

تدوین نقشه راه توسعه فناوری های ارتقای عمر، عملکرد و

توان بخش داغ توربین گازی نیروگاهی



مدیر پروژه: جعفر آقایاری

مجری: احسان توکلی

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تدوین نقشه راه توسعه فناوری های ارتقاء عمر، عملکرد و توان بخش

داغ توربین گازی نیروگاهی

مدیر پروژه: جعفر آقاییاری

همکار/همکاران پروژه: آرش شجاعی

مجری: احسان توکلی

انتشارات پژوهشگاه نیرو

۱۴۰۰



کد گزارش: NRI-ER-882-PMEPN36-00-L

DOI: 10.30503/nripress.2020.327

ایران. وزارت نیرو. پژوهشگاه نیرو. گروه پژوهشی تجهیزات دوار مکانیکی
تدوین نقشه راه توسعه فناوریهای ارتقاء عمر، عملکرد و توان بخش داغ توربین گازی نیروگاهی/مدر
پروژه: جعفر آقایی، تهران، کارفرما: پژوهشگاه نیرو، ۱۴۰۰.

۲۱۹ ص: مصور، نمودار، جدول

۱. شجاعی، آرش، همکار ۲. توکلی، احسان، مجری.



انتشارات پژوهشگاه نیرو
گروه تجهیزات دوار مکانیکی

کلیه حقوق قانونی این اثر متعلق به پژوهشگاه نیرو است.

نشانی: تهران، شهرک غرب، انتهای بلوار شهید دامن، پژوهشگاه نیرو، کدپستی: ۱۴۶۸۶۱۳۱۱۳

تلفن: ۸۸۰۷۹۴۰۱-۹

نمابر: ۸۸۰۷۸۲۹۶

وبگاه: www.nri.ac.ir

پست الکترونیک انتشارات: publications@nri.ac.ir

فرم تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب جعفر آقایی متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این گزارش حاصل کار پژوهشی اینجانب و همکاران به شرح زیر است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آن استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و مآخذ ذکر گردیده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به پژوهشگاه نیرو است.

همکاران :

۱. آرش شجاعی

پیشگفتار

بخش عمده توان الکتریکی شبکه برق کشور را توربینهای گازی تولید می‌کنند که بواسطه فراوانی گاز طبیعی در کشور و بازدهی بالای این توربین‌ها در حالت سیکل ترکیبی با توربین بخاری، بخش بالایی از توسعه توان الکتریکی آینده را نیز شامل می‌شوند. توانمندی مناسبی در سطح داخل جهت ساخت توربینهای گازی وجود دارد و پیشرفت‌های گسترده صورت گرفته در سطح جهانی، سطح توقع بالایی را در بازار جهت استفاده از فناوریهای پیشرفته تر و بهینه تر ایجاد کرده است. با توجه به اوضاع سیاسی موجود و تحریم‌ها، بومی‌سازی فناوری‌های اولویت‌دار و برنامه‌ریزی جهت دستیابی به فناوری‌های پیشرفته جزء نیازمندیهای کشور است که نیازمند نقشه راه دقیق و مطمئن جهت توسعه و دستیابی به این فناوریهاست. از میان فناوریهای بخشهای مختلف توربین گازی، توربین واحد گازی (بخش داغ) بواسطه کارکرد در شرایط سخت دما و تنش، بالاترین فناوری را دارد و گرانترین بخش توربین گازی است.

جهت دستیابی به نقشه راه، در قدم اول نیاز به تبیین مشخصه‌های فناوری است که طی آن درخت فناوری شناسایی و استخراج می‌شود. بازیگران صنعتی، دولتی و دانشگاهی شناسایی می‌شوند و زنجیره ارزش برای فناوری ارائه می‌گردد. در قدم بعدی، با انجام مطالعات تطبیقی، اسناد بالادستی و بررسی نظر نخبگان، چشم اندازی برای توسعه فناوری تدوین و اهداف کلان و راهبردهای دستیابی به آن مشخص می‌گردد. در انتها نیز نقشه راه توسعه فناوری نگاشته خواهد شد. نقشه راه، برنامه مدونی است جهت دستیابی به اهداف کلان و چشم انداز توسعه فناوری که خود شامل مجموعه سیاستها و اقدامات فنی و غیرفنی است که در افق زمانی مورد نظر از زمان ابلاغ سند و رهنگاشت انجام می‌شود. در انجام پروژه از نظرات و مشاوره‌های متخصصین آقای دکتر عابدی و مهندس بهرامی و مهندس جوان از شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی، مهندس خالدي از شرکت توربوتک، مهندس فردنيا از شرکت فرآب، مهندس عبداللهیان از نیروگاه کرمان، مهندس مروج از تعمیرات نیروگاهی و آقای مهندس مرادی از نیروگاه ایسین در بخشهای مختلف استفاده شده است. این مطالعه توسط آقای دکتر جعفر آقاییاری با مشاوره آقای مهندس آرش شجاعی انجام شده است.

فهرست مطالب

Contents

۱- تبیین مشخصه های فناوری و هوشمندی بخش داغ توربین گازی نیروگاهی.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۲
۱-۲- شناخت فناوری.....	۲
۱-۲-۱- شناسایی بازیگران خارجی.....	۳
۱-۳- زنجیره ارزش بخش داغ توربین گازی نیروگاهی.....	۴
۱-۴- درخت فناوری.....	۶
۱-۴-۱- فناوریهای توربینهای گازی جی ئی.....	۹
۱-۴-۲- فناوریهای توربینهای گازی میتسوبیشی-هیتاچی.....	۳۸
۱-۴-۳- فناوریهای توربینهای گازی زیمنس.....	۵۴
۱-۵- شناسایی بازیگران داخلی.....	۶۰
۱-۵-۱- شرکت مپنا.....	۶۲
۱-۵-۲- شرکت توگا (شرکت مهندس و ساخت توربین گاز مپنا).....	۶۲
۱-۵-۳- شرکت پرتو.....	۶۹
۱-۵-۴- شرکت توربو کمپرسور تک خاورمیانه (توربوتک).....	۷۱
۱-۵-۵- شرکت تعمیرات نیروگاهی ایران.....	۷۴
۱-۶- مراکز پژوهشی و دانشگاهی.....	۷۷
۱-۶-۱- موسسه پژوهشی مپن - دانشگاه تهران.....	۷۹
۱-۶-۲- پژوهشکده توربینهای گازی - دانشگاه علم و صنعت.....	۸۱
۱-۶-۳- سایر مراکز.....	۸۴
۱-۷- مراکز پژوهشی دولتی.....	۸۴
۱-۷-۱- پژوهشگاه نیرو.....	۸۵
۱-۸- نهادهای حاکمیتی و دولتی.....	۸۷
۱-۸-۱- وزارت نیرو.....	۸۸
۱-۸-۲- توانیر.....	۹۱
۱-۸-۳- شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی.....	۹۲
۲- تعیین اهداف و راهبردهای توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی.....	۹۵
۲-۱- مقدمه.....	۹۶
۲-۲- تعیین ابعاد و محدوده مطالعات.....	۹۶
۲-۲-۱- بررسی بازار توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی.....	۱۰۳
۲-۲-۲- بررسی اسناد بالادستی.....	۱۰۵

- ۳-۲-۲- ضرورت توسعه کاربرد و بازار فناوری توربین گازی نیروگاهی..... ۱۰۸
- ۳-۲-۴- ضرورت توسعه فناوری توربین گازی (بخش داغ) نیروگاهی در کشور..... ۱۰۹
- ۳-۳- مطالعات تطبیقی..... ۱۱۰
- ۳-۳-۱- مدرنسازی و برنامه های ارتقاء توربینهای گازی وظیفه سنگین سری *D* میتسویشی..... ۱۱۰
- ۳-۳-۲- ارتقاء توربینهای گازی *V94.2* یا *SGT5-2000E* شرکت زیمنس..... ۱۱۹
- ۳-۳-۳- ارتقاء توربینهای گازی *GE Frame 9E*..... ۱۲۹
- ۳-۳-۴- ارتقاء *9EMax*..... ۱۶۶
- ۳-۴- تبیین ابعاد چشم انداز..... ۱۶۹
- ۳-۵- ترجمه و تکمیل اهداف کلان و راهبردهای توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی..... ۱۷۱
- ۳-۵-۱- نتایج حاصل از بررسی گزارش اسناد بالادستی..... ۱۷۱
- ۳-۶- ارزیابی اقتصادی و تعیین جذابیت بازار توسعه فناوری بخش داغ توربینهای گازی..... ۱۷۶
- ۳-۶-۱- بررسی ارتقاءهای توربین گازی *F9E*..... ۱۷۷
- ۳-۶-۲- بررسی ارتقاء توربینهای گازی زیمنس (*5*) *V94.2*..... ۱۷۸
- ۳-۶-۳- ارتقاء توربینهای گازی وظیفه سنگین میتسویشی *MW-701B* و *MW-701D*..... ۱۸۰
- ۳-۷- اولویت بندی توسعه فناوریهای بخش داغ توربین گازی نیروگاهی..... ۱۸۲
- ۳-۸- سبک اکتساب فناوریهای اولویت دار ارتقاء توربینهای گازی داخل کشور..... ۱۸۴
- ۳- تدوین نقشه راه توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی..... ۱۸۹
- ۳-۱- مقدمه..... ۱۹۰
- ۳-۲- مرور ادبیات: مفاهیم نقشه راه..... ۱۹۰
- ۳-۲-۱- میانی..... ۱۹۰
- ۳-۲-۲- تدوین نقشه راه..... ۱۹۲
- ۳-۳- سیاستهای پیشنهادی توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی..... ۱۹۳
- ۳-۴- اقدامات فنی ویژه..... ۱۹۵
- ۳-۵- اقدامات فنی عمومی..... ۱۹۹
- ۳-۵-۱- گانت و هزینه پروژه های عمومی توسعه فناوری..... ۲۰۴
- ۳-۶- بازیگران صنعت و تقسیم کار ملی..... ۲۰۹
- فهرست منابع..... ۲۱۷

فهرست شکلها

- شکل ۱-۱. توربین گاز و بخشهای اصلی آن (شکل مربوط به توربین گازی V94.2 است). ۳
- شکل ۱-۲. پیش‌بینی سهم شرکت‌ها مختلف در توان توربین گازی نصب شده از ۲۰۱۸ الی ۲۰۲۷ [۱]. ۴
- شکل ۱-۳. زنجیره ارزش بخش داغ توربین گازی. ۶
- شکل ۱-۴. پیش‌بینی فروش توربین گازی GE MS5000 [۳]. ۹
- شکل ۱-۵. روند توسعه فناوری توربینهای گازی 9E [۶]. ۱۶
- شکل ۱-۶. مقایسه تنش گسیختگی خزشی مواد باکت و نازلها [۲]. ۱۷
- شکل ۱-۷. ارتقاءهای پیشنهادی سایت GE برای توربین 9E [۷]. ۲۰
- شکل ۱-۸. موارد ارتقای افزایش توان و عمر [۷]. ۲۱
- شکل ۱-۹. خلاصه مزایا و فناوری‌های استفاده شده در بسته ارتقا پیشرفته مسیر گاز داغ برای Frame 9E [۶]. ۲۲
- شکل ۱-۱۰. جزئیات ارتقای در مراحل توربین در ارتقای پیشرفته مسیر گاز [۸]. ۲۴
- شکل ۱-۱۱. تغییر و مزایای ارتقا در اجزای متفاوت توربین در ارتقای پیشرفته مسیر گاز [۶]. ۲۵
- شکل ۱-۱۲. تصاویر بروسکوپ از یک توربین پس از چهار و دوازده هزار ساعت از ارتقای پیشرفته مسیر گاز [۶]. ۲۵
- شکل ۱-۱۳. میزان تغییر پارامترهای ترمودینامیکی تحت ارتقای 9Emax [۶]. ۲۶
- شکل ۱-۱۴. اجزای تحت ارتقای 9Emax [۶]. ۲۷
- شکل ۱-۱۵. روتور توربین GE Frame 9E (PG9171E). ۲۷
- شکل ۱-۱۶. پره‌های سه ردیف اول توربین MS9001E (PG9171E). ۲۸
- شکل ۱-۱۷. مراحل ۱، ۲ و ۳ توربین گازی نیروگاه منتظر قائم (PG9161E). ۲۸
- شکل ۱-۱۸. نازل‌های مرحله اول توربین گازی PG9161E نیروگاه منتظر قائم. ۲۹
- شکل ۱-۱۹. سوراخهای خنک‌کاری پره‌های مرحله اول و دوم و نازل مرحله ۲؛ دندان‌های کدویی برای چفت شدن بلاک شرادهای مراحل ۱ و ۲ توربین PG9161E نیروگاه منتظر قائم. ۲۹
- شکل ۱-۲۰. سیستم خنک‌کاری هوایی پره ردیف اول توربین گازی MS9001E (PG9171E). ۳۰
- شکل ۱-۲۱. بلوک شرادها و دیافراگمهای مراحل ۲ و ۳ توربین PG9161E منتظر قائم. ۳۱
- شکل ۱-۲۲. اگزاست توربین گازی MS9001E (PG9171E). ۳۱
- شکل ۱-۲۳. نمای اگزاست بالایی و دو عدد از ترموکوپلهای مسیر گاز داغ خروجی؛ توربین PG9161E نیروگاه منتظر قائم. ۳۲
- شکل ۱-۲۴. توربینهای گازی جی ئی [۹]. ۳۲
- شکل ۱-۲۵. توربین 9HA.01 در مرکز تست توربین گازی [۹]. ۳۵
- شکل ۱-۲۶. مجموعه توربین گاز در مرکز تست [۹]. ۳۵
- شکل ۱-۲۷. مدولارسازی تجهیزات جانبی توربین گاز [۱۰]. ۳۷
- شکل ۱-۲۸. تاثیر سیستم خنک‌کن تبخیری و فشرده سازی مرطوب در خروجی توربین گاز [۱۰]. ۳۷
- شکل ۱-۲۹. سیر تکامل توربینهای گازی فریم بزرگ MHI/MHP [۱۲]. ۴۱
- شکل ۱-۳۰. تاریخچه توسعه فناوری توربینهای گازی MHI/MHP [۱۲]. ۴۱
- شکل ۱-۳۱. سیر تکامل توربین گاز کلاس F [۱۳]. ۴۴
- شکل ۱-۳۲. ویژگیهای آخرین ورژن توربین کلاس F میتسوبیشی [۱۲]. ۴۴
- شکل ۱-۳۳. طرح M501G [۱۴]. ۴۵
- شکل ۱-۳۴. ارتقاء M701G2 [۱۴]. ۴۶
- شکل ۱-۳۵. ارتقاء M501G1 [۱۴]. ۴۷
- شکل ۱-۳۶. مقایسه هدایت حرارتی عایق حرارتی کنونی و عایق حرارتی پیشرفته [۱۴]. ۴۸

- شکل ۳۷-۱. فناوریهای پره توربین [۱۲]..... ۵۲
- شکل ۳۸-۱. سیستم خنک‌کاری بخاری رینگ پره‌های توربین؛ افزایش لقی در استارت و کاهش لقی تحت بار [۱۶]..... ۵۲
- شکل ۳۹-۱. (راست) تجهیزات تست دیفیوزر خروجی توربین، (چپ) تحلیل جریان مقیاس بزرگ برای توربین و دیفیوزر خروجی [۱۷]..... ۵۳
- شکل ۴۰-۱. روش *Unsteady Method* برای اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارت سمت مکش وین توربین گازی..... ۵۳
- شکل ۴۱-۱. ارتقاءهای ارائه شده برای توربین گازی *SGT5-2000E* توسط شرکت زیمنس..... ۵۴
- شکل ۴۲-۱. تاریخچه ارتقاء توربین گازی *SGT5-2000E* شرکت زیمنس..... ۵۵
- شکل ۴۳-۱. ارتقاء *Si3D* مراحل اول و دوم توربین گازی *SGT5-2000E* [۱۹]..... ۵۸
- شکل ۴۴-۱. بهینه‌سازی هیدرولیکی لقی. از چپ به راست: حرکت روتور با بکارگیری *HCO*؛ یاتاقان اصلاح شده برای آپگرید کلاس *E* به *HCO*؛ یاتاقان اصلاح شده برای آپگرید کلاس *F* به *HCO* [۱۹]..... ۵۹
- شکل ۴۵-۱: مشخصات فنی توربین گازی *MGT-30* [۲۱]..... ۶۳
- شکل ۴۶-۱: مشخصات فنی توربین گازی *MGT-40* [۲۱]..... ۶۴
- شکل ۴۷-۱. مسیر توسعه خانواده توربین *MGT-70* در شرکت توربین‌سازی مپنا [۲۱]..... ۶۵
- شکل ۴۸-۱. حسگرهای نصب شده بر روی توربین *MAP2B* در آزمایشگاه *MAPLAB* [۲۱]..... ۶۹
- شکل ۴۹-۱. توربین گازی *NGT150-1* [۲۶]..... ۷۳
- شکل ۵۰-۱. نمونه پره های ساخت شرکت تعمیرات نیروگاهی ایران [۲۷]..... ۷۴
- شکل ۵۱-۱. دستگاه تراش پنج محوره و دستگاه *CMM* [۲۷]..... ۷۵
- شکل ۵۲-۱. محفظه خلا مربوط به شرکت تعمیرات نیروگاهی [۲۷]..... ۷۵
- شکل ۱-۲. فراوانی و عمر توربینهای گازی اصلی کشور..... ۱۰۲
- شکل ۲-۲. گزینه‌های مدرنسازی و ارتقاء توربین [۳۲]..... ۱۱۲
- شکل ۲-۳. اصلاحات مورد نیاز ارتقاء افزایش دمای احتراق [۳۲]..... ۱۱۳
- شکل ۲-۴. اصلاحات مورد نیاز فناوریهای آب بندی پیشرفته [۳۲]..... ۱۱۴
- شکل ۲-۵. پوشش سایش‌پذیر روی سگمنت توربین [۳۲]..... ۱۱۵
- شکل ۲-۶. سیستم گرمایش سوخت [۳۲]..... ۱۱۶
- شکل ۲-۷. بهبود عملکرد توربین گازی سیکل ساده سری *D* با مدرنسازی و ارتقاء واحد [۳۲]..... ۱۱۸
- شکل ۲-۸. بهبود عملکرد توربین گازی سیکل ترکیبی سری *D* با مدرنسازی و ارتقاء واحد گازی [۳۲]..... ۱۱۸
- شکل ۲-۹. المانهای نیروگاه سیکل ترکیبی *CCPP* [۳۲]..... ۱۱۹
- شکل ۲-۱۰. ارتقاءهای ارائه شده برای توربین گازی *SGT5-2000E* توسط شرکت زیمنس [۳۹]..... ۱۲۰
- شکل ۲-۱۱. ارتقاء *Si3D* مراحل اول و دوم توربین گازی *SGT5-2000E* [۴۰]..... ۱۲۱
- شکل ۲-۱۲. بهینه‌سازی هیدرولیکی لقی. از چپ به راست: حرکت روتور با بکارگیری *HCO*؛ یاتاقان اصلاح شده برای آپگرید کلاس *E* به *HCO*؛ یاتاقان اصلاح شده برای آپگرید کلاس *F* به *HCO* [۴۲]..... ۱۲۴
- شکل ۲-۱۳. راست: یاتاقان سیستم هیدرولیکی بهینه‌ساز لقی؛ چپ: اسکید پمپ سیستم هیدرولیکی بهینه‌ساز لقی [۴۲]..... ۱۲۵
- شکل ۲-۱۴. طراحی جدید پوسته داخلی توربین [۴۳]..... ۱۲۶
- شکل ۲-۱۵. روند توسعه فناوری توربینهای گازی *9E* [۶]..... ۱۳۰
- شکل ۲-۱۶. مرحله دوم توربین فریم *9E* مجهز به هانی کامب روی شراد و تیغه برنده روی باکت [۲]..... ۱۳۵
- شکل ۲-۱۷. بلاک شراد مرحله ۲ و آب بند هانی کامب روی آن [۲]..... ۱۳۶
- شکل ۲-۱۸. آبند اعمالی لانه‌نبوری [۲]..... ۱۳۶
- شکل ۲-۱۹. دندانهای برنده شراد تیغه [۲]..... ۱۳۷
- شکل ۲-۲۰. نازل مرحله دوم با آبند برسی [۲]..... ۱۳۸
- شکل ۲-۲۱. استفاده از آب‌بند برسی برای آب‌بندی میان مرحله‌ای [۲]..... ۱۳۸

- شکل ۲-۲۲ طرح دندان کدویی و طرح آبیند شراد جدید [۲]..... ۱۴۰
- شکل ۲-۲۳ طرح هزار خار نوع میله‌ای و طرح آبیند پارچه‌ای [۲]..... ۱۴۰
- شکل ۲-۲۴ بلاک شرادهای مرحله ۱ پوشیده شده با ماده سایش‌پذیر [۲]..... ۱۴۲
- شکل ۲-۲۵ پوشش فناشونده [۲]..... ۱۴۲
- شکل ۲-۲۶ بلوک یک تکه‌ای مرحله اول در *MS9171E* [۲]..... ۱۴۳
- شکل ۲-۲۷ ارتقاء توربین *MS7001E* به منحنی کنترلی اصلاح شده [۲]..... ۱۴۴
- شکل ۲-۲۸ تغییرات مورد نیاز برای ارتقاء توربین با ورودی ۱۱۰۴ درجه به ۱۱۲۴ درجه سانتیگراد [۲]..... ۱۴۵
- شکل ۲-۲۹ طرح باکت با نوک تیز و پخ [۲]..... ۱۴۶
- شکل ۲-۳۰ برش لبه‌های شراد (شکل بالا)؛ پیکره‌بندی نهایی شراد باکت (شکل پایین) [۲]..... ۱۴۸
- شکل ۲-۳۱ بهبودهای باکت مرحله ۲ *9E* [۲]..... ۱۴۹
- شکل ۲-۳۲ بهبودهای باکت مرحله ۳ [۲]..... ۱۵۰
- شکل ۲-۳۳ مقایسه نازل‌های *9B* و *9E* مرحله اول [۲]..... ۱۵۱
- شکل ۲-۳۴ خنک‌کاری لایه‌ای سطح مکش ایرفویل نازل مرحله اول [۲]..... ۱۵۲
- شکل ۲-۳۵ بهبود نازل مرحله اول با استفاده از آویز وتری به عنوان آب بند [۲]..... ۱۵۳
- شکل ۲-۳۶ بهبود خنک‌کاری بیرونی نازل مرحله اول *9E* [۲]..... ۱۵۳
- شکل ۲-۳۷ بهبودهای صورت گرفته در نازل مرحله اول واحدهای *9B* و *9E* [۲]..... ۱۵۴
- شکل ۲-۳۸ نازل مرحله اول به همراه پوشش پیشرفته [۲]..... ۱۵۶
- شکل ۲-۳۹ خزش نازل مرحله دوم از جنس *GDT 222* [۴۵]..... ۱۵۷
- شکل ۲-۴۰ مقایسه تغییر شکل خزشی در نازل [۴۵]..... ۱۵۷
- شکل ۲-۴۱ بهبود عملکرد نازل مرحله دوم *GDT* [۴۵]..... ۱۵۸
- شکل ۲-۴۲ آئرو پیشرفته نازل مرحله ۳ [۲]..... ۱۵۹
- شکل ۲-۴۳ طراحی جدید باکت مرحله ۳ فریم *9E* [۲]..... ۱۵۹
- شکل ۲-۴۴ باکت مرحله ۳ با آئرو پیشرفته [۲]..... ۱۶۰
- شکل ۲-۴۵ فریم اگزاست بهسازی شده [۴۵]..... ۱۶۲
- شکل ۲-۴۶ پلنوم اگزاست بهبود یافته [۴۵]..... ۱۶۲
- شکل ۲-۴۷ خلاصه مزایا و فناوری‌های استفاده شده در بسته ارتقا پیشرفته مسیر گاز برای *9E* [6]..... ۱۶۳
- شکل ۲-۴۸ جزئیات ارتقای در مراحل توربین در ارتقای پیشرفته مسیر گاز [۶]..... ۱۶۴
- شکل ۲-۴۹ تغییر و مزایای ارتقا در اجزای متفاوت توربین در ارتقای پیشرفته مسیر گاز [۶]..... ۱۶۵
- شکل ۲-۵۰ تصاویر بورسکوپ از یک توربین پس از چهار و دوازده هزار ساعت از ارتقای پیشرفته مسیر گاز [۶]..... ۱۶۶
- شکل ۲-۵۱ میزان تغییر پارامترهای ترمودینامیکی تحت ارتقای *9Emax* [6]..... ۱۶۷
- شکل ۲-۵۲ اجزای تحت ارتقای *9Emax* [6]..... ۱۶۷
- شکل ۲-۵۳ ارزیابی سطح توانمندی در آب بند پیشرفته..... ۱۸۵
- شکل ۲-۵۴ ارزیابی سطح توانمندی در آئرو دینامیک ۳ بعدی..... ۱۸۶
- شکل ۲-۵۵ ارزیابی سطح توانمندی در افزایش عمر..... ۱۸۶
- شکل ۲-۵۶ ارزیابی سطح توانمندی در اصلاح دیفیوزر و اگزاست..... ۱۸۶
- شکل ۳-۱ نقشه راه توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی *V94.2*..... ۱۹۸
- شکل ۳-۲ نقشه راه توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی *F9*..... ۱۹۸
- شکل ۳-۳ رهنگاشت توسعه فناوریهای عمومی بخش داغ توربین گازی نیروگاهی..... ۲۰۹

فهرست جداول

- جدول ۱-۱. فناوریهای عمومی مربوط به بخش داغ دوار توربین گازی. ۷
- جدول ۱-۲. مشخصات عملکردی توربین *MS5001* و *MS5002* (شرایط ایزو و سوخت گاز طبیعی). ۱۰
- جدول ۱-۳. اطلاعات فنی ورژنهای مختلف توربین *MS5001* [۴]. ۱۱
- جدول ۱-۴. فراوانی تیپ توربینهای گازی کوچک. ۱۳
- جدول ۱-۵. فناوریهای پیشرفته توربین گازی *MS5001P (PG 5341)*. ۱۴
- جدول ۱-۶. آلیاژهای مورد استفاده در توربین گازی [۲]. ۱۶
- جدول ۱-۷. فناوریهای مربوط به توربین گازی *MS9001 E (PG9171 E)* و ارتقاءهای مربوطه. ۱۸
- جدول ۱-۸. میزان افزایش در مدل‌های متفاوت با استفاده از ارتقای پیشرفته مسیر گاز [۷]. ۲۲
- جدول ۱-۹. عملکرد و خروجی توربین *HA* [۱۰]. ۳۳
- جدول ۱-۱۰. پیکره بندی و عملکرد آخرین توربینهای سری *D*، *F* و *J* ارائه شده توسط شرکت سیستمهای قدرت میتسوبیشی-هیتاچی [۱۱]. ۴۲
- جدول ۱-۱۱. فناوریهای پیشرفته برای توربین میتسوبیشی. ۴۸
- جدول ۱-۱۲. نسخه‌های مختلف ارائه شده برای توربین گازی *SGT5-2000E* شرکت زیمنس [۱۸]، [۱۹]. ۵۵
- جدول ۱-۱۳. لیست فناوریهای پیشرفته برای توربین *SGT2000E*. ۵۷
- جدول ۱-۱۴. لیست شرکت‌های فعال در حوزه توربین‌های گازی. ۶۰
- جدول ۱-۱۵. ارتقاءهای صورت گرفته توسط شرکت مینا روی توربین *V94.2* [۲۲]. ۶۵
- جدول ۱-۱۶. ارتقاء *MAP2+* مینا [۲۳]. ۶۶
- جدول ۱-۱۷. ارتقاء *MAP2A* مینا [۲۳]. ۶۶
- جدول ۱-۱۸. مشخصات عملکردی توربین *MGT-70(3)* یا *MAP2B* [۲۱]. ۶۷
- جدول ۱-۱۹. ورژنهای مختلف *MAP2B* [۲۴]. ۶۷
- جدول ۱-۲۰. تغییرات عملکرد در ارتقاء *MAP2B* [۲۴]. ۶۸
- جدول ۱-۲۱: لیست متخصصین دانشگاهی. ۷۸
- جدول ۱-۲۲: لیست مراکز پژوهشی فعال در حوزه توربین گازی. ۸۴
- جدول ۱-۲۳: لیست نهادهای حاکمیتی و دولتی تاثیرگذار در صنعت توربین گاز. ۸۷
- جدول ۱-۲۴. طرحهای نیروگاهی در حال اجرا توسط شرکت. ۹۳
- جدول ۲-۱. فراوانی واحدهای گازی نیروگاهی (بدون احتساب واحدهای صنایع). ۹۷
- جدول ۲-۲. فراوانی تیپ توربینهای گازی کوچک. ۹۸
- جدول ۲-۳. توزیع توربینهای گازی *F9* در کشور. ۹۸
- جدول ۲-۴. مشخصات نیروگاه‌های با توربین گازی *V94.2* تا سال ۱۳۹۴. ۹۹
- جدول ۲-۵. نیروگاه‌های با توربین گازی میتسوبیشی در کشور. ۱۰۱
- جدول ۲-۶. مشخصات نیروگاههای با توربین گازی *F5* در کشور. ۱۰۱
- جدول ۲-۷. فراوانی توربینهای گازی اصلی. ۱۰۲
- جدول ۲-۸. برآوردی از حجم بازار ارتقاء توربینهای گازی اصلی کشور. ۱۰۴
- جدول ۲-۹. شکست قیمت توربین گازی *V94.2* با توان $2 \times 159 \text{ MW}$ مگاوات [۳۵]. ۱۰۵
- جدول ۲-۱۰. جمع‌بندی اسناد بالادستی. ۱۰۵
- جدول ۲-۱۱. ارتقاء متوسط راندمان نیروگاههای حرارتی [۳۶]. ۱۰۷
- جدول ۲-۱۲. ضرورت توسعه کاربرد فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی. ۱۰۹
- جدول ۲-۱۳. عوامل ضرورت توسعه فناوری بخش داغ توربینهای گازی نیروگاهی. ۱۱۰
- جدول ۲-۱۴. لیست ارتقاء و مدرنسازی توربینهای *M701D&501D* [۳۲]. ۱۱۲

- جدول ۲-۱۵. مزایای ارتقاءها و مدرنسازي توربینهای *M701D&501D* ۱۱۶
- جدول ۲-۱۶. اصلاحات و ملاحظات مورد نیاز ارتقاءهای *M701D&501D* ۱۱۶
- جدول ۲-۱۷. برآورد هزینه‌ها، افزایش درآمد و مدت زمان بازگشت سرمایه ارتقاء مراحل ۱ و ۲ توربین گازی *V94.2* به *Si3D* ۱۲۲
- جدول ۲-۱۸. برآورد اثرات ارتقاء مراحل ۳ و ۴ توربین گازی *V94.2* به *Si3D* ۱۲۴
- جدول ۲-۱۹. برآورد بهبود خروجی و عملکرد ۱۲۵
- جدول ۲-۲۰. برآورد بهبود خروجی و عملکرد ۱۲۷
- جدول ۲-۲۱. مزایای ارتقاءها و مدرنسازي بخش داغ توربین (5) *V94.2* ۱۲۸
- جدول ۲-۲۲. اصلاحات و ملاحظات مورد نیاز ارتقاءهای توربین گازی *V94.2* ۱۲۹
- جدول ۲-۲۳. مشخصات عملکردی توربین کلاس *GE-F9E* [۲] ۱۳۱
- جدول ۲-۲۴. ارتقاءهای فریم ۹ و اثر آنها روی توان خروجی [۲] ۱۳۲
- جدول ۲-۲۵. ارتقاءهای فریم ۹ و اثر آنها روی نرخ حرارتی [۲] ۱۳۲
- جدول ۲-۲۶. ارتقاءهای توربین گازی *9B* و *9E* [۲] ۱۳۳
- جدول ۲-۲۷. مزیت عملکردی وقتی ارتقاء باکت و نازل مرحله ۳ اعمال می‌گردد [۲] ۱۶۱
- جدول ۲-۲۸. مزایای ارتقاءها و مدرنسازي توربینهای *9E* ۱۶۷
- جدول ۲-۲۹. اصلاحات و ملاحظات مورد نیاز ارتقاءهای *PG9171E – 2055 °F* ۱۶۸
- جدول ۲-۳۰. بیانیه نهایی و ابعاد چشم انداز ۱۷۱
- جدول ۲-۳۱: موارد قابل استنتاج از اسناد بالادستی برای تعیین اهداف کلان در حوزه توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی ۱۷۲
- جدول ۲-۳۲. اهداف کلان (اولیه) مرتبط با توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی ۱۷۲
- جدول ۲-۳۳. تعیین گزینه‌های دارای اهمیت در اهداف کلان بخش داغ توربین گازی نیروگاهی ۱۷۳
- جدول ۲-۳۴. اولویت بندی اهداف کلان ۱۷۴
- جدول ۲-۳۵. اهداف کلان نهایی توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی ۱۷۵
- جدول ۲-۳۶. اهداف کلان نهایی و راهبردهای کلی توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی ۱۷۶
- جدول ۲-۳۷. ارزیابی ارتقاءهای توربینهای گازی *F9E* سیکل ترکیبی ۱۷۷
- جدول ۲-۳۸. مفروضات ارتقاء توربینهای گازی *F9E* ۱۷۸
- جدول ۲-۳۹. ارزیابی ارتقاءهای توربینهای گازی *V94.2(5)* سیکل ترکیبی و سیکل ساده ۱۷۹
- جدول ۲-۴۰. مفروضات ارزیابی ارتقاءهای توربین (5) *V94.2* ۱۷۹
- جدول ۲-۴۱. مزایای حدودی ارتقاءها و مدرنسازي توربینهای *M701B* براساس تخمینی از ارتقاء *DA* ۱۸۰
- جدول ۲-۴۲. مزایای حدودی ارتقاءها و مدرنسازي توربینهای *M701D* با توان *128.5 MW* ۱۸۱
- جدول ۲-۴۳. اولویت بندی پکیجهای ارتقاء فناوری توربین گازی فریم ۹ ۱۸۲
- جدول ۲-۴۴. اولویت بندی پکیجهای ارتقاء توربینهای پایه *V94.2* زیمنس سیکل ترکیبی گازی-بخاری ۱۸۳
- جدول ۲-۴۵. اولویت بندی پکیجهای ارتقاء توربینهای پایه *V94.2* زیمنس سیکل ساده گازی ۱۸۳
- جدول ۲-۴۶. فناوریهای توسعه مورد نیاز پکیجهای ارتقاء فناوری ۱۸۳
- جدول ۲-۴۷. سبک توسعه فناوریهای توربینهای *9E* ۱۸۷
- جدول ۲-۴۸. سبک اکتساب فناوریهای توربین گازی *V94.2* زیمنس ۱۸۷
- جدول ۲-۴۹. سبک اکتساب فناوریهای توربین گازی میتسوبیshi ۱۸۸
- جدول ۳-۱. اهداف کلان نهایی و راهبردهای کلی توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی ۱۹۴
- جدول ۳-۲. سیاستها و اقدامات در برابر چالشهای توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی ۱۹۴
- جدول ۳-۳. برآوردی از هزینه برخی از اقدامات غیرفنی پیشنهادی ۱۹۵
- جدول ۳-۴. مجموعه فناوریهای ویژه توربین گازی *V94.2* جهت توسعه ۱۹۶

- جدول ۳-۵. توسعه فناوریهای طراحی، تست و ساخت ویژه ۱۹۶
- جدول ۳-۶. مجموعه فناوریهای ویژه توربین گازی $F9$ جهت توسعه ۱۹۷
- جدول ۳-۷. زیر پروژههای طرحها و پروژههای اقدامات فنی عمومی ۲۰۴

۱- تبیین مشخصه‌های فناوری و هوشمندی بخش داغ توربین گازی

نیروگاهی

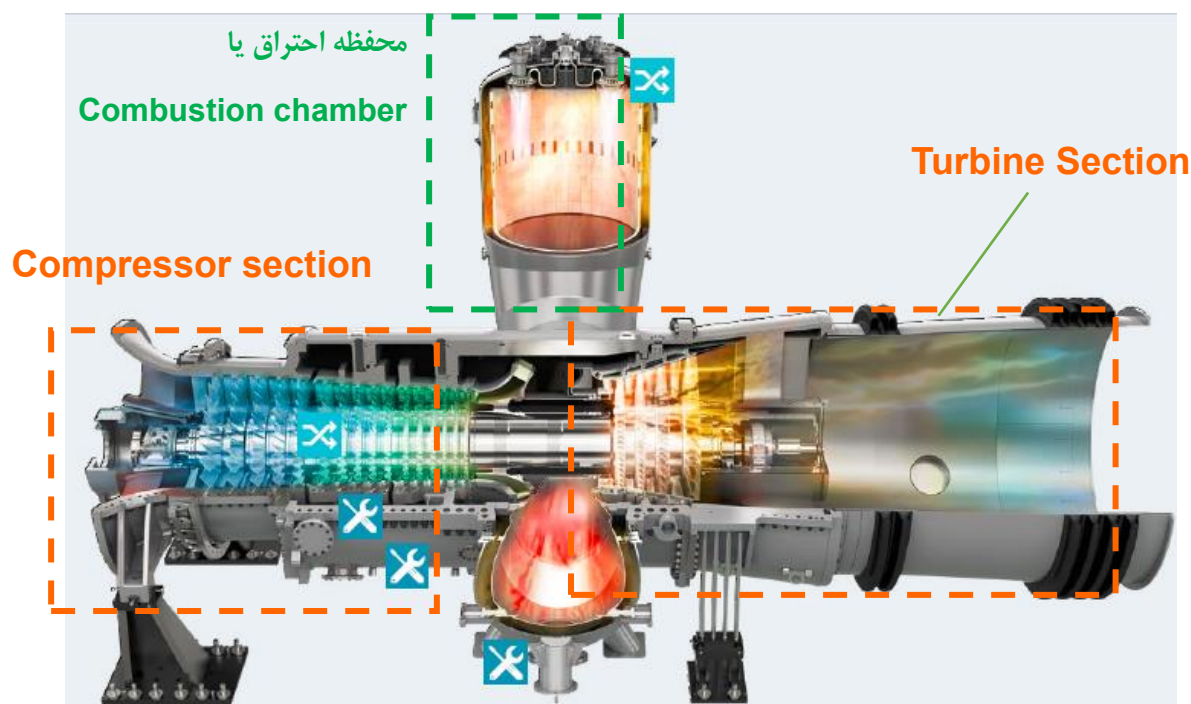
۱-۱- مقدمه

سند توربین گازی نیروگاهی در سال ۱۳۹۴-۱۳۹۳ نگاشته شده است و عمدتاً مربوط به توسعه فناوری توربینهای کلاس F مورد نیاز آینده کشور در سطح ۳۰۰-۲۵۰ مگاوات است. در پروژه حاضر، ارتقاء عمر، عملکرد و توان توربین (بخش داغ) توربینهای گازی موجود در کشور مورد نظر است و تکمیل کننده سند فوق می باشد. هدف این پروژه، شناسایی اولویتهای توسعه فناوری جهت ارتقاء عمر، عملکرد و توان توربین واحد گازی (بخش داغ) نیروگاهی، شناسایی توانمندیهای داخلی و تدوین نقشه راه جهت توسعه و دستیابی به سطح مورد نیاز از فناوریهای اولویت دار جهت ارتقاء توربینهای گازی نیروگاهی کشور است.

۱-۲- شناخت فناوری

توربین گاز از سه بخش اساسی تشکیل شده است (شکل ۱-۱): شامل بخش توربین، بخش کمپرسور و بخش اتاق احتراق. محور مرکزی که پره ها روی آن قرار دارند با سرعت در حال چرخش است و بخش بیرونی پوسته است که به زمین متصل است.

توربین (سمت راست شکل ۱-۱) به بخش دوار داغ اطلاق میشود. البته به مجموعه کل این سیستم (شامل کمپرسور، توربین و محفظه احتراق) نیز توربین اطلاق می شود. توربین هم برای تولید توان الکتریکی کاربرد دارد، هم به عنوان سیستم محرک مکانیکی و هم به عنوان سیستم رانش هواپیماها. آنچه که در این مطالعه بررسی می شود توربینهای مورد استفاده جهت تولید توان الکتریکی مورد مصرف در صنعت نیروگاهی است هر چند که برخی توربینهای نیروگاهی موجود همچون فریم ۵ استفاده صنعتی زیادی نیز دارند.



شکل ۱-۱. توربین گاز و بخشهای اصلی آن (شکل مربوط به توربین گازی V94.2 است).

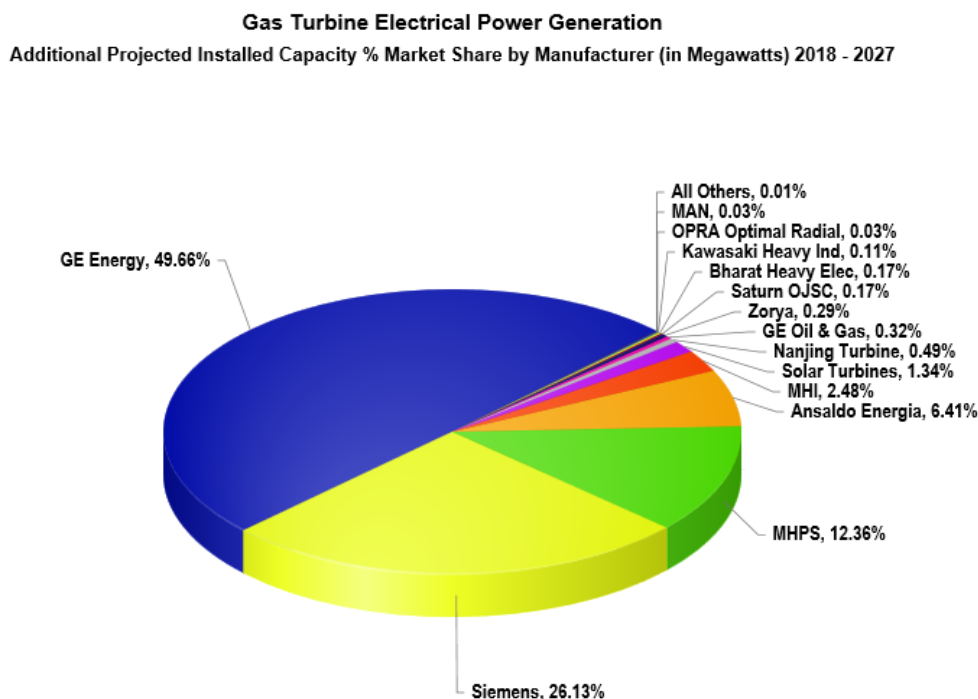
۱-۲-۱- شناسایی بازیگران خارجی

شرکتهای متعدد سازنده توربین گازی در دنیا وجود دارند که از آن جمله می‌توان به شرکتهای زیر اشاره کرد:

- GE
- Siemens
- Mitsubishi-Hitachi (MHP)
- Alstom
- Ansaldo Energia
- Mapna
- Rolls Royce
- Pratt & Whitney

برخی از این شرکتها همچون رولز-رویس و پرت اند ویتنی بیشتر به عنوان سازنده توربینهای هوایی شهرت دارند. هر چند که جی ئی نیز خود به عنوان یکی از مهمترین شرکتهای تولیدکننده توربینهای هوایی است. شرکتهای متعدد دیگری همچون کاوازاکی، مان، بهارات، زوریا و ... نیز سازنده توربینهای گازی هستند که

مستقل یا تحت لیسانس شرکت‌های بزرگ، تولید کننده توربین‌های گازی هستند و سهم کوچکی از بازار را به خود اختصاص داده‌اند. شکل ۱-۲ سهم سازندگان مختلف توربین‌های گازی در کل بازار تولید توربین گازی را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲. پیش‌بینی سهم شرکت‌ها مختلف در توان توربین گازی نصب شده از ۲۰۱۸ الی ۲۰۲۷ [۱].

در این مطالعه، سازندگان مربوط به عمده توربین‌های گازی نیروگاهی کشور بررسی خواهند شد از این رو تمرکز بیشتر روی محصولات موجود از جی‌ئی، زیمنس، میتسوبیشی و مپنا خواهد بود و بررسی مفصل‌تری از توربین‌های این شرکت‌ها در بخش‌های بعد ارائه خواهد شد.

۳-۱- زنجیره ارزش بخش داغ توربین گازی نیروگاهی

همان‌طور که می‌دانیم یک صنعت خاص متشکل از بنگاه‌ها و شرکت‌های مختلفی می‌باشد که در حوزه‌های مختلف زنجیره تأمین آن صنعت، از تأمین مواد اولیه گرفته تا تولید محصول نهایی و تحویل آن به مشتری حضور دارند از این

رو، زنجیره ارزش یک صنعت، ترکیبی از زنجیره های ارزش بنگاه های فعال در آن صنعت می باشد که قرار گرفتن این زنجیره ها در کنار یکدیگر، نشان دهنده این مطلب است که محصول نهایی چطور پس از تولید به دست مشتری نهایی رسیده و برای صنعت مربوطه ارزش خلق می کند. در شکل ۳-۱ زنجیره ارزش صنعت توربین گازی در کشور آورده شده است. همان طور که در شکل مشخص است این زنجیره متشکل از پنج حلقه اصلی می باشد. این حلقه ها عبارتند از:

۱- مطالعات اولیه واحد

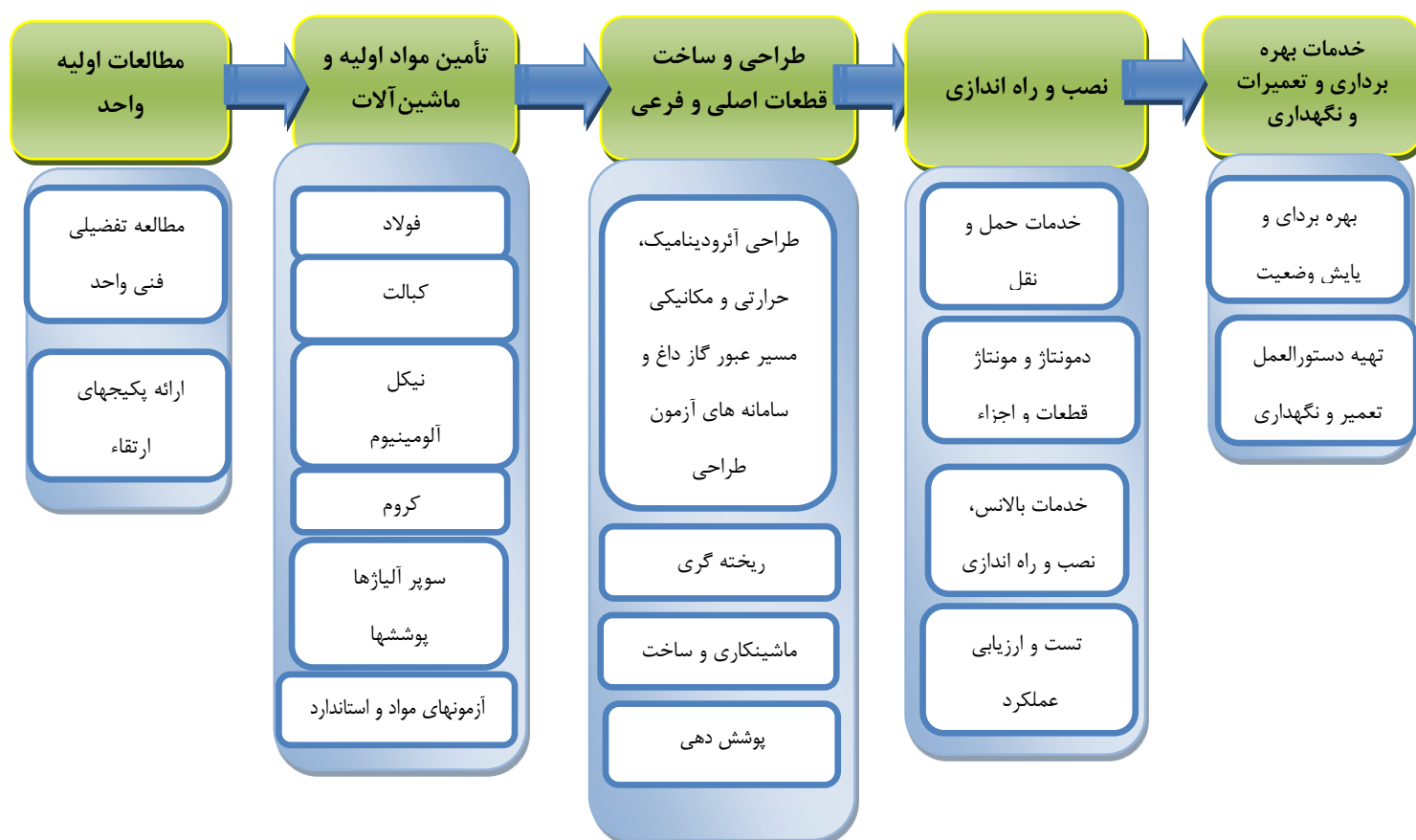
۲- تامین مواد اولیه و ماشین آلات

۳- طراحی و ساخت قطعات

۴- نصب و راه اندازی

۵- خدمات بهره برداری و تعمیرات

در حلقه اول، ارزیابی واحد از لحاظ عمر، عملکرد و توان انجام می گردد و براساس آن پیکج های محصول (ارتقاء فناوری مناسب واحد) تدوین می شود تا براساس ملاحظات اقتصادی مشتری، انتخاب محصول صورت گیرد. در حلقه دوم، شرکت های هستند که مواد اولیه مربوط به محصول مورد نظر را تولید می کنند که استانداردهای ارزیابی مخصوص به خود دارند. در حلقه سوم طراحی توربین انجام می شود و استانداردهای مربوط به اجزای توربین تعیین می گردد و تولید نمونه و پروتوتایپ جهت طراحی در این بخش قرار میگیرد. سپس در حلقه بعد قطعات اصلی و فرعی توربین ساخته می شوند. قطعات تولید شده در مرحله بعد در اختیار شرکت های سازنده توربین یا مونتاژ کار قرار می گیرد که این شرکت ها خود در دو محدوده ی توربین های بزرگ و کوچک فعالیت می کنند. تست و ارزیابی عملکرد محصول در این بخش صورت می گیرد. در انتها شرکت هایی نیز در جهت بهره برداری، تعمیرات و نگهداری محصول فعالیت می کنند. باید توجه داشت ممکن است برخی شرکت ها در چند حلقه در صنعت محصول فعالیت کنند. یعنی ممکن است یک شرکت در زمینه طراحی و ساخت قطعات، مونتاژ توربین، خدمات نصب و راه اندازی و... فعالیت داشته باشد. البته در گزارش مورد بررسی به تشریح کامل این حلقه ها پرداخته نشده است، اما به طور کلی شرکت های فعال در هر کدام از حلقه های زنجیره مشخص شده و در گزارشی دیگر به طور مفصل تر آورده می شوند. لذا در گزارش آتی، زیرساخت ها و ظرفیت های موجود در داخل کشور در هر حلقه زنجیره ارزش به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته می شوند.



شکل ۳-۱ زنجیره ارزش بخش داغ توربین گازی

۴-۱- درخت فناوری

از آنجا که سطح مطالعه این پروژه توربینهای گازی داخل کشور است فناوریهایی که مربوط به توربینهای موجود در داخل کشور است و یا فناوریهای مربوط به ارتقاء آنها ارائه خواهند شد.

فناوریهای عمومی موجود در بخش داغ توربینهای گازی نیروگاهی در جدول ۱-۱ ارائه شده‌اند. بخش دوار و داغ توربین گازی نیروگاهی بستگی به توان خروجی توربین گازی و یا تجربه سازنده از چند مرحله تشکیل شده است که هر مرحله شامل یک ردیف پره متحرک و یک ردیف پره ثابت است که نامهای دیگری همانند باکت برای پره‌های ردیف متحرک و وین و نازل برای پره‌های ردیف ثابت نیز به کار می‌رود. گاز داغ حین عبور از پره‌های ثابت علاوه بر کاهش فشار و افزایش سرعت، تغییر جهت نیز می‌یابد و با ورود به پره متحرک انرژی جنبشی و مکانیکی خود را به پره داده و سپس

وارد مرحله بعدی می‌شود. در انتها نیز از پره متحرک ردیف آخر خارج و وارد دیفیوزر جهت پایدار شدن جریان شده و با خروج از استراتهای دیفیوزر، وارد اگزست می‌شود. به واسطه دما و فشار بالا در ابتدای توربین، مرحله اول تحت سخت‌ترین شرایط کاری قرار دارد. هوای داغ بعد از اتاق احتراق وارد نازل‌های مرحله اول شده که علاوه بر مساله ایجاد تنشهای بزرگ حرارتی هنگام استارت و خاموشی، تحت اکسیداسیون، خزش و فرسایش شدید قرار دارد. جریان سپس وارد ردیف متحرک می‌شود که دوران و تنشهای گریز از مرکز نیز به پره‌ها وارد می‌گردد. بهبود طراحی آئرو دینامیکی پروفیل‌های پره‌ها موجب کاهش افت توان و بهبود عملکرد مراحل می‌شود همچنین کنترل جریانهای چرخشی که در کانالها ایجاد می‌شود بهبود دیگری در عملکرد ایجاد می‌کند. از این رو بهبود طراحی مسیر جریان گاز داغ همواره مورد توجه و بررسی است.

در عمده توربینهای نیروگاهی موجود نیاز به خنک‌کاری پره‌ها وجود دارد. در مراحل ۱ و ۲ معمولاً نیاز به عایق سد حرارتی نیز وجود دارد و خنک‌کاری به تنهایی پاسخگو نیست. با توجه به فشار بازار جهت ارائه توربینهای با بازدهی بالاتر، مهمترین پارامتر موثر در بهبود بازدهی، افزایش دمای هوای ورودی توربین است که این خود نیازمند مواد با استحکام و دوام بالاتر و در کنار آن بهبود خنک‌کاری و پوشش‌های مورد نیاز است. ردیف ثابت و متحرک اول بالاترین فناوریها را به خود اختصاص می‌دهند و برای ردیفهای بعدی می‌توان از فناوری نسلهای گذشته که برای مرحله یک استفاده می‌شد به کار گرفت. در کنار عوامل فوق، مطالعات و تحقیقات صنعتی بسیار در مورد بهینه‌سازی سیستمهای کنترل نشتی از مراحل مختلف توربین نیز انجام می‌گردد که بهبود قابل توجهی در عملکرد توربین ایجاد می‌کند. به عنوان مثال افزودن آب بند بررسی موجب افزایش توان خروجی تا ۱.۵ درصد در توربین جی ئی شده است [۲].

با توجه به بحث فوق، عمده فناوریهای موجود در توربینهای گازی نیروگاهی به ویژه توربینهای در حد کلاس E و همچنین نمونه‌های اولیه کلاس F در رده توربین‌های کوچک و متوسط داخلی (همچون زوریا) در جدول زیر ارائه شده است. این فناوریهای در اکثر توربینهای سازنده های مختلف همچون زیمنس، جی ئی و میتسوبیشی دیده می‌شود.

جدول ۱-۱. فناوریهای عمومی مربوط به بخش داغ دوار توربین گازی.

فناوری	توضیحات
فناوریهای طراحی	طراحی آئرو دینامیکی و حرارتی مسیر گاز داغ: طراحی پروفیل پره ثابت طراحی پروفیل پره متحرک طراحی ترمودینامیکی مسیر عبور جریان گاز

آزمون کسکید سرد و آثرو دینامیک پره‌های توربین آزمون کسکید داغ و انتقال حرارت پره‌های توربین اندازه‌گیری سرعت و دمای جریان اندازه‌گیری دمای سطح پره (پاشش رنگ، ترموکریستال، ...) آزمون عملکرد آب بند طراحی سازه: طراحی مکانیکی سازه و یکپارچگی طراحی کل بخش داغ توربین فناوری تخمین تنش و کرنش در اجزاء داغ آزمون خزش و خستگی اجزاء توربین سیستم تله‌متری و اکتساب داده دوار داغ اندازه‌گیری مستقیم (مانند استرین گیج) و غیرمستقیم (مانند BTT^1) تنش و کرنش	
خنک‌کاری با کانالهای جریان خنک‌کاری خنک‌کاری جت ایمپگمنت طراحی سیستم خنک‌کاری ثانویه خنک‌کاری لبه فرار پره خنک‌کاری لایه ای (فیلم کولینگ)	فناوری انتقال حرارت و خنک‌کاری توربین گازی
فناوری پوشش‌های عایق سد حرارتی YZC – TBC فناوری پوشش ضد اکسیداسیون و خوردگی داغ MCrAlY فناوری پوشش‌های آلومیناید مواد پایه کبالت استحکام بالا مواد پایه نیکل استحکام بالا مواد انجماد جهت دار مواد تک کریستال	فناوری پوشش و مواد
ریخته‌گری تحت خلاء (اینکانل ۳۸، GTD-111، GTD-222، ...) ساخت دیسکهای داغ، ریخته‌گری فولاد سوپرآلیاژ پوشش‌دهی نفوذی، روکشی، سد حرارتی (فناوری مواد و ربات پوششی) ماشینکاری و ساخت ریشه پره ماشینکاری و ساخت کانالهای خنک‌کاری معمول ماشینکاری و ساخت سوراخهای خنک‌کاری روی پره ماشینکاری و ساخت شراذ بلاکهای توربین یکپارچه‌سازی و مونتاژ بخش داغ دوار تعمیر و بازسازی قطعه و پوشش قطعات در محل تعمیر و بازسازی قطعات در دوره تعمیرات اساسی	فناوری ساخت و ماشینکاری
آب بند لایبرنتی آب بندهای تیغه‌ای بین ردیفها	فناوری آب بند

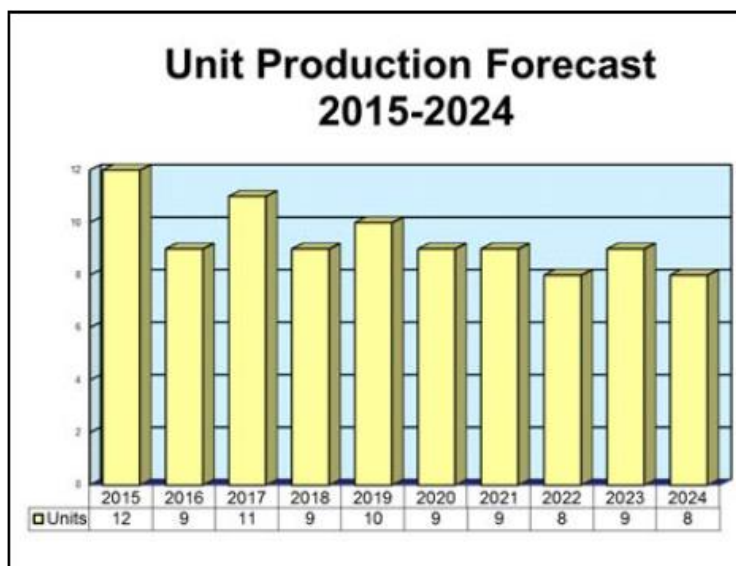
۱-۴-۱- فناوریهای توربینهای گازی جی ئی

توربینهای گازی فریم ۵ و فریم ۹ با مدل‌های MS5001 و MS9001 بیشترین فراوانی توربینهای گازی جی ئی را در ایران دارند که هم در بخش تولید توان الکتریکی استفاده شده‌اند و هم در بخش تولید نیروی محرکه مکانیکی و یا تولید برق در شرکت‌های صنعتی.

۱-۴-۱-۱- توربین گازی فریم ۵ (GE Fram5 MS5000)

بررسی تولید توربین F5 در جهان

بخش نفت و گاز شرکت GE سازنده اصلی توربین F5 است. در کنار آن، شرکت بهارات در هند نیز تولید کننده دیگر این محصولات است. طبق مطالعه منتشر شده در سال ۲۰۱۵ [۳]، پیش‌بینی خوبی برای ادامه فروش این نوع توربین به ویژه به صورت قدرت مکانیکی وجود خواهد داشت (شکل ۴-۱). توربین گازی MS5002E با توان ۳۱ تا ۳۲ مگاوات به عنوان ماشین جدید از این نوع و یا ارتقاء ماشینهای قدیمی F5 ارائه شده است.



شکل ۴-۱. پیش‌بینی فروش توربین گازی GE MS5000 [۳].

گسترده‌گی استفاده از فریم ۵ در دنیا:

تا آغاز سال ۲۰۱۵، تعداد تخمینی ۳۲۰۰ توربین فریم ۵ طراحی GE از سال ۱۹۵۸ در ۷۰ کشور نصب شده بود. تعداد ۷۵۵ دستگاه از این توربینها در حال کار هستند. آمار این توربین در تعدادی از کشورها به صورت زیر است:

- الجزایر: ۱۵۷ واحد
- اندونزی: ۱۲۱ واحد
- ایران: ۱۱۰ واحد
- روسیه: ۱۶۸ واحد
- عربستان سعودی: ۱۵۵ واحد
- امارات متحده عربی: ۱۱۲ واحد
- ایالات متحده: ۸۸۲ واحد
- ونزوئلا: ۱۶۲ واحد

مشخصات توربین: توربین گازی Frame 5 یک توربین سیکل ساده گازی است که در دو طراحی MS5001 (تک شفت) و MS5002 (دو شفت) توسط شرکت GE ارائه شده است. توربین MS5002 در سه نوع C، D، و E ارائه شده است که تنها نوع E در تولید توان استفاده شده است. مشخصات عملکردی توربینهای F5 در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۱-۲. مشخصات عملکردی توربین MS5001 و MS5002 (شرایط ایزو و سوخت گاز طبیعی).

