری بالشتک‌های ماشین کاری شده با دو برابر انحراف شعاعی. بیرینگ‌های سه وجهی و چهار وجهی به کلاسی از بیرینگ‌ها که با نام بیرینگ‌های چند وجهی شناخته می‌شوند تعلق دارند. این بیرینگ‌ها از نظر مفهومی شبیه بیرینگ‌های سوراخ لیمویی می‌باشند (در این جا سوراخ بالشتک‌های ماشین کاری شده با سوراخ تنظیم بیرینگ از هم جدا هستند). توجه شود که مرکز انحنای بالشتک برای هر وجه از دایره، به دایره پیش بار ارجاع داده شده است. بنابراین بازه بزرگی از پیش بارها با تغییر بالشتک‌ها و سوراخ‌های تنظیم امکان پذیر می‌باشد. بر اساس این نکته، بحث انجام شده در قسمت قبل چند سبک مختلف از بیرینگ‌های با هندسه ثابت و بالشتک ثابت را تحت پوشش قرار می‌دهد. هر یک از این بیرینگ‌ها در کاربردهای مختلف فواید ویژه‌ای دارند، اما همگی آنها خصوصیتی به نام استحکام

بیرینگ‌های سه وجهی و چهار وجهی به کلاسی از بیرینگ‌ها که با نام بیرینگ‌های چند وجهی شناخته می‌شوند تعلق دارند. این بیرینگ‌ها از نظر مفهومی شبیه بیرینگ‌های سوراخ لیمویی می‌باشند

شکل ۶

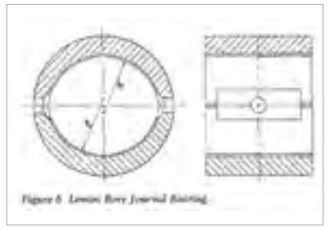


Figure 6. Lemon Bore Journal Bearing.

شکل ۷

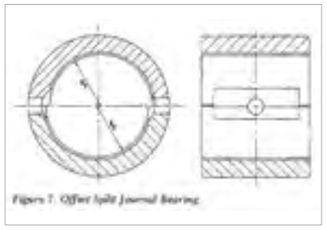


Figure 7. Offset Split Journal Bearing.

کوپل متقاطع را دارا هستند که باعث بوجود آمدن نیروی گریز از وضعیت برای جابه‌جایی و جفت شدن معادلات حرکت، برای درجات آزادی جانبی می‌شود. تحت یک شرایط مطمئن، این کوپل متقاطع می‌تواند موجب ناپایداری بیرینگ و در نتیجه حرکت گردابی روغن شود.

بیرینگ‌های گرد بالشتک معلق از چندین بالشتک گرد منحصر به فرد تشکیل شده‌اند که می‌توانند به عنوان بستر سوراخ نگهدارنده عمل کنند. بیرینگ‌های بالشتک معلق مانند بیرینگ‌های چند وجهی با تفاوت در وجه‌های معلق می‌باشند. مفهوم مشابهی از پیش بار در بیرینگ‌های بالشتک معلق نیز به کار برده شده است. این بالشتک‌ها دارای یک سوراخ ماشینکاری شده می‌باشند که می‌توانند در داخل یک نگهدارنده تنظیم شوند، به طوری که یک سوراخ تنظیم عمودی خلق شود. مزیت اولیه این طراحی در این است که هر بالشتک می تواند بستر مستقلی برای بسط سطح فشار خود داشته باشد. این شکل بستر مستقل به طور قابل توجهی استحکام کوپل متقاطع را کاهش می‌دهد. در حقیقت اگر اینرسی بالشتک‌ها قابل صرف‌نظر کردن باشد و بیرینگ نسبت به محور عمودی آیینه باشد، دوره استحکام کوپل متقاطع از بین خواهد رفت. تعداد بالشتک‌های استفاده شده در بیرینگ بالشتک معلق می‌تواند سه، چهار، پنج یا هفت عدد باشد، اگرچه رایج‌ترین طرح‌ها برای بیرینگ‌های بالشتک معلق دارای سه، چهار یا پنج عدد بالشتک می‌باشند. طرح‌های بستر گهواره‌ای و بستر کروی به ترتیب در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ نمایش داده شده‌اند. در طرح گهواره‌ای یک تماس خطی در بستر بین بالشتک با نگهدارنده بیرینگ به وجود می‌آید. در طراحی کروی، با یک تعریف اسمی بالشتک دارای یک تماس سطحی نیمکروی با نگهدارنده بیرینگ است. هر دوی این طراحی‌ها به بالشتک‌ها اجازه می‌دهند که در یک وضعیت متعارف قرار بگیرند. البته بالشتک‌های طرح کروی امکان همساز کردن و تطبیق دادن جابه‌جایی محور را هم دارند.

عوامل کلیدی طراحی

در گذشته بحث پیش بار تحت عنوان اختلاف بین دو سوراخ بیرینگ تعریف شده‌است. این دو سوراخ شامل سوراخ ماشینکاری بالشتک و سوراخ تنظیم بیرینگ می‌باشند. توجه شود که در بیرینگ‌های گرد ساده، شیار محوری و سد فشاری فقط یک سوراخ وجود دارد (سوراخ تنظیم با سوراخ بالشتک‌ها یکسان می‌باشد). اختلاف شعاع بین سوراخ ماشینکاری بالشتک و شعاع محور، لقی بالشتک‌ها می‌باشد و اختلاف شعاع بین سوراخ تنظیم بیرینگ با شعاع محور لقی سوراخ تنظیم می‌باشد. لقی سوراخ تنظیم مانند لقی خروج از مرکز می‌باشد، که اغلب یک هزارم اینچ از قطر محور می‌باشد. بعضی از مقادیر عمومی نسبت لقی بین ۱/۵ تا ۲ واحد از یک هزارم اینچ می‌باشد. واضح است که این لقی در تمامی موارد کاربردی نیست و لقی‌های قابل قبول برای کاربردهای ویژه در ساخت تعریف می‌شوند.

نسبت لقی به نسبت طول به قطر نیز ارجاع داده می‌شود. این عدد نسبت طول بیرینگ به قطر محور می‌باشد. این نسبت عموما بین ۰/۲ تا ۱ متغیر است. هر چند بعضی از بیرینگ‌های گرد ساده دارای نسبت لقی بالای ۱ می‌باشند. طول بیرینگ نیز بر روی استحکام و خصوصیات میراکنندگی تاثیر می گذارد. یکی از مهم‌ترین ملاحظات در انتخاب طول بیرینگ، واحد بار بیرینگ می‌باشد. بار بیرینگ تقسیم بر طول بیرینگ در قطر محور، واحد بار بیرینگ را مشخص می کند و واحد آن Psi می‌باشد. واحد بار بیرینگ‌ها عموما بین 150 Psi تا 250 Psi می‌باشند.

جمع بندی

در ماشین‌های دوار برای کاهش لرزش‌های ویرانگر و داشتن کمترین اصطکاک از ژورنال بیرینگ‌ها استفاده می گردد. پارامترهای هندسی مهم ژورنال بیرینگ‌ها شامل قطر، زاویه بالشتک، نسبت اندازه به قطر و لقی خروج از مرکز می‌باشند و نیز عوامل غیر هندسی همچون لزجت روغن، چگالی روغن و سرعت دوران در ژورنال بیرینگ‌ها تاثیرگذار هستند. در ژورنال بیرینگ‌های گرد ساده، شیار محوری و سد فشاری، سوراخ ماشینکاری بالشتک و سوراخ تنظیم بیرینگ در یک مرکز قرار دارند و خروج از مرکز صفر می‌باشد. ولی در سایر ژورنال بیرینگ‌های معرفی شده، خروج از مرکز عددی بزرگتر از صفر است که اغلب یک هزارم اینچ از قطر محور می‌باشد.

یکی از مهم‌ترین ملاحظات در انتخاب طول بیرینگ، واحد بار بیرینگ می‌باشد. بار بیرینگ تقسیم بر طول بیرینگ در قطر محور، واحد بار بیرینگ را مشخص می‌کند

شکل ۸

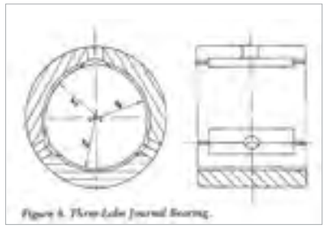


Figure 8. Three-Lobe Journal Bearing.

شکل ۹

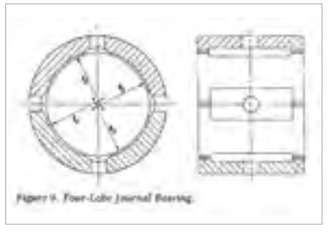


Figure 9. Four-Lobe Journal Bearing.

شکل ۱۰

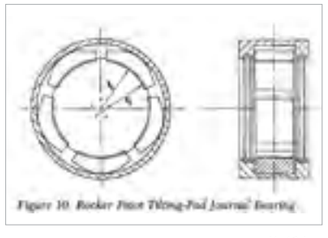


Figure 10. Rocker Pivot Tilting-Pad Journal Bearing.

شکل ۱۱

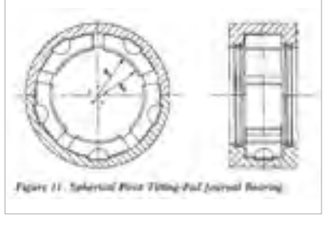


Figure 11. Spherical Pivot Tilting-Pad Journal Bearing.

مطالعه موردی پوشش آلیاژی روی–نیکل نانو ساختاری در ناحیه سرد توربین‌های گازی سولار جایگزین شده با پوشش مشابه غیر نانو

فناوری نانو در توربین‌های گاز

مهدیه صفیاری[1]، احمد حیدری[2]، علیرضا سیفی[3]

در زندگی امروزی نیاز بـــه توربین‌های گاز به عنوان مولدهای انرژی به‌طور مداوم وجود دارد، لذا بشـــر با به‌کار بستن علوم و فناوری‌های نوین همواره در راستای بهبود عملکرد، افزایش بازده و عمر این نوع توربین‌ها تلاش کرده است. از جمله فناوری‌هایی که در ارتقای توربین‌های گازی نقش موثری دارند، فناوری استفاده از مواد پیشرفته نظیر مواد نانوساختار می‌باشد.

مواد نانوساختار به منظور بهبود خواص مکانیکی و حرارتی قطعات استفاده می‌شوند و همچنین به دلیل شکل‌پذیری بهتری که نسبت به مواد میکروسایز دارند، برای ساخت قطعات پیچیده مناسب‌ترمی‌باشند. در دو دهه اخیر توربین‌های گازی دستخوش تغییرات و پیشرفت‌های چشمگیری شده‌اند. در بسیاری از گزارشات مربوط به شرکت‌های مطرح سازنده این نوع توربین‌ها، مشخص شده است که بیش از ۵۰ درصد این پیشـــرفت‌ها در نتیجه استفاده از مواد پیشرفته بوده است.

در این مقاله بر اســـاس مطالعات انجام شـــده در مقالات مختلف، به تاثیر کاهش اندازه دانه در مواد مختلفی که در توربین‌های گازی مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌پردازیم.

۱: مهدیه صفیاری: واحد فنی مهندسی شرکت تامین کالای توربین ماشین خاورمیانه
۲: احمد حیدری: مدیر بخش متالورژی، واحد فنی مهندسی شرکت تامین کالای توربین ماشین خاورمیانه
۳: علیرضا سیفی: مدیر واحد فنی مهندسی شرکت تامین کالای توربین ماشین خاورمیانه

در ترکیبات بین فلزی و سرامیک‌ها با کاهش اندازه ذرات تا محدوده نانو علاوه بر استحکام، سختی و داکتیلیتی نیز افزایش می‌یابد.

افزایـــش داکتیلیتـــی در ســـرامیک‌ها به دلیل لغزش‌های مرزدانه‌ای و فرایندهای تغییر شـــکل مرزدانه‌ای کنترل شونده با نفوذ می‌باشد.

افزایش نفوذ و داکتیلیتی باعث تســـهیل ساخت قطعات پیچیده ســـرامیکی می‌شود و همچنین در کامپوزیت‌های زمینه سرامیکی باعث افزایش استحکام می‌گردد. در بسیاری از موارد مشاهده شـــده اســـت که در توربین‌هـــای گازی قطعات سرامیکی از لحاظ استحکام مکانیکی و حرارتی بسیار مناسب‌تر از قطعات فلزی‌اند ولی باتوجه به سخت‌بودن شکل‌دهی قطعات سرامیکی نسبت به فلزی در خصوص جایگزینی این قطعات اقدامات جدی صورت نگرفته است، حال آنکه با نانوسایز کردن ذرات سرامیکی در مواردی این مشکل حل می‌شـــود، اما توجه به این نکته ضروری است که ترکیبات بین فلزی و سرامیک‌های نانو ساختار در دماهای بسیار پایین و همچنین تحت کرنش‌هایی که با ســـرعت بالا ایجاد می‌شـــوند، خواص ترد و شـــکننده ای می‌یابند و بنابراین در این کاربردها مناسب نمی‌باشند.

در فلزات خالص با نانو سایز کردن ذرات افزایش استحکام توام با کاهش شدید داکتیلیتی خواهد بود، این در حالی‌اســـت کـــه در آلیاژهایی که در نتیجه عواملی نظیر محلول جامد، رسوب سختی و یا توزیع ذرات دارای استحکام و سختی بالایی گردیده‌اند، نظیـــر آلیاژهای آلومینیوم، آلیاژهای تیتانیوم، سوپرآلیاژهای پایه نیکلی و فولادهای پرآلیاژی. در این آلیاژها با نانو ســـایز کردن ذرات و کاهش سایز رسوبات و ذرات توزیع شده در فاز زمینه، استحکام بســـیار افزایش می‌یابد و مقدار کاهش داکتیلیتی تا حدی اســـت که در مقایسه با فلزات خالص از نظر مهندسی مورد قبول است.

بنابراین یکی از رویکردهای مهم برای استفاده از نانو مواد درساخت آینده توربین‌های گاز، نانوسایز کردن آلیاژهای فلزی در کاربردهایی است که نیاز به استحکام بالادارد.

یکی دیگر از رویکردهای مهم استفاده از نانومواد در آینده در مواردی است که از قطعات، استحکام بالا و در عین حال داکتیلیتی محدود و مشخص مورد انتظار است مثل سرمت‌ها و تمام مواردی که داکتیلیتی توسط سایز و کسر حجمی فاز ثانویه که ترد است کنترل می‌شود.

Co-WC یک مثـــال از مواد با داکتیلیتی محدود است که شامل ذرات درشت WC در زمینه نرمی از کبالت می‌باشد. در این ماده زمانی که سایز دانه‌ها از میکرو تا نانو کاهش می‌یابد، سختی به میزان دو برابر افزایش می‌یابد.

از آنجا که استفاده از مواد نانو ساختارهزینه‌های زیادی را در بردارد و همین عامل سبب می‌شود که استفاده از آنها در آینده نزدیک بعید به نظر برسد، با این حال برای کاربردهای مهم و حســـاس که تعداد محدودی مواد در آنها استفاده می‌شوند مثل پوشش‌ها و قطعات حساس کوچک و یاتاقان‌ها استفاده از نانوفناوری مناسب می‌باشد. بنابر وسعت و اهمیت استفاده از پوشش‌ها در توربین‌های گازی، توسعه و به‌کار بردن پوشش‌های نانو ساختار یک امر اجتناب ناپذیر است. بهبود خواص پوشش‌ها به‌وســـیله نانو ســـایز کردن اندازه دانه‌ها ، نسل جدیدی از پوشـــش‌ها را که دارای خواصی نظیر مقاومت در برابرســـایش بالا، مقاومـــت در برابر فرسایش و اکسیداسیون و مقاومت حرارتی بالا و

مواد نانوساختار به منظور بهبود خواص مکانیکی و حرارتی قطعات استفاده می‌شوند و همچنین به دلیل شکل پذیری بهتری که نسبت به مواد میکروسایز دارند، برای ساخت قطعات پیچیده مناسب‌ترند

شکل ۱. پره توربین ساخته شـــده از (Gamma TiAl) دارای پوشش نانو ساختار چندلایه‌ای ســـبک و نازک با ضخامت ۴ میکرون (CrAlYN / CrN) اعمال‌شده به روش PVD

استحکام در مقابل ترک هستند را عرضه می‌نماید.

نانو پوشش‌ها به چهار دسته اصلی تقسیم می‌شوند که عبارتند از:

• پوشش‌های دانه‌ای: با چسباندن نانوذرات روی یک ماده زمینه، پوشش‌های دانه‌ای ایجاد خواهد شد. نانوذراتی همچون دی اکسید تیتانیم، اکسید مس، اکسید روی و آلومینا از این دسته‌اند.

• پوشش‌های شبکه‌ای و چند لایه‌ای: این پوشش‌ها از هزاران لایه و هر لایه با ضخامتی در حدود ۱ تا ۵ نانومتر ساخته می‌شوند. هر لایه ساختار کریستالی خاصی دارد و از عناصر مختلفی نظیر نیکل، تیتانیم، وانادیم و آلومینیم ساخته می‌شوند.

• پوشش‌های لایه نازک: پوشش‌های لایه نازک از لایه‌های متناوب با فازهای مختلف تشکیل شده‌اند. این لایه‌ها سختی و مدول الاستیک بالا و خواص سایشی خوبی دارند. دلیل افزایش سختی پوشش‌های نازک چند لایه، قرار گرفتن لایه‌های خیلی نازک با طول خط نابه‌جایی متفاوت روی هم و در نتیجه نزدیک شدن استحکام به حد تئوری آن است.

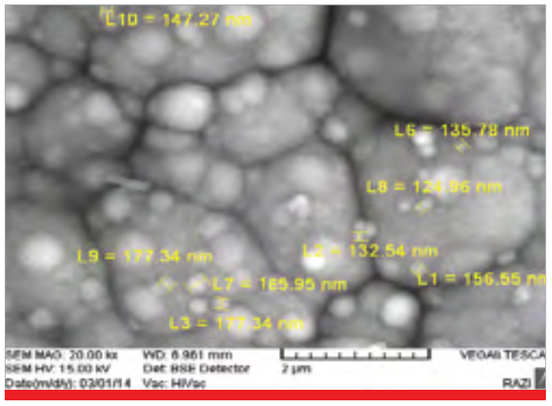
• پوشش‌های نانوکامپوزیتی: پوشش‌های نانوکامپوزیتی بیشترین کاربرد را دارند، زیرا با استفاده از آن‌ها می‌توان خواص منحصر به فرد شیمیایی و فیزیکی را بر روی سطح قطعات ایجاد نمود. در این پوشش‌ها که از دو فاز زمینه و تقویت‌کننده تشکیل شده‌اند، فاز نانوکریستالی (تقویت کننده) در فاز آمورف (ماده زمینه) قرار می‌گیرد.

دلایل استفاده از نانوپوشش‌ها را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

• بیشترین نفوذ پوشش در بسته‌ترین حفره‌های سطحی که عملیات پوشش‌دهی روی آن انجام می‌شود.

• ابعاد این پوشش‌ها به میزان میلی میکرون می‌باشد، این بدان معنی است که هم از فضا و هم از مواد به طور صحیح استفاده می‌شود.

• تراکم و بهم آمیختگی بالای لایه نازک: این نکته بدین معناست که حتی کوچکترین عاملی که می‌تواند باعث خوردگی شـــود نیز نمی‌تواند داخل منافذ این لایه شده و فرآیند خوردگی را شروع کند.



شکل ۲. تصاویر بدست آمده از SEM پوشش روی-نیکل

Element	Zn	Ni	Fe
Value	93.4	5.55	1.05

جدول ۱. ترکیب شیمیایی پوشش اعمال‌شده

	اندازه دانه ها	ترکیب شیمیایی پوشش	نرخ خوردگی(mpy)	دانسیته جریان خوردگی (µA/Cm۲)	پتانسیل خوردگی (mV)
قطعه شماره ۱	بین ۱۰۰ تا ۱۸۵ nm	مشابه جدول ۲	2.7	7.3	-756
قطعه شماره ۲	حدود ۵۰ میکرون	مشابه جدول ۲	۳،۱	۸،۱	-۱۰۸۲

جدول ۲. مقادیر نرخ خوردگی به دست‌آمده از دیاگرام پلاریزاسیون برای قطعات ۱ و ۲

• خصوصیات پراکنش لایه نازک: این خصوصیت این نکته را تداعی می‌کند که لایه به‌طور بســیار زیادی هموژن اســت و این امــر حتی اختلاف پتانسیل شیمیایی را برای شروع فرآیند خوردگی حذف می‌کند.

• رئولوژی ویژه نانوپوشش‌ها: خواص جریان‌یابی این نانوپوشـــش‌ها به گونه‌ای است که در هنگام نشست در ماده هدف به بهترین وجه این امر صورت می‌گیرد و در مرحله بعد، چســبندگی این نوع پوشش‌ها به گونه‌ای است که بیشترین استحکام را در برابر تلاطم مواد خواهد داشت.

• پایداری شیمیایی و حرارتی

• مصرف کمتر حلال در نشـــاندن آن روی ماده هدف

• افزایش مقاومت سایشی

• افزایش مقاومت خوردگی

از روش‌های صنعتی اعمال پوشش‌های نانو می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

• روش شعله

• روش نشست لایه‌های اتمی

• روش سل-ژل

• روش نشست الکتروشیمیایی

• روش لایه نشانی و کریستالیزاسیون پوشش‌ها درجا

• روش نشست شیمیایی بخار یا چگالی شیمیایی بخار

مطالعه موردی پوشـــش آلیاژی روی-نیکل نانو ساختاری در ناحیه سرد توربین‌های گازی سولار جایگزین شده با پوشش مشابه غیر نانو

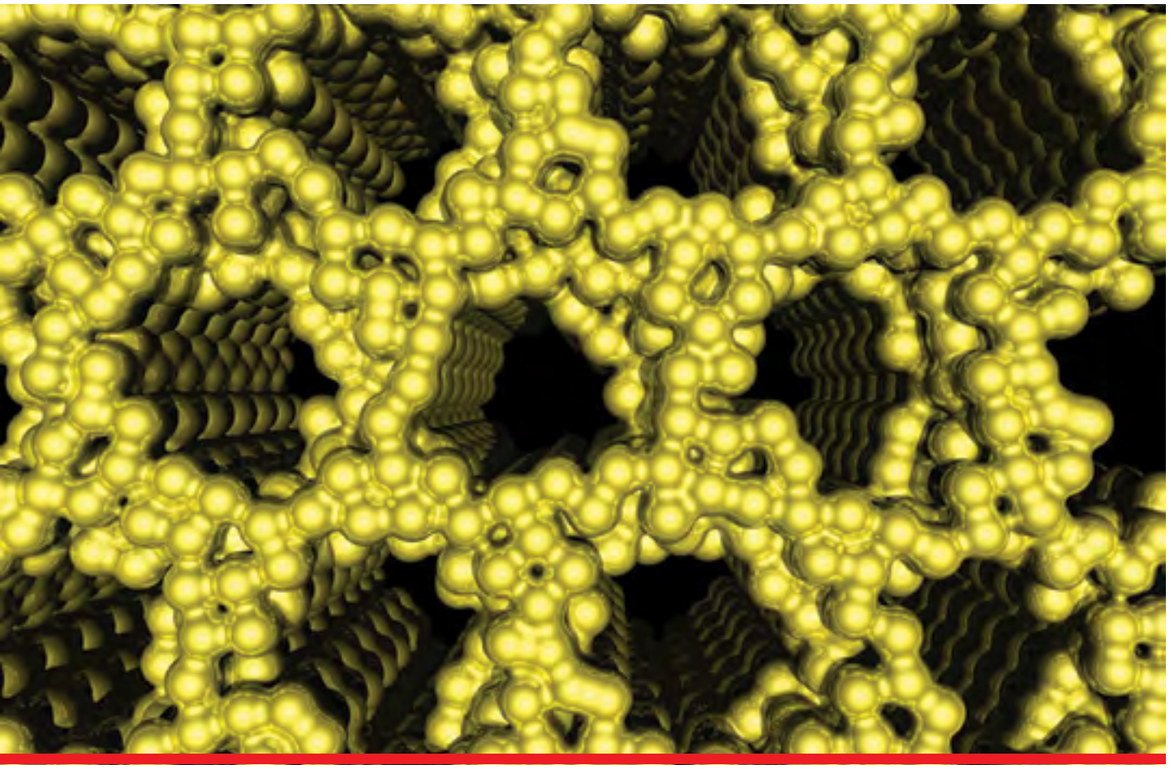
در ادامه روند جایگزینی پوشش کادمیوم با پوشش آلیاژی روی-نیکل که به طور مفصل در مقاله چاپ شده در شماره دوم فصلنامه علوم، فنون و مدیریت توربین ماشین تحت عنوان «جایگزینی پوشش الکتروپلیت کادمیوم در قطعات ثابت ناحیه سرد» مورد بحث قرار گرفت، لزوم بهبود پوشش‌های مورد اســتفاده در توربین‌های گازی، واحد مهندسی شرکت توربین ماشین خاورمیانه را بر آن داشت تا این بار برای دستیابی به کیفیت بالاتر مطالعاتی در زمینه ایجاد پوشش نانو و مقایسه این نوع پوشش‌ها با پوشش‌های دارای ذرات میکرونی انجام دهد.

روش انجام کار قطعه پوشش‌دهی شده

در این آزمون قطعه مورد استفاده از جنس فولاد ساده کربنی می‌باشد.

پوشش اعمال شده

پوشـــش از جنس نیکل- روی است که ترکیب شـــیمیایی مربوط به آن از طریق میکروسکوپ الکترونی با پروب EDS آنالیز شده و نتایج حاصل از آن در جدول ۱ آورده شـــده است. این پوشش



مانند پوشش‌های غیر نانو به روش نشست الکتروشیمیایی بر روی قطعه اعمال شـــده اســـت. با این تفاوت که در اینجا بر خلاف قبـــل، از ذرات با ابعادی در حد نانو استفاده شده و برای جلوگیری از کلوخه شدن ذرات از پراکنده‌سازهای پلیمری نظیر ژلاتین و یا گلیسرول استفاده شده است. بر اساس مطالعات انجام شده از تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM (شکل ۲) مشاهده می شود که این پوشش‌ها حاوی ذراتی در حدود نانومتر می‌باشند.

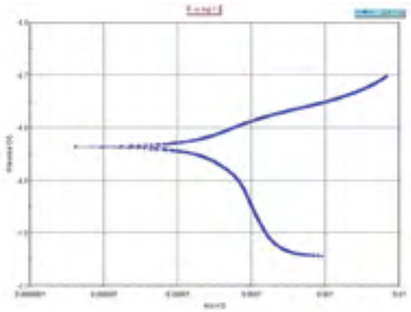
آزمون خوردگی

آزمون خوردگی انجام شـــده برای قطعه فوق، آزمون پلاریزاسیون تافل می‌باشد. گراف مربوط به این آنالیز در شکل ۳ نشان داده شده است.

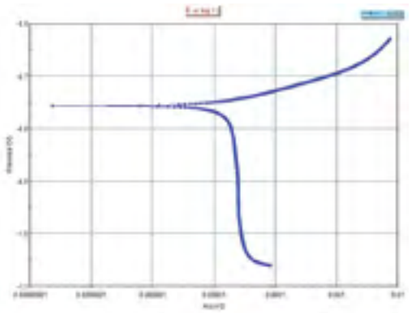
بحث و نتیجه گیری

در این پروژه به منظور بررسی تاثیر سایز دانه‌ها بر میزان خوردگی، نتایج به دست آمده برای دو قطعه (قطعه شماره ۱) و (قطعه شماره ۲) مورد مقایسه قرار گرفت. خصوصیات قطعات مورد مقایسه در جدول ۲ آورده شده است. بنابر آنچه در جدول ۲ مشاهده می‌شود نرخ خوردگی پوشش قطعه شماره ۱ به مراتب کمتر از قطعه شماره ۲ می‌باشد. همچنین بنابر آنچه گفته شد میزان چسبندگی پوشش قطعه شماره ۱ بهتر از پوشش قطعه شماره ۲ است. لذا قطعه شـــماره ۱ از لحاظ مقاومت در مقابل خوردگی مناسب‌تر از قطعه شـــماره ۲ است و در مواردی که پوشـــش با کیفیت بسیار بالایی مورد نیاز اســـت، جایگزینی پوشش میکرو ساختار با پوشش نانو ساختار پیشنهاد می‌شود.

شکل ۳-الف) منحنی پلاریزاسیون تافل پوشش آلیاژی روی ـ نیکل با ذرات میکرونی



شکل ۳-ب) منحنی پلاریزاسیون تافل پوشش آلیاژی روی ـ نیکل با ذرات در حد نانو



تولید همزمان برق و آب شیرین

فریبا جهانمردی[۱]، محمدرضا امینی‌مقام[۲]، کاوه قربانیان[۳]

آب یک ماده غیر آلی است که نقش آن در فرآیندهای زیستی، توسط هیچ ماده دیگری قابل جایگزینی نمی‌باشد. در توزیع آب در مقیاس جهانی، عدم تعادل فاحشی وجود دارد و امروزه از نظر مقدار نیز با محدودیت‌هایی روبرو است. همچنین امروزه جامعه بشری با چالش بزرگی برای مصون نگاه داشتن میلیون‌ها نفر در مقابل خطرات خشکسالی و کم آبی، که در همین لحظه در موقعیت کمبود آب قرار دارند، مواجه شده‌است. در شکل ۱ پیش‌بینی توزیع منابع آب جهان در سال ۲۰۲۵ نشان داده شده است.

در بین گزینه‌های افزایش دسترسی به آب می‌توان به فرآیند شیرین‌سازی آب اشاره نمود. شیرین‌سازی آب شامل تکنولوژی‌هایی است که در طی فرآیندهای مختلف و با صرف انرژی، آب شور را به آب آشامیدنی تبدیل می‌سازند. این دست فرآیندها سبب می‌شوند که آب آشامیدن از طریق منابع آبی که شوری آن‌ها سبب غیرقابل استفاده بودن آنها برای مصارف شهری، صنعتی و کشاورزی شده است، تامین گردد.

تنها در طی ۴۵ سال اخیر، ظرفیت شیرین‌سازی آب از حدوداً صفر به بیش از ۷۰ میلیون مترمکعب در روز رسیده است و در سطح جهان حدود ۱۶۰۰۰ واحد شیرین‌سازی آب احداث شده است. نکته جالب توجه، افزایش تولید ۲۶ میلیون متر مکعب در روز در سال ۲۰۰۰، به تولید بیش از ۴۵/۵ میلیون مترمکعب در روز در سال ۲۰۰۷ و تولید نزدیک به ۷۰ میلیون مترمکعب در روز در سال ۲۰۱۲ می‌باشد. در این بین، حدود دو سوم تقاضای جهانی برای بهره‌گیری از صنعت شیرین‌سازی آب، از سوی کشورهای منطقه خاورمیانه و نیز شمال آفریقا می‌باشد. دلیل این میزان تقاضا را در افزایش جمعیت، آب و هوای گرم و خشک و محدودیت شدید آب شیرین در این مناطق می‌توان جست‌وجو کرد.

مقایسه بین جمعیت سال ۱۹۵۰ و جمعیت امروز برخی از این کشورها در جدول ۱ بیان شده است. به عنوان نمونه، کشورهای قطر و امارات متحده عربی برای رفع نیاز خود به آب آشامیدنی، تقریباً به صورت کامل به طرح‌های شیرین‌سازی وابسته‌اند.

۱: فریبا جهانمردی: واحد مهندسی توربین شرکت مدیریت پروژه‌های توربین ارکان ایرانیان
۲: محمدرضا امینی‌مقام: واحد مهندسی توربین شرکت مدیریت پروژه‌های توربین ارکان ایرانیان
۳: کاوه قربانیان: نائب رئیس هیات مدیره شرکت توربین ماشین خاورمیانه

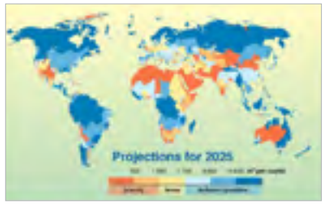
بر طبق آمارها، کشور عربستان سعودی دارای بیشترین ظرفیت شیرین‌سازی آب در دنیا می‌باشد، همچنین آمارها حاکی از آن است که در سال ۲۰۱۰ روزانه حدود ۳۰ میلیون مترمکعب آب شیرین در منطقه تولید شده و پیش‌بینی می‌شود این رقم در سال ۲۰۱۵ به حدود ۴۰ میلیون مترمکعب در روز برسد.

شکل ۲، ده کشور برتر در زمینه شیرین‌سازی آب، که از سال ۲۰۰۳ تاکنون بیشترین ظرفیت را به خود اختصاص داده‌اند، را نشان می‌دهد.

کشور ایران نیز با بحران جدی در کاهش شدید منابع آبی مواجه است. در ایران میانگین دریافت‌های آسمانی حدود یک سوم میانگین ریزش‌های سالانه جهانی بوده و به لحاظ جغرافیایی نیز، بیشتر وسعت ایران دارای آب و هوای گرم و خشک است. در نتیجه استعداد تبخیر و تعرق منابع آبی در کشور به مقدار قابل توجهی از متوسط جهانی بالاتر است و بیش از دو سوم بارش‌ها نیز، چند روزی پس از بارش تبخیر می‌شوند. علاوه بر این، با افزایش جمعیت و البته تغییر سبک زندگی، مقدار نیاز به آب‌شیرین بیشتر شده و این شرایط در آینده‌ای نه چندان دور، بحرانی‌تر نیز می‌گردد.

علی‌رغم اهمیت بسیار 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

شکل ۱: پیش‌بینی منابع آب جهان در سال ۲۰۲۵

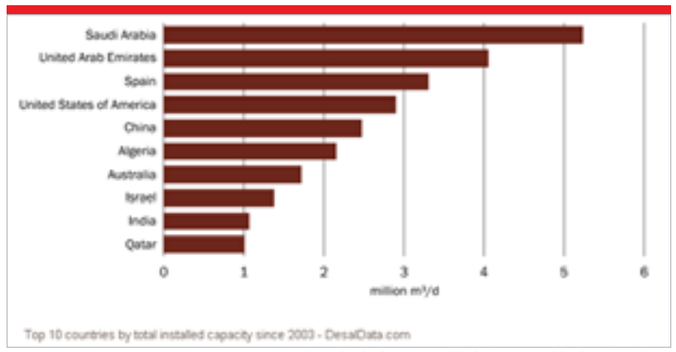


کشور	جمعیت ۱۹۵۰ (میلیون نفر)	جمعیت امروز (میلیون نفر)
سوریه	۳/۵	۲۲
مصر	۲۰	۸۵
یمن	۴/۵	۲۵
عربستان سعودی	۳	۲۹
عراق	۵	۲۵
ایران	۱۶	۷۵

جدول ۱: افزایش جمعیت در کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا

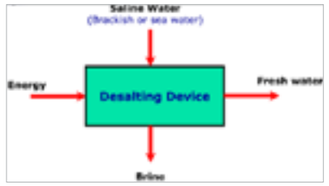
کشور	سرانه آب شیرین تولیدی برای هر فرد [lit/day]
امارات متحده عربی	۱۰۰۰
قطر	۵۰۰
عربستان سعودی	۱۸۰
ایران	۷

جدول ۲: مقایسه سرانه تولید آب شیرین در کشورهای منطقه



شکل ۲: کشورهای دارای بیشترین مقدار ظرفیت شیرین‌سازی از سال ۲۰۰۳

کشورهای قطر و امارات متحده عربی برای رفع نیاز خود به آب آشامیدنی، تقریبا به صورت کامل به طرح‌های شیرین‌سازی وابسته‌اند.



شکل ۳: شماتیک فرآیند شیرین‌سازی آب

دریا در ایران شـــیرین می‌شود. این رقم به 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 درحالی‌است که کشورهای حاشیه خلیج فارس مانند عربســـتان ســـعودی و امارات متحده عربی، سرمایه‌گذاری‌های زیادی بر روی شیرین‌سازی آب انجام داده‌اند و با داشتن جمعیت کم‌تر، چندین برابر ایران از آب خلیج فارس استفاده می‌کنند. سرانه آب شیرین تولید شده برای هر فرد در عربستان ســـعودی بیش از ۱۸۰ لیتر در روز و برای هر فرد در امارات حـــدود ۱۰۰۰ لیتر در روز اســـت که این مقدار ۱۵۰ برابر سرانه آب شیرین تولید شده برای هر فرد در ایران است. اهمیت مساله آب در منطقه خاورمیانه به اندازه‌ای است که بنابر اعلام رسانه‌های گروهی، رژیم صهیونیستی نیز از مدت‌ها پیش در این زمینه مشغول به فعالیت است تا با ایجاد بحـــران آب در خاورمیانه، جنگ پنهان خود را عملی کند. کارشناسان عرصه بین الملل نیز پیش از این درباره تلاش صهیونیسم برای رخنه در بین کشـــورهای حوزه رود نیل و تسلط بر آب این رودخانه و ایجاد بحران آب در منطقه، هشدار داده بودند. با توجه به این که ۸۰ درصد از آبی که از رود نیل وارد کشور مصر می شود، از کشور اتیوپی می‌گذرد، صهیونیست‌ها کشور اتیوپی را وادار به ساخت ســـد بر روی رود نیل کرده‌اند. همچنین طرح ساخت سد بر روی یکی از انشعاب‌های رود نیل که از ســـودان جنوبی می‌گذرد را مطرح و با دولت این کشور برای ساخت آن به توافق رسیده است که با جمع شدن این آب در پشت سد، کنترل آن در اختیار کامل صهیونیست‌ها قرار می‌گیرد. در دوران جنگ داخلی میان جنوب سودان با دولت مرکزی این کشور نیز با نیروهای مخالف خارطوم روابط گسترده ای برقرار و طرح‌های آبیاری میان سودان و مصر را مختل کردند. مقایسه سرانه تولید آب شیرین در برخی از کشورهای منطقه در جدول ۲ آورده‌شده‌است.

اهمیت مساله آب در منطقه خاورمیانه به اندازه‌ای است که بنابر اعلام رسانه‌های گروهی، رژیم‌صهیونیستی نیز از مدت‌ها پیش در این زمینه مشغول به فعالیت است تا با ایجاد بحران آب در خاورمیانه، جنگ پنهان خود را عملی کند.

تکنولوژی شیرین‌سازی آب

ایده اصلی شیرین‌سازی، جدایش نمک اضافی و سایر مواد معدنی نامطلوب از آب دریا و یا آب کم شور از طریق به‌کارگیری یک منبع انرژی می‌باشد. در شکل ۳ شماتیکی از فرآیند شیرین‌سازی آب شور نشان داده شده است.

فرآیندهای شیرین‌سازی به دو گروه اصلی تقسیم می‌شوند: گرمایی و غشـــایی. در جدول ۲ به‌طور خلاصه روش‌های متداول شیرین‌ســـازی نشان داده شده‌اند. در ادامه، به طور مختصر به توضیح دو روش غشایی RO و شیرین‌سازی حرارتی MED پرداخته شده است.

روش اسمز معکوس

یکی از روش‌های غشایی، فرآیند اسمز معکوس می‌باشد. در فرآیند اسمز معکوس، جریان طبیعی اسمز با اعمال فشـــاری بیش از فشـــار اسمزی، برعکس می‌شود. این پدیده در شکل ۴ نشان داده شده اســـت. در عمل، آب دریا از یک واحد پیش آماده‌سازی عبور داده می‌شود تا از ته‌نشین شدن نمک و رشـــد میکرو ارگانیسم‌ها جلوگیری شود. سپس وارد یک محفظه فشـــار می‌شود که در آن فشارش افزایش می‌یابد. درعین حال که غلظت نمک ثابت نگه داشته شـــده است، قسمتی از آن را قبل از عبور از غشـــا تخلیه می کنند. سپس آب آشامیدنی با مقدار اندکی نمک از غشا عبور می کند و به واحد عملیات بعد از شیرین‌ســـازی می‌رود تا برای ذخیره‌سازی و یا استفاده آماده شود.

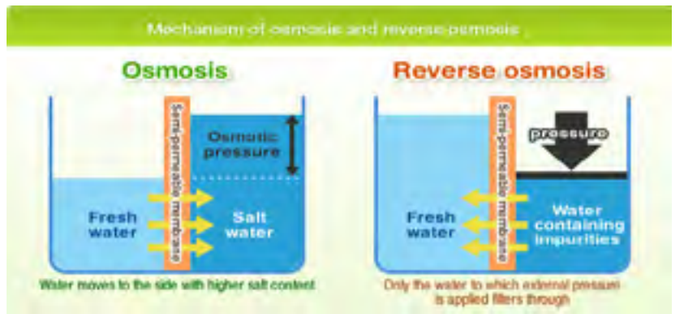
روش تقطیر چند مرحله‌ای

از میان روش‌های حرارتی می‌توان به روش تقطیر چند مرحله‌ای یا MED به عنوان یکی از روش‌های متداول در شیرین‌ســـازی آب اشاره نمود. فرآیند MED قدیمی‌ترین فرآیند برای شیرین‌ســـازی آب است که اساســـا با انرژی حرارتی کار می کند که مشابه چرخه طبیعت است. بنابراین، می‌تواند از منبع انرژی گرمای تلف شده در محدوده دمایی پایین استفاده کند که در این‌صورت هزینه عملکرد و هزینه آب تولید شده را کمینه خواهد کرد. یک واحد MED یک تبخیرکننده است که در آن آب دریا در یک مرحله و یا تعداد بیشتر مراحل، وابسته به مقدار و کیفیت مورد نظر، در دمای پایین تبخیر می‌شود و آب شیرین تولید می کند. اندیشه بنیادی این روش، یک فرایند چند مرحله‌ای 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. 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. فرایند 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 عملکرد ترمودینامیکی نیروگاه از طریق بازیابی انرژی گرمایی تلف شده، در یک سیستم حرارتی دیگر مانند فرایند MED برای تولید آب شیرین است که می‌تواند با انرژی گرمایی با درجه پایین کار کند.

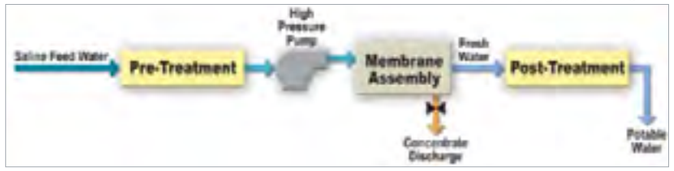
جدول ۳: روش‌های شیرین‌سازی آب

Technology Approach	Source	Process	Name
Water Separation	Thermal + Electrical	Evaporation	(Multi Stage Flash (MSF
			Multi Effect Distillation (MED
			Thermal Vapor Compression ((TVC
			(Solar Desalination (SD
		Crystallization	Freezing
			Formation of Hydrates
		Evaporation & Filtration	(Membrane Distillation (MD
	Electrical	Evaporation	Mechanical Vapor Compres-(sion (MVC
		Ionic Filtration	(Reverse Osmosis (RO
Salt Removal	Electrical	Ionic Migration	(Electrodialysis (ED
	Chemical	Others	(Ionic Exchange (IX
			Extraction

شکل ۴: مکانیزم پدیده اسمز و اسمز معکوس



شکل ۵: فلوچارت روش اسمز معکوس



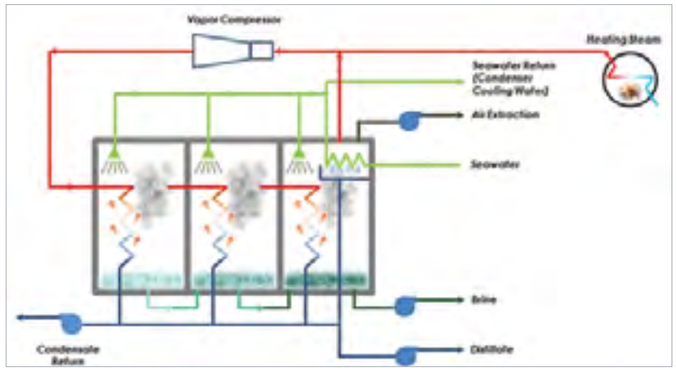
شیرین‌سازی آب در خلیج فارس

روش مورد اســـتفاده برای شیرین‌ســـازی آب به عوامل متعددی بستگی دارد، مانند:

- ظرفیت تولید آب مورد نیاز
- کیفیت آب مورد استفاده برای شیرین‌سازی
- میزان فراهم بودن منابع انرژی
- کمینه کردن اثرات مخرب زیست محیطی

هریک از روش‌هـــای شیرین‌ســـازی حرارتی و غشائی دارای مزایا، معایب، ظرفیت و کاربردهای منحصر به خود می‌باشند. با استفاده همزمان از دو روش MED و RO علاوه بر بهره بردن همزمان از مزایای هر دو روش، برخی از معایب این روش‌ها

برای تولید همزمان برق و آب، مهم‌ترین چالش تکنولوژیک، موتور توربینی می‌باشد. بهترین کلاس برای تولید پراکنده، ۳-۴ مگاوات است که موتور توربینی با کلاس ۴ مگاوات، در شرکت توربین ماشین خاورمیانه ساخته شده و ۱۰۰ درصد بومی‌سازی شده است



شکل ۶: فرآیند تقطیر چند مرحله‌ای

نیز در کنار هم رفع شده و دامنه کاربرد واحد آب شیرین‌کن نیز افزایش می‌یابد.

برخی از مزایای استفاده همزمان از آب شیرین‌کن ترکیبی حرارتی و غشائی در نیروگاه‌ها، در زیر اشاره شده است:

- تولید آب شیرین در کنار تولید انرژی الکتریکی
- تولید آب و برق به صورت پراکنده در مجاورت محل مصرف و کاهش هزینه توسعه و نگهداری شبکه انتقال
- تولید آب شیرین با هزینه عملیاتی نسبتا پایین
- کاهش حرارت ورودی به محیط و اثرات گرم شدن زمین و کاهش تولید آلاینده‌ها
- استقلال واحد آب شیرین‌کن از شبکه برق سراسری
- امکان تغییر ظرفیت آب تولیدی متناسب با برق تولیدی مورد نیاز
- امکان تولید آب با ظرفیت و کیفیت متغیر متناسب با کاربری مورد نظر

با توجه به موقعیت جغرافیایی استراتژیک ایران در منطقه، سیاست‌های کلان ملی و دکترین‌های دفاعی کشور، نهادهای مختلف، اجرای سیاست‌های پدافند غیر عامل را در دستور کار خود قرار داده‌اند. باید توجه داشت که نیروگاه‌ها و واحدهای تامین‌کننده آب، از واحدهای 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 به‌صورت متمرکز، خطر مورد تهدید گرفتن آن‌ها را افزایش می‌دهد و از دیدگاه پدافند غیر عامل به صلاح نمی‌باشد. بنابراین به‌کارگیری این سیاست، کشورهای مختلف را به سمت استفاده از واحدهای تولید توان با ظرفیت کمتر و به صورت پراکنده، سوق داده است. با توجه به مطرح بودن موضوع جنگ پنهان آب در منطقه خاورمیانه، این موضوع اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. ایجاد امنیت نیز از مسائلی است که باید در زمینه تصفیه آب به آن توجه کرد. زیرا حساسیت دستگاه‌های تقطیر آب کمتر از خطوط انتقال نفت و گاز و برق نیست و لوله‌های آب نیز باید همانند این خطوط در مقابل حملات خرابکارانه محافظت شوند. در صورت استفاده از واحدهای کوچک‌تر و پراکنده، این خطرات به مراتب کاهش یافته و خطوط لوله‌کشی طولانی نیز نیاز نخواهد بود. علاوه بر این، ایجاد این نوع واحدهای پراکنده برای تولید همزمان برق و آب، نیاز به سرمایه‌گذاری دولت‌ها را در این بخش کاهش می‌دهد و صنایع و بخش‌های مختلف قادر خواهند بود که تامین انرژی و آب مورد نیاز خود را به عهده بگیرند. بنابراین همان‌گونه که وزارت نیرو بر مبنای سیاست‌های برنامه پنجم توسعه به سمت ایجاد واحدهای پراکنده برای تولید برق رفته است، در زمینه تولید آب شیرین نیز به دلیل حساسیت بیشتر موضوع آب، استفاده از توزیع پراکنده اهمیت بیشتری پیدا می‌کند.

برای تولید همزمان برق و آب، مهم‌ترین چالش تکنولوژیک، موتور توربینی می‌باشد. بهترین کلاس برای تولید پراکنده، ۴-۳ مگاوات است که موتور توربینی با کلاس ۴ مگاوات، در شرکت توربین ماشین خاورمیانه ساخته شده و ۱۰۰ درصد بومی‌سازی شده است. این موتور توربوژنراتور که از فناوری بالایی برخوردار است برای نخستین بار در کشور طراحی، تولید و رونمایی شده است. در واقع موتور توربینی به عنوان کلی‌ترین بخش از مولد همزمان برق و گرما، گلوگاه بومی‌سازی ساخت مولدها در کشور محسوب می‌شود که ساخت این نمونه در شرکت توربین ماشین خاورمیانه، منجر به برطرف شدن این گلوگاه شده است.

جدول ۴: مشخصات موتور توربینی کلاس ۴ مگاوات

مشخصات	مقدار
دبی جرمی هوا [kg/s]	۱۸/۶
نسبت فشار کمپرسور	۱۰
دمای ورودی توربین [°C]	۹۱۵
دمای گازهای خروجی [°C]	۴۵۰
سرعت گردش [RPM]	۱۴۹۵۰
توان خروجی [KW]	۳۵۱۰

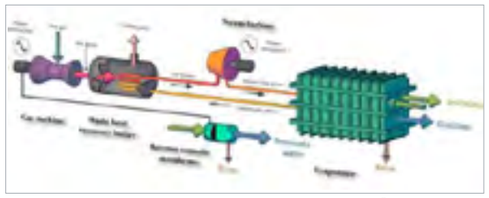
طراحی اولیه و محاسبات واحد تولید برق و آب شیرین‌کن ترکیبی

با توجه به مزایای اشاره شده برای واحد آب شیرین‌کن ترکیبی، در این قسمت به طراحی و محاسبات مقدماتی این نوع واحد پرداخته شده است. آب خلیج فارس با شوری ۴۵ گرم در لیتر وارد سیستم آب شیرین‌کن می‌شود. برق تولید شده در واحد تولید توان برای آب شیرین‌کن RO مورد استفاده قرار می‌گیرد و حرارت اتلافی نیز در واحد آب شیرین‌کن MED به‌کار می‌رود. آب گرم شده در فرایند تقطیر در آب شیرین‌کن حرارتی به عنوان ورودی به آب شیرین‌کن RO وارد می‌شود و آب تولیدی هر دو واحد پیش از انبار شدن با یکدیگر مخلوط می‌شود. مشخصات موتور توربین گاز مورد نظر در جدول ۴ بیان شده و مدل محاسباتی این سامانه در شکل ۸ نشان داده شده است.

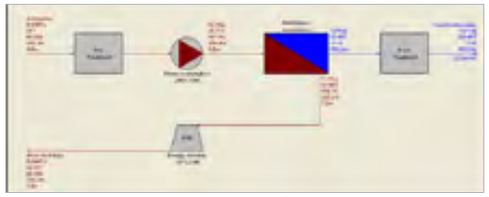
مشخصات خروجی از این واحد آب شیرین‌کن در جدول ۵ نشان داده شده است. شایان ذکر است که این سیستم‌ها قابلیت اتصال به صورت ماژولار، به منظور استفاده برای توان‌ها و ظرفیت‌های بالاتر، را نیز دارا می‌باشند.

سیستم	برق تولیدی/مصرفی kW	آب شیرین تولیدی Day/m3	متوسط مصرف برق kWh/m3
توربین گاز	+۳۰۸۲	---	---
آب شیرین‌کن MED	-۷۹	۱۱۳۰	۱/۶۸
آب شیرین‌کن RO	-۲۸۵۷	۱۱۳۶۵	۶/۰۳
مجموع	+۱۴۶	۱۲۴۹۵	۵/۶۴

جدول ۵: مشخصات عملکردی آب شیرین‌کن ترکیبی

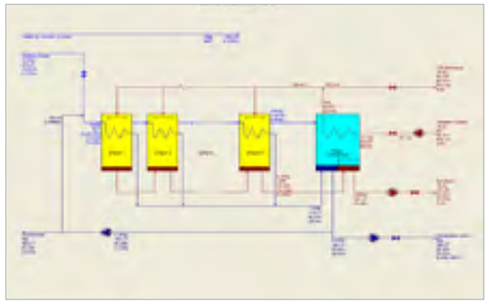


شکل ۷: شماتیک آب شیرین‌کن ترکیبی



شکل ۹: طراحی اولیه و محاسبات واحد آب شیرین‌کن غشائی

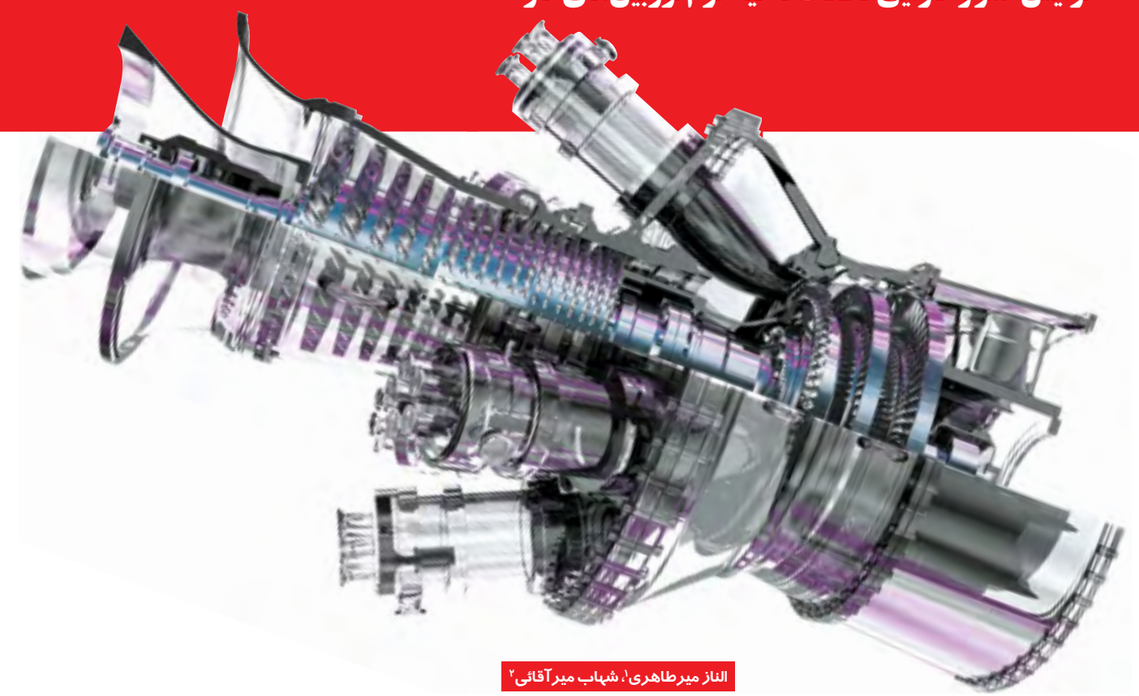
شکل ۸: طراحی اولیه و محاسبات واحد آب شیرین‌کن ترکیبی



شکل ۱۰: طراحی اولیه و محاسبات واحد آب شیرین‌کن حرارتی

پوشش‌های دمای بالا

افزایش عمر و کارایی قطعات ناحیه گرم توربین‌های گاز



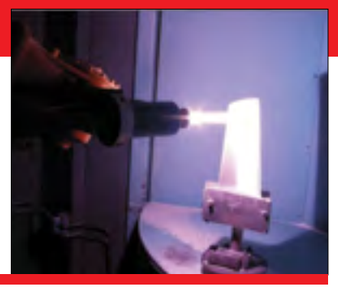
الناز میرطاهری[1]، شهاب میرآقائی[2]

با گازهـــای خورنده و فرســـاینده کار می‌کنند. از میان مواد مهندسی، آلیاژی وجود ندارد که ضمن تحمل دمای بالای برخی مناطـــق از ناحیه گرم توربین، استحکام و عمر کافی داشته باشد. طراحی مجراهای خنک‌کاری و بکارگیری پوشش‌های سد حرارتی می‌تواند دمـــای قطعات را تا حدی پایین آورد که سوپرآلیاژهای مدرن توان تامین استحکام کافی را داشته باشـــند. دیگر انواع پوشش‌ها نیز از سطوح قطعات در برابر اکسیداسیون، خوردگی و فرسایش محافظت می‌کنند. بنابراین استفاده از پوشـــش‌های دمای بالا راه‌حلی کلیدی در بهبود عملکرد توربین‌هـــای گاز و افزایش عمر قطعات توربین‌های گاز برای تامین بیشترین بازده و توان خروجی باید در حداکثر دمای ممکن کار کنند و از این رو قطعات آن‌ها همواره در معرض دمای بالا، تنش‌های شدید و گازهای داغ و مخرب قرار دارند. در چنین شرایطی، مقابله با تخریب قطعات توربین و افزایش عمر آن‌ها یک چالش همیشـــگی است. قطعات توربین گاز همواره در معرض آسیب‌هایی چون اکسیداســـیون، خوردگی داغ، ســـایش و فرسایش قرار دارند. همچنین دمای بالا می‌تواند ســـاختار مواد را تغییر داده و موجب افت خواص مکانیکی و کارایی قطعات شود. پوشش‌های دمای بالا جهت محافظت از قطعات ناحیه گرم توربین در مقابل آسیب‌های محیطی به‌کار گرفته می‌شوند. پوشش‌های مقاوم در برابر اکسیداسیون و خوردگی داغ و پوشش‌های ســـد حرارتی دو گونه اصلی از پوشش‌های دمای بالا هستند که به منظور استفاده در قطعات ناحیه گرم توربین توسعه یافته‌اند.