APPLICATION = GENERATOR DRIVE							
Model	ISO Rated Power	Heat Rate	Efficiency	Pressure Ratio	Exhaust Flow	Turbine Speed	EGT
MS5001	26,830 kW	12,687 kJ/kWh	28.4%	10.5:1	125.2 kg/sec	5,094 rpm	483°C
MS5002E	31,100 kW	10,285 kJ/kWh	35.0%	17.0:1	102.0 kg/sec	5,714 rpm	511°C
APPLICATION = MECHANICAL LOAD DRIVE							
MS5002C	38,005 shp 28,340 kW	8,816 Btu/shp-hr 12,470 kJ/kWh	28.8%	8.8:1	274.1 lb/sec 123.4 kg/sec	4,670 rpm	963°F 517°C
MS5002D	43,690 shp 32,580 kW	8,653 Btu/shp-hr 12,239 kJ/kWh	29.4%	10.8:1	311.7 lb/sec 141.4 kg/sec	4,670 rpm	948°F 509°C
MS5002E	42,913 shp 32,000 kW	7,070 Btu/shp-hr 10,000 kJ/kWh	36.0%	17.0:1	225.0 lb/sec 102.0 kg/sec	5,714 rpm	901°F 483°C

جدول زیر اطلاعات و مشخصات فنی توربینهای MS5001 تا آخرین ورژن آن که به PA یا NA معروف است را نشان

می‌دهد.

جدول ۳-۱. اطلاعات فنی ورژنهای مختلف توربین MS5001 [۴].

Model	Ship Dates	kW (NEMA) ⁽¹⁾	Firing Temp (F/C)	Air Flow (10 ³ lbs/hr/ 10 ³ kg/hr)	Exhaust Temp (F/C)	Heat Rate (LHV) Btu/ kW-hr	Efficiency % Btu/hr (LHV)
A	1957-61	10,750	1500/816	662/300	840/449	15,810	21.6
C	1961-64	10,750	1500/816	662/300	835/446	15,810	21.6
D	1961-63	10,750	1500/816	662/300	834/446	15,810	21.6
E	1963	11,500	1500/816	695/315	830/443	15,780	21.6
G	1963-64	12,000	1500/816	695/315	830/443	15,120	22.5
H,J	1964	12,500	1500/816	695/315	820/438	14,430	23.6
K	1965	12,500	1500/816	695/315	820/438	14,430	23.6
L	1966-67	14,000	1600/871	702/318	895/479	14,440	23.6
LA	1968-70	15,250	1650/899	709/322	930/499	14,190	24.1
M	1969-70	16,100	1700/927	716/325	965/518	14,050	24.3
		kW (ISO) ⁽¹⁾					
R	1970-87	19,400	1720/938	767/348	955/513	13,260	25.8
R-N/T	1987-	20,500	1755/957	767/348	970/521	12,780	26.8
N	1970-72	24,600	1730/943	928/421	898/481	12,190	28.0
P	1972-78	24,600	1730/943	938/425	904/484	12,140	28.1
P	1978-86	23,350	1730/943	968/439	901/483	12,020	28.4
P-N/T	1987-	26,820	1765/963	981/445	905/485	11,860	28.7

⁽¹⁾ In early 1970s, Rating Standards Were Changed From NEMA (1000 ft/300m Altitude and 80F/27C) to ISO (Sea Level and 59F/16C) Conditions. To Convert From NEMA to ISO Rating for Approximate Comparison, Multiply NEMA Rating by 1.12. Includes 0/0 Inches H₂O Inlet/Exhaust Pressure Drops. All Ratings Based on Natural Gas Fuel.

انواع مدلها:

MS5001: توربین تک شفته است که آخرین ورژن ارائه شده برای آن MS5001P با ۱۷ مرحله کمپرسور با گایدون متغیر، ۱۲ محفظه احتراق سیلندر-حلقوی^۲ و توربینی دو مرحله‌ای (با خنک‌کاری نازل‌های مرحله اول) است. این مدل، تزریق بخار یا آب را برای کاهش ناکس پیشنهاد می‌کند. لازم به ذکر است که توربین‌های موجود در کشور بیشتر از این نوع یا ورژن N که مشابه آن است می‌باشد.

MS5001R/RN: توربین‌هایی برای کاربرد در سیکل بازیافتی است با کمپرسور ۱۶ مرحله‌ای و کاربرد به عنوان تولید قدرت مکانیکی.

MS5002: این توربین دو شفته از سری F5 است. MS5002A از کمپرسور ۱۶ مرحله‌ای مربوط به سری تک شفت MS5001M که در میانه دهه ۱۹۶۰ بود استفاده می‌کند و مدل MS5002B از کمپرسور MS5001N با ۱۷ مرحله.

MS5002C: این توربین دو شفته در سال ۱۹۸۷ همراه با ارائه ارتقاءهایی بنام N/T^3 برای MS5001 با قدرت نامی ۳۸۰۰۵ اسب بخار با گاز طبیعی ارائه شد که از کمپرسوری ۱۶ مرحله‌ای سود می‌برد. این مدل استفاده از روش تزریق بخار یا آب برای کاهش ناکس را پیشنهاد می‌دهد.

MS5002D: این توربین دو شفته در واقع ورژن ارتقاء یافته فریم ۵ است با ۴۳۶۹۰ اسب بخار قدرت با گاز طبیعی، کمپرسور ۱۷ مرحله‌ای، سیستم احتراق ۱۲ قوطی و توربین دو مرحله‌ای فشار بالا و فشار پایین. جهت کاهش ناکس تزریق آب و بخار را پیشنهاد می‌دهد.

MS5002E: این توربین با توان ۴۲۹۱۳ اسب بخار (۳۲.۵۸ مگاوات) قدرت در سال ۲۰۰۲ ابتدا برای درایو مکانیکی و سپس برای تولید توان الکتریکی توسط جی‌ئی پرده‌برداری شد. این توربین از کمپرسور محوری ۱۱ مرحله‌ای فشار بالا که در واقع، مدل مقیاس شده مستقیم کمپرسور توربین GE-10 است سود می‌برد. توربین آن دو مرحله فشار بالا و دو مرحله فشار پایین دارد (جمعاً ۴ مرحله) و بازدهی سیکل ساده گازی آن بین ۳۵ تا ۳۶ درصد است. ماشین در سال ۲۰۰۴ در شرکت نفت و گاز GE در فلورانس ایتالیا ساخته شد. این مدل مجهز به سیستم احتراق DLN است. توربین دو شفته است که شفت کمپرسور با دور ۷۵۰۰ rpm دوران می‌کند و شفت بخش کم فشار نیز با سرعت ۵۷۱۴ rpm می‌چرخد [5].

MS5002R: این طراحی برای کاربرد فریم ۵ در سیکل بازیافت درایو مکانیکی ارائه شده است.

ارتقاءها:

از زمان ارائه توربین گازی F5 در سال ۱۹۵۷ برنامه‌های ارتقاء مختلفی برای ورژن تک شفت MS5001 و دو شفت MS5002 ارائه شده است. از تغییرات توربین در ارتقاء می‌توان به قطعه ترنزشن اتاق احتراق، بهبود نازل‌های مرحله ۲، باکتهای شراذ دار شده مرحله ۲، تغییر جنس مواد باکت مرحله ۱ به GTD 111 و تغییر در پوسته خارجی اتاق احتراق اشاره کرد. در ورژن MS5001P، ارتقاء موجب افزایش ۵.۱ درصدی توان و بهبود ۲.۹ درصدی هیت‌ریت شده است [۳].

توربینهای MS5001 در ایران

جدول زیر اطلاعات فراوانی و قدرت نامی تعدادی از توربینهای تولید توان الکتریکی کوچک نیروگاهی داخل کشور را نشان می‌دهد. دسته بزرگی از این توربینها از نوع فریم ۵ است. توربینهای MS5002 درایو مکانیکی که از سری MS5000 هستند در صنعت کشور نیز بکار گرفته شده‌اند که در این مطالعه بررسی نمی‌شوند و در جدول آورده نشده است.

جدول ۴-۱. فراوانی تیپ توربینهای گازی کوچک.

تعداد واحد	توان	(مدل) سازنده توربین
61	25	GE (F5)
13	25	Hitachi (F5)
10	32	Asec
8	32	Fiat
7	30	BBC
4	28	Hitachi (H25)
2	29	FT4C-3DF
2	38	GEF6
1	12	Sulzer
1	42	MGT-40

اطلاعات جدول ۴-۱ نشان می‌دهند که توربینهای GE F5، Asec و Fiat بیشترین فراوانی را در واحدهای حدود ۲۵ مگاوات دارند و البته توربین F5 با ۷۴ واحد با فاصله قابل توجهی نسبت به دو توربین دیگر توانسته است ۶۷ درصد تعداد واحدها را از آن خود نماید. به واسطه تعداد کم واحدهای دیگر و حتی واحدهای آسک و فیات ارائه برنامه توسعه فناوری برای این توربینها مقرون به صرفه نمی‌باشد. بنابراین این مطالعه، برنامه توسعه فناوری توربینهای F5 در محدوده توانی ۲۵ مگاوات را مطالعه و ارائه خواهد نمود.

با توجه به زمان بهره‌برداری و همچنین توان توربینهای فریم ۵ می‌توان نتیجه گرفت که این واحدهای نیروگاهی دارای تیپ توربین MS5001 P, N هستند. واحدهای دیگر فریم ۵ که طبق آمار فروش شرکت جی‌ئی در ایران وجود دارند

یا از نوع صنعتی (MS5002) هستند، یا تغییر کاربری داده شده و یا مستهلک شده‌اند. بخش داغ توربینهای فریم ۵ موجود در کشور می‌توانند به ورژن N/T و همچنین آب بندهای پیشرفته ارتقاء یابند.

جزئیات فناوریهای بخش داغ توربین گازی فریم ۵

جدول ۵-۱ لیست فناوریهای پیشرفته مربوط به توربین MS5001P را نشان می‌دهد. این ارتقاءها به نام N/T معروف می‌باشند. از مرجع [۴] برای شناسایی این ارتقاءها استفاده شده است.

جدول ۵-۱. فناوریهای پیشرفته توربین گازی MS5001P (PG 5341)

بخش مربوطه	شرح ارتقاء	نام ارتقاء و الزامات
ارتقاء N/T (فناوری پیشرفته)		
نازل	فناوری نازل پیشرفته مرحله ۱ (آئرو پیشرفته، بهبود خنک کاری و طراحی مکانیکی، بهبود پکیجینگ)	New-tech - FT3R نصب باکت N/T برای مرحله اول (با باکتهای قبلی رزناس محتمل است)
	فناوری نازل پیشرفته مرحله ۲ (آئرو پیشرفته، ارتقاء ماده، بهبود خنک کاری و طراحی مکانیکی، بهبود پکیجینگ و مونتاژ)	New-tech - FT3T شرادبلاکهای جدید برای مراحل ۱ و ۲ اصلاح در پوسته و شراد بلاکهای مراحل اصلاح در پینهای نازل و ترموکوپل چرخها
باکت	فناوری باکت پیشرفته مرحله ۱ (طراحی جدید، ارتقاء ماده و پوشش، حذف خنک کاری)	New-tech - FT3R با نازل قدیم و جدید می‌تواند نصب شود
	فناوری باکت مرحله ۲ تیغه دار (در صورت نصب هانی کامب)	New-tech - FT3D, FT3-E
کل توربین	فناوری اصلاح توربین برای شرایط گرم (افزایش سرعت دوران از ۵۱۰۰ به ۵۳۵۵ دور در دقیقه)	FT3X
ارتقاءهای آب بندهای پیشرفته		
آب بند پیشرفته	هانی کامب و تیغه برنده شراد نوک پره FS2T	روبروی باکت ۲
	آب بند سایش پذیر	روبروی باکت ۱، داخل بلاک شراد مرحله ۱
	آب بند برسی FS2Z	داخل دیافراگم وین ۲
	سیل اسپیلاین، سیل W و (FS2Y) E	بلاک شراد مرحله ۱

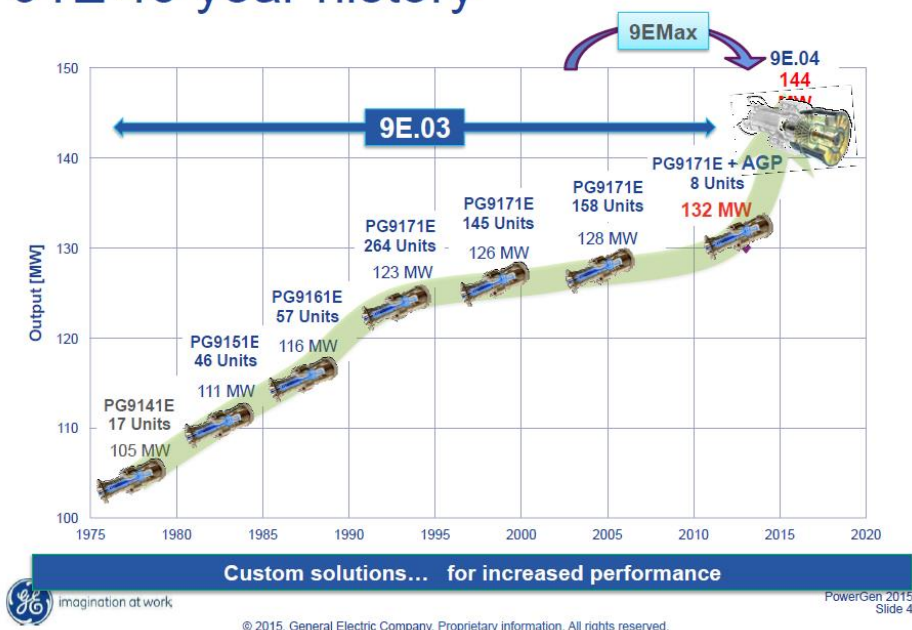
کنترل خنک کاری چرخ مرحله اول	پکینگ آب‌بندی فشار بالای برسی FS2V	
سایر فناوریهای پیشرفته		
ارتقاء به شرایط گرم	اصلاح سیستم کنترلی FT7I	Tilted Control Curve - روی توربین قدیم و جدید نصب میشود
تقویت توان و کاهش آلایندگی	تقویت توان و کاهش آلایندگی با تزریق آب به دیسشارژ کمپرسور (توان) و بخار به اتاق احتراق (ناکس)	
ارتقاء به سیستم بازیافت حرارت	بهبود عملکرد با انتقال حرارت گاز خروجی به هوای ورودی محفظه احتراق FT1H	جایگزینی پوسته توربین، دیسشارژ و سیستم احتراق، سیستم اتمایز سوخت مایع
اگزاست بهبود یافته	تغییر طراحی پلنوم	
ترموکوپل چرخ	بهبود کاربرد و مدار ترمینال	ماشینکاری و اصلاح روی چرخ توربین
خنک کاری روغن روانکاری	افزودن سیستم خنک‌کاری اضافی برای روزهای گرم	
ژنراتور	بهبود سیستم خنک کاری در صورت افزایش توان توربین اصلاح ضربه یا سیستمهای جبران ساز توان راکتیو جهت ساپورت توان اضافی توربین، سیم پیچی مجدد در صورت افت قابل توجه قابلیت اطمینان	

۱-۴-۱-۲ - توربینهای گازی GE Frame 9E

اولین توربین MS9001E در سال ۱۹۷۵ بر پایه توربین MS9001B توسعه یافت. توربین MS9001B نیز خود از توربین MS7001B توسعه یافته بود که دارای دمای هوای ورودی ۱۰۰۴ درجه سانتیگراد است. این ورژن از خنک‌کاری هوایی مرحله اول بهره می‌برد. با تجربیات بدست آمده از MS7001E، در سال ۱۹۷۸ ورژن PG9141E ارائه شد که دمای ورودی توربین به ۱۰۶۸ درجه سانتیگراد می‌رسید. از آن زمان ارتقاء در دمای ورودی توربین با تکیه بر پیشرفتهای صورت گرفته در مواد، پوشش و خنک‌کاری صورت گرفته است. ورژن AGP و 9Emax آخرین ورژنهای ارائه شده توسط GE در کلاس E است که دمای ورودی توربین تا ۱۱۶۰°C افزایش یافته است. شکل ۵-۱ روند افزایش توان و عملکرد توربین گازی فریم 9E را نشان می‌دهد. توربینهای گازی موجود در کشور از دو ورژن ۱۲۳ مگاوات و ۱۱۶ مگاوات هستند که ارتقاء آنها در این بخش ارائه خواهد شد. این ارتقاءها می‌تواند توربین ۱۲۸ مگاواتی را نتیجه دهد. دو ارتقاء نهایی ارائه

شده برای 9E با نامهای AGP و 9E.04 مشخص شده اند که در کلاس 9E.04 یا 9EMax توربین از ۳ مرحله به ۴ مرحله تبدیل می شود. ارتقاءهای AGP و 9EMax جداگانه در بخشهای بعدی ارائه خواهند شد.

91E 40 year history



شکل ۵-۱. روند توسعه فناوری توربینهای گازی 9E [۶].

۳-۱-۴-۱- مواد قطعات توربین گازی فریم 9E

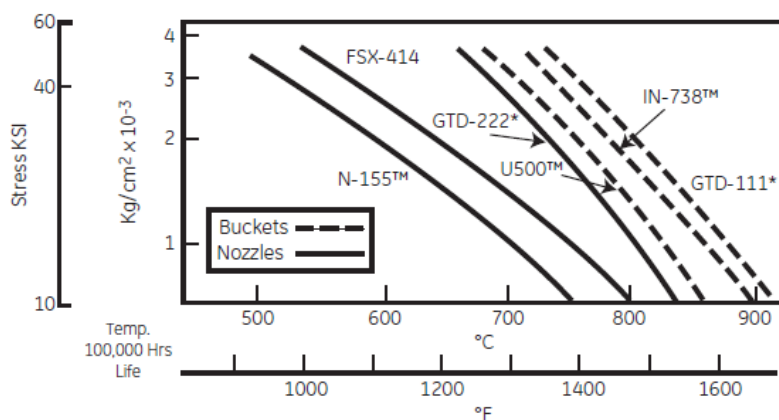
اکثر بهبودهای طراحی در کنار تغییر در مواد صورت گرفته است. جدول ۶-۱ آلیاژهای مورد استفاده در باکتهای نازلها و سایر اجزاء توربین گازی را نشان می دهد. مواد مشخص شده با GTD آلیاژی با پتنت جنرال الکتریک را نشان می دهند. برخی از این مواد در حال حاضر استفاده نمی شوند.

جدول ۶-۱. آلیاژهای مورد استفاده در توربین گازی [۲].

Nominal Composition (%)													Component
Ta	B	C	V	Cb	Al	Ti	Mo	W	Fe	Co	Ni	Cr	
													Buckets
—	0.006	0.07	—	—	3	3	4	—	—	18.5	BAL	18.5	U500™
—	0.02	0.07	—	—	4.25	3.35	5.3	—	—	17	BAL	15	Rene 77™ (U700™)
1.75	0.001	0.1	—	0.9	3.4	3.4	1.75	2.6	0.2	8.3	BAL	16	IN-738™

2.8	0.01	0.1	–	–	3	4.9	4.5	3.8	–	9.5	BAL	14	GTD-111*
Nozzles													
–	0.01	0.5	–	–	–	–	–	8	1	BAL	10	25	X40™
–	0.01	0.25	–	–	–	–	–	8	1	BAL	10	25	X45™
–	0.01	0.25	–	–	–	–	3	7	1	BAL	10	29	FSX-414
–	–	0.2	–	–	–	–	–	2.5	BAL	20	20	21	N-155™
1	0.008	0.1	–	0.8	1.2	2.3	–	2	–	19	BAL	22.5	GTD-222*
Combustors													
–	–	0.1	–	–	–	–	–	–	BAL	–	13	23	SS309
–	0.005	0.07	–	–	–	–	9	0.7	1.9	1.5	BAL	22	Hastelloy-X™
–	–	0.06	–	–	0.4	0.4	6	–	0.4	20	BAL	20	Nimonic 263™
–	0.01	0.05	–	–	–	–	–	14	1.5	BAL	22	22	HA-188™
Turbine Wheels													
–	0.006	0.06	–	2.9	–	–	–	–	37	–	BAL	16	IN-706™
–	–	0.3	0.25	–	–	–	1.25	–	BAL	–	0.5	1	Cr-Mo-V
–	0.006	0.08	0.25	–	0.3	0.3	1.2	–	BAL	–	25	15	A286™
–	–	0.12	0.3	–	–	–	1.7	–	BAL	–	2.5	12	M152™
Compressor Blades													
–	–	0.11	–	–	–	–	–	–	BAL	–	–	12	AISI 403
–	–	0.15	–	0.2	–	–	–	–	BAL	–	–	12	AISI 403+Cb
–	–	0.03	–	–	–	–	0.8	–	BAL	–	6.3	15.5	GTD-450

شکل ۶-۱ می تواند استحکام گسیختگی مواد مورد استفاده در باکتها و نازلها را مقایسه کند.



شکل ۶-۱. مقایسه تنش گسیختگی خزشی مواد باکت و نازلها [۲].

۱-۴-۱- جزء فناوریهای بخش داغ توربین گازی فریم 9E

فناوریهای پیشرفته توربینهای فریم 9E در جدول ۷-۱ ارائه شده است. لازم به ذکر است منظور از فناوری، دانش فنی مربوط به طراحی و ساخت است و هر دو جزء را شامل می‌شود. این جدول اطلاعات فناوریهای تا ۲۰۰۸ را ارائه می‌دهد. دو نسل آخر توربینهای 9E یعنی ورژنهای AGP و 9EMax به صورت جدا در این بسته آورده شده‌اند و در ادامه شرح مفصل‌تر فناوریهای آنها و تفاوت نسبت به ورژن PG9171E ارائه می‌گردد.

جدول ۷-۱. فناوریهای مربوط به توربین گازی (PG9171 E) MS9001 E و ارتقاءهای مربوطه.

توضیحات	فناوری	
پوشش پیشرفته ETBC بهبود خنک‌کاری دیواره کناری بهبود عملکرد با آب بند اسپیلاین و آویز وتری	فناوری نازل پیشرفته مرحله ۱ (برای کارکرد تا ۱۱۴۰ درجه سانتیگراد)	وین یا پره ثابت
تغییر در طراحی خنک‌کاری ارتقاء مواد به GTD-222+ (در صورتی که قبلاً اعمال نشده باشند)	فناوری ارتقاء مواد و خنک‌کاری پیشرفته نازل مرحله ۲	
برای توربین PG9171E همراه با باکت پیشرفته ۳	فناوری نازل پیشرفته مرحله ۳ (آئرو پیشرفته)	
فناوری پوشش پیشرفته DVC TBC خنک‌کاری پیشرفته ریب دار	فناوری ارتقاء عمر باکت مرحله ۱ (پوشش و خنک‌کاری پیشرفته)	باکت یا پره متحرک و شراد بالا
برای مرحله ۱	فناوری شراد بالا یک تکه	
ارتقاء پوشش به GT-33 بهبود طراحی شراد نوک	فناوری ارتقاء باکت مرحله ۲ (به پوشش پیشرفته و شراد نوک پره جدید)	
برای توربین PG9171E همراه با نازل پیشرفته ۳	فناوری باکت پیشرفته مرحله ۳ (آئرو پیشرفته)	آب بند
روبروی پره ۲ و ۳ کلاس E برای ورژنهای PG9171E، برای توربینهای کلاس F و HA	هانی کامب و تیغه برنده شراد نوک پره	
روبروی پره ۱ برای ورژنهای PG9171E، برای توربینهای کلاس F و HA	آب بند سایش پذیر	

	آب بند بررسی	داخل وین ۲، آخر کمپرسور و در سیل یاتاقان ۲ در ارتقاء تمام سریهای ۵، ۷ و ۹ پیشنهاد شده است.
	آب بند پارچه ای	بین بلوکهای شراذ مرحله اول در ارتقاء تمام سریهای ۵، ۷ و ۹ پیشنهاد شده است.
	اسپیلاین سیل و آویز وتری	نازل مرحله ۱
دیفیوزر و اگزاست	فناوری فریم اگزاست پیشرفته	برای ورژنهای PG9171E
	فناوری پلنوم اگزاست پیشرفته 9E	برای ورژنهای PG9171E
ارتقاء AGP	ارتقاء طبقه توربین داغ از PG9171E به AGP	افزایش دمای ورودی، بازطراحی مسیر گاز، تغییر در جنس مواد پره دوم
ارتقاء 9Emax	ارتقاء توربین PG9171E به 9EMax	تمام طبقه توربین بازطراحی شده و از ۳ مرحله به ۴ مرحله تبدیل می شود.
فناوریهای کلاسه های دیگر		
HA	آب بندهای نزدیک مسیر جریان	در توربین HA و مشتق از توربینهای هوایی است
	استارت روبااست	در توربین HA
	بارگیری سریع	در تمام سریها
	انعطاف پذیر در سوخت مایع و گازی	در تمام سریها
	ماژولارسازی وسایل جانبی	وسایل جانبی از اتاقک تا لوله کشی، کابل و برق، نرده گذاری و موجب ۲۵ درصد کاهش زمان کامپینینگ شده است
	کنترل لقی نوک پره توربین	

۱-۴-۱-۵ - آخرین ارتقاءهای ارائه شده برای توربین فریم 9E

در سایت شرکت GE نیز برای تعدادی زیادی از مدل های این شرکت، پیشنهاد ارتقا ارائه شده است. در شکل ۷-۱، ارتقاها ی پیشنهادی شرکت GE برای توربین گاز 9E ارائه شده است. مهمترین مواردی که به بخش توربین مربوط است،

افزایش توان و عمر^۴، 9Emax و راه‌حل دمای احتراق^۵ است. مورد دوم همانطور که از اسم آن مشخص است، فقط مربوط به توربین 9E است، اما مورد اول و سوم در مدل‌های متفاوت قابلیت اعمال دارد.

GAS TURBINE UPGRADES SELECTOR

Explore where our upgrades can take you. Select your turbine type and the benefits you're interested in learning more about.

FILTER BY TURBINE

9E

FILTER BY BENEFITS

Select

SEARCH BY KEYWORD

Search Upgrades

Showing 10 Upgrades < 1 >

Most Recent



Dry Low NOx (DLN) 1+ Combustion Solution



DLN Turndown Enhance Combustion



9EMax



Rotor Life Management



Combustion Fuel Flexibility



Rotor-In Major Inspection



Power Lifemax



Flange-to-Flange Replacement



T-Fire Solutions



Advanced Extensor

شکل ۷-۱ ارتقا‌های پیشنهادی سایت GE برای توربین 9E [۷].

راه‌حل دمای احتراق، شامل اصلاح مسیر گاز داغ است و طبق سایت این شرکت به توربین 9E و 6B قابلیت اعمال دارد. همچنین ارتقای افزایش توان و عمر نیاز به ارتقا‌های مسیر گاز پیشرفته^۶، ارتقای سیستم کنترل OpFlex، تعویض از فلنج تا فلنج^۷ و محفظه احتراق با ناکس مینیمم^۸ است (شکل ۸-۱). ارتقای مسیر گاز پیشرفته، فاصله زمانی تعمیرات^۹ را به ۳۲۰۰۰ هزار ساعت افزایش می‌دهد (مقدار پایه آن ۲۴۰۰۰ هزار ساعت است). تعویض از فلنج تا فلنج نیز به معنای

Power Lifemax^۴

T-fire^۵

Advanced gas path (AGP)^۶

Flange-to-flange replacement^۷

Dry Low NOx combustion^۸

Maintenance^۹

جابجائی بطور کامل توربین با مدل جدید و ارتقا یافته است. ارتقای سیستم کنترل OpFlex، نیز باعث کاهش مصرف و هزینه سوخت، کاهش زمان روشن شدن، افزایش توان، انعطاف پذیری سوخت و ... می شود.

Power LifeMax

WANT TO LEARN MORE?

BENEFITS

WHAT CAN UPGRADING DO FOR YOU?

- The **Advanced Gas Path** delivers industry-leading upgrade performance in output, while extending maintenance intervals up to 32,000 hours.
- **OpFlex Advanced Controls** Solutions position you to capture new revenue streams, reduce operating costs, and maintain compliance.
- A **flange-to-flange replacement** solution can deliver significant output improvements and efficiency gains.
- **Dry Low NOx** combustion technology can broaden your operating envelope while dramatically lowering gas turbine emissions.

PRODUCT DETAILS

NEXT STEPS

[CONTACT US FOR A QUOTE](#)

FIND OUT MORE

شکل ۸-۱ موارد ارتقای افزایش توان و عمر [۷].

عمده تمرکز در ارتقای مسیر گاز پیشرفته، همانطور که از نام آن پیداست، مربوط به بخش داغ و شامل پره ها و وین های توربین و آب بندها است. با این کار توان، کارائی و آمادگی^{۱۰} توربین افزایش پیدا کرده و مصرف سوخت کاهش پیدا خواهد کرد. البته با استفاده از آن و سیستم کنترل پیشرفته OpFlex، می توان همزمان از مزایای کارائی و انعطاف پذیری کارکرد توربین استفاده کرد. طبق اطلاعات سایت شرکت GE این ارتقا برای توربین های 6F، 7F، 9F و 9E استفاده شده است و بسته به مدل، میزان افزایش کارائی و توان متفاوت است که در جدول ۸-۱ ارائه شده است.

^{۱۰}Availability

جدول ۸-۱ میزان افزایش در مدل‌های متفاوت با استفاده از ارتقای پیشرفته مسیر گاز [۷].

تعداد استارت	محدوده زمانی بازدید	کاهش نرخ حرارت (%)	افزایش کارایی (%)	مدل
۹۰۰	۳۲۰۰۰	۱/۲	۴/۲	6FA (6F.03)
۱۲۵۰	۳۲۰۰۰	۲/۴	۶	7FA (7F.03) with DLN2.6
۱۲۵۰	۳۲۰۰۰	۳	۱۰	7FA (7F.03) with DLN2.6+
۱۲۰۰	۳۲۰۰۰	۲	۵/۴	9FA (9F.03) with DLN2.6+
۱۲۰۰	۳۲۰۰۰	۲/۷	۶/۷	9FA (9F.03) with low dp DLN2.6+
۹۰۰	۳۲۰۰۰	۱	۶	9FB (9FB) with low dp DLN2.6+
۹۰۰	۳۲۰۰۰	۱	۶	9E (9FB) with low dp DLN2.6+

ارتقاء (AGP) Advanced Gas Path

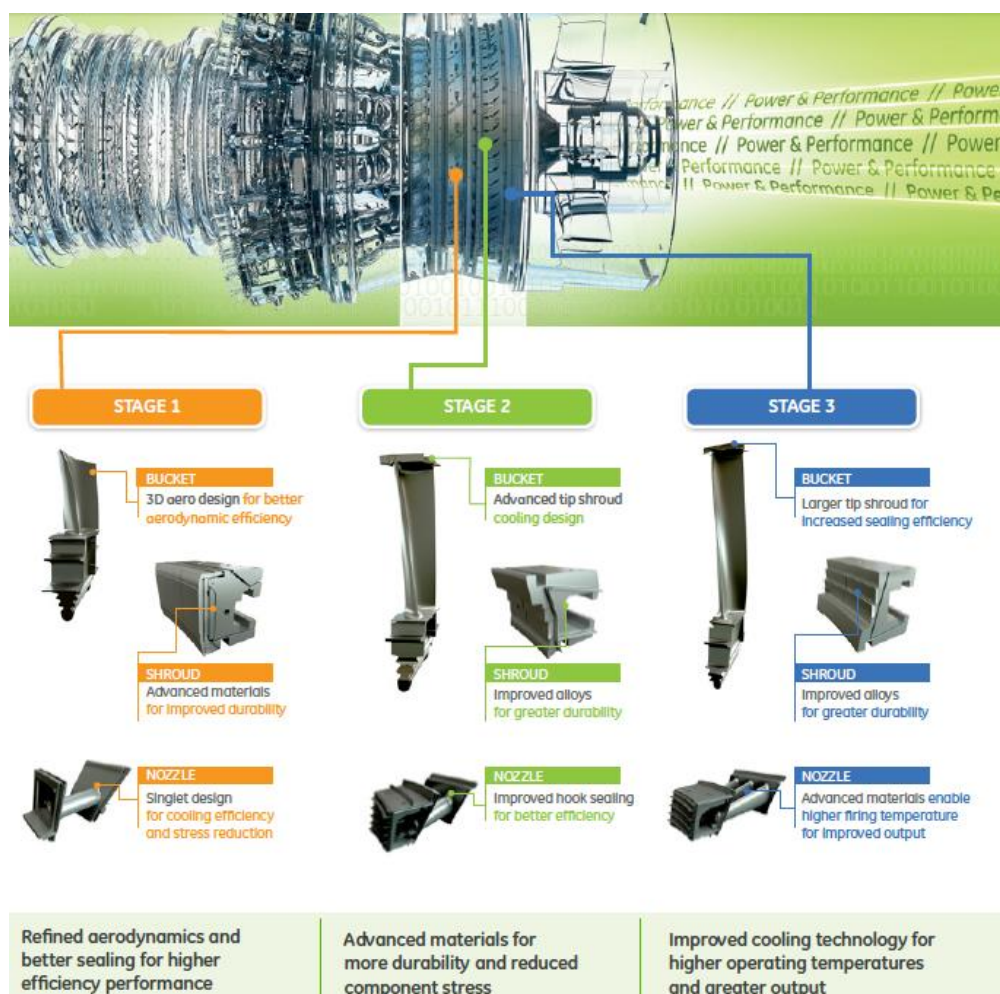
همانطور که بیان شد، تمرکز اصلی در ارتقای مسیر گاز پیشرفته، بر روی آب‌بندها و پره‌ها در توربین قرار دارد و بعنوان نمونه خلاصه مزایا و فناوری‌های استفاده شده در بسته ارتقا پیشرفته مسیر گاز داغ (AGP) برای 9E در شکل ۹-۱ نشان داده شده است. مبنای بهبود عملکرد نسبت به توربین ۱۲۸ مگاواتی است.

AGP technology	✓ B/E, FA/B, 6C and H experience	Benefits	✓ - 1.5% CC HR (-1.7% SC HR)
	✓ Cooling and sealing improvements		✓ +3.8% CC MW (+3.6% SC MW)
	✓ Improved clearances		✓ Higher exhaust energy
	✓ Advanced materials		✓ Improved availability.. 32k
	✓ Balanced work split		✓ Improved life.. 96k
			✓ Fuels.. NG, LF, HFO * 109E estimate at ISO, NG

شکل ۹-۱ خلاصه مزایا و فناوری‌های استفاده شده در بسته ارتقا پیشرفته مسیر گاز داغ برای 9E Frame [۶].

در شکل ۱۰-۱ و شکل ۱۱-۱، جزئیات ارتقا در اجزای متفاوت توربین در ارتقای پیشرفته مسیر گاز نشان داده شده است. همانطور که مشخص است در شراد سگمنت های ردیف اول، پوشش های فناشونده^{۱۱} ارتقا یافته و ارتقای مواد و در ردیف دوم و سوم، از مواد پیشرفته و از آب بند لانه زنبوری برای کاهش لقی و نشتی و نهایتاً افزایش کارایی استفاده می شود. در پره ردیف اول، روش های خنک کاری پیشرفته، آب بندی در ریشه^{۱۲} و بهبود مواد و در پره ردیف دوم، روش های خنک کاری، آب بندی در ریشه و طراحی شراد ارتقا می یابد و در پره سوم طراحی سه بعدی و ارتقای طراحی شراد انجام می شود. در وین اول با تغییر مواد، خنک کاری پیشرفته و ارتقای آب بندها (آب بند پارچه ای^{۱۳})، در وین دوم با خنک کاری پیشرفته، استفاده از آب بندهای بررسی و پارچه ای و ارتقای ماده به GTD-262 و در وین سوم نیز با طراحی سه بعدی، کارایی ارتقا پیدا می کند. همانطور که ذکر شد، معمولاً همراه با این ارتقاها، ارتقای سیستم کنترلی و همچنین برخی از مراحل کمپرسور انجام می گیرد. در شکل ۱۲-۱، تصاویر بروسکوپ از یک توربین پس از چهار و دوازده هزار ساعت از ارتقای پیشرفته مسیر گاز نشان داده است، که اجزای توربین در وضعیت مناسبی قرار دارند.

Abradable^{۱۱}Dovetail^{۱۲}Cloth seal^{۱۳}

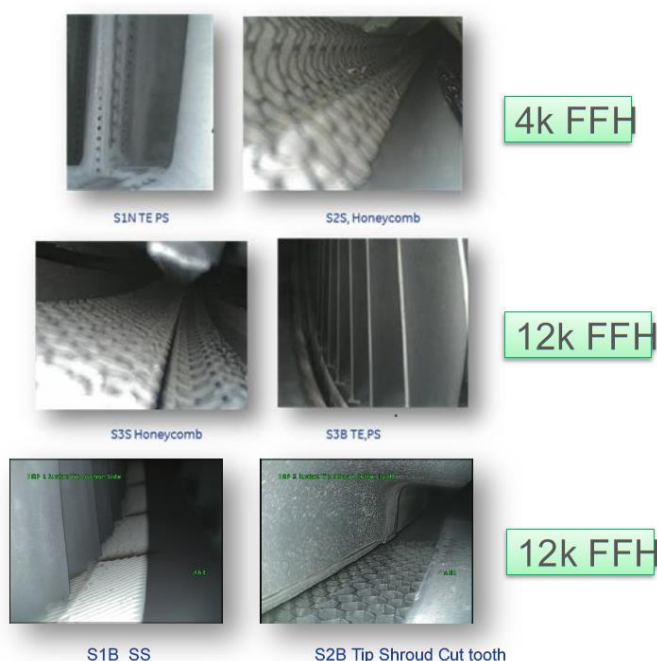


شکل ۱-۱ جزئیات ارتقای در مراحل توربین در ارتقای پیشرفته مسیر گاز [۸].

ارتقاءهای بررسی شده در بخش قبل نشان می‌دهند که در ارتقاء به مسیر گاز پیشرفته نیاز به ارتقاء مواد در نازل مرحله ۲، شراد بلاک مراحل ۱ و ۳ و نازل مرحله ۳ می‌باشد. جنس نازل مرحله ۲ به GTD-262 ارتقاء یافته است که موجب کاهش میزان خنک‌کاری و بهبود عمر خواهد شد. ارتقاءهای خنک‌کاری شامل آشفته ساز جریان در ارتقاءهای قبلی ارائه گردید که برای باکت مرحله ۲ در ارتقاء به مسیر گاز پیشرفته نیز ارتقاء به آشفته ساز جریان صورت خواهد گرفت. آب‌بندی ریشه ارتقاء متفاوتی است که در این ورژن در ریشه باکتهای مراحل ۱ و ۲ اعمال می‌شود. سایر ارتقاءها مشابه ارتقاءهای قبلی است.

Stage	Part	Improvement	Benefit
1 st	Nozzle	Improved sealing Advanced cooling	Clearances Durability/Perf
	Bucket	Turbulators Dovetail sealing	Durability/Perf Clearances
	Shroud	Abradable shroud	Clearances
2 nd	Nozzle	Advanced cooling GTD*262 Alloy	Durability and performance
	Bucket	Advanced Cooling Dovetail sealing	Durability/Perf Clearances
	Shroud	Abradable honeycomb	Clearances
3 rd	Nozzle	3D aero	Performance
	Bucket	3D aero	Performance
	Shroud	Abradable honeycomb	Clearances

شکل ۱۱-۱ تغییر و مزایای ارتقا در اجزای متفاوت توربین در ارتقای پیشرفته مسیر گاز [۶].



شکل ۱۲-۱ تصاویر بروسکوپ از یک توربین پس از چهار و دوازده هزار ساعت از ارتقای پیشرفته مسیر گاز [۶].

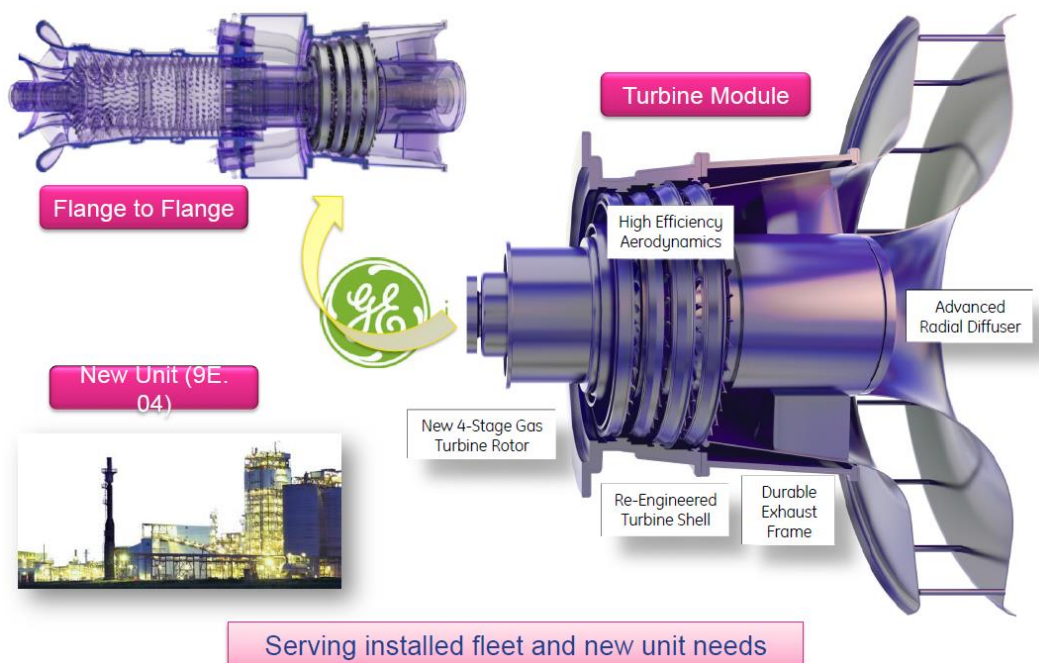
ارتقاء 9EMax

ارتقای 9Emax اولین بار در سال ۲۰۱۷ انجام شد و با افزایش یک مرحله به توربین، بدون کاهش قابلیت اطمینان، کارایی توربین گاز افزایش یافته است. در این توربین، توان به ۱۴۴ مگاوات افزایش پیدا می کند (۱۲.۵٪ افزایش) و سیکل ترکیبی نیز توانش به ۲۱۰ مگاوات (۱۱.۷٪ افزایش) می رسد. دمای هوای ورودی به ۱۱۶۰ درجه خواهد رسید که ۳۶

درجه نسبت به توربینهای معمول 9E افزایش دارد و موجب بهبود عملکرد خواهد شد. با کاهش مصرف سوخت، کارایی در سیکل ساده و ترکیبی به ۳۷ و ۵۳/۵ درصد می‌رسد و محدوده زمانی بازدید و تعداد استارت مجاز به ۳۲۰۰۰ ساعت و ۹۰۰ مرتبه می‌رسد (شکل ۱۳-۱). برای این ارتقا، علاوه بر مراحل توربین که شامل پره‌ها، وین‌ها و شراد سگمنت‌ها است پوسته، روتور و دیفیوزر نیز باید ارتقا یابند (شکل ۱۴-۱). در بسیاری از ارتقاها، توربین، باید تغییراتی در محفظه احتراق و کمپرسور صورت گیرد. بعنوان نمونه، برای افزایش حاشیه پایداری وین‌های انتهایی کمپرسور (S17, EGV1&2) به دلیل افزایش دبی و سرعت جریان و ... آنها را شراد دار می‌کنند [۲].

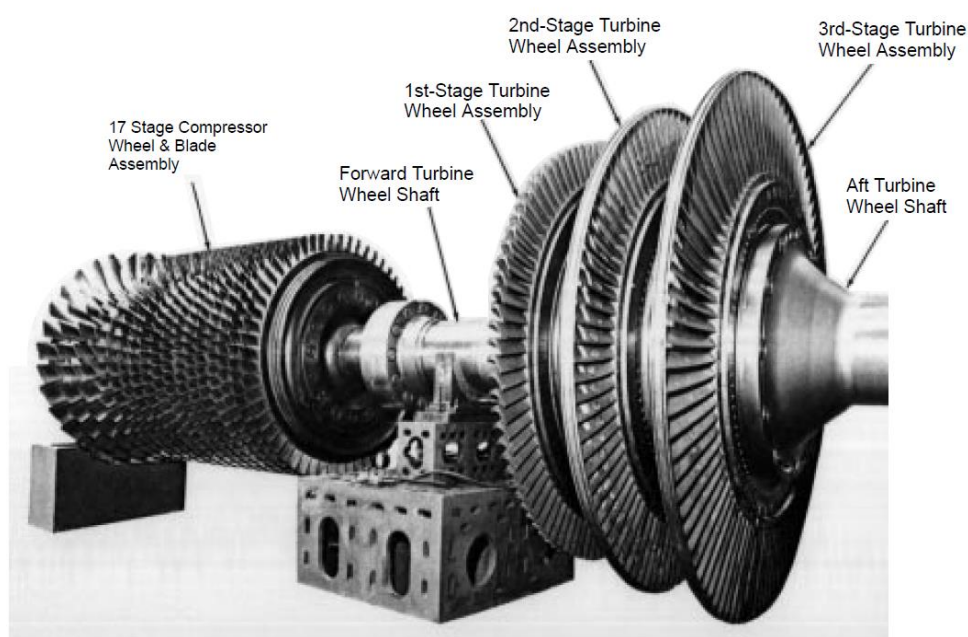
	9E PIP	9EMax
Simple Cycle		
Output (MW)	128	144
Efficiency	34.2%	36.9%
Heat Rate (BTU/kWh)	9972	9250
Firing Temp (°F)	2055	+64
Exhaust Flow (pps)	911	911
Exhaust Temp (°F)	1016	1009
Combined Cycle (109E)		
Output (MW)	188	210
Efficiency	50.3%	53.6%
Heat Rate (BTU/kWh)	6786	6370
Delta Values		
Δ SC Output (MW)	baseline	12.50%
Δ SC Heat Rate		-7.24%
Δ CC Output (MW)		11.70%
Δ CC Heat Rate		-6.03%

شکل ۱۳-۱ میزان تغییر پارامترهای ترمودینامیکی تحت ارتقای 9Emax [۶].

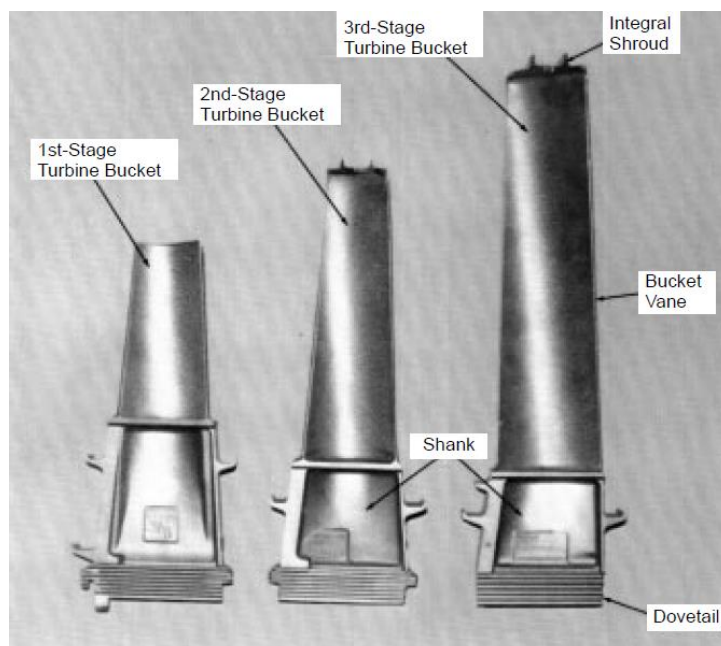


شکل ۱-۱۴ اجزای تحت ارتقای 9Emax [۶]

۱-۴-۱-۶- تصاویر منتخب از توربین گازی فریم 9E



شکل ۱-۱۵. روتور توربین 9E GE Frame (PG9171E).



شکل ۱۶-۱. پره‌های سه ردیف اول توربین (PG9171E) MS9001E.



شکل ۱۷-۱. مراحل ۱، ۲ و ۳ توربین گازی نیروگاه منتظر قائم (PG9161E).

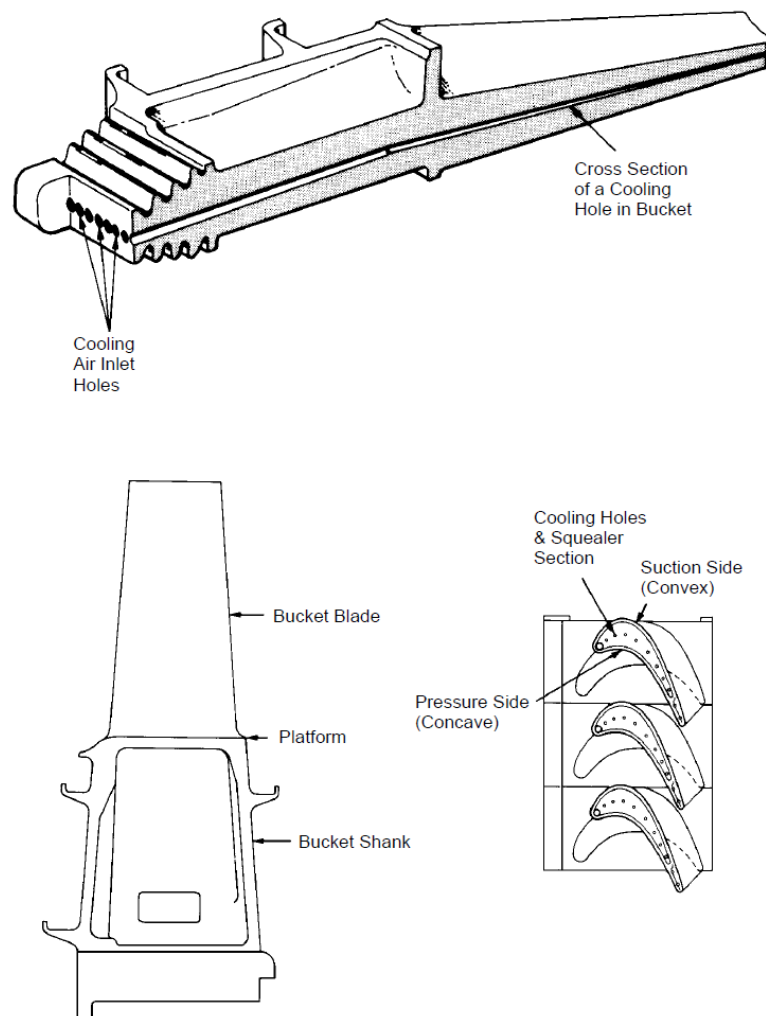


شکل ۱۸-۱. نازل های مرحله اول توربین گازی PG9161E نیروگاه منتظر قائم.

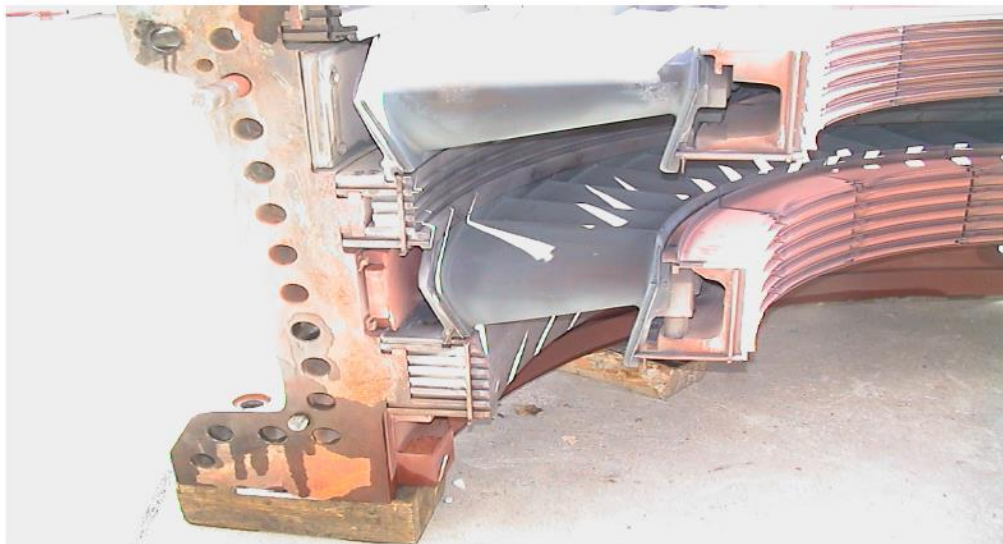


شکل ۱۹-۱. سوراخ های خنک کاری پره های مرحله اول و دوم و نازل مرحله ۲؛ دندانه های کدویی برای چفت شدن

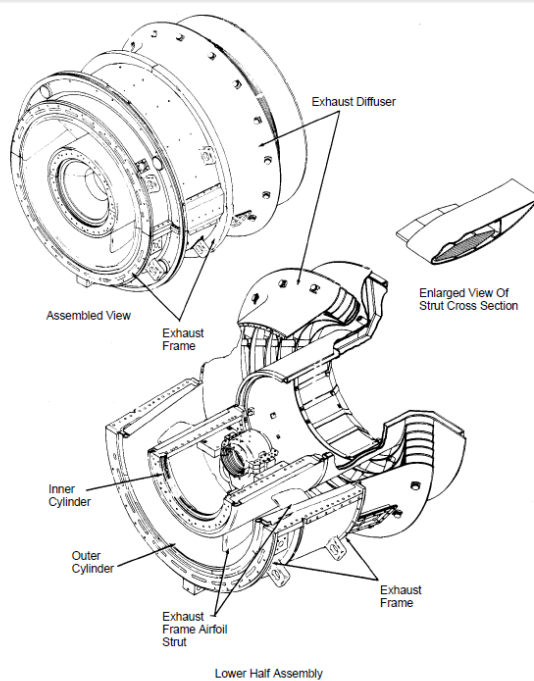
بلاک شرادهای مراحل ۱ و ۲ توربین PG9161E نیروگاه منتظر قائم.



شکل ۲۰-۱. سیستم خنک‌کاری هوایی پره ردیف اول توربین گازی (MS9001E (PG9171E).



شکل ۲۱-۱. بلوک شرادها و دیافراگمهای مراحل ۲ و ۳ توربین PG9161E منتظر قائم.



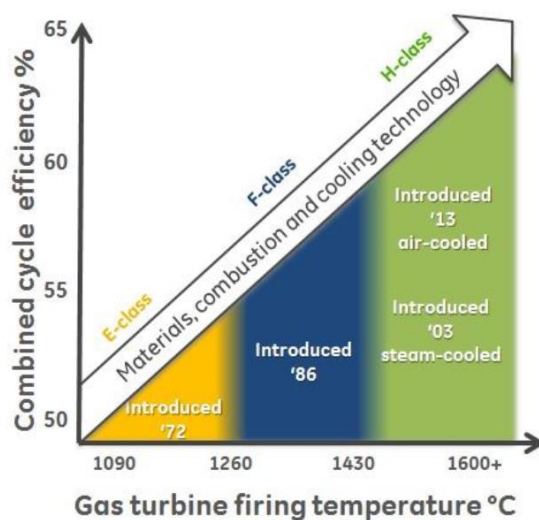
شکل ۲۲-۱. اگزاست توربین گازی MS9001E (PG9171E).



شکل ۲۳-۱. نمای اغزاست بالایی و دو عدد از ترموکوپلهای مسیر گاز داغ خروجی؛ توربین PG9161E نیروگاه منتظر قائم.

۱-۴-۱-۷ - توربین 9HA

توربینهای کلاس H جی ئی دارای دمای احتراق ۱۴۳۰ درجه سانتیگراد است. در مرجع [۹] اشاره شده است که دمای احتراق به دمای ورودی باکت یا پره متحرک ردیف اول اطلاق می گردد. شکل ۲۴-۱ بازه دمایی و بازدهی کلاسهای مختلف توربین گازی جی ئی و تاریخ ارائه آنها را ارائه می کند.



شکل ۲۴-۱. توربینهای گازی جی ئی [۹].

توربین کلاس H اولین بار در سال ۲۰۰۳ عرضه شد. این توربین پیشرو در فناوریهای نوین شامل توربین ۴ مرحله ای با خنک کاری بخاری، ۴ مرحله گایدون متغیر در ورودی کمپرسور بود. این توربینها اولین بار در انگلستان به کار رفت. تجربه و دانش بدست آمده از بهره برداری و نگهداری توربین کلاس اچ منجر به رویکرد انقلابی در طراحی توربین کلاس H گردید و توربینهای جدید با نام HA با سیستم خنک کاری هوایی ارائه گردید که در آن A به معنی خنک کاری هوایی است. در توربین HA خنک کاری هوایی جایگزین خنک کاری با بخار در مسیر گاز داغ شده است و پیشرفتهای سیستمهای خنک کاری، آب بندی و مواد و پوشش اعمال شده است. توربین گازی HA در دو ورژن ۵۰ و ۶۰ هرتز با نامهای 9HA و 7HA ارائه شده است. توربین 7HA و 9HA دارای مقیاس سرعت برابر با 0.83 (بر حسب 9HA) و هندسی 1.2 (بر حسب 7HA) نسبت به یکدیگر هستند. متدولوژی مقیاسی که برای سریهای 7/9E و 6/7/9F نیز به کار رفته است. کمپرسور 7/9HA مقیاس شده 7F.5 از کلاس F است. توربین 7/9HA از سیستم احتراق DLN 2.6+ بهره می برد. 7/9HA دارای توربین چهار مرحله ای با نسبت فشار مشابه H است. مسیر گاز داغ از فناوری کلاس F و H و همچنین از انتقال دانش از فناوری پیشرفته توربینهای هوایی جی ئی سود می برد. توربین HA در دو سایز از توان خروجی ارائه می شود شامل 01 و 02 طبق مرجع ۲۰۱۸ توان و راندمان این توربینها در حالت سیکل ساده و سیکل ترکیبی در جدول ۹-۱ ارائه شده است. توربین HA.02 مقیاس جریانی^{۱۴} از ورژن 01 است. این مقیاس به صورت افزایش مساحت ورودی کمپرسور و خروجی توربین و افزایش نسبت فشار در مراحل میانی تا آخر کمپرسور و دو مرحله اول توربین است.

جدول ۹-۱. عملکرد و خروجی توربین HA [۱۰].

	Gas Turbine Output (MW)*	Simple Cycle Efficiency*	Single-Shaft Combined Cycle Output (MW)*	Combined Cycle Efficiency*
7HA.01	290	42.0%	438	62.3%
7HA.02	384	42.5%	573	63.3%
9HA.01	446	43.1%	660	63.5%
9HA.02	557	44.0%	826	64.0%

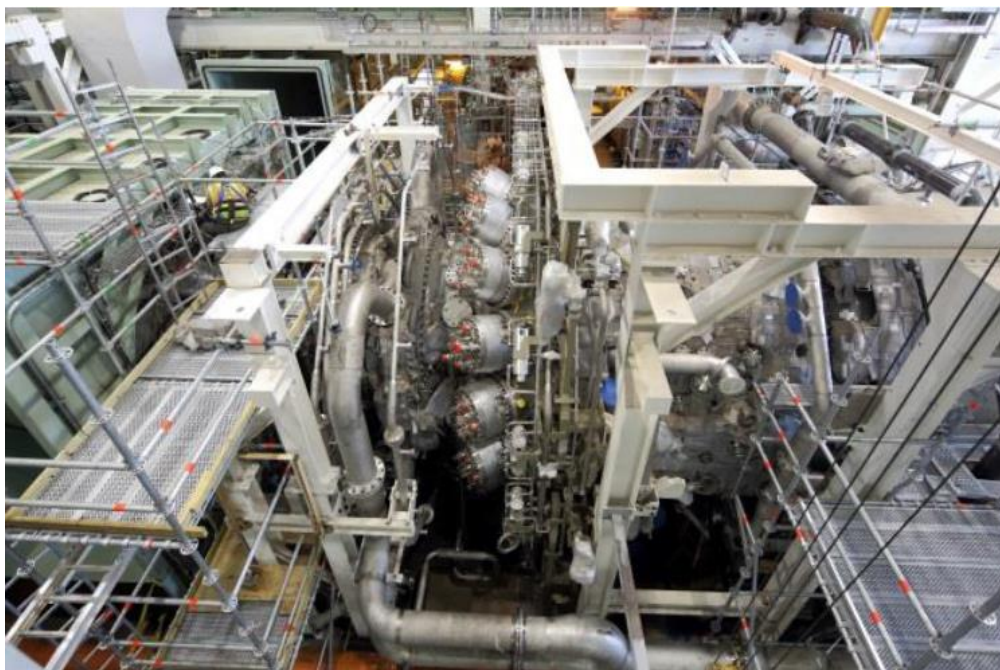
*Net, ISO, Gas Turbine World [6]

توربین 7/9HA

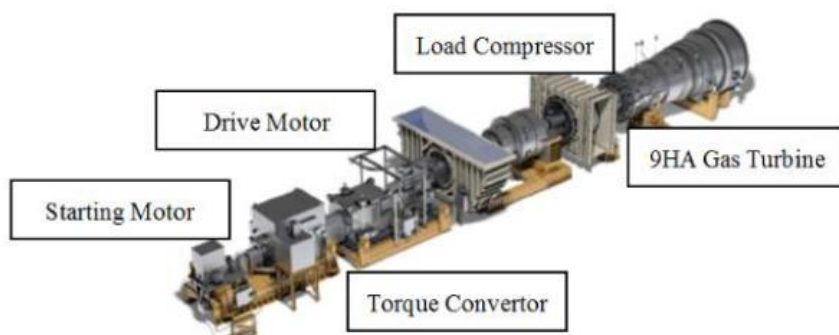
توربین HA بسیار مشابه توربین H است با این تفاوت که سیستم خنک‌کاری بخاری آن حذف شده و خنک‌کاری هوایی جایگزین شده است. مواد تک کریستال و سوپر آلیاژهای NiCrCo که در سریهای اف و اچ به کار رفته است در این توربین استفاده شده است. سیستم خنک‌کاری با روشهای تحلیلی بهبود یافته است اندازه‌گیری در پوسته داخلی و خارجی توربین جهت بهینه‌سازی لقی توربین و لحاظ انبساطهای حرارتی صورت میگیرد. شرادها با آب بندهای سایش‌پذیر و هانی کامپ و همچنین باکت با ساق کوتاه که در کلاس H عرضه شده بود به کار گرفته شده است. آب‌بندهای نزدیک مسیر جریان^{۱۵} از توربینهای هوایی مشتق شده و در HA برای آب بندی نازل به کار رفته است.

توربین HA در مرکز تست جی ئی واقع در گرینویل کارولینای جنوبی مورد ارزیابی قرار گرفت. این مرکز بزرگترین و کامل‌ترین مرکز تست توربین در سرعت نامی و بار نامی (FSFL) در جهان است که توسط جی ئی در سال 2008 توسعه یافته است و 7F.05 اولین توربینی است که در آن ارزیابی گردید. شکل ۲۵-۱ تجهیز شدن توربین 9HA.01 برای انجام تست در این مرکز را نشان می‌دهد. در این مرکز امکان انجام تست توربین مستقل از شبکه وجود دارد. بدین منظور توان تولیدی توربین در کمپرسور بار مصرف می‌شود. این کمپرسور جدا از کمپرسور خود توربین است. استفاده از کمپرسور بار موجب دو برابر شدن داده‌های معتبرسازی کمپرسور توربین شده است. روتور مشترک FSFL در شکل ۲۶-۱ نشان داده شده است.

^{۱۵} Near flow path seal



شکل ۲۵-۱. توربین 9HA.01 در مرکز تست توربین گازی [۹].



شکل ۲۶-۱. مجموعه توربین گاز در مرکز تست [۹].

استقلال از شبکه امکان متغیر کردن سرعت توربین را فراهم آورده است و توربین زیر بار، تغییر سرعت بین ۹۰٪-۱۱۰٪ را می‌تواند داشته باشد. متغیر بودن سرعت موجب امکان تست در دمای $-37-50^{\circ}\text{C}$ شده است. انواع تستهای عملکرد و عمر تحت سرعت، بار، نوع سوخت و شرایط محیطی مختلف قابل انجام است.

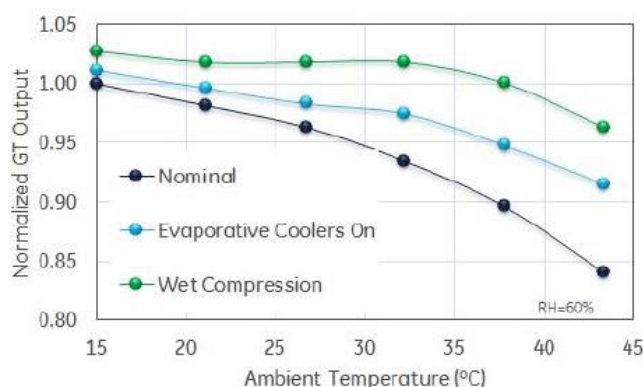
در توربینهای گازی سیکل ترکیبی امروزی، انعطاف‌پذیری بهره‌برداری جزء خواص مورد نیاز شده است. این انعطاف‌پذیر مواردی همچون استارت روباست^{۱۶}، بارگیری سریع، نرخ بالای رمپ، باربرداری سریع، انعطاف‌پذیری در سوخت مصرفی و سادگی کنترل را شامل می‌شود. توربین HA از فناوری توربین هوایی بهره می‌برد و نرخ رمپ بالا در عین جبران بازدهی در بار پایه و میانی را در بردارد. از ویژگیهای توربین HA به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

- بار کامل در کمتر از ۳۰ دقیقه از زمان ترنینگ گیر
 - قابلیت رمپ بیش از ۱۵ درصد بار در دقیقه
 - خروج در بیش از ۳۰ درصد بار نامی
 - انعطاف‌پذیر در سوخت مایع و گازی (رنج وسیعی از سوختهای گازی شامل گاز طبیعی {اتان، پروپان و بوتان}، گاز رسی Shale، گاز محتوی N₂ و CO₂ و LNG)
 - تبدیل سوخت مصرفی از گاز به مایع و برعکس
- نیروگاه از سیستم کنترلی MARK VIe بهره می‌برد که مخصوص واحدهای تولید توان توسعه داده شده است. این سیستم مازولار بوده و امکان ارتقاءهای بعدی در آن میسر است.
- به منظور بهبود قابلیت ساخت، نصب و سادگی نگهداری، محفظه توربین و تجهیزات جانبی به صورت مازولار طراحی و ارائه شده اند که از آن جمله می‌توان به لوله‌کشی، شیرها، الکترونیک، چراغها، مسیرهای ابزار دقیق، مسیرهای گام برداری و حرکت و نردبانها اشاره کرد. استفاده از این وسایل جانبی مازولار شده موجب کاهش ۲۵ درصدی زمان راه‌اندازی شده است که موجب سرعت در بازگشت سرمایه می‌شود. این مازولها در شکل ۲۷-۱ نشان داده شده اند.



شکل ۲۷-۱. مدولار سازی تجهیزات جانبی توربین گاز [۱۰].

تراکم مرطوب^{۱۷} سیستمی است که در توربین 9HA جهت بهبود عملکرد به ویژه در شرایط محیطی گرم به کار می‌رود. در این سیستم بعد از مرحله خنک‌سازی تبخیری Evaporative Cooling، اسپری از ذرات ریز آب توسط یکسری از نازلها به جریان هوا پاشیده می‌شود که طی مراحل کمپرسور و فشرده سازی و افزایش دمای صورت گرفته به بخار تبدیل می‌شود. این عمل موجب افزایش دبی جرمی و در نتیجه افزایش در سوخت مصرفی و از آنجا نیز افزایش خروجی می‌گردد. تاثیر این فناوری در توان خروجی در شکل ۲۸-۱ نشان داده شده است.



شکل ۲۸-۱. تاثیر سیستم خنک‌کن تبخیری و فشرده سازی مرطوب در خروجی توربین گاز [۱۰].

^{۱۷}Wet compression

۲-۴-۱- فناوریهای توربینهای گازی میتسوبیشی-هیتاچی

۱-۴-۲-۱- تاریخچه

شرکت صنایع سنگین میتسوبیشی (MHI) بعد از ادغام با شرکت هیتاچی به عنوان سیستمهای قدرت میتسوبیشی هیتاچی (MHPS) تغییر نام داده است. توربینهای M501 و M701 از سری توربینهای وظیفه سنگین بزرگ با شفت تکی و جریان محوری این شرکت است که براساس پلتفرم توربین وستینگهاوس 501 توسعه داده شده اند و به ترتیب برای کاربرد ۶۰ هرتز و ۵۰ هرتز طراحی شده اند. توربینهای سری SGT6 زیمنس نیز بر پایه همین پلتفرم است. توربینهای M701 توان بیشتری در مقایسه با سری متناظر M501 تولید می کنند.

حروف موجود در نام مدل توربین، معمولاً به دمای هوای ورودی اشاره دارد. حرف D معرف دمای ورودی بین ۱۲۰۰ تا ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد است. حرف F دمای ورودی بین ۱۴۰۰ و ۱۵۰۰ درجه سانتیگراد را نشان می دهد. حرف G دمای حدود ۱۵۰۰ درجه را نشان می دهد و J دمای ورودی توربین بین ۱۶۰۰ تا ۱۷۰۰ درجه سانتیگراد است.

سیر توسعه فناوری توربینهای گازی شرکت سیستمهای قدرت میتسوبیشی هیتاچی (up to May 2020) [۱۱]:

- | | |
|------|---|
| 1961 | Technical partnership formed with Westinghouse Electric Corporation. |
| 1963 | A 730°C class MW-171, as the first MHPS' commercial gas turbine, comes into operation at Asahi Glass Co., Ltd. in Chiba. |
| 1976 | Development of the 1,000°C class MW-701B is finished using independent technologies. |
| 1984 | The 1,150°C class MW-701D becomes the world's first gas turbine to incorporate a pre-mixed combustor and unit comes into commercial operation as Unit 3 in the Higashi Niigata Thermal Power Station of Tohoku Electric Power Co., Inc. |
| 1986 | Development of the 1,250°C class MF-111 is finished using independent technologies and its first unit comes into commercial operation. |
| | The technical partnership with Westinghouse Electric Corporation terminated. |
| 1987 | A large capacity BFG-fired MW-701D comes into commercial operation at JFE Steel Corporation in Chiba. |
| 1988 | The first H-25 comes into commercial operation. |

- 1991** The first H-15 (as a downscaled model of the H-25 Series) comes into commercial operation.
- 1992** A 1,350°C class M701F gas turbine comes into verification operation.
- 1997** The world's first 1,500°C class M501G comes into verification operation.
- 1999** An M701G comes into commercial operation in the combined cycle power plant as Unit 4 in the Higashi Niigata Thermal Power Station of Tohoku Electric Power Co., Inc.
- 2003** An M701F for residual oil-fired IGCC comes into commercial operation at JXTG Nippon Oil & Energy Corporation at Negishi.
- 2004** A 300 MW BFG-fired M701F comes into commercial operation in a combined cycle power plant as Unit 5 of Kimitsu Cooperative Thermal Power Company, Inc.
- 2007** An air-blown IGCC system comes into verification operation. The unit becomes Unit 10 at the Nakoso Power Station of Joban Joint Power Co., Ltd. in 2013.
- An M701G comes into commercial operation in a combined cycle power plant as Unit 1 at the Kawasaki Thermal Power Station of TEPCO Fuel & Power, Inc.
- 2010** A 1,400°C class M701F comes into commercial operation in a combined cycle power plant as Unit 4 in the Sendai Power Station of Tohoku Electric Power Co., Inc.
- An H-100, as the world's largest capacity two-shaft gas turbine, comes into commercial operation.
- 2011** The world's first 1,600°C class M501J comes into verification operation.
- 2013** An M501J comes into commercial operation in a combined cycle power plant in the Himeji No. 2 Power Station of the Kansai Electric Power Co., Inc.
- 2015** An M701F incorporating J-Series technology comes into commercial operation in Unit 3 in the Shin-Sendai Power Station of Tohoku Electric Power Co., Inc.
- 2016** The J-Series commercial unit reaches a cumulative total operating time of 250,000 hours to prove its high reliability.
- A 1,600°C class 50-Hz M701J comes into commercial operation in Unit 2 at the Kawasaki Power Station of TEPCO Fuel & Power, Inc.

توربینهای موجود در کشور از دو نوع MW-701B و MW-701D می‌باشند که در دهه ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ ارائه شده‌اند. در اوایل دهه ۹۰ فناوری توربینهای M701D با استفاده از فناوریهای توسعه یافته برای کلاس F ارتقاء یافت و توربین ارتقاء یافته M701DA توسط میتسوبیشی ارائه شد که مهمترین تفاوت آن افزایش ۱۰۰ درجه سانتیگراد در دمای ورودی توربین بود.

۲-۴-۱- روند ارتقاء عملکرد توربینهای گازی شرکت میتسوبیشی

افزایش دمای هوای ورودی المان مهمی در افزایش و بهبود بازدهی توربین گازی سیکل ترکیبی همواره مورد توجه میتسوبیشی بوده و رقابتهای موجود در بازار نیز نشان می‌دهد که این شرکت همواره در صدد نشان دادن خود به عنوان پیشرو در داشتن بالاترین دما و بازدهی توربینهای گازی است. توربینهای کلاس J این شرکت با دمای ورودی ۱۶۰۰ درجه سانتیگراد از سالهای ۲۰۱۱ و ۲۰۱۶ تجاری شده‌اند و سایر شرکتهای بزرگ توربین ساز در دنیا، تاکنون در این کلاس توربین ارائه نکرده‌اند هر چند با توجه به پیشرفت فناوریهای بکار رفته در توربینهای کلاس H، بازدهی اغلب توربینهای شرکتهای رقیب همچون GE و زیمنس نیز در سطح توربینهای کلاس J میتسوبیشی و حتی بهتر از آن است. توربین M701B در اواسط دهه ۱۹۷۰ توسط میتسوبیشی ارائه گردید. دمای ورودی این توربین حدود ۱۰۰۰ درجه است. در سال ۱۹۸۴ توربین M701D با دمای ورودی ۱۱۰۰ درجه توسط صنایع سنگین میتسوبیشی توسعه داده شد. شکل ۱-۲۹ سیر تکامل عملکرد توربینهای گازی این شرکت را نشان می‌دهد و در شکل ۱-۳۰ کلاسهای مختلف توربینهای گازی بر مبنای دمای گاز ورودی ارائه شده است. توربین M501F با دمای ورودی ۱۳۵۰ درجه در سال ۱۹۸۹ ارائه گردید و M501G نیز از سری ۱۵۰۰ درجه این شرکت در سال ۱۹۹۷ توسعه داده شد. این شرکت در سال ۲۰۰۴ در پروژه ملی "توسعه فناوری اجزاء برای توربینهای گازی کلاس ماوراء دما بالای ۱۷۰۰ درجه" مشارکت نمود. با استفاده از برخی دستاوردهای این پروژه، توربین M501J چنانچه گفته شد، عملکرد آن در سال ۲۰۱۱ در کارگاه تاکاساگو شرکت قدرت میتسوبیشی-هیتاچی تایید گردید و در سال ۲۰۱۳ تجاری شد و توربین ۵۰ هرتزی M701J نیز در سال ۲۰۱۴ تجاری گردید.

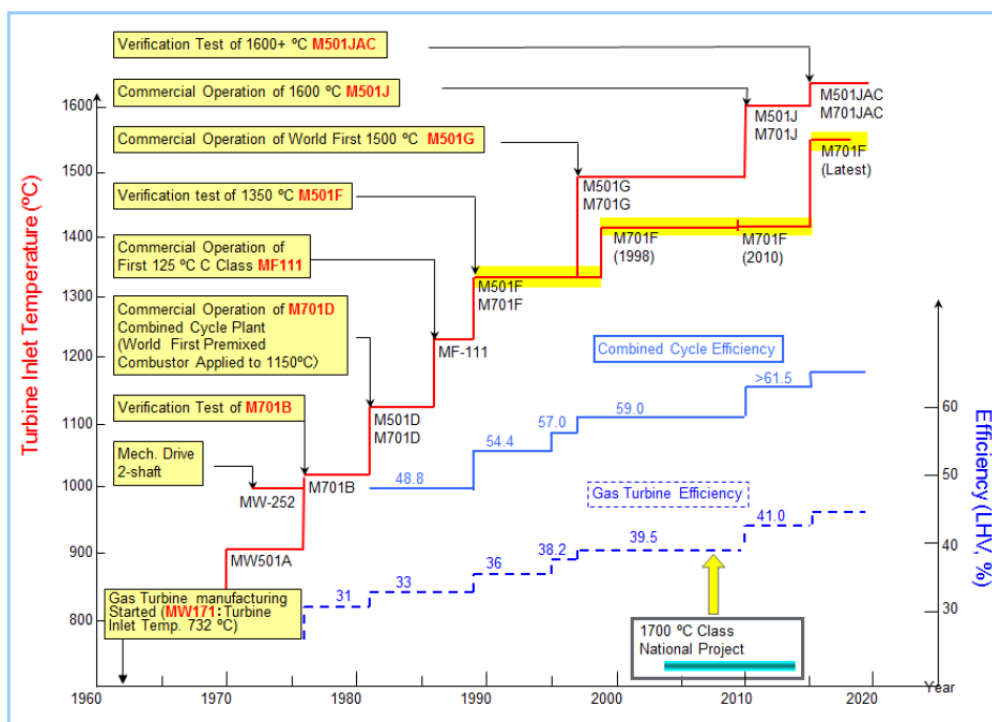
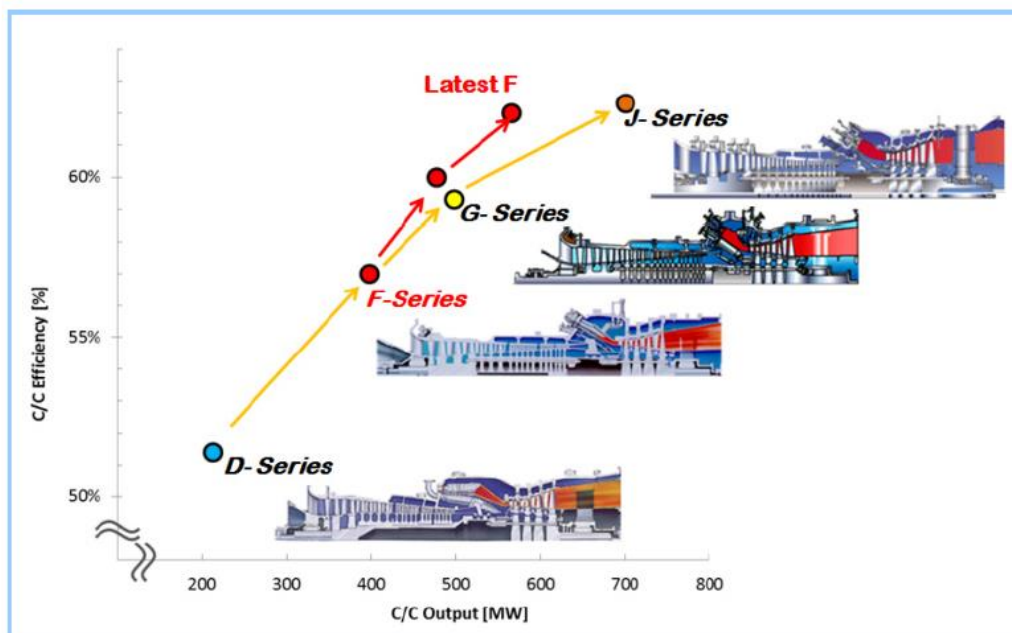


Figure 1 Evolution of MHI/MHP's Large frame gas turbine

شکل ۲۹-۱. سیر تکامل توربینهای گازی فریم بزرگ MHI/MHP [۱۲].



شکل ۳۰-۱. تاریخچه توسعه فناوری توربینهای گازی MHI/MHP [۱۲].

آخرین توربین ارائه شده در کلاس J این شرکت برای کاربرد ۵۰ هرتز دارای توان ۴۴۸ مگاوات و بازدهی سیکل ساده و ترکیبی یک در یک به ترتیب برابر ۴۴.۰٪ و ۶۴.۰٪ LHV است. جدول ۱۰-۱ اطلاعات این واحد به تاریخ ژوئن ۲۰۲۰ را ارائه می دهد.

جدول ۱۰-۱. پیکره بندی و عملکرد آخرین توربینهای سری D، F و J ارائه شده توسط شرکت سیستمهای قدرت

میتسویشی-هیتاچی [۱۱].

M701D - SC	M701F - SC	M701JAC	پیکره بندی	
19	17	15	Number of Stages	Compressor
18	20	22	Number of Cans	Combustor
Air Cooled	Air Cooled	Air Cooled	Cooling Method	
4	4	4	Number of Stages	Turbine
1	1	1	Number of Rotors	Rotor
Cold End	Cold End	Cold End	Output Shaft	
3,000 rpm	3,000 rpm	3,000 rpm	Rated Speed	
11.9 × 5.0 × 5.3 m	14.3 × 5.8 × 6.1 m	16.7 × 6.5 × 6.9 m	Approx. L × W × H	Gas Turbine
240 ton	415 ton	550 ton	Approx. Weight	

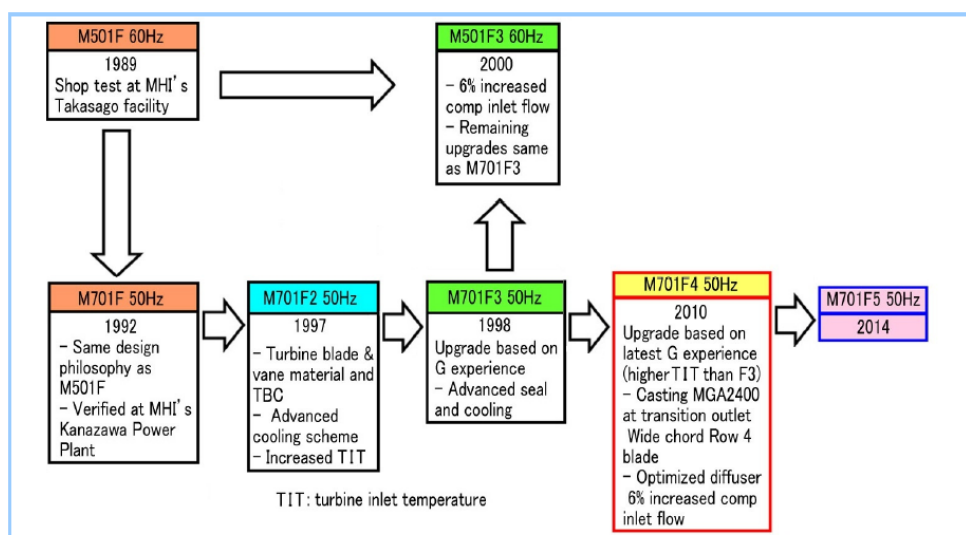
M701D - SC		M701F - SC		M701JAC (2018) – SC		عملکرد	
50 Hz	50 Hz	50 Hz	Frequency			Simple Cycle	
144.09 MW	385 MW	448 MW	ISO Base Rating				
34.8 %LHV	41.9 %LHV	44.0 %LHV	Efficiency				
10,350 kJ/kWh	8,592 kJ/kWh	8,182 kJ/kWh	LHV Heat Rate				
9,810 Btu/kWh	8,144 Btu/kWh	7,755 Btu/kWh					
453 kg/s	748 kg/s	765 kg/s	Exhaust Flow				
999 lb/s	1,650 lb/s	1,687 lb/s					
542 °C	630 °C	663 °C	Exhaust				
1,008 °F	1,167 °F	1,226 °F	Temperature				
25 ppm@15%O2	25 ppm @15%O2	25 ppm@15%O2	NOx	Exhaust			
30 ppm@15%O2	10 ppm @15%O2	9 ppm@15%O2	CO	Emission			

75 %	45 %	50 %	Turn Down Load	
9 MW/min	38 MW/min	53 MW/min	Ramp Rate	
30 minutes	30 minutes	30 minutes	Starting Time	
212.5 MW	566 MW	650 MW	CC (1-1) ISO Base Rating	
51.4 %LHV	62.0 %LHV	64.0 %LHV	CC (1-1) Efficiency	Combined Cycle
426.6 MW	1135 MW	-	CC (2-1) ISO Base Rating	
51.6 %LHV	62.2 %LHV	-	CC (2-1) Efficiency	

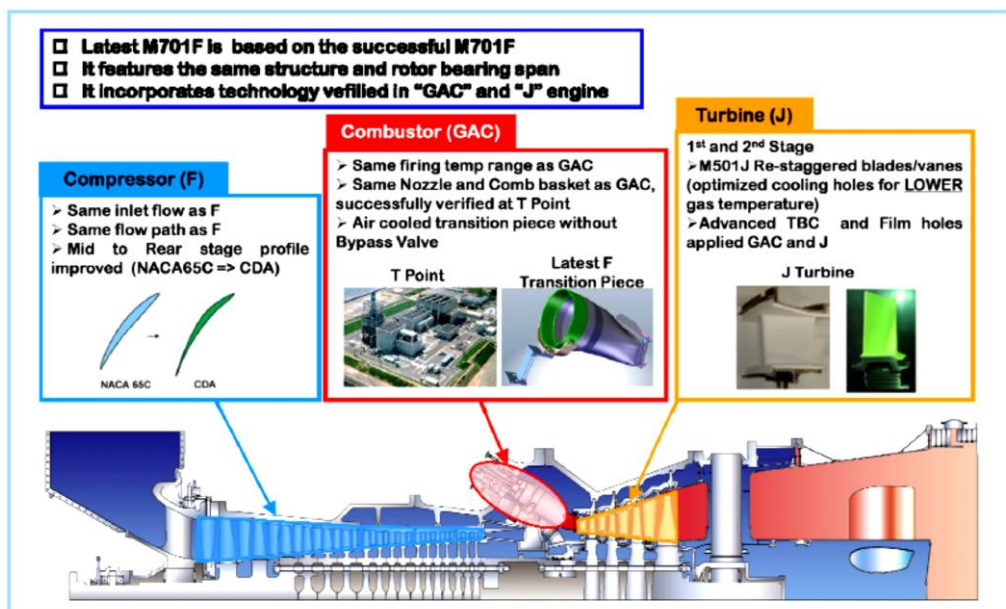
با توسعه فناوریهای جدید که موجب افزایش راندمان و قابلیت اطمینان توربینهای جدید می‌شد توربینهای کلاسهای پایین‌تر نیز با سرریز این فناوریها به ویژه ارتقاء پره‌ها و وینها که هوای خنک کاری را کاهش و راندمان را افزایش می‌دهد بهبود قابل توجهی در عملکرد و قابلیت اطمینان تجربه می‌کردند. توربین کلاس F سری ۵۰ هرتز با نام M701F در سال ۱۹۹۲ ارائه شد و مدل‌های F2، F3 و F4 با بهبودهای قابل توجه پی در پی بعد آن ارائه شده‌اند. توربین F4 از فناوریهای سری G در آن سرریز شده است که سری اخیر دارای دمای ورودی ۱۵۰۰ درجه است. آخرین ورژن کلاس F مدل F5 است که بر پایه سازه مدل F4 است و از فناوریهای ارائه شده برای توربینهای کلاس J در آن بکار گرفته شده است (شکل ۲۹-۱ و شکل ۳۰-۱) [۱۲]. توربین M701F5 را می‌توان ترکیبی از فناوری کمپرسور F4، احتراق GAC و توربین J دانست [۱۳]. جدول ۱-۱۰ نیز آخرین اطلاعات عملکردی این توربین را ارائه داده است. بدین ترتیب طی ۲۰ سال از تولید توربینهای کلاس F، توان آن تقریباً ۱.۵ برابر شده (از ۲۳۴ مگاوات تا ۳۵۹ مگاوات به ترتیب برای توربین گازی سیکل ساده کلاس F سال ۱۹۹۲ و سال ۲۰۱۴) و بازدهی سیکل ترکیبی آرایش ۱-۱ آن ۱۲٪ افزایش یافته است (از ۵۴.۴٪ سال ۱۹۹۲ تا ۶۲٪ سال ۲۰۱۴) [۱۳]. شکل ۱-۳۱ سیر تکامل و ارتقاء فناوریهای مدل‌های مختلف کلاس F میتسوبیشی را نشان می‌دهد. شکل ۱-۳۲ نیز بهره‌مندی آخرین ورژن (ارائه شده در سال ۲۰۱۵) از فناوریهای مختلف کلاسهای بالاتر را در بخشهای مختلف خود نشان می‌دهد.

پس از توسعه و ارائه توربین G، با بهبود خنک‌کاری و استفاده از مواد با استحکام بالا و آب‌بندهای پیشرفته در کلاس F، دمای ورودی توربین از ۱۳۵۰ درجه سانتیگراد به ۱۴۰۰ درجه افزایش یافت. به منظور بهبود بیشتر در راندمان، سیستم هوای خنک کاری روتور که برای کلاس G عرضه شده بود در توربین پیشرفته F به کار گرفته شد. در این سیستم، هوای

خنک کاری دیسکها که از طرف نازلها تامین می‌شود سرعتی برابر سرعت محیطی دیسک خواهد داشت تا افت توان از جزء ثابت به متحرک کاهش یابد. این فناوری، پیشتر در توربینهای هوایی به کار گرفته شده بود.

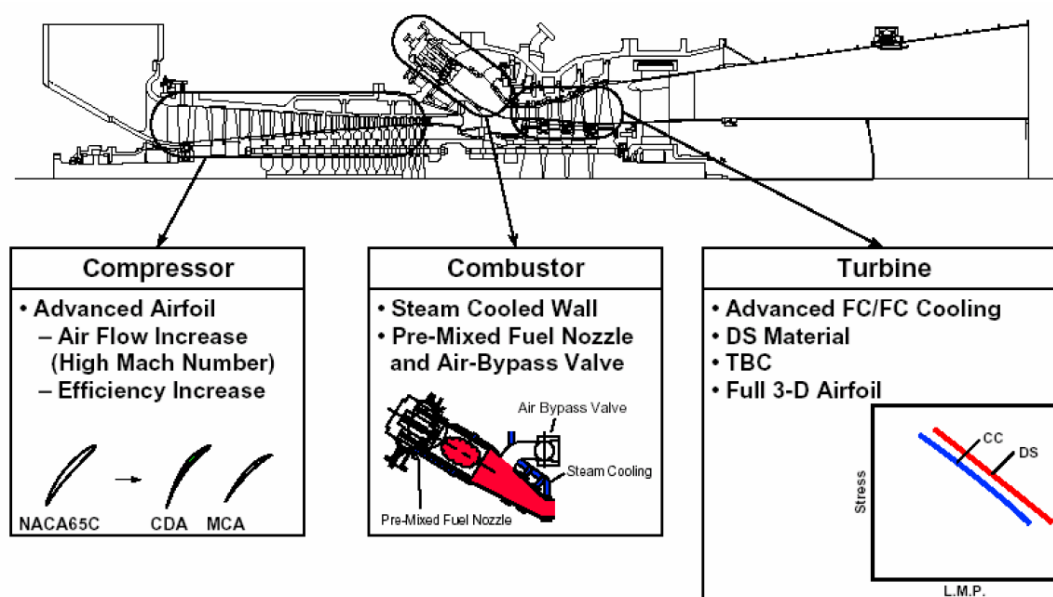


شکل ۳۱-۱. سیر تکامل توربین گاز کلاس F [۱۳].



شکل ۳۲-۱. ویژگیهای آخرین ورژن توربین کلاس F میتسویشی [۱۲].

طراحی سازه توربین G بر پایه توربینهای بزرگ صنعتی قبلی میتسویشی صورت گرفت که شامل درایو در انتهای سرد، دو یاتاقان، سیستم احتراق از نوع قوطی‌های حلقوی و توربین ۴ مرحله‌ای بود. ویژگیهای کلیدی طراحی توربین M501G در شکل ۱-۳۳ نشان داده شده است. در توربین علاوه بر بهبود سیستم خنک‌کاری، از مواد انجماد جهت‌دار به واسطه استحکام و دوام بالاتر، ایرفویل‌های سه‌بعدی کامل و عایق حرارتی استفاده شده است. در کمپرسور ایرفویل‌های پیشرفته استفاده شده است و دیواره‌های محفظه احتراق خنک‌کاری بخاری به کار رفته است و نازل‌های سوخت پیش اختلاط و شیر کنارگذر هوا در آن مشاهده می‌شود [۱۴]. توربین سری G تحت تستهای گسترده قرار گرفت از تست اجزاء در مرکز تحقیق و توسعه تا تستهای توربین مقیاس کامل که مورد اخیر در در مرکز T-Point صورت گرفت. در این مرکز، بار توربین به شبکه محلی جهت مصرف انتقال می‌یافت.



شکل ۱-۳۳. طرح M501G [۱۴].

توربین M701G که موتوری مقیاس شده برای ۵۰ هرتز بود در سال ۱۹۹۹ تجاری شد. ارتقاء فناوریهای ارائه شده بعد آن منجر به تولید M501G1 و M701G2 به ترتیب در سالهای ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳ شد که در شکل ۱-۳۴ و شکل ۱-۳۵ نشان داده شده است. در این ارتقاءها، دمای ورودی توربین در ۱۵۰۰ درجه ثابت مانده است. در M701G2 کمپرسور اصلاح شده و تعداد مراحل از ۱۷ به ۱۴ کاهش یافته است در حالیکه نسبت فشار آن از ۱۹ به ۲۱ افزایش داشته است. طراحی کمپرسور براساس نسبت فشار 25:1 طرح توربین گازی M501H می‌باشد. در M501G1 تعداد مراحل کمپرسور

و نسبت فشار آن ثابت مانده و به ترتیب برابر ۱۷ و ۲۰ است. مشابه M501G1، آنرودینامیک و خنک کاری پره و وین مرحله ۱ و وین مرحله ۲ توربین M701G2 بهبود یافته (توجه شود که بکارگیری عایق حرارتی پیشرفته با هدایت حرارتی پایین بعد از مشارکت در پروژه ملی و بعد از سال ۲۰۰۴ می‌باشد) و سیستم احتراق فوق العاده کم‌ناکس^{۱۸} در آن به کار رفته است. سیستم کنترل فعال در آن برای مراحل ۱ و ۲ توربین به کار رفته است در حالیکه در ورژن ۶۰ هرتز تنها برای مرحله ۱ بکار رفته است. با ارتقاءهای صورت گرفته، افزایش بازدهی مطلق برای M701G2 و M501G1 به ترتیب برابر مقدار مطلق ۱.۱% و ۰.۴% است و توان توربین از ۲۷۱ و ۲۵۴ مگاوات به ۳۳۴ و ۲۶۷ مگاوات افزایش یافته است.

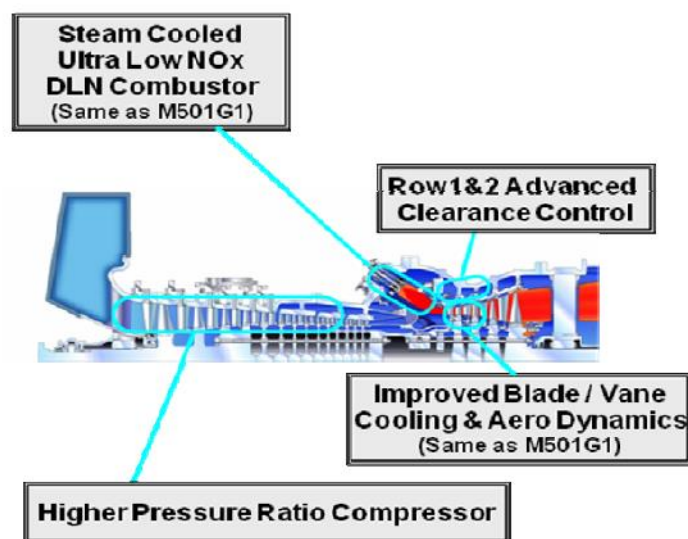


Figure 10 M701G2 Upgrade

شکل ۳۴-۱. ارتقاء M701G2 [۱۴].

^{۱۸} Ultra-Low NOx DLN Combustor

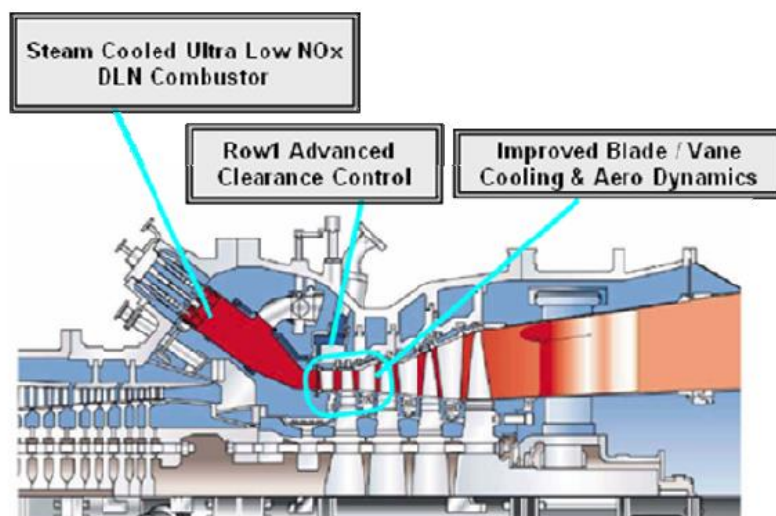
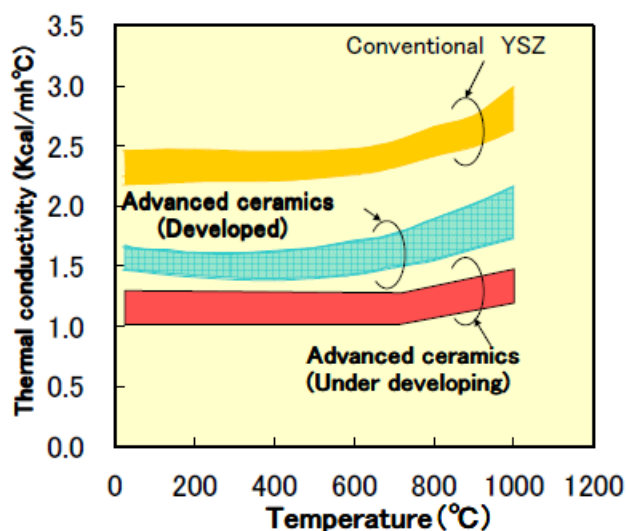


Figure 12 M501G1 Upgrade

شکل ۳۵-۱. ارتقاء M501G1 [۱۴].

در ارتقاء توربین سری G در سال ۲۰۰۹ سعی شد که با ثابت ماندن دما در ۱۵۰۰ درجه، از سیستم خنک کاری هوایی کلاس F به جای بخار استفاده گردد. در توربین سری G، از خنک کاری بخار برای لاینر محافظه احتراق استفاده شده بود. ارتقاء به خنک کن هوایی موجب عملکرد بهتر توربین با راندمانی در کلاس G در کاربردهای سیکلی می‌شود هرچند که برای کاربرد بار پایه بیشتر سیستم خنک کاری بخاری که ادعا می‌شود قابلیت اعتماد و دوام بالاتری دارد پیشنهاد شده است. تست کلاس H، که در آن فناوری خنک کاری بخاری از لاینر به پره‌ها و نازل‌های مراحل ۱ و ۲ نیز بسط می‌یافت در سالهای ۱۹۹۹ و ۲۰۰۱ توسط میتسویشی تست شد [۱۴]. این توربین ارتقاء یافته M501G1 از سری G توربین (M501GAC (G Air Cooled Engine نامیده شده است.

در این بهبود عملکرد، تغییرات جزئی به بخش توربین داده شده است. فناوری عایق‌های پیشرفته منتج از پروژه ملی توربین ۱۷۰۰ درجه در این ارتقاءها برای کلاسهای G و F استفاده شده است. تست عایق جدید روی وین ردیف اول موتور واقعی M501G1 در مرکز T-Points صورت گرفته است. در این تست‌ها تایید شد که دمای فلز خیلی کمتر از حالتی است که عایق TBC قبلی به کار می‌رفت.



شکل ۳۶-۱. مقایسه هدایت حرارتی عایق حرارتی کنونی و عایق حرارتی پیشرفته [۱۴].

۳-۲-۴-۱- فناوریهای اجزاء توربین های گازی میتسویشی

ارائه توربینهای گازی جهت کارکرد در دمای بالاتر نیازمند دوام و عمر اجزاء بخش داغ است. با توسعه فناوریهای توربین و افزایش دمای احتراق، آئرو دینامیک، خنک کاری و فناوریهای بهبود راندمان همچون آب بند نیز گسترش یافته است که در نسلهای مختلف توربین به کار گرفته شده است و معمولاً در نسلهای قبلی نیز طی مدرنسازی و ارتقای توربین بکار گرفته می‌شوند. مجموعه فناوریهای پیشرفته موجود در توربینهای گازی میتسویشی شناسایی و در جدول ۱۱-۱ ارائه شده است.

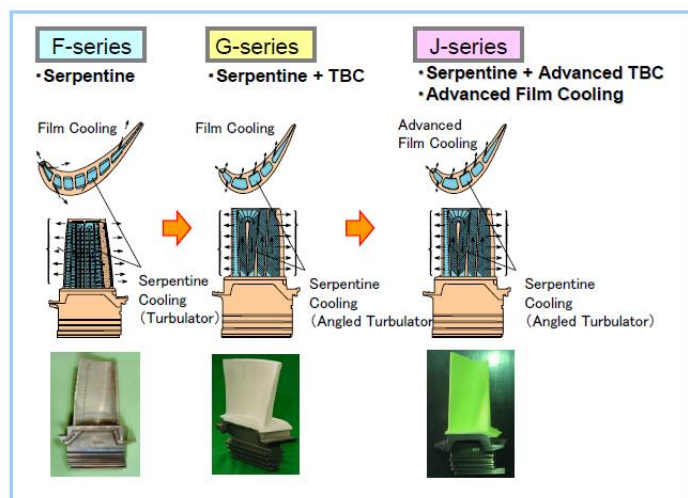
جدول ۱۱-۱. فناوریهای پیشرفته برای توربین میتسویشی.

فناوری	توضیحات	
وین ردیف اول	خنک کاری لایه‌ای	برای وینهای ۱ تا ۳ DA
	دوش خنک کاری در لبه حمله	
	پین فین برای لبه حمله	
خنک کاری لایه‌ای	برای کلاس F	

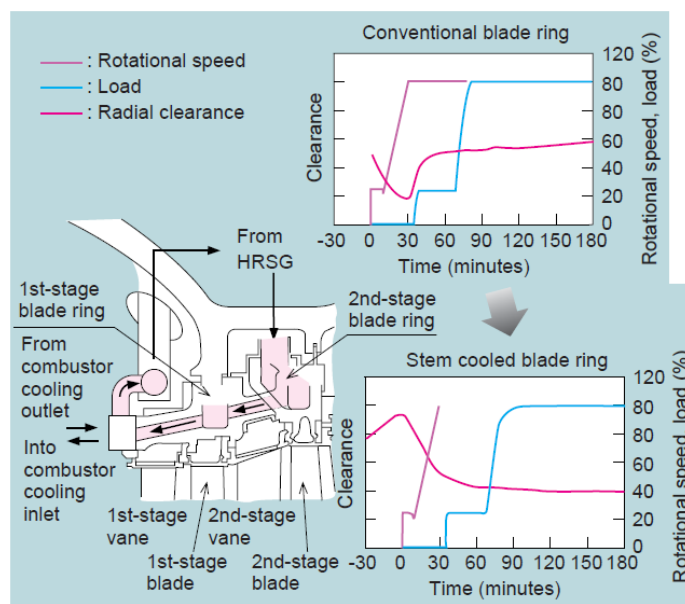
		خنک کاری مارپیچ با آشفته ساز جریان ^{۱۹}
	برای کلاس G	خنک کاری لایه ای عایق حرارتی TBC خنک کاری مارپیچ با آشفته ساز زاویه دار
توسعه آزمون سیکل حرارتی لیزر برای تست دوام A TBC	برای کلاس J (از نتایج پروژه ملی (۲۰۰۴) A TBC عایقی بهتر و ضخامت بیشتر. برای وینها و پره های سه ردیف اول F 2015 استفاده شده است و در آپگرید F قبلی می تواند بکار رود. A F.C. شکل خروجی سوراخهای فیلم کولینگ برای پوشش سطح بیشتری از پره بهینه سازی شده است. در آپگرید F قبلی نیز می تواند بکار رود.	خنک کاری لایه ای پیشرفته عایق حرارتی پیشرفته خنک کاری مارپیچ با آشفته ساز زاویه دار (شکل ۳۷-۱)
	از توسعه F و ارائه G نتیجه شده است و در آپگرید توربینها میتواند بکار رود.	فیلم کولینگ با آرایش بهینه شده سوراخها
	موجب کاهش دمای فلز با تحلیلهای FEA	بهینه سازی ضخامت دیواره پروفیل
	بهبود راندمان خنک کاری داخلی (بهبود اثر آشفته سازی هوای خنک کاری و بهبود خنک کاری آشفته)	بهسازی خنک کاری
	بهبود روشهای اندازه گیری ضریب، کاهش هزینه و زمان	سامانه پیشرفته اندازه گیری ضریب انتقال حرارت سطح پره توربین (شکل ۴۰-۱)
	آلیاژهای توربین گازی میتسوبیسی MGA به مواد با جوشکاری عالی و مقاومت فوق العاده در برابر خزش، خستگی و اکسیداسیون.	ارتقاء به آلیاژهای استحکام بالا

	فناوری سوراخکاری دو مرحله‌ای لیزری	برای سوراخکاری پره پوشش شده بدون ایجاد عیوب بار حرارتی روی پوشش
	فناوری جوشکاری تعمیری برای مواد پیشرفته	دانش فنی سرعت و توان لیزر برای بیشترین درصد تبدیل ناحیه تعمیر به تک کریستال
	فناوری شبیه‌سازی ریخته‌گری	کسب دانش فنی تحلیل الاستو پلاستیک ریخته‌گری و فرآیند عملیات حرارتی برای پیش‌بینی عیوب و کیفیت ریخته‌گری
	فناوری پوشش پیشرفته	دانش فنی انتخاب مواد از بانک اطلاعاتی مواد، بهینه‌سازی شرایط حرارتی اسپری پوشش آزمون لیزری دوام پوشش آزمون پیشرفته تست فرسایش شبیه‌سازی پوشش‌دهی ربات برای سطوح پیچیده
بلیدها	سیستم پیشرفته اندازه‌گیری دما	فناوری پیرومتر پیشرفته
	سیستم کنترل فعالی لقی ۲۰ (شکل ۳۸-۱)	خنک‌کاری رینگ (بلاک شراد) پره‌های مراحل ۱ و ۲ با سیکل بسته بخار از HRSG به توربین و محفظه احتراق در کلاس G به کار رفته است.
	خنک‌کاری با سوراخکاری چندگانه خنک‌کاری با سوراخکاری چند ردیفه سیستم آشفته ساز جریان خنک‌کاری دوش خنک‌کاری در لبه حمله	سیستم معمول ارتقاء از D به DA ارتقاءهای همه ورژنها DA
	سیستم پیش چرخش هوای خنک‌کاری دیسک	در G و F پیشرفته (۲۰۰۶)

	فناوری دمپر-آب بند پینی	فناوری تخمین خواص ارتعاشی بلید با دمپر زیرپره‌ای پینی	فناوریهای تست خواص ارتعاشی و میرایی سازه‌ای دمپر اصطکاکی
	فناوری تخمین نیروی نوسانی پره	کسب دانش فنی تخمین نیروی نوسانی گذر سیال وارد پره	فناوریهای تست تحریک وارد بر پره
آب بند	فناوری آب بندهای تیغه‌ای آب بندهای پیشرفته بررسی پوشش سایش پذیر	- زیر وین ۲ روبروی پره ۱ و ۲	در ورژنهای جدید نصب شده هستند.
	آب بند برگری	مکانیزمی مشابه بررسی دارد. مطالعه و تست برای توربین ۱۷۰۰ درجه دارد.	
دیفیوزر	تغییر پروفیل نگهدارنده دیفیوزر به شبیه پره	موجب کاهش افتهای آئرو دینامیکی و افزایش راندمان برای سری G به کار رفت	
	بهینه‌سازی دیفیوزر توربین گازی جهت بهبود عملکرد (شکل ۳۹-۱)	بهبود یکپارچه جریان توربین و دیفیوزر. کاهش جدایش جریان در دیفیوزر. توسعه سامانه تست نمونه آزمایشگاهی در طراحی توربین و دیفیوزر خروجی کلاس J به کار رفته	



شکل ۳۷-۱. فناوریهای پره توربین [۱۲].



شکل ۳۸-۱. سیستم خنک کاری رینگ پره‌های توربین؛ افزایش لقی در استارت و کاهش لقی تحت بار

[۱۶].

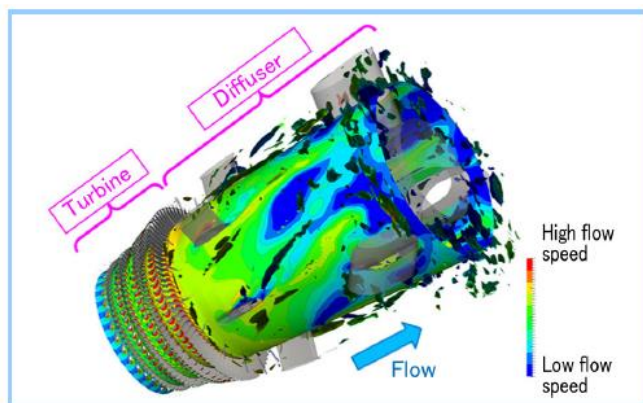


Figure 6 Large-scale flow analysis of internal flow of turbine exhaust diffuser

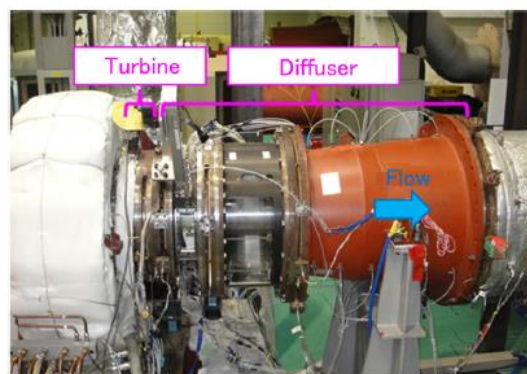
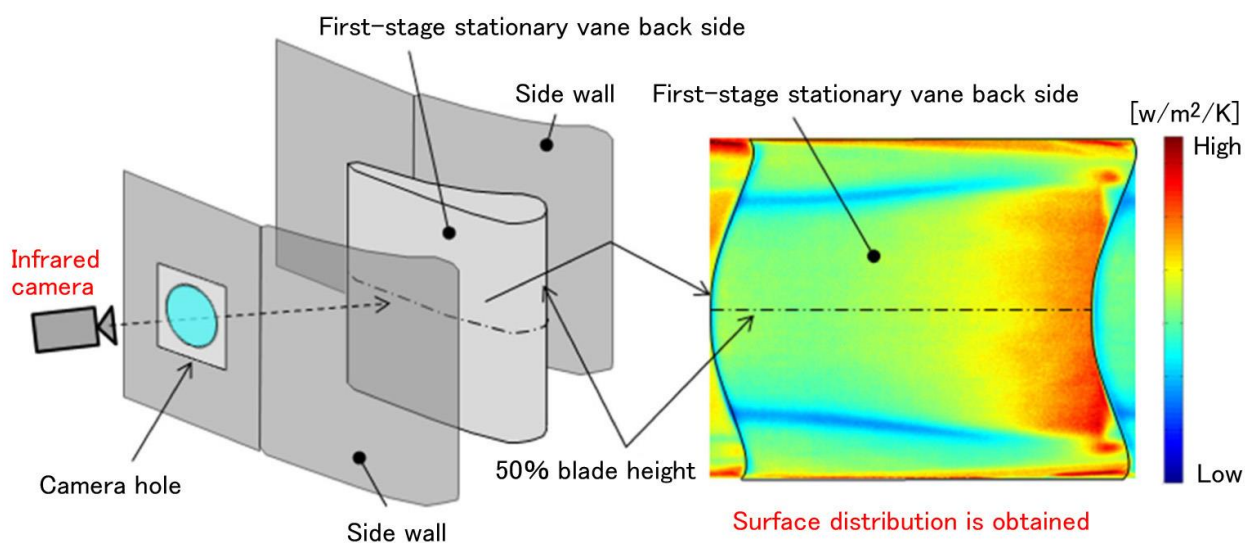


Figure 7 Turbine exhaust diffuser test equipment

شکل ۳۹-۱. (راست) تجهیزات تست دیفیوزر خروجی توربین، (چپ) تحلیل جریان مقیاس بزرگ برای توربین و دیفیوزر خروجی [۱۷].



شکل ۴۰-۱. روش *Unsteady Method* برای اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارت سمت مکش وین توربین گازی.

۳-۴-۱- فناوریهای توربینهای گازی زیمنس

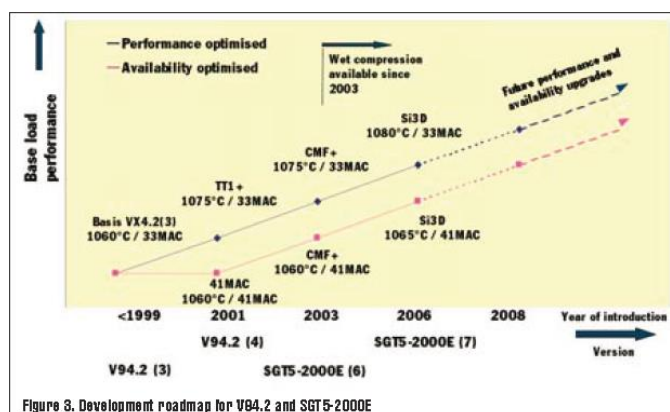
۱-۴-۳-۱- روند توسعه توربین گازی SGT-2000E (V94.2)

توربینهای گازی V94.2 در محصولات شرکت زیمنس با نام SGT5-2000E شناخته می‌شوند. ورژنهای متعددی از این توربین تاکنون ارائه شده است که ورژن آخر شامل تمام مدرنسازی‌ها و ارتقاءهای ارائه شده برای این کلاس از توربینهای زیمنس می‌باشد و دارای توان ۱۸۷ مگاوات و بازدهی ۳۶.۵ درصد است. هم‌اکنون، ورژن‌های ۵ به بعد در سبد محصولات زیمنس قرار دارند. هر ورژن معرف یک ارتقاء قابل توجه در عملکرد، توان یا عمر توربین است.

ACCSpro	ACC	CMF+	OTC	FTI	Fuel Conversions
					
Advanced Compressor Cleaning System (ACCSpro) >	Advanced Compressor Coating (ACC) >	Compressor Mass Flow Increase (CMF+) >	Control optimization of the corrected outlet temperature (OTC) >	Firing Temperature Increase (FTI) >	Fuel Conversions >
HR3 Burner	HCO	Si3D	PLU	PLI	WetC
					
HR3 Burner >	Hydraulic Clearance Optimization (HCO) >	Innovative 3-dimensional Turbine Blades & Vanes (Si3D) >	Part Load Upgrade (PLU) >	Power Limit Increase (PLI) >	Wet Compression (Wet C) >
41 MAC					
					
41k EOH Maintenance Concept (41MAC) >					

شکل ۴۱-۱. ارتقاءهای ارائه شده برای توربین گازی SGT5-2000E توسط شرکت زیمنس.

تاریخچه توربین گازی V94.2 در شکل ۴۲-۱ نشان داده شده است. مشخصات هر یک از ورژن‌ها نیز در جدول ۱۲-۱ ارائه شده است.



شکل ۴۲-۱. تاریخچه ارتقاء توربین گازی SGT5-2000E شرکت زیمنس.

جدول ۱۲-۱. نسخه های مختلف ارائه شده برای توربین گازی SGT5-2000E شرکت زیمنس [۱۸]، [۱۹].

مشخصات	توان و بازدهی	ورژن
دبی کمپرسور 485 kg/s		V94.2(0)
1980-1985 TT1=930-1000 °C گایدون ثابت، پوسته داغ جوشی ساخته شده از فولاد آستنیتی، وین ۱ و ۲ و بلید ۱ خنک کاری، بلید ۳ و ۴ از مواد آهنگری ساخته می شوند. بلید ۴ دارای پیچهای میراکننده، وین ۴ به صورت سگمنتهای با ایرفویلهای جوشکاری شده قابل مقایسه با طراحی توربین بخار، ابزار دقیق آنالوگ		V94.2(1)
1986-1989 TT1=1000-1050 °C گایدون با پیچ قابل تنظیم، پوسته جوشی داغ ساخته شده از مواد پایه نیکل، بلید ۲ نیز خنک کاری می گردد. پره های ردیف آخر آزاد با طراحی شانک کوتاه، وین ۴ تک قالب ریخته گری، ابزار دقیق دیجیتال		V94.2(2)
1990-2001 ارائه شده از سال ۱۹۸۹ با دمای ورودی توربین 1060°		V94.2(3)

طرح وین کریر استفاده شد و تنظیم لقی از بیرون قابل انجام است. از این توربین، کل پره‌های توربین از مواد پایه نیکل ساخته می‌شوند. با افزودن یک اکسترکشن داخلی به کمپرسور برای مراحل ۲ تا ۴ توربین، خنک‌کاری و سیستم آب‌بندی هوایی بهبود یافت. پوشش مراحل ۱ و ۲ توربین از MCrAlY به پوشش کرومیوم نوع نفوذی ارتقاء یافت. توقف تولید		
V94.2(3) + (TT1+)		
افزایش دمای ورودی به ۱۰۸۰° (HGP upg.)		V94.2(4)
V94.2 (6) جایگزین این ورژن شده است		
V94.2(3) + CMF+	162 MW	
ارتقاء کمپرسور (افزایش دبی هوا)	34.42 %	V94.2(5)
	33000	
	EOH	
V94.2(3) + TT1 ⁺ + CMF ⁺		V94.2(6)
توربین MAP2+ معادل ورژن ۶ است.		SGT5-2000E(6)
V94.2(3) + TT1 ⁺ + CMF ⁺ + Si3D (+HCO)	187 MW	V94.2(7)
	36.5 %	SGT5-2000E(7)

۲-۳-۴-۱- فناوریهای توربین گازی زیمنس

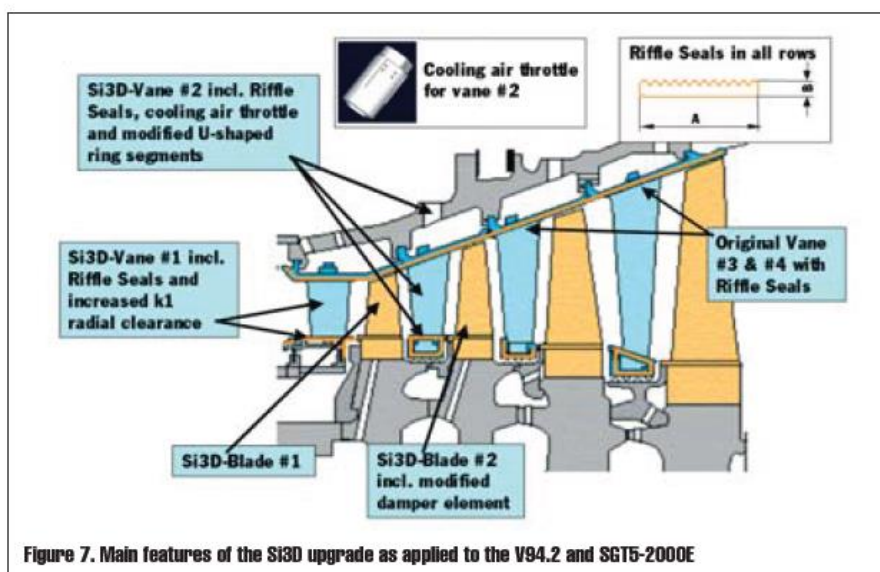
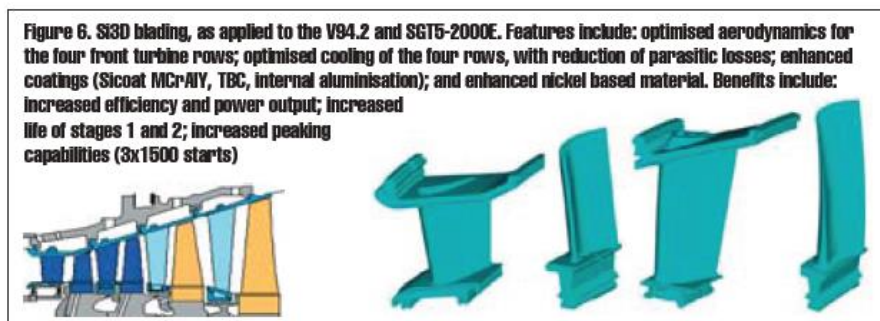
جدول ۱-۱۳ لیست فناوریهای پیشرفته زیمنس را نشان می‌دهد. برخی از این فناوریها در مدارک شرکت زیمنس دیده نشده است ولی به نظر قابل کاربرد است که در بخش توضیحات درج شده است.

جدول ۱۳-۱. لیست فناوریهای پیشرفته برای توربین SGT2000E

توضیحات	فناوری	
تمام مراحل	فناوری پیشرفته سه بعدی Si3D	پره ثابت
قابل کاربرد در مراحل ۱ و ۲	بهبود خنک‌کاری	
تمام مراحل، جهت افزایش عمر و یا افزایش دما برای بهبود عملکرد	مواد و پوشش پیشرفته‌تر	
تمام مراحل	فناوری پیشرفته سه بعدی Si3D	پره متحرک
مراحل ۳ و ۴	دمپ‌های اصطکاکی پیشرفته و بهبود یافته	
تمام مراحل، جهت افزایش عمر و یا افزایش دما برای بهبود عملکرد	مواد و پوشش پیشرفته‌تر	
قابل کاربرد در مراحل ۱ و ۲	بهبود خنک‌کاری	
سیستم هیدرولیکی روی یاتاقان تراست کمپرسور، اصلاح یاتاقان و تجهیز سیستم جدید و اصلاح سیستم کنترلی	سیستم هیدرولیکی کنترل لقی (HCO)	آب بند
قابل کاربرد روبروی پره‌های متحرک چهار ردیف توربین	آب بند سایش پذیر	
قابل کاربرد در زیر وینهای ۲ و ۳	آب بند بررسی	
X مرحله ۴ و L مراحل ۱ تا ۳	بهینه‌سازی رینگ آب بند L و X	
بهبود جریان در دیفیوزر	دیفیوزر بهبود یافته	دیفیوزر

فناوری پره‌های سه بعدی طبقه توربین

یکی از نوآوریهای زیمنس در جهت بهبود قدرت رقابت و سودمندی نیروگاه، توسعه پره‌های ثابت و متحرک سه بعدی برای مراحل توربین است که پره‌های نوآورانه سه بعدی زیمنس نیز نامیده شده است. این پره‌ها بر مبنای طراحی آئرودینامیکی با بازدهی بهینه و با قابلیت بازسازی مشابه قبلی طی عمر کاری است. این نوآوری موجب ارائه طراحی جدید ایرفویل با آئرودینامیک بهینه شده همراه با بهبود مواد، پوشش و مسیر خنک‌کاری هوایی بهبود یافته و کاهش تلفات است. در مدارک اشاره شده است که عمر پره‌ها با استفاده آلیاژهای پایه نیکل جدید و پوشش‌های سد حرارتی افزایش یافته است و احتمالاً، بهبود عملکرد بدون افزایش عمر نیاز به ارتقاء موارد ندارد.



شکل ۴۳-۱. ارتقاء Si3D مراحل اول و دوم توربین گازی SGT5-2000E [۱۹].