طراحی مجراهای خنک‌کاری و بکارگیری پوشش‌های سد حرارتی می‌تواند دمای قطعات را تا حدی پایین آورد که سوپرآلیاژهای مدرن توان تامین استحکام کافی را داشته باشند

شکل ۱- خوردگی داغ پره‌های ردیف اول توربین گازی

شکل ۲- ساختار و تاثیر پوشش سد حرارتی بر توزیع دمای قطعه



شکل ۳- اعمال پوشش‌های سد حرارتی روی پره توربین به روش پاشش پلاسمایی

شکل ۴- پوشش سد حرارتی روی پره توربین هوایی

انواع پوشش‌ها برای مقابله با آسیب‌های محیطی

دو نوع پوشـــش که عمدتا برای مقابله با تخریب ناشـــی از عوامل محیطی در قطعـــات ناحیه گرم توربین‌های گاز به‌کار گرفته می‌شوند، عبارتند از پوشش‌های نفوذی و پوشـــش‌های روکشی. این پوشش‌ها فداشونده بوده و به‌جای زیرلایه، مورد هجوم عوامل مخرب قرار می‌گیرند. این پوشش‌ها بیش از زیرلایه در مقابل آسیب دمای بالا مقاوم‌اند زیرا مقادیر بیشتری آلومینیم و کروم برای تشکیل پوســـته‌های آلومینا و کرومیا دارند. هنگامی که پوسته‌های اکسیدی محافظ از روی سطح کنده شده و یا فرسوده شوند، پوسته‌های جدید توسط آلومینیم و کروم به جای آن ساخته می‌شوند. زمانی که مقادیر این عناصر درون پوشش به کمتر از حد لازم برای تشکیل پوســـته‌های اکسیدی محافظ برسد، پوشش‌ها توان خود برای محافظت از سطح را از دست داده و لازم است قطعات مجدداً پوشش داده شوند.

علاوه بر آلومینیم و کروم که وظیفه تامین پوسته های اکسیدی محافظ را به عهده دارند، عناصر نیکل و کبالت زمینه پوشش را تشکیل می‌دهند و دیگر عناصر بکاررفته در پوشـــش، البته در مقادیر کم، عبارتند از سیلیسیم، پلاتین، رادیم، پالادیم، ایتریم، هافنیم و تانتالم. سیلیسیم باعث افزایش مقاومت در برابر خوردگی داغ می‌شـــود و سایر عناصر نیز سبب بهبود خوردگی داغ و اکسیداسیون دمای بالا می‌شوند. ایتریم و هافنیم باعث بهبود چسبندگی پوشش اکسیدی به سطح می‌شوند و احتمال کنده شدن پوسته را کاهش می‌دهند. پلاتین، رادیم و پالادیم نیز تاثیر مشابهی دارند. عناصر فعال، به‌دلیل خوردگی پره‌های ردیف اول یک توربین گاز بر اثر تماس با گازهای داغ نشان داده شده است.

پوشـــش‌های مقاوم در برابر اکسیداســـیون و خوردگی داغ

این پوشش‌ها با تشکیل یک پوسته اکسیدی نازک سدکننده از ســـطح محافظت می‌کنند. این لایه اکســـیدی که در حدود دو میکرون ضخامت دارد باعث جداشدن زیرلایه و پوشش از گازهای مخرب در اتمسفر توربین می‌شود و بدون آن گازهای داغ و مخرب به آسانی سبب اکسید شدن یا خوردگی زیرلایه و حتی پوشـــش می‌شـــوند. پوسته‌های اکسیدی محافظ معمولا از آلومینا Al_2O_3 تشکیل شده‌اند ولی کرومیا Cr_2O_3 نیز در دماهای پایین برای محافظت از ســـطح مناسب اســـت. در واقع نقش پوشـــش، ایجاد این پوســـته‌های اکسیدی محافظ است. در حالت ایده‌آل پوسته سدکننده باید دارای قابلیت پوشانندگی سطح، چسبندگی خوب، پلاستیسیته مناســـب و بدون هیچ عیب و نقصی باشـــد و نیز باید پس از تشکیل شدن روی سطح بسیار آهسته رشد کنند. همچنین به منظور محافظت در دمای بالا، این پوســـته‌ها باید دارای نقطه ذوب بالا بوده و فشـــار بخار آنها کم باشد. از آنجایی که دســـت‌یابی به یک پوســـته اکسیدی محافظ ایده‌آل ممکن نیست، پوشش باید بتواند در صورت تخریب پوسته اکســـیدی در اثر ترک خوردن یا کنده شـــدن، قسمت‌های آسیب دیده را دوباره بازسازی کند. بنابراین برای ایجاد و حفظ پوسته‌های اکســـیدی محافظ، پوشش‌ها حاوی آلومینیم و کروم هســـتند. در شـــکل ۱ نمایی از تمایل به ترکیب شدن با گوگرد، سولفید تشکیل می‌دهند. در صورتی که گوگرد به صورت آزاد وجود داشته باشـــد، می‌تواند به فصل مشترک پوسته و پوشش نفوذ کرده و ســـبب تضعیف چسبندگی پوسته اکسیدی و در نهایت کنده شدن آن شود.

• پوشش‌های نفوذی

پوشـــش‌های نفوذی بر پایه آلومینایدهای نیکل NiAl و کبالت CoAl استوار اند. آلومیناید نیکل روی سوپرآلیاژهای پایه نیکل و آلومیناید کبالت روی سوپرآلیاژهای پایه کبالت تشکیل می‌شوند. در برخی از موارد از پوشش‌های نفوذی کروم نیز استفاده می‌شود. عملکرد پوشش‌های آلومینایدی معمولاً توسط افزودن کروم، سیلیسیم، پلاتین و سایر فلزات نجیب بهبود می‌یابد. کروم و سیلیسیم موجب بهبود مقاومت در برابر خوردگی داغ و نیز بهبود مقاومت در برابر اکسیداســـیون دمای بالا می‌شوند. پلاتین با افزایش فعالیت آلومینیوم درون پوشش، موجب تشکیل پوســـته‌های آلومینای محافظ با چســـبندگی مناسب شـــده و به میزان قابل توجهی بهبود مقاومت در برابر اکسیداسیون و خوردگی داغ در دمـــای بالا را به دنبـــال دارد. پوشش‌های پلاتین آلومینایدی به صورت دو فازی و تک فاز وجود دارند. پوشـــش‌های دو فازی، که بسیار رایج اند، شـــامل یک لایه از ذرات آلومیناید پلاتین $PtAl_2$ روی سطح لایه‌ای از آلومینایدهای نیکل ـ پلاتین (Ni,Pt) Al است. پوشش‌های تک فاز که اخیرا توسعه یافته‌اند، تنها شامل یک لایه از آلومیناید نیکل ـ پلاتین‌اند. این پوشش‌ها مقاومت بهتری در مقابل ترک خوردگی دارند و نیز مقاومت بیشـــتری در مقابل عوامل مخرب محیطی نشان می‌دهند.

پوشش‌های نفوذی توســـط روش‌های متنوعی

۱: الناز میرطاهری: واحد تحقیق و توسعه شرکت توربین ماشین خاورمیانه

۲: شهاب میرآقائی: واحد متالورژی شرکت توربین ماشین خاورمیانه

شکل ۵- عملکرد بهتر پوشش‌های سدحرارتی توسعه یافته در برابر آسیب CMAS

پوشش‌های دوپلکس ترکیبی از پوشش‌های نفوذی آلومینایدی و روکشی هستند

مانند فرآیندهای سمانتاسیون پودر فشرده، رسوب شیمیایی بخار و پوشش‌دهی دوغابی که هر یک شامل انواع و زیرشاخه‌های متعددی است ایجاد می‌شوند. پوشش‌دهی مجراهای داخلی قطعات نیز به وسیله پر کردن آنها توسط پودر حاوی آلومینیم و یا عبور گاز غنی از آلومینیـــم از درون آنها قابل انجام است. از میان روش‌های موجود، سمانتاسیون پودر فشـــرده قدیمی‌ترین و همچنین رایج‌ترین و اقتصادی‌ترین روش برای ایجاد پوشـــش‌های نفوذی است. پوشـــش‌های پلاتین آلومینایدی با اعمال یک پوشش نازک پلاتین (۶ میکرون) روی سطح قطعه به روش آبکاری الکتریکی و به دنبال آن انجام عملیات نفوذی به‌صورت پودر فشرده ایجاد می‌شوند.

• پوشش‌های روکشی

پوشش‌های روکشی، لایه‌ای از یک آلیاژ سطحی‌اند که ترکیب شیمیایی آن به نحوی انتخاب شده تا حداکثر محافظت محیطـــی را تامین نماید. برای محافظت بیشتر از زیرلایه، پوشش‌های روکشی را می‌توان ضخیم‌تر از پوشش‌های نفوذی انتخاب کرد. ترکیب شیمیایی پوشش‌های روکشی متنوع اســـت و این پوشـــش‌ها معمولا MCrAlY (ام-کرالی) نامیده می‌شـــوند زیرا کـــروم، آلومینیم و ایتریم معمولا در ترکیب آن‌هـــا حضور دارند. M معرف نیکل، کبالت و یا ترکیبی از این دو است که زمینه پوشش را تشکیل می‌دهد. غلظت عناصر در ترکیب شیمیایی بستگی به کاربرد پوشش دارد. عناصر دیگری نیز از جمله سیلیســـیم، هافنیم و تانتالـــم گاهی برای بهبود کارایی پوشـــش به آن اضافه می‌شوند. در این پوشش‌ها آلومینیم با نیکل و کبالت زمینه واکنش داده و آلومینایدهای نیکل و کبالت ایجاد می‌کند. همچنین آلومینیم و کروم مقاومت در برابر اکسیداسیون دمای بالا و خوردگی داغ را تامین می‌کنند و غلظـــت آن‌ها به گونه‌ای تنظیم می‌شـــود که در مقابل یک یا هر دو عامل مخرب مقاومت کنند. آلومینیم بالاتر برای مقاومت در برابر اکسیداسیون دمای بالا و کروم بالاتر برای ایجاد مقاومت در برابر خوردگی داغ دمای پایین استفاده می‌شوند. برای اجتناب از آسیب ناشی از خستگی، لازم است میزان آلومینیم و کروم پوشش پایین نگه داشته شود تا چقرمگی حفظ شود. البته در صورتی که این مقادیر کمتر از حد لازم باشند، محافظت مناسب در مقابل عوامل مخرب در دمای بالا از دست خواهد رفت. زمینه کبالت برای مقاومت در برابر خوردگی داغ و نیـــکل برای محافظت در مقابل اکسیداســـیون دمای بالا مناســـب است. ترکیبی از این دو نیز برای محافظت در مقابل هر دو پدیده می‌تواند مفید باشد. پوشش‌های NiCrAlY در مقایسه با CoCrAlY چقرمگی بیشتری دارند ولی NiCoCrAlY از هر دو چقرمه‌تر است.

در پوشش های روکشی آلومینیم بالاتر برای مقاومت در برابر اکسیداسیون دمای بالا و کروم بالاتر برای ایجاد مقاومت در برابر خوردگی داغ دمای پایین استفاده می‌شوند

پوشـــش‌های روکشـــی معمولا توســـط پاشش پلاسمایی اعمال می‌شوند. البته روش‌های دیگری مانند رســـوب فیزیکی بخار با پرتوی الکترونی، رسوب شیمیایی بخار و پاشش تفنگ انفجاری نیز برای پوشـــش‌دهی به کار می‌روند. معمولاً پس از پوشش‌دهی عملیات آنیل نفوذی برای ایجاد نفوذ متقابل بین پوشش و زیرلایه که سبب بهبود اتصال پوشش و نیز همگن شدن ساختار پوشش می‌شود استفاده می‌گردد.

• پوشش‌های دوپلکس

پوشـــش‌های دوپلکس ترکیبی از پوشـــش‌های نفوذی آلومینایدی و روکشی هستند. ابتدا پوشش روکشی روی ســـطح قطعه اعمال شده و سپس پوشش نفوذی آلومینایدی روی آن اعمال می‌شود تا با افزایش آلومینیم لایه بیرونی، توان محافظت پوشـــش را افزایش دهد. البته افزایش آلومینیم به این شـــکل موجب افزایش حساسیت به ترک خوردگی ناشی از تردی پوشش می‌شود.

• پوشش‌های سد حرارتی

پوشش‌های سدحرارتی (TBC) لایه‌ای سرامیکی و نازک روی ســـطح زیرلایه‌اند. این لایه می‌تواند بین ۷۵۰ میکرون تا ۵ میلیمتر ضخامت داشته باشـــد. البته امروزه بـــا توســـعه تکنولوژی‌های پوشش‌دهی ضخامت‌های بالاتر نیز قابل حصول اســـت. محدودیت در ضخامت، ناشی از افزایش احتمال کنده‌شدن پوشش با ضخیم شدن است. لایه ســـرامیکی عایق با ایجاد یک شیب دمایی موجب کاهش دمای زیرلایه در مقایسه با دمای ســـطح بیرونی پوشـــش، که در معرض اتمسفر توربین قرار دارد، می‌شود. بنابراین هرچه ضخامت لایه سرامیکی بیشتر باشـــد، دمای پایین‌تری در زیرلایه قابل حصول بـــوده و این به معنی افزایش عمر قطعه اســـت. باید یادآور شد که به‌کارگیری پوشـــش‌های ســـدحرارتی همـــواره نیازمنـــد خنک‌کاری قطعه اســـت. در غیـــر این صورت با گذر زمان دمای پوشش و زیرلایه یکسان خواهد شـــد. از این رو وجود کانال‌ها و حفره هایی برای عبور هوای خنک از درون قطعات با پوشش سد حرارتی لازم است. پوشـــش‌های سد حرارتی از اکســـید زیرکونیم (زیرکونیا) ZrO_2 پایدار شده با حدود ۸ درصد ایتریـــا Y_2O_3 یا مگنزیا MgO تشکیل شده‌اند. این پوشش‌ها روی یک پوشش پیوندی که معمولا یک MCrAlY است، اعمال می‌شوند ولی پوشش‌های نفوذی نیز می‌توانند به عنوان پیوند اســـتفاده شوند. پوشش پیوندی ضمن محافظت از قطعه، بـــه دلیل جلوگیری از تشکیل اکسید زیر پوشش ســـرامیکی، موجب افزایش چسبندگی آن به سطح می‌شود. پوشش سرامیکی در مقابل اکسیژن نفوذپذیر است و در صورت عدم به‌کارگیری پوشـــش پیوندی، رشد لایه اکســـیدی زیرین موجب جدا شـــدن آن از سطح می‌شود. در شـــکل ۲ ساختار پوشش سد حرارتی و تاثیر آن بر توزیع دمای قطعه نشان داده شده است. پوشش‌های سرامیکی TBC معمولا به روش پاشش پلاسمایی اتمسفری ایجاد می‌شوند ولی بـــرای قطعات توربین‌هـــای هوایی از روش رســـوب فیزیکی بخار به کمک پرتوی الکترونی EBPVD نیز استفاده می‌شـــود. لایه سرامیکی ایجاد شده توســـط EBPVD ساختاری ستونی دارد و در مقابـــل تنش‌ها مقاوم‌تر بوده و البته در مقایسه با پوشش‌های پاشش پلاسمایی گران‌تر است. اعمال پوشـــش‌های سد حرارتی روی پره توربین به روش پاشش پلاسمایی و نمایی از یک پره توربین هوایی با پوشش سد حرارتی به ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. تحقیقات در زمینه توســـعه پوشش‌های ســـد حرارتی در راستای کاهش بیشتر ضریب رسانایی حرارتی، بهبود چسبندگی و مقاومت در برابر عوامل مخرب محیطی مانند فرسایش و آسیب‌های شیمیایی در جریان است. پیشرفت‌های اخیر برای کاهش ضریب انتقال حرارت پوشـــش‌های سد حرارتی با افزودن اکسید نئودیمیا موجب کاهش دمای زیرلایه به میزان صد درجه سیلیسوس شده است که می‌تواند تاثیر چشـــمگیری بر افزایش عمر قطعات توربین داشته باشد. از سوی دیگر، افزودن اکسید عناصر قلیایی خاکی سبب افزایش دمای ذوب پوشش و مقاومت بیشتر آن به سینترینگ می‌شود. نوع دیگر توسعه یافته پوشش‌های TBC حاوی اکســـید گادولونیم (گادولونیا) مقاومت بســـیار خوبی در مقابل حمله مخرب سیلیکات کلســـیم- منیزیم- آلومینیم (CMAS) نشـــان می‌دهد که باعث افزایـــش عمر پره‌های توربین خصوصا در توربین‌های هوایی می‌شود. نمایی از عملکرد بهتر پوشش‌های سد حرارتی توسعه یافته در برابر آسیب (CMAS) در شکل ۵ نمایان است.

جمع‌بندی

استفاده از پوشـــش‌های دمای بالا در سال‌های گذشـــته به بهبود قابل توجه راندمـــان و توان خروجی توربین گاز منجر شـــده اســـت، با این وجود همچنـــان تحقیقات جهـــت به‌کارگیری مواد و پوشـــش‌های جدید مورد نیاز در طراحی توربین‌های گاز با حداکثر عملکـــرد ادامه دارد. به‌دلیل اهمیت بسزای توربین‌های گاز در صنایع مختلف، پیشرفت‌هایی هرچند جزئی در افزایش راندمان موتور، تاثیر چشمگیری در راندمان انرژی خواهد داشت.

میکروتوربین و تولید همزمان برق و حرارت

معرفی، مزایا و مقدمات طراحی مفهومی

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

هدف از این مقاله آشـــنایی با میکروتوربین‌ها، بررســـی بازار هـــدف، مزایا و نقـــش آن‌ها در صنایع تولید همزمان بـــرق و حرارت (CHP) می‌باشد. همچنین در این مقاله فرآیند طراحی میکروتوربین‌ها شرح داده شده و مراحل طراحی مفهومی و طراحی مقدماتی یک میکروتوربین ۱۰۰ کیلووات مرور شده است.

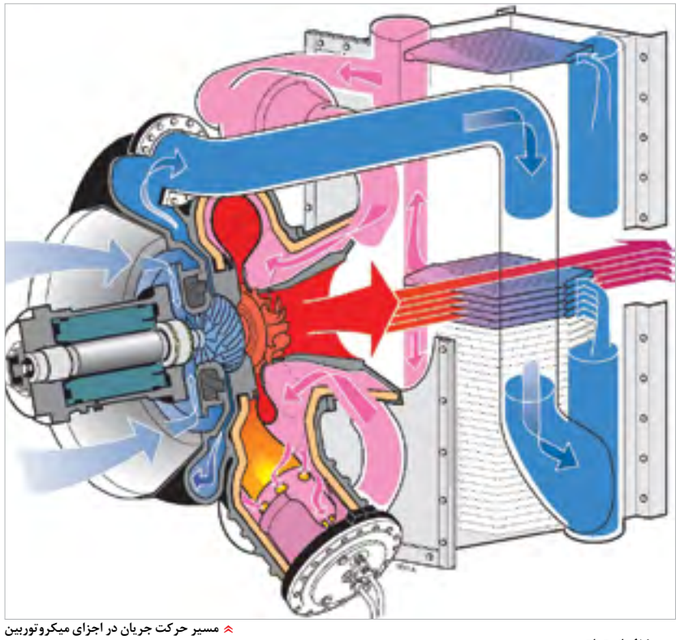
میکروتوربین‌ها و مزایای آن‌ها

• اساس کار میکروتوربین‌ها

میکروتوربین‌هـــا دســـته‌ای از توربین‌های گاز هســـتند که توان تولیدی آن‌هـــا در بازه‌ی ۲۰ تا ۵۰۰ کیلووات قـــرار دارد. با توجه به ســـادگی و کوچک بودن میکروتوربین‌ها، یکی از کاربردهای اصلی آن‌ها در تولید پراکنده و سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت است. اجزای اصلی تشکیل دهنده میکروتوربین‌ها نیز همانند توربین‌های گاز شامل کمپرسور، محفظه احتراق، توربین و در اکثر موارد پیش گرمکن یا رکوپراتور است. در شکل ۱ اجزای تشکیل دهنده یک میکروتوربین نمایش داده شده است.

کمپرسور

هوای ورودی به میکروتوربین با اســـتفاده از یک کمپرسور فشرده شـــده و دما و فشار آن افزایش می‌یابد. معمولا در میکروتوربین‌ها از یک طبقه کمپرسور گریز از مرکز استفاده می‌شود که نسبت فشاری بین ۳ تا ۵ را تأمین می‌کند. توان مورد نیاز کمپرسور توسط توربین تولید شده و از طریق شفت به کمپرسور منتقل می‌شود.

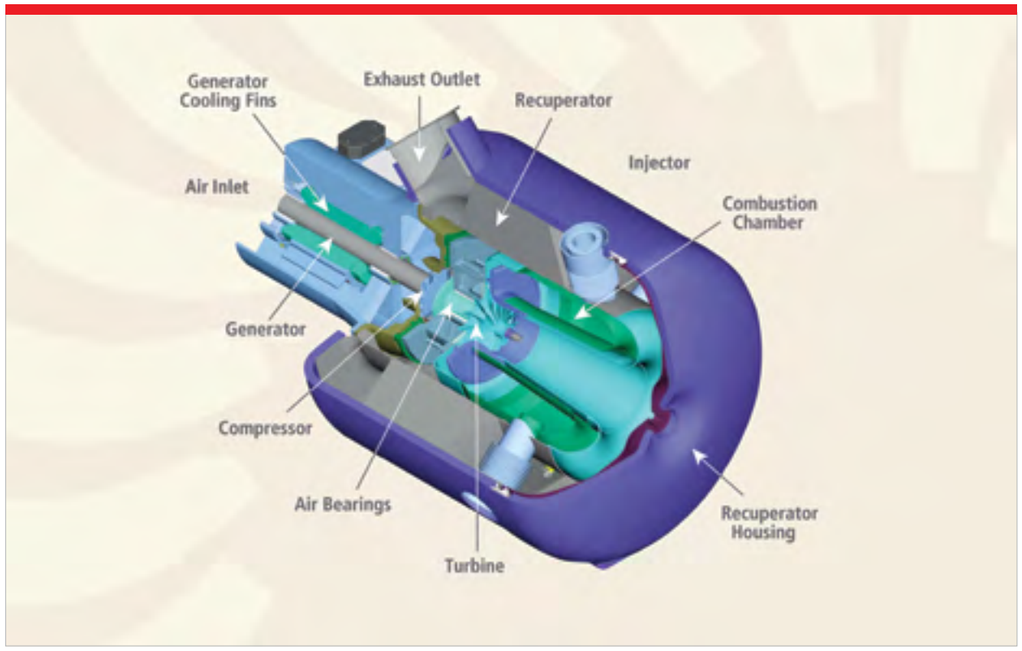


مسیر حرکت جریان در اجزای میکروتوربین

محفظه احتراق

هوای خروجی از کمپرسور در محفظه احتراق با سوخت مخلوط شده و طی فرآیند احتراق دمای آن بالاتر می‌رود. با وجود افت فشار ناچیزی که در محفظه احتراق وجود دارد، فرآیند احتراق را می‌توان یک فرآیند فشار ثابت در نظر گرفت. با توجه به اندازه کوچک میکروتوربین‌ها و مواد اصلی مورد استفاده در محفظه‌های احتراق، معمولا دمای خروجی از آن کمتر از ۱۰۰۰ درجه سلسیوس خواهد بود. در برخی از میکروتوربین‌ها، با هدف کاهش حجم مجموعه و همچنین کاهش طول و وزن شفت، محفظه احتراق به جای قرار گرفتن مابین توربین و کمپرسور، به انتهای موتور منتقل شده است.

۱: سینا طاهری: دانشجوی کارشناسی ارشد هوافضا، دانشکده مهندسی هوافضا، دانشگاه صنعتی شریف
۲: محمدرضا امینی‌مقام: واحد مهندسی توربین شرکت مدیریت پروژه‌های توربین ارکان ایرانیان
۳: کاوه قربانیان: نائب رئیس هیات مدیره شرکت توربین ماشین خاورمیانه



شکل ۱: اجزای اصلی میکروتوربین

توربین

توربین وظیفه اصلی تولید توان برای کمپرسور و توان خروجی از میکروتوربین را بر عهده دارد. هوای گرم خروجی از محفظه احتراق در توربین منبسط شده و کاهش دمای گاز باعث چرخش توربین و شفت می‌شـــود. همان گونه که اشاره شد بخشی از توان تولیدی توسط توربین به کمپرسور منتقل می‌شود و توان اضافی به صورت کار شفت معمولا به یک ژنراتور داده می‌شود.

پیش گرمکن

با توجـــه به دمای پایین هـــوا در محفظه احتراق معمولا بازده میکروتوربین‌ها در حدود ۱۵ درصد بوده و هوای خروجـــی از توربین دمای بالایی در حـــدود ۶۰۰ درجه‌ی سلســـیوس دارد. بنابراین با اســـتفاده از پیش گرمکن می‌توان با استفاده از حرارت موجود در گازهای خروجی، هوای خروجی از کمپرســـور را پیش گرم کرد. با این کار علاوه بر جلوگیری از هدر رفتن حرارت گازهای خروجی، گرم شدن هوای ورودی به محفظه احتراق موجب کاهش میزان سوخت مورد نیاز در محفظه احتراق و افزایش بازده میکروتوربین می‌شود. استفاده از پیش گرمکن، بازده میکروتوربین‌ها را تقریبا تا ۳۰ درصد افزایش خواهد داد.

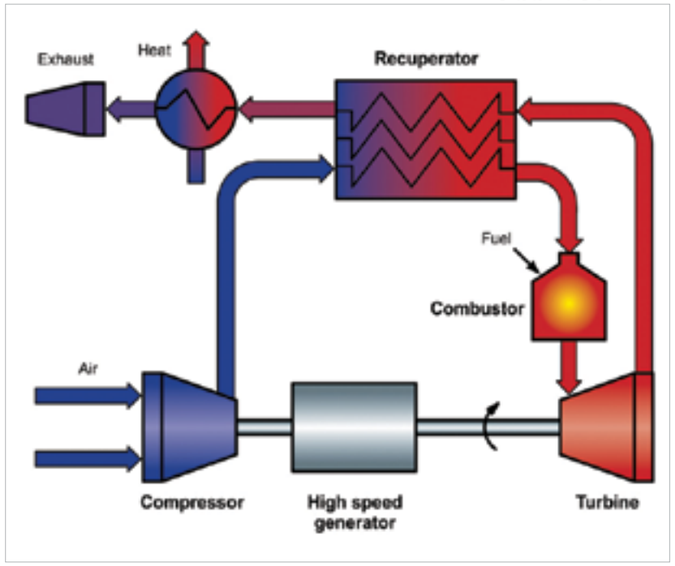
مزایای میکروتوربین‌ها

میکروتوربین‌ها در مقایسه با سایر انواع موتورها، مانند موتورهای رفت و برگشـــتی، مزایای قابل توجهی دارند. به عنوان مثال کوچک بودن ابعاد و وزن کم میکروتوربین‌ها در مقایسه با موتورهای رفت و برگشـــتی برای تولید توان مشخص، یکی از برتری‌های میکروتوربین‌ها برای اســـتفاده در اماکن شهری و مســـکونی است. همچنین تعداد کم قطعات متحرک در میکروتوربین‌ها باعث کم شدن استهلاک و در نتیجه افزایش عمر مفید این موتورها در مقایسه با موتورهای رفت و برگشتی می‌شود. علاوه بر این فاصله زمانی بین تعمیرات در میکروتوربین‌ها بسیار بیشتر از سایر انواع موتورها خواهد بود. این موارد باعث می‌شـــود که استفاده از میکروتوربین‌ها نسبت به سایر موتورها صرفه اقتصادی بالاتری داشته باشد.

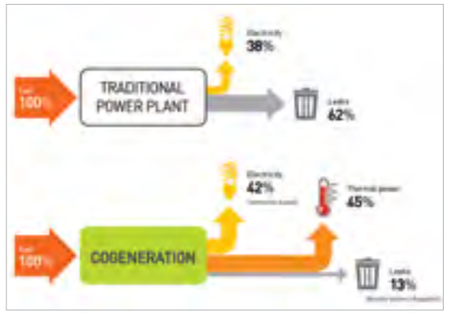
از مزایای دیگر استفاده از میکروتوربین‌ها، مصرف

توربین وظیفه اصلی تولید توان برای کمپرسور و توان خروجی از میکروتوربین را بر عهده دارد. هوای گرم خروجی از محفظه احتراق در توربین منبسط شده و کاهش دمای گاز باعث چرخش توربین و شفت می‌شود

شماتیک جریان در میکروتوربین



شکل ۲: مقایسه بازده تولید برق به روش معمولی و روش تولید همزمان



با توجه به بازده بهتر میکروتوربین‌ها نسبت به موتورهای دیگر و همچنین قابلیت به‌کارگیری انواع مختلف سوخت‌ها، هزینه سوخت مصرفی این موتورها کمتر خواهد بود

سوخت کمتر و همچنین آلایندگی کمتر آن‌ها است. با توجه به بازده بهتر میکروتوربین‌ها نسبت به موتورهای دیگر و همچنین قابلیت به‌کارگیری انواع مختلف سوخت‌ها، مانند سوخت‌های بنزینی، گاز طبیعی، دیزل و یا سوخت‌های زیستی، هزینه سوخت مصرفی این موتورها کمتر خواهد بود.

علاوه بر این تکنولوژی‌های به‌کاررفته در محفظه احتراق میکروتوربین‌ها باعث کاهش تولید آلاینده‌های زیست محیطی می‌شود که با قوانین موجود در این رابطه سازگاری دارد. به علاوه میزان آلودگی صوتی ایجاد شده توسط میکروتوربین‌ها پایین بوده و از این نظر استفاده از آنها در محیط‌های کوچک و عمومی، مشکل خاصی را به همراه نخواهد داشت.

• سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت

همان‌گونه که اشاره شد، کاربرد اصلی میکروتوربین‌ها در سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت است. در این سیستم‌ها با استفاده از یک مبدل حرارتی، انرژی حرارتی گازهای خروجی از میکروتوربین به منظور تأمین آب گرم و یا راه‌اندازی سیستم‌های گرمایشی-سرمایشی استفاده می‌شود. با به کارگیری این سیستم بازده کلی مجموعه به بیش از ۷۰ درصد افزایش یافته، که بیانگر عملکرد مناسب سیستم تولید همزمان برق و حرارت است. شکل ۲ مقایسه بازده بین تولید برق به روش معمول و روش تولید همزمان را نشان می‌دهد. با توجه به نیاز روزافزون جوامع به انرژی الکتریکی و همچنین نیاز برای تأمین گرمایش در محیط‌های مختلف، ایده استفاده از سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت بسیار کاربردی محسوب می‌شود. از مزایای سیستم‌های پراکنده تولید برق و حرارت به این روش می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

مستقل بودن سیستم تولید برق از شبکه‌ی سراسری

استفاده از میکروتوربین‌ها برای تولید برق به صورت پراکنده و در ابعاد کوچک باعث می‌شود که مصرف‌کنندگان از شبکه سراسری توزیع برق مستقل شوند و بروز حادثه در یک ناحیه به نقاط دیگر سرایت نکند. بدین ترتیب امکان خرابی‌های گسترده کاهش یافته و هزینه تعمیر آن‌ها محدود به موارد محلی می‌شود.

صرفه‌جویی در هزینه‌های تولید برق

با توجه به تفاوت قیمت سوخت‌های فسیلی با قیمت برق سراسری، هزینه نهایی تولید برق در مقیاس کوچک کمتر بوده و از لحاظ اقتصادی به‌صرفه‌تر خواهد بود.

کاهش هزینه و اتلاف‌های ناشی از انتقال انرژی الکتریکی و حرارتی در مسافت‌های طولانی

با توجه به اینکه امروزه انرژی الکتریکی یک نیاز فراگیر بوده و باید در تمام نقاط قابل دسترس باشد، بدین منظور هزینه بسیاری صرف توسعه خطوط انتقال برق، تعمیر و نگهداری این خطوط شده که در نهایت موجب افزایش هزینه‌های تولید برق می‌گردد.

علاوه بر این به دلیل مقاومت خطوط انتقال، مقدار قابل توجهی از توان تولید شده حین انتقال به مناطق دوردست به هدر می‌رود. با استفاده از میکروتوربین‌ها برای تولید محلی، هزینه‌های ناشی از انتقال برق به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

عدم نیاز به سرمایه‌گذاری‌های هنگفت برای تأسیس نیروگاه‌های بزرگ

تولید برق و انرژی حرارتی در مقیاس‌های بزرگ و برای تأمین نیاز بخش عظیمی از کشور، نیازمند سرمایه‌گذاری‌های هنگفت بوده که معمولا به صورت دولتی انجام می‌شوند. به علاوه ساخت و بهره‌برداری از این نیروگاه‌ها مدت زمان زیادی به طول خواهد انجامید. استفاده از سیستم‌های پراکنده و در مقیاس کوچک تولید برق و حرارت، علاوه بر کاهش هزینه و زمان مصرفی، امکان سرمایه گذاری بخش خصوصی را نیز در این حوزه فراهم می‌کند.

تعمیر و نگهداری سریع و راحت بدون نیاز به دانش فنی و تخصصی بالا

با توجه به سایز کوچک میکروتوربین‌ها و همچنین سادگی قطعات مورد استفاده در آن‌ها، تعمیر و نگهداری آن‌ها پیچیدگی خاصی نداشته و در مدت زمان کوتاهی انجام خواهد شد. با توجه به همین سادگی اجزا، سرویس و تعمیرات این تجهیزات به دانش فنی خاصی نیز نیاز ندارد.

امکان فروش توان مازاد تولید شده

سیستم‌های میکروتوربینی در عین استقلال از شبکه سراسری، در مواقع لزوم قابلیت اتصال به شبکه را خواهند داشت. بدین ترتیب هنگام تولید برق اضافه، می‌توان مازاد برق تولیدی را به شبکه سراسری انتقال داده و از طریق فروش برق، سایر هزینه‌های سیستم را کاهش داد.

امکان اتصال واحدهای میکروتوربین

با توجه به اینکه سیستم‌های میکروتوربینی به صورت یک بسته جامع در اختیار مصرف‌کننده قرار می‌گیرند، امکان اتصال سری و موازی این بسته‌ها، قابلیت تولید انرژی را در مقیاس مورد نیاز و به نحو مطلوب فراهم می‌سازد.

دامنه گسترده کاربردهای سیستم تولید همزمان برق و حرارت

با توجه به اینکه محصولات اصلی سیستم‌های تولید همزمان، برق و حرارت هستند، دامنه استفاده از این سیستم بسیار گسترده خواهد بود. انرژی الکتریکی یکی از ارکان جدایی‌ناپذیر در تمام صنایع و مناطق مسکونی است و از حرارت تولیدی نیز می‌توان برای تولید آب گرم ساختمان‌ها، سیستم گرمایش ادارات و مجتمع‌ها و به عنوان منبع حرارت در بسیاری از صنایع استفاده نمود.

با توجه به تفاوت قیمت سوخت‌های فسیلی (مانند گاز طبیعی) با قیمت برق سراسری، هزینه نهایی تولید برق در مقیاس کوچک کمتر بوده و از لحاظ اقتصادی به‌صرفه‌تر خواهد بود

طراحی مفهومی و مقدماتی میکروتوربین‌ها

• روند طراحی

طراحی محصولات مهندسی، فرآیندی است که در آن مهندسین با در نظر گرفتن ابزار و امکانات در دسترس و توجه به محدودیت‌ها و استانداردهای موجود، به نیازهای جامعه و صنعت پاسخ می‌دهند، بنابراین می‌توان عوامل مؤثر در طراحی یک محصول را در سه بخش در نظر گرفت:

- قیدها و محدودیت‌های طراحی (قوانین و استانداردها، سطح تکنولوژی‌های موجود)
- پارامترهای طراحی (ابزار و مشخصات قابل تغییر برای برآورده کردن هدف)
- پارامترهای عملکردی (چگونگی برآورده کردن هدف)

وظیفه اصلی یک طراح این است که با درنظر گرفتن محدودیت‌های حاکم بر مسئله، پارامترهای طراحی را به گونه‌ای انتخاب نماید که نیاز موردنظر به بهینه‌ترین شکل ممکن برآورده شود. بنابراین مشخص کردن قیدهای یک مسئله، آشنایی با استانداردهای موجود در این زمینه، مشخص کردن پارامترهای طراحی و بررسی تأثیر آنها و همچنین معرفی کامل مسئله پیش‌رو و شرایط بهینه، جزء مراحل ابتدایی فرآیند طراحی خواهد بود. بنابراین مراحل طراحی یک محصول مهندسی را می‌توان به چهار بخش اصلی به صورت زیر تقسیم نمود:

وظیفه اصلی یک طراح این است که با درنظر گرفتن محدودیت‌های حاکم بر مسئله، پارامترهای طراحی را به گونه‌ای انتخاب نماید که نیاز مورد نظر به بهینه‌ترین شکل ممکن برآورده شود

طراحی مشخصات

در این مرحله با توجه به نیاز مشتری و یا با درنظر گرفتن نیاز بازار، مشخصات اصلی محصول تعیین می‌شود. در واقع این مشخصات به گونه‌ای بیان‌کننده نیازی است که محصول موردنظر آن‌ها را برآورده خواهد نمود. برای مثال توان یک میکروتوربین از پارامترهایی است که در این مرحله مشخص می‌شود. نتایج این مرحله به عنوان ورودی به بخش‌های بعدی طراحی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

طراحی مفهومی

در این مرحله طراح با مشخص کردن محدودیت‌های تکنولوژیکی و استانداردهای موجود، محدوده انتخاب‌ها را مشخص نموده و به تعیین پارامترهای اصلی طراحی می‌پردازد. همچنین با مشخص شدن پارامترهای عملکردی و هدف بهینه‌سازی در این بخش، تأثیر هر یک از پارامترهای طراحی بر نتیجه نهایی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این بخش با مشخص شدن هدف نهایی و پارامترهای قابل تغییر، طراح فلسفه طراحی خود را مشخص کرده و نقشه راه را تعیین می‌کند. به علاوه مشخص شدن ویژگی‌های ظاهری و اصلی اجزا از نتایج دیگر این مرحله از طراحی خواهد بود.

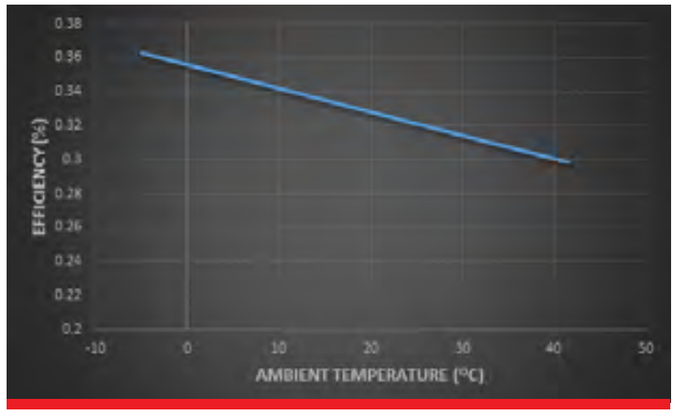
طراحی مقدماتی

در این مرحله با توجه به اینکه در طراحی مفهومی نوع ابزار مورد استفاده و محدوده تغییرات آن‌ها مشخص شده است، به طراحی اولیه اجزاء پرداخته می‌شود. در این طراحی، ابعاد و مشخصات کامل المان‌های مختلف سیستم تعیین شده و عملکرد کلی سیستم به‌دست می‌آید.

جدول ۱ میکروتوربین‌های مشابه

نام شرکت سازنده	نام میکروتوربین	توان الکتریکی تولیدی[kW]
Capstone	C30	30
	C65	65
	C200	200
Elliott	TA 100R	105
Turbec	T100	100
Wilson	Wilson	300
Ingersol Rand	MT 250	250
Bowman	TG80	80

شکل ۳ نمودار تغییرات توان و بازده با تغییر دمای ورودی یک نمونه میکروتوربین



طراحی جزئیات

در مرحله پایانی، تمامی اجزای سیستم به طور دقیق طراحی شده و تمامی اطلاعات آن‌ها اعم از ویژگی‌های ظاهری، پارامترهای اصلی طراحی و ویژگی‌های عملکردی تمامی اجزا و کل سیستم محاسبه خواهد شد. در این قسمت اطلاعات به‌دست‌آمده به گونه‌ای است که امکان ساخت سیستم فراهم شود.

• طراحی مفهومی

هدف اصلی در مرحله طراحی مفهومی، تعیین قیدهای مسئله اعم از تکنولوژیکی و استانداردها، مشخص کردن پارامترهای طراحی و نحوه تأثیر آن‌ها بر محصول نهایی و در نهایت مشخص کردن ویژگی‌های عملکردی سیستم است. علاوه بر این موارد معمولا در طراحی مفهومی با بررسی نمونه‌های مشابه، یک محصول هدف و یا رقیب تعیین شده که در بیشتر موارد برای مقایسه و اطمینان از نتایج، از مشخصات آن موتور کمک گرفته می‌شود. در ادامه به بررسی نمونه‌های مشابه سیستم میکروتوربینی پرداخته و مراحل مختلف طراحی مفهومی یک سیستم میکروتوربین مورد بررسی قرار گرفته است. با بررسی سیستم‌های میکروتوربینی موجود در دنیا و با هدف قرار دادن توان تولیدی ۱۰۰ کیلووات، میکروتوربین‌های ذکر شده در جدول ۱ به عنوان بهترین نمونه‌ها انتخاب شده‌اند. با معرفی پارامترهای اصلی در طراحی میکروتوربین‌ها و تعیین محدودیت‌های موجود در انتخاب این پارامترها، تأثیر آن‌ها بر ویژگی‌های عملکردی مجموعه مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدین صورت محدوده مناسب برای طراحی مقدماتی اجزای سیستم تعیین شده و زمان و هزینه مصرفی در بخش طراحی مقدماتی کاهش می‌یابد.

پارامترهای اصلی محیطی که بر عملکرد میکروتوربین تأثیر بسزایی دارند، دما و ارتفاع از سطح دریا هستند

شرایط محیطی

پارامترهای اصلی محیطی که بر عملکرد میکروتوربین تأثیر بسزایی دارند، دما و ارتفاع از سطح دریا می‌باشند. با تغییر دما و چگالی هوا، شرایط ورودی به کمپرسور تغییر می‌کند که باعث تغییرات محسوس در عملکرد کمپرسور می‌شود و در نهایت خروجی سیستم میکروتوربین را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

با توجه به توزیع دمای بسیار متفاوت در مناطق مختلف کشور، دمای ورودی به میکروتوربین در هر منطقه با دمای نقطه طراحی تفاوت محسوسی خواهد داشت. همان گونه که از سیکل ترمودینامیکی توربین‌های گاز برمی‌آید، افزایش دمای ورودی به کمپرسور باعث کاهش توان و بازده کل توربین می‌شود. بنابراین توان خروجی میکروتوربین‌ها در مناطق گرم و در فصل تابستان، به کمترین میزان خود خواهد رسید. در شکل ۳ تأثیر دمای هوای ورودی بر روی بازده میکروتوربین نشان داده شده است. با بررسی تغییرات دما در سطح کشور و نوسانات دمایی در طول سال، محدوده دمایی لازم برای کارکرد میکروتوربین تعیین می‌شود. در شکل ۴ توزیع میانگین سالانه دما در سطح کشور نمایش داده شده است. بیشترین دما در سطح کشور مربوط به ایستگاه دزفول و کمترین دما در سطح کشور مربوط به

فیروزکوه است. مقدار میانگین دما در گرم‌ترین و سردترین ماه‌های سال برای ایستگاه‌های ذکر شده در جدول ۲ آورده شده است.

با توجه به داده‌های بازه دمایی، محدوده کاری میکروتوربین موردنظر بین ۱۱- درجه سلسیوس (بهترین شرایط کاری) و ۴۶ درجه سلسیوس (بدترین شرایط کاری) خواهد بود. با مبنا قراردادن توان تولیدی در دمای ۱۵ درجه سلسیوس، با تغییر دمای محیط در بازه ذکر شده، توان میکروتوربین تقریبا بین ۱۵- درصد و ۱۵+ درصد تغییر می‌کند.

یکی دیگر از عوامل محیطی مؤثر ارتفاع از سطح دریا است که باعث تغییر چگالی هوای ورودی به میکروتوربین می‌شود. با افزایش ارتفاع از سطح دریا، چگالی هوا کاهش یافته و در نتیجه توان میکروتوربین نیز کاهش می‌یابد. با بررسی ارتفاع شهرهای مختلف ایران، مقدار بیشینه و کمینه ارتفاع از سطح دریا به ترتیب مربوط به شهرهای آبعلی و انزلی است که در جدول ۳ ارتفاع و چگالی هوای این شهرها آورده شده است.

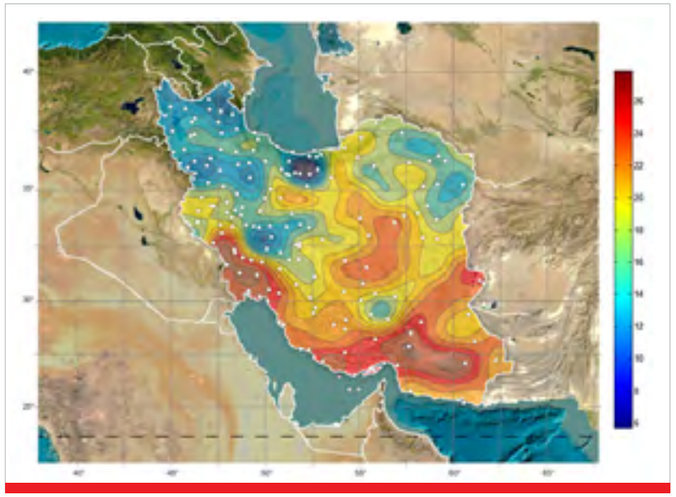
در صورتی که توان میکروتوربین در ارتفاع شهر تهران ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شود، محدوده تغییرات توان به موجب تغییر ارتفاع، بین ۱۰/۴۳- (آبعلی) درصد و ۱۴/۵۷ درصد (انزلی) خواهد بود. باید به این نکته توجه داشت که تغییرات دما و چگالی، همزمان روی عملکرد میکروتوربین تأثیر گذاشته و محدوده تغییرات توان میکروتوربین با مقادیر بالا متفاوت خواهد بود. بنابراین برای به دست آوردن این محدوده تغییرات، از اطلاعات سردترین و کم‌ارتفاع‌ترین شهر ایران (اردبیل)

سردترین ماه‌های سال در فیروزکوه			گرم‌ترین ماه‌های سال در دزفول		
بهمن	دی	ماه	تیر	خرداد	ماه
۹/۰۵-	۱۰/۹۹-	میانگین دما	۴۶/۰۱	۴۴/۱	میانگین دما

جدول ۲ بیشترین و کمترین دمای سطح کشور

	سطح دریا	انزلی	آبعلی	تهران
ارتفاع (m)	۰	۲۶-	۲۴۶۵	۱۳۷۰
چگالی هوا (kg/m3)	۱/۲۲۵	۱/۲۲۸	۰/۹۶	۱/۰۷۱۸

جدول ۳ چگالی هوا در پست‌ترین و مرتفع‌ترین شهرهای ایران



شکل ۴ توزیع میانگین سالانه دما در سطح کشور

معمولا میکروتوربین‌ها برای داشتن ابعاد کوچک از یک طبقه کمپرسور و یک طبقه توربین شعاعی استفاده می‌کنند

	بهترین شرایط	بدترین شرایط
شهر	آستارا	بافت
تغییر توان در اثر تغییر دبی	۱۴/۴۹٪	۸/۷۱٪-
تغییر توان در اثر تغییر دما	۷٪	۹/۲٪-
تغییر توان کل	۲۱/۴۹٪	۱۷/۹۱٪-

جدول ۴ تغییرات توان در بهترین و بدترین حالت نسبت به مرجع (تهران)

به عنوان بیشینه توان تولیدی و گرم‌ترین و مرتفع‌ترین شهر (بافت) به عنوان کمینه توان تولیدی، استفاده می‌شود. در جدول ۴ بازه تغییرات توان برای این شهرها آورده شده است.

نسبت فشار کمپرسور

معمولا میکروتوربین‌ها برای داشتن ابعاد کوچک از یک طبقه کمپرسور و یک طبقه توربین شعاعی استفاده می‌کنند. کمپرسورهای شعاعی دارای نسبت فشار محدود بوده و در نتیجه برای افزایش بازده میکروتوربین‌ها به پیش گرمکن نیاز است. به منظور کاهش حجم محفظه احتراق، نسبت فشار کمپرسور میکروتوربین‌ها بیشتر از ۳ بوده و در بازه ۳ تا ۷ قرار می‌گیرد.

معمولا در محدوده توان پایین‌تر از ۱۰۰ کیلووات، از نسبت فشار بالای ۳/۵ استفاده نمی‌شود، زیرا این امر موجب افزایش اندازه کمپرسور و توربین شده و تلفات آیرودینامیکی در آن‌ها افزایش می‌یابد. از آنجا که بازده کل میکروتوربین شدیدا به بازده اجزای آن وابسته است، انتخاب درست نسبت فشار باعث دست‌یابی به بازده بالا و در عین حال هزینه کمتر خواهد شد. در شکل‌های ۵ و ۶ تأثیر تغییر نسبت فشار بر توان و بازده میکروتوربین در TIT های مختلف آورده شده است.

از این نمودارها می‌توان نتیجه گرفت که در محدوده نسبت فشار بین ۲/۵ تا ۴/۵، میکروتوربین‌های دارای پیش گرمکن دارای عملکرد خوبی هستند. با درنظر گرفتن ملاحظات هزینه، این نسبت فشار بین ۳ تا ۴ محدود می‌شود.

سوخت مصرفی

معمولا میکروتوربین‌ها به گونه‌ای طراحی می‌شوند که قابلیت استفاده از انواع سوخت‌ها، از جمله گاز طبیعی، گازوئیل، کروسین و یا سوخت‌های زیستی را داشته باشند. با این شرایط استفاده از میکروتوربین‌ها صرفه اقتصادی بیشتری به همراه داشته و آسیب‌پذیری کمتری نسبت به تغییرات بازار منابع سوخت دارد. در جدول ۵ میزان ارزش حرارتی سوخت‌های مختلف آورده شده است. شایان ذکر است که برای تأمین دمای ورودی به توربین، حجم کمتری از سوخت‌های با ارزش حرارتی بالاتر مورد نیاز است. با توجه به اینکه ارزش حرارتی گاز طبیعی بیشتر از سایر سوخت‌ها است و همچنین در کشور ما به مقدار زیاد و با قیمت مناسب در دسترس است، به عنوان سوخت اصلی مدنظر خواهد بود. به عنوان سوخت جایگزین نیز می‌توان از گازوئیل استفاده کرد.

دور موتور

سرعت دورانی شفت میکروتوربین‌ها بر اساس اندازه کمپرسور و توربین تعیین می‌شود، که این اندازه‌ها تابعی از مشخصات طراحی و عملکردی کمپرسور و توربین هستند. بر اساس روابط آیرودینامیکی، با کوچک شدن اندازه کمپرسور و توربین و کم شدن توان تولیدی، به منظور حفظ عملکرد آیرودینامیکی، دور موتور افزایش می‌یابد. به عنوان مثال میکروتوربین‌های با توان ۳۰ کیلووات دارای سرعت دورانی در حدود ۹۰۰۰۰ دور بر دقیقه بوده و میکروتوربین‌های بزرگ‌تر، با توان ۱۰۰ کیلووات با سرعت حدود ۷۰۰۰۰ دور بر دقیقه می‌چرخند. با توجه به اینکه اکثر میکروتوربین‌ها به صورت تک شفت طراحی می‌شوند، ژنراتور متصل به آن‌ها نیز با سرعت دورانی بسیار بالایی می‌چرخد، که برای رسیدن به فرکانس‌های مورد نظر از تجهیزات خاص الکتریکی استفاده می‌کنند.

پیش گرمکن

به منظور بالا بردن بازده حرارتی میکروتوربین‌ها، در سیکل ترمودینامیکی آن‌ها از پیش گرمکن استفاده می‌شود. با اضافه کردن پیش گرمکن به سیکل میکروتوربین، دو پارامتر طراحی دیگر به مسئله اضافه می‌شود. پارامتر اول اثربخشی پیش گرمکن است که بیانگر نسبت مقدار واقعی انتقال حرارت به مقدار بیشینه حرارت قابل انتقال

کمپرسورهای شعاعی دارای نسبت فشار محدود بوده و در نتیجه برای افزایش بازده میکروتوربین‌ها به پیش گرمکن نیاز است

است و پارامتر دوم میزان افت فشار در پیش‌گرمکن است. با توجه به اینکه بازده میکروتوربین وابستگی شدیدی به بازده اجزای آن دارد، بالا رفتن اثربخشی پیش‌گرمکن باعث بهتر شدن بازده سیستم می‌شود. این در حالی است که برای بالا رفتن اثربخشی، مساحت پیش‌گرمکن بیشتری لازم است که این خود باعث افزایش افت فشار و در نتیجه کاهش بازده میکروتوربین می‌گردد. بنابراین انتخاب بهینه این دو پارامتر تأثیر مهمی بر عملکرد کلی میکروتوربین‌ها خواهد داشت. در شکل ۷ تغییرات بازده میکروتوربین بر حسب اثربخشی پیش‌گرمکن نشان داده شده است. علاوه بر این، عمر پیش‌گرمکن نیز یکی از پارامترهای مهم در بررسی هزینه میکروتوربین است. با توجه به اینکه پیش‌گرمکن‌ها در معرض گازهای با دمای بالا (نزدیک به ۶۰۰ درجه سلسیوس) هستند، مواد به کار رفته در آن‌ها و عمر آن‌ها از مسائل اصلی در تعیین هزینه این بخش محسوب می‌شود.

توان الکتریکی

با توجه به اینکه توان الکتریکی یکی از خروجی‌های اصلی میکروتوربین‌ها است، بررسی رفتار سایر پارامترهای عملکردی بر حسب این پارامتر از اهمیت خاصی برخوردار است. با استفاده از این اطلاعات می‌توان چگونگی رفتار یک میکروتوربین را در شرایط مختلف خروجی توان الکتریکی (شرایط خارج از نقطه طراحی) بررسی کرد. نمودارهای ۸، ۹ و ۱۰ چگونگی تغییرات برخی پارامترهای عملکردی را بر حسب توان الکتریکی برای یک میکروتوربین ۱۰۰ کیلووات نشان می‌دهند.

در برخی موارد، توانی کمتر از ۱۰۰ درصد توان تولیدی مورد نیاز است، عموما در این مواقع با کاهش دور و یا کم کردن دمای محفظه احتراق توان تولیدی کاهش می‌یابد. به این شرایط کارکرد میکروتوربین، پاره-بار گفته می‌شود. در این شرایط نسبت فشار کمپرسور و مقدار کار توربین کاهش یافته و با فاصله گرفتن از نقطه طراحی، بازده میکروتوربین کاهش می‌یابد. عملکرد پاره-بار یک میکروتوربین را می‌توان در شکل ۱۱ مشاهده نمود.

اطلاعات فنی میکروتوربین ۱۰۰ کیلووات

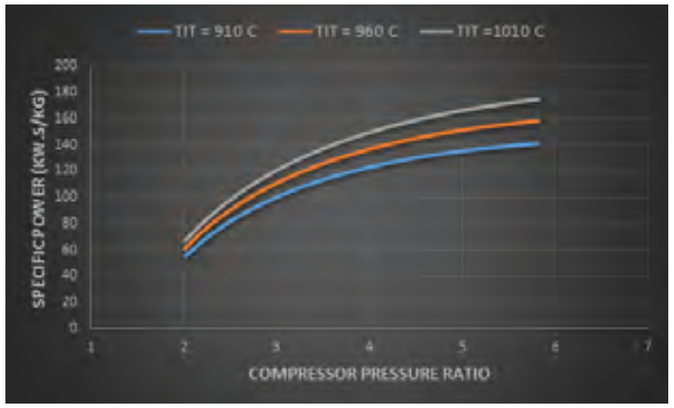
با استفاده از نتایج طراحی مفهومی میکروتوربین‌ها، اطلاعات اولیه برای طراحی سیکل یک میکروتوربین ۱۰۰ کیلوواتی مشخص شده است. میکروتوربین مورد نظر شامل یک طبقه کمپرسور گریز از مرکز، محفظه احتراق، یک طبقه توربین شعاعی و یک پیش‌گرمکن خواهد بود.

اساس کاری میکروتوربین‌ها، سیکل برایتون است که با داشتن مشخصات اصلی این سیکل، می‌توان با استفاده از نرم‌افزارهای تحلیل سیکل به شبیه‌سازی آن پرداخت و تغییرات پارامترهای عملکردی را بر حسب متغیرهای طراحی مورد مطالعه قرار داد. شکل ۱۲ سیکل طراحی شده برای میکروتوربین ۱۰۰ کیلووات را نشان می‌دهد. در جدول ۶ مشخصات ترمودینامیکی سیکل کاری و اجزای میکروتوربین ۱۰۰ کیلوواتی نشان داده شده است. در جدول ۷ نیز مشخصات عملکردی میکروتوربین طراحی شده آورده شده است. این نتایج به عنوان خروجی طراحی مقدماتی به دست آمده‌اند که محصولی قابل رقابت با نمونه‌های مشابه را معرفی می‌نمایند.

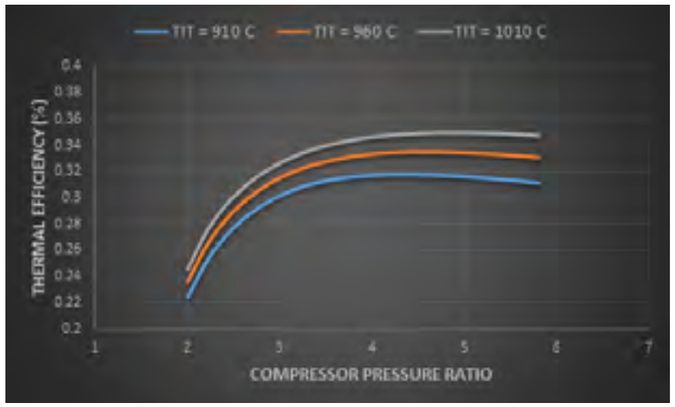
نام سوخت	گرمای احتراق (kJ/g)
هیدروژن	۹/۱۴۱
گازوئیل	۴۷
دیزل	۴۵
اتانول	۷/۲۹
پروپان	۹/۴۹
بوتان	۲/۴۹
سوخت زیستی	۹/۲۵
گاز طبیعی	۵۴

جدول ۵ ارزش حرارتی سوخت‌های مختلف

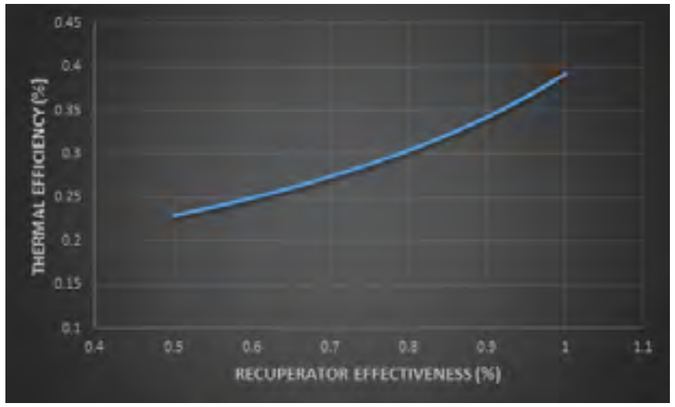
سرعت دورانی شفت میکروتوربین‌ها بر اساس اندازه کمپرسور و توربین تعیین می‌شود، که این اندازه‌ها خود تابع مشخصات طراحی و عملکردی کمپرسور و توربین هستند



شکل ۵ تغییرات توان مخصوص میکروتوربین دارای پیش‌گرمکن بر حسب نسبت فشار کمپرسور برای TITهای مختلف



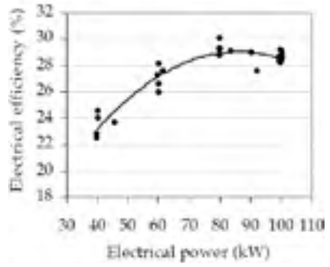
شکل ۶ تغییرات بازده میکروتوربین دارای پیش‌گرمکن بر حسب نسبت فشار کمپرسور برای TITهای مختلف



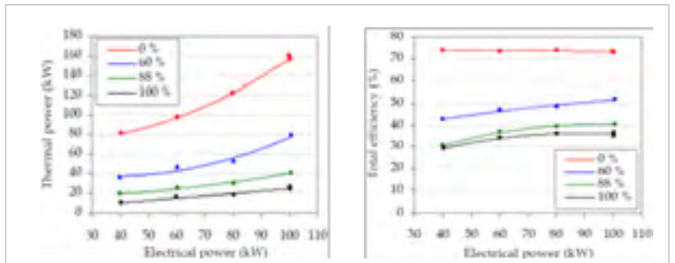
شکل ۷ نمودار تغییرات بازده بر حسب اثربخشی پیش گرمکن

با توجه به اینکه بازده میکروتوربین وابستگی شدیدی به بازده اجزای آن دارد، بالا رفتن اثربخشی پیش‌گرمکن باعث بهتر شدن بازده سیستم می‌شود

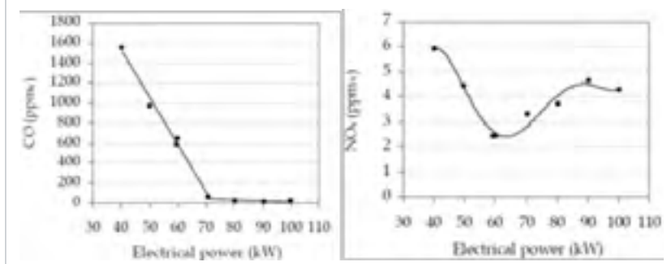
شکل ۸ نمودار تغییرات بازده الکتریکی بر حسب توان الکتریکی برای میکروتوربین Turbec T100



در فرآیند طراحی پارامترهایی نظیر میکروتوربین‌ها به عواملی نظیر قوانین و استانداردها، سطح تکنولوژی، سیستم‌های مشابه و نیاز بازار در تعیین مشخصات اولیه میکروتوربین تاثیرگذار است

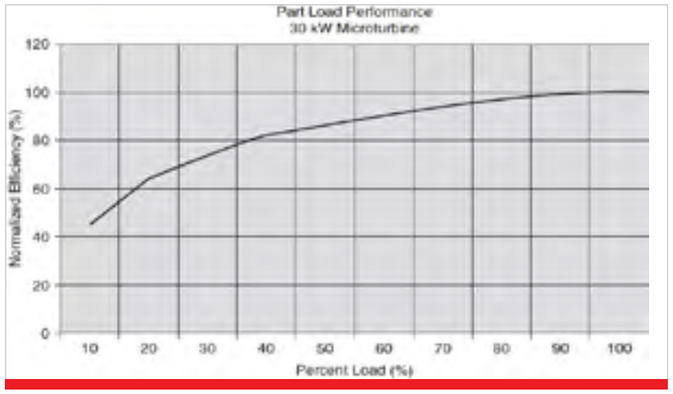


شکل ۹ نمودار تغییرات بازده حرارتی و بازده کل بر حسب توان الکتریکی برای میکروتوربین Turbec T100



شکل ۱۰ نمودار تغییرات مقادیر آلاینده‌ها بر حسب توان الکتریکی برای میکروتوربین Turbec 100

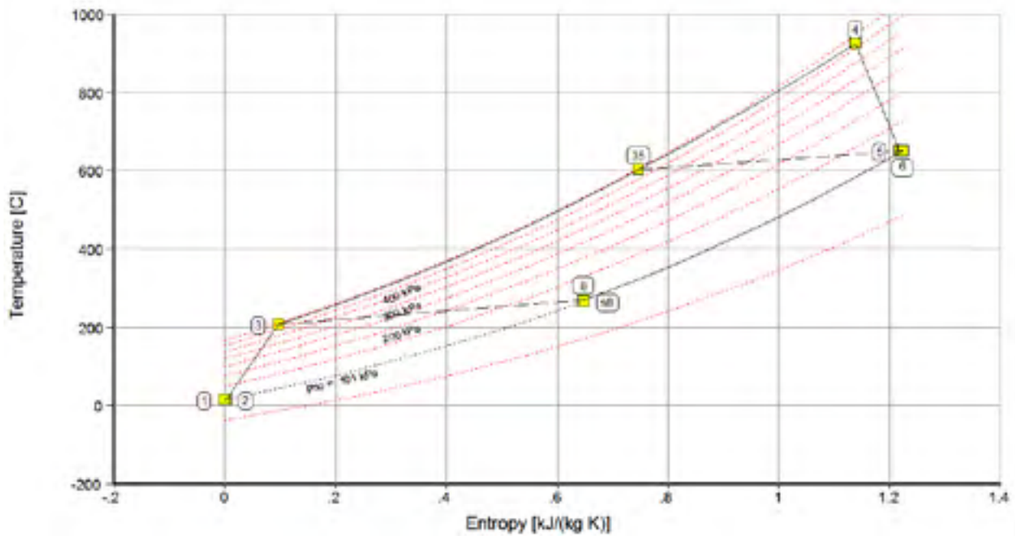
شکل ۱۱ عملکرد پاره-بار یک میکروتوربین ۳۰ کیلووات



جمع‌بندی

با توجه به نیاز روزافزون بـــه انرژی الکتریکی در مناطق مختلف و اتلافات اجتناب ناپذیر موجود در شبکه‌های توزیع برق، تولید انرژی الکتریکی در مقیاس کوچک به صورت پراکنده و در مجاورت مصرف کننده، راه حل مناسبی برای تامین برق در نقاط مختلف می‌باشد. میکروتوربین‌ها، با توجه به محدوده توان تولیدی آنها، از مناســـب‌ترین گزینه‌ها برای اســـتفاده در سیســـتم‌های تولید پراکنده می‌باشند. همچنین با استفاده از پیش گرمکن و بازیافت حـــرارت، علاوه بـــر افزایش راندمان، گرمـــای خروجـــی در مصارفی نظیر تهیه آب گرم، سیستم‌های گرمایشی و برودتی قابل اســـتفاده خواهد بـــود. در فرآیند طراحی پارامترهایـــی نظیر میکروتوربین‌هـــا به عواملی نظیر قوانین و استانداردها، ســـطح تکنولوژی، سیستم‌های مشابه و نیاز بازار در تعیین مشخصات اولیه میکروتوربین تاثیرگذار است. همچنین در طول طراحی عواملی مانند شـــرایط جغرافیایی، سوخت در دســـترس، تغییرات دما و چگالی بر روی مشـــخصات عملکردی و عملکرد پاره-بار میکروتوربین موثر می‌باشند.

با اســـتفاده از نتایج طراحی مفهومی و طراحی مشـــخصات، پیکربندی و اطلاعـــات اولیه برای طراحی ســـیکل میکروتوربین مشخص خواهد شد. به طور نمونه مشـــخصات سیکل و عملکرد یک میکروتوربین ۱۰۰ کیلوواتی، شـــامل یک طبقه کمپرســـور گریز از مرکز، محفظه احتراق، یک طبقه توربین شعاعی و یک پیش گرمکن در جدول ۶ و جدول ۷ نمایش داده شده است.



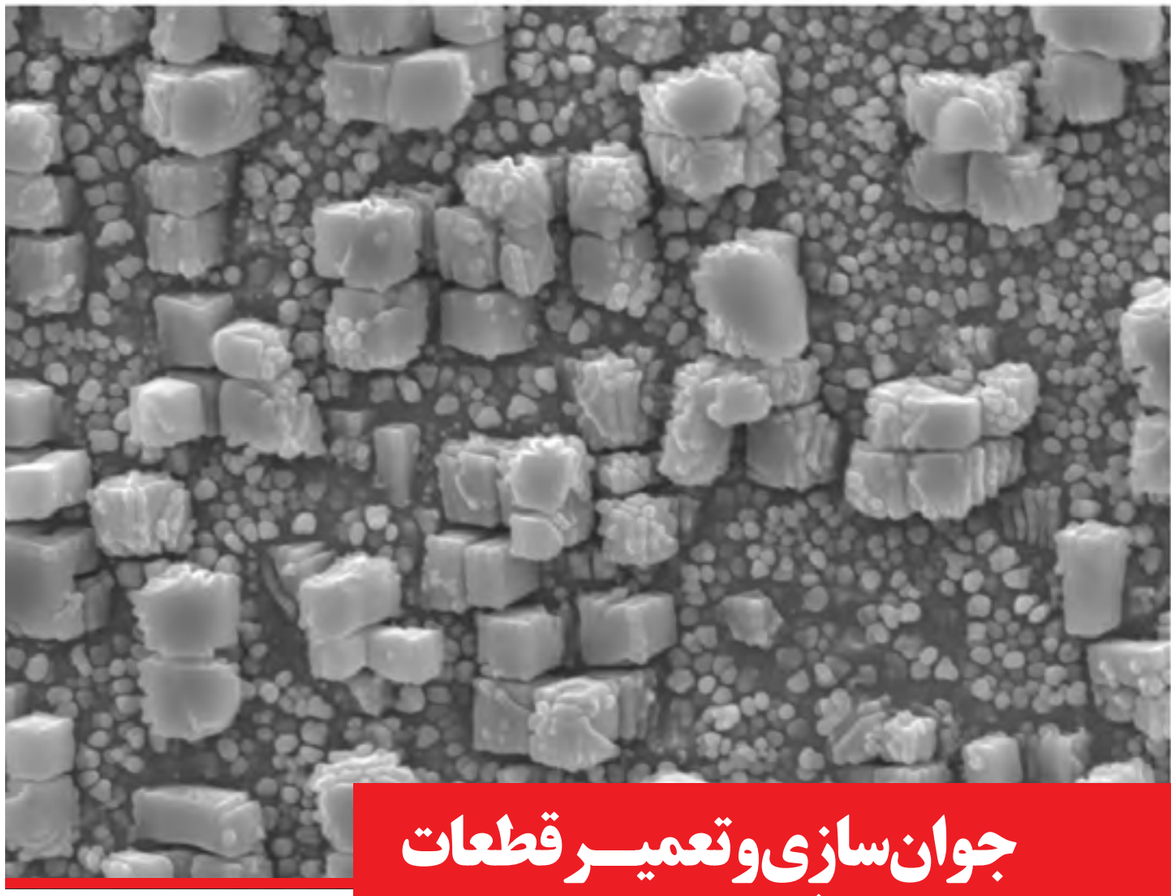
شکل ۱۲ سیکل ترمودینامیکی میکروتوربین ۱۰۰ کیلووات

مشخصات ورودی	دمای هوای ورودی	۴۰+ تا ۲۵- درجه سلسیوس
	رطوبت هوای ورودی	۰-۱۰۰٪
مشخصات کمپرسور	نسبت فشار	۴/۴
	بازده تک‌آنتروپی	۰/۷۸
مشخصات محفظه‌ی احتراق	دمای خروجی از محفظه‌ی احتراق	۹۲۵ درجه سلسیوس
	فشار داخل محفظه‌ی احتراق	۴/۵ bar
مشخصات توربین	دور موتور	۷۰۰۰۰ دور بر دقیقه
	بازده تک‌آنتروپی	۰/۸۲
	دمای خروجی از توربین	۶۵۰ درجه سلسیوس
مشخصات پیش گرمکن	دمای خروجی از پیش گرمکن	۲۷۰ درجه سلسیوس
	ضریب اثربخشی	۰/۸۹
دبی جرمی	دبی جرمی خروجی	۰/۷۹ Kg/s

جدول ۶ مشخصات سیکل ترمودینامیکی و اجزای میکروتوربین ۱۰۰ کیلووات

جدول ۷ مشخصات عملکردی میکروتوربین طراحی‌شده

عملکرد	توان الکتریکی	۱۰۱ کیلووات
	بازده الکتریکی	۳۲٪



جوان‌سازی و تعمیر قطعات ناحیه داغ توربین‌های گاز

نوذر انجبین[1]، روزبه منصوری[2] برخی از قطعات مورد استفاده در توربین‌های گاز از جمله پره‌های ثابت و متحرک ناحیه داغ، به‌دلیل شرایط کاری سخت دارای عمر محدودی می‌باشند. از این رو بایستی این قطعات به‌صورت دوره‌ای از موتور خارج شده و جایگزین گردند. به‌طور کلی عوامل مختلفی از جمله میزان پایداری ریزساختار، بارهای ارتعاشی و ثابت وارده، دما و مشخصات خورندگی محیط و نیز میزان تخریب ناشی از سایش و برخورد شی خارجی، تعیین کننده عمر قطعات توربینی می‌باشند. به‌دلیل هزینه‌های اقتصادی بالای ساخت قطعات جدید، تعمیر اجزای کارکرده و افزایش عمر آن‌ها در صورت امکان، نسبت به جایگزینی آن‌ها ارجحیت دارد. فرآیند تعمیر این قطعات شامل حذف و جایگزینی پوشش‌ها، تعمیر خرابی‌های مکانیکی نظیر خرابی سایشی و اعمال فرآیند جوان‌سازی است، که با توجه به شرایط کاری قطعه و نوع تخریب آن قابل اعمال است.

پوشش‌دهی مجدد

زمانی که در پوشش قبلی شکستگی ایجاد شده باشد و یا اینکه قابلیت حفاظت‌کنندگی آن به نوعی کاهش یافته باشد، می‌توان با پوشش‌دهی مجدد، قابلیت حفاظت‌کنندگی پوشش را به حالت اول برگرداند. فرآیند پوشش‌دهی مجدد مشابه پوشش‌دهی اولیه است، با این تفاوت که در پوشش‌دهی مجدد بایستی پوشش قبلی و هرگونه تخریب سطحی و آثار خوردگی کاملا حذف گردد. در حالت کلی محدودیتی برای تعداد دفعاتی که یک فلز می‌تواند پوشش مجدد داده شود، وجود ندارد. این در حالی‌است که اغلب تولیدکنندگان فقط یک مرحله پوشش مجدد را توصیه می‌کنند. علت این امر، حذف شدن بخشی از سطح فلز در حین حذف پوشش قبلی است. وقتی که ضخامت فلز به‌ویژه در مجاورت سطوح خنک‌کاری داخلی بسیار کم شود، دیگر نمی‌توان آن جزء را تعمیر و یا تحت پوشش‌دهی مجدد قرار داد. همچنین عملیات پوشش زدایی در تک بلورها ممکن است منجر به تردی هیدروژنی شود.

تعمیر خرابی‌های مکانیکی

تعمیر خرابی‌های مکانیکی قطعات شامل مواردی نظیر حذف تغییرشکل‌های ایجاد شده، استفاده از روش‌های اتصال برای بستن ترک‌ها، ماشین‌کاری برای حذف محصولات خوردگی و رسوبات، بازسازی قسمتهای حذف شده نظیر نوک پره‌ها در اثر برخورد شی خارجی، تماس سایشی و فرسایش است. البته با توجه به موقعیت و شدت خرابی، فرآیند تعمیر را می‌توان با استفاده از روش‌هایی نظیر جوشکاری، لحیم سخت، پاشش پلاسما و یا متالورژی پودر انجام داد.

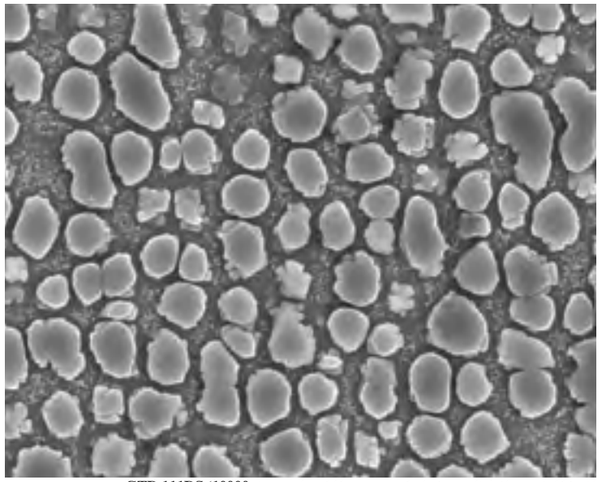
فرآیند جوان‌سازی

یکی از دلایل اصلی تخریب قطعات توربینی، ایجاد تنزل در خواص ماده ضمن کار است که با مکانیزم‌های وابسته به زمان نظیر پیری و خزش ایجاد می‌شود. پیری یک فرآیند نفوذی است که به‌دلیل افزایش سرعت نفوذ در دماهای کاری بالا تسریع می‌یابد. پیری حین کار، در سوپرآلیاژها شامل درشت شدن رسوبات گاماپرایم، ایجاد تغییرات در رسوبات کاربیدی، تشکیل فازهای درشت مرزدانه‌ای و نیز تشکیل فازهای نامطلوب فشرده هندسی (TCP) می‌باشد. در نتیجه خزش، تعدادی حفره در امتداد مرز دانه‌ها تشکیل می‌شود که سبب کاهش خواص ماده شده و می‌تواند باعث ایجاد شکست در قطعه گردد. علاوه بر موارد فوق، اعمال تنش‌های سیکلی و خرابی خستگی نیز باعث ایجاد یک تجمع نابجایی در ریزساختار شده که به ایجاد تنش‌های داخلی می‌انجامد. به‌منظور برگرداندن ریزساختار و خواص مکانیکی قطعات کارکرده به شرایطی مشابه با قطعه نو، از عملیات جوان‌سازی بعد از اتمام سایر فرآیندهای تعمیر، نظیر تعمیر خرابی مکانیکی و یا پوشش‌دهی مجدد استفاده می‌شود.

فرآیند جوان‌سازی شامل مجموعه عملیاتی است که تا حد امکان سبب بازگرداندن ریزساختار قطعه کارکرده به شرایط اولیه خود می‌شود. به‌طور کلی این فرآیند شامل عملیات حل‌سازی و پیری است. به‌عنوان مثال در سوپرآلیاژهای پایه نیکل رسوب سخت شونده، عملیات حل سازی مناسب سبب حل شدن کامل رسوبات گاماپرایم و فازهای فشرده هندسی شده و همچنین سبب حل شدن برخی از کاربیدها نیز می‌گردد. در این آلیاژها فرآیند حل‌سازی با سیکل‌های پیری خاص دنبال می‌شود که طی آن رسوبات گاما پرایم اولیه و ثانویه و کاربیدها، شکل و آرایش مناسبی به‌خود می‌گیرند که در نتیجه آن استحکام قطعه بازیابی خواهد شد. علاوه بر عملیات حرارتی فوق که برای اصلاح مورفولوژی فازهای ثانویه در قطعه کارکرده مورد استفاده قرار می‌گیرد، در مواردی نیز از فرآیند فشار همه جانبه داغ (HIP) برای بستن و ترمیم حفرات درون ساختار استفاده می‌شود. در این فرآیند قطعات در دمای انحلال تحت فشار خیلی بالا در یک محیط گاز خنثی قرار می‌گیرند. این فرآیند عموما برای تعمیر و بستن حفرات خزشی در آلیاژ مورد استفاده قرار می‌گیرد، البته برای بستن یا کاهش مقدار تخلخل ریختگی نیز می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد. همچنین با استفاده از فرآیند HIP به‌دلیل افزایش دمای ذوب زودرس، می‌توان از دماهای بالاتر برای عملیات حرارتی انحلال استفاده کرد. بالا بودن دمای عملیات انحلال به ایجاد ساختار یکنواخت‌تر منجر شده و اغلب رسوبات را قابل حل می‌سازد. اگر چه فرآیند HIP در بستن ترک‌های داخلی و مک‌های ریختگی در قطعات نو، به‌طور موثری مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما این فرآیند نمی‌تواند ترک‌های موجود در سطح قطعات که با روش‌های سنتی NDT قابل شناسایی است را ترمیم نماید و لذا برای این منظور استفاده نمی‌شود. علاوه بر بازگرداندن ریزساختار ماده، مزیت دیگر فشار همه جانبه و سیکل‌های عملیات حرارتی جوان‌سازی این است که این فرآیندها به‌طور موثری تجمع نابجایی‌های حاصل از کرنش‌های سیکلی پلاستیک که ممکن است ضمن کار ایجاد شود را با آنیل کردن از بین می‌برد و از این طریق منجر به کاهش تنش‌های داخلی مرتبط با این تجمع می‌شود. لذا امکان ایجاد و اشاعه ترک خستگی را کاهش می‌دهد.

در شکل ۱، ریزساختار ناحیه ریشه از یک پره توربین GTD111DS بعد از کارکرد نشان داده شده است. مطابق این شکل ذرات گاماپرایم اولیه (رسوبات بزرگ) به‌همراه رسوبات گاماپرایم ثانویه (رسوبات ریز کروی) در ساختار آلیاژ حضور دارند. از آنجایی که ریشه پره‌ها در مقایسه با سایر بخش‌های پره بیشترین فاصله را نسبت به گاز داغ دارا می‌باشد، لذا ریزساختار این ناحیه را می‌توان به‌عنوان ریزساختار قطعه نو در نظر گرفت. در طرف مقابل ریزساختار یک پره که در شکل ۲

به‌دلیل هزینه‌های اقتصادی بالای ساخت قطعات جدید، تعمیر اجزای کارکرده و افزایش عمر آن‌ها در صورت امکان، نسبت به جایگزینی آن‌ها ارجحیت دارد



شکل ۱- ریزساختار ناحیه ریشه از یک پره توربین کارکرده از جنس GTD 111DS (10000x)

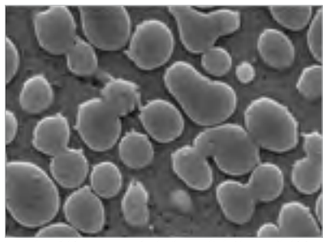
۱: نوذر انجبین: واحد مهندسی شرکت توربین ماشین خاورمیانه
۲: روزبه منصوری: مدیر واحد متالورژی شرکت توربین ماشین خاورمیانه

آثار به گونه‌ای طراحی شـــده که در ابتدا باعث حل شـــدن فاز M23C6 و گاماپرایم در زمینه می‌شود و با عملیات بعدی مجددا با مورفولوژی مناســـب در زمینه، رسوب داده می‌شـــوند. با انجام این عملیات جوان‌ســـازی، مرزدانه‌ها نیز مورفولوژی اولیه خود که شامل کاربیدهای مرز دانه‌ای ریز و مجزا بوده را پیدا می‌کنند (شـــکل ۵). ضمـــن کارکرد اجزای توربیـــن در دماهای بالا، علاوه بر تغییـــر مورفولوژی فازهای موجود در ریزســـاختار، امکان تشـــکیل فازهای جدید مانند فاز ســـیگما نیز وجـــود دارد. این فازهای جدید که به فازهای فشـــرده هندسی (TCP) معروف‌اند، ترکیبات بین فلزی با داکتیلیته کم بوده و عموما دارای ساختار کریستالی مشابهی می‌باشند. احتمال تشـــکیل این فاز بستگی به دمای کاری و نیز ترکیب شیمیایی آلیاژ دارد. با این وجود حتی در آلیاژهایی که مستعد تشکیل فاز ســـیگما نیســـتند، این فاز ممکن است در نواحی مجاور پوشش و یا در نواحی اکسید شده که ترکیب آلیاژ پایه در آنجا تغییر کرده، تشکیل شوند. حضور این فازها به‌دلیل اینکه می‌توانند به‌عنوان مکان‌های جوانه‌زنی و گســـترش ترک عمل کنند، سبب تردتر شدن وکاهش استحکام ضربه قطعات می‌شود. همچنین در اثر تشکیل این فازها، به‌دلیل حذف شدن و کاهش عناصر اســـتحکام بخش محلول جامـــد (نظیر Mo) از زمینه آســـتنیتی، اســـتحکام خزشی کاهش می‌یابد. در شـــکل ۶، ریزســـاختار در قسمت ایرفویل پره کار کـــرده از جنس Nimonic 115 نشان داده شـــده اســـت. مطابق این شکل، فاز فشرده هندسی ســـیگما با مورفولوژی سوزنی شکل در ریزساختار تشکیل شده است. مطابق شـــکل ۷ با انجام عملیات حرارتی جوان‌سازی، فازهای TCP در زمینه حل شـــده و ریزساختار ایرفویل کاملا عاری از فاز سیگما می‌شود.

در شرایطی که در قطعه خزش رخ دهد، از به‌هم پیوستن جاهای خالی، تعدادی از حفرات ریز در امتداد مرز دانه‌ها تشکیل می‌شود. در اثر به‌هم پیوستن این حفرات، ترک خزشی ایجاد شده و اشاعه می‌یابد. برای حذف و بستن این حفرات خزشی از فرآیند HIP استفاده می‌شود. در واقع با حذف شدن این حفرات، ماده بخشی از استحکام خزشـــی خود را مجددا بدســـت می‌آورد که با عملیات حرارتی قابل دستیابی نیست.

محدودیت‌های فرآیند جوان‌سازی

با وجـــود اینکـــه فرآیند جوان‌ســـازی به‌صورت موفقیت‌آمیزی بر روی بســـیاری از سوپرآلیاژها اعمال می‌شود، اما اعمال این فرآیند در خصوص برخی از آلیاژها با مشکلاتی مواجه است. به‌عنوان مثال، عملیات حرارتی در آلیاژهای تک کریستال ممکن اســـت منجر به جوانه‌زنی دانه‌های جدید گردد (تبلـــور مجدد). در این‌صورت اســـتحکام قطعه به‌شدت کاهش می‌یابد و نمی‌توان آن را به سرویس بازگرداند. از آنجایی که تک کریستال‌ها حاوی عناصر استحکام بخش مرزدانه‌ای نیستند، لذا مرزدانـــه حاصـــل در اثر عملیـــات حرارتی بســـیار ضعیف‌تـــر از آلیاژهای پلی‌کریســـتال معمـــول خواهد بود و منجر بـــه تضعیف خواص مکانیکی می‌شـــود. برخلاف تک کریســـتال‌ها، قطعات فورج شده که به دلیل دارا بودن دانه‌های ریز، چقرمگی خوبی دارند، ممکن اســـت ضمن عملیات حرارتی در دماهای بالا دچار رشـــد دانه شوند (شکل ۸). از آنجایی که رشد دانه در این مواد تا حد زیادی غیرقابل پیش‌بینی است، لذا بازرسی اندازه دانه از طریـــق ماکرواچ، برای قطعات جوان شده لازم است. یکی دیگر از عوامل محدودکننده برای اســـتفاده از فرآیندهای جوان‌ســـازی، عدم



شکل ۲- ریزساختار ناحیه میانی از یک پره توربین کارکرده از جنس GTD 111DS (10000x)

آورده شده، نشان می‌دهد که رسوبات گاماپرایم ثانویه کاملا حذف شـــده و گاماپرایم‌های اولیه به‌هم پیوســـته و درشت شـــده‌اند. ریزساختار قسمت یک پره فوق بعد از اعمال HIP و عملیات حرارتی جوان‌سازی در شکل ۳ نشان داده شده است. مطابق شـــکل ۳، ریزساختار بهینه شامل ذرات گاما پرایم اولیه با هندسه مکعبی و ذرات گاماپرایم ثانویه ریزدر قطعه ایجاد شده است.