ارتقاء به پره‌های Si3D در دو سطح می‌تواند انجام شود. سطح اول ارتقاء وین‌ها و پره‌های مراحل اول و دوم را شامل می‌شود و سطح دوم ارتقاء مراحل ۳ و ۴ از توربین. مزایای ارتقاء Si3D به شرح زیر است:

ارتقاء مراحل ۱ و ۲ توربین

- افزایش توان توربین گازی تا حدود ۵ مگاوات
- افزایش راندمان توربین گازی تا ۰/۸ % pts
- کاهش هزینه‌های چرخه عمر واحد
- میسر شدن ارتقاءهای بعدی برای بهبود عملکرد

ارتقاء مراحل ۳ و ۴ توربین

- افزایش توان توربین گازی تا حدود ۲.۵ مگاوات

- افزایش راندمان توربین گازی تا ۵٪
- کاهش هزینه‌های چرخه عمر واحد
- میسر شدن ارتقاءهای بعدی برای بهبود عملکرد

سیستم هیدرولیکی کنترل لقی (HCO)

این سیستم هیدرولیکی بوده و در یاتاقان تراست سمت کمپرسور نصب می‌شود. سیستم با فشار هیدرولیکی روی پیستون پشت یاتاقان تراست، روتور توربین را برخلاف جهت جریان و از سمت توربین به سمت کمپرسور جابجا می‌کند. به واسطه شکل مخروطی توربین، با این جابجائی، لقی بین پره‌های توربین با وینها و پوسته توربین کاهش یافته و از سوی دیگر لقی در سمت کمپرسور افزایش می‌یابد. میزان بهره توان و بازدهی کسب شده از کاهش لقی سمت توربین بیش از افت ناشی از افزایش لقی سمت کمپرسور است. سیستم هیدرولیکی بهینه‌ساز لقی بعد از گرم شدن توربین (یک ساعت بعد از استارت سرد) وارد مدار می‌شود یعنی بعد از آنکه انبساط‌های روتور و پوسته به شرایط تعادل رسید. در صورت از دادن فشار هیدرولیکی، سیستم به صورت اتوماتیک روتور را به موقعیت پیشین خود باز می‌گرداند.



Figure 8. Hydraulic clearance optimisation (HCO). From left to right: movement of rotor; modified bearing for HCO upgrade of SGT5-2000E/V94.2; modified bearing for HCO upgrade of SGT5-4000F/V94.3A

شکل ۴۴-۱. بهینه‌سازی هیدرولیکی لقی. از چپ به راست: حرکت روتور با بکارگیری HCO؛ یاتاقان اصلاح شده برای آپگرید کلاس E به HCO؛ یاتاقان اصلاح شده برای آپگرید کلاس F به HCO [۱۹].

مزایای سیستم هیدرولیکی کنترل لقی

این سیستم موجب بهبود عملکرد کلی توربین گاز خواهد شد که به شرح زیر خواهد بود:

- بهبود توان خروجی تا ۲ مگاوات در سیکل ساده توربین گازی و تا ۳ مگاوات در سیکل ترکیبی توربین گازی

- بهبود بازدهی تا pts % ۰/۳ در سیکل ساده توربین گازی و تا pts % ۰/۲ در سیکل ترکیبی.

۵-۱- شناسایی بازیگران داخلی

لیست شرکتهای فعال در زمینه توربین گازی در جدول ۱۴-۱ ارائه شده است. بخش عمده این اطلاعات از سند توربین گازی [۲۰] ارائه شده است و البته اطلاعات شرکتهای روزرسانی شده است. فعالیت این شرکتهای در موضوعات طراحی، ساخت، تعمیر و نگهداری، نصب و راه اندازی توربینهای گازی است.

جدول ۱۴-۱. لیست شرکتهای فعال در حوزه توربینهای گازی.

توربین گاز	نام شرکت	حوزه فعالیت	وب سایت
طراحی	توگا	ارتقاء طراحی توربین V94.2 به MGT-70 (Map 2+, 2A, ...)، مهندسی معکوس توربین (GE F6) و طراحی مجدد MGT-40	www.mapnaturbine.com
	توربوتک	طراحی توربین IGT25، طراحی توربین NGT150 (در حال انجام)، ارتقاء جزئی و اساسی توربین PG9171E	www.turbotec-co.com
	توربین ماشین خاورمیانه	طراحی، مهندسی و مهندسی معکوس اجزاء ثابت و متحرک ماشین آلات دوار	www.turbinemachine.com
ساخت قطعات و مونتاژ، تامین قطعات	توگا	ماشین کاری و مونتاژ قطعات توربین گاز	www.mapnaturbine.com
	پرتو	ساخت پره توربین V94.2، GE- F9	www.mapnablade.com
	موادکاران	ساخت پره توربین F5-F9، قطعات محفظه احتراق	www.mavadkaran.com
	تجهیزات ساخت سپاهان	ساخت پوسته مرکزی توربین گاز، پخش کننده گاز، پوسته گاز داغ و ..	www.mapnasts.com
	ماشین سازی برادران همتی	سازنده قطعات توربین گازی	
	Euroturbine	تامین قطعات ثابت و متحرک V94.2 و فریم ۹، ۵، مهندسی معکوس، تعمیر و اورهال توربین	http://www.euroturbine.ir
	توربین کمپرسور نفت OTC	سازنده توربین گازی صنعتی ۱ تا ۳۰ مگاوات (SGT600) طراحی و ساخت قطعات موتورهای توربینی با هدف ارتقاء عملکرد و طول عمر، پره های توربین، آب بندهای لانه زنبوری	http://otec-co.com/

	پره های F5	
http://www.pgspower.ir/	تامین قطعات اصلی ثابت و متحرک انواع توربینهای گازی، اورهای و تعمیرات اساسی	پوشش گستر صنعت
www.stc.ir	ساخت نازل، پره کمپرسور و توربین، بازسازی و پوشش دهی قطعات داغ توربین	قطعات توربین شهریار
www.turbinemachine.com	ساخت کامل روتور توربین های گازی و بخار، ساخت انواع دیسک، پره و شفت های ناحیه سرد و داغ توربینی، ساخت پوسته ها، مجموعه IGV و محفظه احتراق	توربین ماشین خاورمیانه
www.tajrobehnoor.com	ساخت نازل، پره کمپرسور و توربین	تجربه نور
www.arvinparto.com	ساخت قطعات یدکی ماشین آلات دوار (پمپ، کمپرسور و توربین) و تجهیزات ثابت با جنس های مختلف	آروین پرتو
www.samanrahavard.com	ساخت روتور کمپرسور (بخار- گاز)، بالانس روتور توربین گاز	سامان رهاورد
www.petroshima.com	ساخت کامل توربین های کوچک و متوسط، ساخت انواع لیبرنت سیل توربین گازی و بخار، ساخت انواع سیل لانه زنبوری، انواع باتاقان، انواع شفت و دیسک و کوپلینگ، اورهال روتور توربین های بخاری و گازی	صنایع پتروشیمی گستر
www.badrssystem.com	تولید پره های توربین و سایر قطعات مسیر داغ و سرد توربین های گازی و بخار از ۱ تا ۲۰۰ مگاوات، تعمیر و بازسازی اساسی توربین های گازی و بخار.	مهندسی بدر سیستم
www.turbinecompressor.asia	ساخت مجموعه روتور توربین های گازی و کمپرسور، ساخت شفت و دیسک توربین ها، ساخت قطعات بخش کمپرسور توربین گازی	توربین کمپرسور آسیا
	سیل لانه زنبوری زوریا، قطعات بخش داغ	توربین مهمام خاورمیانه
	پره های توربین F5	ریخته گری دقیق پارش
	قطعات توربین F5	همکار توربین
	پره های توربین F5 و F9	ساتار کو کیش
www.psdrran.ir	خدمات ماشین کاری انواع پره های توربین: سوپرآلیاژهای پایه نیکل، کبالت، تیتانیوم، استیل و ...	پیشرو صنعت دقیق
www.mapnaturbine.com	تست performance، تست ریگ مربوط به کمپرسور، تست ریگ مربوط به محفظه احتراق...	توگا
www.ipr-co.ir	خدمات آزمایشهای متالوژی، تستهای مخرب و غیر مخرب، تعیین عمر باقیمانده، آزمایش های فشار قوی الکتریکی، ارائه خدمات بالانس دینامیکی دور بالا و دورپایین	تعمیرات نیروگاهی ایران
www.turbotec-co.com	انجام پروژه های طراحی و ساخت تجهیزات تولید و تست انواع توربین ها، کمپرسورها و ماشین های دوار جدید	توربوتک

https://www.alborzturbine.com	اورهال (سیکل گازی، ترکیبی)، بالانس انواع روتورهای نیروگاهی	البرز توربین (توگا)	تعمیرات و نگهداری
www.mapnaom.com	شرکت بهره‌برداری و تعمیراتی مپنا بهره‌برداری، راه‌اندازی، تعمیرات و تست کارایی واحدهای گازی	MAPNA O&M	
www.ipr-co.ir	تعمیر و بازسازی انواع روتورهای توربین گاز و بخار، ارائه خدمات بالانس دور بالا و دور پایین انواع روتور توربین، نصب و راه‌اندازی نیروگاه‌های بخار-گازی-آبی و تجهیزات صنعتی، تعمیرات و اورهال نیروگاه‌های بخار-گازی و سیکل ترکیبی	تعمیرات نیروگاهی ایران	
www.turbinemachine.com	تعمیر و بازسازی روتورها و دیگر اجزای توربین‌های گازی زیر ۱۰ مگاوات و انواع کمپرسورهای سانتریفیوژ، اورهال اساسی توربین‌های گازی سولار	توربین ماشین خاورمیانه	

در ادامه، شرکت مپنا و توربوتک که از شرکتهای اصلی فعال در زمینه بخش داغ توربین گازی نیروگاهی هستند بررسی خواهند شد.

۱-۵-۱- شرکت مپنا

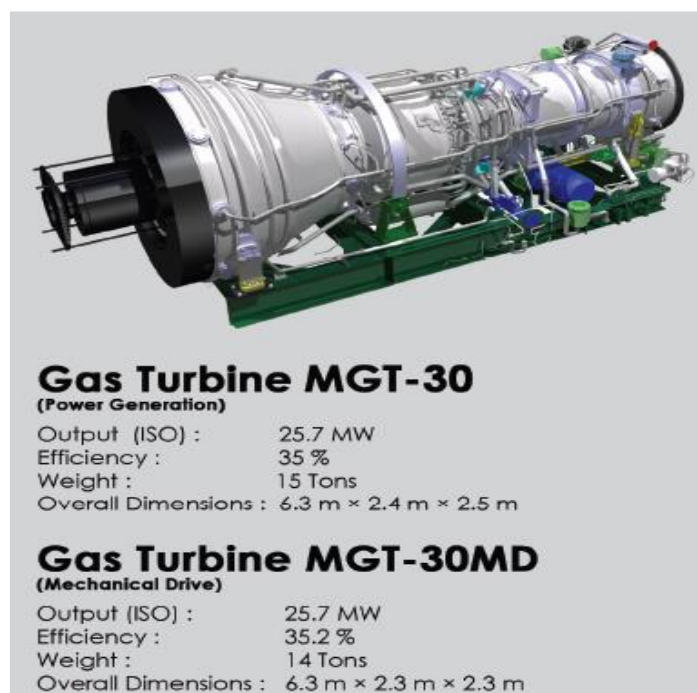
شرکتهای توگا، پرتو، مکو و توربین شهریار جزء مهمترین شرکتهای زیرمجموعه مپنا هستند که به ترتیب سازنده توربین، سازنده پره، سازنده سیستم کنترلی و پوشش و مواد هستند. در ادامه، شرکت توگا و پرتو مفصل‌تر بررسی خواهند شد.

۱-۵-۲- شرکت توگا (شرکت مهندس و ساخت توربین گاز مپنا)

شرکت توگا مهمترین شرکت زیرمجموعه مپنا است که فعالیت خود را با انتقال دانش فنی ساخت توربینهای گازی V94.2 از شرکت آنسالدو آغاز نمود و هم اکنون طیف متنوعی از توربین‌های گازی صنعتی و نیروگاهی در این شرکت ساخته می‌شود. پره‌های مورد نیاز این شرکت توسط شرکت پرتو زیرمجموعه مپنا ساخته می‌شود.

۱-۵-۲-۱- توربینهای گازی صنعتی

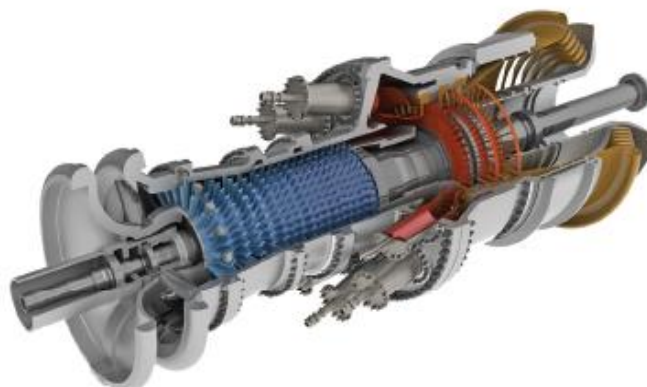
گروه مپنا هم اکنون توربین‌های گاز صنعتی MGT-30 و MGT-30MD را با مشخصات شکل زیر تولید می‌کند.



شکل ۴۵-۱: مشخصات فنی توربین گازی MGT-30 [۲۱].

طراحی پایه هسته اصلی این نوع توربین گاز، موتور هوایی RB211 شرکت رولزرویس است که توسط شرکت اوکراینی زوریا-مشپروئکت برای کاربردهای دریایی و زمینی تغییر کاربری داده شده و توسعه یافته و از سال ۱۳۸۹ تکنولوژی آن به گروه مپنا منتقل گردیده است. دو مدل فوق الذکر به ترتیب برای تولید برق و رانش مکانیکی استفاده می‌شوند. مسیر توسعه روی این خانواده توربین در گروه مپنا نیز مشابه توربین نیروگاهی MGT-70 است.

توربین گاز MGT-40 با مشخصات ذیل نیز هم اکنون در مرحله توسعه و ساخت اولین واحد در گروه مپناست. این توربین بر پایه طراحی معکوس توربین F6B شرکت جنرال الکتریک می باشد.



Gas Turbine MGT-40

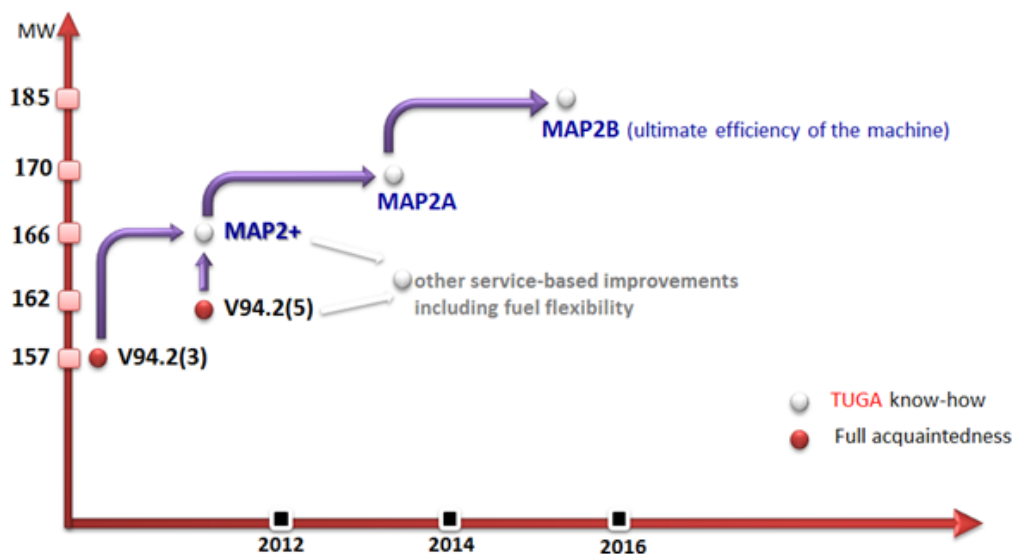
Output (ISO) : 42.1 MW
 Efficiency : 32.1 %
 Weight : 42 Tons
 Overall Dimensions : 6.4 m × 3.2 m × 3.2 m

شکل ۴۶-۱: مشخصات فنی توربین گازی MGT-40 [۲۱].

در خصوص فناوری‌های عمده مورد استفاده در توربین گاز، گروه مپنا تاکنون سیستم کنترل بومی خود با نام MAPCS را توسعه داده که اولین واحد آن در سال ۱۳۹۳ در نیروگاه حیدریه نجف تحت بهره برداری قرار گرفت. فناوری‌های کلیدی پره و مسیر گاز داغ شامل انواع پوشش‌ها، انجماد جهت دار و پره تک کریستال نیز برای محصولات جدید ایجاد شده و یا در دست توسعه است. از این میان تاکنون انواع پوشش‌های ضد خوردگی و سد حرارتی (TBC) در توربین MGT-70(2) به کار رفته و پره انجماد جهت دار در حال تولید صنعتی برای توربین MGT-40 می باشد [۱۴].

۲-۵-۱-۲- توربینهای گازی وظیفه سنگین بر پایه توربین گازی V94.2

شرکت مپنا سازنده توربینهای V94.2 ورژن ۳ و ۵ تحت لیسانس زیمنس آلمان است. این شرکت ارتقاءهایی با عنوان MGT-70(2)-(3) با نام تجاری خود ارائه کرده است. شکل ۴۷-۱ روند توسعه توربین MGT70 را نشان می‌دهد. مشخصات ارتقاءهای ارائه شده توسط شرکت مپنا در جدول ۱۵-۱ ارائه شده است.



شکل ۴۷-۱. مسیر توسعه خانواده توربین MGT-70 در شرکت توربین‌سازی مپنا [۲۱].

جدول ۱-۱۵. ارتقاءهای صورت گرفته توسط شرکت مپنا روی توربین V94.2 [۲۲].

Product Name	Terminology	Year	Power Output (MW)	Efficiency (%)
MGT-70(1)	MAP2+	2011	166	34.5
MGT-70(2)	MAP2A	2013	170	34.6
MGT-70(3)	MAP2B	2017	185	36.4

ارتقاء بازدهی صورت گرفته با ارتقاء دمای ورودی توربین گازی با گزینه افزایش عمر و فواصل بازرسی می‌تواند جایگزین شود. به عبارت دیگر، چنانچه دمای ورودی در ۱۰۶۰ درجه باقی بماند دوره تعمیرات اساسی (MO) توربین MAP2B می‌تواند از 33000EOH به 41000 EOH افزایش یابد.

توربین MAP2+ ارتقاء دما ۱۵ درجه دارد و توربین از ۱۰۶۰ به ۱۰۷۵ ارتقاء می‌یابد و بخشهای مختلفی از توربین و اتاق احتراق ارتقاء می‌یابند. تغییر در بخش توربین شامل اصلاح پوشش، اصلاح مسیر خنک‌کاری، اصلاحات در میکسینگ چمبر، فلیم تیوب، لوله‌های اسپایدر و ... است.

جدول ۱۶-۱. ارتقاء MAP2+ مپنا [۲۳].

Parameter	Current Value for MAP2+
Gross power output at Generator terminal at base Load@ ISO condition and power factor equal to 0.8 Inlet and outlet pressure loss= 0.0 mbar Fuel= 100% CH4	166 MW
Fuel type	Natural Gas (100% CH4, LHV= 50035kJ/Kg)
Pressure ratio	11.8
Turbine Inlet Temp @ Base Load (ISO-2314)	1075 °C
Heat rate at Generator terminal at base load	10432
Thermal efficiency at Generator terminal at base load	34.5 %

توربین MAP2A ارتقاء یافته توربین MAP2+ است و دما از ۱۰۷۵ به ۱۰۹۰ افزایش می یابد. توان ۴+ مگاوات و بازدهی ۰.۱ درصد افزایش می یابند. مشخصات نهایی توربین بصورت زیر است:

جدول ۱۷-۱. ارتقاء MAP2A مپنا [۲۳].

Expected performance characteristic at base load operation and ISO conditions Inlet and outlet pressure loss= 0.0 mbar , Fuel= 100% CH4		
Item	Performance Characteristics	Value
1	Gross power output at Generator terminal	170 MW
2	Thermal efficiency at Generator terminal	34.6 %
3	Turbine Inlet Temperature	1090 °C

Changed components respect to MAP2+	
1	Turbine Blade 1
2	Turbine Blade 2
3	Turbine Vane 1
4	Turbine Vane 2
5	Inner Casing (Hot Gas Casing)
6	Mixing Chamber
7	Conveyer ring

توربین MAP2B ارتقاء یافته MAP2A است و در آن طراحی پره ها تغییر کرده و دما نیز ۱۰۹۰ باقی می ماند.

جدول ۱۸-۱. مشخصات عملکردی توربین MGT-70(3) یا MAP2B [۲۱].

No.	Parameters	Unit	Value
1	Gross Power Output*	MW	185
2	Gross Efficiency*	%	36.4
3	Gross Heat rate* (LHV)	kJ/kWh	9890
4	Shaft Speed	rpm	3000
5	Turbine Inlet Temperature	°C	1090
6	Exhaust Gas Temperature	°C	544
7	Exhaust Mass Flow Rate	kg/s	554
8	No. of Compressor Stages	EA	16
9	No. of turbine stages	EA	4
10	Pressure Ratio	-	12
11	Type of Combustors	-	Silo type
12	NO _x Emissions	ppmvd@15%O ₂	25
13	CO Emissions	ppmvd@15%O ₂	10
14	Frequency	Hz	50
15	Weight (Core Engine)	tonne	186
16	Dimensions (Length×Width×Height)	m	10.2 x 3.9 x 3.7
* Nominal Power at ISO Conditions.			

ورژنهای مختلفی از MAP2B توسط شرکت مپنا ارائه شده است که در جدول ۱۹-۱ ارائه شده است:

جدول ۱۹-۱. ورژنهای مختلف MAP2B [۲۴].

MAP2B-Full	MAP2B-CT90	MAP2B-T90	MAP2B-CT60	MAP2B-T60	Main changes w/r to V94.2.5
P	P	X	X	X	Compressor Journal-Thrust Bearing
P	P	X	P	X	Compressor 3D Blades & Vanes St. 1~4
P	P	P	P	P	Turbine Blades & Vanes St. 1 & 2
P	X	X	X	X	Turbine Blades & Vanes St. 3 & 4
P	P	P	Optional	Optional	Hot Gas Inner Casing Coating

P	P	P	Optional	Optional	Mixing Chamber Coating
P	P	P	Optional	Optional	Flame Tube Inserts and Plates Coating
P	P	P	P	X	Modification on Ignition Gas System
P	P	P	X	X	Exhaust Casing Insulation
P	P	X	P	X	Air-Intake modification
conditional	conditional	Cooler Only	Cooler Only	X	Generator cooler and Stator Wiring
P	P	P	P	P	Control System Modification
X	X	X	X	X	Supplementary Auxiliaries system

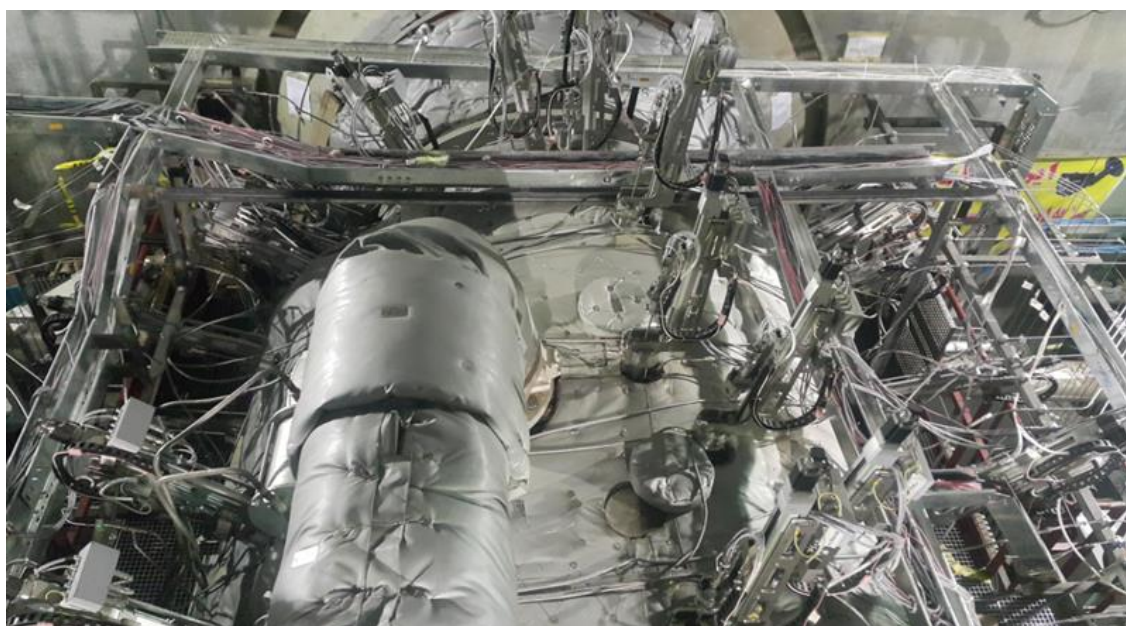
X اعمال نشده است؛ P اعمال شده است.

جزئیات تغییرات عملکردی با ارتقاء به MAP2B به شرح جدول زیر است:

جدول ۲۰-۱. تغییرات عملکرد در ارتقاء MAP2B [۲۴].

Performance Parameters, ISO				
Life (EOH)	.TIT Inc	Efficiency	Power Inc.	
Up to 50000	–	+0.6	+4	MAP2B-T60
Up to 50000	–	+0.9	+10	MAP2B-CT60
Up to 41000	+30	+0.8	+12.5	T90 – MAP2B
Up to 41000	+30	+1.1	+19	CT90 – MAP2B
Up to 41000	+30	+2	+21	MAP2B-Full

یکی از ثمرات مهم طرح ارتقای توربین MAP2B، احداث آزمایشگاه MAPLAB در یکی از نیروگاه‌های تحت مالکیت گروه مپنا (نیروگاه پرند) بوده که امکان داده‌برداری از شرایط عملکرد واقعی یکی توربین متصل به شبکه برق را فراهم می‌سازد. بیش از هزار حسگر داده‌های عملکردی سیستم‌های مختلف توربین گاز را ذخیره کرده و امکان بررسی و آزمایش برای طراحان را ممکن می‌سازد.



شکل ۴۸-۱. حسگرهای نصب شده بر روی توربین MAP2B در آزمایشگاه MAPLAB [۲۱].

یکی از شرکت‌های ایرانی که اقدام به ساخت پره‌های توربین گازی کرده است شرکت مپنا-پرتو است.

۳-۵-۱- شرکت پرتو

"شرکت مهندسی و ساخت پره توربین مپنا" (پرتو) با بهره‌گیری از مدرن‌ترین ماشین‌آلات و برخورداری از توان بالای مهندسی، اواخر آبان ۱۳۷۹ تأسیس شد تا تولید قطعات داغ توربین‌های گازی برای مصارف نیروگاهی و صنعتی را محقق سازد. این شرکت با برخورداری از تمامی فرآیندهای موردنیاز برای ساخت قطعات داغ شامل ریخته‌گری، ماشین‌کاری و پوشش در یک مجموعه، از شرکت‌های منحصر به فرد و پیشرو در منطقه خاورمیانه محسوب می‌شود.

فعالیت شرکت پرتو با تولید پره‌های توربین MGT70 (V94.2) تحت لیسانس شرکت زیمنس آلمان و تولید پره‌های توربین GE-F9 با مهندسی معکوس آغاز شد. سپس نسبت به تولید قطعات داغ توربین‌های نیروگاهی و صنعتی نظیر Hitachi H-25، E213، ZORYA (MGT30) و همچنین ساخت قطعات ارتقاء یافته توربین‌های مختلف نظیر MGT70 (1) و MGT70 (2) و MGT70 (3) برای توربین‌های V94.2 و نیز پره‌های ارتقاء یافته GEF9 اقدام شد.

ماموریت شرکت پرتو مهندسی، ساخت و تأمین قطعات داغ توربین‌های گازی و محصولات مشابه با بهره‌گیری از منابع و فن‌آوری‌های نوین برای مشتریان حوزه نیرو و نفت و گاز در بازارهای داخلی و بین‌المللی است و قابلیت ساخت و تولید انواع قطعات داغ توربین‌های گازی مختلف در گستره وزنی ۰.۱ تا ۱۵۰ کیلوگرم را داراست. جنس قطعات تولیدی از انواع مختلف سوپر آلیاژهاست و انواع پوشش‌های روکشی و نفوذی متداول در صنعت از جمله TBC، MCrAlY و Aluminizing با آخرین روش‌های موجود (APS)، HVOF، CVD، Cementation Pack، LVPS، روی آنها اعمال می‌شوند. این شرکت با بهره‌گیری از دانش روز و اتکا به امکانات وسیع خود از کارگاه‌های تولید ماهیچه سرامیکی، ریخته‌گری به روش Casting Investment Precision، ماشین‌کاری شامل سوراخ‌کاری الکتروشیمیایی (STEM)، سنگ‌زنی خزشی (CFG)، ماشین‌کاری تخلیه الکتریکی (EDM) و فرزکاری، پوشش و عملیات تکمیلی با روش پاشش پلاسمائی در شرایط خلاء و اتمسفر برخوردار است. مهندسی مجدد، طراحی و تدوین مشخصات فنی محصولات با تکیه بر تیمی توانمند از مجرب‌ترین مهندسان کشور انجام می‌شود. طراحی، تدوین و تثبیت فرآیند تولید برای محصولات جدید بر مبنای تأییدیه فرآیند تولید و محصول (PPQ)، تحلیل انتقال حرارت در پره‌های ثابت و متحرک، تحلیل مودال پره‌های متحرک با استفاده از FEM، شبیه‌سازی عددی جریان در پره‌های ثابت و متحرک، منجر به تولید مدل‌های وسیعی از انواع قطعات داغ توربین‌های گازی شده است.

برخی دستاوردهای شرکت مهندسی و ساخت پره توربین مپنا (پرتو):

- تولید پره‌های ثابت و متحرک ردیف ۱ تا ۴ توربین MGT70 (V94.2) تحت لیسانس زیمنس
- تولید پره‌های ارتقاء یافته توربین MGT70 (V94.2) شامل MGT70 (1) و MGT70 (2) و MGT70 (3)

- تولید پره‌های ثابت و متحرک ردیف ۱ تا ۳ توربین GE F9 و تولید پره‌های ارتقا یافته آن
- تولید تمامی پره‌های ثابت و متحرک توربین MGT30 (Zorya-DU/DG80)
- تولید پره‌های ثابت و متحرک توربین GT13E2
- تولید پره ردیف اول توربین GE F6(PG6581B) از طریق تکنولوژی DS
- تولید پره‌های ثابت ردیف ۱ تا ۳ توربین GEF6
- تولید پره ردیف اول توربین Pignone GEF5 (Nuvo D)&MS5002C از طریق تکنولوژی DS
- تولید پره‌های ثابت و متحرک توربین SGT400
- ساخت پره ردیف اول توربین SGT 400 به روش تک کریستال و ردیف دوم این توربین به روش انجماد جهت دار
- تولید پره‌های ثابت و متحرک توربین H25
- تولید پره‌های ثابت و متحرک توربین M701D میتسوبیشی
- تولید پره متحرک ردیف اول توربین SGT800 با تکنولوژی ریخته‌گری SX
- تولید انواع ماهیچه‌های سرامیکی
- ارائه خدمات فنی شامل آنالیز عمر باقیمانده قطعات مسیر داغ توربین‌های گازی، ریشه‌یابی حوادث نیروگاهی (بخش داغ) و شکست‌نگاری (Fractography)
- ارائه خدمات پوشش و ماشین‌کاری و ریخته‌گری بر اساس نیاز مشتری

[۲۵]

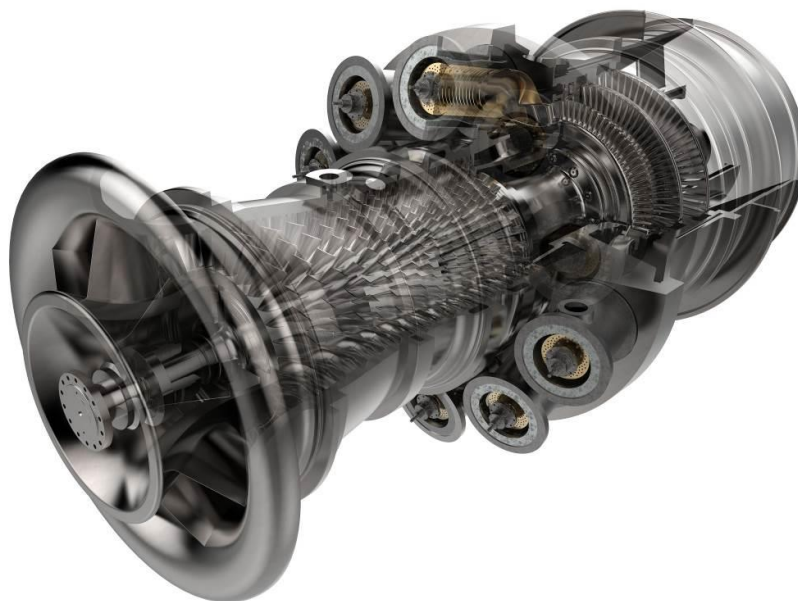
۴-۵-۱- شرکت توربو کمپرسور تک خاورمیانه (توربوتک)

شرکت توربو کمپرسور تک خاورمیانه (توربوتک) در تابستان سال ۱۳۸۹ به منظور کسب دانش فنی از طریق پژوهش و تحقیقات در زمینه‌های طراحی انواع موتورهای توربینی و کمپرسورهای صنعتی و سیستم‌های جانبی آن‌ها با مشارکت

شرکت توربین‌های گازی صنعتی خاورمیانه (MIGT) و شرکت پتروگاز خاورمیانه در تاریخ ۱۳۸۹/۵/۱۸ به ثبت رسیده است [۲۶]. این شرکت به عنوان بازوی طراحی شرکت OTC (توربین کمپرسور نفت آسیا) شروع به کار نمود.

زمینه فعالیتهای این شرکت به شرح زیر است:

- طراحی و ارتقاء توربین IGT25
 - توافق بلند مدت برای بهینه‌سازی عملکرد و عمر توربینهای گازی فریم ۹
 - طراحی توربین گازی NGT150
 - مانیتورینگ وضعیت توربین گازی فریم ۹
 - طراحی پایه نیروگاه و ایستگاههای کمپرس گازی براساس تطبیق شرایط محیطی
- طراحی و ارتقاء توربین گازی فریم ۹ براساس قرارداد همکاری مشترک شرکت توربوکمپرسور تک خاورمیانه و پژوهشگاه نیرو است که طی آن توربینهای گازی فریم ۹ با ظرفیت ۱۲۳.۴ مگاوات به ۱۳۲ مگاوات افزایش ظرفیت خواهند یافت (شکل ۴۹-۱). در این پروژه که از سال ۱۳۹۶ شروع شده است بخشهای مختلف توربین گازی فریم ۹ PG9171E جهت افزایش ظرفیت و بهبود عملکرد بازطراحی خواهند شد.



Simple Cycle Upgrading

Turbine Model		F9	NGT 150-1
Output (MW)		123	132
Heatrate (kJ/kWh)		10,632	10,403
Efficiency		33.8%	34.6%
Exhaust temp.		543.5°C	544°C
Maintenance Intervals (hr)		24000	32000
Capacity Annually (MWh)		-	76,800

Combined Cycle Upgrading

Turbine Model		F9	2x1 NGT 150-1
Output (MW)		347	401
Heatrate (kJ/kWh)		8,180	6,816
Efficiency		44%	52.8%

شکل ۴۹-۱. توربین گازی NGT150-1 [۲۶].

۵-۵-۱- شرکت تعمیرات نیروگاهی ایران

شرکت تعمیرات نیروگاهی ایران یکی از شرکت‌های وابسته به شرکت توانیر می‌باشد که در سال ۱۳۶۰ تحت عنوان مدیریت تعمیرات اساسی توانیر فعالیت خود را آغاز و در سال ۱۳۷۰ با آغاز خصوصی سازی و واگذاری امور به بخش غیر دولتی با تاسیس شرکت تعمیرات نیرو در زمینه تعمیرات اساسی نیروگاه‌های کشور در خدمت صنعت برق قرار گرفت و در سال ۱۳۷۷ جهت توسعه توان سخت افزاری و نرم افزاری شرکت در زمینه تعمیر تجهیزات اصلی وجانبی صنایع نیروگاهی، نفت و گاز و پتروشیمی و دیگر صنایع تحت عنوان شرکت توسعه صنایع نیروگاهی خدمات گسترده ای را ارائه نمود. هم اکنون شرکت تعمیرات نیروگاهی ایران با فضای کارگاهی بالغ بر ۲۶۰۰۰ مترمربع با بهره‌مندی از مدیران مجرب و با سابقه و پرسنل متخصص و باتجربه و با برخورداری از مدرن ترین تجهیزات و ماشین آلات و امکانات و آزمایشگاهی ویژه توان ارائه طیف گسترده ای از خدمات فنی در زمینه تعمیر و ساخت تجهیزات صنعت برق و نفت و گاز و پتروشیمی و سایر صنایع بزرگ کشور را به شرح ذیل را دارد.

خدمات قابل ارائه این شرکت:

- ساخت انواع پره‌های توربین‌های بخار و ساخت پره‌های کمپرسور توربین‌های گازی.



شکل ۵-۱ نمونه پره های ساخت شرکت تعمیرات نیروگاهی ایران [۲۷].

- تعمیر و بازسازی انواع روتورهای توربین گاز و بخار براساس دستورالعمل‌های شرکت سازنده، تعمیر، بازسازی، نوسازی و بهینه سازی انواع روتورهای ژنراتور

- استفاده از ماشین آلات انحصاری تراش چهارمحوره، دستگاه تراش پنج محوره، دستگاه CMM، دستگاه Moment Weight و ماشینکاری سنگین جهت مهندسی معکوس برای پره های توربین



شکل ۵۱-۱ دستگاه تراش پنج محوره و دستگاه CMM [۲۷].

- ارائه خدمات بالانس دینامیکی دور بالا (Over speed) انواع روتورهای توربین و ژنراتور در محفظه خلاء تا وزن ۸۰ تن



شکل ۵۲-۱ محفظه خلا مربوط به شرکت تعمیرات نیروگاهی [۲۷].

- ارائه خدمات بالانس دینامیکی دور پایین (Low speed) انواع روتورهای توربین و ژنراتور و سایر محورها
- ارائه خدمات بالانس دینامیکی انواع روتورهای سنگین و غیرقابل حمل در محل با دستگاه بالانس پرتابل
- آنالیز ارتعاشات و یافتن عیوب ناشی از ارتعاشات با دستگاه آنالیزور پرتابل
- طراحی و ساخت قطعات یدکی ویژه و تجهیزات و نیز ابزارآلات خاص با استفاده از روش های مهندسی معکوس و خدمات دیگری نظیر:

- عملیات حرارتی قطعات صنعتی در سایت و کارگاه
- عملیات جوشکاری قطعات حساس در سایت و کارگاه

- ساخت انواع مبدل های حرارتی نیروگاهی، پالایشگاهی
 - انجام آزمایشات غیر مخرب و بازرسی فنی با استفاده از کاملترین و مدرن ترین تجهیزات
 - آزمایش (UT) التراسونیک، ضخامت سنجی، سختی سنجی و انواع دستگاه دیجیتالی با زوایا و فرکانس های مختلف و بلوک های کالیبراسیون خارجی قابل آزمایش بر روی جوش ها، اتصالات، ورق ها، قطعات ریخته گری، سازه های فلزی، مخازن، کشتی ها، صنایع هوافضا و صنایع خودروسازی
 - آزمایش (PT) و رنگ های نفوذی و (MT) ذرات مغناطیسی
 - رادیو گرافی (RT) و تفسیر فیلم های رادیوگرافی (RTI)
 - تجزیه و تحلیل علت تخریب و زوال قطعات نیروگاهی و صنعتی
 - آزمایشگاه مجهز به دستگاه های آنالیز کوانتومتری - سختی سنجی - یونیورسال - میکروسختی سنج - میکروسکوپ نوری - استریومیکروسکوپ
 - نصب و راه اندازی نیروگاه های بخار - گازی - آبی و تجهیزات صنعتی
- انجام خدمات فنی ومهندسی:
- طراحی ابزارهای مخصوص و رولرها
 - طراحی و ساخت فیکسچر و ابزارهای مخصوص جهت رتور توربین ها و ژنراتورها
 - طراحی و ساخت ابزار آلات مخصوص دمونتاز پره های توربین بخار
 - طراحی و ساخت ابزارهای مخصوص عملیات حرارتی اینرکسینگ توربین های گازی
 - تهیه نقشه های ساخت
- خدمات کارگاه ماشینکاری:
- انجام تست Run-out جهت روتورهای با تناژ بالا (۱۰۰ تن) و نیز قطر (۳/۵ متر)
 - ماشینکاری روتور، ژورنال رتور، سیل های رتور با دقت ۰/۰۲ میلیمتر
 - تست Run-out جهت کریر سیلها و نیز ماشینکاری پوسته های توربین های بخاری و گازی
 - سوراخکاری جهت پوسته های توربین بخاری و گازی
- خدمات بخش توربین گاز به شرح زیر است:
- اندازه گیری اولیه قبل از دمونتاز توربین و کمپرسور
 - دمونتاز دیسک های روتور
 - بازسازی محور ژورنال با روش جوشکاری
 - انجام سند بلاست و تستهای NDT
 - بازسازی تجهیزات آسیب دیده توربین و کمپرسور
 - کنترل اندازه گیریهای مختلف و تعویض قطعات شامل پره ، پیچها و قطعات یدکی

- انجام تست اوراسپید بالانس
- خدمات RI توربین های گاز
- روتورهای اورهال شده شامل :
- وستینگ هاوس (W101-W191-W251)
- میتسوبیشی (MW701D-MW701B)
- جنرال الکتریک (F5-F6-F9). فیات (TG16-TG20)
- زیمنس (V94-2)
- بی.بی.سی (D-11D-13D^۹).

پروژه های مهندسی معکوس و ساخت جهت تجهیزات توربینهای گاز و بخار این شرکت:

- ساخت پره های کمپرسور GEF-5
- ساخت استاب شفت روتور GEF-5
- ساخت دیسکهای کمپرسور روتور GEF-5
- ساخت پره های متحرک روتور کمپرسور GEF-6
- ساخت پره های روتور کمپرسور GEF-9
- ساخت استاب شفت روتور GEF-9
- ساخت پره های روتور کمپرسور W251-TG20
- ساخت لاک پینهای پره های رتور W251-TG20
- ساخت پره های ثابت و متحرک توربینهای بخار در قسمتهای مختلف HP,IP,LP
- ساخت پره فندهای خنک کاری آلومینیومی روتورهای ژنراتور
- ساخت نگهدارنده های میلگردهای کوره مسی
- ساخت روتور توربین واحد بخار ۸۲ مگاواتی GE
- ساخت روتور توربین گاز میتسوبیشی مدل ۷۰۱

شرکتهای فوق از شرکتهای اصلی در زمینه توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی است. توضیح پیرامون سایر شرکتهای فعال در زمینه فناوریهای توربین گازی در [۲۰] ارائه شده است.

۶-۱- مراکز پژوهشی و دانشگاهی

جدول ۲۱-۱ برگرفته از سند توسعه فناوری توربین گازی [۲۰] و با اصلاحات نسبت به تاریخ نگارش این نقشه راه، لیستی از مراکز پژوهشی و دانشگاهی فعال در زمینه توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی را ارائه می‌دهند.

جدول ۲۱-۱: لیست متخصصین دانشگاهی

نام موسسه	نام زیرمجموعه/گروه	مسئول/ حوزه فعالیت
دانشگاه صنعتی شریف	گروه صنعتی دور علی	دکتر محمد دورعلی، محسن اصغری/ سازه، طراحی، آزمون، شبیه سازی
	آزمایشگاه توربین گاز	دکتر علی حاجیلوی بنیسی/ توربوماشین، طراحی، آزمون، شبیه سازی
	دانشکده مهندسی مکانیک	دکتر محمد حسن سعیدی/ طراحی، ترمودینامیک
	دانشکده مهندسی هوافضا	دکتر محمدرضا مراد، دکتر کاوه قربانیان/ طراحی توربوماشین و شبیه سازی ترمودینامیکی دکتر حسین محمدنوازی، دکتر حسن حداد/ سازه، دینامیک، آزمونهای مکانیکی
دانشگاه صنعتی امیرکبیر	دانشکده مهندسی مکانیک	دکتر نادر منتظرین/ آئرو دینامیک دکتر مجید صفار اول / سیکل ترمودینامیک دکتر عبداللهی، دکتر آرزو / ساخت توربین دکتر محمد جعفر کرمانی / آئرو دینامیک و سیکل
	دانشکده مهندسی هوافضا	دکتر مسعود برومند/ آئرو دینامیک
دانشگاه تهران	دانشکده مهندسی مکانیک/موسسه مپن	دکتر رئیسی / مرکز توربوماشین، انتقال حرارت، توربوماشین دکتر مهدی اشجعی، دکتر پدرام حنفی زاده/ طراحی، آزمون، شبیه سازی فرشاد کوثری/ انتقال حرارت در توربین های گازی
	دانشکده مهندسی مکانیک	دکتر یوسف حجت، دکتر علی جعفریان، دکتر محمد رضا انصاری دکتر کیومرث مظاهری، دکتر محمد ضابطیان / طراحی، شبیه سازی، آزمون
دانشگاه علم و صنعت ایران	دانشکده مهندسی مکانیک	دکتر سپهر صنایع، دکتر سید مصطفی حسینی پور، دکتر مرتضی منتظری / طراحی، شبیه سازی، آزمون فرزاد بازیددی / انتقال حرارت توربین گاز دکتر شهرام درخشان / توربوماشین دکتر مجید سیاوشی / انتقال حرارت و خنک کاری دکتر محمد حسن شجاعی فرد / توربوماشین
	پژوهشکده توربین گاز	مرکز پژوهشی تحلیل و طراحی توربین گازی

دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی	دانشکده مهندسی مکانیک	دکترمجید بازارگان، دکتر سید علی جزائری
دانشگاه شهید بهشتی	دانشکده مهندسی مکانیک	دکتر خوشخو / سیکل ترمودینامیک، انتقال حرارت دکتر آرمان محسنی، دکتر مجدم، دکتر فصیح فر / توربوماشین، طراحی، شبیه سازی مرکز توربوماشین
دانشگاه صنعتی اصفهان	دانشکده مهندسی مکانیک	دکتر مهدی نیلی، دکتر ابراهیم شیرانی
دانشگاه زنجان		دکتر پورسعیدی / تعمیر و نگهداری
دانشگاه شهید رجایی		محمدرضا علیگودرز / توربوماشین

۱-۶-۱- موسسه پژوهشی مپن - دانشگاه تهران

موسسه پژوهشی مپن در سال ۱۳۸۹ تاسیس گردید. این موسسه از بخش های مختلفی مانند طراحی و بهینه سازی نیروگاه، مواد، کنترل، حمل و نقل ریلی، انرژی های تجدیدپذیر و تشکیل شده است. گسترش، تولید و اخذ دانش و فن آوری موردنیاز جهت به کارگیری در صنعت نیروگاه های حرارتی و سایر حوزه های کسب و کار مپنا از اهداف موسسه مپن می باشد.

اهداف موسسه:

- ۱- گسترش، تولید و اخذ دانش و فن آوری موردنیاز جهت به کارگیری در صنعت نیروگاه های حرارتی و سایر حوزه های کسب و کار مپنا.
- ۲- مشارکت در تامین نیروی انسانی متخصص موردنیاز توسعه صنعت نیروگاه های حرارتی و سایر حوزه های کسب و کار مپنا.

۳- گسترش مرزهای دانش و توسعه فن‌آوری پیشرفته در زمینه‌های مختلف طراحی و ساخت تجهیزات نیروگاهی با توجه به طراحی و ساخت تجهیزات نیروگاهی و نیز در زمینه سایر حوزه‌های کسب‌وکار مپنا با توجه به طرح‌های کلان و برنامه‌های راهبردی گروه مپنا.

۴- ارتقاء و تحکیم جایگاه علمی و فن‌آوری کشور در زمینه‌های فوق‌الذکر در سطوح منطقه‌ای و بین‌المللی. حفظ و گسترش ارتباط علمی صنعت و دانشگاه.

وظایف موسسه:

مدیریت و انجام پژوهش‌های کاربردی و توسعه‌ای موردنیاز کشور با بهره‌گیری از امکانات پردیس دانشکده‌های فنی، سایر دانشگاه‌ها، گروه مپنا و سایر صنایع و موسسات ملی و بین‌المللی به منظور:

۱- ارتقاء دانش فنی و توسعه فن‌آوری‌های مرتبط با نیروگاه‌های حرارتی و سایر حوزه‌های کسب‌وکار مپنا

۲- تجاری‌سازی یافته‌های پژوهشی "موسسه"

۳- کاهش هزینه‌های تولید

۴- حضور و رقابت در بازارهای منطقه‌ای و جهانی

از دیگر وظایف موسسه به موارد زیر می‌توان اشاره نمود:

- مطالعه و بررسی تفاوت‌های دانشی، فن‌آوری و تولیدی صنعت ملی و صنعت جهانی و ارائه راهکارهای عملی برای کاهش فاصله

- ایجاد ارتباطات علمی با موسسات دانشگاهی و سایر موسسات علمی بین‌المللی که دارای تخصص‌های لازم در زمینه تجهیزات صنعت نیروگاه‌های حرارتی و سایر حوزه‌های کسب‌وکار مپنا باشند.

- همکاری با سایر مراکز پژوهشی، آموزشی و صنعتی فعال کشور در زمینه‌های مرتبط با فعالیت‌های "موسسه"

- ارائه دوره‌های آموزشی پیشرفته تخصصی با توجه به نیاز صنعت نیروگاه‌های حرارتی کشور و سایر حوزه‌های کسب‌وکار مپنا.

- ارائه خدمات مشاوره‌ای تخصصی مرتبط با فعالیت‌های موسسه

- تهیه و تدوین برنامه‌های آموزشی دوره‌های کارشناسی ارشد و دکتری در زمینه‌های تخصصی تجهیزات نیروگاهی و سایر حوزه‌های کسب‌وکار مپنا برای ارائه به مراجع ذیربط.
- برگزاری کنفرانس‌ها، سمینارها و همایش‌های موردنیاز در سطوح ملی و بین‌المللی

محورهای مرتبط مورد بررسی در پروژه‌ها

- تحقیق و ارزیابی تکنولوژی‌های نوین و ارائه راهکارهای عملیاتی
- افزایش توان توربین‌های گاز و انجام تحلیل‌های مربوطه
- انجام مطالعات پایه، طراحی و ساخت آزمایشگاه‌های مورد نیاز در تست تجهیزات نیروگاهی
- تحلیل‌های ترمودینامیکی- سیالاتی توربین‌های گاز
- طراحی و ساخت آلیاژهای دما بالا
- طراحی، نمونه سازی و تست برخی از قطعات نیروگاهی مورد نیاز

۲-۶-۱- پژوهشکده توربینهای گازی - دانشگاه علم و صنعت

پژوهشکده توربین‌های گازی دانشگاه علم و صنعت ایران در پاسخ به نیازهای متعدد صنعت کشور در حوزه موتورهای هوایی و توربین‌های صنعتی در سال ۱۳۹۱ تأسیس شد و از ابتدای سال ۱۳۹۲ آغاز به کار نمود. هر چند که با فعالیت‌های اعضای هیات علمی دانشکده مهندسی مکانیک، عمر پژوهش‌های صورت گرفته در خصوص انواع توربین‌های گازی در این دانشکده به بیش از ۱۵ سال می‌رسد. تاکنون ده‌ها پایان‌نامه در مقاطع تحصیلات تکمیلی در حوزه موتورهای هوایی و توربین‌های صنعتی تعریف شده و به پایان رسیده است.

از موضوعات مرتبط با فراخوان این پژوهشکده در زمینه توربین‌های گازی به موارد زیر می‌توان اشاره نمود:

۱- موضوعات مورد حمایت با تمرکز بر توربین‌های گاز و موتور توربوفن در حوزه مهندسی مکانیک و هوافضا

- ۱-۱ طراحی، تحلیل، آنالیز حساسیت و بهینه‌سازی سیکل عملکردی موتور
- ۲-۱ فناوری‌های پیشرفته و کلیدی در طراحی ماژول فن
- ۳-۱ فناوری‌های پیشرفته و کلیدی در طراحی ماژول کمپرسور جریان محوری

- ۴-۱ فناوری های پیشرفته و کلیدی در طراحی مازول توربین جریان محوری
- ۵-۱ فناوری های پیشرفته و کلیدی در طراحی مازول محفظه احتراق
- ۶-۱ تحلیل استحکام و تخمین عمر
- ۷-۱ مدلسازی و کنترل موتور
- ۸-۱ طراحی آیرودینامیکی فن های پیشرفته موتورهای توربوفن مدرن
- ۹-۱ آیرودینامیک پره های فن موتورهای توربوفن
- ۱۰-۱ ناپایداری های آیرودینامیکی در کمپرسورها و فن موتورهای توربوفن و کنترل آنها
- ۱۱-۱ فناوری های پیشرفته برای کاهش صدا در موتورهای توربوفن
- ۱۲-۱ کاربرد مواد کامپوزیت در پره های فن موتورهای توربوفن و تحلیل های استحکامی و دینامیکی
- ۱۳-۱ نقش VIGV در بهبود عملکرد آیرودینامیکی کمپرسورهای محوری، طراحی و تحلیل های عددی
- ۱۴-۱ فناوریهای نوین در محفظه احتراق نظیر سیستم (TAPS طراحی و تحلیل)
- ۱۵-۱ فناوریهای نوین برای خنک کاری پره های توربین موتورهای توربوفن (طراحی و تحلیل)
- ۱۶-۱ سیستمهای جانبی موتور (سیستم استارت، اطفاء حریق، سیستم هوا، سوخت رسانی، جعبه دندهها، تراست معکوس ترمزی و)....
- ۱۷-۱ استاندارد و اخذ گواهینامه‌های معتبر بینالمللی
- ۱۸-۱ تستهای قطعات، مولفه‌های و سیستمی موتور
- ۱۹-۱ تحلیل دینامیکی اجزای متحرک و دوار
- ۲۰-۱ توسعه فناوریهای کلیدی موتور
- ۲۱-۱ توسعه فناوریهای ساخت موتور
- ۲۲-۱ توسعه فناوریهای مواد پیشرفته در موتور
- ۲۳-۱ کنترل فعال درز نوک پره های توربین موتورهای توربوفن (طراحی و تحلیل های عددی)
- ۲۴-۱ طراحی نازل Chevron برای موتورهای توربوفن
- ۲۵-۱ مواد پیشرفته، پوشش دهی و فرایندهای نوین در ساخت قطعات موتورهای توربوفن
- ۲۶-۱ طراحی و تحلیل سیستم FADEC
- ۲۷-۱ یاتاقان های مدرن موتورهای توربوفن
- ۲۸-۱ تعمیر و نگه داری موتورهای توربوفن و اجزای آنها
- ۲۹-۱ اشتقاق موتورهای صنعتی از موتورهای هوایی (برای یک مورد خاص)
- ۳۱-۱ طراحی مکانیزم معکوس کننده تراست و تحلیل های جریان و استحکام
- ۳۱-۱ روشهای نوین ماشینکاری قطعات موتور
- ۳۲-۱ روشهای نوین تست قطعات موتور
- ۳۳-۱ موضوعات دیگر در رابطه با فناوریهای نوین در موتورهای توربین گاز هوایی با کاربرد در هواپیمای مسافربری

۲- موضوعات مورد حمایت با تمرکز بر توربین های گاز و موتور توربوفن در حوزه مهندسی مواد و ساخت

۱-۲ پوشش های سد حرارتی بر روی قطعات داغ موتور، روش تولید، کیفیت پوشش، روش تست و کنترل کیفی و کمی.

- ۲-۲ تاثیر پوشش های اعمال شده بر روی قطعات بر خواص مکانیکی، ریزساختار و عمر قطعه
- ۳-۲ بررسی تاثیر سیکل عملیات حرارتی بر خواص مکانیکی و خوردگی آلیاژهای مورد استفاده در ساخت قطعات موتور
- ۴-۲ بررسی پارامترهای تولید بر خواص مکانیکی قطعات آهنگری شده در موتور
- ۵-۲ بررسی تاثیر پارامترهای جوشکاری بر خواص مکانیکی و خوردگی در قطعات موتور
- ۶-۲ ریخته گری دقیق و تک کریستال برای تولید قطعات داغ و پره های متحرک
- ۷-۲ تکنولوژی های پیشرفته در پوشش دهی قطعات موتور جهت افزایش خواص مکانیکی و خوردگی آنها
- ۸-۲ تولید قطعات موتور به روش متالورژی پودر
- ۹-۲ بهبود رفتار خوردگی داغ و اکسیداسیون پره های توربین با اعمال پوشش های TBC روی آنها
- ۱۰-۲ بهبود عمر خزشی سوپرآلیاژ اینکونل ۷۳۸ به کار رفته در ساخت پره های ثابت توربین با انجام عملیات حرارتی
- ۱۱-۲ تعیین آزمایشات لازم برای کنترل کیفی پره های ثابت توربین
- ۱۲-۲ اثر فرایند HIP بر خواص مکانیکی و عمر مفید قطعات به کار رفته در موتور جت
- ۱۳-۲ اثر دمای عملیات حرارتی آنیل انحلالی بر ریزساختار سوپرآلیاژ پایه نیکل Inconel ۷۱۳ LC
- ۱۴-۲ اثرات سرعت کرنش و دما بر روی رفتار شکل دهی سوپرآلیاژ پایه نیکل Hastelloy X در حین تغییر شکل دما بالا
- ۱۵-۲ اکسیداسیون سوپرآلیاژهای پایه نیکلی مورد استفاده در پره های ردیف اول توربین
- ۱۶-۲ بازیابی قطعات داغ مستعمل سوپرآلیاژ اینکونل ۷۳۸ با استفاده از فرایند فشردن ایزوستاتیک داغ و...
- ۱۷-۲ مواد و ساخت یاتاقان های بکار رفته در موتورهای هوایی
- ۳- موضوعات مورد حمایت با تمرکز بر توربین های گاز و موتور توربوفن در حوزه های مدیریت و مهندسی صنایع**

- ۱-۳ مدل های انتقال فناوری در صنعت ساخت موتورهای توربین گاز
- ۲-۳ مدل های خلق فناوری در صنعت ساخت موتورهای توربین گاز
- ۳-۳ آینده نگاری فناوری در صنعت ساخت موتور هواپیما
- ۴-۳ مدل های مناسب تحقیق و توسعه برای ایجاد فناوری طراحی و ساخت موتورهای توربین گاز
- ۵-۳ روش های بومی سازی فناوری در صنعت توربین های گاز
- ۶-۳ برنامه ریزی استراتژیک فناوری طراحی و ساخت موتور هواپیما
- ۷-۳ الگوهای مناسب مدیریت دانش برای ایجاد و بومی سازی فناوری ساخت موتور هواپیما
- ۸-۳ مدل های مناسب مدیریت و برنامه ریزی پروژه های پیچیده (با محوریت طرح کلان موتور هواپیما)
- ۹-۳ ارائه مدل مناسب جهت زنجیره تامین اقلام و فناوری های کلیدی طرح کلان موتور هواپیما
- ۱۰-۳ ارائه سیستم مناسب جهت مستندسازی طرح کلان موتور هواپیما
- ۱۱-۳ پیاده سازی سیستم مدیریت ارزش کسب شده جهت پایش پیشرفت طرح کلان موتور هواپیما
- ۱۲-۳ ارائه مدل مناسب مدیریت دانش طرح کلان موتور هواپیما

۳-۶-۱- سایر مراکز

مراکز و شرکتهای دانش بنیان دانشگاهی در زمینه جزء فناوریهای توربینهای گازی نیز وجود دارند که جهت بررسی آنها به مرجع [۲۰] میتوان مراجعه نمود.

۷-۱- مراکز پژوهشی دولتی

تعدادی از مراکز پژوهشی دولتی که نقش حمایتی جهت توسعه فناوریهای صنعت برق دارند در جدول ۲۲-۱ ارائه شده است. مهمترین این مراکز که پیگیر توسعه فناوریهای مورد اشاره این مطالعه است پژوهشگاه نیرو است. مراکز پژوهشی دانشگاهی نیز که دولتی هستند در بخش مراکز پژوهشی و دانشگاهی بررسی شدند. مرجع [۲۰] بررسی از سایر مراکز پژوهشی دولتی نیز ارائه می‌دهد.

جدول ۲۲-۱: لیست مراکز پژوهشی فعال در حوزه توربین گازی

سازمان پژوهش های علمی صنعتی ایران
پژوهشگاه نیرو
مؤسسه پژوهش در مدیریت و برنامه‌ریزی انرژی
مؤسسه مطالعات بین المللی انرژی
پژوهشگاه مواد و انرژی
مؤسسه استاندارد

۱-۷-۱- پژوهشگاه نیرو

به‌منظور تحقق بخشی از وظایف پژوهشی وزارت نیرو و نیز ارتقاء کیفی امور آن وزارتخانه پژوهشگاه نیرو وابسته به وزارت نیرو تأسیس گردید. در ابتدا مجوز تأسیس ۳ پژوهشکده برق، تولید نیرو و انتقال و توزیع نیرو صادر شد و پژوهشگاه رسماً کار خود را از سال ۱۳۷۶ آغاز نمود. در سال ۱۳۷۷ مجوز تأسیس ۲ پژوهشکده انرژی و محیط زیست و کنترل و مدیریت شبکه نیز اخذ شد.

پژوهشگاه نیرو علاوه بر پروژه‌های داخلی، در چندین پروژه بین‌المللی با مشارکت کشورهای پیشرفته صنعتی نیز حضور داشته و سعی دارد حضور خود را در این قبیل پروژه‌ها توسعه دهد [۲۸].

سند چشم انداز پژوهشگاه نیرو:

در سال ۱۴۰۴ هجری شمسی، پژوهشگاه نیرو موسسه‌ای است دانش بنیان، با اعتبار جهانی و پیشرو در نوآوری‌های صنعت برق و انرژی
ماموریت پژوهشگاه نیرو:

- مدیریت تحقیقات کاربردی و توسعه‌ای صنعت برق و انرژی
- اجرای مطالعات و تحقیقات راهبردی، کلان، بلندمدت و با ریسک بالای صنعت برق و انرژی
- ایجاد، توسعه و اکتساب فن‌آوری
- حمایت از توسعه فن‌آوری و نوآوری

استراتژی‌های پژوهشگاه نیرو:

➤ انجام مطالعات و اجرای پروژه‌های آینده‌نگاری و سیاست پژوهی صنعت برق و انرژی در سبد پروژه‌های پژوهشگاه نیرو

- تعیین حوزه‌های تحقیقات راهبردی و پیدایش فناوری‌های نوظهور در صنعت برق و انرژی
- جهت‌گیری تبیین پژوهش با رویکرد انجام پروژه‌های مشترک دانشگاه و صنعت
- نظام مند نمودن فرآیند آینده‌نگاری و سیاست پژوهی
- ارتقاء نقش پژوهشگاه نیرو در سیاست پژوهی و آینده‌نگاری صنعت برق و انرژی

➤ ظرفیت‌سازی و حمایت از فن‌آوری‌های صنعت برق و انرژی

- افزایش سهم پژوهشگاه نیرو در تامین فناوری های نوین صنعت برق و انرژی در سطح ملی
 - ایجاد نظام پایش تحولات فناوری در سطح بین الملل
 - تثبیت جایگاه پژوهشگاه نیرو در مدیریت فناوری
- فراهم سازی زیر ساخت های توسعه فناوری صنعت برق و انرژی (شامل : مرکز رشد شرکت های نوآور، پارک های فناوری و صندوق پژوهش و ...)
- افزایش نقش تسهیل گری علمی و فناوری شرکت های دانش بنیان و نوآور برق و انرژی کشور
 - ایجاد شبکه مراکز رشد و پارک های فناوری در صنعت برق
 - توسعه صندوق و حمایت از تجاری سازی نتایج پژوهش و حقوق مالکیت فکری
- پژوهش با تمرکز بر پروژه های راهبردی و کلان ریسک بالا و حاکمیتی
- افزایش سهم پژوهشگاه از تحقیقات راهبردی صنعت برق و انرژی کشور
 - اجرای پروژه هایی که بخش خصوصی تمایل و یا امکانات انجام کار آنها را ندارد
- ظرفیت سازی برای به عهده گیری مرجعیت در پژوهش های صنعت برق و انرژی
- ایجاد نظام مدیریت دانش بنیان و نشر دستاوردهای پژوهشی
 - ایجاد شهرت و برند برتر
 - ایجاد شبکه متخصصین در صنعت برق
 - افزایش نقش پژوهشگاه در تدوین استانداردهای صنعت برق و انرژی
- توانمند سازی پژوهشگران در صنعت برق و انرژی
- استقرار نظام صلاحیت حرفه ای
 - حمایت از پژوهشگران برای توسعه فردی
 - توسعه و ارتقا منابع انسانی پژوهشگاه
 - روزآمد کردن و ارتقای نظام توانمند سازی کارشناسان و مدیران پروژه در انطباق با مدل شایستگی
- پژوهشگاه نیرو به عنوان متولی تحقیقات در صنعت برق توانسته است با پیگیری اسناد توسعه فناوری به ویژه در حوزه تولید نیروی برق گامهای مهمی در جهت بهبود فناوریهای این حوزه داشته باشد. پژوهشگاه نیرو با نقش محوری حمایتی از توسعه فناوریهای توربینهای گازی توانسته است در جهت ارتقاء و بروزرسانی توربینهای گازی نیروگاهی کشور و همچنین سیستمهای تعمیر و نگهداری این واحدها گامهای اساسی بردارد

که مهمترین آنها پروژه تطبیق شرایط محیطی توربینهای گازی فریم ۹ با شرکت توربوتک است که در اغلب نیروگاههای کشور اجرا شده است. از دیگر پروژه های در دست اجراء این سازمان با همکاری شرکت توربوتک می توان به ارتقاء توربینهای گازی فریم ۹ جهت افزایش عمر و عملکرد اشاره کرد.

۸-۱- نهادهای حاکمیتی و دولتی

این بخش با اصلاحی که طی مدت زمان گذشته شده از سند توربین گازی [۲۹] صورت گرفته ارائه می شود و به صورت مختصر به بررسی نهادهای حاکمیتی که به صورت مستقیم و یا غیر مستقیم در بخش توربین گاز نقشی را ایفا می کنند و اقداماتی را که این سازمان ها در این زمینه انجام داده اند، پرداخته می شود و برخی از این سازمانها به تفصیل بررسی خواهند شد. در جدول ۲۳-۱ لیست نهادهای حاکمیتی و دولتی تاثیرگذار در صنعت توربین گاز ارائه شده است.

جدول ۲۳-۱: لیست نهادهای حاکمیتی و دولتی تاثیرگذار در صنعت توربین گاز

نام نهاد	حوزه فعالیت
وزارت نیرو	تنظیم کننده
شرکت توانیر	تنظیم کننده
شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی	ارائه دهنده خدمات
معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری	سیاست گذاری پژوهشی
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری	سیاست گذاری پژوهشی
مرکز همکاریهای نوآوری و پیشرفت ریاست جمهوری	تسهیل کننده
وزارت صنعت، معدن، تجارت	تنظیم کننده تسهیل کننده
وزارت امور اقتصادی و دارایی	تسهیل کننده
وزارت بازرگانی	تنظیم کننده

تسهیل کننده	
تسهیل کننده	وزارت نفت

در ادامه، سازمانهای اصلی مرتبط با این تحقیق که شامل وزارت نیرو، شرکت توانیر، شرکت مادر تخصصی برق حرارتی است بررسی خواهند شد.

۱-۸-۱- وزارت نیرو

آغاز تشکیل وزارت آب و برق (که بعدها به وزارت نیرو تغییر نام و وظیفه پیدا کرد) از اولین نظام نامه موسسه برق تهران مصوب بیست و پنجم مهر ماه ۱۳۱۵ که به منظور برق رسانی به منازل و معابر شهر تهران تأسیس شده بود، وضعیت ساختار اداری دولت پس از مشروطه تا سال ۱۳۴۲ که وزارت آب و برق تأسیس شد، همیشه به گونه‌ای بوده که ضرورت تمرکز مربوط به امور آب و برق و انرژی در یک مجموعه منسجم احساس می‌شد.

به همین دلیل این معضل دولت‌مردان را برآن داشت تا با تأسیس یک سازمان که بتواند وظایف ارایه خدمات آب و برق را در سراسر کشور برعهده بگیرد، موافقت کنند و همین تفکر در نهایت منجر به تأسیس "وزارت آب و برق" شد.

لایحه قانون تأسیس وزارت آب و برق مصوب بیست و ششم اسفند ۱۳۴۲ در واقع نقطه پایانی به تمامی سرگردان‌هایی بود که هم مصرف کنندگان آب و برق داشتند و هم شرکت‌هایی که در این زمینه فعالیت می‌کردند. براساس این مصوبه وظایف اصلی این وزارت خانه عبارت بودند از:

۱. نظارت بر منابع آب کشور و اجرای طرح‌های تامین آب و انتقال آنها به مراکز مصرف
۲. نظارت بر نحوه جاری شدن فاضلاب شهرها و واحدهای صنعتی
۳. اجرای طرح‌های انتقال و توزیع برق در قالب ایجاد شرکت‌های برق منطقه‌ای و نظارت بر نحوه استفاده از برق

با تصویب قانون ایجاد «سازمان برق ایران» (مصوب ۱۳۴۶ / ۴ / ۱۹) وزارت آب و برق موظف به تشکیل شرکت‌های برق منطقه‌ای جهت اجرای طرح‌های برق رسانی به سراسر کشور شد. همچنین تصویب قانون تأسیس «شرکت‌های بهره‌برداری از اراضی زیر سدها» در سراسر کشور در تاریخ ۱۳۴۷/۲/۳۰ وظایف وزارت آب و برق روز به روز کامل‌تر و مشخص‌تر می‌شد. پس از ایجاد «سازمان انرژی اتمی ایران»، قرار شد وظیفه مطالعه و به کارگیری سایر انرژی‌های

تجدیدپذیر به وزارت آب و برق داده شود و به همین دلیل مقدمات تشکیل وزارت نیرو برای انجام کلیه امور مربوط به آب و برق و انرژی های تجدیدپذیر به وجود آمد.

قانون تأسیس «وزارت نیرو» در بیست و هشتم بهمن ۱۳۵۳ به تصویب رسید که هدف آن حداکثر استفاده از منابع انرژی و آب کشور و همچنین تهیه و تامین انرژی و آب برای انواع مصارف عمومی شهروندان عنوان شد. وظایف اساسی وزارت نیرو نوع گسترده و همه جانبه ای از وظایف وزارت آب و برق پیشین بود. ازجمله مهم ترین این وظایف که در قانون تأسیس به آنها اشاره شده است؛ عبارتند از:

۱. مطالعه و تحقیق درباره انواع انرژی و تعیین سیاست‌ها و اجرای برنامه‌های انرژی
۲. سیاست‌گذاری، هماهنگی، نظارت و بهره برداری از شرکت‌ها و مؤسساتی که وظیفه تولید، انتقال و توزیع انرژی در سراسر کشور را به عهده دارند.
۳. مطالعه و شناخت منابع آب کشور و بهره‌برداری از آنها
۴. احداث نیروگاه‌های برق و تأسیسات تصفیه و آبرسانی در تمام نقاط کشور
۵. ساخت و تولید انواع کالاهای آب و برق

ماموریت‌های وزارت نیرو

وزارت نیرو عهده‌دار مدیریت عرضه و تقاضای آب، برق، انرژی، خدمات آب و فاضلاب و همچنین ارتقای سطح آموزش، پژوهش و فناوری و بسترسازی توسعه بازار کالا و خدمات صنعت آب و برق می‌باشد و نقش محوری خود را به نحو مؤثر در صیانت از منابع ملی، حفظ محیط‌زیست، ارتقای بهداشت عمومی، رفاه اجتماعی و خود اتکایی برای توسعه پایدار کشور ایفاء می‌کند.

وزارت نیرو با سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی، سازماندهی، هدایت، نظارت، تدوین ضوابط و مقررات و لوایح مرتبط و ایجاد فضای مناسب برای حضور مؤثر بخش‌های غیر دولتی و سایر نقش‌آفرینان، بخش‌های آب، برق و خدمات فاضلاب را در راستای تحقق چشم‌انداز کشور راهبری و با تحقق خدمات در سطح استانداردها و شاخص‌های ملی و بین‌المللی، حقوق و رضایت ذی‌نفعان به ویژه مردم را تامین می‌کند.

وزارت نیرو با بهره‌گیری از آخرین دستاوردهای علمی، پژوهشی و روش‌های پیشرفته مدیریت و همچنین توسعه فناوری‌های نوین سازگار با محیط‌زیست، علاوه بر توسعه و ارتقای بهره‌وری و کیفیت ارائه خدمات در سطح ملی، بازار صنعت آب و برق کشور را به سطح جهانی، به ویژه کشورهای منطقه گسترش می‌دهد. وزارت نیرو رشد پایدار بخش آب و برق کشور را با ایجاد تعادل بین منابع و مصارف، ارتقای بهره‌وری و مشارکت منابع انسانی به عنوان ارزشمندترین سرمایه محقق می‌سازد

وزارت نیرو در بخش‌های برق و انرژی عهده‌دار سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی کلان انرژی و ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای برق و حفظ کیفیت آن در راستای توسعه پایدار و امنیت عرضه انرژی کشور می‌باشد.

وزارت نیرو در این بخش با سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی، سازماندهی، هدایت، نظارت و تدوین ضوابط، مقررات و لوایح مرتبط، بسترهای لازم را برای ایجاد هماهنگی بین نقش‌آفرینان، فعالیت بخش‌های خصوصی، تعاونی و عمومی را در تمامی عرصه‌ها فراهم نموده و با حمایت از بهینه‌سازی مصرف، رونق‌بخشی به فضای کسب و کار در عرصه ملی و فراملی بخش برق و انرژی، حقوق کلیه ذینفعان خود شامل آحاد جامعه، بخش‌های صنعت، کشاورزی، خدمات، دولت و نهادهای قانونگذار را رعایت می‌کند. وزارت نیرو در این بخش با ارتقاء بهره‌وری و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، سازگار با محیط‌زیست و متناسب با زیرساخت‌های حال و آینده و توسعه مشارکت و بهره‌وری منابع انسانی متخصص و خلاق به‌عنوان ارزشمندترین دارایی، نقشی مؤثر در رفاه اجتماعی و تبادل برق با کشورهای منطقه ایفا نموده و در راستای کاهش شدت انرژی، افزایش خوداتکایی و توسعه کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر اقدام می‌کند.

از وظایف حاکمیتی وزارت نیرو در بخش برق و انرژی به موارد زیر می‌توان اشاره نمود.

وظایف حاکمیتی در زمینه تحقیقات و پژوهش:

تدوین سیاستهای آموزش و تحقیقات

تدوین سیاستها و استراتژی توسعه فن آوری

حمایت از توسعه تحقیقات بنیادی و کاربردی و فن آوری

انجام مطالعات لازم برای انتخاب فناوری های مناسب تولید و انتقال برق

انجام مطالعات، تحقیق، توسعه، آموزش، طراحی و مشاوره در ساخت و اجرای سیستم های نمونه در زمینه ارتقاء و

توسعه کارایی انرژی

ساماندهی ارتباطات با مراکز آموزشی و پژوهشی درون و برون

هماهنگی هیات‌های امناء مراکز آموزشی و پژوهشی

مطالعه و بررسی مستمر فن‌آوری‌های نوین اطلاعاتی مورد نیاز صنعت [۳۰]

۲-۸-۱- توانیر

هدف از تشکیل شرکت توانیر ساماندهی فعالیتهای تصدی دولت در زمینه بهره‌برداری و توسعه صنعت برق در چارچوب سیاست‌های وزارت نیرو، راهبری شرکتهای زیرمجموعه، افزایش بازدهی و بهره‌وری و استفاده مطلوب از امکانات صنعت برق کشور و در صورت لزوم انجام برخی فعالیت‌های عملیاتی و همچنین کارگزاری وزارت نیرو برای انجام نظارت‌ها و تدوین برنامه‌ها می‌باشد.

فعالیت‌های شرکت توانیر، مدیریت سهام و سرمایه‌های شرکت در صنعت برق، انجام هرگونه فعالیت در راستای تأمین برق مطمئن و اقتصادی برای کلیه مصارف خانگی، عمومی، صنعتی، کشاورزی، تجاری و غیره اعم از سرمایه‌گذاری، مدیریت و نظارت بر ایجاد و بهره‌برداری از تأسیسات و انجام کلیه معاملات مربوط به برق که برای تحقق اهداف شرکت لازم می‌باشد از طریق شرکتهای زیرمجموعه و یا در صورت لزوم با تصویب مجمع عمومی توسط خود شرکت می‌باشد. در جلسه مورخ ۸۱/۹/۲۷ هیئت وزیران بنا به پیشنهاد وزارت نیرو و تأیید سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور و وزارت امور اقتصادی و دارایی در ساختار شرکت توانیر تغییراتی ایجاد و اساسنامه آن به نام شرکت مادر تخصصی مدیریت تولید، انتقال و توزیع نیروی برق ایران (توانیر) به تصویب رسید. در سال ۱۳۹۳ نیز شرکت مادر تخصصی مدیریت تولید با سازمان توسعه برق ایران ادغام و از شرکت توانیر تفکیک گردید و با نام شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی مدیریت امور نیروگاه‌های حرارتی را عهده‌دار گردید. البته تعرفه‌گذاری برق، سیاست‌گذاری بازار برق و انتقال و عرضه آن همچنان تحت مدیریت شرکت مادر تخصصی توانیر است.

۳-۸-۱- شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی

هیأت وزیران در جلسات ۲۸/۱۲/۱۳۹۲ و ۲۷/۰۷/۱۳۸۹ براساس پیشنهادهای مشترک وزارتخانه‌های نیرو و امور اقتصادی و دارایی به استناد ماده (۱۳) قانون اجرای سیاستهای کلی اصل ۴۴ قانون اساسی (مصوب ۱۳۶۸) و ماده واحده قانون استفساریه در خصوص اختیار اصلاح اساسنامه سازمانها، شرکتها و مؤسسات دولتی و وابسته به دولت (مصوب ۱۳۷۷)، اساسنامه «شرکت سهامی سازمان توسعه برق ایران» را به «شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی» اصلاح و تصویب کرد. با تایید این اساسنامه در تاریخ ۱۲/۱۱/۱۳۹۳ توسط شورای نگهبان روند تبدیل سازمان توسعه برق ایران به شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی وارد مرحله نهایی گشت و این شرکت در تاریخ ۱۵/۰۷/۱۳۹۴ فعالیت رسمی خود را آغاز کرد.

اهداف:

- ۱- ساماندهی فعالیتهای تصدی دولت در زمینه تولید نیروی برق حرارتی متصل به شبکه انتقال و فوق توزیع برق کشور
- ۲- راهبری شرکت‌های زیرمجموعه و برنامه ریزی، مدیریت، توسعه و بهره‌برداری از نیروگاه‌های یادشده در چارچوب سیاست‌های وزارت نیرو و تسهیل مشارکت بخش غیردولتی در تولید برق حرارتی

وظایف و ماموریتها:

۱. برنامه ریزی و مدیریت (توسعه و بهره برداری (ظرفیت‌های تولید برق حرارتی در چارچوب برنامه های جامع وکلان وزارت نیرو
۲. ساماندهی و مدیریت شرکت‌های تولید کننده برق حرارتی که تمام یا بخشی از سهام آنها متعلق به دولت است
۳. توسعه ظرفیت‌های تولید برق حرارتی در چارچوب مقررات مربوط
۴. همکاری با نهادهای ذیربط برای واگذاری نیروگاه‌های دولتی و سهام دولت در شرکت‌های تولید نیروی برق به بخش غیردولتی و افزایش سهم این بخش در تولید برق در چارچوب مقررات مربوط
۵. انجام تمهیدات لازم برای جلب مشارکت بخش غیردولتی برق در احداث نیروگاه های جدید و توسعه ظرفیت و بهینه سازی نیروگاه های موجود، در جهت تحقق برنامه های مصوب وزارت نیرو
۶. اجرای سیاستها، برنامه ها و مصوبات وزارت نیرو
۷. مدیریت سهام و سرمایه های شرکت در شرکت‌های زیرمجموعه
۸. اتخاذ تدابیر لازم و همکاری برای واگذاری بخشی از سهام شرکت از طریق بورس اوراق بهادار

۹. انجام حمایت لازم برای افزایش بهره وری عوامل تولید در شرکتهای زیرمجموعه
۱۰. اخذ هرگونه تسهیلات مالی، عرضه اوراق مشارکت و سایر روشهای تامین منابع مالی با رعایت موزارین قانونی
۱۱. مدیریت، توسعه و تامین منابع مالی و استفاده بهینه از این طریق برقراری تسهیلات و گردش منابع مالی بین شرکت و شرکتهای زیرمجموعه
۱۲. استفاده بهینه از سود حاصل از سرمایه گذاری ها و سایر منابع داخلی شرکت و شرکتهای تابع در راستای حمایت از بخش خصوصی در جهت احداث، توسعه و بهینه سازی تاسیسات و تامین تجهیزات و خدمات تولید برق. شرکت می تواند با تایید وزارت نیرو با استفاده از منابع فوق به احداث، توسعه و بهینه سازی تاسیسات تولید برق دولتی مبادرت ورزد .
۱۳. ارتقای بازده نیروگاه های حرارتی با توسعه روشهایی مانند تولید همزمان برق و حرارت و برودت و تولید آب شیرین با استفاده از حرارت بازیافتی
۱۴. انجام اقدامات لازم و اعمال حمایت برای کاهش انتشار آلاینده ها و گازهای گلخانه ای ناشی از تولید برق حرارتی
۱۵. حمایت از سرمایه گذاری های خطرپذیر با استفاده از ظرفیت نهادهای مالی و منابع داخلی شرکت
۱۶. مدیریت و هماهنگی بین شرکتهای زیرمجموعه و هدایت آنها در جهت سیاست های تعیین شده از طرف وزارت نیرو
۱۷. نظارت بر مدیریت و نظام مالی شرکتهای تابع
۱۸. انجام هرگونه عملیات اجرایی، مهندسی، بازرگانی، مالی، معاملات و سرمایه گذاری، تشکیل شرکت، مشارکت در موسسات و شرکتهای دیگر که در راستای سیاست های وزارت نیرو و مرتبط با موضوع شرکت باشند، با رعایت قوانین و مقررات مربوط
۱۹. انجام و حمایت از فعالیت های پژوهشی، نوآوری و فن آوری در حوزه فعالیت شرکت [۳۱]

جدول ۲۴-۱. طرحهای نیروگاهی در حال اجرا توسط شرکت.

اهم طرح های نیروگاهی شرکت (در مرحله اجرا)			
ردیف	عنوان طرح کلی	مجموع ظرفیت (مگاوات)	نام نیروگاه
۱	طرح ۲۲ واحد سیکل ترکیبی	۲۴۲۳	شیروان - هنگام - لرستان - ویس
۲	طرح ۲۳ واحد سیکل ترکیبی	۱۲۲۸	نکا - سهند - دوکوهه
۳	۶۰۰ مگاوات نیروگاه گازی فاز دوم	۶۴۸	زرنند کرمان - زاهدان
۴	پروژه های بیع متقابل (خصوصی)	۲۷۰۵	رودشور - چابهار - ارومیه - سیلان - پرند - فردوسی - عسلویه - جهرم
۵	توسعه و احداث نیروگاه های بخاری	۱۴۰۰	بخاری سیریک
۶	ذغالسوز طیس	۶۵۰	ذغالسوز طیس
۷	طرح های خصوصی	۳۶۹۴	بخش بخار ماکو - دالاهو - بخش بخار کاسپین - هریس - قشم ۲ - خرم آباد - غرب کارون - گل گهر (گهران) - بخش بخار هرمز - ایران ال ان جی
جمع کل		۱۲۷۴۸	---

متولی اصلی و قانون‌گذار در صنعت تولید نیروی برق حرارتی است و مالک تعدادی از واحدهای نیروگاهی دولتی است که خصوصی نشده است. طرح ارتقاء توربینهای گازی فریم ۹ و همچنین تطبیق شرایط محیطی عملکرد توربین گاز تحت مدیریت این شرکت توسط پژوهشگاه نیرو-توربوتک در حال انجام است. پروژه‌های متعددی با مدیریت تحقیقات پژوهشگاه نیرو و نظارت و پشتیبانی شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی در حال انجام توسط شرکت‌های تخصصی و دانش بنیان و همچنین مراکز دانشگاهی است.

۲- تعیین اهداف و راهبردهای توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی

نیروگاهی

۱-۲- مقدمه

سند توربین گازی نیروگاهی در سال ۱۳۹۳-۱۳۹۴ نگاشته شده است و عمدتاً مربوط به توسعه فناوری توربینهای کلاس F مورد نیاز آینده کشور در سطح ۳۰۰-۲۵۰ مگاوات است. در پروژه حاضر، ارتقاء عمر، عملکرد و توان توربین (بخش داغ) توربینهای گازی موجود در کشور مورد نظر است و تکمیل کننده سند فوق می باشد. هدف این گزارش، شناسایی اولویتهای توسعه فناوری جهت ارتقاء عمر، عملکرد و توان توربین واحد گازی (بخش داغ) نیروگاهی با مطالعه بازار، مطالعات تطبیقی و رجوع به نظرات نخبگان است.

۲-۲- تعیین ابعاد و محدوده مطالعات

محدوده این مطالعه شامل توربینهای گازی داخلی با فناوریهای قدیمی در رده کلاس E است. فناوریهای توربینهای کلاس F در سند اشاره شده و اهداف کلان، راهبردها و نقشه راه جهت دستیابی به آن تدوین شده است. توربینهای گازی کلاس E که عمدتاً در دهه ۱۹۸۰-۱۹۷۰ بسط یافته است ناوگان اصلی و عمده تولید توان الکتریکی در داخل کشور است. با پیشرفتهای حاصل در علوم و فناوری و توسعه قابل توجه صورت گرفته در فناوریهای جدید، سرریز فناوریهای جدید به توربینهای با فناوری قدیمی موجب بهبود عملکرد و عمر در آنها شده است و امکان ماندن در بازار توربینهای گازی را برای آنها میسر ساخته است [۳۲]. توربینهای گازی داخلی در چند رده توانی قرار می گیرند. توربینهای با توان کمتر از ۵۰ مگاوات توربین کوچک محسوب می شوند. توربینهای بالای ۵۰ مگاوات، وظیفه سنگین محسوب می شوند. توربینهای بین ۵۰ تا ۱۵۰ مگاوات رده توان میانی دارند و توربینهای بالای ۲۰۰ مگاوات به عنوان توربین بزرگ محسوب می شوند. البته این تقسیم بندی مرجع مشخصی ندارد. توربینهای گازی داخل کشور در جدول ۱-۲ نشان داده شده اند.

جدول ۱-۲. فراوانی واحدهای گازی نیروگاهی (بدون احتساب واحدهای صنایع).

نوع واحد گازی	توان نامی (MW)	تعداد نیروگاه	تعداد واحد
Kraft V93.1	۶۰	۳	۵
V94.2	۱۳۷ - ۱۶۶	۴۱	۱۷+۱۵۶
V94.3	۲۶۳	۱	۳
Frame 5	۲۳ - ۲۵	۱۸	۷۸
Frame 9	۱۱۶ - ۱۲۳.۴	۷	۱۶+۳۴
Mitsubishi	۸۵	۱	۳
Mitsubishi MW701D	۱۲۸.۵	۲	۶
Alstom PG5211M	۱۴	۱	۱
Alstom PG5251N	۱۸۸	۱	۲
Alstom GT13E2	۱۶۵	۱	۶
BBC GT9	۳۰	۳	۷
BBC 13D	۷۹	۱	۲
Fiat	۳۲	۲	۸
Asec	۳۲	۲	۱۰
United Technologies	۲۹.۲	۱	۳

جدول ۴-۱ فراوانی توربینهای کوچک و نوع آنها را نشان می‌دهد. بیشتر فراوانی مربوط به توربینهای بر پایه F5 است. چنانچه در گزارش مرحله اول [۳۳] نیز بیان گردید این توربینهای عمدتاً از نوع N و P توربینهای خانواده MS5001 است. توربینهای دو محوره MS5002 که کاربرد صنعتی دارند نیز در صنعت وجود دارند که از بررسی آنها در این مطالعه صرفنظر خواهد شد. محدوده این مطالعات، توربینهای گازی مورد استفاده در صنعت نیروگاهی است که در شبکه برق کشور نیز تولید برق دارند. توربینهای مورد استفاده صنعتی که اغلب برای تولید نیروی محرکه و توان محلی است بررسی نخواهد شد. هر چند که اشتراک فناوری بین این توربینها نیز وجود دارد.

جدول ۲-۲. فراوانی تیپ توربینهای گازی کوچک.

تعداد واحد	توان	(مدل) سازنده توربین
65	25	GE (F5)
13	25	Hitachi (F5)
10	32	Asec
8	32	Fiat
7	30	BBC
4	28	Hitachi (H25)
2	38	GEF6
1	12	Sulzer
1	42	MGT-40

جدول ۲-۳ لیست نیروگاه‌های دارای واحد توربین گازی فریم ۹ و مشخصات و عمر آنها را ارائه می‌کند. جدول ۲-۴
 لسیت نیروگاه‌های دارای واحد V94.2، جدول ۲-۵ لیست نیروگاه‌های دارای واحد گازی میتسوبیشی و در انتها، جدول
 ۲-۶ لیست نیروگاههای F5 را ارائه کرده است.

جدول ۲-۳. توزیع توربینهای گازی F9 در کشور.

نام نیروگاه	مالکین	شماره واحد	تایپ واحد	قدرت نامی	زمستان	قدرت عملی	عمر تا سال ۱۳۹۹	برداری سال بهره	جمع توان نامی
چرخه ترکیبی ابادان	خصوصی	4	F9	123.4	113	113	18	1381	493.6
چرخه ترکیبی یزد	دولتی	2	F9	123.4	103.35	103.35	20	1379	246.8
چرخه ترکیبی خوی	خصوصی	2	F9	123.4	101	101	23	1376	246.8
چرخه ترکیبی فارس	خصوصی	6	F9	123.4	97	97	23	1376	740.4
چرخه ترکیبی نیشابور	خصوصی	6	F9	123.4	100.53	100.53	24	1375	740.4
چرخه ترکیبی شریعتی	خصوصی	2	F9	123.4	103.9	103.9	26	1373	246.8
چرخه ترکیبی شهید رجائی	دولتی	6	F9	123.4	99.67	99.67	26	1373	740.4

698.4	1371	28	95.67	116.4	F9	6	خصوصی	چرخه ترکیبی منتظر قائم
617	1380	19	-	123.4	F9	5	صنایع	فولاد مبارکه
493.6	1385	14	-	123.4	F9	4	صنایع	پتروشیمی فجر
863.8	1385	14	-	123.4	F9	7	صنایع	پتروشیمی مبین
6128.0						50		

جدول ۴-۲. مشخصات نیروگاه‌های با توربین گازی V94.2 تا سال ۱۳۹۴.

نام نیروگاه	مالکیت	شماره واحد و نوع	تپ واحد	قدرت نامی	زمانستان	قدرت عملی	بردار سال بهره	عمر تا سال ۱۳۹۹	مجموع توان نامی
چرخه ترکیبی شهید سلیمی	دولتی	2	V94.2	137.5	129	1369	30	275.0	
چرخه ترکیبی گیلان	خصوصی	6	V94.2	143.2	138	1371	28	859.2	
چرخه ترکیبی کرمان	دولتی	8	V94.2	159.0	122	1380	19	1272.0	
چرخه ترکیبی کازرون	خصوصی	4	V94.2	159.0	133	1381	18	636.0	
چرخه ترکیبی دماوند	خصوصی	12	V94.2	159.0	124	1382	17	1908.0	
چرخه ترکیبی شیروان	دولتی	6	V94.2	159.0	145	1384	15	954.0	
چرخه ترکیبی سنندج	خصوصی	4	V94.2	159.0	135	1384	15	636.0	
جنوب اصفهان(چهلستون)	ECA	6	V94.2	159.0	127	1384	15	954.0	
پرند	خصوصی	6	V94.2	159.0	139	1385	14	954.0	
چرخه ترکیبی ارومیه	خصوصی	6	V94.2	159.0	137	1385	14	954.0	
چرخه ترکیبی جهرم	خصوصی	6	V94.2	159.0	130	1386	13	954.0	
چرخه ترکیبی سیلان	خصوصی	6	V94.2	159.0	138	1386	13	954.0	
چرخه ترکیبی فردوسی	خصوصی	6	V94.2	159.0	136	1386	13	954.0	
عسلویه گازی	خصوصی	6	V94.2	159.0	144	1386	13	954.0	
چابهار	خصوصی	2	V94.2	159.0	143	1387	12	318.0	
چرخه ترکیبی یزد	دولتی	2	V94.2	159.0	122	1387	12	318.0	
چرخه ترکیبی شهید کاوه	دولتی	4	V94.2	159.0	126	1387	12	636.0	
خرمشهر	خصوصی	6	V94.2	162.0	144	1387	12	972.0	
کاشان	خصوصی	2	V94.2	162.0	137	1388	11	324.0	
چرخه ترکیبی قدس(سمنان)	خصوصی	2	V94.2	162.0	144	1389	10	324.0	

648.0	10	1389	141	162.0	V94.2	4	خصوصی	زاگرس
648.0	10	1389	135	162.0	V94.2	4	خصوصی	سلطانیه
972.0	10	1389	153	162.0	V94.2	6	خصوصی	گلستان
324.0	9	1390	139	162.0	V94.2	2	خصوصی	چرخه ترکیبی بسطامی(شاهرود)
648.0	9	1390	156	162.0	V94.2	4	ECA	چرخه ترکیبی پره سر
972.0	9	1390	133	162.0	V94.2	6	ECA	حافظ
324.0	9	1390	128	162.0	V94.2	2	خصوصی	چرخه ترکیبی زواره
324.0	8	1391	133	162.0	V94.2	2	ECA	شیرکوه
324.0	8	1391	146	162.0	V94.2	2	ECA	گناوه
324.0	7	1392	141	162.0	V94.2	2	دولتی	بمپور
648.0	6	1393	144	162.0	V94.2	4	دولتی	ایسین
324.0	6	1393	144	162.0	V94.2	2	دولتی	ایسین
324.0	6	1393	135	162.0	V94.2	2	ECA	شوباد (کهنوج)
332.0	6	1393	134	166.0	V94.2	2	صنایع	چادرملو(سرو)
324.0	5	1394	135	162.0	V94.2	2	ECA	تابان
664.0	4	1395	150	166.0	V94.2	4	دولتی	افق ماهشهر
332.0	4	1395	145	166.0	V94.2	2	ECA	سمنگان
332.0	4	1395	145	166.0	V94.2	2	ECA	شهدای پیروز(بهبهان)
332	4	1395	129	166.0	V94.2	2	ECA	گوهران
648	11	1388	-	162	V94.2	4	صنایع	پتروشیمی فجر
954	12	1387	-	159	V94.2	6	صنایع	پارس جنوبی
324	10	1389		162	V94.2	2	صنایع	گاز مایع
324	8	1391		162	V94.2	2	صنایع	پتروشیمی دماوند
160	2	1397	150	160.0	V94.2	1	صنایع	هرمز
27640.2						173		

جدول ۵-۲. نیروگاه‌های با توربین گازی میتسوبیشی در کشور.

نام نیروگاه	مالکیت	تعداد واحد	تیپ واحد	قدرت نامی	قدرت زمستان	عمر تا سال ۱۳۹۹	سال بهره برداری
ری	دولتی	3	Mitsubishi(MW701B)	85	73	42	1357
چرخه ترکیبی قم	خصوصی	4	Mitsubishi(MW701D)	129	108	27	1372
چرخه ترکیبی کازرون	خصوصی	2	Mitsubishi(MW701D)	128	111	26	1373

جدول ۶-۲. مشخصات نیروگاه‌های با توربین گازی F5 در کشور.

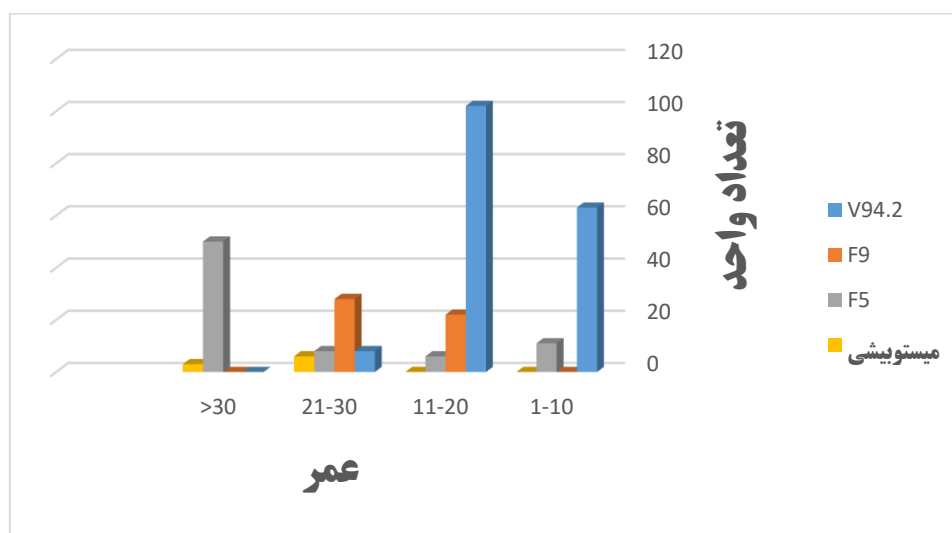
نام نیروگاه	مالکیت	تیپ واحد	تعداد واحد	قدرت نامی	قدرت تابستان	قدرت زمستان	میانگین	عمر تا سال ۱۳۹۹	سال بهره برداری	مجموع توان
گازی زاهدان	دولتی	F5	8	24	17	18	18	34	1365	196
چابهار	خصوصی	F5	4	24	16	18	17	45	1354	96
کنارک	دولتی	F5	6	24	17	18	18	42	1357	143
ری	دولتی	Hitachi	11	24	17	19	18	43	1356	261
نوشهر	دولتی	Hitachi	2	24	19	17	18	43	1356	47
سیار نوشهر	دولتی	F5	1	25	16	21	19	3	1396	50
سیار بهشهر	دولتی	F5	1	25	16	21	19	3	1396	25
امیرآباد	خصوصی	F5	1	25	16	21	19	3	1396	25
صوفیان	دولتی	F5	4	25	15	19	17	36	1363	100
بندرعباس	دولتی	F5	2	25	16	17	17	43	1356	50
کهنوج	خصوصی	F5	3	25	20	16	18	13	1386	75
شهید زنبق یزد	خصوصی	F5	4	24	17	20	18	43	1356	97
پاسارگاد	صنایع	F5	3	25	13	17	15	3	1396	75
مشهد	خصوصی	F5	5	19	15	17	16	39	1360	38
گازی شریعتی	خصوصی	F5	6	25	18	22	20	36	1363	450
قاین	دولتی	F5	3	25	15	18	17	32	1367	75
شمس سرخس	خصوصی	F5	3	25	16	19	17	6	1393	75
شیراز	دولتی	F5	1	24	21	23	22	45	1354	24

50	1354	45	18	19	16	25	2	F5	دولتی	گازی بوشهر
164	1374	25	18	19	17	25	7	F5	دولتی	گازی کنگان
25	1396	3	19	21	16	25	1	F5	خصوصی	پرنیان
2141			375	401	349	2141	78			

جدول ۲-۷ فراوانی توربینهای گازی اصلی موجود در کشور در چهار دسته عمر ۱-۱۰ سال، ۱۱-۲۰ سال، ۲۱-۳۰ سال و بالای ۳۰ سال را ارائه می‌کند. شکل ۲-۱ نیز مقایسه فراوانی این توربینهای را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۷. فراوانی توربینهای گازی اصلی

سن واحد	V94.2	F9	F5	مستویشی
1-10	63	0	10	0
11-20	102	22	3	0
21-30	8	28	7	6
>30	0	0	58	3



شکل ۲-۱. فراوانی و عمر توربینهای گازی اصلی کشور.

محدوده این مطالعات، توربینهای گازی اصلی و با فراوانی بیشتر داخل کشور است بنابراین شامل توربینهای گازی و میتسویشی از توربینهای رده میانی و در صورت امکان، توربین گازی فریم ۵ از دسته توربینهای V94.2 فریم ۹، کوچک خواهد بود.

با توجه به اینکه نقشه راه توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی در این مطالعات استخراج خواهد شد بنابراین توسعه فناوری سیستمهای الکتریکی همچون ژنراتور و همچنین سایر بخشهای توربین همچون محفظه احتراق، کمپرسور، سیستم کنترلی، سیستمهای کمکی و جانبی بجز در مواردی که نیاز باشد بررسی نخواهد شد و مطالعه تنها شامل **بخش توربین از واحد گازی** خواهد بود و چنانچه در ادامه و در بخش مطالعات تطبیقی نیز نشان داده خواهد شد، ارتقاءهای مختلفی برای بخش توربین و مستقل از سایر بخشهای واحد گازی، توسط سازندگان اصلی توربینهای گازی ارائه و پیشنهاد شده است.

۱-۲-۲- بررسی بازار توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی

به شرحی که در بخش مطالعات تطبیقی ارائه خواهد شد، فناوریهای توربینهای گازی داخلی کشور که شرح آنها در بخش پیشین آمد به فناوریهای جدید قابل ارتقاء خواهد بود. هر چند مدتی است برخی ارتقاء فناوری توربینهای گازی داخلی توسط برخی سازندگان همچون مپنا ارائه شده است اما با توجه به فراوانی زیاد توربینهای گازی V94.2 که هنوز ارتقائی برای بخش داغ آنها انجام نشده است می‌توان با دقت مناسبی تخمینی از بازار توسعه فناوری ارائه داد. لازم به ذکر است که توسعه ناوگان داخلی با توربینهای ارتقاء یافته همچون MAP2B که از تولیدات جدید مپنا است در این بررسی لحاظ نشده است و تنها توربینهای موجود در نظر گرفته شده است. جدول ۸-۲ مزیت ارتقاء توربینهای اصلی تولید توان را نشان می‌دهد. در این بررسی، واحدهای جوان و کمتر از ۱۰ سال لحاظ نشده‌اند. افزایش توان واحدهای میتسویشی به صورت میانگین قرار داده شده است. هزینه ارتقاء مستقل از هزینه توسعه فناوری و مربوط به تجاری سازی است و میزان هزینه نیروگاه برای ارتقاء هر واحد را نشان می‌دهد. مطالعات تطبیقی انجام شده نشان می‌دهد که بخش عمده افزایش توان در واحدهای قدیمی مربوط به ارتقاء بخش داغ است و میزان افزایش توان و بهبود بازدهی ارائه شده در جدول با ارتقاء بخش داغ توربین دوار بدست آمده است. توربینهای کلاس E همچون Frame 9E و Mitsubishi M701DA با توانی در

حدود ۱۲۰-۱۵۰ مگاوات، در سال ۲۰۱۸ با قیمتی حدود $\$/kW$ ۲۷۰ ارائه شده‌اند. توربینهای در محدوده MW ۳۲-۲۵ مگاوات، قیمتی حدود $\$/kW$ ۴۵۰ دارند. توربین ۱۸۷ مگاواتی SGT5-2000E (V94.2) زمینس با قیمتی برابر $\$/kW$ ۲۴۹ به بازار عرضه شده است [۳۴].

جدول ۸-۲. برآوردی از حجم بازار ارتقاء توربینهای گازی اصلی کشور.

فرآوانی	توان MW	بازدهی %	بهبود مطلق بازدهی %	بهبود توان MW	برآورد هزینه ارتقاء ($\$/kW$)	بازار (\$)
GE F9	50	33.4	0.8	8.6	150	64,500,000
GE F5	78	28.5	0.9	2.2	200	34,320,000
V94.2	110	34	1.8	19	150	313,500,000
Mitsubishi	9	33	1.0	7.5	150	10,125,000
مجموع				2759.1		422,445,000

حدود ۴۲۰ میلیون دلار برای ارتقاء واحدهای جدید مورد نیاز است. در صورتی که میزان افزایش توان ۲۷۵۲.۵ مگاواتی با توسعه واحدهای جدید V94.2 محقق شود حدود ۶۸۵ میلیون دلار سرمایه‌گذاری نیاز خواهد داشت. توسعه ناوگان جدید هزینه‌های قابل توجه دیگری از جمله فضا و زمین و مجوزهای جدید را نیاز دارد که به مراتب هزینه بالاتری در مقایسه با ارتقاء واحدهای جدید خواهد داشت. لازم به ذکر است که هزینه واحد جدید تنها هزینه توربین گازی نیست و کل واحد گازی را شامل می‌شود. به عبارت دیگر، هزینه‌های دیگری از جمله هزینه ژنراتور، سیستم کنترل، سیستم روغنکاری و ... را نیز شامل می‌شود در حالی که هزینه صرف شده برای ارتقاء تنها به بخش توربین از واحد گازی ارتباط دارد و ممکن است در صورت اضافه بار زیاد، نیاز به بهسازی، تغییر و یا جایگزینی ژنراتور نیز باشد که در این صورت نیاز به بررسی جداگانه خواهد داشت. جدول ۹-۲ هزینه بخشهای مختلف یک واحد گازی V94.2 با توان نامی ۱۵۹ مگاوات را نشان می‌دهد. توربین و ژنراتور حدود ۶۰٪ هزینه کل را تشکیل می‌دهند و مابقی صرف سیستم کنترلی، ترانسفورماتور قدرت، تجهیزات سوخت گاز، سیستم تهویه، ژنراتور اضطراری و ... شده است. در زمان انجام مطالعه مورد نظر، قیمت دو واحد ۱۵۹ مگاواتی برابر حدود ۸۴ میلیون دلار بدست آمده است یعنی هر واحد کامل گازی V94.2 حدود ۴۲ میلیون دلار هزینه دارد که معادل $\$/kW$ 264 خواهد بود.

جدول ۹-۲. شکست قیمت توربین گازی V94.2 با توان 2*159 MW مگاوات [۳۵].

EQUIPMENT AND MATERIAL LIST FOR TYPE V94.2 GAS TURBINE POWER PLANT 2*159 MW		
SECTION	Overall %	Price \$/1000
GAS TURBINE SET	47.80%	40,202
GENERATOR AND EXCITATION SYSTEM	11.09%	9,327
POWER TRANSFORMERS	5.13%	4,315
CONTROL SYSTEM	5.09%	4,281
NATURAL GAS SUPPLY SYSTEM	2.01%	1,591
DISTILLATE FUEL HANDLING SYSTEM	3.10%	2,507
COMPRESSED AIR SYSTEM	0.58%	488
FIRE FIGHTING SYSTEM	2.03%	1,707
HVAC SYSTEM	3.60%	3,028
LIFTING DEVICES	0.58%	488
BUS DUCTS AND SWITCHES BOARDS	2.96%	2,489
EMERGENCY DIESEL GENERATOR SET AND D.C. SYSTEM	3.55%	2,986
ELECTRICAL MISCELLANEOUS EQUIPMENT	3.61%	3,036
STEEL STRUCTURES & CIVIL WORKS MATERIAL	2.50%	2,103
WORKSHOPS & LABORATORIES	2.07%	1,741
VARIOUS MATERIALS & CONSUMABLES	1.90%	1,598
RAW MATERIALS & VARIOUS CONSUMABLES FOR LOCAL MANUFACTURING	2.40%	2,019
TOTAL	100%	84,105
EQUIPMENT PRICE / KW = \$ 264.48		

۲-۲-۲- بررسی اسناد بالادستی

منظور از اسناد بالادستی، قوانین و سیاست‌های کلان کشور است که چشم‌انداز و اهداف کلان حوزه‌های مختلف توسعه فناوری باید منطبق بر این اسناد تدوین گردد. جدول ۱۰-۲ لیستی از اسناد بالادستی مرتبط با موضوع مطالعه و موارد منتج از بررسی آنها را ارائه می‌کند.

جدول ۱۰-۲. جمع‌بندی اسناد بالادستی

سند	موارد مرتبط
سند تراز تولید و مصرف گاز طبیعی در کشور تا افق ۱۴۲۰ (۱۳۹۹)	در بخش بهینه‌سازی/صرفه‌جویی مصرف گاز طبیعی در نیروگاه‌های حرارتی به سیاست‌های زیر اشاره شده است: - از رده خارج کردن نیروگاه‌های حرارتی با راندمان حرارتی کمتر از ۲۵٪ - افزایش متوسط راندمان نیروگاه‌های سیکل ترکیبی به ۵۵٪ و متوسط راندمان نیروگاه‌های حرارتی به ۵۰٪ تا سال ۱۴۲۰ - حمایت از افزایش راندمان توربین‌های گازی
قانون هدفمند کردن یارانه ها ۱۳۸۸	مطابق بند (ج) ماده یک این قانون، دولت مکلف است تا پایان برنامه پنجم توسعه کشور، هر ساله حداقل یک درصد بازده نیروگاه‌های کشور را افزایش دهد به طوری که تا پنج سال از زمان اجراء این قانون بازده نیروگاه‌های کشور به ۴۵٪ برسد. لازم بذکر است با توجه به اجرای قانون هدفمندکردن یارانه‌ها در دو فاز و عدم اختصاص بودجه لازم به طرح‌های افزایش راندمان طی برنامه پنجم توسعه کشور عملاً

اهداف تعیین شده فوق محقق نگردید و در سال ۱۴۰۰ میانگین بازدهی نیروگاههای کشور، حدود ۳۹٪ است.	
الف - نرخ خرید برق در سال ۱۳۹۳ در نیروگاههای با راندمان ۵۰٪ را برابر ۷۰۰ ریال به ازای هر کیلووات ساعت تعیین نماید و در صورتی که راندمان کمتر یا بیشتر از ۵۰٪ باشد به همان نسبت نرخ مذکور تغییر می‌یابد.	نظامنامه افزایش راندمان سال ۱۳۸۹
مطابق ماده ۵۰ این قانون، قیمت فروش سوخت به نیروگاههای با بازده متوسط سالانه برق و حرارت ۳۰٪ و کمتر، با ۲۰٪ افزایش نسبت به قیمت تعیین شده در قانون هدفمندکردن یارانه‌ها و قیمت فروش سوخت به نیروگاههای با بازده متوسط سالانه تولید برق و حرارت ۷۰٪ و بیشتر با ۲۰٪ تخفیف نسبت به قیمت تعیین شده در قانون هدفمندکردن یارانه‌ها تعیین می‌گردد.	قانون اصلاح الگوی مصرف انرژی مصوب سال ۱۳۸۹
۵- ارتقاء سطح تحقیق و توسعه و فناوری بخش برق و انرژی: ۵-۱- هدایت و حمایت از مراکز تحقیقاتی داخلی و شرکتهای تحقیقاتی و مشاورهای غیردولتی ۵-۴- افزایش سطح تعامل بخش برق و انرژی با مراکز علمی و تحقیقاتی داخلی و خارجی توانمند و نهادینه‌سازی آن ----- ۷- افزایش بهره‌وری تولید برق و ارتقاء بازده نیروگاهها: ۷-۳- استقرار سازوکار اقتصادی- تجاری در بهینه‌سازی نیروگاهها ۷-۴- استفاده از فناوری نوین و تجهیزات با راندمان بالا ۷-۶- تنوع‌بخشی در سوخت نیروگاهها و توسعه ظرفیتهای قانونی برای اولویت‌بخشی به تأمین سوخت نیروگاهها - اجرای طرحهای ارتقاء بهره‌وری انرژی در نیروگاهها و رتبه‌بندی نیروگاهها با شاخص‌های بهره‌وری انرژی	طرح تدوین سند چشم‌انداز و برنامه راهبردی بلندمدت وزارت نیرو تا افق ۱۴۰۴ - راهبردی‌های بخش برق و انرژی
- حمایت از بخش‌های خصوصی و تعاونی در جهت ارتقاء سطح کیفیت، کاهش قیمت تمام شده و زمان ارائه خدمات - بهره‌گیری از فناوری‌های جدید و اصلاح فرآیندهای موجود - اعمال سیاست‌های تشویقی و حمایتی - کاهش تلفات در شبکه‌های برق در جهت نیل به سطح بهینه - ارتقاء توانمندی در تولید برق از انرژی‌های نو و تجدیدپذیر - شناسایی فناوری‌های نوین و انتقال و بومی‌سازی فناوری‌های دارای مزیت نسبی - ارتقاء سطح تحقیق و توسعه و فناوری بخش برق و انرژی - به کارگیری فناوری مولدهای پراکنده، با تأکید بر تولید همزمان برق و حرارت و برودت - استفاده از فناوری نوین و تجهیزات با راندمان بالا - تنوع بخشی به منابع اولیه انرژی و فناوری‌های تولید برق	برنامه راهبردی وزارت نیرو ۱۴۰۴ - ۱۳۹۲
- راهبردهای افزایش راندمان در بخش توربین گازی: - نصب و راه اندازی طرح ارتقاء راندمان توربینهای گازی	سند افزایش راندمان نیروگاههای حرارتی کشور

سند توربین گازی نیروگاهی

برنامه ریزی جهت توسعه فناوریهای مورد نیاز برای توسعه توربین گازی کلاس F در محدوده ۲۵۰-۲۰۰ مگاوات بر پایه پلتفرم V94.2

براساس سند تراز تولید و مصرف گاز طبیعی در کشور تا افق ۱۴۲۰ (۱۳۹۹) [۳۶]، متوسط راندمان واحدهای سیکل ترکیبی به مقدار ۵۵٪ افزایش خواهد یافت. همچنین راندمان نیروگاههای حرارتی به صورت پلکانی طبق جدول زیر تا مقدار ۵۰٪ افزایش خواهد یافت:

جدول ۱۱-۲. ارتقاء متوسط راندمان نیروگاههای حرارتی [۳۶].

سال	۱۳۹۷	۱۴۰۰	۱۴۰۵	۱۴۱۰	۱۴۱۵	۱۴۲۰
راندمان	۳۷	۳۹	۴۲	۴۵	۴۸	۵۰

واحدهای سیکل ترکیبی V94.2 با ارتقاء کامل MAP2B یا Simense (v.8) در حالت سیکل ترکیبی به بازدهی در حدود ۵۰.۴٪ و ۵۳.۳٪ خواهد رسید. براساس اطلاعات توربینهای مپنا، توربینهای V94.2.5 با توان ۱۶۲ مگاوات موجود در کشور در صورت ارتقاء بخش بخار سیکل ترکیبی به توربین ۳ فشاره می‌توانند به بازدهی ۵۴.۵٪ در حالت سیکل ترکیبی و افزایش توان بخش بخار تا ۱۸۳ مگاوات در شرایط ایزو دست یابند. توربینهای گازی F9E (PG9171E) نیز در ارتقاء NGT150-1 و GE-AGP به بازدهی در حدود ۵۰.۲٪ و ۵۳٪ در حالت سیکل ترکیبی دست خواهد یافت. بررسی فوق نشان می‌دهد که با توجه به محدودیت این توربینها در ارتقاء و بهبود عملکرد، دستیابی به ارقام مورد نظر سند تراز تولید و مصرف گاز طبیعی در کشور با ارتقاءهای موجود حاصل نمی‌شود و لازم است ناوگان جدید نیروگاهی (کلاس F و بالاتر) با راندمان بالا (بیش از ۶۰ درصد) در کشور استفاده گردد. جهت نزدیک شدن به اهداف سند فوق لازم است توربینهای گازی داخلی با فناوری قدیمی به فناوریهای جدید با راندمان بالا ارتقاء یابند. هر چند که تنها دلیل ارتقاء این توربین، راندمان نیست و در بخش اهداف کلان به موارد دیگری همچون افزایش توان تولیدی و عمر این واحدها نیز اشاره خواهد شد که در اولویت بالاتری نیز قرار خواهند گرفت.

در دو بخش بعدی به ترتیب به ضرورت توسعه کاربرد و ضرورت توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی پرداخته خواهد شد.

۳-۲-۲- ضرورت توسعه کاربرد و بازار فناوری توربین گازی نیروگاهی

در کشور عراق طی قرارداد با شرکتهای مادر، افزایش ۱۳۵۰ مگاوات برق اضافی به شبکه برق این کشور با ارتقاء ۶ نیروگاه توسط شرکت زیمنس صورت خواهد گرفت [۳۷]. ارتقاء توربینهای گازی GE 9E در عراق به ورژن AGP از دیگر قراردادهای این کشور با شرکتهای سازنده توربین گازی است. شرکت GE تا سال ۲۰۱۸ توانسته است این ارتقاء را در ۴۳۵ واحد در دنیا به انجام برساند [۳۸].

حدود ۵٪-۳٪ افزایش تقاضای برق تا افق ۱۴۲۰ [۳۶] می‌توان فرض نمود که حداقل ۳۰۰۰-۲۰۰۰ مگاوات افزایش توان سالانه نیاز خواهد داشت که بخشی از آن با ارتقاء واحدهای نیروگاهی چنانچه در مورد عراق ذکر شد می‌تواند تامین شود. از سوی دیگر، افزایش راندمان توربینهای گازی قدیمی جهت امکان ماندن در بازار رقابتی مورد نیاز است. در بازار فروش برق کشورهای توسعه یافته، ناوگان با فناوری قدیمی مجبور به فروش برق ارزان‌تر هستند و جهت امکان ماندن در بازار رقابتی نیاز است با (سرریز) فناوریهای بروزتر ارتقاء یابند [۳۲]. به ویژه، جهت پیشگیری از رده خارج کردن واحدهای گازی با بازدهی زیر ۲۵٪ لازم است ناوگان گازی قدیمی که عمدتاً شامل توربینهای گازی F5 در کشور است و امکان سیکل ترکیبی بخاری به واسطه ملاحظات اقتصادی برای آنها میسر نیست علاوه بر رفع اضمحلال عملکرد ناشی از عمر، با فناوریهای پیشرفته جدید نیز ارتقاء یابند. عملکرد واحد در شرایط ایزو واحد که حدود ۲۸٪ بازدهی است ممکن است با رخداد عواملی همچون دفرمه شدن پوسته، به مقادیری کمتر از ۲۵٪ درصد و حتی تا زیر ۲۰٪ کاهش یابد از این رو انجام ارتقاء این واحدها، علاوه بر رفع اضمحلال عملکرد می‌تواند بازدهی را به مقدار ۳۰٪ نزدیک نماید. اکثریت توربینهای F5 موجود در کشور قدیمی بوده و سن بالایی دارند و سالهاست که با وجود بررسی‌های مختلف، تصمیم قطعی برای استهلاک و یا ارتقاء آنها گرفته نشده است. توربینهای F5 هم اکنون در رده محصولات شرکت GE و حتی در بخش مدرنسازی و ارتقاء نیز حذف شده و دیده نمی‌شوند و به نظر می‌رسد که سازنده نیز توربینهای پلتفرم دیگر همچون LM را جایگزین آن ساخته است. به همین دلیل در ادامه این مطالعه، بررسی ارتقاءهای این توربین و ارائه برنامه‌های ارتقاء آنها انجام نخواهد شد سایر ضرورت‌های توسعه کاربرد فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی در جدول ۱۲-۲ ارائه شده است.

جدول ۱۲-۲. ضرورت توسعه کاربرد فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی

عامل	توضیح
فشار بازار تقاضا	ورود فناوریهای پیشرفته با بازدهی تا ۶۵٪ در بازار جهانی جلوگیری از رده خارج شدن واحدهای گازی قدیمی با بازدهی کمتر از ۲۵٪
کاهش مصرف سوخت	فشار وزارت نفت برای کاهش مصرف سوخت کاهش هزینه‌های تولید برق در صورت اعمال هزینه‌های واقعی سوخت صرفه جویی در مصرف گاز طبیعی به ویژه در فصول سرد سال
زیست محیطی	کاهش آلاینده‌های زیست محیطی کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای
تنوع بخشی در سوخت مصرفی	امکان کارکرد با سوخت هیدروژن امکان کارکرد با سوخت سنگین (منابع عظیم موجود) امکان کارکرد با گاز ترش و فلر (جبران هدر رفت کنونی) کمبود سوخت گاز طبیعی در برخی فصول
جلوگیری از خروج ارز	با افزایش عمر و فواصل تعمیر و نگهداری و با توجه به هزینه های ارزی، صرفه جویی صورت خواهد گرفت.
افزایش توان شبکه	- افزایش توان شبکه برق در حداقل زمان و هزینه (توسعه ناوگان جدید نیاز به اخذ مجوزهای مختلف جهت تخصیص فضا، پست و بیش از ۲۴ ماه برای نصب دارد) - احیاء بخشی از ناوگان نیروگاهی قدیمی موجود در کشور جهت حمایت از سرمایه‌های ملی و پیشگیری از اسقاط آنها

۴-۲-۲- ضرورت توسعه فناوری توربین گازی (بخش داغ) نیروگاهی در کشور

ارتقاء توربینهای گازی در کشور که عمده هزینه آن به ارتقاء بخش داغ مرتبط است طبق جدول ۸-۲ بازاری حدود ۴۰۰ میلیون دلار (با کسر ارتقاء توربینهای F5) دارد. اگر فرض شود که حدود ۴۰٪ (براساس نظرات میدانی متخصصین حوزه) این مبلغ صرف تهیه مواد اولیه خام و دستگاهها و تجهیزات وارداتی شود، با بومی سازی سایر فناوریهای ارتقاء این توربینها، حدود ۲۴۰ میلیون دلار (۶۰٪ هزینه ارتقاءها) صرفه جویی ارزی صورت خواهد گرفت. همچنین طی بازه‌های زمانی به جهت استهلاک معمول موجود در قطعات لازم است این هزینه طی تعمیرات اساسی یا LTE واحد مجدداً پرداخت شود. دلایل دیگر ضرورت توسعه فناوریهای بخش داغ توربین گازی از جمله کلیدی و استراتژیک بودن این فناوریها و ارزش خودکفایی ملی و حجم بزرگ بازار موجود در جدول ۱۳-۲ ارائه شده است.

جدول ۱۳-۲. عوامل ضرورت توسعه فناوری بخش داغ توربینهای گازی نیروگاهی

عامل	توضیح
حجم بالای بازار	حجم بزرگ بازار موجود (وجود بیش از ۱۵۰ توربین گازی V94.2 و فریم 9E با فناوری دهه ۹۰-۱۹۸۰)
عوامل اجتماعی	خودکفایی در محصولات استراتژیک استفاده از توانمندی داخلی توسعه فعالیتهای پایه دانشی و مطالعات دانش بنیان و آکادمیک
جلوگیری از خروج ارز	استفاده از ظرفیتهای بومی و هزینه کرد ریالی تنها هزینه کرد ارزی در تهیه مواد خام خواهد بود

۳-۲- مطالعات تطبیقی

در این بخش مروری بر توسعه فناوریهای صورت گرفته در دنیا روی توربینهای مشابه توربینهای داخلی ارائه خواهد شد. سه توربین اصلی وظیفه-سنگین مورد هدف این مطالعه شامل توربینهای کلاس M701D میتسوبیشی، توربین V94.2 زیمنس و توربین 9E جی ئی خواهد بود. این مدل و کلاس از توربینهای وظیفه سنگین در داخل کشور وجود دارند و تنها از شرکت زیمنس، توربینهای وظیفه سنگین با کلاس بالاتر F در کشور وجود دارد. توربینهای کلاس F در رده توربینهای کوچک با کاربرد بیشتر برای صنعت همچون توربین زوریا و توربین SGT600 در داخل کشور تولید می‌شوند که از محدوده این مطالعات خارج است. توربینهای F5 موجود در کشور در ادامه، همچنین به پروژه‌های ملی و چند سازمانی که برای توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی پرداخته‌اند نیز اشاره خواهد شد.