ریزســـاختار قســـمت ایرفویـــل پـــره از آلیاژ GTD111DS در شکل ۴ نشان داده شده است. مطابق این شـــکل کاربیدها یک آرایش پیوسته در مرز دانه پیدا کرده‌اند و مرز دانه ضخیم شده است. زمانی که این کاربیدها به‌صورت یک لایه پیوســـته در امتداد مرز دانه‌ها تشـــکیل شوند، میزان استحکام‌دهی مرزدانه‌ای را کاهش داده و منجر به ایجاد رفتار شکســـت ترد می‌شوند. عملیات حرارتی جوان‌ســـازی برای حذف این

فرآیند جوان‌سازی شامل مجموعه عملیاتی است که تا حد امکان سبب بازگرداندن ریزساختار قطعه کارکرده به شرایط اولیه خود می‌شود

توانایی این روش‌ها در بازیابی انعطاف پذیری قطعات می‌باشد. بر اساس برخی از تحقیقات منتشر شده، پره‌های توربین از آلیاژهای مختلف را می‌توان حداکثر تا دو مرتبه تحت عملیات جوان‌سازی قرار داد و لذا به اندازه سه برابر عمر اسمی از آنها استفاده کرد. با این وجود در مواردی سومین سیکل جوان‌سازی موفق نیز بر روی آنها قابل اعمال است. در هر صورت بایستی قبل از استفاده از آلیاژ جوان شده استحکام خزشی آن را از طریق آزمون تجربی مورد ارزیابی قرار داد.

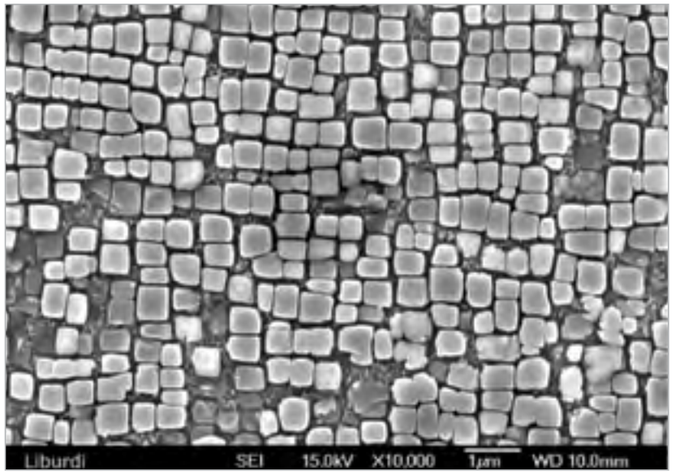
کنترل کیفی مجدد

از آنجایی که تحولات ریزساختاری به‌صورت مستقیم خواص مکانیکی اجزا را تحت تاثیر قرار می‌دهد، لذا لازم است تا ریزساختار قطعات شامل مشخصات فازهای ثانویه، اندازه دانه و شرایط مرز دانه، بعد از اعمال تعمیرات لازم مورد ارزیابی قرار گیرد. همچنین لازم است تا با استفاده از حداقل دو آزمون تنش-گسیختگی، خواص مکانیکی قطعات تعمیر شده تعیین گردد. برای ارزیابی میزان موفق بودن عملیات تعمیر بایستی خواص اندازه‌گیری شده از قطعات تعمیری، با خواص قطعه نو و یا با استانداردها و معیارهای پذیرشی که برای ارزیابی ماده ساخته شده نو مورد استفاده قرار می‌گیرد، مقایسه گردد. همچنین لازم است که ابعاد هندسی قطعات با نقشه‌های طراحی اولیه کنترل شوند.

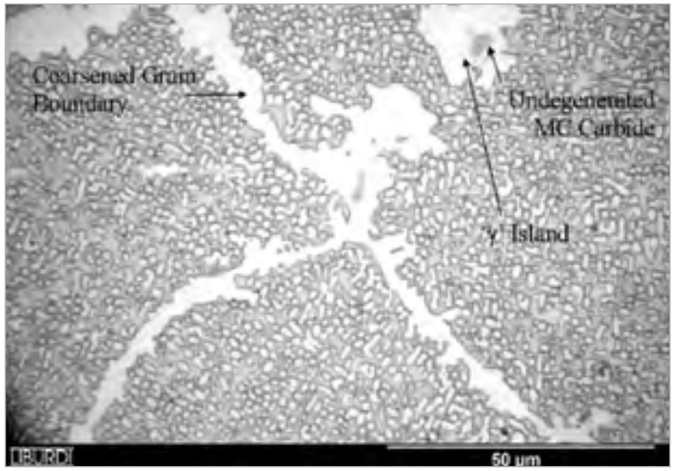
جمع‌بندی

قطعات ناحیه داغ توربین‌های گاز به‌دلیل تحمل شرایط کاری نسبتا سخت ممکن است در حین کارکرد دچار تنزل در ساختار شوند و یا اینکه خرابی‌های مکانیکی و خوردگی در آن‌ها ایجاد شود. با استفاده از فرآیند پوشش‌دهی مجدد می‌توان مقاومت در برابر خوردگی را مجددا در این قطعات ایجاد کرد و با استفاده از روش‌هایی نظیر جوشکاری، لحیم سخت، پاشش پلاسما و یا متالورژی پودر می‌توان خرابی‌های مکانیکی نظیر خرابی سایشی را در آنها اصلاح نمود. تغییرات ریزساختاری مخرب که در اثر کارکرد ممکن است در این قطعات ایجاد شده باشد را نیز می‌توان تا حدودی با استفاده از فرآیند جوان‌سازی که شامل عملیات حل‌سازی، پیری و در مواردی HIP است، به حالت اول برگرداند. فرآیند جوان‌سازی در مواردی نظیر قطعات فورج، چنانچه سبب ایجاد رشد دانه شود و یا در آلیاژهای تک کریستال چنانچه منجر به جوانه‌زنی دانه‌های جدید گردد، موفق نخواهد بود. به‌طور کلی عملیات تعمیر و فرآیند جوان‌سازی زمانی موثر است که خواص و مشخصات قطعه کارکرده بعد از اعمال این فرآیندها مشابه قطعه نو باشد.

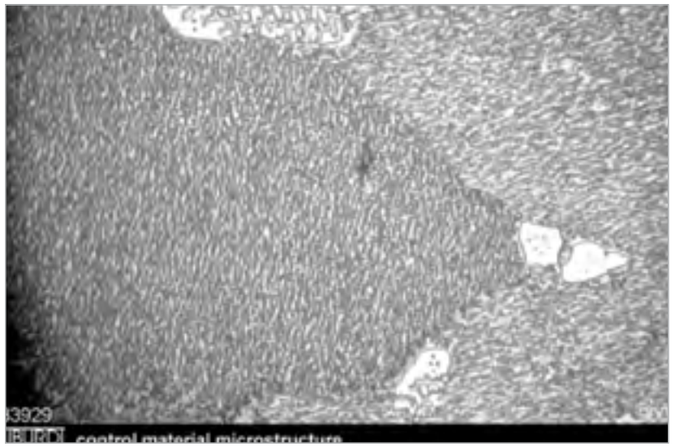
شکل ۳- ریزساختار بازسازی شده پره توربین از جنس GTD 111DS بعد از عملیات جوان سازی(10000x).



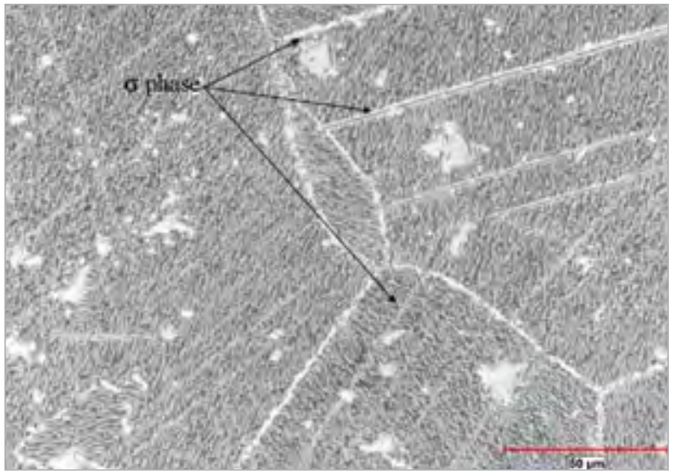
شکل ۴- ریزساختار قسمت ایرفویل پره از جنس GTD 111DS بعد از سرویس (500x).



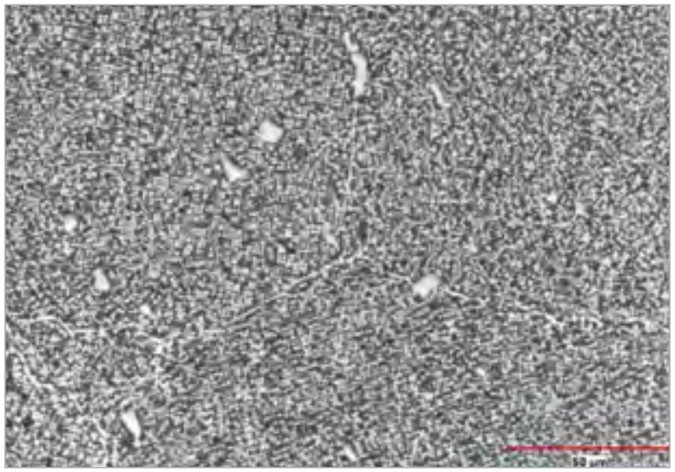
شکل ۵- ساختار پره شکل ۴ بعد از عملیات جوان سازی (500x).



شکل ۶- ریزساختار قسمت ایرفویل پره کار کرده از جنس Nimonic 115 (500x)

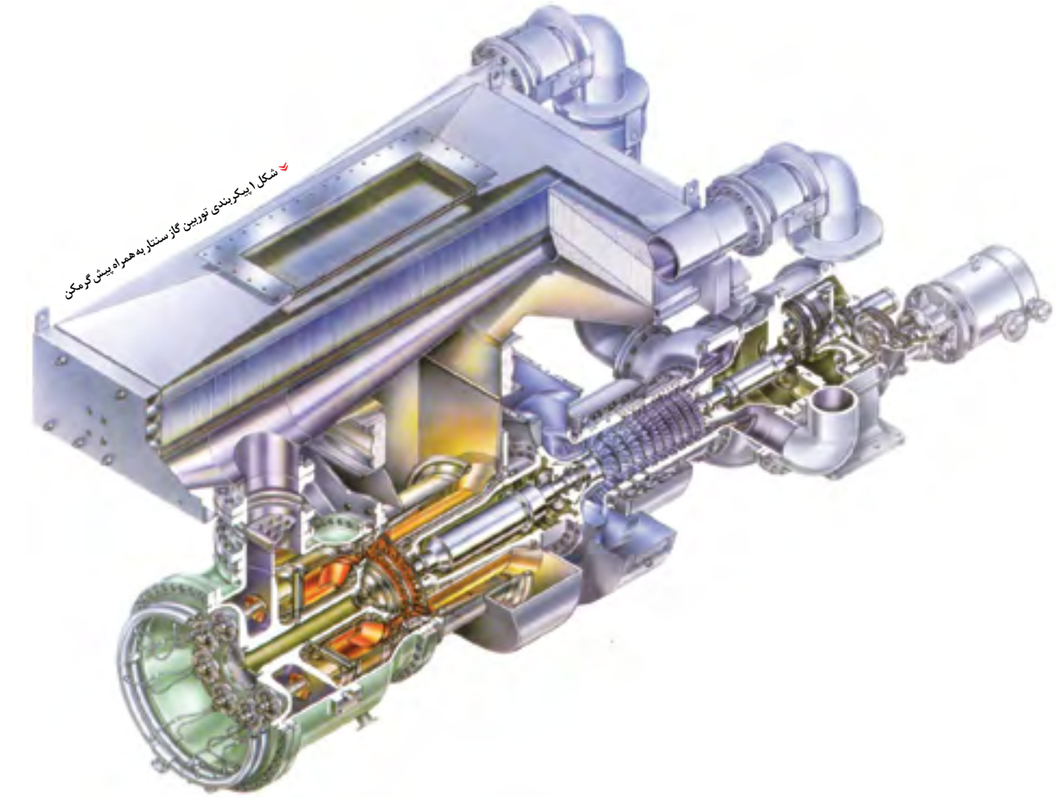


شکل ۷- ریز ساختار پره شکل ۶ بعد از عملیات جوان سازی (500x)



شکل ۸- ساختار دانه‌های سطحی در یک پره فورج شده بعد از اعمال سیکل جوان‌سازی.

برای ارزیابی میزان موفق بودن عملیات تعمیر بایستی خواص اندازه‌گیری شده از قطعات تعمیری، با خواص قطعه نو و یا با استانداردها و معیارهای پذیرشی که برای ارزیابی ماده ساخته شده نو مورد استفاده قرار می‌گیرد، مقایسه گردد



شکل ۱ پیکربندی توربین گاز سنتار به همراه پیش گرمکن

بررسی پتانسیل ارتقای توربین گاز سولار سنتار با روش ارتقای کمپرسور

محمدرضا امینی مقام[1]، کاوه قربانیان[2]، ارشیا تافته[3]

امروزه با پیشرفت سریع تکنولوژی و نیاز به منابع انرژی استفاده از توربین‌های گاز، به عنوان سیستم‌های تولید توان، بسیار گسترده و متنوع شده است. بیشترین کاربرد صنعتی توربین‌های گاز در تولید برق در نیروگاه‌ها، و تولید نیروی محرکه جهت رانش پمپ‌ها و کمپرسورها می‌باشد. کشور ما نیز با توجه به وسعت و جمعیت بالا، توسعه روزافزون صنایع و حجم عظیم منابع و پروژه‌های صنعت نفت و گاز، از مصرف کنندگان بزرگ توربین گاز می‌باشد. در گذشته دانش و توانایی ساخت و تولید این تجهیزات در انحصار کشورهای بزرگ صنعتی بوده و کشور ما در تهیه، تعمیر و نگهداری و راه‌اندازی توربین‌های گاز به خارج از کشور وابسته بوده است. در سال‌های اخیر با تلاش‌های صورت گرفته، کشور در مسیر بومی‌سازی و قطع وابستگی گام‌های مهم و اساسی برداشته است.

با توجه به پیچیدگی و تنوع تکنولوژی به کار رفته در زیرسیستم‌های توربین گاز از یک سوی، هزینه و زمان طراحی و توسعه آنها از سوی دیگر، سازندگان توربین گاز اغلب از طراحی محصول از صفر پرهیز می‌کنند. سازندگان به منظور کاهش هزینه‌های توسعه و طراحی و معرفی هرچه سریع‌تر محصول جدید به بازار جهت ایجاد تمایز با دیگر رقبا، با انجام تغییرات بر روی محصولات جاری و موفق و ارتقای آنها، محصول جدید دیگری تولید می‌نمایند.

ارتقای یک توربین گاز، با توجه به طراحی اولیه، عملکرد، کاربری، طول عمر قطعات، صنعت‌های رقابتی، بازخورد و میزان رضایت‌مندی بهره‌وران و همچنین نیاز بازار، از دیدگاه‌های مختلفی قابل بررسی می‌باشد. برخی از متداول‌ترین دیدگاه‌های تغییر و ارتقای توربین گاز عبارتند از:

- ارتقا به لحاظ بهینه‌سازی پاکت عملکردی
- ارتقا به لحاظ افزایش طول عمر و قابلیت اطمینان
- ارتقا به لحاظ سهولت فرآیند تعمیر و نگهداری و افزایش ضریب اطمینان فرآیند مربوطه
- ارتقا به لحاظ سهولت فرآیند ساخت و تولید و کاهش هزینه‌های ساخت

هریک از این تغییرات در شرایطی متفاوت، با الزاماتی خاص، با اهدافی معین و به روش‌های متنوع قابل اعمال می‌باشند.

در این مقاله به بررسی پتانسیل ارتقا و بهینه‌سازی پاکت عملکردی توربین گاز سولار سنتار T-4502، با تمرکز بر روی ارتقای کمپرسور پرداخته شده است. در ادامه، ابتدا به مرور تاریخچه تغییرات و ارتقای توربین گاز سنتار در شرکت سولار پرداخته می‌شود. سپس، روش و ابزار بررسی پتانسیل ارتقای کمپرسور محوری معرفی شده و در انتها نیز پتانسیل ارتقای توربین گاز سولار سنتار با استفاده از روش معرفی شده بررسی می‌گردد.

۱: محمدرضا امینی‌مقام: واحد مهندسی توربین شرکت مدیریت پروژه‌های توربین ارکان ایرانیان
۲: کاوه قربانیان: نائب رئیس هیات مدیره شرکت توربین ماشین خاورمیانه
۳: ارشیا تافته: واحد مهندسی توربین شرکت مدیریت پروژه‌های توربین ارکان ایرانیان

تاریخچه‌ی ارتقای توربین گاز سولار سنتار

توربین گاز سنتار در سال ۱۹۶۹ میلادی به عنوان یک طرح جدید وارد بازار توربین‌های گاز صنعتی شد. این محصول با الهام از طراحی موتورهای هوایی تا حد امکان فشرده ساخته شده، از وزن به نسبت پایین برخوردار است و بازده حرارتی نسبتاً بالایی دارد. از سوی دیگر، به علت کاربرد صنعتی این توربین سعی شده تا با پایین نگاه داشتن دمای بخش داغ تا حد امکان، به عمر قطعات حساس آن اضافه گردد. از تاریخ یاد شده در مقاطع زمانی مختلف در عملکرد این توربین بهبود حاصل شده است به نحوی که نسبت فشار کمپرسور از ۸ به بیش از ۱۰ رسیده و دمای ورودی به توربین تا حدود ۴۰۰ درجه فارنهایت افزایش یافته است. این توربین در دو نوع تولید توان الکتریکی و محرک مکانیکی به بازار عرضه می‌گردد که در گونه‌ای متفاوت از نوع اول آن، به منظور افزایش بازده حرارتی، از پیش گرمکن استفاده می‌شود.

تغییرات و ارتقای صورت گرفته بر روی این توربین گاز تا سال ۱۹۸۵ و به بازار آمدن نسخه T-4500، موجب افزایش حدود ۱/۵ مگاواتی توان تولیدی این توربین گاز شده است. با توجه به نزدیکی ابعاد و پیکربندی این نسخه‌ها با نسخه‌های پیشین، قابلیت ارتقای سیستم‌های قدیمی با تعویض قطعات مشخصی با سفارش کیت‌های ارتقا امکان‌پذیر بود. از سوی دیگر در همان سال توربین مدل H، به منظور جلب مشتریان جدید معرفی گشت. تغییرات عمده در این توربین گاز، از جمله تغییر پروفیل دیواره هندسه کمپرسور، باز طراحی کامل محفظه احتراق و خنک‌کاری پره‌های روتور ردیف اول توربین، باعث شد تا توان این توربین گاز افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته باشد. تغییرات یاد شده آنچنان اساسی هستند که نمی‌توان از آن‌ها به عنوان کیت ارتقای نسخه‌های پیشین استفاده کرد. روند افزایش توان توربین‌های گاز سنتار، در طول زمان و در نسخه‌های مختلف، در جدول ۱ قابل مشاهده است. پس از سال ۱۹۸۵ میلادی روند بهبود طراحی توربین سنتار ادامه یافت و در نهایت مدل T-4700 به عنوان آخرین نسخه عرضه شده از این توربین با حفظ کلیت پیکربندی اولیه معرفی شد.

روش بررسی پتانسیل ارتقاء

در بررسی پتانسیل ارتقای کمپرسور این توربین گاز از روش توسعه یافته‌ی شبه یک‌بعدی جایگذاری طبقات بهبود یافته استفاده شده است. این روش و ابزار محاسباتی آن به تفصیل در مقاله‌ی «امکان‌سنجی ارتقای کمپرسور محوری در توربین‌های صنعتی با استفاده از روش جایگذاری طبقات»، مندرج در شماره‌ی ۲ مجله‌ی توربین ماشین، توضیح داده شده است. از این‌رو در این بخش تنها به نکات مهم و خلاصه‌ی این روش اکتفا می‌شود.

• روش ارتقاء

در ارتقای کمپرسور تمامی طبقات، به غیر از طبقات ارتقا یافته، در نقطه خارج از طراحی قرار دارند. در نتیجه در بررسی‌ها، به منظور جلوگیری از تکرار زیاد فرآیند محاسبات و افزایش سرعت، به روشی نیاز است که با حل جریان به صورت مجزا برای هر طبقه، عملکرد آن طبقه و در نهایت کل کمپرسور را پیش‌بینی نماید.

در روش پیشنهاد شده به ازای هر طبقه یک نقشه عملکرد تولید می‌گردد. این نقشه‌های عملکردی می‌تواند با استفاده از فرض‌های منطقی و روابط تجربی، محاسبات یک‌بعدی جریان، شبیه‌سازی شبه سه‌بعدی و سه‌بعدی با استفاده نرم‌افزارهای تجاری و یا حتی تست طبقه کمپرسور تولید شده باشد. در مرحله بعد با توجه به نوع طراحی طبقات و تجارب موفق پیشین، می‌توان یک پیش‌بینی مناسب از امکان افزایش بارگذاری، دبی جرمی و بازدهی هر طبقه با توجه به پیشرفت تکنولوژی طراحی به صورت مجزا داشت. با اعمال تغییرات فرضی در نقشه عملکرد طبقه دلخواه، با استفاده از روش جایگذاری طبقات می‌توان از در کنار هم قرار دادن نقشه‌ی طبقات دست‌نخورده و یک یا چند طبقه‌ی ارتقا یافته، تغییرات عملکرد کمپرسور را پس از ارتقای فرضی پیش‌بینی کرد.

در این روش به منظور محاسبه‌ی عملکرد طبقات در نقطه‌ی کاری جدید، میزان افزایش دبی جرمی مشخص شده، سپس سرعت محوری ورودی به طبقه و در نتیجه ضریب جریان طبقه محاسبه

امروزه با پیشرفت سریع تکنولوژی و نیاز به منابع انرژی استفاده از توربین‌های گاز، به عنوان سیستم‌های تولید توان، بسیار گسترده و متنوع شده است. بیشترین کاربرد صنعتی توربین‌های گاز در تولید برق در نیروگاه‌ها، و تولید نیروی محرکه جهت رانش پمپ‌ها و کمپرسورها می‌باشد

سال	1969	1971	1972	1973	1974	1985	1985
مدل	T-3000	T-3000	T-3000	T-3000	T-4000	T-4500	Type H
توان (کیلو وات)	2710	3110	3350	3550	3830	4390	5300
سرعت شفت (دور در دقیقه)	14300	14300	14300	14658	15015	15000	15015

جدول ۱ مقایسه مشخصات عملکردی نسخه‌های سنتار از ابتدای حضور در بازار تا معرفی اولین نسخه H

می‌گردد. در ادامه با اســـتفاده از نقشـــه عملکرد عمومی طبقات کمپرسور، بارگذاری و بازده طبقه مورد نظـــر در نقطه کاری جدید قابل محاســـبه است. با اســـتفاده از جریان خروجی هر طبقه به عنوان جریان ورودی به طبقه‌ی بعدی، در طبقات پیشروی کرده و عملکرد کلی کمپرسور محاسبه می‌گردد.

• منطق ارتقاء

به منظور کمینه نمودن انحراف نقطه کاری طبقات کمپرسور نســـبت به نقطه طراحی آنها (قبل از ارتقا)، می‌بایست محدودیت‌هایی در ارتقا طبقات در نظر گرفته شـــود. محدودیت اول در ســـرعت محوری طبقه مرزی (اولین طبقه پس از طبقات ارتقا یافته) است. بدین صورت که سرعت محوری ورودی به این طبقه (ضریب جریان) قبل و بعد از ارتقا باید ثابت باشد، یا به عبارت دیگر این طبقه در نقطه طراحی خود قرار داشته باشد. همچنین برای هر طبقه باید سقفی برای بارگذاری طبقه تعیین گردد. این ســـقف بارگذاری به صـــورت ضریبی از بارگذاری طبقه در نقطـــه طراحی اولیه (قبل از ارتقا) بیان می گـــردد. محدودیت آخر بر روی ضریب جریان طبقات تغییر نیافته اســـت، بدین گونه که در نقطه کاری جدید ضریب جریان طبقه نباید از ضریب جریـــان حداکثر بارگذاری طبقه کمتر باشد، این محدودیت مانع از افت شدید بازده طبقه می‌شود.

پس از انتخاب طبقات ارتقا یافته و حد بالای ارتقای هر طبقـــه، باید به ترکیبـــی از بارگذاری طبقات ارتقا یافته، در بازه ســـقف بارگذاری و بارگذاری نقطه طراحی قدیم هر طبقه، دســـت یافت تا هر دو محدودیت ضریب جریان طبقه بعد و حداقل ضریب جریان طبقات برآورده شود. این ترکیب باید به گونه‌ای باشد که فاصله طبقات عقب‌تر تا سقف بارگذاری کمتر باشد.

در شـــکل ۲ روند شناسایی کمپرســـور و فرآیند ارتقاء با استفاده از این روش به طور خلاصه بیان شده است.

جدول ۲ مشخصات عملکردی ارائه شده توسط سازنده

Performance Characteristics (ISO Condition)		
Fuel Type	Gas Fuel	Liquid Fuel
Output Power	3275 kW	3200 kW
Rated Efficiency	28.0%	27.5%
Maximum Gas Producer Speed	15,000 rpm	
Maximum Power Turbine Speed	15,500 rpm	
Exhaust Airflow	17.2 Kg/s	
Pressure Ratio	9.6:1	
Exhaust Gas Temperature	450 °C	

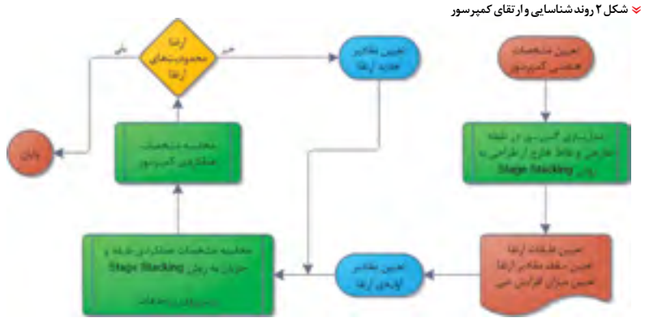
ارتقای توربین گاز سولار سنتار 4502-T

مشخصات عملکردی ارائه شـــده توسط سازنده برای توربین گاز دو محوره‌ی ســـولار سنتار، در شرایط محیطی اســـتاندارد، در جدول ۲ نمایش داده شده است.

• شناسایی و مدل‌سازی کمپرسور

با استفاده از مشـــخصات هندسی و شرایط کاری طبقات کمپرســـور، مشـــخصات عملکردی آنها در شـــرایط طراحی محاســـبه می‌گردد. توزیع مساحت عبور جریان، ســـرعت محوری جریان، ضریب جریان و ضریب بارگذاری طبقات مختلف کمپرسور، به صورت بی‌بعد شده نسبت به طبقه‌ی اول، به ترتیب در ... و ... نمایش داده شده است.

شکل ۲ روند شناسایی و ارتقای کمپرسور



• سناریوهای ارتقاء

در این مرحله می‌بایســـت طبقه یا دسته طبقات لازم برای ارتقاء مشخص گردد. به طور کلی طبقات کمپرسور را، بر حسب محل قرارگیری آنها، در قالب زیر دسته‌بندی نمود:

طبقات ابتدایی: این طبقات بیشترین تاثیر را بر روی افزایش دبی جرمی کمپرسور دارند

طبقات میانی: این طبقات تاثیر محدود بر روی دبی جرمی و نسبت فشار کمپرسور دارند

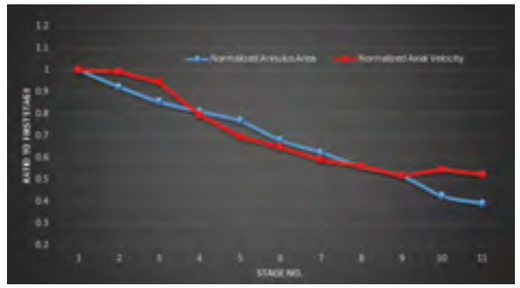
طبقات انتهایی: این طبقات بیشترین تاثیر را بر روی افزایش نسبت فشار کمپرسور دارند

در نتیجه، معمولاً ســـناریوهای ارتقاء به صورت یکی از سه دسته‌ی ارتقای طبقات ابتدایی، ارتقای طبقات انتهایی و یا ترکیبی از این دو خواهند بود. با این توضیحات، ۹ سناریوی ارتقاء، شامل ۳ سناریو از هر یک از دســـته‌های ارتقای بیان شده، برای کمپرسور مورد بررســـی انتخاب شده است. این سناریوها عبارتند از:

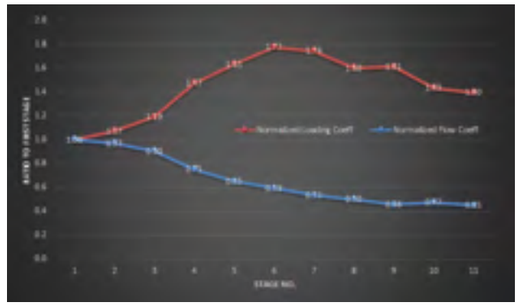
- سناریو A. طبقات ۱ و ۲
- سناریو B. طبقات ۱ تا ۳
- سناریو C. طبقات ۱ تا ۴
- سناریو D. طبقات ۱ و ۲ و ۱۰
- سناریو E. طبقات ۱ تا ۳ و ۱۰
- سناریو F. طبقات ۱ تا ۴ و ۱۰
- سناریو G. طبقات ۱ و ۲ و ۱۰ و ۱۱
- سناریو H. طبقات ۱ تا ۳ و ۱۰ و ۱۱
- سناریو I. طبقات ۱ تا ۴ و ۱۰ و ۱۱

در سناریوهای A و B و C که فقط طبقات ابتدایی کمپرســـور ارتقـــا می‌یابند، هدف دســـتیابی به حداکثر افزایش دبی جرمی در کمپرســـور است. بســـته به تعداد طبقات ارتقا یافته نســـبت فشار کمپرسور می‌تواند افزایش و یا کاهش یابد. انتخاب سناریوهای D، E، F، G، H و I (ترکیبی از طبقات ابتدایـــی و انتهایی) برای افزایـــش همزمان دبی جرمی و نسبت فشار کمپرسور است.