۱-۳-۲- مدرنسازي و برنامه‌های ارتقاء توربینهای گازی وظیفه سنگین سری D

میتسوبیشی

پیشرفتهای قابل توجهی در فناوریهای توربینهای گازی شرکت میتسوبیشی صورت گرفته است که در محصولات جدیدتر این شرکت شامل سریهای G و J استفاده شده‌اند. این پیشرفتهای نه تنها در عملکرد واحد اتفاق افتاده است بلکه عمر و قابلیت اطمینان تجهیزات نیز به شکل شگرفی ترقی یافته‌اند. فشار بازار جهت تولید توان با قیمت پایین‌تر و محیط‌زیست دوست‌تر، امکان رقابت واحدهای موجود را سخت‌تر ساخته است از این رو ارتقاء واحدهای موجود با آخرین فناوریهای به روز می‌تواند آنها را به سطح رقابت باز گرداند. در این بخش گزینه‌های ارتقاء و مدرنسازي واحدهای M501D/701D

ارائه خواهد شد. این گزینه‌ها در واقع سرریز فناوریهای پیشرفته کلاس‌های F و G هستند که دمای احتراق بالاتری دارند و برای مدرنسازی و آپگرید سیکل‌های ترکیبی با هدف افزایش توان، افزایش بازدهی، بهبود و افزایش عمر و کاهش انتشار آلاینده‌ها به کار گرفته می‌شوند. این گزینه‌های ارتقاء، تاثیرات مثبت قابل توجهی از لحاظ عملکرد و کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری دارند.

در این مطالعه بیشتر روی گزینه‌های ارتقاء توربین واحدهای گازی که مستقلاً قابل اعمال باشند تمرکز خواهد بود. البته در آخرین مدرک ارائه شده توسط میتسویشی به سال ۲۰۰۳ [۳۲] جهت ارتقاء واحدهای M701D، ارتقاءها بیشتر به بخش توربین و داغ مربوط می‌شوند و در کمپرسور تنها ارتقاء فیلتر در هوای ورودی صورت خواهد گرفت. همچنین اتاق احتراق جهت افزایش دما و کاهش ناکس اصلاح و مشعل‌های پیش اختلاط چندگانه برای آن استفاده خواهد شد. اضمحلال عملکرد توربین با گذشت دهها هزار ساعت کارکرد توربین اتفاق می‌افتد که دلیل آن افزایش نشتی هوا ناشی از افزایش لقی بین اجزاء و دفرمه شدن پوسته است. بازایی این اضمحلال عملکرد به لحاظ توجیه استفاده از واحد جاری مهم است.

۱-۱-۲- ارتقاء توربین‌های سری D

توربین‌های سری D با نامهای M501D و M701D شناخته می‌شوند که به ترتیب برای کارکرد در فرکانس ۶۰ و ۵۰ هرتز هستند. اولین توربین M701D در سال ۱۹۸۴ با توان ۱۳۷ مگاوات و دمای ورودی توربین ۱۱۵۰ درجه سانتیگراد عرضه شد. ارتقاء این توربین طبق سند ارائه شده در سال ۲۰۰۳، توان آن را به ۱۴۴ مگاوات در دمای ورودی ۱۲۵۰ درجه سانتیگراد ارتقاء می‌دهد.

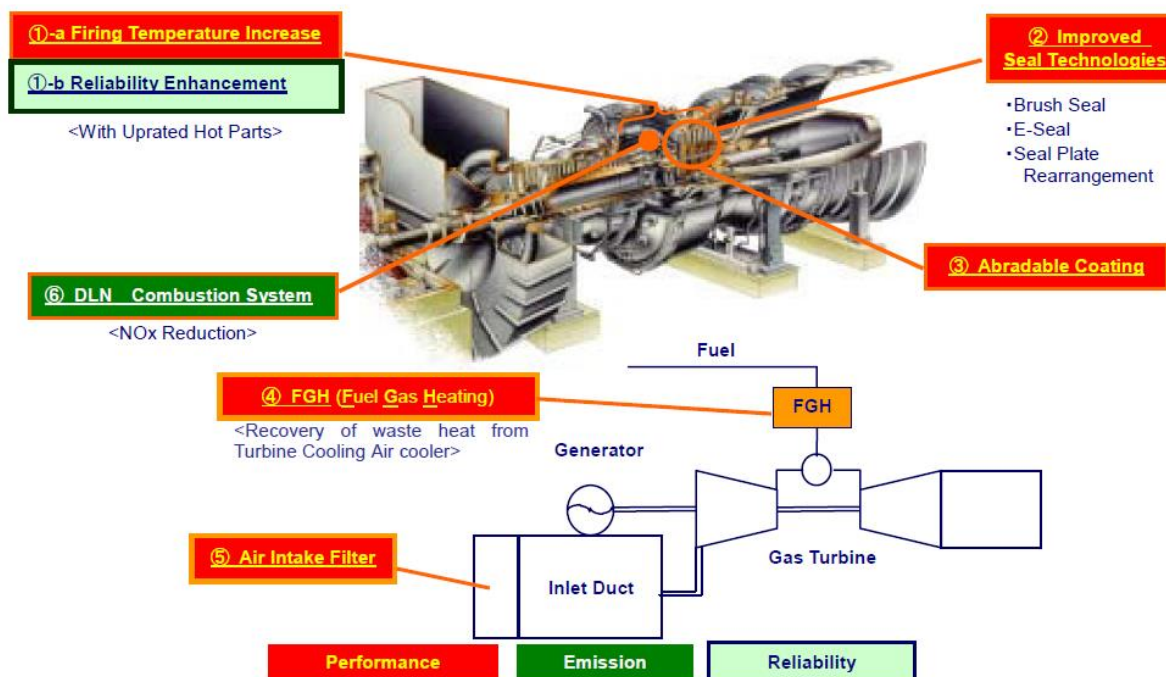
مدرنسازی و ارتقاء توربین‌های سری D در چند دسته می‌تواند قرار گیرد که شامل بهبودهای ذیل است:

(۱) عملکرد (توان خروجی و نرخ حرارتی)

(۲) انتشار آلاینده‌ها

(۳) قابلیت اطمینان و آمادگی واحد

برنامه‌های ارتقاء واحد به صورت نمونه در شکل ۲-۲ نشان داده شده است. اصلاحات مشخص شده با رنگ قرمز، افزایش عملکرد را هدف قرار داده‌اند. سبز برای کاهش انتشار آلاینده‌ها و زرد-سبز نیز بهبود قابلیت اطمینان، مدرنسازی و ارتقاءهای توربین‌های گازی سری D در جدول ۱۴-۲ لیست شده است.

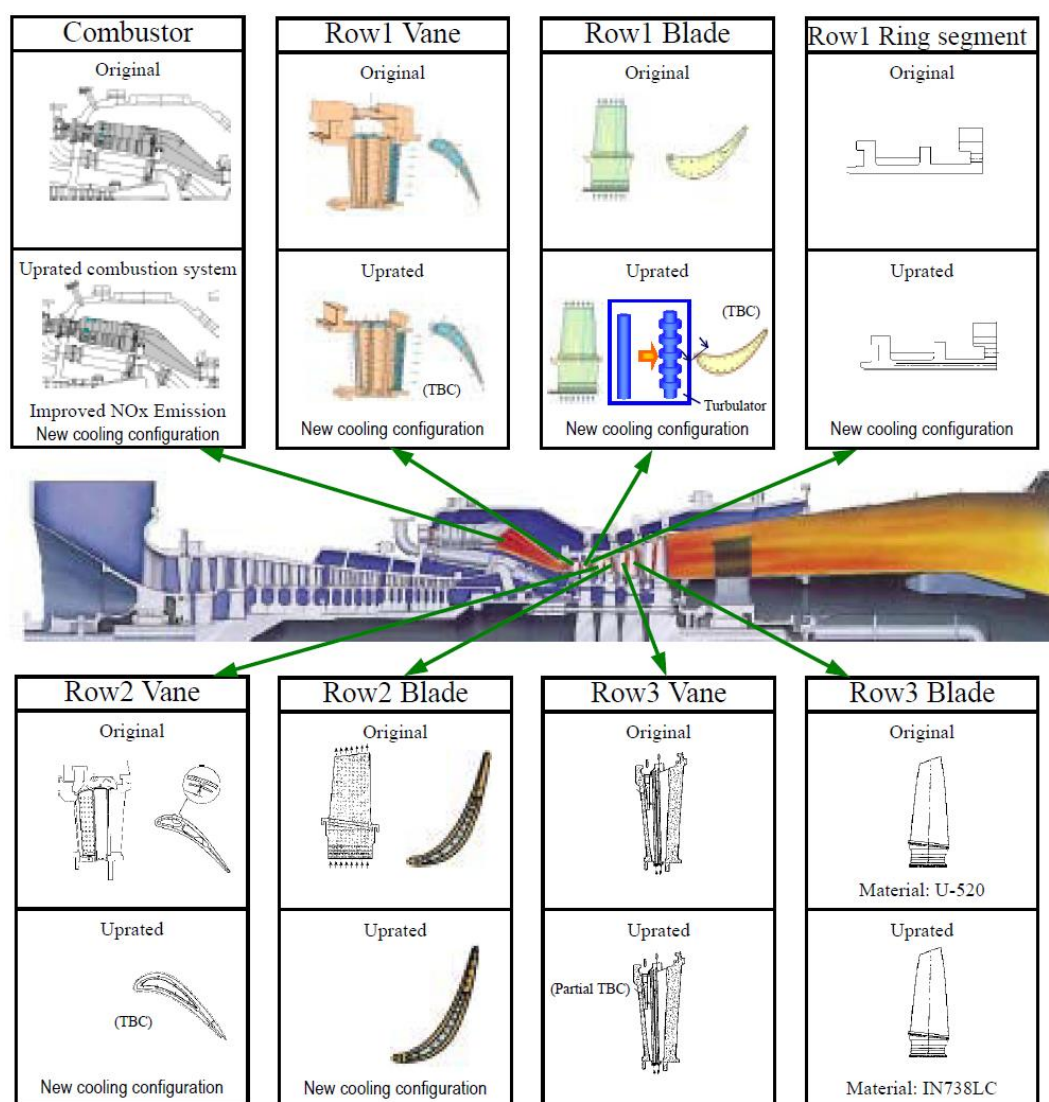


شکل ۲-۲. گزینه‌های مدرنسازی و ارتقاء توربین [۳۲].

جدول ۱۴-۲. لیست ارتقاء و مدرنسازی توربینهای M701D&501D [۳۲].

	Modification	Remarks
①-A	Firing temperature increase	Increased firing temperature + upgraded hot parts + upgraded low emission combustion system = performance (power output, heat rate) and improved reliability.
①-B	Reliability Enhancement	Upgraded hot parts + upgraded low emission combustion system = Reliability improvement.
②	Improved seal technologies	Advanced sealing technologies (i.e., Brush seals, E-seals) reduce leakage air loss significantly resulting in performance (power output, heat rate) benefit.
③	Abradable coating	Abradable coating on ring segments (facing rotating blades) reduces hot gas leakage between blade tips and stator significantly resulting in performance (power output, heat rate) benefit.
④	FGH(Fuel Gas Heating) system	Waste heat from the turbine cooling air cooler is utilized to heat the fuel gas, resulting in a heat rate improvement.
⑤	Air intake filter	MHI designed HEPA filter effectively removes dusts from inlet air. Provides significant benefit on gas turbine performance deterioration as compared to conventional filters.
⑥	DLN (Dry Low NOx) combustion system	Emissions are reduced significantly without water/steam injection by multi-premixed combustion system. In addition, cooling effectiveness is reinforced with the MHI patented cooling scheme "MT-FIN."

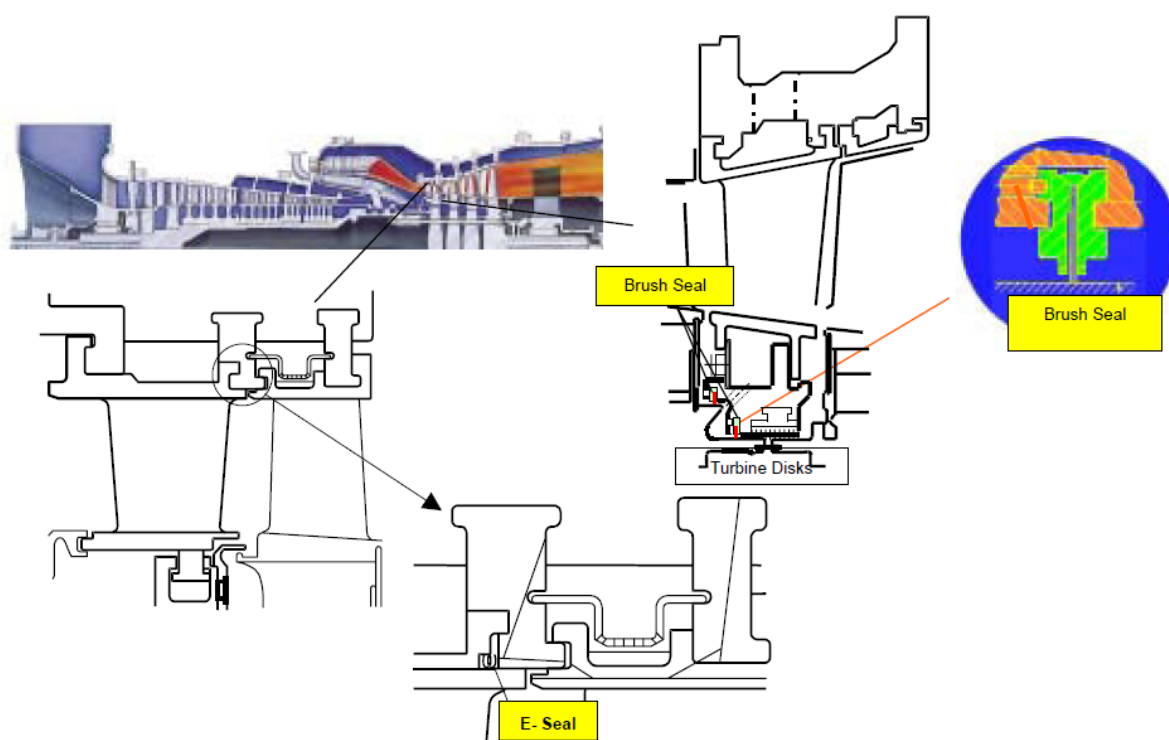
با ارتقاء قطعات داغ و استفاده از سیستم احتراق با انتشار آلاینده‌گی کم، دمای احتراق می‌تواند افزایش یابد و در نتیجه عملکرد توربین (شامل توان خروجی و نرخ حرارتی) و به موازات آنها قابلیت اطمینان بهبود خواهد یافت. با افزایش دمای احتراق و استفاده از فناوریهای پیشرفته خنک کاری، مواد و پوشش، قابلیت اطمینان می‌تواند بدون تغییر نسبت به حالت اصلی باقی بماند. هر چند با استفاده از این فناوریهای پیشرفته و در صورت ثابت نگهداشتن دمای احتراق (برابر مقدار اولیه)، قابلیت اطمینان بهبود قابل توجهی به صورت افزایش تا ۱.۵ برابری عمر قطعات می‌تواند داشته باشد (شکل ۲-۳).



شکل ۲-۳. اصلاحات مورد نیاز ارتقاء افزایش دمای احتراق [۳۲].

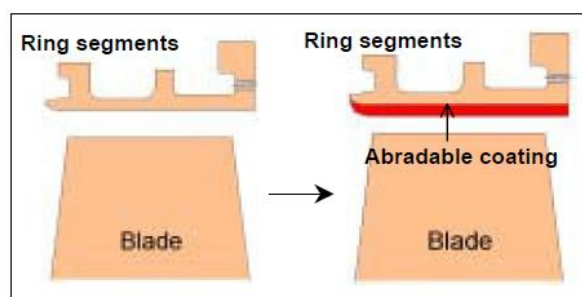
کاربرد فناوریهای پیشرفته آب بند موجب کاهش قابل توجهی نشتی هوا می‌شود. بنابراین عملکرد (توان و نرخ حرارتی) بدون افزایش دمای احتراق می‌تواند بهبود قابل توجهی یابد. میتسویشی فناوری آب بند جدیدی برای آرایش آب بندهای

وینها مراحل ۱ و ۲ سری D توسعه داده است. این آرایش جدید شامل استفاده از آب بندهای برآش و E بجای لایرنت است (شکل ۲-۴).



شکل ۲-۴. اصلاحات مورد نیاز فناوریهای آب بندی پیشرفته [۳۲].

لقی بین پره‌های روتور و سگمنتها فاکتور مهمی در نشتی گازهای حاصل از احتراق از بالای نوک پره است که موجب افت قابل توجهی در عملکرد می‌شود. معمولاً لقی برابر ۱٪ ارتفاع پره می‌تواند راندمان مرحله توربین را تا ۲٪ کاهش دهد [۳۲]. البته یک مقدار لقی برای شرایط خاص همچون دفرمه شدن پوسته و عدم توازن لازم است در نظر گرفته شود چرا که می‌تواند موجب سایش سنگین در پره‌های توربین گردد. با اعمال پوشش سایش‌پذیر روی سطح رینگ سگمنت روبروی پره، کاهش قابل توجهی در نشتی نوک پره می‌تواند صورت گیرد که در نتیجه توان و نرخ حرارتی بهبود محسوسی خواهند یافت (شکل ۲-۵). جالب است که میزان بهبود نرخ حرارتی ناشی از استفاده از مواد سایش‌پذیر برابر بهبود نرخ حرارتی حاصل از افزایش ۱۰۰ درجه‌ای دمای احتراق در توربینهای سری D است [نویسنده].



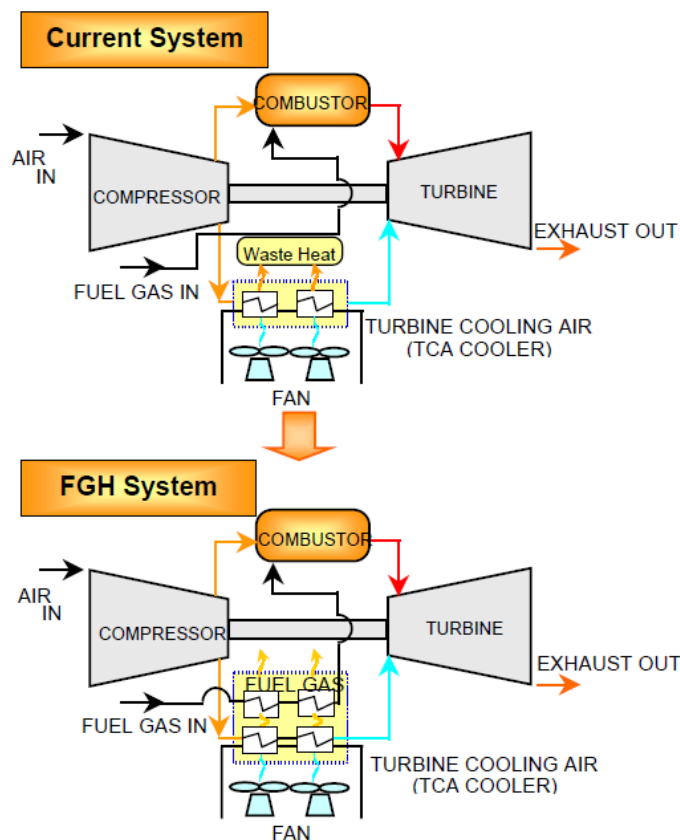
شکل ۵-۲. پوشش سایش پذیر روی سگمنت توربین [۳۲].

گرمایش سوخت با استفاده از حرارت اتلاقی کولر خنک کن هوای توربین^{۲۱} موجب بهبود نرخ حرارتی می‌شود. در هر دو سیکل ساده و ترکیبی توربین گازی، هوای بلید-روتور تا مقدار دمای طراحی لازم است توسط کولر TCA خنک شود. مقدار هوای زیادی برای خنک‌کاری نیاز است در نتیجه حرارت زیادی به اتمسفر خالی می‌شود. با استفاده از سیستم FGH بخشی از این حرارت مستقیماً به سوخت گاز انتقال می‌یابد (شکل ۶-۲).

استفاده از فیلتر راندمان بالا در ورودی کمپرسور می‌تواند آمادگی توربین گاز را با کاهش میزان روی پره‌های کمپرسور بهبود دهد. این فیلتر می‌تواند گرد و غبار را به شکل موثری از هوا جدا نماید.

میزان انتشار گازهای آلاینده می‌تواند با استفاده از سیستم احتراق پیش اختلاط چند گانه و بدون تزریق آب یا بخار به میزان قابل توجهی کاهش یابد.

میزان تاثیر ارتقاءها در عملکرد (توان و نرخ حرارتی) توربین گازی سیکل ساده و سیکل ترکیبی M501D و M701D در جدول ۱۵-۲ ارائه شده است. جدول ۱۶-۲ نیز اصلاحات مورد نیاز برای نصب ارتقاءها را به تفکیک ارائه می‌کند. این بررسی بیشتر ارتقاء بخش توربین (داغ) را در نظر گرفته است.



شکل ۶-۲. سیستم گرمایش سوخت [۳۲].

جدول ۱۵-۲. مزایای ارتقاءها و مدرنسازی توربینهای M701D&501D.

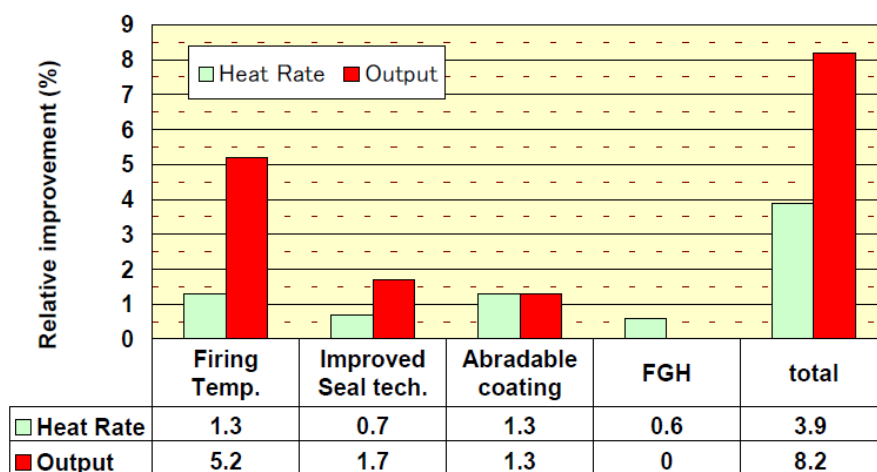
ارتقاء	توان توربین گازی	نرخ حرارتی توربین گازی (مطلق بازدهی) درصد نرخ حرارتی	توان سیکل ترکیبی	نرخ حرارتی سیکل ترکیبی
افزایش دمای احتراق	+5.2% (7MW)	-1.3% (+0.43)	+5.0%	-1.2%
بهبود آب بندی	+1.7%(2.3MW)	-0.7% (+0.2)	+1.5%	-0.5%
پوشش سایش پذیر ^{۳۳}	+1.3%(1.78MW)	-1.3% (+0.43)	+0.4%	-0.4%
گرمایش سوخت گاز	0.0%	-0.6% (+0.2)	0.0%	-0.6%
بهبود قابلیت اطمینان	بهبود 1.0 - 1.5 برای عمر قطعات داغ			

جدول ۱۶-۲. اصلاحات و ملاحظات مورد نیاز ارتقاءهای M701D&501D.

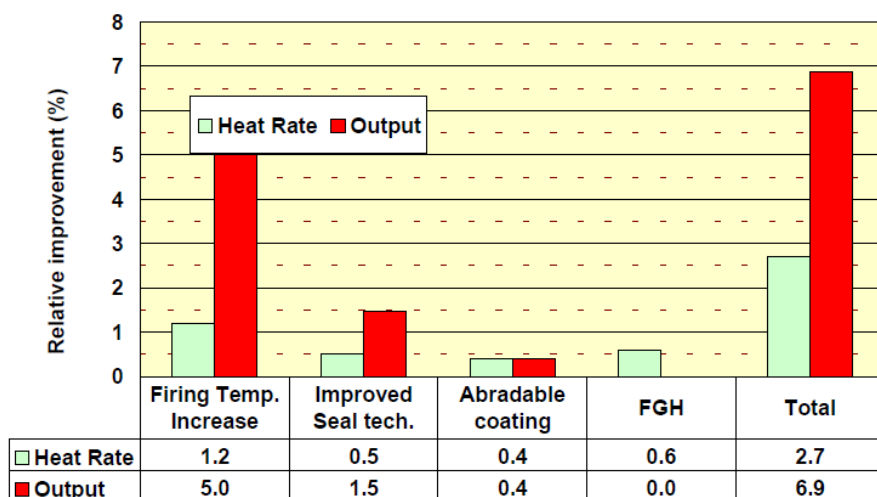
ارتقاء	اصلاحات مورد نیاز
عمومی	در تمام ارتقاءها نیاز است که سیستم کنترلی و منحنی‌های عملکردی توربین، اصلاح و بروزرسانی گردد.
۱- افزایش دمای احتراق	- (افزایش ۱۰۰ درجه سانتیگراد در دمای ورودی توربین) - ارتقاء محفظه احتراق و مشعلها برای افزایش دما و کاهش انتشارات - ارتقاء آئرودینامیک و طراحی وینها و پره‌های مراحل ۱ و ۲ توربین - بهبود سیستم خنک‌کاری برای وینها و پره‌های مراحل ۱ و ۲ (احتمالا ارتقاء به سیستم خنک‌کاری 701DA صورت می‌گیرد. اصلاح سیستم قبلی و افزودن دوش خنک‌کاری به لبه حمله و تغییر در تعداد ردیف خنک‌کاری پره مرحله ۱ و آشفته‌سازی جریان) - ارتقاء طراحی و اعمال خنک‌کاری رینگ سگمنت (بلاک شراد) مرحله ۱ و رینگ عایقی - خنک‌کاری وین ۳ تغییر نمی‌کند. - پره ۳ خنک‌کاری ندارد و مواد از U-520 به اینکانل 738LC تغییر می‌یابد. - وین مراحل ۱، ۲ و بخشی از ۳ و همچنین پره مرحله ۱ پوشش TBC داده می‌شود. - ارتقاء مواد صورت می‌گیرد. - مرحله ۴ تغییری ندارد.
۲- بهبود آب بندی	آب بند بررسی جایگزین بخشی از آب بندهای تیغه‌ای (لایبرنت) بین روتور و وین مرحله ۲ می‌شود. (احتمالا نیاز به اصلاح سوراخکاری روی دیافراگم وین ۲ نیز باشد) آب بند نوع E بین قطعات ثابت وین مرحله ۱ با ترکیبی از ورقه‌های آب بندی قرار می‌گیرد.
۳- پوشش سایش‌پذیر	پوشش‌دهی سطح سگمنتهای مراحل ۱ و ۲ توربین (روبروی پره‌ها)
۴- گرمایش سوخت گاز	نصب هیتر سوخت گاز اصلاح در پایپینگ سیستم سوخت رسانی
۵- بهبود قابلیت اطمینان	اصلاحات مشابه ارتقاء ۱ به توربین اعمال می‌شود و دمای ورودی توربین ثابت نگه داشته می‌شود (افزایش نمی‌یابد).

۲-۱-۳-۲ - جمع‌بندی مدرنسازی و ارتقاء توربینهای سری D

شکل ۲-۷ بهبود عملکرد توربینهای گازی سیکل ساده سری D با نصب ارتقاءهای گوناگون را نشان می‌دهد. این بهبود در شکل ۲-۸ برای توربینهای گازی سیکل ترکیبی نشان داده شده است. علاوه بر آن، بهبود انتشار گازهای آلاینده و گلخانه‌ای و بهبود آمادگی واحد نیز با انجام ارتقاءها نتیجه خواهد شد.



شکل ۷-۲. بهبود عملکرد توربین گازی سیکل ساده سری D با مدرنسازی و ارتقاء واحد [۳۲].



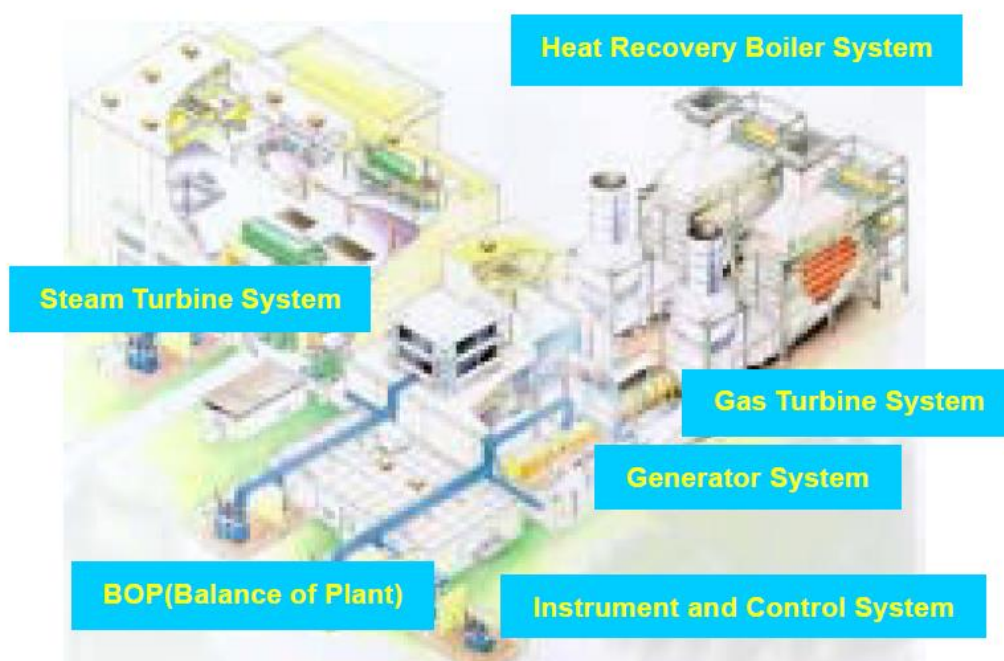
شکل ۸-۲. بهبود عملکرد توربین گازی سیکل ترکیبی سری D با مدرنسازی و ارتقاء واحد گازی [۳۲].

سایر بهبودهای به صورت زیر می‌توانند شرح داده شوند:

- بسط عمر قطعات داغ: ۱.۵-۱.۰ برابر
 - ناکس NOx: 25 ppmVd with DLN (بدون تزریق آب یا بخار)
 - بهبود عملکرد با فیلتر پیشرفته هوای وردی
- با اعمال ارتقاءهای مناسب می‌توان انتظار بهبود تا ۶٪ و ۲.۵٪ به ترتیب برای توان و نرخ حرارتی سیکل ترکیبی گازی داشت.

۳-۱-۳-۲- بهینه سازی نیروگاه

خروجی توان توربین گاز (ظرفیت ژنراتور) و دمای گاز خروجی (قابلیت HRSG) با پکیج مدرنسازی و ارتقاء می‌تواند افزایش یابد. ممکن است نیاز به مطالعه بهینه‌سازی نیروگاه جهت ارزیابی اجزاء اصلی (شکل ۹-۲) و انتگراسیون کل باشد. در هر صورت، مدرنسازی و ارتقاء باید با دقت و براساس نیاز نیروگاه انتخاب شوند.



شکل ۹-۲. المانهای نیروگاه سیکل ترکیبی CCPP [۳۲].

۳-۲-۲- ارتقاء توربینهای گازی V94.2 یا SGT5-2000E شرکت زیمنس

چنانچه در گزارش فاز ۱ نیز ارائه گردید ۷ ورژن از این توربین توسط زیمنس ساخته شده است. ورژن ۴ این توربین که توسعه بسیار در ایران داشته است دارای توان ۱۵۹.۷ مگاوات است و با ارتقاء CMF+ که شامل بازکردن بیشتر گایدون است به توان ۱۶۲ مگاوات ارتقاء یافته است.

ورژن آخر شامل تمام مدرنسازی‌ها و ارتقاءهای ارائه شده برای این کلاس از توربینهای زیمنس می‌باشد و دارای توان ۱۸۷ مگاوات و بازدهی ۳۶.۵ درصد است. هم‌اکنون، ورژن‌های ۵ به بعد در سبد محصولات زیمنس قرار دارند. هر ورژن

معرف یک ارتقاء قابل توجه در عملکرد، توان یا عمر توربین است. ارتقاءهای ارائه شده برای توربین گازی SGT5-2000E (V94.2) براساس اطلاعات مدارک شرکت زیمنس به شرح شکل زیر است.

ACCSpro  Advanced Compressor Cleaning System (ACCSpro) >	ACC  Advanced Compressor Coating (ACC) >	CMF+  Compressor Mass Flow Increase (CMF+) >	OTC  Control optimization of the corrected outlet temperature (OTC) >	FTI  Firing Temperature Increase (FTI) >	Fuel Conversions  Fuel Conversions >
HR3 Burner  HR3 Burner >	HCO  Hydraulic Clearance Optimization (HCO) >	Si3D  Innovative 3-dimensional Turbine Blades & Vanes (Si3D) >	PLU  Part Load Upgrade (PLU) >	PLI  Power Limit Increase (PLI) >	WetC  Wet Compression (Wet C) >
41 MAC  41k EOH Maintenance Concept (41MAC) >					

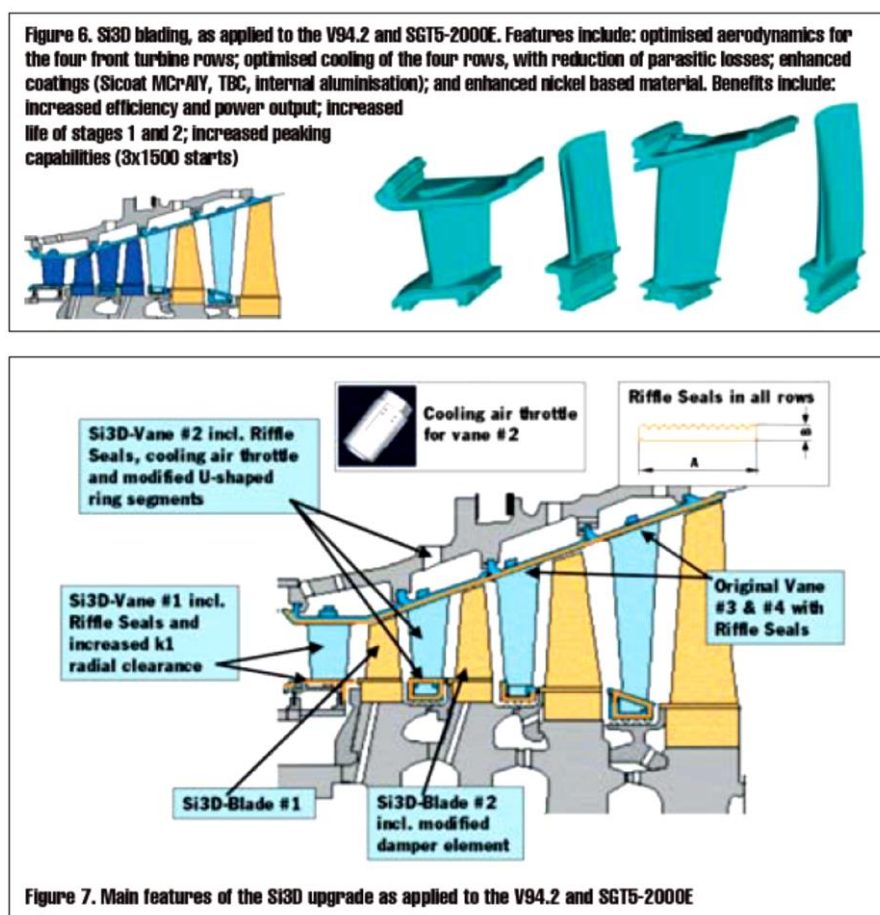
شکل ۱۰-۲. ارتقاءهای ارائه شده برای توربین گازی SGT5-2000E توسط شرکت زیمنس [۳۹].

چهار ارتقاء Si3D، HCO، FTI و 41 MAC مربوط به توربین است که به ترتیب به پره های سه بعدی نوآورانه زیمنس، سیستم هیدرولیکی کنترل لقی، افزایش دمای احتراق و فاصله زمانی 41 kEOH برای بازرسی مسیر گاز داغ شهرت دارند.

۱-۲-۳-۲- ارتقاء Si3D - مراحل ۱ و ۲ توربین SGT5-2000E

یکی از نوع آوریهای زیمنس در جهت بهبود قدرت رقابت و سودمندی نیروگاه توسعه پره های ثابت و متحرک سه بعدی برای مراحل توربین است که پره های نوآورانه سه بعدی زیمنس نیز نامیده شده است. این پره ها بر مبنای طراحی آئرو دینامیکی با بازدهی بهینه و با قابلیت بازسازی مشابه قبلی طی عمر کاری است. این نوآوری موجب ارائه طراحی جدید ایرفویل با آئرو دینامیک بهینه شده همراه با بهبود مواد، پوشش و مسیر خنک کاری هوایی بهبود یافته و کاهش تلفات

است. در مدرک اشاره شده که عمر پره ها با استفاده آلیاژهای پایه نیکل جدید و پوشش های مانع حرارتی افزایش یافته است و احتمالاً، بهبود عملکرد بدون افزایش عمر نیاز به ارتقاء مواد ندارد.



شکل ۱۱-۲. ارتقاء Si3D مراحل اول و دوم توربین گازی SGT5-2000E [۴۰].

ارتقاء به پره های Si3D در دو سطح می تواند انجام شود. سطح اول ارتقاء وین ها و پره های مراحل اول و دوم را شامل می شود و سطح دوم ارتقاء مراحل ۳ و ۴ از توربین. مزایای ارتقاء Si3D به شرح زیر است:

ارتقاء مراحل ۱ و ۲ توربین

- افزایش توان توربین گازی تا حدود ۵ مگاوات
- افزایش راندمان توربین گازی تا 0.8 % pts
- کاهش هزینه های چرخه عمر واحد
- میسر شدن ارتقاءهای بعدی برای بهبود عملکرد

طراحی Si3D، فناوری مدرن زیمنس برای توربینهای گازی V94.2 و V84.2 است. بخشهای متأثر از طراحی جدید و همچنین تغییرات در توربین گازی به شرح زیر می باشد:

تغییرات در ارتقاء مراحل ۱ و ۲ توربین به Si3D

- وین ۱ توربین (به انضمام آببندهای ریفل)
- پره ۱ توربین
- وین ۲ توربین (به انضمام آببندهای ریفل و سگمنت های آببندهای رینگ U شکل)
- پره ۲ توربین
- ولو ترائل برای وین ۲
- بهینه سازی سیستم کنترلی مربوط به دمای اصلاح شده خروجی توربین
- ماشینکاری کریپر وین ۲ توربین و جایگذاری ترائل هوای خنک کاری

تمهیدات نصب مدرن سازی

وین و پره های Si3D پتانسیل جایگزینی ردیف به ردیف را دارد. مدت زمان تخمینی برای نصب این ارتقاء، یک خروج اصلی (اورهال اصلی) است. طی اورهال روتور توربین برداشته شده، وین و پره های توربین قابل جایگزینی هستند.

جدول ۱۷-۲. برآورد هزینه ها، افزایش درآمد و مدت بازگشت سرمایه ارتقاء مراحل ۱ و ۲ توربین گازی

V94.2 به Si3D

Si3D Upgrade for V94.2 - Stages 1&2			
Upgraded	main	unit	
۳۴/۸	34.5	%	راندمان
167.0	162.0	MW	توان
۱/۳	-	MW	افزایش توان ناشی از بهبود بازدهی
۳/۷	-	MW	افزایش توان مگاواتی (با افزایش سوخت)

۲-۳-۲-۲ - ارتقاء Si3D - مراحل ۳ و ۴ توربین SGT5-2000E

همانطور که پیش تر نیز اشاره شد ارتقاء وینها و پره های توربین گازی V94.2 در ۲ سطح قابل انجام است. سطح اول مربوط به ارتقاء ردیفهای ۱ و ۲ است و سطح ۲ ارتقاء دو ردیف ۳ و ۴ را شامل می شود. یکی از ارتقاءهای قابل انجام، ارتقاء کامل چهار مرحله توربین با پره های پیشرفته سه بعدی است. هرچند ارتقاء تنها دو مرحله ۳ و ۴ طبق اسناد و مدارک زیمنس نیز قابل انجام است [۴۱]. با توجه به شباهت مباحث با ارتقاء مراحل ۱ و ۲ به تنهایی، از ذکر مجدد مطالب اجتناب

می‌شود و تنها بخش تمهیدات و برآورد توسعه فناوری مورد بررسی قرار خواهد گرفت. نواحی که تحت تاثیر تغییرات قرار می‌گیرند و فعالیتهای اصلی و فرعی مشابه بخش قبل خواهند بود.

مزایای ارتقاء Si3D به شرح زیر است:

ارتقاء مراحل ۳ و ۴ توربین

- افزایش توان توربین گازی تا حدود ۲.۵ مگاوات
- افزایش راندمان توربین گازی تا 0.5 % pts
- کاهش هزینه‌های چرخه عمر واحد
- میسر شدن ارتقاءهای بعدی برای بهبود عملکرد

بخشهای متاثر از طراحی جدید و همچنین تغییرات در توربین گازی به شرح زیر می‌باشد:

تغییرات در ارتقاء مراحل ۳ و ۴ توربین به Si3D

- وین ۳ توربین (به انضمام آببندهای ریفل و سگمنت‌های آببندهای رینگی U شکل)
- پره ۳ توربین (به انضمام دمپر جدید)
- وین ۴ توربین (به انضمام آببندهای ریفل)
- پره ۴ توربین

تمهیدات نصب مدرنسازی

از آنجا که عمر معمول پره‌های ردیف ۳ و ۴ برابر یک دوره عمر توربین یعنی ۱۰۰ هزار ساعت یا حدود ۱۲-۱۰ سال است زمان بهینه برای تعویض پره‌های قدیم با پره‌های ارتقاء یافته همان زمان LTE یا ارتقاء مجدد عمر واحد است با این فرض که در این مرحله، وینها و پره‌های مراحل ۳ الی ۴ لازم است تعویض گردند. در مواردی که طی بازرسی و تعیین عمر اجزاء، تنها بخشی از پره‌ها نیاز به تعویض داشته باشند و یا برخی به تازگی تعویض شده باشند لازم است با توجه به میزان عمر اجزاء، تصمیم‌گیری جداگانه در این امر صورت گیرد. چنانچه مشخص گردد که اکثریت پره‌ها و وینهای مراحل اول و دوم توربین دارای عمر کارکرد مناسب هستند و تنها مراحل ۳ و ۴ به انتهای عمر مطلوب نزدیک شده‌اند می‌توان تنها ارتقاء مراحل ۳ و ۴ را در دستور کار قرار داد. اما اگر مراحل ۱ و ۲ توربین نیز به انتهای عمر کاری خود رسیده باشند می‌توان ارتقاء کل مراحل توربین را نیز یک جا انجام داد.

جدول ۱۸-۲. برآورد اثرات ارتقاء مراحل ۳ و ۴ توربین گازی V94.2 به Si3D.

Si3D Upgrade for V94.2 - Stages 3&4			
Upgraded	main	unit	
34.7	34.5	-	راندمان
164.5	162.0	MW	توان
0.8	-	MW	افزایش توان ناشی از بهبود بازدهی
1.7	-	MW	افزایش توان مگاواتی (با افزایش سوخت)

۳-۲-۲- ارتقاء سیستم هیدرولیکی کنترل لقی (HCO)

این سیستم هیدرولیکی بوده و در یاتاقان تراست سمت کمپرسور نصب می شود. سیستم با فشار هیدرولیکی روی پیستون پشت یاتاقان تراست، روتور توربین را برخلاف جهت جریان و از سمت توربین به سمت کمپرسور جابجا می کند. به واسطه شکل مخروطی توربین، با این جابجائی، لقی بین پره های توربین با وینها و پوسته توربین کاهش یافته و از سوی دیگر لقی در سمت کمپرسور افزایش می یابد. میزان بهره توان و بازدهی کسب شده از کاهش لقی سمت توربین بیش از افت ناشی از افزایش لقی سمت کمپرسور است. سیستم هیدرولیکی بهینه ساز لقی بعد از گرم شدن توربین (یک ساعت بعد از استارت سرد) وارد مدار می شود یعنی بعد از آنکه انبساط های روتور و پوسته به شرایط تعادل رسید. در صورت از دادن فشار هیدرولیکی، سیستم به صورت اتوماتیک روتور را به موقعیت پیشین خود باز می گرداند.

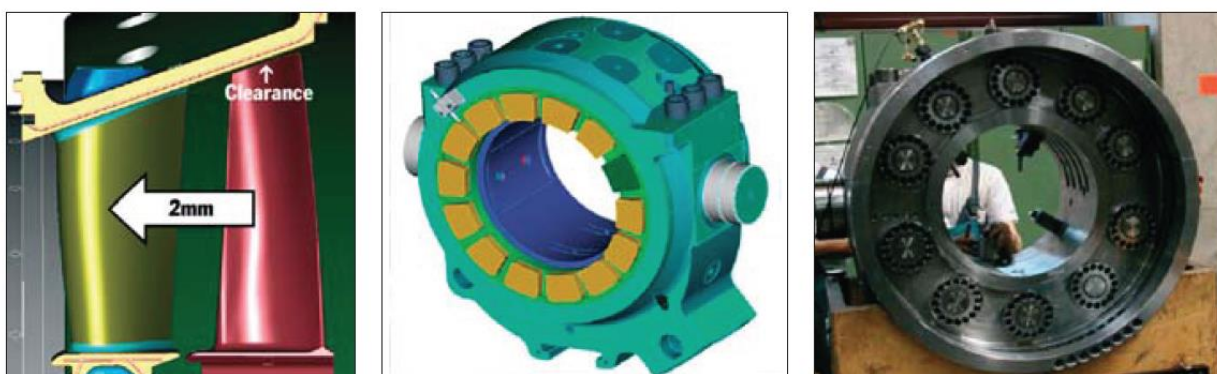


Figure 8. Hydraulic clearance optimisation (HCO). From left to right: movement of rotor; modified bearing for HCO upgrade of SGT5-2000E/V94.2; modified bearing for HCO upgrade of SGT5-4000F/V94.3A

شکل ۱۲-۲. بهینه سازی هیدرولیکی لقی. از چپ به راست: حرکت روتور با بکارگیری HCO؛ یاتاقان اصلاح شده

برای آپگرید کلاس E به HCO؛ یاتاقان اصلاح شده برای آپگرید کلاس F به HCO [۴۲].

مزایای سیستم هیدرولیکی کنترل لقی

این سیستم موجب بهبود عملکرد کلی توربین گاز خواهد شد که به شرح زیر خواهد بود:

- بهبود توان خروجی تا ۲ مگاوات در سیکل ساده توربین گازی و تا ۳ مگاوات در سیکل ترکیبی توربین گازی
- بهبود بازدهی تا 0.3% pts در سیکل ساده توربین گازی و تا 0.2% pts در سیکل ترکیبی.

این ارتقاء به همراه سایر ارتقاءهای دیگر همچون ارتقاء افزایش دبی عبوری کمپرسور می تواند اعمال شود. بخشهایی از

سیستم که تحت این ارتقاء تغییراتی را تجربه خواهند کرد به صورت زیر است:

- یاتاقان ترکیبی جدید کمپرسور
- پیستون هیدرولیکی که پشت یاتاقان محوری کمپرسور نصب می شود
- تجهیزات جانبی (مانند سیستم هیدرولیک اضافی، تجهیزات کنترلی و لوله کشی)

طبق پیشنهاد زیرمنس این ارتقاء مناسب است در زمان خروجی اصلی واحد صورت گیرد.



شکل ۱۳-۲. راست: یاتاقان سیستم هیدرولیکی بهینه ساز لقی؛ چپ: اسکید پمپ سیستم هیدرولیکی بهینه ساز لقی

[۴۲].

جدول ۱۹-۲. برآورد بهبود خروجی و عملکرد.

Upgrade	main	unit	
34.6	34.5	%	Efficiency
164	162.0	MW	Power
0.5	-	MW	افزایش توان ناشی از بهبود بازدهی
1.5	-	MW	افزایش توان مگاواتی (با افزایش سوخت)

۲-۳-۲-۴ - ارتقاء توربین گازی با افزایش دمای ورودی توربین (FTI^{23}) - SGT5-2000E

افزایش دمای ورودی توربین تاثیر قابل توجهی در ارتقاء بازدهی و توان توربین گازی دارد. افزایش دمای ورودی نیازمند اصلاح دراجزاء کلیدی توربین است. این ارتقاء، بهبود نرخ حرارتی، افزایش توان و افزایش انرژی گاز خروجی بویژه در شرایط ترکیب با سیکل ترکیبی بخاری را به همراه دارد.

ارتقاء دمای ورودی و بهبودهای حاصل از آن به دو روش قابل دستیابی است:

- با استفاده از پوشش‌های جدید برای پره‌های توربین
- طراحی پیشرفته پوسته داخلی توربین



New inner casing design

شکل ۱۴-۲. طراحی جدید پوسته داخلی توربین [۴۳].

مزایای ارتقاء FTI به شرح زیر است:

- افزایش توان خروجی توربین گازی تا 2.5 % در سیکل ساده توربین گازی
- بهبود نرخ حرارتی تا 0.1% در کارکرد سیکل ساده توربین گازی

این ارتقاء قابل تبدیل به ارتقاء عمر به جای ارتقاء افزایش دمای ورودی است. چنانچه بعد از ارتقاء دمای کاری همان دمای قبلی باقی بماند و افزایش نیابد در این صورت عمر افزایش خواهد یافت و بازه زمانی تعمیرات از ۳۳۰۰۰ ساعت به ۴۱۰۰۰ ساعت افزایش خواهد یافت.

تغییرات در ارتقاء افزایش دمای ورودی FTI

- طراحی پیشرفته محفظه اختلاط (mixing chamber)
- طراحی پیشرفته پوسته داخلی
- ارتقاء وینها و پره‌های مراحل ۱ و ۲ توربین به Si3D
- بهبود در طراحی F-Ring
- مشعل‌های HR3 و اصلاح در لوله‌های شعله
- بهینه‌سازی در سیستم کنترلی برای دمای اصلاح شده خروجی توربین

و یا استفاده از پوشش‌های جدید برای پره‌ها

تمهیدات نصب مدرنسازی

طبق پیشنهاد زیرمنس، زمان مناسب برای نصب این ارتقاء، زمان خروج اصلی (اورهال اصلی) است.

جدول ۲۰-۲. برآورد بهبود خروجی و عملکرد.

Upgrade	main	unit	
34.6	34.5	%	Efficiency
166.1	162.0	MW	Power
0.2	-	MW	افزایش توان ناشی از بهبود بازدهی
3.9	-	MW	افزایش توان مگاواتی (با افزایش سوخت)

۲-۳-۲-۵ - ارتقاء افزایش فاصله زمانی سرویس (41 MAC) [۴۴]

این ارتقاء موجب افزایش فاصله زمانی سرویس و تعمیرات HGPI از ۳۲۰۰۰ ساعت به ۴۱۰۰۰ ساعت می‌گردد. بالطبع، زمان تعمیرات اساسی و اصلی Major نیز به ۸۲۰۰۰ ساعت ارتقاء خواهد یافت. این ارتقاء، تاثیر قابل توجهی در دسترسی، آمادگی و افزایش عمر قطعات واحد دارد.

اصلاحات و ارتقاءهای زیر برای این مدرنسازی نیاز است:

- جایگزینی محفظه اختلاط با طراحی پیشرفته
- جایگزینی پوسته داخلی با طرح پیشرفته
- پوشش جدید و آلومینایز کردن سطح داخل پره ردیف اول و وینهای اول و دوم
- جایگزینی مشعل با HR3 و اصلاح در لوله‌های مشعل

تمهیدات نصب

زمان مناسب برای این ارتقاء دوره تعمیرات LTE است. این ارتقاء به موازات ارتقاءهای دیگر همچون Si3D و افزایش دمای احتراق FTI قابل انجام است.

۶-۳-۲- جمع بندی ارتقاءهای توربین گازی SGT5-2000E

پنج ارتقاء اساسی مربوط به توربین شامل Si3D I، Si3D II، HCO، FTI و 41 MAC به صورت ماژولار و براساس اتمام عمر اجزاء درگیر در ارتقاء قابل پیاده سازی روی واحد است. این ارتقاءها، مجموعاً توربین را از لحاظ بخش داغ به توربین گازی ورژن ۷ زیمنس تبدیل خواهند نمود. مجموع افزایش توان این ارتقاءها برابر $5+2.5+2+4.1=13.6$ مگاوات خواهد بود و توربین V94.2(5) با توان ۱۶۲ مگاوات به توربین ۱۷۵.۵ مگاواتی با ارتقاء بخش توربین تبدیل خواهد شد و فاصله زمانی بازرسی بخش داغ نیز به 41 kEOH ارتقاء خواهد یافت. البته در ارتقاء MAP2B-T90 مپنا که توانی نزدیک به این مقدار و افزایش توانی برابر ۱۲.۵ مگاوات دارد (۱۷۴.۵ مگاوات) ردیفهای ۳ و ۴ توربین ارتقاء به پره سه بعدی Si3D نیافته اند. ورژن ۷ زیمنس با ارتقاء پره های سه بعدی کمپرسور و اصلاحات کانال هوای ورودی و افزودن سیستم کنترل لقی به ارتقاء بخش توربین حاصل می شود. یکی از علل پایین تر بودن توان MAP2B-full مپنا نسبت به ورژن ۷ زیمنس می توان به نبود سیستم کنترلی لقی توربین اشاره کرد که خود افزایش توان ۲ مگاواتی و بهبود بازدهی به همراه دارد.

جدول ۲-۲۱. مزایای ارتقاءها و مدرنسازي بخش داغ توربین (5) V94.2.

ارتقاء	توان توربین گازی	نرخ حرارتی توربین گازی (مطلق بازدهی)	توان سیکل ترکیبی	نرخ حرارتی سیکل ترکیبی
افزایش دمای احتراق	+2.5% (4.1MW)	-0.1% (+0.04)	-	-
پره سه بعدی پیشرفته مراحل ۱ و ۲	+3.1%(5 MW)	-0.8% (+0.28)	-	-
پره سه بعدی پیشرفته مراحل ۳ و ۴	+1.5%(2.5MW)	-0.5% (+0.2)	-	-
کنترل هیدرولیکی لقی	+1.2%(2 MW)	-0.3% (+0.1)	+3 MW	-0.3% (~ +0.1)
افزایش عمر	افزایش فاصله زمانی تعمیرات از ۳۲۰۰۰ ساعت به ۴۱۰۰۰ ساعت			

جدول ۲۲-۲. اصلاحات و ملاحظات مورد نیاز ارتقاءهای توربین گازی V94.2.

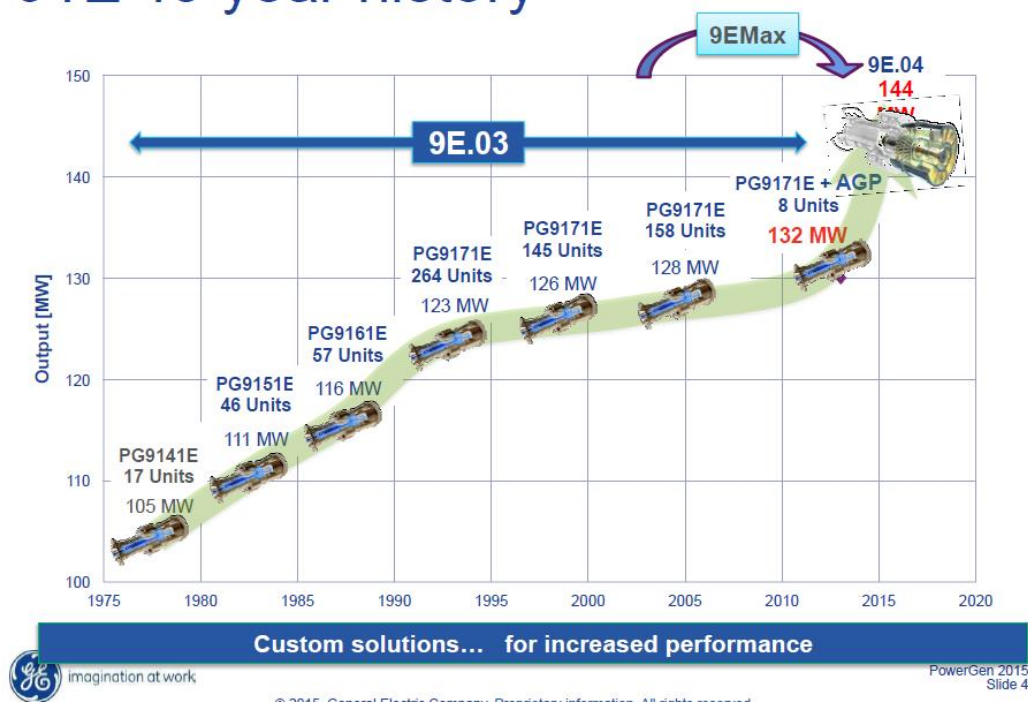
ارتقاء	اصلاحات مورد نیاز
عمومی	در تمام ارتقاءها نیاز است که سیستم کنترلی و منحنی‌های عملکردی توربین، اصلاح و بروزرسانی گردد. زمان انجام ارتقاءها: تعمیرات اساسی (Major Outage)
Si3D 1&2	تعویض وین ۱ توربین (به انضمام آببندهای ریفل) تعویض پره ۱ توربین با پره پیشرفته Si3D تعویض وین ۲ توربین (به انضمام آببندهای ریفل و سگمنت‌های آببندهای رینگ U شکل) تعویض پره ۲ توربین نصب ولو تراپل برای وین ۲ ماشینکاری کریر وین ۲ توربین و جایگذاری تراپل هوای خنک‌کاری
Si3D 3&4	تعویض وین ۳ توربین با پره با آترو پیشرفته (به انضمام آببندهای ریفل و سگمنت‌های آببندهای رینگ U شکل) تعویض پره ۳ توربین (به انضمام دمپر جدید) تعویض وین ۴ توربین (به انضمام آببندهای ریفل) تعویض پره ۴ توربین
FTI	جایگزینی محفظه اختلاط (mixing chamber) با طراحی پیشرفته طراحی پیشرفته پوسته داخلی ارتقاء وینها و پره‌های مراحل ۱ و ۲ توربین به Si3D طراح بهبود یافته F-Ring مشعل‌های HR3 و اصلاح در لوله‌های شعله بهینه‌سازی در سیستم کنترلی برای دمای اصلاح شده خروجی توربین
HCO	یاتاقان ترکیبی جدید کمپرسور پیستون هیدرولیکی که پشت یاتاقان محوری کمپرسور نصب می‌شود تجهیزات جانبی (مانند سیستم هیدرولیک اضافی، تجهیزات کنترلی و لوله‌کشی)
41 MAC	جایگزینی محفظه اختلاط با طراحی پیشرفته جایگزینی پوسته داخلی با طرح پیشرفته پوشش جدید و آلومینایز کردن سطح داخل پره ردیف اول و وینهای اول و دوم جایگزینی مشعل با HR3 و اصلاح در لوله‌های مشعل

۳-۲-۳- ارتقاء توربینهای گازی GE Frame 9E

اولین توربین MS9001E در سال ۱۹۷۵ بر پایه توربین MS9001B توسعه یافت. توربین MS9001B نیز خود از توربین MS7001B توسعه یافته بود که دارای دمای هوای وردی ۱۰۰۴ درجه سانتیگراد است. این ورژن از خنک‌کاری هوایی مرحله اول بهره می‌برد. با تجربیات بدست آمده از MS7001E، در سال ۱۹۷۸ ورژن PG9141E ارائه شد که

دمای ورودی توربین به ۱۰۶۸ درجه سانتیگراد می‌رسید. از آن زمان ارتقاء دمای ورودی توربین با تکیه بر پیشرفتهای صورت گرفته در مواد، پوشش و خنک‌کاری صورت گرفته است که تا سال ۲۰۰۸ در جدول ۲-۲۳ نشان داده شده است. در سالهای بعد ورژن AGP و 9Emax ارائه شده است که دمای ورودی توربین به ۱۱۴۰ و ۱۱۶۰ درجه سانتیگراد افزایش می‌یابد. شکل زیر روند تاریخی، روند افزایش توان و عملکرد توربین گازی فریم 9E را نشان می‌دهد. توربینهای گازی موجود در کشور از دو ورژن ۱۲۳ مگاوات و ۱۱۶ مگاوات هستند که ارتقاء آنها در این بخش ارائه خواهد شد. این ارتقاءها می‌تواند توربین ۱۲۸ مگاواتی را نتیجه دهد. دو ارتقاء نهایی ارائه شده برای 9E با نامهای AGP و 9E.04 مشخص شده‌اند که در کلاس 9E.04 یا 9EMax توربین از ۳ مرحله به ۴ مرحله تبدیل می‌شود. ارتقاءهای AGP و 9EMax جداگانه در بخشهای بعدی ارائه خواهند شد.

91E 40 year history



شکل ۱۵-۲. روند توسعه فناوری توربینهای گازی 9E [۶].