شکل ۳ توزیع مساحت عبور جریان و سرعت محوری جریان در طبقات کمپرسور



شکل ۴ توزیع ضریب جریان و ضریب بارگذاری در طبقات کمپرسور



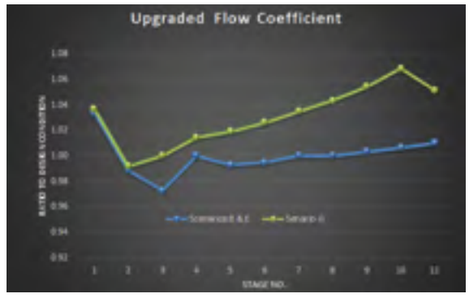
جدول ۳ تغییرات پارامترهای عملکردی کمپرسور در سناریوهای ارتقای منتخب

Scenario	Max R			Max $\dot{m}$		
	$\Delta\dot{m}$ [%]	ΔR [%]	$\Delta\eta$ [%]	$\Delta\dot{m}$ [%]	ΔR [%]	$\Delta\eta$ [%]
A	0.8	6.77	-0.60	4.0	-8.72	0.12
B	0.0	11.59	-1.15	3.4	3.29	-0.21
C	0.0	13.30	-1.33	2.0	10.63	-0.78
D	0.8	7.98	-0.66	3.6	-2.04	-0.16
E	0.0	12.25	-1.19	3.4	5.42	-0.33
F	0.0	13.84	-1.36	2.0	11.63	-0.82
G	1.0	9.26	-0.67	3.8	0.92	-0.18
H	0.0	12.97	-1.21	3.4	7.54	-0.35
I	0.0	14.43	-1.39	2.0	12.7	-0.86

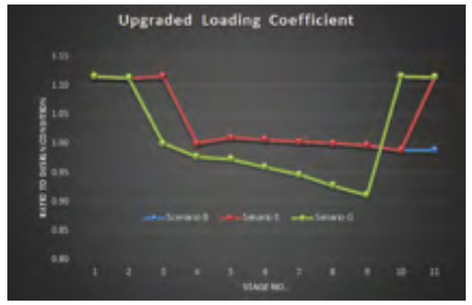
در بررسی هر یک از این سناریوها، دبی جریان ورودی به کمپرسور از صفر درصد تا حداکثر مقدار ممکن افزایش یافته، با پیشروی در طول کمپرسور، مشخصات عملکردی کمپرسور محاسبه می‌گردد. از هر سناریو، دو گزینه (سناریو به همراه میزان افزایش دبی) به منظور بررسی بیشتر انتخاب می‌گردد. گزینه اول متناظر با بیشترین افزایش در نسبت فشار تولیدی کمپرسور بوده و گزینه دوم بیشترین افزایش در دبی ورودی به کمپرسور می‌باشد. گزینه‌های منتخب برای هر سناریو و ارتقای پارامترهای عملکردی کمپرســـور در این شرایط در جدول ۳ نمایش داده شده است.

از بین سناریوهای مندرج در جدول ۳، گزینه‌های حداکثر افزایش نسبت فشار، افزایش دبی جریان بســـیار ناچیز می‌باشد. همچنین با توجه به سیکل اولیه‌ی نسبتا بهینه‌ی این توربین گاز، افزایش بیش از حد نسبت فشار نیز بدون تغییر در دمای ورودی به توربین، منجر به کاهش توان تولیدی می‌گردد. در بین گزینه‌های

شکل ۵ توزیع ضریب جریان در ۳ سناریوی منتخب (بی‌بعد نسبت به طراحی اولیه)

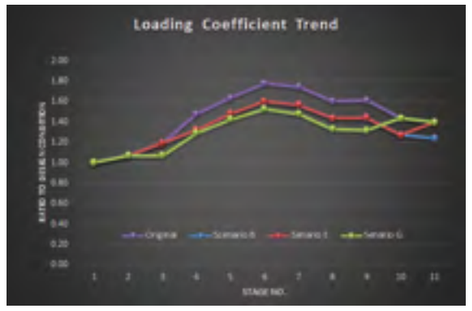


شکل ۶ توزیع ضریب بارگذاری در ۳ سناریوی منتخب (بی‌بعد نسبت به طراحی اولیه)



شکل ۷ مقایسه توزیع ضریب جریان در ۳ سناریوی منتخب و کمپرسور اولیه (بی‌بعد نسبت به طبقه اول)

شکل ۸ مقایسه توزیع ضریب بارگذاری در ۳ سناریوی منتخب و کمپرسور اولیه (بی‌بعد نسبت به طبقه اول)



افزایش دبی جرمی و بارگذاری کمپرسور یکی از راهکارهای رایج در ارتقای توان توربین‌های گاز به شمار می‌رود.

حداکثر افزایش دبی نیز برخی از گزینه‌ها با کاهش نسبت همراه بوده که موجب کاهش توان تولیدی توربین گاز می‌گردد.

با توجه به توضیحات بالا، ۳ سناریوی B،E و G در حالت حداکثر افزایش دبی، که دارای بیشـــترین افزایش دبی به همراه افزایش فشار می‌باشند، به عنوان گزینه‌های اصلی برای بررسی بیشتر انتخاب می‌گردد. در شـــکل ۵ تا شـــکل ۸ توزیع ضریب جریان و ضریب بارگذاری طبقات کمپرسور در ۳ سناریوی منتخب و در مقایسه با کمپرسور اولیه نمایش داده شده است.

تاثیر ارتقای کمپرسور بر روی عملکرد توربین گاز

در ادامه با استفاده از مدل عملکردی تهیه شده‌ی این توربین گاز، تاثیر ارتقاء و تغییرات صورت گرفته در کمپرسور، بر روی مشخصات عملکردی کلی توربین گاز مورد بررسی قرار می گیرد. نتایج این بررسی در جدول ۴ ارائه شده است.

با توجه به این نتایج مشـــاهده می‌شـــود که در سناریوی دوم توان تولیدی توربین گاز دچار افت شده است اما بازده‌ی کاری افزایش چشم‌گیری داشته است. در سناریوی سوم توان تولیدی دارای افزایش قابل ملاحظه‌ای بوده است و بازده نیز افت ناچیزی پیدا کرده است. اما در سناریوی اول هم توان تولیدی و هم بـــازده‌ی توربین گاز به صورت همزمان دارای افزایش قابل قبولی می‌باشند.

هریک از این سناریوهای ارتقا برای کاربری خاصی قابل استفاده می‌باشند. در شـــرایطی که بازده و مصرف سوخت از اهمیت بالایی برخوردار است، مثلاً در تولید برق، سناریوی دوم مناسب خواهد بـــود. در کاربردهایی که بیشـــترین توان، صرف نظر از مصرف سوخت مورد نیاز است، سناریوی سوم بهترین سناریو خواهد بود. در شرایطی نیز که هم توان تولیدی و هم مصرف ســـوخت مورد توجه می‌باشد، استفاده از سناریوی سوم مطلوب می‌باشد.

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

افزایش دبی جرمی و بارگذاری کمپرسور یکی از راهکارهای رایج در ارتقای توان توربین‌های گازی به شمار می‌رود. در این مطالعه ارتقای کمپرسور توربین گاز سولار سنتار مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از روش توســـعه یافته‌ی شـــبه یک‌بعدی جایگذاری طبقـــات بهبود یافته برای تعیین رفتار طبقات کمپرسور در حالت قبل و بعد از ارتقا استفاده شده است. برای تعیین مشخصات کمپرسور ارتقا یافته سناریوهای مختلفی پیشنهاد گردید و با استفاده از شبیه ساز توسعه یافته، نتایج زیر حاصل گردیده است:

جدول ۴ تغییر مشخصات عملکردی توربین گاز

Scenario	ΔPower (%)	ΔEfficiency (%)
B (Max)	2.41	0.32
E (Max)	-3.14	2.97
G (Max)	3.17	-0.03

- در ارتقای محدود کمپرسور، با انتخاب مناسب منطقه و میزان ارتقـــاء می‌توان به بهبود عملکرد قابل توجهی در توربین گاز دست یافت.
- با اســـتفاده از ابزار شبه یک‌بعدی توسعه یافته، می‌توان ارتقا کمپرســـور را در طبقات مختلف به صورت دسته‌ای و یا مجزا بررسی نمود.
- همانگونه که نتایج نشـــان می‌دهـــد، محدود کردن ارتقـــا به طبقات ابتدایـــی موجب افزایش چشـــمگیر دبی جریان و در عوض کاهش نسبت فشار می گردد، که گزینه مناســـبی برای بهبود عملکرد توربین گاز نمی‌باشد.
- ترکیب طبقـــات ابتدایی و انتهایـــی برای ارتقا می‌تواند ضمن افزایش دبی جرمی جریان ورودی به کمپرسور مقدار نســـبت فشار کمپرسور را نیز افزایش دهد.

در نهایت می‌تـــوان نتیجه‌گیری نمـــود که دبی جریان عبوری و نسبت فشار کمپرسور توربین گاز سولار سنتار با تغییرات محدود در برخی طبقات قابل افزایش است. همچنین ممکن است در یک سناریوی خاص بازده‌ی کمپرســـور اندکی افت نماید، اما در مجموع به علت افزایش نسبت فشار، بازده کل توربین گاز افزایش یابد.

مراسم رونمایی از «موتور توربوژنراتور کلاس ۴ مگاوات»

سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران بر اساس پیشنهاد ارائه شده توسط شرکت توربین ماشین خاورمیانه و در راستای سیاست‌گذاری‌های جامع انرژی کشور در حوزه مولدهای پراکنده (DG) و مولدهای تولید همزمان برق و حرارت (CHP)، اقدام به سرمایه‌گذاری در یک پروژه پژوهشی به منظور تجمیع دانش فنی و ساخت یک نمونه موتور توربین گازی مناسب جهت رانش ژنراتور در کشور نمود.

یک طرح جامع CHP شامل توربین گازی، سامانه بازیافت حرارت (HRS)، سیستم کنترل، گیربکس و ژنراتور می‌باشد. که توربین گازی به عنوان حلقه مفقوده اصلی این طرح در گام اول می‌باشد. شایان ذکر است که مجری دارای سوابق موفق متعدد در زمینه تعمیرات و ساخت انواع قطعات و مجموعه‌های مختلف توربین‌های گازی و بخار بوده است که جهت اجرای این طرح ملی برگزیده شد. توربین گازی به عنوان قوای محرکه ژنراتور، کلیدی‌ترین بخش از یک مولد همزمان برق و حرارت (CHP)، گلوگاه بومی‌سازی ساخت این مولدها در کشور بوده که در این راستا، ساخت یک نمونه توربین گازی در کلاس ۴ مگاوات در دستور کار پروژه حاضر قرار داشته و بومی‌سازی بیش از ۹۵٪ از اجزای آن توسط مجری طرح با موفقیت تکمیل گردیده است. بدیهی است پس از این مرحله جهت تکمیل عملیات انجام شده می‌بایست تست‌های عملکردی در دستور کار قرار گیرد و امید است در گام‌های آتی و نه چندان دور، فعالیت‌های مربوط به پکیجینگ این موتور با سایر بخش‌های یک CHP نیز انجام پذیرد تا اهداف کلان طرح حاضر بر اساس نیازهای ملی و در راستای تحقق سیاست‌های کلان انرژی کشور محقق گردد.

دستاورد مهم این پروژه پژوهشی را می‌توان در ایجاد دانش مونتاژ و تجمیع ادوات و قطعات در یک توربین گازی مناسب برای رانش ژنراتور عنوان نمود که از هر حیث نوآورانه بوده و شرکت توربین ماشین خاورمیانه با اتکا به سوابق خود به عنوان مجری طرح اقدام به تدوین دانش فنی در قالب یک نمونه موتور توربوژنراتوری در کلاس ۴ مگاوات پرداخت. این سرمایه‌گذاری، با هدف کلان و ملی ساخت سیستم CHP در مقیاس نیمه صنعتی انجام گرفته و به منظور پاسخگویی به نیاز مبرم کشور به تولید غیر متمرکز برق (DG) از یک سو، و تولید حرارت همراه با برق جهت مصارف صنعتی و مسکونی (با توجه به بهبود راندمان) از سوی دیگر، انجام گرفته است (که پیشنهاد خط تولید سیستم CHP نیز تقدیم سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران شده است). به طور قطع، بهینه‌سازی مصرف انرژی که یکی از مزایای سیستم‌های CHP است (به واسطه بازیافت بخشی از حرارت گازهای خروجی)، حرکتی اجتناب ناپذیر است که کشور ما نیز طی وصول به چشم‌انداز خود بر اساس برنامه‌های توسعه‌ای ۵ ساله ملی از مسیر آن عبور خواهد نمود.

از ذی‌نفعان طرح حاضر می‌توان به بخش‌های نیرو، صنایع (چوب، کاغذ، فولاد و آلومینیوم)، بهینه‌سازی سوخت و انرژی و صنعت ساختمان اشاره نمود. بدون شک تدوین دانش فنی ساخت کامل این محصول، مسیری پر فراز و نشیب بوده که به واسطه محدودیت‌های اعمال شده بر کشور طی سال‌های اخیر به مراتب دشوارتر شده و دلسوزان کشور را بیش از پیش ترغیب به حصول خودکفایی در این زمینه نموده است. تلاش‌های مجدانه و روحیه خستگی‌ناپذیر شرکت توربین ماشین خاورمیانه طی ۱۲ سال فعالیت‌های خود در زمینه انواع توربین‌های گازی، بخار و سایر ماشین آلات دوار و همچنین حمایت‌ها و اعتقاد مسئولانه سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران به عنوان کارفرما و صاحب مالکیت مادی و معنوی این طرح موجب شد تا این پروژه به جایگاه کنونی خود در زمینه نیازهای انرژی کشور برسد و بار دیگر شاهد افتخاری جدید از دستاوردهای متخصصان داخلی در عرصه جهانی باشیم و مسیر نیل به اهداف متعالی و خودکفایی میهن عزیز بیشتر هموار گردد.

مراسم رونمایی از «موتور توربوژنراتور کلاس ۴ مگاوات» در تاریخ ۲۶ اسفندماه سال ۱۳۹۲ در کارگاه مونتاژ شرکت توربین ماشین خاورمیانه با حضور جمعی از مسئولین، اصحاب رسانه و مهمانان این شرکت برگزار شد. این مراسم با پخش سرود جمهوری اسلامی ایران و تلاوت آیاتی از کلام‌الله مجید آغاز شد و در ادامه مجری برنامه پشت تریبون رفت. مجری برنامه با اعلام خیر مقدم به حضار و نیز تشکر از حضور جناب آقای مهندس شافعی معاون محترم وزیر صنعت، معدن و تجارت و رئیس سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران یادآور شد که در شرایط فعلی کشور و با توجه به تحریم‌ها، شرکت توربین ماشین خاورمیانه با صرف فعل خواستن و گذر از این تحریم‌ها و نیز حمایت سازمان گسترش و نوسازی توانست برای اولین‌بار در کشور به این تکنولوژی پیشرفته دست یابد و ما امروز چنین دستاوردی را جشن می‌گیریم. او در ادامه از مهندس هلالی مدیر عامل شرکت توربین ماشین خاورمیانه جهت سخنرانی دعوت به عمل آورد. مهندس هلالی در آغاز سخنان خود با تاکید بر اهمیت و نقش منابع انسانی در صنعت گفت: «همه می‌دانند که این محصول در دنیا دارای محدویت‌های خاصی حتی بین کشورهای تراز اول و صنعتی دنیاست و به سادگی گردش اطلاعات در مورد آن اتفاق نمی‌افتد. اما شرکت توربین ماشین خاورمیانه علیرغم این محدویت‌ها توانست دست به تولید چنین محصولی بزند. این محصول نه عاریتی است و نه تحت لیسانس هیچ شرکت خارجی است. برنامه‌ریزی تولید این محصول از سال ۱۳۸۰ شروع شده است و اکنون به جایی رسیده‌ایم که می‌توانیم آن را در مقابل چشمان شما عزیزان رونمایی کنیم.»

مهندسی هلالی در ادامه افزود: «این دستاورد ماحصل فعالیت ۱۵۰ نفر در قالب گروه توربین ماشین خاورمیانه است. از بین این ۱۵۰ نفر ۱۲۰ نفر دارای تحصیلات عالیه کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترا هستند و این پروژه در فضایی ۱۴۰۰ متر مربعی مخصوص طراحی و ۳۰۰ متر مربعی مخصوص کار مهندسی انجام شده است. در به ثمر رسیدن این محصول ۲۵ مدیر با تجربه‌ای ۱۵ ساله که مجموع آن ۵۰۰ سال تجربه و نیز کارکنانی که تجربه کاری آن‌ها بالغ بر ۵۰۰ سال است به انجام رسیده است. البته این شرکت در فرایند این کار همیشه از حمایت‌های بی‌دریغ سازمان گسترش و نوسازی کشور بهره‌مند بوده است.»

در ادامه مجری مراسم رونمایی از مهندس صباغ معاون توسعه فناوری و صنایع پیشرفته سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران دعوت کرد تا به ایراد سخنرانی بپردازند. مهندس صباغ با عرض تسلیت ایام فاطمیه سخنان خود را آغاز کرد و ادامه داد: »ما به عنوان سازمان گسترش با توجه به اسناد بالادستی کشور، سیاست‌های کشور، سیاست‌های ابلاغی اصلاح الگوی مصرف و همچنین نقشه جامع علمی کشور به اضافه اساسنامه سازمان از جمله ماده ۸ قانون تاسیس سازمان از پروژه‌های تحقیقاتی فناورانه که منجر به ساخت نمونه صنعتی و پایلوت می‌شوند، از این پروژه حمایت کردیم. در راستای این سیاست‌ها و در سال ۱۳۸۹ بعد از ابلاغ قانون اصلاح الگوی مصرف و اینکه موضوع تولید همزمان برق و حرارت در دستور کار کشور قرار گرفت این پروژه تعریف شد. به دلیل پیچیدگی‌های این پروژه چیزی حدود یکسال طول کشید تا توانستیم شرح کار آن را نهایی کنیم.»

معاون توسعه فناوری و صنایع پیشرفته سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران با اشاره به اینکه از ۱۲۰ نفر افرادی که در این پروژه دارای تحصیلات عالیه هستند ۱۵ نفر دارای مدرک دکترا یا دانشجوی این دوره هستند و ۳۲ نفر از آن‌ها دارای مدرک کارشناسی ارشد هستند گفت: «دستاوردهای این پروژه فقط رونمایی از توربین نیست بلکه ارتباط بسیار خوب بین صنعت، دانشگاه و سازمان گسترش است. نکته جالب این‌جاست که این شرکت که سال‌های سال در زمینه ساخت قطعات فعالیت می‌کرد توانست با این پروژه تیم تحقیقاتی خود را کامل کند و اکنون می‌توان گفت که مجری طرح ما (شرکت توربین ماشین خاورمیانه) ارتباط بسیار خوبی با دانشگاه‌ها دارد.»

مهندس صباغ با اشاره به اینکه این پروژه هم در بخش نرم‌افزاری و مباحث بنیادین و هم در بخش طراحی ساخت و تولید انجام شده است افزود: «امروز بحث ما این نیست که یک نمونه ساخته شده است، بلکه علاوه بر اینکه تعداد قابل توجهی از محققین در این پروژه به کار گرفته شده‌اند، ۸۰ شرکت دیگر نیز به آن خدمات داده‌اند و این یعنی یک شبکه تامین قطعات در کشور فعال شده است. اسناد نشان می‌دهد که کار طراحی با دقت فراوان انجام شده است و ما باور داریم که این مجموعه اگر این ارتباطات را با صنایع پایین دستی خود و نیز دانشگاه‌ها ادامه دهد می‌تواند توربین‌هایی با ظرفیت‌های بسیار بالا تولید کند. برنامه‌های ما به همین جا ختم نخواهد شد و ما مسئله تولید همزمان برق و حرارت را با جدیت دنبال خواهیم کرد.»

مراسم رونمایی از «موتور توربوژنراتور کلاس ۴ مگاوات» در تاریخ ۲۶ اسفندماه سال ۱۳۹۲ در کارگاه مونتاژ شرکت توربین ماشین خاورمیانه با حضور جمعی از مسئولین، اصحاب رسانه و مهمانان این شرکت برگزار شد

مهندس صباغ با اشاره به اینکه مجری این طرح بخش خصوصی است و این کار در راستای اصل ۴۴ است گفت: «امیدواریم دیگر شرکت‌ها هم مراکز R&D خود را راه‌اندازی کنند وگرنه کارها ابتر خواهد ماند.»

در ادامه مراسم رونمایی از «موتور توربوژنراتور کلاس ۴ مگاوات»، مجری از نماینده انجمن سازندگان تجهیزات صنعت نفت یعنی جناب آقای مهندس بارانی جهت ایراد سخنرانی دعوت کرد.

مهندس بارانی با اظهار خرسندی از حضور در این مراسم گفت: «دو هفته گذشته من در دانشگاه آبادان بودم و در آن‌جا در عرصه کاتالیست در صنعت نفت به همین شکل کارهای افتخارآمیزی انجام شده بود. با توجه به مشکلاتی که در فضای کسب و کار ما وجود دارد، تولید یک پیچ هم کار بزرگی است چه رسد به تولید یک توربین که جزء تجهیزات با فن‌آوری بالای صنعت نفت و گاز است. بنابراین کار بسیار بزرگی اتفاق افتاده است. با توجه به ۳۶ سال سابقه ما در انجمن سازندگان می‌توانم به طور خلاصه بیان کنم که سازندگان ایران در جهان صنعت در دو فک پرس ۱۰۰ تنی قرار دارند که یک فضای کلان است که در آن ساختار بلوغ تکنولوژیکی و عمق دانش دولت در یک کشور اتفاق می‌افتد و دیگری فضای خرد که همین نخبگان محترم هستند که از دانشگاه‌ها فارغ‌التحصیل و وارد یک سازمان می‌شوند و در کنار یک کارآفرین موفق مانند مهندس هلالی به کار مشغول می‌شوند. بنابراین در فضای خرد ما آموزش و تربیت مبتنی بر فناوری نداریم و این مسئولیت بر عهده رئیس آن شرکت است. از سوی دیگر وقتی ما به مبادی ذی ربط دولت مانند وزارت صنایع یا وزارتخانه‌های دیگر مانند وزرات نفت و نیرو ورود می‌کنیم، می‌بینیم که هم و غم دوستان در احداث است و کمتر به مسئله تجهیزات و اجرا توجه می‌شود.»

دکتر بارانی با تاکید بر اینکه رونمایی از یک تکنولوژی ابتدای مشکلات است افزود: «امروز تازه کار ما شروع شده است. کشورهای خارجی که می‌خواهند تکنولوژی خود را وارد کشور ما

مهندسی هلالی: «این دستاورد ماحصل فعالیت ۱۵۰ نفر در قالب گروه توربین ماشین خاورمیانه است. از بین این ۱۵۰ نفر ۱۲۰ نفر دارای تحصیلات عالیه کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترا هستند»

کنند به شکل‌ها و ترفندهای مختلف بازدیدهایی را ترتیب خواهند داد تا بتوانند کاری کنند که بازار شما در جهت بازار آن‌ها حرکت کند.»

او ادامه داد: «کشورهای غربی تمام تلاش خود را خواهند کرد که چنین تکنولوژی‌هایی در کشورهای جهان سوم راه‌اندازی نشود. به همین دلیل تمام مسئولان باید حمایت خود را از این محصول بیش از پیش کنند. مورد بعدی که باید خدمتتان عرض کنم این است که کشور ایران در رقابت‌پذیری جهانی در سطح اقتصادی رتبه ۸۲ را داراست و طبق رتبه‌بندی که در سال ۱۹۹۳ انجام شده است ایران در حال گذر از مرحله ۱ به مرحله ۲ است. کشورهایی که در مرحله ۱ هستند مبتنی بر کار هستند یعنی تمام بازار کسب و کار بومی آن‌ها بر کار یدی استوار است. اما کشورهای مانند قطر و سنگاپور که اندازه یکی از استان‌های کشور ما هستند و یا کشور مالزی که ۵۰ سال پیش آرزو داشت که حداقل اندازه یک شهر ایران توسعه یافته باشد اکنون در حال گذر از مرحله ۲ به ۳ هستند. مرحله ۲ مبتنی بر کارایی است و مرحله ۳ مبتنی بر نوآوری. بنابراین در این مقطع در کشور ما یک تضاد بسیار بزرگ وجود دارد. این تضاد در این‌جا شکل می‌گیرد که یک بنگاه تولیدی در مرحله ۳ جهانی است اما کشورش در بند و حصار مرحله ۱. اگر ما در بدنه دولت و این بنگاه با هم همکاری نداشته باشیم و برای تصحیح مسیر راه به منظور رشد چنین شرکت‌هایی حرکت نکنیم هیچ‌گاه موفق نخواهیم شد.»

دکتر قربانیان: «این دستاورد که امروز شما شاهد آن هستید سهل و آسان به دست نیامده است و سرآغاز یک حرکت بسیار بزرگ‌تر در گروه توربین ماشین خاورمیانه است»

نماینده انجمن سازندگان تجهیزات صنعت نفت ایران در پایان گفت: «من به عنوان نماینده کنسرسیوم توربوکمپرسور کشور و نماینده انجمن سازندگان ایران تمام قد در خدمت شرکت توربین ماشین خاورمیانه هستیم و این انجمن هر چقدر که پتانسیل دارد در حمایت از این شرکت و در جهت ایجاد یک برند ملی صرف خواهد کرد.»

در ادامه مراسم مجری از دکتر قربانیان استاد دانشگاه صنعتی شریف، عضو هیئت مدیره و مجری طرح‌های شرکت توربین ماشین خاورمیانه برای حضور پشت تریبون و ایراد سخنرانی دعوت به عمل آورد. دکتر قربانیان گفت: «امروز به دلایلی که عرض خواهم کرد روز بسیار ویژه‌ای برای بنده است. با توجه به گذشت ۲۵ سال از عمر کاری بنده چه در محیط‌های پژوهشی و آموزشی و چه محیط‌های صنعتی و نیز چه در داخل کشور و چه در خارج از کشور باید عرض کنم که امروز از جایگاه ویژه‌ای در زندگی من برخوردار است. پروژه پژوهش، توسعه دانش فنی و ساخت نمونه نیمه‌صنعتی موتور توربوژنراتور کلاس ۴ مگاوات قابل بهره‌برداری در سامانه تولید همزمان برق و گرما در اسفند سال ۱۳۹۰ امضا شد. هرچند تلاش در جهت تحقق این آرزو به سال‌های بسیار قبل از این تاریخ بازمی‌گردد و هرچند در آغاز بودند کسانی که این آرزو را پوچ، خام و واهی می‌پنداشتند و هرچند این شرکت در میانه راه با تحریم‌های مغرضانه و

مهندس بارانی: «من به عنوان نماینده کنسرسیوم و توربوکمپرسور کشور و نماینده انجمن سازندگان تجهیزات صنعت نفت ایران تمام قد در خدمت شرکت توربین ماشین خاورمیانه هستم و این انجمن هر چقدر که پتانسیل دارد در حمایت از این شرکت و در جهت ایجاد یک برند ملی صرف خواهد کرد.»

نوسانات ارزی مواجه شد، اما انگیزه برای تحقق این آرزو در شرکت توربین ماشین چه در لایه‌های مدیریتی و چه در لایه‌های کارشناسی مانند آب روی آتش بود و الحمدالله این کوله‌پشتی را ما به سلامت به مقصد رساندیم. قطعا این دستاورد که امروز شما شاهد آن هستید، سهل و آسان به دست نیامده است و سرآغاز یک حرکت بسیار بزرگ‌تر در گروه توربین ماشین خاورمیانه در صنایع موتورهای توربینی کشور و نهایتا در پهنه اقتصادی، اجتماعی و سیاسی کشور خواهد بود.»

دکتر قربانیان با تاکید بر اهمیت تک‌تک افرادی که در این پروژه سهم داشتند، از همه آن‌ها تشکر کرد و افزود: «لازم می‌دانم از افراد مختلفی تشکر کنم: از آقای مهندس آگهی به خاطر زحمات و درایت در واحد مهندسی، آقای مهندس زارعی به خاطر شناخت از کارها و سرعت عمل، از آقای مهندس صدیق به خاطر مدیریت و درایت ایشان در نحوه و زمان تامین مواد اولیه در برهه‌ای که نوسانات ارزی برخی از شرکت‌ها را به زانو درآورد. همچنین از خانم مهندس شمس به خاطر دقت ایشان در کنترل پروژه، از آقای مهندس بختیاری عضو هیئت مدیره و مدیر محترم تعمیرات به خاطر اینکه ایشان هیچ‌گاه کوتاه نیامدند، از آقای مهندس تقی‌زاده مدیر عامل محترم شرکت تامین کالای توربین ماشین خاورمیانه به خاطر ایجاد و توسعه زنجیره تامینی که در نوع خود در

ایران منحصربه‌فرد است و در پایان به نمایندگی از گروه توربین ماشین خاورمیانه از شخص آقای مهندس هلالی تشکر می کنم. بدون شک این قطار که آن را جناب آقای مهندس هلالی سال‌ها پیش به حرکت درآوردند، بدون دلسوزی و مدیریت ایشان به مقصد نمی‌رسید.»