۱-۳-۲- برآورد تغییرات توان و عملکرد با ارتقاءهای جزئی فریم 9E

در این بخش با توجه به اسناد و مدارک موجود، انواع ارتقاءهای قابل اعمال روی توربین گازی فریم ۹ بررسی و میزان تاثیر آن مشخص خواهد شد. اغلب توربینهای موجود در کشور از نوع PG9171E با توان ۱۲۳.۴ مگاوات است و ۶ واحد نیروگاه منتظر قائم نیز از نوع PG9161E است.

جدول ۲۳-۲. مشخصات عملکردی توربین کلاس GE-F9E [۲].

Model	Ship Dates	ISO Performance* kW	Firing Temp °F/°C	Air Flow 10 ⁶ lbs/hr 10 ⁶ kg/hr	Heat Rate BTU/kWhr kJ/kWh	Exhaust Temp °F/°C
PG9113B	1975-81	86,200	1840/1004	2.736/1.241	10,990/11,592	945/507
PG9141E	1978-81	105,600	1955/1068	3.155/1.431	10,700/11,286	953/512
PG9157E	1981-83	109,300	1985/1085	3.183/1.444	10,700/11,286	968/520
PG9151E	1983-87	112,040	2000/1093	3.214/1.458	10,570/11,149	877/525
PG9161E	1988-91	116,930	2020/1104	3.222/1.461	10,290/10,854	980/527
PG9171E	1991	123,450	2055/1124	3.231/1.466	10,080/10,632	998/537
	2003 - Current	126,100	2055/1124	3.231/1.466	10,100/10,650	1009/543
PG9231EC	1996	165,700	2200/1204	4.044/1.834	9,870/10,411	1,037/558
PG9301F	1993-94	209,740	2300/1260	4.804/2.179	10,080/10,632	1,082/583
PG9311FA	1994	223,760	2350/1288	4.819/2.186	9,630/10,158	1,097/582

*Base load distillate fuel, includes 3/10 inches H₂O inlet/exhaust pressure drops

Figure 4. MS9001 E-Class performance history.

جدول ۲۳-۲ لیست ارتقاءهای قابل اعمال به ورژنهای مختلف توربینهای Frame 9E را نشان می‌دهد که ستون آخر اطلاعات مدل توربینهای موجود داخل کشور است. یک ارتقاء از توربینهای قدیمی به توربین با دمای ورودی 2055 (1124°C) تعریف شده است که برای واحدهای نیروگاه منتظر قائم قابل اعمال است. طبق بررسی صورت گرفته دو نوع ارتقاء برای توربینهای داخلی فریم 9E (به جز نیروگاه منتظر قائم) وجود دارد. یک ارتقاء مربوط به بهبود راندمان قطعات و اجزاء همچون آئروپنمیک پره‌ها، آب بندها و خنک کاری است و دسته دیگر ارتقاء با افزایش دمای گاز ورودی است که در مورد اخیر به ورژن AGP یا 9Emax ارتقاء می‌یابد. جدول ۲۳-۲ نرخ حرارتی توربین PG9171E با توان ۱۲۳.۴۵ مگاوات را برابر ۱۰۶۳۲ کیلوژول بر کیلووات ساعت ارائه داده است که معادل بازدهی ۳۳.۸۶ درصد برای توربین گاز خواهد بود.

جدول ۲۴-۲. ارتقاءهای فریم ۹ و اثر آنها روی توان خروجی [۲].

MS 9001 B-E Uprates												
	I	II	III	IV	9E-2020 F/1104C (FT6C)			9E-2055/F1124C (FT6Y)				
Original Tf (°F/°C)	1840/ 1004	1840/ 1004	1840/ 1004	1840/ 1004	1955/ 1068	1985/ 1085	2000/ 1093	1955/ 1104	1985/ 1104	2000/ 1093	2020/ 1104	2055/ 1124
Maximum Up-rated Tf (°F/°C)	1840/ 1004	1905/ 1041	1965/ 1074	2020/ 1104	2020/ 1104	2020/ 1104	2020/ 1104	2055/ 1124	2055/ 1124	2055/ 1124	2055/ 1124	2055/ 1124
Increase in Output												
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Increase in Firing Temp. & Control Mods (FT5X)	-	6.7	12.8	18.2	6.5	4.0	2.7	9.5	7.0	5.7	3.5	-
Bore Plugs	0.33	0.33	0.33	0.33	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
C450 1GV (84°)	4.3	4.3	4.3	4.3	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	-	-
Additional 2° IGV (86°)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Rotated S3B	-	-	0.6	0.6	-	-	-	0.3	0.3	0.3	0.3	-
GTD222 S2N	-	-1.0	-1.0	-1.0	-	-	-	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Exhaust Frame Blowers	-	-	-	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
Air-Cooled S2B	-	-	-1.65	-1.65	-	-	-	-	-	-	-	-
Stage 2 Bucket Shrouds	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
with Honeycomb b Seals (FS2T)	-	0.35	0.35	0.35	-	-	-	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Stage 3 Bucket Shrouds	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
with Honeycomb b Seals (FS2U)	-	-	0.15	0.15	-	-	-	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
HPP Brush Seals (FS2V)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Number 2 Big Brush Seals (FS2Y)	-	-	-	-	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Stage 2 Nozzle Diaphragm Brush Seals (FS2Z)	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
HR 120 One Piece S1S W Cloth Seals (FS2Y)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	1.3
S1S Abradable Coating Seal (FS20)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Total Effect on Output *	7.3	13.4	18.6	24.20	11.9	9.4	8.1	16.7	14.2	12.9	9.2	6.3
*Total effects are a compounding effect of all the performance improvements above.												
Sourcebook codes are provided in parentheses.												
NOTE: All performance estimates apply at ISO conditions (59° F/15°C, 14.7 psia/1.013 bar)												

جدول ۲۵-۲. ارتقاءهای فریم ۹ و اثر آنها روی نرخ حرارتی [۲].

MS 9001 B-E Uprates												
	I	II	III	IV	9E-2020 F/1104C (FT6C)				9E-2055/F1124C (FT6Y)			
Original Tf (°F/°C)	1840/ 1004	1840/ 1004	1840/ 1004	1840/ 1004	1955/ 1068	1985/ 1085	2000/ 1093	1955/ 1068	1985/ 1085	2000/ 1093	2020/ 1104	2055/ 1124
Maximum Up-rated Tf (°F/°C)	1840/ 1004	1905/ 1041	1965/ 1074	2020/ 1104	2020/ 1104	2020/ 1104	2020/ 1104	2055/ 1124	2055/ 1124	2055/ 1124	2055/ 1124	2055/ 1124
Decrease in Heat Rate												
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Increase in Firing Temp. & Control Modifications	-	-1.1	-2.0	-2.6	-0.5	-0.27	-0.15	-0.77	-0.54	-0.42	-0.27	-
S1N Chordal Hinge	-1.9	-1.9	-1.9	-1.9	-	-	-	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25
Bore Plugs	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2
C450 1GV (84°)	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.38	-0.38	-0.38	-0.38	-0.38	-0.38	-	-
Additional 2° IGV (86°)	-	0.4	0.4	0.4	-	-	-	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Rotated S3B	-	-	0.6	0.6	-	-	-	-0.28	-0.28	-0.28	-0.28	-
GTD222 S2N	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
2-Piece Shroud	-	-	-	-	-	-	-	0.4	0.4	0.4	0.4	
Exhaust Frame Blowers	-	-	-	-0.1								
Air-Cooled S2B	-	-	1.1	1.1	-	-	-	-	-	-		-
Stage 2 Bucket Shrouds with Honeycomb Seals (FS2T)	-	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Stage 3 Bucket Shrouds with Honeycomb Seals (FS2U)	-	-	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
HPP Brush Seals (FS2V)	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
Number 2 Big Brush Seals (FS2Y)	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3
2 Nozzle Diaphragm Brush Seals (FS2Z)	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
One Piece S1S W Cloth Seals (FS2Y)	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.6
Abradable Coating Seal (FS20)	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3
Total Effect on Heat Rate *	-4.2	-5.2	-5.8	-6.5	-3.2	-3.0	-2.8	-4.0	-3.8	-3.6	-3.1	-3.3
*Total effects are a compounding effect of all the performance improvements above.												
Sourcebook codes are provided in parentheses.												
NOTE: All performance estimates apply at ISO conditions (59° F/15°C, 14.7 psia/1.013 bar)												

جدول ۲۶-۲ لیستی از ارتقاءهای توربین گازی فریم ۹ (به جز موارد مربوط به AGP و 9Emax) به همراه کد مربوط به آنها در شرکت GE را ارائه می‌کند.

جدول ۲۶-۲. ارتقاءهای توربین گازی 9B و 9E [۲].

Uprate Description

FA1A Convert To Gas Fuel Only
 FA3D Convert From Liquid To Dual Fuel
 FA3L Upated Three-Way Valves to Replace Check Valves for DLN-1
 FC4A Add CompressorWaterWash Off Line
 FC4C Add TurbineWaterWash
 FD4K Advanced Exhaust Plenum Uprate
 FF1E Turbine Compartment Dual 100HP Fan Uprate
 FG1A AddWater Injection For Gas Or Dual Fuel Units
 FG1B Add Manual Steam Injection for NO_x Control in Gas or Dual Fuel Units
 FG1D Add Automatic SteamInjection For NO_x Control in Gas or Dual Fuel Units
 FG1C AddWater Injection For Liquid Fuel Units
 FG2B Dry Low NO_x 1.0 Combustion System Uprate
 FJ3A Add Manual Steam Injection For Power Augmentation
 FJ3B Add Automatic Steam Injection For Power Augmentation
 FK5C ReplaceableWheel Space Thermocouple Uprate
 FK5K Replaceable Short Lead Design Exhaust Thermocouple Uprate
 FK5P Replaceable Connector Design Exhaust Thermocouple Uprate
 FR1D Upated Nimonic Transition PiecesWith Improved Aft Bracket
 FR1G TBC Coated Combustion Liners Uprate
 FR1H Uprate Combustion System From 9B To 9E
 FR1T Breech Loaded Fuel Nozzle Uprate
 FR1V Extendor* Combustion System Retrofit Uprate
 FR1W Extendor Combustion System New Uprate
 FS1F GTD-450 Compressor Stages 1 To 8 Uprate
 FS1L Air-Cooled Stage 2 Bucket Uprate
 FS1P GTD-222+* Stage 2 Nozzle Uprate
 FS1R GTD-222+ Stage 3 Nozzle Uprate
 FS1W Exhaust Frame Uprate
 FS2B Shrouded S17 + EGV1&2 And Counter Bore Covers Upates
 FS2C Upated Stage 1 Shroud Blocks

FS2D 100HP Exhaust Frame Motor Blower Uprate
 FS2F Uprated GTD-111* Stage 2 Bucket
 FS2I Non Air-Cooled GTD-111 Stage 2 Buckets Uprate
 FS2J Uprated Stage 1 Nozzle With Chordal Hinge
 FS2K Uprated Stage 3 Bucket IN738
 FS2T Stage 2 Shroud Honeycomb Seal Uprate
 FS2U Stage 3 Shroud Honeycomb Seal Uprate
 FS2V High Pressure Packing Brush Seal Uprate
 FS2X Number 2 Bearing Brush Seal Uprate
 FS2Y Uprated HR-120™ Improved Stage 1 Shroud with Cloth Spline Seals
 FS2Z Interstage Brush Seal Uprate
 FS4G Uprated TBC Coated Stage 1 Buckets
 FS4K Advanced Aero Stage 3 Nozzle Uprate
 FS4L Advanced Aero Stage 3 Bucket Uprate
 FS6A Stage 1 Shroud Abradable Coating Uprate
 FS6E Enhanced TBC Coating for Stage 1 Nozzle
 FT6B GTD-450 Reduced Camber High Flow IGV Uprate
 FT6C Increase 9E To 2020°F Tf
 FT6J Stage 1 Bucket Uprate
 FT6X Uprate 9B Hot Gas Path And Combustion To 9E
 FT6Y Increase 9E To 2055°F Tf
 FW3E Discourager Seal Replacement

در ادامه توضیحات مفصل مربوط به هر یک از ارتقاءها ارائه خواهد شد.

آب‌بند لانه زنبوری شراد مراحل ۲ و ۳ (FS2T/FS2U)^{۲۴}

به منظور جلوگیری از سایش نوک باکت، لقی بین نوک باکت و بلوک‌های شراد ثابت^{۲۵} در حدود دو و نیم میلیمتر بوده است. این لقی بزرگ موجب می‌شود که حجم عظیمی از گاز از روی نوک باکت جریان یابد و موجب اتلاف زیادی در عملکرد شود. برای حل این مشکل، یک آب‌بند لانه زنبوری طراحی و بین دندان‌های آب‌بند لایبرنتی در بلوک‌های شراد

^{۲۴} Stage 2 and 3 Shroud Honeycomb Seal (FS2T/FS2U)

^{۲۵} shroud blocks Stationary

مراحل ۲ و ۳ قرار می‌گیرد (شکل ۱۸-۲). مواد سازنده لانه زنبورها از مواد شراد و باکت نرم‌تر^{۲۶} هستند و این موضوع باعث می‌گردد که آب‌بند لانه‌زنبوری طبیعت فنا شونده بیابد. آب‌بندهای لایبرنتی شراد نوک تیغه طوری طراحی شده‌اند که شیارهایی را در داخل لانه‌زنبورها ایجاد کنند. این لقی کم بین نوک باکت و آب‌بندهای لانه‌زنبوری واقع در شراد موجب می‌شود که بهبودی تا ۰/۶٪ در توان خروجی و نرخ حرارت را در کلاسهای مختلف توربین جی ئی ناشی شود. در توربین 9E نصب آب‌بند هانی کامب در مرحله دوم موجب ۰/۳۵٪+ بهبود خروجی و ۰/۳۵٪- بهبود هیت‌ریت می‌گردد در مرحله سوم این مقدار برابر ۰/۱۵٪+ در خروجی و ۰/۱۵٪- در هیت‌ریت است. برای مطمئن شدن از عملکرد برشی و ایجاد شیار در لانه‌زنبور، لبه حمله دندانه‌های آب‌بند لایبرنتی واقع در نوک شراد باکت را از نوع "دندانه برنده"^{۲۷} می‌سازند (شکل ۱۹-۲). جنس آب‌بند هانی کامب از آلیاژ با استحکام دما بالا و مقاوم در برابر اکسیدشدگی در شبکه‌ای با اندازه سلولهایی برابر $\frac{1}{8}$ اینچ و ضخامت فویل 5 mil می‌سازند که به تیغه‌های بلاک لحیم می‌گردد.



شکل ۱۶-۲. مرحله دوم توربین فریم 9E مجهز به هانی کامب روی شراد و تیغه برنده روی باکت [۲].

^{۲۶} Softer

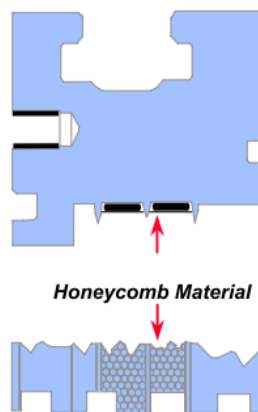
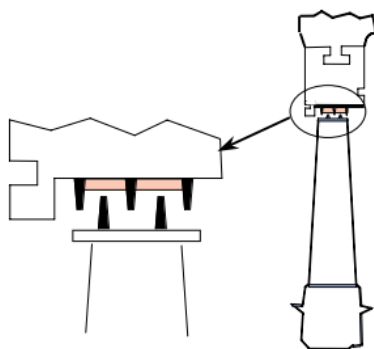
^{۲۷} Cutter tooth



شکل ۱۷-۲. بلاک شراد مرحله ۲ و آب بند هانی کامب روی آن [۲].

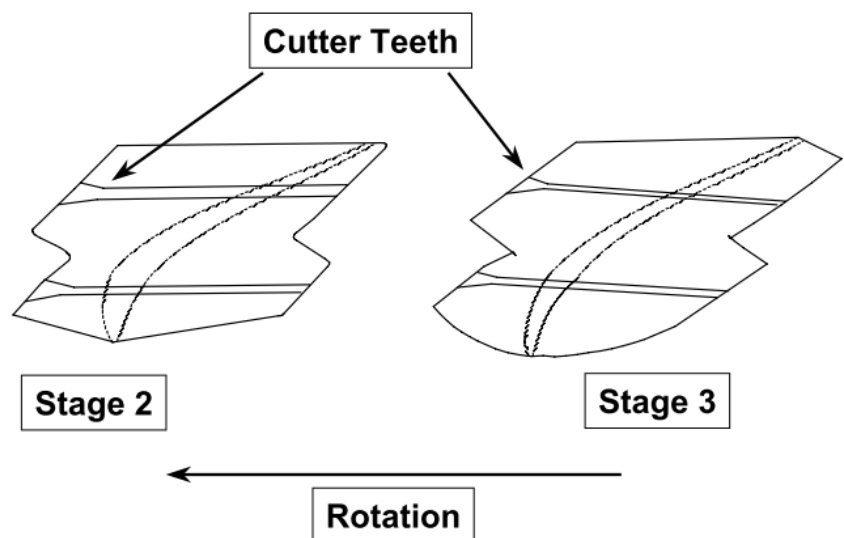
Honeycomb Shroud Blocks

- Honeycomb Shrouds
 - Reduces Leakage
 - Greater Rub Tolerance
- Requires Buckets with Cutter Teeth



GER 3751-9

شکل ۱۸-۲ آب بند اعمالی لانه زنبوری [۲].



GER 3751-10

شکل ۱۹-۲ دندانهای برنده شراد تیغه [۲].

آببند بررسی دیافراگم داخلی نازل مرحله دوم^{۲۸}

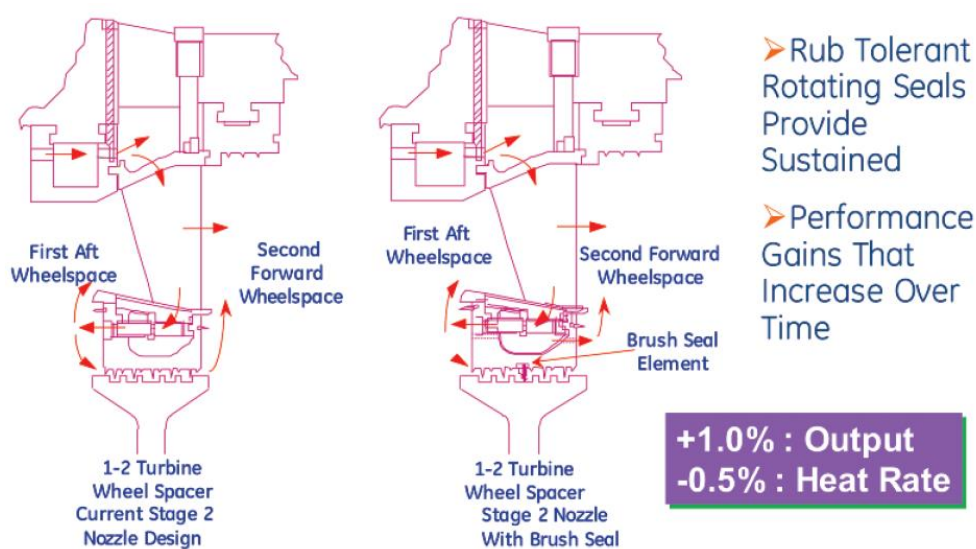
برای جلوگیری از تماس بین دیافراگم داخلی نازل مرحله دوم و جداکننده های چرخ^{۲۹} (دیسک های جداکننده مراحل) بین مراحل ۱ و ۲ که می تواند ناشی از ارتعاش روتور، انتقال حرارت و تغییر شکل نازل باشد، یک لقی بزرگ بین آنها در نظر گرفته می شود. متأسفانه این مسیر یکی از مسیرهای اصلی نشتی است. به دلیل موفقیت هایی که ترکیب آببندی پکینگ فشار بالا^{۳۰} و آببند بررسی یاتاقان نشان دادند، یک آببند بررسی به منظور بهبود آببندی پکینگ مرحله داخلی طراحی شد. این آببند برای همه طرح های تک شفتی موجود است و بهبودی ۱٪ در توان خروجی و ۵٪ در نرخ حرارت را منجر می شود. برش مقطعی از نازل مرحله ۲ با آببند بررسی در شکل ۲۰-۲ و شکل ۲۱-۲ نشان داده شده است.

Stage 2 Nozzle Inner Diaphragm Brush Seal^{۲۸}

Wheel spacer^{۲۹}

High Pressure Packing^{۳۰}

برای تمام محصولات جی ئی که نازل مرحله ۲ را نصب کرده‌اند، پوشش روی برل داخلی مورد نیاز است. براساس آنالیز آئرودینامیک، در برخی موارد نیاز به کنترلر نسبت فشار (CPR)، تنظیم مجدد IGV یا مرحله ۱۷ و EGV 1&2 وینهای شراگذار با تغییراتی در برل داخلی ممکن است نیاز شود.



شکل ۲۰-۲ نازل مرحله دوم با آب‌بند بررسی [۲].



شکل ۲۱-۲ استفاده از آب‌بند بررسی برای آب‌بندی میان مرحله‌ای [۲].

آببندهای پارچه‌ای مرحله اول (FS2Y) S1S

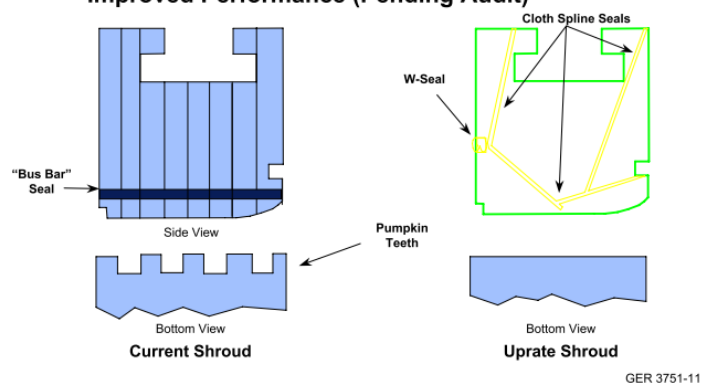
نشتی هوای خروجی کمپرسور (به توربین) که از بین قطعات شراد کنار هم عبور می‌کند، یکی از مهمترین نقاط افت کارایی سیستم است. طرح دندان کدویی^{۳۱} با آببند هزار خار در هم قفل شونده^{۳۲}، آببند خوبی است، اما کارایی آن‌ها کم است. طرح جدید دارای شراد با سطح تخت است که دارای آببند پارچه‌ای است که این آببند پارچه‌ای به داخل شیار موجود در بلوک‌های شراد مجاور هم می‌رود. شکل ۲۲-۲، دو طرح بهبود یافته و طرح دندان کدویی قدیمی را با هم مقایسه می‌کند. شکل ۲۳-۲، آببند هزار خار شبیه میله را با آببند پارچه‌ای ارتقا یافته مقایسه می‌کند. این آببندها در شکاف بین دو پلت فرم شراد مجاور قرار گرفته و مانع از اتلافات جریان از این مسیر می‌شوند که به این ترتیب ترکیب قطعات شراد و آببندهای بین آن‌ها به ایجاد یک رینگ از پره‌های ثابت می‌انجامد. از یک جریان ثانویه که از برخی مراحل کمپرسور استخراج می‌شود، برای خنک کاری بخش‌های داغ توربین استفاده می‌گردد. آببند پارچه‌ای در شکاف بین مولفه‌های مجاور نصب می‌گردد تا با محدود کردن نشت این جریان به مسیر گاز داغ، حجم این جریان ثانویه استخراجی از کمپرسور را کنترل کند. به این ترتیب آببندهای پارچه‌ای با قرار گرفتن بین بخش‌های مختلف توربین (مانند شراد-شراد) و تنظیم حجم جریان خنک‌کن مانع از نفوذ گاز داغ به شکاف‌ها و گرم شدن آن می‌شود. لازم به ذکر است که وجود این شکاف‌ها جهت تسهیل کارکرد توربین در زمان‌های گذار حرارتی و مکانیکی لازم است. آببند پارچه‌ای استفاده شده علاوه بر نشتی‌گیری به دلیل داشتن لایه پوششی فناشونده، باعث ایجاد مقاومت سایشی بین سطوح می‌گردد. آببند پارچه‌ای هر دو جریان محوری و شعاعی را آببندی کرده و آببندی منعطفی را برای هر نامیزانی بلوک شراد فراهم می‌آورد. این طرح آببندی بهبود یافته فشارهای بالا را محدود کرده و از نشت هوای خروجی کمپرسور به داخل مسیر گاز داغ جلوگیری می‌کند. در نتیجه این تغییر یک بهبود عملکرد تا ۰/۷٪ در خروجی و تا ۰/۵٪ در نرخ حرارت را موجب می‌شود. از سال ۲۰۰۳، توربینهای PG9171E دارای شراد بلاک یک تکه به همراه آببندهای پارچه‌ای بین سگمنتها عرضه شده است که مجموع بهبود در آنها شامل ۱.۳٪ در خروجی و ۰.۶٪- در هیت ریت است. ارتقاء توربین فریم 9E تنها به آببند پارچه‌ای بهبودی به میزان ۰.۴٪+ در خروجی و ۰.۲٪- در هیت ریت دارد.

^{۳۱} Pumpkin-tooth

^{۳۲} Interlocking spline seal

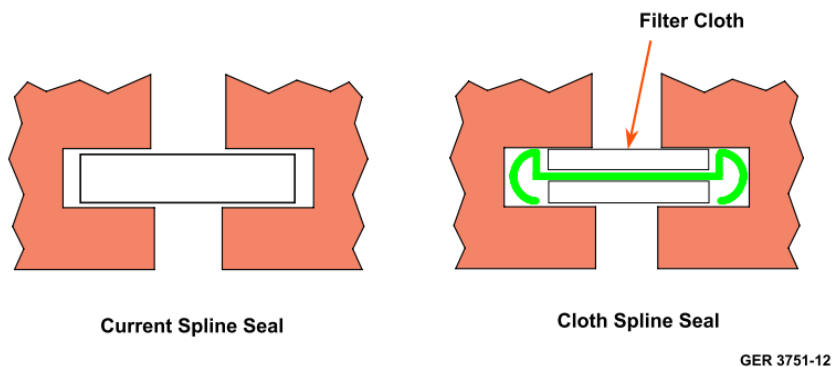
First Stage Shroud Cloth Seals

- New Material and Improved Sealing
- Improved Performance (Pending Audit)



شکل ۲۲-۲ طرح دندان کدویی و طرح آب‌بند شراد جدید [۲].

New Intersegment Seal Design



شکل ۲۳-۲ طرح هزار خار نوع میله‌ای و طرح آب‌بند پارچه‌ای [۲].

پوشش آب‌بندی سایش‌پذیر شراد مرحله اول (ES20)^{۳۳}

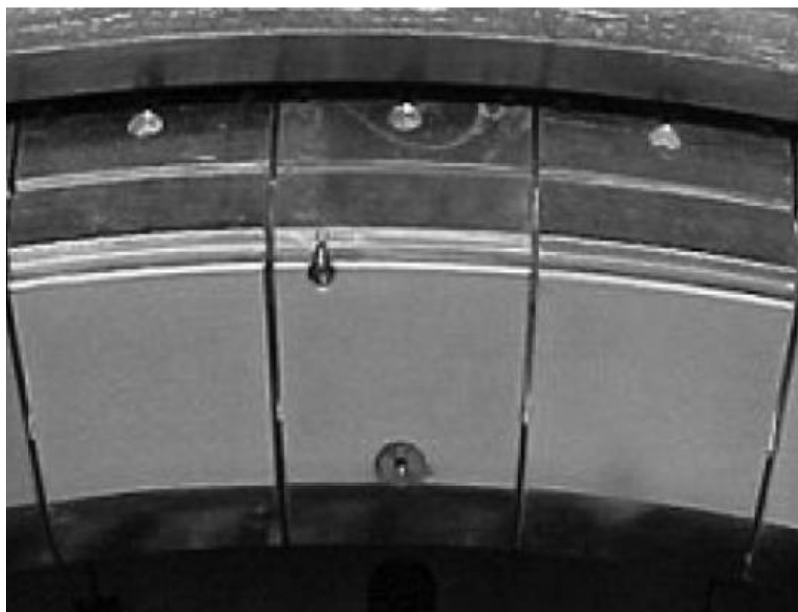
لقی بین تیغه مرحله اول و بلوک شراد مرحله اول در توربین فاکتوری حیاتی است. زیرا هوای احتراق از روی نوک تیغه مرحله اول نشت کرده که موجب اتلاف عملکرد چشمگیری می‌گردد. برای جلوگیری از عواملی که موجب سایش زیاد تیغه می‌شود، نیاز به لقی زیادی است. این عوامل عبارتند از:

^{۳۳}Stage 1 Shroud Abradable Coating (ES20)

- بیضوی شدن بدنه^{۳۴}
- نامیزانی روتور^{۳۵}
- نامیزانی بلوک‌های شراد^{۳۶}

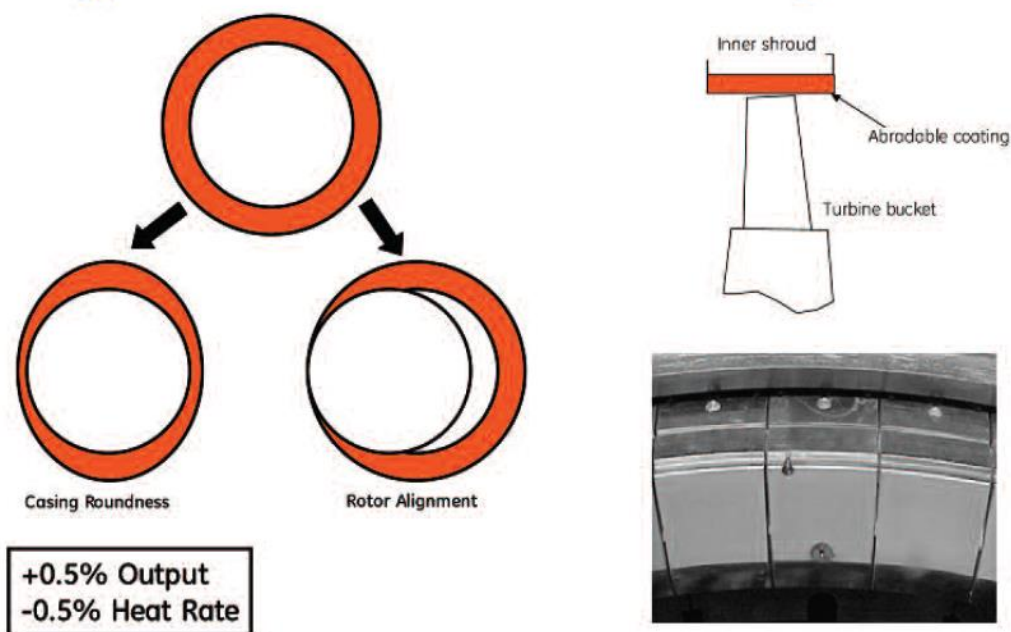
یک پوشش سایش‌پذیر یا فناشونده راهی برای حل همه این موارد است و موجب کاهش لقی‌های ناشی از حرارت می‌گردد. آب‌بند فنا شونده پوششی با ضخامت یک میلیمتر است که در سمت داخلی (رو به روتور) شراد مرحله اول قرار دارد (شکل ۲-۲۴). هدف از این کار این است که نوک تیغه طی اولین شروع به کارها، باعث ساییدن ماده فنا شونده شود و در اثر کارکرد زیاد، بدون در نظر گرفتن بیضوی شدن بدنه، نامیزانی شراد، نامیزانی روتور و یا سایش نوک تیغه یک مسیر گاز بهینه ایجاد کند. انتظار می‌رود که این تغییر یک بهبود ۰/۴٪ در خروجی و ۰/۳٪ در نرخ حرارت را بوجود آورد. در مرجع دیگری از GE، مقدار بهبود برای 9E، ۰/۴٪+ در خروجی و ۰/۴٪- در هیت‌ریت ذکر شده است. در روتورهای خارج از مرکز یا دارای عدم توازن استفاده از آب بند سایش‌پذیر می‌تواند موجب کاهش میزان لقی و بهبود عملکرد گردد (شکل ۲-۲۵). ترکیب استفاده از آب‌بند پارچه‌ای در بلوک‌های شراد و پوشش فناشونده به بهبود عملکردی بیش از ۱/۱٪ در خروجی و ۰/۸٪ در نرخ حرارت می‌انجامد.

Casing out-of-roundness^{۳۴}Misalignment of the rotor^{۳۵}Shroud block misalignment^{۳۶}



شکل ۲۴-۲. بلاک شرادهای مرحله ۱ پوشیده شده با ماده سایش‌پذیر [۲].

Stage 1 Shroud Abradable Coating

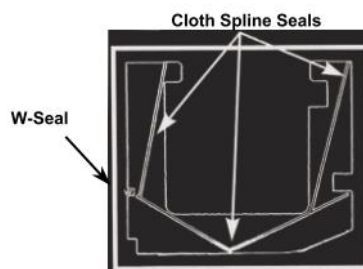
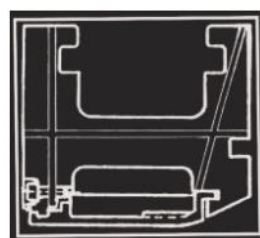


شکل ۲۵-۲. پوشش فناشونده [۲].

شراد بلاک مرحله اول یک تکه

در طرح اولیه MS9171E (2055F) برای آنکه شراد ساخته شده از ماده فولاد زنگ‌نزن ANSI 310 عمر قابل قبولی داشته باشد، از شراد دو تکه^{۳۷} در مرحله اول استفاده شده است. این طرح که برای توربین فریم 9E با دمای ورودی ۲۰۵۵ درجه فارنهایت ارائه شده بود هزینه پولی و عملکردی قابل توجهی داشت. طرح دو تکه نیاز به خنک کاری لایه ای با هوای منشعب از تخلیه کمپرسور داشت. بدنه بیرونی شراد از فولاد ۳۱۰ و شراد داخلی از FSX-414 ساخته شده است. ماده جدید HR120، آلیاژی مقاوم‌تر در مقابل شکست است و توانایی بهتری در تحمل دمای احتراق بالاتر دارد. با استفاده از این ماده، عمر خستگی کم چرخه تا ۳ برابر بهبود می‌یابد. در نتیجه با توجه به این موضوع بلوک شراد یک تکه در مرحله اول استفاده شده است. استفاده از شراد یک تکه موجب تغییر خنک کاری و آب‌بندی می‌گردد که منجر به کاهش اتلاف ۰/۹٪ در توان خروجی و ۰/۴٪ در نرخ حرارت می‌گردد. در نتیجه برای از بین بردن این اتلاف در عملکرد، می‌توان برای همه واحدهای MS9171E (2055F) از شراد یک تکه، از جنس HR120 استفاده کرد (شکل ۲۶-۲).

- Replace Two-Piece Design
- Haynes HR-120
- Reduced Cooling Required
 - Increase in Output
 - Decrease in Heat Rate

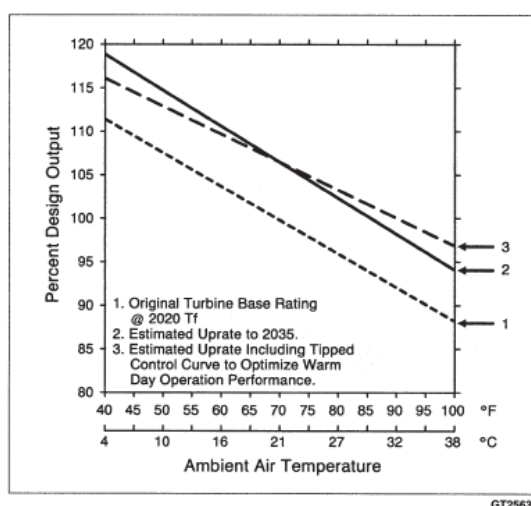


GER 3751-14

شکل ۲۶-۲. بلوک یک تکه‌ای مرحله اول در MS9171E [۲].

ارتقاء منحنی‌های کنترلی

در این ارتقاء شیب منحنی کنترلی دمای گاز خروجی تغییر می‌کند. این ارتقاء جهت جبران کاهش توان در دماهای بالا داده شده است. با تغییر در شیب منحنی کنترلی، سیستم در روزهای گرم در دماهای بالاتر کار می‌کند و بالعکس در روزهای سرد در دماهای پایین تر کار خواهد نمود تا عمر از دست داده شده در روزهای گرم سال در کارکرد در دمای پایین تر روزهای سرد جبران شود. این ارتقاء محدود به واحدهایی است که منحصراً در بار پایه کار می‌کنند و یا از آخرین فناوریهای پیشرفته بروزرسانی شده قطعات سود می‌برند.



شکل ۲۷-۲. ارتقاء توربین *MS7001E* به منحنی کنترلی اصلاح شده [۲].

ارتقاء ویژه توربینهای گازی 916E

این ارتقاءها شامل افزایش دمای ورودی بخش داغ از ۱۱۰۴ درجه به ۱۱۲۴ درجه سانتیگراد و همچنین ارتقاء پره مرحله ۳ به پره پیچ خورده است. با این دو ارتقاء توربین *PG9161E* به توربین *PG9171E* مشابه نیروگاههای مانند شهید رجائی خواهد شد. میزان افزایش توان به ترتیب برابر ۳.۵٪ و ۰.۳٪ است و میزان نرخ حرارتی نیز ۰.۲۷٪ و ۰.۲۸٪ افزایش خواهد داشت. با افزایش دمای ورودی بخشهای مختلف توربین و همچنین اتاق احتراق متاثر خواهند شد که در جدول زیر ارائه شده اند. در جدول، پیشنهادات دیگری از جمله ارتقاء آب بندها نیز ذکر شده است که بهبود حاصل از بکارگیری آنها، به مقادیر فوق افزوده خواهد شد.

- Improved Stage 1 Nozzle With Chordal Hinge and Improved Sidewall Cooling and Sealing Design
- Turbulated Cooled GTD111 Stage 1 Buckets
- Two-Piece Stage 1 Shroud Blocks
- Reduced Cooling GTD222 Stage 2 Nozzle
- GTD111 Stage 2 Buckets
- GTD222 Stage 3 Nozzle
- IN738 Stage 3 Buckets
- Extendor™ Combustion Upgrade
- TBC Coated Slot-Cooled Liners
- Nimonic Transition Pieces
- 9E Exhaust Frame and Blowers
- Recommended
- GTD450 Reduced Camber Inlet Guide Vanes
- Stage 2 & 3 Honeycomb Shroud Blocks
- High Pressure Packing Brush Seals
- 1100 F/593 C Exhaust Temperature

GT24886C

شکل ۲۸-۲. تغییرات مورد نیاز برای ارتقاء توربین با ورودی ۱۱۰۴ درجه به ۱۱۲۴ درجه سانتیگراد [۲].

افزایش توان و بهبود بازدهی با تزریق آب یا بخار

با تزریق بخار به تخلیه کمپرسور و یا تزریق آب یا بخار به محفظه احتراق می توان به افزایش قابل توجهی در توان توربین گازی و بهبود نرخ حرارتی به ویژه در فصول گرم سال دست یافت. تزریق بخار تا ۵٪ دبی جرمی هوای تخلیه کمپرسور می تواند افزایش ۱۸٪-۱۵ در توان خروجی و بهبودی حدود ۵٪ در نرخ حرارتی ایجاد نماید. طبق مدارک جی ئی [۴۵] تحقیقاتی نیز جهت امکان پذیر تزریق تا ۹٪ دبی جرمی هوای کمپرسور در جریان است. امکان تزریق آب یا بخار تا ۲٪ فلو هوای تخلیه کمپرسور به محفظه احتراق وجود دارد که افزایش توان ۵ الی ۶ درصدی ایجاد می کند. برای این ارتقاء لازم است بررسی دقیق و کاملی از قطعات و اجزاء درگیر توربین انجام شود تا اطمینان کامل از تطبیق آنها با افزایش توان مورد نظر صورت گیرد.

ارتقاء باکت مرحله اول توربین گازی فریم 9E (FT6J)

ارتقاء ارائه شده برای باکت مرحله اول شامل ارتقاء طراحی سیستم خنک کاری به آشفته ساز و پخ شدن لبه ورودی ایرفویل و همچنین ارتقاء مواد از اینکانل ۷۳۸ به GTD-111 است که مورد اخیر در توربینهای 9B مطرح است و در توربینهای 9E از پیش انجام شده است. اصلاح در سیستم خنک کاری موجب کاهش گرادیان حرارتی در لبه حمله و کاهش ترک خوردگی در آن می شود. پخ نمودن لبه حمله موجب بهبود مقاومت خستگی کم چرخه حرارتی پره می شود. این پره ها

دارای پوشش GT-33 IN Plus هستند که یک پوشش پیشرفته اسپری پلاسما تحت خلا امکرالی محسوب می‌شود و IN به معنی پوشش نفوذی آلومیناید در مسیر خنک کاری داخلی است. طبق مدارک جی ئی، ۴ بهبود و توسعه فناوری برای پره‌های مرحله اول وجود دارد:

الف- بهبود طراحی: در این بهبود، لبه تیز ورودی باکت پخ‌تر خواهد شد تا جریان خنک کاری بیشتری به لبه حمله برسد.

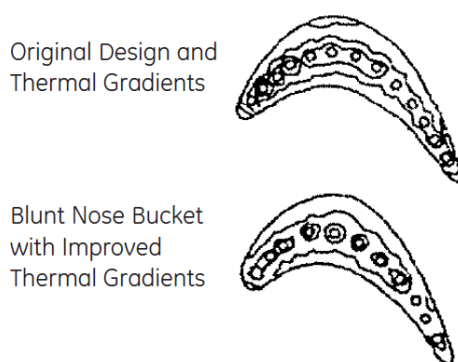


Figure 32. Sharp and blunt leading edge bucket designs.

شکل ۲۹-۲. طرح باکت با نوک تیز و پخ [۲].

ب- بهبود مواد: این بهبود که در سال ۱۹۸۷ اعمال شد ارتقاء مواد از اینکانل ۷۳۸ به GTD-111 است که استحکام بالاتر خزشی و خستگی کم چرخه را به دنبال دارد.

ج- بهبود پوشش: پوشش اصلی توربین MS9001E، پوشش نفوذی پلاتین-آلومیناید (PtAl) است که به منظوری محافظت در برابر خوردگی و اکسیداسیون روی پره ردیف اول به کار می‌رفت. در سال ۱۹۹۱ با افزوده شدن سوراخهای خنک کاری آشفته ساز، پوشش به GT-29 IN Plus تغییر یافت که یک پوشش اسپری تحت خلا پلاسما است. همچنین یک پوشش آلومیناید نیز روی بیرون باکت و داخل کانالهای خنک کاری اعمال می‌گردد. در سال ۱۹۹۷ پوشش به GT-33 IN Plus تغییر یافت که مقاومت در برابر ترک خوردگی را می‌افزود. در اینجا IN به معنی اعمال پوشش آلومیناید سطوح کانالهای خنک کاری است (و نه بیرون باکتها). این پوشش، استاندارد جی ئی برای پره‌ها مرحله اول است. با این حال پوشش GT-29 برای مواقعی که احتراق سوخت بسیار خوردنده صورت می‌گیرد به کار می‌رود.

د- **بهبود خنک‌کاری:** در این بهبود کانالهای خنک کاری پره بصورت دندانه‌ای^{۳۸} یا ریب ساخته می‌شوند که موجب آشفته شدن جریان و بهبود خنک‌کاری است.

ارتقاء پوشش باکت مرحله اول به DVC TBC: پوشش سد حرارتی TBC به منظور ارتقاء عمر و افزایش فواصل تعمیر نگهدار به کار می‌رود. پوشش DVC ضخامتی دو برابر پوشش قبلی TBC دارد و موجب گرادیان حرارتی یکنواخت‌تری می‌شود. توضیح آنکه، لایه عایق حرارتی یک لایه میانی است. لایه اولیه معمولاً ضد خوردگی و اکسیداسیون است که GT-33 و کلا امکرالی‌ها در این دسته هستند، پوشش بیرونی نیز که موجب مقاومت در برابر فرسایش است از نوع آلومیناید به کار می‌رود.

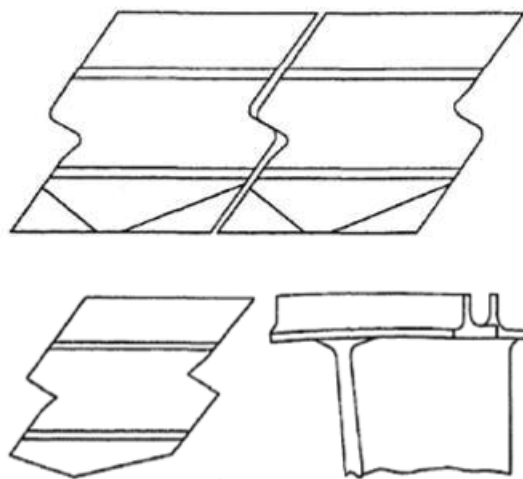
پوشش پره ردیف اول عمر قطعات مسیر داغ را افزایش می‌دهد و براساس تستهای صورت گرفته امکان دستیابی به فواصل زمانی بین بازرسی تا ۳۲۰۰۰ ساعت وجود دارد البته این زمان تابع پارامترهای دیگری همچون دمای احتراق، میزان کارکرد در بار پایه یا بار پیک، کیفیت سوخت، دمای هوای محیط و تعداد روشن خاموش شدن است.

ارتقاء باکت مرحله دوم (FS2F)

در این ارتقاء، **مواد** باکتهای توربینهای 9B از اینکانل ۷۳۸ به GTD-111 ارتقاء می‌یابد که البته برای توربینهای GE داخل کشور این ارتقاء از قبل وجود دارد. پره‌های جدید جی ئی مجهز به تیغ برنده در شراد نوک پره هستند تا شیار روی آب‌بند هانی کامب نصب شده روی بلاک شرادهای مرحله ۲ ایجاد نمایند در شرایطی که هیچ فلزی به باکت انتقال نمی‌یابد. این تیغه از سال ۱۹۹۶ روی باکتهای E نصب شده‌اند.

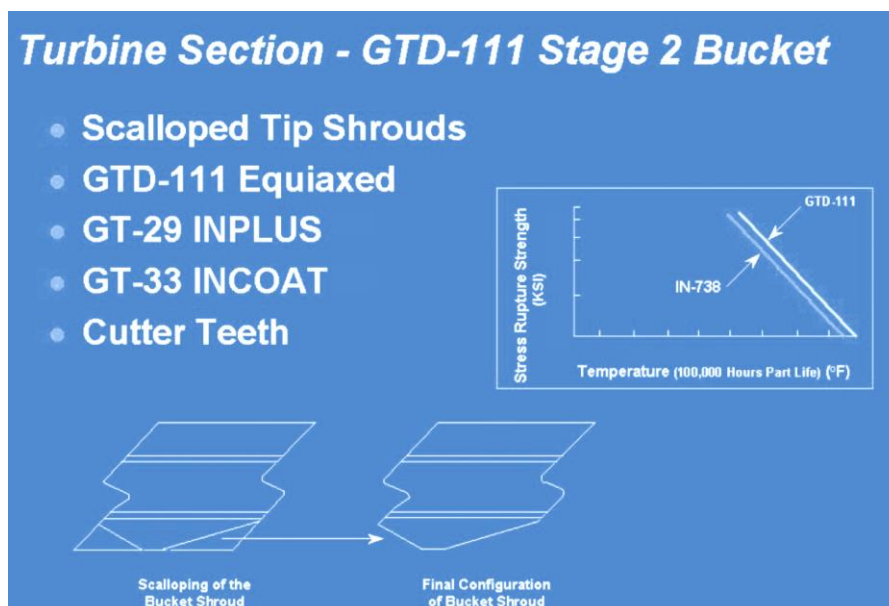
خنک‌کاری باکتهای مرحله ۲ توربینهای سری E نصب شده در کشور از نوع کانالهای هوایی است که به نظر نمی‌رسد جی ئی تغییری در آن داده باشد. در توربینهای 9B پره‌های مرحله ۲ فاقد خنک‌کاری است و با استفاده از این پره‌ها که دارای خنک‌کاری است لازم است اسپیسر بین مرحله ۱ و ۲ نیز به منظور امکان‌پذیر شدن عبور هوای خنک‌کاری کمپرسور تغییر یابد.

بهبود شراد نوک پره: در این بهبود لبه شراد بریده شده است (اسکالوپ شده) و در ناحیه بین دندان‌های آب بند نیز ضخیم تر شده است. همچنین زیر شراد سوراخ شده است. بریدن لبه شراد موجب کاهش ۲۵ درصدی سطح تنش و افزایش ۸۰ درصدی در عمر خزشی نسبت به طراحی اصلی شده است. در آخرین بهبود نیز از تیغه برنده روی شراد برای برش آب بند هانی کامب استفاده شده است که موجب کاهش لقی در شرایط کارکرد می‌شود. این باکته‌ها با شرادهای طرح سنتی نیز قابل استفاده هستند.



شکل ۳۰-۲. برش لبه‌های شراد (شکل بالا)؛ پیکره‌بندی نهایی شراد باکت (شکل پایین) [۲].

بهبود پوشش: با ارتقاء مواد به GTD-111، پوشش به GT-29 IN Plus تغییر می‌یابد. از سال ۱۹۹۷ نیز پوشش GT-33 IN Plus به عنوان پوشش استاندارد جی ئی بر روی پره‌های مرحله ۲ اعمال می‌شود. این پوشش شامل یک پوشش اسپری پلازما تحت خلاء GT-33 روی سطح بیرونی باکت و یک پوشش آلومیناید روی سطح داخلی کانالهای خنک‌کاری است.



شکل ۳۱-۲. بهبودهای باکت مرحله ۲ 9E [۲].

ارتقاء باکت مرحله سوم IN-738 (FS2K)

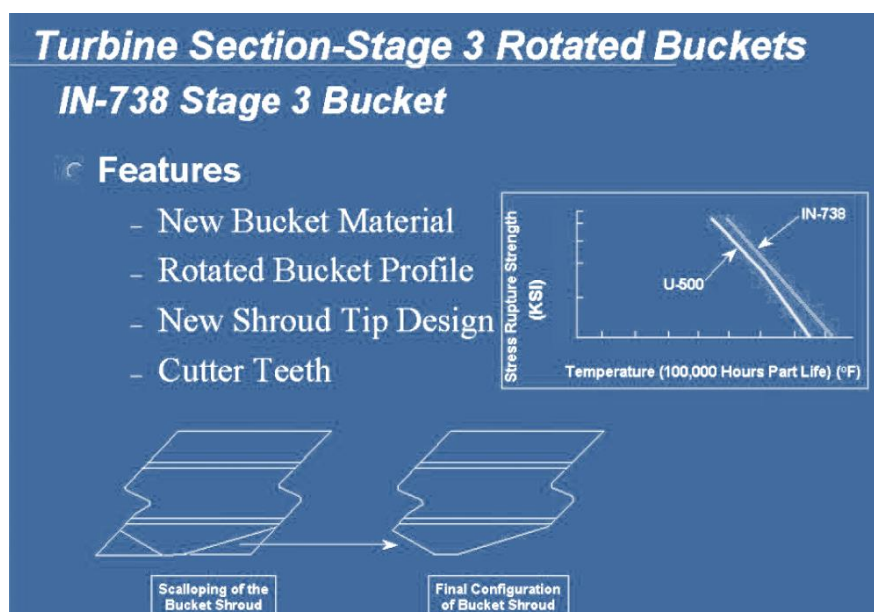
باکت مرحله ۳ چندین ارتقاء داشته است که البته بیشتر آنها در توربینهای داخل کشور وجود دارد یعنی باکت موجود مربوط به آخرین ارتقاءها با توجه به مدرک ۲۰۰۸ جی ئی است. از جمله ارتقاءهای قبلی این باکت می توان به بهبود عمر برای ایستادگی در برابر دماهای بالاتر رودی اشاره کرد.

بهبود طراحی: با معرفی توربین 9E (بعد از 9B) برای تطبیق با افزایش فلو صورت گرفته، این باکت بازطراحی شد. در سال ۱۹۹۱ به عنوان بخشی از ارتقاء مجدداً بازطراحی شد و لبه خروجی ایرفویل ضخیم تر شد. با توجه به اصلاحات شراد نوک باکت مرحله ۲، لبه حمله شراد نوک باکت مرحله ۳ نیز اسکالوپ شد، نوک شراد بین دندانه های آب بند ضخیم تر شد و سطح زیرین شراد سوارخکاری گردید. این تغییرات موجب افزایش عمر خزشی باکت گردید. همانند مرحله ۲، در اینجا نیز تیغه برنده به شراد باکت افزوده شد تا برش مورد نظر در آب بند هانی کامب مرحله ۳ را ایجاد کند.

بهبود پروسه ساخت: بیشتر به بهبود صورت گرفته در ساخت پره 9B مربوط است که طی آن یک مرحله عملیات سرد روی پره حذف می شود و کرنشهای پسماند و احتمال ترکهای خزشی برطرف می شود.

بهبود مواد: به تغییر جنس مواد از u-500 به IN-738 اشاره دارد که در سال ۱۹۹۲ صورت گرفت و توربینهای داخل

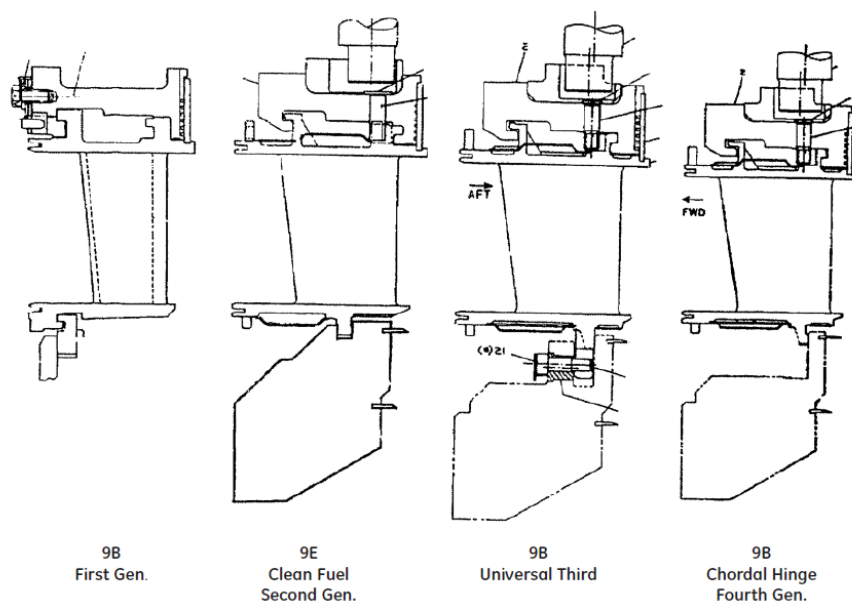
کشور از جنس اینکانل ۷۳۸ هستند.



شکل ۳۲-۲. بهبودهای باکت مرحله ۳ [۲].

ارتقاء نازل مرحله اول

نازله مرحله اول MS9001B و E چهار نسل دارد که هر یک بهبود سلف خود و با سگمنتهای چهار نازلی 9B شروع می‌شود. نسل دوم برای 9E طراحی شد که برای استفاده با سوخته‌های تمیزتر است. نسل سوم (نازلهای عمومی^{۳۹}) بیشتر از لحاظ کاربرد برای سوخته‌های گازی، تقطیری و زباله مورد توجه است. نسل چهارم که به نازل آویزان معروف است از فناوری موتورهای هوایی جی ئی همچون فناوری آب بند و خنک کاری مشتق شده است. مقایسه‌ای بین این فناوریها در شکل ۳۳-۲ ارائه شده است.

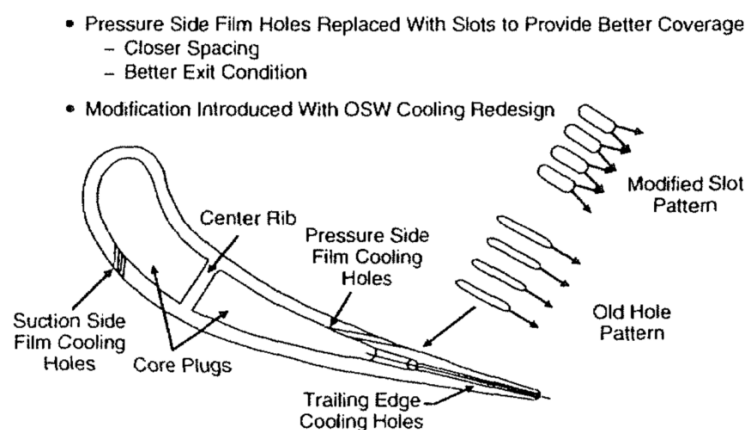


شکل ۳۳-۲. مقایسه نازل های 9B و 9E مرحله اول [۲].

از مزایای ارتقاء نازل مرحله اول می توان به افزایش عمر تا ۷۲۰۰۰ ساعت، کاهش نرخ حرارتی و امکان کارکرد در دماهی بالاتر تا ۲۰۸۴ درجه فارنهایت اشاره کرد. یکی از مهمترین بهبودهای صورت گرفته از ارتقاء باکت 9B به 9E می توان به کاهش تعداد نازلها از ۴۸ به ۳۶ عدد اشاره کرد. همچنین در 9B هر سگمنت شامل ۴ نازل است یعنی نازل های در دسته های ۴ عددی ریخته گری شده اند. در 9E هر سگمنت شامل ۲ نازل است و تعداد سگمنت برابر ۱۸ است. این تغییر در طراحی جهت رفع ترک خوردگی در فیلت دیواره وین صورت گرفت که ناشی از تنش حرارتی بالا در اثر گرادیان دمایی دیواره مشترک وینها روی میداد. همزمان با کاهش تعداد وینها در هر سگمنت، شکل ایرفویل نیز اصلاح شد و وینها کمی چرخیدند تا سطح گلویی را کاهش دهد که البته موجب افزایش نسبت فشار نیز می گشت.

ضخامت دیواره مکش ایرفویل نازل در مقطع پیچ تا ۱۳٪ افزایش یافت که میزان تنشهای آئرو دینامیکی را کاهش و در نتیجه عمر خزشی را افزایش می دهد. با افزودن یک ریب در مرکز داخلی وین، سطح تنشها مجدد کاهش یافت. نازل با سوخت عمومی (نسل سوم) در پاسخ به نیاز برای سوزاندن سوخته های پسماند به همراه سوخته های تمیز از روی ورژن 9E توسعه یافت. شکل دماغه ایرفویل گردتر (بالنت) شد و سیستم خنک کاری داخلی مجددا طراحی شد. سوراخ های خنک کاری سطح فشار با شیار جایگزین و به یکدیگر نزدیک تر شدند تا خنک کاری یکنواخت تری نتیجه شود. به لبه فرار

نیز خنک‌کاری افزوده شد. بهبود صورت گرفته در سیستم خنک‌کاری موجب کاهش ۵٪ دمای سطح فلز گردید و بدین ترتیب موجب کاهش ترک خوردگی، بالونینگ ایرفویل و قوس لبه فرار گردید.

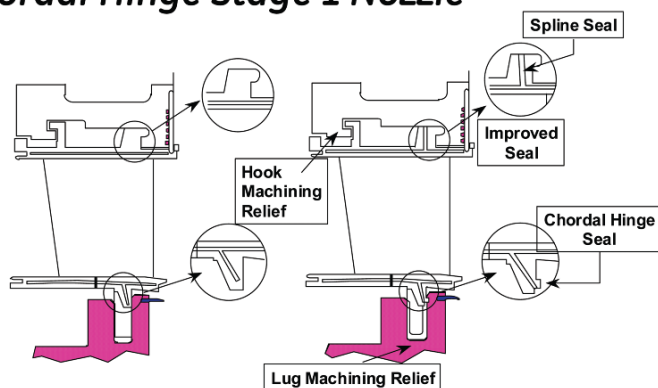


شکل ۳۴-۲. خنک‌کاری لایه‌ای سطح مکش ایرفویل نازل مرحله اول [۲].

نسل چهارم و کنونی نازل مرحله ۱ از نوع نازل لولایی وتری^{۴۰} است که در سال ۱۹۹۴ ارائه گردید. دو تغییر اساسی در طراحی نازل صورت گرفته است که تغییر اول جهت کاهش نشتی از بین سگمنتها است و دیگری کاهش نشتی بین نازل و رینگ نگهدارنده. لولای وتری از فناوری آب بندهای موتورهای هوایی جی ئی استفاده می‌کند که به صورت خطی صاف است و در شکل زیر نیز نشان داده شده است. لولای وتری موجب کاهش نشتی بین نازل و رینگ نگهدارنده می‌شود. نشتی بین سگمنتها با بهبود سیل‌های اسپیلاین دیواره‌های بین سگمنتها بهبود یافت.

^{۴۰} Chordal Hinge Nozzle

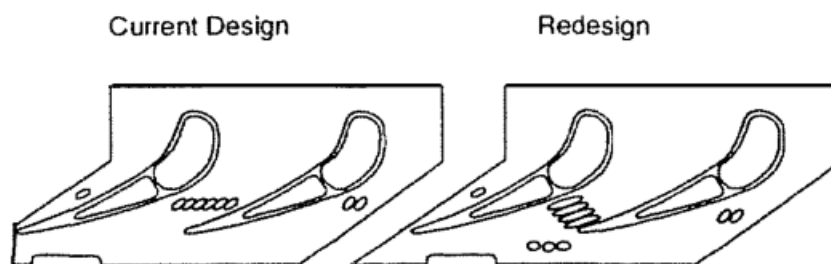
Turbine Section Chordal Hinge Stage 1 Nozzle



Improved Sidewall Cooling
Reduces Erosion and Oxidation

شکل ۳۵-۲. بهبود نازل مرحله اول با استفاده از آویز وتری به عنوان آب بند [۲].

تغییر اساسی دوم به بهبود خنک کاری دیواره کناری مربوط است. با تغییر موقعیت بعضی از سوراخهای خنک کاری و تغییر شکل تعدادی از سوراخهای خنک کاری وین به شیار که در شکل زیر نشان داده شده است میزان تاثیر خنک کاری از دید کلی بهبود یافت.