او در ادامه با اشاره به اینکه این دستاورد بزرگ به همین جا ختم نمی‌شود، گفت: «هم‌اکنون مقدمات تجاری‌سازی موتور توربوژنراتور کلاس ۴ مگاوات و همچنین طراحی و ساخت پکیج توربوژنراتور در شرف اجرا است. هم‌اکنون پکیج‌های تولید پراکنده همزمان برق و حرارت در مقیاس کوچک نیز در شرف اجراست. ما نایستاده‌ایم. از سوی دیگر افتخار دارم اعلام نمایم که این موفقیت ما را بر آن داشت که در راستای بومی‌سازی توربین گاز ۶ و ۱۰ مگاوات هم گام برداریم و امیدواریم در آینده‌ای نه چندان دور رونمایی این نوع توربین را کنار هم جشن بگیریم. همچنین افتخار دارم اعلام نمایم که بر اساس تجاربی که در این چند سال به دست آمده برای عزیزانمان در صنعت نفت کشور، ما مقدمات ساخت توربین گاز جهت به کارگیری برای توسعه کمپرسورها و توربوژنراتورها در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی را هم در دست اجرا داریم. امیدواریم به امید پروردگار متعال این محصول را در سال ۱۳۹۳ رونمایی کنیم.»

در ادامه مراسم رونمایی از «موتور توربوژنراتور کلاس ۴ مگاوات» مجری از جناب مهندس شافعی معاون وزیر صنعت، معدن و تجارت و رئیس سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران به دلیل حضور در این مراسم تشکر کرد و از ایشان برای ایراد سخنرانی دعوت به عمل آورد.

مهندس شافعی در آغاز سخنان خود را با تاکید بر تقدس کارگاهی که این مراسم در آن برگزار می‌شود آغاز کرد و گفت: «وقتی کشور به تکنولوژی‌ای دست می‌یابد که تعداد آن در تمام کشورهای جهان بسیار محدود است و مراسم آن در همان کارگاهی برگزار می‌شود که آن محصول به مرحله تولید رسیده است بسیار جای خوشحالی دارد. جا دارد همین جا از جناب آقای مهندس هلالی و دکتر قربانیان و تک‌تک عزیزانی که چه در حوزه طراحی و چه در حوزه ساخت و نیز حوزه نوآوری و فناوری فعال بودند تشکر کنم. با توجه به سوالاتی که پیرامون این شرکت از جناب هلالی پرسیدم باید عنوان کنم که هر یک از افراد حاضر در این شرکت در طول یکسال و نیم به طور متوسط چیزی حدود ۳۰۰ میلیون تومان تولید می کنند. این رقم نشان‌هنده این است که در محصولات شما دانش و نوآوری نهفته است و ما باید در همین جهت حرکت کنیم. ارزش محصولات شرکت توربین ماشین خاورمیانه تولید دانش فنی است. خوشبختانه فعالیت‌های شرکت توربین ماشین خاورمیانه در این زمینه است و ما هم خرسندیم که سازمان ما به همکاری با چنین مجموعه‌ای پرداخته و می‌پردازد. از وظایف دولت‌ها توانمندسازی بخش خصوصی است و این کار یکی از مصادیق این وظیفه دولت‌هاست.»

مهندس شافعی: «وقتی کشور به تکنولوژی‌ای دست می‌یابد که تعداد آن در تمام کشورهای جهان بسیار محدود است و مراسم آن در همان کارگاهی برگزار می‌شود که آن محصول به مرحله تولید رسیده است بسیار جای خوشحالی دارد»

معاون وزیر صنعت، معدن و تجارت افزود: «امیدواریم با تکمیل زنجیره ساخت این محصول قدم‌های بعدی که یکی از آن‌ها تجاری‌سازی آن است نیز با موفقیت برداشته شود. ما نیز در این فرایند تمام حمایت خود را از این حرکت انجام خواهیم داد.»

مهندس شافعی با تاکید بر اهمیت حرف‌های دکتر بارانی اشاره کرد: «کشور در افق ۱۴۰۴ براساس برنامه‌های مصوب تصمیم دارد که ۵۰۱ میلیارد دلار در صنعت نفت و گاز سرمایه‌گذاری کند. در حوزه نیروی غیرنفتی نیز سرمایه‌گذاری‌هایی انجام خواهد شد. هم‌چنین در حوزه هوا و فضا هم چنین کارهایی در برنامه کشور وجود دارد.

نکته‌ای که وجود دارد این است که چنین محصولاتی باید به صنایع مختلف خدمات ارائه کنند و این مسئله در شرایط تحریمی از اهمیت فراوانی برخوردار است. در هر حال اکنون در سه حوزه نفت و گاز، برق و هوا و فضا به شدت نیازمند این محصول هستیم. اگر بتوانیم مانند کاری که امروز ثمره آن را می‌بینیم بخشی از تجهیزات صنعتی را در کشور تولید کنیم بخش اعظمی از بودجه کشور صرفه‌جویی شده و یا در تولید داخلی صرف می‌شود.»

رئیس سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران افزود: «در فرایند تولید این محصول ۱۸۰ شرکت دیگر درگیر بودند و این امر یکی از برکات انجام چنین پروژه‌هایی در کشور است. علاوه بر این جلوگیری از فرار مغزها و امکان جذب نیروهای ایرانی که در خارج از کشور مشغول فعالیت هستند از دیگر مزایای این پروژه‌هاست.»

پس از اتمام سخنان مهندس شافعی از مهندس زارعی مدیر مجموعه‌سازی و مونتاژ شرکت تامین کالای شرکت توربین ماشین خاورمیانه، آقای مهندس آگهی مدیر مهندسی شرکت توربین ماشین خاورمیانه، آقای مهندس تقی‌زاده عضو هیئت مدیره و مدیر عامل شرکت تامین کالای شرکت توربین ماشین خاورمیانه، آقای مهندس بختیاری عضو هیئت مدیره و مدیر تعمیرات و بازسازی شرکت توربین ماشین خاورمیانه و دکتر قربانیان عضو هیئت مدیره و مجری طرح شرکت توربین ماشین خاورمیانه به خاطر تلاش‌های زیاد و خستگی‌ناپذیر در به سرانجام رسیدن این پروژه تقدیر به عمل آمد.

در پایان مراسم با حضور تمام مهمانان، مسئولین و اصحاب رسانه از «موتور توربوژنراتور کلاس ۴ مگاوات» رونمایی شد.

رئیس سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران: «در فرایند تولید این محصول ۱۸۰ شرکت دیگر درگیر بودند و این امر یکی از برکات انجام چنین پروژه‌هایی در کشور است»

بازتاب خبری مراسم رونمایی از موتور توربوژنراتور ۴ مگاوات ساخت داخل توسط شرکت توربین ماشین خاورمیانه

همه ما می‌دانیم تولید دانش و در پی آن تولید محصولی براساس دانش ایجادشده امری مهم و ضروری در هر جامعه پویایی است و کشور ما بیش از هر زمانی به چنین دستاوردهایی نیاز دارد. شرکت توربین ماشین خاورمیانه یکی از شرکت‌های معدود است که در این زمینه گام‌های جدی‌ای برداشته است و یکی از محصولات این جدیت در پژوهش و تولید ملی، ساخت موتور توربوژنراتور ۴ مگاواتی است. این محصول که تمام فرایندهای پژوهشی و تولیدی آن توسط این شرکت انجام شده است در اسفندماه سال ۱۳۹۲ در جمع مسئولان و اصحاب رسانه در محل کارگاه این شرکت رونمایی شد. این دستاورد از چشم رسانه‌های کشور پنهان نماند به طوری که اکثر رسانه‌های معتبر کشور این اتفاق فرخنده را پوشش خبری دادند.

خبرگزاری مهر در تاریخ ۲۶ اسفند ۱۳۹۲ با خبری با عنوان « رونمایی از موتور توربینی ۴ مگاوات ساخت داخل» می‌نویسد: «برای نخستین بار در کشور و با حمایت سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران، موتور توربوژنراتور ۴ مگاواتی که از فناوری بالایی برخوردار است، در شرکت توربین ماشین خاورمیانه طراحی و تولید و امروز با حضور رئیس هیات عامل ایدرو و جمعی از مدیران بخش های دولتی و خصوصی رونمایی شد.

به گزارش خبرگزاری مهر، در مراسم رونمایی این محصول «غلامرضا شافعی» رئیس هیات عامل ایدرو در سخنانی، ضمن تقدیر و تشکر از دست اندرکاران طراحی و ساخت توربین ۴ مگاواتی اظهار داشت: از این که کشور به چنین فناوری بالایی دست یافته خرسندیم و لاجرم نیز باید به سمت چنین فناوری‌هایی که دانش‌های‌نوین در آن نهفته‌است، حرکت کنیم. این روزها کشورهایی می‌توانند بروز و ظهور داشته باشند که دانش فنی تولیدکنند و افتخار می کنیم که فناوری بدست آمده عاریتی نیست و اختصاص به فرزندان این مرز و بوم دارد. طراحی و تولید موتور توربینی ۴ مگاوات یکی از نمونه‌های کاملا بارز و مثال زدنی همکاری صنعت، دانشگاه و دولت در ایجاد فناوری‌های نوین است.» در بخشی دیگر از مطلب خبرگزاری مهر می‌خوانیم: «رئیس هیات عامل ایدرو با بیان اینکه یکی از وظایف دولت‌ها، توانمندسازی بخش خصوصی است، اضافه کرد: ایدرو برای تکمیل زنجیره موتورهای توربینی تا ساخت کامل مولدهای تولید همزمان برق و گرما (CHP) و تجاری شدن آن، سرمایه‌گذاری خواهد کرد. به گفته شافعی، بخشی از دانش فنی بدست آمده در شرکت توربین ماشین و در حوزه توربین متعلق به این شرکت بوده و بخش دیگری متعلق به ایدرو است که این سازمان آمادگی دارد دانش فنی بدست آمده را به شکل انحصاری یا غیرانحصاری به شرکت مذکور یا شرکای آن واگذار کند.

معاون وزیر صنعت، معدن و تجارت در ادامه با اشاره به اینکه کشور در افق ۱۴۰۴ طبق برنامه‌های مصوب، تصمیم دارد ۵۰۱ میلیارد دلار در حوزه نفت و گاز سرمایه‌گذاری کند، بیان داشت: ۶۰ درصد این سرمایه‌گذاری یعنی حدود ۳۰۰ میلیون دلار مربوط به تجهیزات است و این تجهیزات اغلب از خارج کشور تامین می‌شود که باید برای تامین حداقل نیمی از آن در داخل برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری صورت گیرد. شافعی تصریح کرد: هم اکنون سه حوزه صنعت نفت و گاز، صنایع هوافضا و حوزه برق و نیرو به موتورهای توربینی نیاز دارند که شرکت توربین ماشین می‌تواند به هر سه حوزه خدمات بدهد.»

خبرگزاری مهر در بخش پایانی گزارش خود می‌نویسد: « سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران در اواخر سال ۱۳۹۰ بر اساس پیشنهاد ارائه شده توسط شرکت توربین ماشین خاورمیانه و در راستای سیاست‌گذاری‌های جامع انرژی کشور در حوزه مولدهای پراکنده و مولدهای تولید همزمان برق و گرما (CHP)، به سرمایه‌گذاری در یک پروژه تحقیقات کاربردی به منظور توسعه دانش فنی و ساخت یک نمونه موتور توربین گاز مناسب جهت رانش ژنراتور در کشور اقدام کرد.

توربین گازی به عنوان قوای محرکه ژنراتور، کلیدی‌ترین بخش و در زمره صنایع پیشرفته یک مولد همزمان برق و گرما (CHP)، گلوگاه بومی سازی ساخت این مولدها در کشور بوده که در این راستا، ساخت یک نمونه در کلاس ۴ مگاوات آن در دستور کار پروژه حاضر قرار گرفت و بومی سازی بیش از ۹۵ درصد از اجزای آن توسط مجری طرح با موفقیت تکمیل شده است.

دستاورد مهم این پروژه را می‌توان در ایجاد دانش مونتاژ و تجمیع ادوات و قطعات در یک توربین مناسب برای رانش ژنراتور عنوان نمود که از هر حیث نوآورانه است. از ذی‌نفعان طرح حاضر می‌توان به بخش‌های نیرو، صنایع (چوب، کاغذ، فولاد و آلومینیوم)، بهینه‌سازی سوخت و انرژی و نیز صنعت ساختمان اشاره نمود.»

اما روزنامه اطلاعات در تاریخ ۲۶ اسفند ۱۳۹۲ هم خبر از رونمایی این محصول می‌دهد و می‌نویسد: «برای نخستین بار در کشور و با حمایت سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران، موتور توربوژنراتور ۴ مگاواتی که از فناوری بالایی برخوردار است، در ایران طراحی، تولید و رونمایی شد.»

روزنامه اطلاعات در ادامه می‌نویسد: «در مراسم رونمایی این محصول غلامرضا شافعی رئیس هیات عامل سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران (ایدرو) گفت: ایدرو برای تکمیل زنجیره

مهندس شافعی:
بخشی از دانش فنی بدست آمده در شرکت توربین ماشین و در حوزه توربین متعلق به این شرکت بوده و بخش دیگری متعلق به ایدرو است که این سازمان آمادگی دارد دانش فنی بدست آمده را به شکل انحصاری یا غیرانحصاری به شرکت مذکور یا شرکای آن واگذار کند

روزنامه اطلاعات: برای نخستین بار در کشور و با حمایت سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران، موتور توربوژنراتور ۴ مگاواتی که از فناوری بالایی برخوردار است، در ایران طراحی ،تولید و رونمایی شد

موتورهای توربینی تا ساخت کامل مولدهای تولید همزمان برق و گرما (CHP) و تجاری شدن آن سرمایه‌گذاری خواهد کرد. به گفته وی تشکیل خوشه‌ای متشکل از ۱۵۰ شرکت صنعتی برای تامین تجهیزات مورد نیاز موتورهای توربینی را از برکات طراحی و ساخت محصول فوق ذکر کرد و افزود: از دیگر دستاوردهای طراحی و ساخت محصول یادشده، امکان جذب و بکارگیری نخبگان و تحصیل کردگان خارج از کشور در داخل و جلوگیری از خروج نخبگان و فرار مغزها است.»

هم‌چنین روزنامه وطن امروز نیز در تاریخ ۲۶ اسفند ۱۳۹۲ با درج خبری با عنوان «رونمایی از موتور توربینی ۴ مگاوات ساخت داخل» در صفحه اقتصادی خود گزارشی را در مورد این مراسم منتشر کرد، در این مطلب می‌خوانیم: «برای نخستین‌بار در کشور با حمایت سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران، موتور توربوژنراتور ۴ مگاواتی که از فناوری بالایی برخوردار است در شرکت توربین ماشین خاورمیانه طراحی و تولید و دیروز با حضور رئیس هیات عامل ایدرو و جمعی از مدیران بخش‌های دولتی و خصوصی رونمایی شد. در مراسم رونمایی این محصول که دیروز در محل شرکت توربین ماشین انجام گرفت، مهندس «غلامرضا شافعی» رئیس هیات عامل ایدرو در سخنانی، ضمن تقدیر و تشکر از دست‌اندرکاران طراحی و ساخت توربین ۴ مگاواتی اظهار داشت: از اینکه کشور به چنین فناوری بالایی دست یافته خرسندیم و لاجرم نیز باید به سمت چنین فناوری‌هایی که دانش‌های نوین در آن نهفته است، حرکت کنیم. وی با بیان اینکه یکی از وظایف دولت‌ها، توانمندسازی بخش خصوصی است، اضافه کرد: ایدرو برای تکمیل زنجیره موتورهای توربینی تا ساخت کامل مولدهای تولید همزمان برق و گرما (CHP) و تجاری شدن آن، سرمایه‌گذاری خواهد کرد. به گفته مهندس شافعی، بخشی از دانش فنی به‌دست آمده در شرکت توربین ماشین و در حوزه توربین متعلق به این شرکت بوده و بخش دیگر متعلق به ایدرو است که این سازمان آمادگی دارد دانش فنی به‌دست آمده را به شکل انحصاری یا غیرانحصاری به شرکت مذکور یا شرکای آن واگذار کند. معاون وزیر صنعت، معدن و تجارت در ادامه با اشاره به اینکه کشور در افق ۱۴۰۴ طبق برنامه‌های مصوب، تصمیم دارد، ۵۰۱ میلیارد دلار در حوزه نفت و گاز سرمایه‌گذاری کند، بیان داشت: ۶۰ درصد این سرمایه‌گذاری یعنی حدود ۳۰۰ میلیارد دلار مربوط به تجهیزات است و این تجهیزات اغلب از خارج کشور تامین می‌شود که باید برای تامین حداقل نیمی از آن در داخل برنامه‌ریزی و سرمایه‌گذاری صورت گیرد. توربین گازی به عنوان قوای محرکه ژنراتور، کلیدی‌ترین بخش و در زمره صنایع پیشرفته یک مولد همزمان برق و گرما (CHP)، گلوگاه بومی‌سازی ساخت این مولدها در کشور بوده که در این راستا، ساخت یک نمونه در کلاس ۴ مگاوات آن در دستور کار پروژه حاضر قرار گرفت و بومی‌سازی بیش از ۹۵ درصد از اجزای آن توسط مجری طرح با موفقیت تکمیل شد.»

خبرگزاری ایسنا با مطلبی با عنوان «موتور توربوژنراتور ۴ مگاواتی که برای نخستین بار طراحی و تولید آن در ایران انجام شده است رونمایی شد.» گزارشی از این دستاورد ملی را منتشر کرد. در این مطلب می‌خوانیم: «در مراسم رونمایی این محصول غلامرضا شافعی، رئیس هیات عامل ایدرو در سخنانی ضمن تقدیر و تشکر از دست اندرکاران طراحی و ساخت این توربین اظهار داشت: از این که ایران به چنین فناوری بالایی دست یافته خرسندیم و لاجرم نیز باید به سمت چنین فناوری‌هایی که دانشهای نوین در آن نهفته است، حرکت کنیم. این روزها کشورهایی می‌توانند بروز و ظهور داشته باشند که دانش فنی تولید کنند و افتخار می کنیم که فناوری بدست آمده عاریتی نیست و به فرزندان این مرز و بوم اختصاص دارد. طراحی و تولید موتور توربینی ۴ مگاوات یکی از نمونه‌های کاملا بارز و مثال‌زدنی همکاری صنعت، دانشگاه و دولت در ایجاد فناوری‌های نوین است.»

خبرگزاری ایسنا در این مطلب اضافه می کند: «رئیس هیات عامل ایدرو با بیان اینکه یکی از وظایف دولتها، توانمندسازی بخش خصوصی است، اضافه کرد: ایدرو برای تکمیل زنجیره موتورهای توربینی تا ساخت کامل مولدهای تولید همزمان برق و گرما (CHP) و تجاری شدن آن، سرمایه‌گذاری خواهد کرد. به گفته شافعی، بخشی از دانش فنی بدست‌آمده در شرکت توربین ماشین و در حوزه توربین متعلق به این شرکت بوده و بخش دیگری متعلق به ایدرو است که این سازمان آمادگی دارد دانش فنی بدست آمده را به شکل انحصاری یا غیرانحصاری به شرکت مذکور یا شرکای آن واگذار کند.

معاون وزیر صنعت، معدن و تجارت در ادامه با اشاره به اینکه کشور در افق ۱۴۰۴ طبق برنامه‌های مصوب تصمیم دارد ۵۰۱ میلیارد دلار در حوزه نفت و گاز سرمایه‌گذاری کند، بیان داشت: ۶۰ درصد این سرمایه‌گذاری یعنی حدود ۳۰۰ میلیارد دلار مربوط به تجهیزات است و این تجهیزات اغلب از خارج کشور تامین می‌شود که باید برای تامین حداقل نیمی از آن در داخل برنامه ریزی و سرمایه‌گذاری صورت گیرد.»

رسانه‌های دیگری نیز اخبار متعددی را در مورد این مراسم به چاپ رساندند که می‌توان به روزنامه ابتکار، پایگاه خبری شرکت ملی صنایع مس ایران، سایت گسترش آنلاین، سایت ممتازنیوز و غیره اشاره کرد.

خبرگزاری مهر: دستاورد مهم این پروژه را می‌توان در ایجاد دانش مونتاژ و تجمیع ادوات و قطعات در یک توربین مناسب برای رانش ژنراتور عنوان نمود که از هر حیث نوآورانه است

نوزدهمین نمایشگاه بین المللی نفت، گاز و پتروشیمی

نوزدهمین نمایشگاه بین المللی نفت، گاز و پتروشیمی تهران با عرضه توانمندی‌های ۱۸۰۰ شرکت از ۳۳ کشور جهان و با شعار «گسترش دیپلماسی انرژی و تقویت تولید داخلی» از ۱۶ تا ۱۹ اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۳ در محل دائمی نمایشگاه های تهران برگزار شد.
شرکت های خارجی از نوزدهمین نمایشگاه بین المللی نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی استقبال خوبی کردند به طوری که ۶۰۰ شرکت خارجی از ۳۲ کشور جهان در نمایشگاه حضور یافتند.
شرکت توربین ماشین خاورمیانه امسال نیز همانند نمایشگاه‌های سال‌های پیش پذیرای مسئولین عالی‌رتبه،مدیران، همکاران و دست اندرکاران صنعت نفت، گاز و پتروشیمی در سالن ۱۱-۱۰ بود. وزیر محترم نفت جناب آقای مهندس زنگنه به همراه هیأتی عالی رتبه از مقامات وزارت نفت ضمن بازدید از غرفه این شرکت، از توربین گاز 4 Mw، ۱۰۰ درصد ساخت داخل بازدید نمودند.
در طی این بازدید آقای مهندس هلالی مدیر عامل و رئیس هیأت مدیره گروه توربین ماشین خاورمیانه گزارشی از چگونگی دستیابی به دانش فنی، بومی‌سازی و ساخت توربین نموده و خواستار سفارش گذاری پکیج‌های توربوپمپ، توربوکمپرسور و توربو ژنراتور از سوی وزارت نفت در غالب طرح‌های استوار به منظور حمایت از ساخت داخل در شرایط رقابتی شدند.
همچنین گروه توربین ماشین خاورمیانه میزبان هیأت‌های عالی‌رتبه داخلی، همکاران و عموم بازدیدکنندگان در غرفه این شرکت در سالن ۱۱-۱۰ از شرکت‌های معتبر داخلی و نیز تولیدکنندگان عمده از کشورهای ایتالیا، چین، اسپانیا و روسیه بود که باعث ایجاد زمینه‌های همکاری گردید.

International Oil, Gas & Petrolium 2014

نمایشگاه دستاوردهای شرکت‌های دانش‌بنیان و فناور دانشگاه صنعتی شریف

موضوع تجاری‌سازی فناوری و ایجاد شرکت‌های زایشی مبتنی بر یافته‌ها و دستاوردهای تحقیقاتی و فناورانه یکی از رویکردهای کلیدی حاکم بر دانشگاه‌های پیشرو دنیا می‌باشد. با توجه به موفقیت حاصله در نتیجه فعالیت‌های انجام شده توسط فارغ‌التحصیلان و اساتید دانشگاه صنعتی شریف جهت ثروت‌آفرینی و ایجاد شرکت‌های دانش‌بنیان و با هدف بررسی نقش این دانشگاه در جهت توسعه اقتصاد دانش‌بنیان، در نظر است تا «شبکه‌ای متشکل از فارغ‌التحصیلان و شرکت‌های دانش‌بنیان برخاسته از این دانشگاه» ایجاد گردد تا ضمن تعریف خدمات متقابل دانشگاه و شرکت‌ها، به بررسی نحوه گسترش تعاملات فی‌مابین فارغ التحصیلان، شرکت‌ها و دانشگاه و ارزش‌آفرینی بیشتر برای خانواده شریف و کشور بپردازد.

بدین منظور گردهمایی این شرکت‌های دانش‌بنیان و ارائه دستاوردهایشان در قالب نمایشگاهی در بازه زمانی ۳۰ اردیبهشت تا اول خرداد ماه ۱۳۹۳ در دانشگاه شریف برگزار شد. در همین خصوص گردهمایی فارغ‌التحصیلان ده سال اخیر دانشگاه صنعتی شریف نیز با حضور حدود دو هزار فارغ التحصیل این دانشگاه نیز در روز اول خرداد ماه امسال برگزار گردید. در حدود بیش از ۱۰۰ شرکت دانش‌بنیان در این نمایشگاه شرکت داشتند. شرکت مدیریت پروژه‌های توربین ارکان ایرانیان به عنوان یکی از شرکت‌های زیر مجموعه گروه توربین ماشین خاورمیانه و همچنین شرکت توربین کمپرسور آسیا نیز با هدف ارائه دستاوردهای علمی و فنی خود، ایجاد همکاری میان این شرکت‌ها و شرکت‌های دیگر و ارائه توانمندی‌های این شرکت‌ها در همکاری با دانشگاه در این نمایشگاه حضور فعال داشتند و آخرین دستاوردهای این شرکت‌ها را به بازدیدکنندگان ارائه نمودند. علاوه بر این، غرفه این شرکت‌ها نیز مورد بازدید معاون محترم علمی و فناوری ریاست جمهوری جناب آقای دکتر ستاری و مدیر محترم آموزش وزارت صنایع جناب آقای دکتر زین‌الدین قرار گرفت. جمعی از اساتید و دانشجویان حاضر در همایش و نمایشگاه نیز از این غرفه‌ها بازدید نمودند.

حضور شرکت توربین ماشین خاورمیانه در نمایشگاه مهندسی برق ایران به عنوان مجری طرح‌های CHP

بیست و دومین کنفرانس مهندسی برق ایران

بیست و دومین دوره کنفرانس مهندسی برق ایران در دانشگاه شهید بهشتی از تاریخ ۳۰ اردیبهشت ماه تا ۱ خرداد ماه ۱۳۹۳ برگزار گردید. این کنفرانس با هدف گسترش دانش فنی و ایجاد محیطی علمی و فنی جهت تبادل اطلاعات، ارائه آخرین یافته‌های پژوهشی و همچنین تشویق محققان، برنامه‌ریزی شده بود.

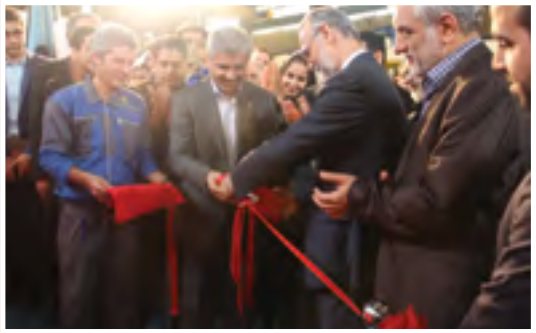
ارائه مقالات در این کنفرانس به طور کلی به ۶ حوزه تقسیم گردید:

- قدرت
- الکترونیک
- مخابرات
- کنترل
- کامپیوتر
- مهندسی پزشکی

اساتید، محققان و دانشجویان در هر روز کنفرانس در زمینه‌های تخصصی به ارائه مقالات پرداختند. این بخش از کنفرانس در بازه‌های زمانی عصر روز اول و نوبت صبح و عصر روزهای دوم و سوم برگزار شد. برگزاری این نشست‌ها به ریاست اساتید به‌نامی از دانشگاه‌های معتبر کشور همچون دانشگاه‌های تهران، صنعتی شریف، شهید بهشتی، علم و صنعت، تربیت مدرس، امام حسین (ع)، صنعتی خواجه نصیر، صنعتی امیرکبیر، صنعتی شاهرود، شاهد و مرکز تحقیقات مخابرات ایران به انجام رسید. همچنین میزگردهایی تخصصی در حوزه‌های انرژی‌های نو، اخلاق مهندسی و آموزش‌های مهارتی اشتغال در صنعت برق برگزار شد.

گسترش دانش فنی و تبادل آخرین دستاوردهای علمی- تحقیقاتی توسط صنعتگران، پژوهشگران و اندیشمندان مراکز پژوهشی و دانشگاهی داخل و خارج از کشور و پیگیری رویدادهای علمی و تجاری مرتبط با علوم مهندسی برق و نمایش تمامی این توانمندی‌ها از مهمترین عوامل برگزاری بیست و دومین کنفرانس و نمایشگاه مهندسی برق ایران است. در همین راستا، شرکت توربین ماشین خاورمیانه نیز با حضور در این نمایشگاه، واقع در سالن ابوریحان مرکز همایش‌های بین‌المللی دانشگاه شهید بهشتی، دستاوردها، خدمات و محصولات خود را در زمینه‌های موتور توربوژنراتور و سامانه‌های تولید همزمان برق و حرارت با استفاده از توربین‌های گاز در معرض دید بازدیدکنندگان محترم قرار داد.

TURBINE MACHINE

3

SCIENCE, TECHNOLOGY & MANAGEMENT