Film Cooling Relocated to Cover Distressed Area

شکل ۳۶-۲. بهبود خنک کاری بیرونی نازل مرحله اول 9E [۲].

مواد: نازل‌های مرحله اول از جنس FSX-414 است که آلیاژی پایه کبالت با مقاومت اکسیدشدگی، خوردگی داغ و خستگی حرارتی فوق‌العاده است و جوش‌پذیری و قابلیت ریخته‌گری خوبی نیز دارد. شکل ۳۷-۲ پیشنهاداتی برای ارتقاء نازل مرحله اول دارد که منجر به -0.25% تغییر در نرخ حرارتی 9E خواهد شد. خنک کاری پیشرفته دیواره کناری و

طراحی جدید آب‌بند دیواره کناری اجازه کارکرد در دماهای بالاتر احتراق با ثابت ماندن قابلیت اطمینان و عمر را می‌دهد. طراحی جدید دارای ویژگیهای زیر GE خواهد بود:

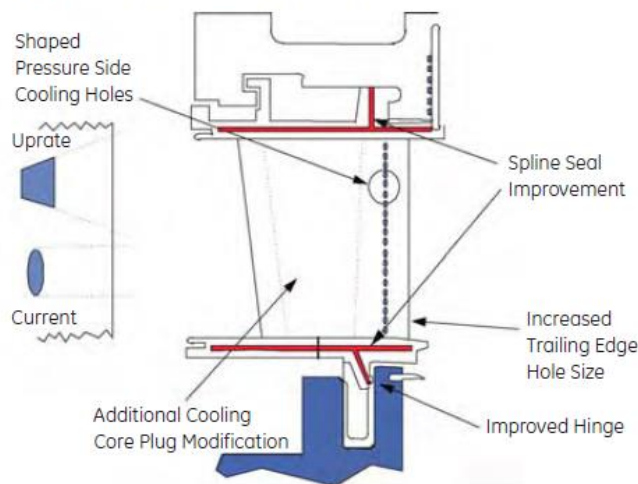
- بهبود آب بند اسپالین
- آلیاژ FSX-414
- پوشش سد حرارتی پیشرفته

Improved Cooling FSX-414 Stage 1 Nozzle

- New nozzle design made from the FSX-414 GE-proprietary cobalt-based alloy
- Available uncoated, with standard or enhanced thermal barrier coating

Offers:

- Advanced sidewall cooling
- A new sidewall sealing design, increased efficiency
- Operation at higher firing temperatures while maintaining component reliability and life cycle



شکل ۳۷-۲. بهبودهای صورت گرفته در نازل مرحله اول واحدهای 9B و 9E [۲].

بهبود در آب‌بند و خنک‌کاری دیواره کناری: طراحی مختص جی ئی برای بهبود آب‌بند اسپالین همراه با سوراخهای خنک‌کاری نفوذی، بهبود خنک‌کاری جهت کارکرد در دماهای افزایش یافته تا ۲۰۸۴ درجه را می‌دهد.

افزایش قابلیت در دماهای بالا: خواص فوق العاده FSX-414 در دماهای بالا در مقایسه با سایر آلیاژهای پایه نیکل، امکان کارکرد تا دمای ۲۰۸۴ درجه فارنهایت را به آن می‌دهد که ۱۵ درجه سانتیگراد بیش از دمای حال حاضر توربینهای فریم 9E موجود در داخل کشور (۱۱۲۵ درجه سانتیگراد) است.

پوشش: بسته به نیاز کاری، سه انتخاب برای پوشش نازل مرحله اول وجود دارد:

- **بدون پوشش:** نازل مرحله اول بدون پوشش است مگر آنکه تقاضا شود. مخصوصاً برای کارکرد با سوخت سنگین پوشش داده نمی‌شود.
 - **با پوشش سد حرارتی TBC:** استحکام در برابر خستگی حرارتی را افزایش می‌دهد که به صورت افزایش عمر و بهبود فواصل زمانی نگهداری دیده خواهد شد.
 - **با پوشش پیشرفته ETBC:** پوششی صاف و با مقاومت خوردگی بالا. سطحی صاف و پرداخت شده برای نازل مرحله اول ایجاد می‌کند. بهبود عملکرد نسبت به TBC دارد و طی زمان نیز عملکرد پایدارتر و مقاوم‌تری از خود نشان می‌دهد. آلودگی‌ها نمی‌توانند به سطح صاف آن بچسبند (شکل ۳۸-۲).
پوشش پیشرفته سد حرارتی eTBC سیستم پوشش دهی پیشرفته سه لایه‌ای است شامل:
 - یک پوشش زیرین (باند کوت)
 - پوشش میانی سد حرارتی متخلخل
 - لایه بیرونی صاف
- این پوشش اصطکاک و سایش را کاهش می‌دهد که موجب بهبود عملکرد می‌شود. مزایای زیر در ارتقاء به پوشش

eTBC وجود دارد:

- ۳ برابر مقاومت بیشتر از پوشش متخلخل TBC در برابر فرسایش
 - سطحی ۵ برابر صاف‌تر از TBC استاندارد
 - جذب کمتر رسوبهای سطحی
 - پایداری بیشتر صافی سطح و در نتیجه عملکرد پایدارتر
 - بهبود نرخ حرارتی در مقایسه با TBC
 - کاهش دمای فلز باعث افزایش عمر قطعات، افزایش دوام و افزایش فواصل نگهداری می‌شود
- بهبود در پرداخت سطح موجب کاهش انتقال حرارت می‌شود بنابراین دوام قطعه افزایش می‌یابد، مقاومت به سایش بهبود می‌یابد (بهبود ۳ برابری طی تستهای آزمایشگاهی) و رسوب گذاری سطحی کاهش می‌یابد. ETBC برای استفاده با سوختهای سنگین یا کاربردهای IGCC (سیکل ترکیبی زغال گازی شده) مناسب نیست چرا که احتمال ترکیب شیمیایی محصولات احتراق با ETBC و از دست دادن مزایای گفته شده وجود دارد.

Enhanced Thermal Barrier Coating

eTBC, an advanced three layer coating system consisting of:

- a bond coat
- a porous class TBC
- a top layer of smooth coat

The coating system can be applied to internal surface of the liner or pressure face of S1N.

It reduces friction and erosion which yields performance.

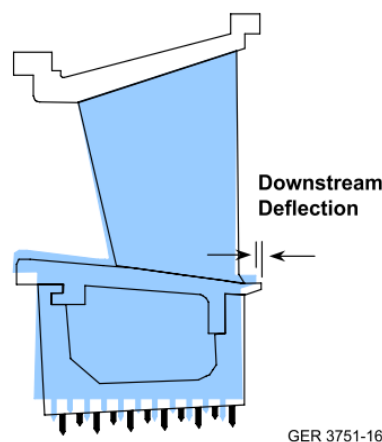


شکل ۳۸-۲. نازل مرحله اول به همراه پوشش پیشرفته [۲].

ارتقاء نازل مرحله دوم به ماده GTD-222+ (FS1P)

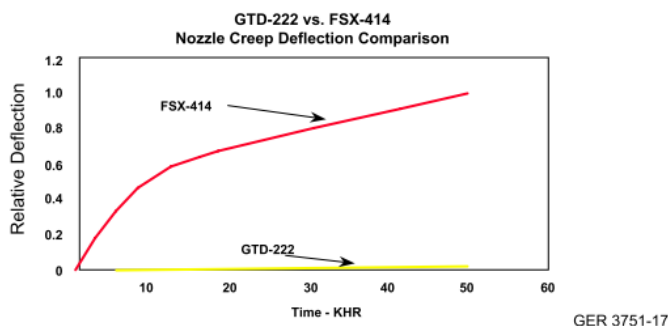
به منظور پاسخ به نیاز به آلیاژی مقاوم به خزش در مراحل دوم و سوم برای طرح‌هایی با شعله‌های دما بالاتر در MS6/7/9 از آلیاژ با نیکل بالای GTD-222 استفاده شد. این عمل تا حدی به بهبود مقاومت خزشی کمک کرد که GE توانست مقدار هوای خنک‌کن را برای نازل مرحله دوم کاهش دهد. شکل ۳۹-۲، یک نمونه رایج تغییر شکل خزشی محیطی در نازل مسیر گاز داغ نشان می‌دهد. شکل ۴۰-۲ مقایسه تغییر شکل ناشی از خزش را در ماده قدیمی تر FSX414 و ماده جدید GDT222 را نشان می‌دهد. در سال ۱۹۹۱ جنس نازل مرحله دوم از FSX-414 به GTD-222 تغییر یافت که بهبود ۲۰۰ درجه فارنهایت (۹۳ درجه سانتیگراد) در استحکام خزشی و افزایش ۴۰٪ در استحکام کششی در دماهای کاری را نتیجه می‌دهد. پوشش آلومیناید نیز برای محافظت در برابر اکسیدشدگی دما بالا به آن اضافه گردید. در شکل ۴۱-۲ بهبود عملکرد واحدهای MS6/7/9 نشان داده شده است.

- Improved Creep Resistance
- Improved Nozzle Vane Cooling
 - Redesigned Core Plug
- Improved Performance
 - Reduced Cooling Air Flow



شکل ۳۹-۲ خزش نازل مرحله دوم از جنس GTD 222 [۴۵].

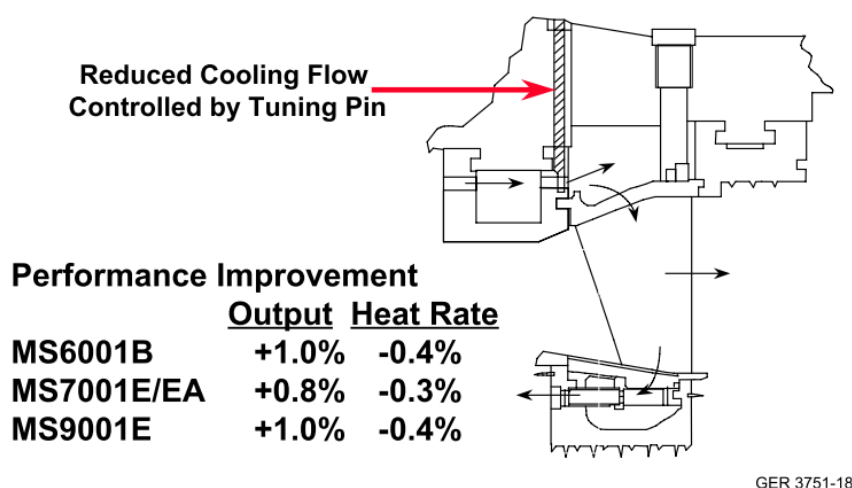
- Creep Resistant GTD-222 Material
- Aluminide Coating on Stage 2
 - Increased High Temperature Oxidation Resistance



شکل ۴۰-۲ مقایسه تغییر شکل خزشی در نازل [۴۵].

با ارتقاء ماده نازل مرحله دوم به GTD-222 نیاز به دبی هوای خنک کاری کمتری به واسطه خواص بهتر خزشی دما بالای این ماده است. کاهش فلو خنک کاری با استفاده از پین تنظیمی بلندی صورت می گیرد که در کانال انتقال هوای خنک کاری از شراد مرحله اول به مرحله دوم قرار داده می شود. سوراخهای خنک کاری سمت فشار نازل به منظور توزیع بهتر هوای خنک کاری طراحی مجدد گردید و اندازه سوراخها کوچکتر گردید. تجربه جی ئی نشان داد که دمای ناحیه فضای بین چرخها به اندازه قابل توجهی خنک تر از حد طراحی است و میزان فلو خنک کاری برای این ناحیه نیز کاهش یافت که موجب افزایش توان بدون کاهش عمر قطعات می گردد.

از دیگر ارتقاءهای مربوط به نازل مرحله ۲، استفاده از آب بند برسی بین دیافراگم و روتور است که جداگانه تشریح شده است (FS2Z).



شکل ۴۱-۲ بهبود عملکرد نازل مرحله دوم *GDT* [۴۵].

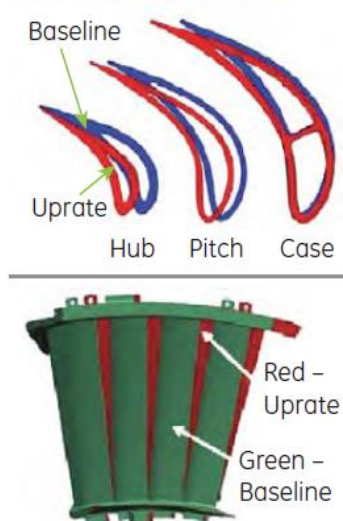
ارتقاء نازل مرحله سوم (FS1R)

ارتقاء ماده و طراحی سازه‌ای: در نازل مرحله ۳ نیز همانند نازل مرحله ۲ جهت کاهش خزش مماسی سه تغییر در طراحی صورت گرفت که شامل افزایش طول وتر، استفاده از ریب داخل نازل و در نهایت تغییر در ماده است. مورد اول فقط روی ورژن 9B اعمال می‌شود. ورژن 9E از همان ابتدا این افزایش طول وتر که موجب کاهش کلی در تنش ایرفویل است را دارا است. دومی ایجاد ریب یا استرات در فضای داخلی نازل همانند نازل مرحله اول است که پایداری اضافی ایجاد می‌کند و موجب افزایش استحکام در برابر کمانش می‌شود. در نهایت در سال ۱۹۹۲ جنس از FSX-414 به GTD-222+ تغییر یافت و البته همانند مرحله ۲ در اینجا نیاز به پوشش آلومیناید نیست چرا که دمای فلز پایین‌تر است. همچنین این مرحله خنک‌کاری هوایی ندارد بنابراین تغییری در عملکرد نیز ایجاد نمی‌شود در حالیکه که در مرحله ۲ با تغییر جنس نیاز به خنک‌کاری کمتری بود و بهبود قابل توجهی در عملکرد صورت گرفت.

ارتقاء آئرو دینامیک نازل مرحله ۳ به آئرو پیشرفته: به منظور بهبود خروجی و کاهش نرخ حرارتی، آئرو نازل مرحله ۳ با استفاده از ایرفویل‌های با آئرو دینامیک بهبود یافته ارتقاء می‌یابد. این بهبود در طراحی چنانچه با آئرو دینامیک

پیشرفته بالکت مرحله ۳ ترکیب شود مزیت مضاعفی در عملکرد ایجاد خواهد کرد. ارتقاء آئرو شامل بخشهای نازل و دیافراگم بعلاوه سخت افزارهای مورد نیاز خواهد بود.

New Stage 3 Nozzle Design Provides Significant Efficiency Improvement



New Aerodynamic Nozzle Configuration

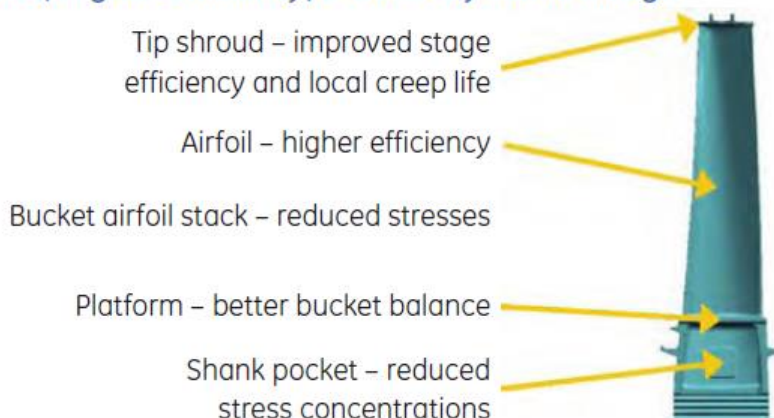
- Improves output and heat rate
- Significant reduction in hub mach #
- Improved angle of attack distribution exiting nozzle

View Looking Upstream

- New slash face angles, nozzle seals, core pad angles and thermocouple tubing accommodate new design

شکل ۴۲-۲. آئرو پیشرفته نازل مرحله ۳ [۲].

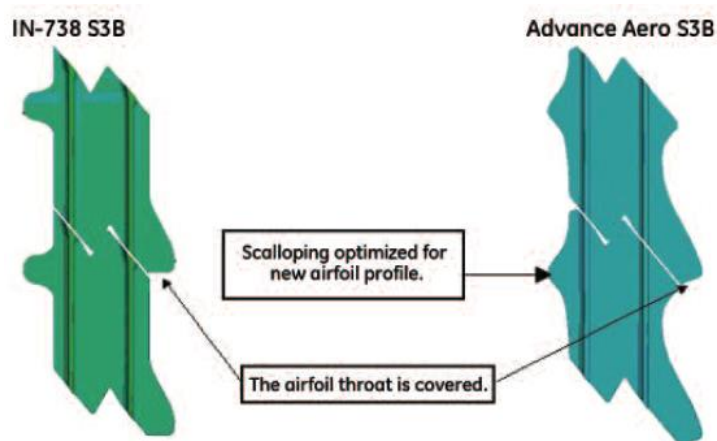
Stage 3 Bucket Changes Result from New, Higher-Efficiency, 3-D Aerodynamic Design



شکل ۴۳-۲. طراحی جدید باکت مرحله ۳ فریم 9E [۲].

در ایرفویل جدید، دیواره‌های جانبی داخلی و بیرونی اصلاح شده‌اند ولی پروفیل ایرفویل و ضخامت دیواره یکسان هستند. تعریف مسیر جریان همان است و طرح جدید نازل اجازه استفاده از فیکسچرهای ماشینکاری قبلی مسیر گاز داغ را می‌دهد. کاهشی در فواصل تعمیر و نگهداری ایجاد نمی‌گردد. از نظر ابعاد و اندازه نیز، ایرفویل جدید با نازل GTD-222+ موجود قابل تعویض است. البته نازل مرحله ۳ جدید نیز از جنس GTD-222+ است.

ارتقاء آئرو دینامیک باکت مرحله ۳ به آئرو پیشرفته: باکت مرحله ۳ طراحی مجدد شده است و ایرفویل آن بهبود یافته است (شکل ۴۳-۲) و چنانچه با نازل با آئرو پیشرفته به کار رود مزایای عملکردی مضاعفی ایجاد خواهد کرد. جنس باکت مرحله ۳ از آلیاژ پایه نیکل IN-738 است و شراد آن مجهز به تیغه برش برای ایجاد شیار روی آببند هانی کامب است. شرح مفصل‌تر در بخش مربوط به ارتقاء باکت مرحله ۳ (FS2K) آمده است.



شکل ۴۴-۲. باکت مرحله ۳ با آئرو پیشرفته [۲].

ارتقاء آئرو نازل و باکت مرحله ۳ منجر به بهبود ۱۰٪+ در توان خروجی و ۱۰٪- در هیت ریت می‌گردد. همچنین کاهش دما و انرژی در خروجی اتفاق می‌افتد که تاثیر ارتقاء بر کل سیکل ترکیبی لازم است محاسبه گردد. جدول ۲۷-۲ اثرات ارتقاء در شرایط مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۲۷-۲. مزیت عملکردی وقتی ارتقاء باکت و نازل مرحله ۳ اعمال می‌گردد [۲].

Exhaust Temp, delta	Exhaust Energy	S/C Heat Rate	S/C Output	Part
-6°F	-0.8%	-0.7%	+0.7%	New S3B/New S3N, Hot Day, 100°F/38°C, Guarantee Pt
-8°F	1.0%	-1.0%	+1.0%	New S3B/New S3N, ISO Day, 59°F/15°C, Reference Only
-9°F	-1.1%	-1.2%	+1.2%	New S3B/New S3N, Cold Day, 0°F/-18°C, Reference Only

جایگزینی سیل‌های ضعیف

در واحدهای MS9001E بازرسی و جایگزینی آب بندهای Al-bronze ریسک نشتی شدید از آب بندها را کاهش می‌دهد. برای تمام واحدهایی که قبل از سال ۱۹۹۶ ارسال شده اند توصیه شده است که آب بندهای بین اسپیسر مرحله ۱ تا ۲ برای وجود دندان آب بند از B50A422A Al-Bronze بازرسی گردد. ماده جدید فولاد استیل 410-SS با عمر بیشتر است. این جایگزینی برای کاهش نشتی است. این نشتی پتانسیل کاهش جریان خنک کاری باکتهای مرحله ۲ را دارد که می‌تواند افزایش خزش را به همراه داشته باشد. این معضل به شراد نوک باکت مرحله ۲ نیز می‌تواند گسترش یابد و خیز کرنشی ایجاد کند و قفل شدگی شرادها را ضعیف نماید که آن نیز می‌تواند موجب ول شدن باکت و خروج اجباری گردد.

ارتقاء فریم اگزاست

فریم اگزاست شامل دیفیوزر داخلی و دیفیوزر خارجی و دیفیوزر پشتی و مجموعه مونتاژی وینهای گردان است. پکیج اصلاح و ارتقاء شامل موارد زیر است: مدار هوای خنک کاری بهبود یافته، افزایش ظرفیت بلور فریم اگزاست، برورسانی کاورها و بستهای مفاصل افقی، برورسانی آب بندهای منعطف جلویی، اسکالوپهای تنش‌زدا، وینهای گردان پیشرفته، ساپورت دیفیوزر بهبود یافته و بهبود در تنش‌زدایی بعد دیفیوزر. این اصلاحات منجر به بهبود در خنک کاری اگزاست شده و هزینه های تعمیر را کاهش می دهد



شکل ۴۵-۲. فریم اگزاست بهسازی شده [۴۵].

ارتقاء پلنوم اگزاست پیشرفته

جی ئی، قطعه پلنوم اگزاست را بازسازی و طراحی مجدد نمود. با گذشت زمان، مشکلاتی همچون داغ شدن فلنجها و مشکلات پوسته بیرونی در پلنوم ایجاد می‌شود. تغییر شکلها و جابجائیهای بزرگ حرارتی منجر به آسیب به کابل‌های کنترلی می‌شود و توربولانسهای شدید که منجر به آسیبهای لاینر می‌گردد.

پلنوم بازطراحی شده شامل طبقه لاینر قابل تخلیه با پورتهای جکینگ؛ درب با آب بندی دوبل؛ فلنج و پوسته خنک؛ طراحی و قابل نصب با روتور توربین و دیفیوزر پشتی در محل سرویس (جدا نمی‌شود) و طراحی لاینر داخلی به صورت شناور است.



شکل ۴۶-۲. پلنوم اگزاست بهبود یافته [۴۵].

۲-۳-۳-۲ ارتقاء *Advanced Gas Path (AGP)*

همانطور که بیان شد، تمرکز اصلی در ارتقای مسیر گاز پیشرفته، بر روی آببندها و پره‌ها در توربین قرار دارد و بعنوان نمونه خلاصه مزایا و فناوری‌های استفاده شده در بسته ارتقا پیشرفته مسیر گاز داغ (AGP) برای 9E در شکل ۹-۱ نشان داده شده است. مبنای بهبود عملکرد نسبت به توربین ۱۲۸ مگاواتی است. توربین 9E.03 که بر مبنای ارتقاء AGP عرضه می‌شود دارای بازدهی ۳۴.۶٪ و توان ۱۳۲ مگاوات است. این توربین در حالت سیکل ترکیبی بخاری به بازدهی ۵۳.۳٪ و ۵۳.۷٪ در آرایشهای به ترتیب ۱*۱ و ۲*۱ دست می‌یابد [۳۴].

AGP technology	✓ B/E, FA/B, 6C and H experience ✓ Cooling and sealing improvements ✓ Improved clearances ✓ Advanced materials ✓ Balanced work split	✓ - 1.5% CC HR (-1.7% SC HR) ✓ +3.8% CC MW (+3.6% SC MW) ✓ Higher exhaust energy ✓ Improved availability.. 32k ✓ Improved life.. 96k ✓ Fuels.. NG, LF, HFO
----------------	--	---

* 109E estimate at ISO, NG

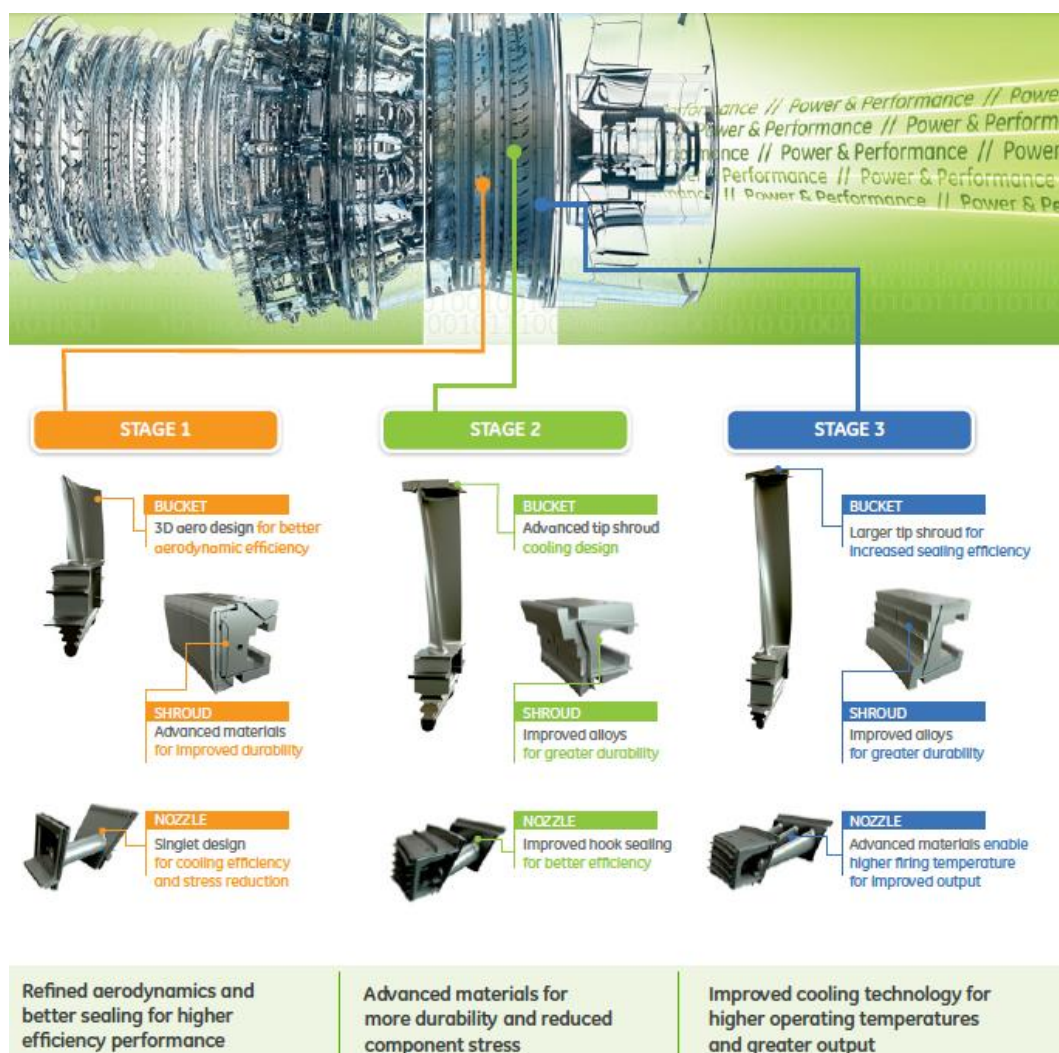
شکل ۴۷-۲ خلاصه مزایا و فناوری‌های استفاده شده در بسته ارتقا پیشرفته مسیر گاز داغ برای 9E Frame [6]. در شکل ۱۰-۱ و شکل ۱۱-۱، جزئیات ارتقا در اجزای متفاوت توربین در ارتقای پیشرفته مسیر گاز نشان داده شده است. همانطور که مشخص است در شراد سگمنت‌های ردیف اول، پوشش‌های فناشونده^{۴۱} ارتقا یافته و ارتقای مواد و در ردیف دوم و سوم، از مواد پیشرفته و از آببند لانه زنبوری برای کاهش لقی و نشتی و نهایتاً افزایش کارایی استفاده می‌شود. در پره ردیف اول، روش‌های خنک‌کاری پیشرفته، آببندی در ریشه^{۴۲} و بهبود مواد و در پره ردیف دوم، روش‌های خنک‌کاری، آببندی در ریشه و طراحی شراد ارتقا می‌یابد و در پره سوم طراحی سه‌بعدی و ارتقای طراحی شراد انجام می‌شود. در وین اول با تغییر مواد، خنک‌کاری پیشرفته و ارتقای آببندها (آببند پارچه‌ای^{۴۳})، در وین دوم با خنک‌کاری پیشرفته، استفاده از آببندهای برسی و پارچه‌ای و ارتقای ماده به GTD-262 و در وین سوم نیز با طراحی سه‌بعدی، کارایی ارتقا

^{۴۱} Abradable

^{۴۲} Dovetail

^{۴۳} Cloth seal

پیدا می‌کند. همانطور که ذکر شد، معمولاً همراه با این ارتقاها، ارتقای سیستم کنترلی و همچنین برخی از مراحل کمپرسور انجام می‌گیرد. در شکل ۱۲-۱، تصاویر بوروسکوپ از یک توربین پس از چهار و دوازده هزار ساعت از ارتقای پیشرفته مسیر گاز نشان داده است، که اجزای توربین در وضعیت مناسبی قرار دارند.



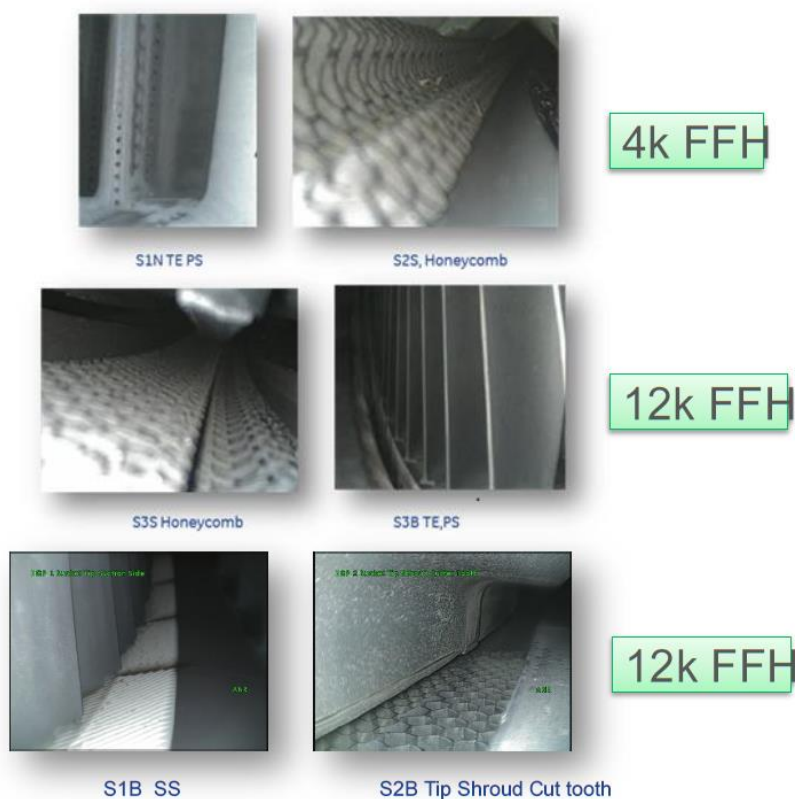
شکل ۴۸-۲ جزئیات ارتقای در مراحل توربین در ارتقای پیشرفته مسیر گاز [۶].

ارتقاءهای بررسی شده در بخش قبل نشان می‌دهند که در ارتقاء به مسیر گاز پیشرفته که همراه با افزایش دمای ۳۲ درجه فارنهایت در دمای هوای ورودی است ارتقاء مواد در نازل مرحله ۲، شراد بلاک مراحل ۱ و ۳ و نازل مرحله ۳ می‌باشد. جنس نازل مرحله ۲ به GTD-262 ارتقاء یافته است که موجب کاهش میزان خنک کاری و بهبود عمر خواهد شد. ارتقاءهای خنک کاری شامل آشفته ساز جریان در ارتقاءهای قبلی ارائه گردید که برای باکت مرحله ۲ در ارتقاء به

مسیر گاز پیشرفته نیز ارتقاء به آشفته ساز جریان صورت خواهد گرفت. آببندی ریشه ارتقاء متفاوتی است که در این ورژن در ریشه باکتهای مراحل ۱ و ۲ اعمال می‌شود. سایر ارتقاءها مشابه ارتقاءهای قبلی است.

Stage	Part	Improvement	Benefit
1 st	Nozzle	Improved sealing Advanced cooling	Clearances Durability/Perf
	Bucket	Turbulators Dovetail sealing	Durability/Perf Clearances
	Shroud	Abradable shroud	Clearances
2 nd	Nozzle	Advanced cooling GTD*262 Alloy	Durability and performance
	Bucket	Advanced Cooling Dovetail sealing	Durability/Perf Clearances
	Shroud	Abradable honeycomb	Clearances
3 rd	Nozzle	3D aero	Performance
	Bucket	3D aero	Performance
	Shroud	Abradable honeycomb	Clearances

شکل ۴۹-۲ تغییر و مزایای ارتقا در اجزای متفاوت توربین در ارتقای پیشرفته مسیر گاز [۶].



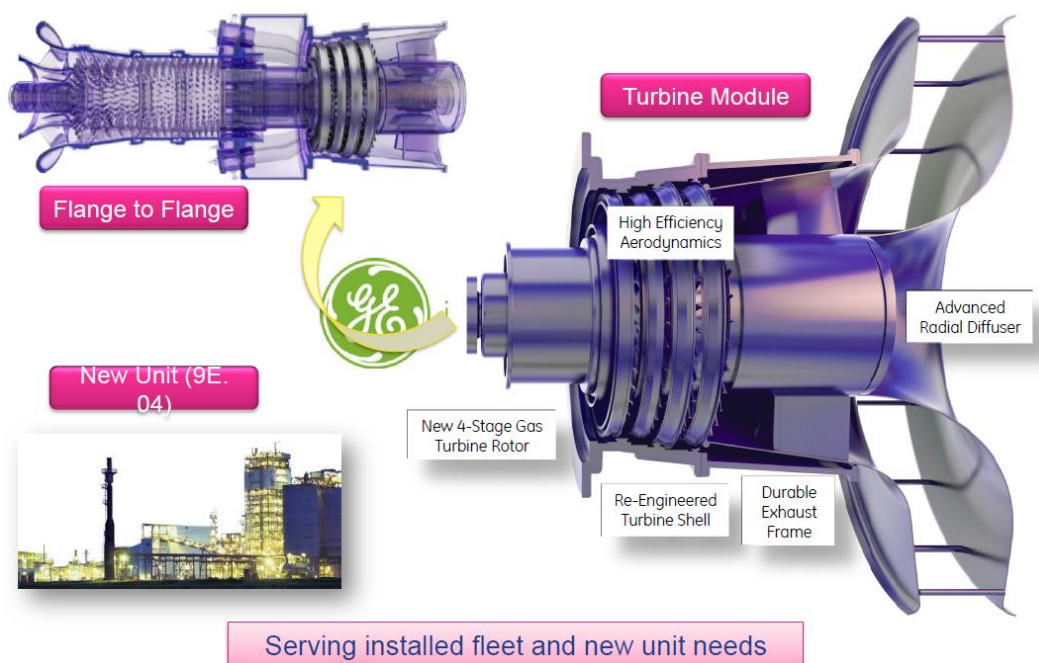
شکل ۵۰-۲ تصاویر بوروسکوپ از یک توربین پس از چهار و دوازده هزار ساعت از ارتقای پیشرفته مسیر گاز [۶].

۴-۳-۲- ارتقاء 9EMax

ارتقای 9EMax اولین بار در سال ۲۰۱۷ انجام شد و با افزایش یک مرحله به توربین، بدون کاهش قابلیت اطمینان، کارایی بالا رفته است. با استفاده از این توربین، نسبت به مدل پایه، میزان مصرف سوخت پنج میلیون دلار کاهش و همچنین درآمد اضافی شش میلیون دلار ایجاد می‌شود (براساس محاسبات کشور آمریکا). با استفاده از آن توان توربین گاز به ۱۴۳ مگاوات افزایش پیدا می‌کند (۱۲.۵٪ افزایش) و سیکل ترکیبی نیز توانش به ۲۱۰ مگاوات (۱۱.۷٪ افزایش) می‌رسد. دمای هوای ورودی به ۱۱۶۰ درجه خواهد رسید که ۳۶ درجه نسبت به توربینهای معمول 9E افزایش دارد و موجب بهبود عملکرد خواهد شد. با کاهش مصرف سوخت، کارائی در سیکل ساده و ترکیبی به ۳۷ و ۵۳/۵ درصد می‌رسد و محدوده زمانی بازدید و تعداد استارت مجاز به ۳۲۰۰۰ ساعت و ۹۰۰ مرتبه می‌رسد (شکل ۱۳-۱). برای این ارتقاء، علاوه بر مراحل توربین که شامل پره‌ها، وین‌ها و شراد سگمنت‌ها است پوسته، روتور و دیفیوزر نیز باید ارتقا یابند (شکل ۱۴-۱). در بسیاری از ارتقا‌های توربین، باید تغییراتی در محفظه احتراق و کمپرسور صورت گیرد. بعنوان نمونه، برای افزایش حاشیه پایداری وین‌های انتهایی کمپرسور (S17, EGV1&2) به دلیل افزایش دبی و سرعت جریان و ... آنها را شراد دار می‌کنند [۲].

	9E PIP	9EMax
Simple Cycle		
Output (MW)	128	144
Efficiency	34.2%	36.9%
Heat Rate (BTU/kWh)	9972	9250
Firing Temp (°F)	2055	+64
Exhaust Flow (pps)	911	911
Exhaust Temp (°F)	1016	1009
Combined Cycle (109E)		
Output (MW)	188	210
Efficiency	50.3%	53.6%
Heat Rate (BTU/kWh)	6786	6370
Delta Values		
Δ SC Output (MW)	baseline	12.50%
Δ SC Heat Rate		-7.24%
Δ CC Output (MW)		11.70%
Δ CC Heat Rate		-6.03%

شکل ۵۱-۲ میزان تغییر پارامترهای ترمودینامیکی تحت ارتقای 9Emax [6]



شکل ۵۲-۲ اجزای تحت ارتقای 9Emax [6]

جمع‌بندی ارتقاءهای توربین گازی فریم ۹ در جدول ۲۸-۲ ارائه شده است. اصلاحات مورد نیاز جهت انجام ارتقاءها در جدول ۲۹-۲ نشان داده شده است.

جدول ۲۸-۲. مزایای ارتقاءها و مدرنسازی توربینهای 9E

ارترقاء	توان توربین گازی	(مطلق بازدهی) درصد نرخ حرارتی	سایر مزایا
ارتقاء آب بندها	+2.84 MW	-1.6% (+0.55)	-
افزایش توان با تزریق بخار آب به تخلیه کمپرسور	+15%(18.5MW)	-5.0% (+1.7)	-
ارتقاء مراحل ۱ و ۲	1.11-2.33 MW	-1.1% (+0.37)	بهبود عمر از ۷۲۰۰۰ ساعت به ۹۶۰۰۰ ساعت
ارتقاء آنرو پیشرفته ۳	+1.0%(1.23MW)	-1.0%(+0.34)	-
افزایش توان در ماههای گرم	-	-	افزایش توان در ماههای گرم و جبران عمر در ماههای سرد
ارتقاء فریم اگزاست و پلنوم	-	-	بهبودهای طراحی سازه، خنک کاری و عمر
ارتقاء اساسی توربین (AGP)	+8.6 MW	-1.7%* (+0.6)	بهبود فاصله HGPI به ۳۲۰۰۰ ساعت و حذف CI
ارتقاء اساسی توربین (9Emax)	+20.6 MW	-10 %*	-
ارتقاء اساسی توربین (NGT150-1)	+9.55 MW	-9.6% (+1.14)	-

جدول ۲۹-۲. اصلاحات و ملاحظات مورد نیاز ارتقاءهای $PG9171E - 2055^{\circ}F$

ارتقاء	اصلاحات مورد نیاز
ارتقاء آب بندها	ارتقاء آب بند هانی کامپ ارتقاء شراد پره ها به تیغه برنده اصلاح و افزودن هانی کامپ به بلاک شراد
	ارتقاء آب بند بررسی اصلاح دیافراگم برای افزودن آب بند بررسی اصلاح در فلو خنک کاری ورودی به پوسته وین ۲ با پین سوراخکاری پشت دیافراگم برای خروج هوای خنک کاری
	آب بند سایش پذیر پوشش دهی داخل شراد بلاک با ماده سایش پذیر
افزایش توان در ماههای گرم	ارتقاء منحنی‌های کنترلی برای تولید توان اضافی در روزهای گرم اصلاح در سیستم کنترلی اصلاح در سیستم تعیین ساعات معادل کارکرد
افزایش توان با تزریق بخار	افزایش توان و بهبود بازدهی با تزریق آب یا بخار برای تولید توان اضافی در روزهای گرم اصلاح در پوسته تخلیه کمپرسور بویلر کمکی برای تولید بخار آب هیتر برای تامین حرارت بویلر یا مشتق از بویلر بازیاب سیستم لوله کشی به دور تخلیه کمپرسور سیستم کنترلی مربوط به تزریق آب و افزودن آن به سیستم کنترلی توربین
ارتقاء مراحل ۱ و ۲	ارتقاء نازل مرحله ۱ اصلاح به سگمنتهای ۲ پره‌ای (در صورتی که اعمال نشده باشد) نصب لولای وتری با آب‌بندی بهینه دیواره کناری اصلاح در خنک‌کاری دیوار کناری اصلاح و بهبود سیل‌های اسپیلاین بین سگمنتهای اعمال پوشش سد حرارتی پیشرفته eTBC- امکان کارکرد تا دمای ۱۱۴۰ درجه سانتیگراد
	ارتقاء باکت مرحله ۱ اصلاح طراحی پره و ارتقاء آئرو دینامیک پروفیل پره به بلانت تغییر طراحی خنک‌کاری و ارتقاء به خنک‌کاری ریب‌دار (آشفته ساز) ارتقاء پوشش باند کوت به GT-33 IN Plus ارتقاء پوشش میانی به DVC TBC اعمال پوشش آلومیناید به بیرونی
	ارتقاء شراد بلاک مرحله ۱ تعویض شراد بلاک دندان‌های به مسطح با شیارهایی برای آب بند پارچه ای جایگزینی شراد ۲ تکه با ۱ تکه جایگزینی در صورت استفاده از نازل جدید مرحله ۲
	ارتقاء نازل مرحله ۲ جایگزینی نازل و ارتقاء ماده نازل ۲ از FSX414 به GTD-222 اصلاح سیستم خنک کاری نازل ۲ اصلاح پوشش نازل ۲ جایگزینی شراد بلاک مرحله ۱ با نوع جدید
	ارتقاء باکت مرحله ۲ بهبود طراحی شراد (اسکالوپ) تجهیز شراد نوک پره به تیغه برنده

ارتقاء پوشش بیرونی باکت به GT-33 IN Plus		
اصلاح و تجهیز به آب بند هانی کامب در صورت نصب	ارتقاء شراد بلاک مرحله ۲	
جایگزینی و ارتقاء به وتر بلند (در صورتی که اعمال نشده باشد) جایگزینی با نازل با طراحی آئر پیشرفته ارتقاء به ماده GTD-222	ارتقاء نازل مرحله ۳	
جایگزینی با پره با طراحی آئر پیشرفته اصلاح شراد (بهبود اسکالوپ) تجهیز به تیغه برنده هانی کامب	ارتقاء باکت مرحله ۳	ارتقاء آئرو پیشرفته ۳
تجهیز به آب بند هانی کامب (در صورت نصب) جایگزینی با شراد بلاک جدید در صورت باکت مرحله ۳ جدید	ارتقاء شراد بلاک مرحله ۳	
جایگزینی با سازه با طراحی بهبود یافته و دارای سیستم بهبود یافته خنک کاری و عمر (جزئیات در بخشهای مربوطه)	ارتقاء فریم اگزاست و پلنوم اگزاست	ارتقاء فریم اگزاست و پلنوم
ارتقاء اساسی اجزاء و قطعات بخش داغ توربین، اتاق احتراق و کمپرسور افزایش دمای ورودی افزودن آب بند ریشه‌ای به پره‌ها	-	ارتقاء اساسی توربین (AGP)
ارتقاء اساسی اجزاء و قطعات بخش داغ توربین، اتاق احتراق و کمپرسور افزایش تعداد طبقات توربین به ۴ مرحله	-	ارتقاء اساسی توربین (9Emax)

۴-۲- تبیین ابعاد چشم انداز

بیانیه اولیه چشم‌انداز توسط تحلیل‌گران و مشاوران تهیه می‌شود. در این مرحله بر مبنای ورودی‌های حاصل از مراحل قبل، به ترسیم افق چشم‌انداز پرداخته می‌شود. با بررسی مدل‌های تدوین چشم‌انداز بنگاهی و نیز با بهره‌گیری از مطالعات تطبیقی تدوین چشم‌انداز، لازم است تا به مؤلفه‌های ضروری چشم‌انداز و نیز ویژگی‌های افق چشم‌انداز در سطح ملی توجه شود. یک افق چشم‌انداز ملی باید دربرگیرنده‌ی مؤلفه‌های زیر باشد:

- درنظرگیری بعد زمان و افق برنامه‌ریزی برای ایده‌آل‌های ذکر شده در بیانیه چشم‌انداز
- اشاره به جایگاه و رتبه‌ی عددی توانمندی فناورانه در منطقه و جهان
- ذکر اهداف بالادستی تعیین شده در اسناد قبلی
- درنظرگیری ملاحظات اصول ارزشی
- توجه به سطح رقابت‌پذیری فناوری تولیدی

- تعیین حوزه‌ی کاربرد فناوری
- اشاره به نتایج کلی سیاسی، اجتماعی، اقتصادی، و زیست‌محیطی حاصل از توسعه
- تعریف کلی حوزه فعالیت (طراحی، تولید، بکارگیری)

با بررسی اسناد بالادستی مرتبط می‌توان یک بیانیه چشم‌انداز ابتدایی تدوین نمود که در این راستا سه بیانیه چشم‌انداز ارائه شده است. بیانیه‌های پیشنهادی چشم‌انداز توسعه فناوری توربین واحدهای گازی نیروگاهی کشور به شرح زیر است:

۱- بیانیه زیر به صورت دقیق تر چشم انداز افق ۱۴۱۰ را مشخص میکند:

"در راستای تحقق اهداف و سیاستهای بخش انرژی کشور و به منظور بهینه‌سازی ناوگان نیروگاههای گازی، جمهوری اسلامی ایران در یک دوره ۱۰ ساله، با تکیه بر ظرفیت های داخلی و متخصصان کارآمد و خلاق، در بکارگیری و تعمیق دانش در زنجیره ارزش و بومی‌سازی فناوریهای اولویتدار ارتقاء توان، عملکرد و عمر نیروگاههای گازی قدیمی در جایگاه مناسبی از توانمندی است."

۲- بیانیه زیر نشان میدهد که بومی سازی کامل صورت خواهد گرفت و هر توربینی قابل ارتقاء داخلی خواهد بود. مواد خام و پایه که ۴۰ درصد هزینه را شامل می شوند نیز از قبل بومی سازی شده هستند و فقط به دلیل به صرفه نبودن، سفارش خارجی می شود.

"در راستای تحقق اهداف و سیاستهای بخش انرژی کشور، سند تراز تولید و مصرف گاز طبیعی تا افق ۱۴۲۰ و سند چشم‌انداز وزارت نیرو در افق ۱۴۰۴، جمهوری اسلامی ایران خودکفا در فناوریهای ارتقاء توان، عملکرد و عمر نیروگاههای گازی قدیمی در افق ۱۴۱۰ خواهد بود."

۳- در بیانیه زیر اشاره بیشتری به اسناد شده است و حمایت از ارتقاء بازدهی توربینهای با بازدهی کم که موجب صرفه‌جویی گاز طبیعی می‌گردد و امکان استهلاک نیز دارند نیز گنجانده شده است

"در راستای تحقق اهداف و سیاستهای بخش انرژی کشور، سند چشم‌انداز وزارت نیرو در افق ۱۴۰۴ و حمایت از سرمایه ملی و کاهش آلاینده‌گی و صرفه جویی گاز طبیعی، توانمندی کامل فناورانه"

و بیش از ۶۰ درصد صرفه جویی ارزی در ارتقاء توربینهای گازی نیروگاهی قدیمی در افق ۱۴۱۰ ایجاد خواهد شد."

این بیانیه‌ها با نظرسنجی از نخبگان این صنعت مورد ارزیابی قرار گرفتند و در نهایت بیانیه زیر برآیند نظرات نخبگان انتخاب گردید. متن پرسشنامه بیانیه چشم انداز که به صورت مشترک با پرسشنامه اهداف کلان تدوین شده بود در پیوست-الف ارائه شده است.

جدول ۳۰-۲. بیانیه نهایی و ابعاد چشم انداز

ابعاد چشم انداز	بیانیه چشم انداز
توجه به اسناد بالادستی	در راستای تحقق اهداف و سیاستهای بخش انرژی کشور
افق زمانی	در یک دوره ۱۰ ساله
نتایج کلی	بهینه‌سازی ناوگان نیروگاه‌های گازی تکیه بر ظرفیت‌های داخلی و متخصصان کارآمد و خلاق بکارگیری و تعمیق دانش در زنجیره ارزش بومی‌سازی فناوریهای اولویت‌دار ارتقاء توان، عملکرد و عمر
حوزه کاربرد فناوری	نیروگاههای گازی قدیمی
جایگاه	در جایگاه مناسبی از توانمندی است

۲-۵- ترجمه و تکمیل اهداف کلان و راهبردهای توسعه فناوری بخش داغ

توربین گازی نیروگاهی

۲-۵-۱- نتایج حاصل از بررسی گزارش اسناد بالادستی

در جدول ۳۱-۲ اهداف کلان قابل استنتاج از اسناد بالادستی مرتبط با توسعه فناوری بخش توربین گازی نیروگاهی ارائه شده است.

جدول ۳۱-۲: موارد قابل استنتاج از اسناد بالادستی برای تعیین اهداف کلان در حوزه توسعه فناوری بخش داغ

توربین گازی نیروگاهی

عنوان سند	اهداف قابل استنتاج
سند چشم‌انداز و برنامه راهبردی وزارت نیرو- اهداف استراتژیک و استراتژی‌های وزارت نیرو در بخش برق و انرژی کشور	➤ ارتقای راندمان نیروگاه‌های برق و کاهش هزینه‌های تمام شده تولید ➤ تبدیل واحدهای گازی به سیکل ترکیبی و استفاده از فناوری‌های نوین تولید
سند تراز تولید و مصرف گاز طبیعی در کشور تا افق ۱۴۲۰ (۱۳۹۹)	➤ دستیابی به کمینه راندمان ۲۵٪ در واحدهای گازی کشور

اهداف کلان مرتبط با سرفصل‌های چشم‌انداز با توجه به ضرورت توسعه، نظرات نخبگان و اسناد بالادستی مرتبط با توسعه

فناوری‌های بخش داغ توربین گازی نیروگاهی به شرح جدول ۳۲-۲ است:

جدول ۳۲-۲. اهداف کلان (اولیه) مرتبط با توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی.

تکیه بر ظرفیت‌های داخلی و متخصصان کارآمد و خلاق	➤ دستیابی به نیروی انسانی توانمند، خلاق و متخصص در زمینه طراحی، ساخت و مونتاژ ارتقاء توربین‌های گازی قدیمی ➤ دستیابی به شرکت‌های توانمند تحقیق و توسعه صنعتی در زمینه ارتقاء بخش داغ توربین‌های گازی قدیمی ➤ توسعه‌ی دانش فنی ارتقاء بخش داغ توربین‌های گازی قدیمی با تاکید بر سرمایه‌گذاری و تعامل موثر با دانشگاه‌ها و مراکز تحقیق و توسعه دانش بنیان ➤ توسعه‌ی دانش فنی ارتقاء بخش داغ توربین‌های گازی قدیمی از طریق همکاری‌های فناورانه بین‌المللی
بکارگیری و تعمیق دانش در زنجیره ارزش و بومی‌سازی فناوری‌های اولویت‌دار ارتقاء	➤ ارتقاء راندمان بیش از نیمی از واحدهای گازی قدیمی به بیش از ظرفیت نامی خود ➤ دستیابی به کمینه راندمان ۲۵٪ در واحدهای گازی کشور ➤ دستیابی به فناوری DS برای بهبود عمر قطعات توربین گازی قدیمی

➤ دستیابی به فناوریهای پوشش دهی پیشرفته توربین گازی ➤ دستیابی به دانش فنی طراحی آئرو دینامیک پیشرفته توربینهای گازی کلاس E ➤ دستیابی به دانش فنی مونتاژ واحدهای اصلاح یافته ➤ دستیابی به دانش فنی اگزاست اصلاح یافته ➤ دستیابی به بیش از ۳۰ درصد بهبود فاصله زمانی تعمیرات و کاهش هزینه‌های تعمیرات و نگهداری ➤ دستیابی به حداکثر توان و پایداری در ماههای گرم سال ➤ دستیابی به دانش فنی بهبود پایداری و آمادگی توربینهای گازی در کارکرد با سوختهای مایع	توان، عملکرد و عمر نیروگاههای گازی قدیمی
➤ دستیابی به صرفه جویی ارزی به میزان ۶۰ درصد از هزینه‌های ارتقاء ➤ ورود به بازارهای منطقه‌ای	جایگاه مناسبی از توانمندی است

اهداف کلان از طریق پرسشنامه (پیوست - الف) توسط نخبگان این صنعت ارزیابی گردید. جدول ۳۳-۲ نتایج ارزیابی و امتیاز نهایی و نرمال شده اهداف کلان را نشان می‌دهد.

جدول ۳۳-۲. تعیین گزینه‌های دارای اهمیت در اهداف کلان بخش داغ توربین گازی نیروگاهی.

امتیاز نرمال شده	رتبه	توزیع فراوانی نظرات نخبگان در مورد اهمیت عنصر اهداف کلان				عنصر اهداف کلان	
		کم □	متوسط □	زیاد □	خیلی زیاد □		
۳.۳	۱۳	۰	۱	۱	۲	دستیابی به نیروی انسانی توانمند، خلاق و متخصص در زمینه طراحی، ساخت و مونتاژ ارتقاء توربینهای گازی قدیمی	بخش منابع
۳.۳	۱۳	۰	۰	۳	۱	دستیابی به شرکتهای توانمند تحقیق و توسعه صنعتی در زمینه ارتقاء بخش داغ توربینهای گازی قدیمی	
۳.۰	۱۲	۰	۱	۲	۱	توسعه دانش فنی ارتقاء بخش داغ توربینهای گازی قدیمی با تاکید بر سرمایه‌گذاری و تعامل موثر با دانشگاه‌ها و مراکز تحقیق و توسعه دانش بنیان	
۲.۳	۹	۱	۱	۲	۰	توسعه دانش فنی ارتقاء بخش داغ توربینهای گازی قدیمی از طریق همکاری‌های فناورانه بین‌المللی	
۲.۸	۱۱	۰	۱	۳	۰	ارتقاء راندمان بیش از نیمی از واحدهای گازی قدیمی به بیش از ظرفیت نامی خود	

۳.۳	۱۳		۱	۱	۲	دستیابی به کمینه راندمان ۲۵٪ در واحدهای گازی کشور	حوزه بومی سازی فناوریها
۲.۳	۹		۱	۱	۱	دستیابی به فناوری DS برای بهبود عمر قطعات توربین گازی قدیمی	
۴.۰	۱۶	۰	۰	۰	۴	دستیابی به فناوریهای پوشش دهی پیشرفته توربین گازی	
۳.۵	۱۴	۰	۱	۰	۳	دستیابی به دانش فنی طراحی آنرودینامیک پیشرفته توربینهای گازی کلاس E	
۳.۵	۱۴	۰	۰	۲	۲	دستیابی به دانش فنی مونتاژ واحدهای اصلاح یافته	
۲.۳	۹	۰	۳	۱	۰	دستیابی به دانش فنی اگزاست اصلاح یافته	
۴.۰	۱۶	۰	۰	۰	۴	دستیابی به بیش از ۳۰ درصد بهبود فاصله زمانی تعمیرات و کاهش هزینه‌های تعمیرات و نگهداری	
۳.۸	۱۵	۰	۰	۱	۳	دستیابی به حداکثر توان و پایداری واحد در ماههای گرم سال	
۳.۵	۱۴	۰	۰	۲	۲	دستیابی به دانش فنی بهبود پایداری و آمادگی توربینهای گازی در کارکرد با سوختهای مایع	
۲.۵	۱۰	۰	۲	۲	۰	دستیابی به صرفه جویی ارزی به میزان ۶۰ درصد از هزینه‌های ارتقاء (با کسر هزینه مواد خام)	سطح توانمندی
۲.۳	۹	۱	۲	۰	۱	ورود به بازارهای منطقه‌ای	

اولویت بندی اهداف کلان براساس امتیازات مکتسبه در جدول ۳۴-۲ ارائه شده است.

جدول ۳۴-۲. اولویت بندی اهداف کلان.

اولویت	عنصر اهداف کلان	امتیاز نرمال شده
۱	دستیابی به بیش از ۳۰ درصد بهبود فاصله زمانی تعمیرات و کاهش هزینه‌های تعمیرات و نگهداری	۴.۰
۲	دستیابی به فناوریهای پوشش دهی پیشرفته توربین گازی	۴.۰
۳	دستیابی به حداکثر توان و پایداری واحد در ماههای گرم سال	۳.۸
۴	دستیابی به دانش فنی طراحی آنرودینامیک پیشرفته توربینهای گازی کلاس E	۳.۵
۵	دستیابی به دانش فنی مونتاژ واحدهای اصلاح یافته	۳.۵
۶	دستیابی به دانش فنی بهبود پایداری و آمادگی توربینهای گازی در کارکرد با سوختهای مایع	۳.۵

۳.۳	دستیابی به نیروی انسانی توانمند، خلاق و متخصص در زمینه طراحی، ساخت و مونتاژ ارتقاء توربینهای گازی قدیمی	۷
۳.۳	دستیابی به شرکتهای توانمند تحقیق و توسعه صنعتی در زمینه ارتقاء بخش داغ توربینهای گازی قدیمی	۸
۳.۳	دستیابی به کمینه راندمان ۲۵٪ در واحدهای گازی کشور	۹
۳.۰	توسعه دانش فنی ارتقاء بخش داغ توربینهای گازی قدیمی با تاکید بر سرمایه-گذاری و تعامل موثر با دانشگاه‌ها و مراکز تحقیق و توسعه دانش بنیان	۱۰
۲.۸	ارتقاء راندمان بیش از نیمی از واحدهای گازی قدیمی به بیش از ظرفیت نامی خود	۱۱
۲.۵	دستیابی به صرفه‌جویی ارزی به میزان ۶۰ درصد از هزینه‌های ارتقاء (با کسر هزینه مواد خام)	۱۲
۲.۳	توسعه دانش فنی ارتقاء بخش داغ توربینهای گازی قدیمی از طریق همکاری-های فناورانه بین‌المللی	۱۳
۲.۳	دستیابی به فناوری DS برای بهبود عمر قطعات توربین گازی قدیمی	۱۴
۲.۳	دستیابی به دانش فنی اگزااست اصلاح یافته	۱۵
۲.۳	ورود به بازارهای منطقه‌ای	۱۶

اهداف کلان نهایی برای توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی با انتخاب الویتهای با امتیاز بالا از هر حوزه و همچنین توجه به اولویت‌بندی مشترک نهایی (جدول ۳۴-۲)، در جدول ۳۵-۲ ارائه شده است.

جدول ۳۵-۲. اهداف کلان نهایی توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی

حوزه	اولویت	عنصر اهداف کلان
منابع	۶	دستیابی به نیروی انسانی توانمند، خلاق و متخصص در زمینه طراحی، ساخت و مونتاژ ارتقاء توربینهای گازی قدیمی
بومی‌سازی فناوریها	۱	دستیابی به بیش از ۳۰ درصد بهبود فاصله زمانی تعمیرات و کاهش هزینه‌های تعمیرات و نگهداری
	۲	دستیابی به فناوریهای پوشش‌دهی پیشرفته توربین گازی
	۳	دستیابی به حداکثر توان و پایداری واحد در ماههای گرم سال
	۴	دستیابی به دانش فنی طراحی اُترودینامیک پیشرفته توربینهای گازی کلاس E
	۵	دستیابی به دانش فنی بهبود پایداری و آمادگی توربینهای گازی در کارکرد با سوختهای مایع

سطح توانمندی	۷	دستیابی به صرفه‌جویی ارزی به میزان ۶۰ درصد از هزینه‌های ارتقاء
--------------	---	--

در جدول ۳۶-۲، روش و راهبرد کلی دستیابی به اهداف کلان ارائه شده است که در ادامه به صورت مفصل برای توربینهای مختلف بررسی خواهد شد.

جدول ۳۶-۲. اهداف کلان نهایی و راهبردهای کلی توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی.

عناصر اهداف کلان	راهبرد و روش کلی دستیابی
دستیابی به نیروی انسانی توانمند، خلاق و متخصص در زمینه طراحی، ساخت و مونتاژ ارتقاء توربینهای گازی قدیمی	انجام پروژه های توسعه فناوری و اجرای پکیجهای ارتقاء توربینهای گازی، اقدامات غیرفنی
دستیابی به بیش از ۳۰ درصد بهبود فاصله زمانی تعمیرات و کاهش هزینه‌های تعمیرات و نگهداری	انجام پروژه های توسعه فناوری و اجرای پکیجهای ارتقاء فناوری توربینهای گازی
دستیابی به فناوریهای پوشش‌دهی پیشرفته توربین گازی	
دستیابی به دانش فنی طراحی آئرو دینامیک پیشرفته توربینهای گازی کلاس E	
دستیابی به صرفه‌جویی ارزی به میزان ۶۰ درصد از هزینه‌های ارتقاء	
دستیابی به حداکثر توان و پایداری واحد در ماههای گرم سال	تعریف و اجرای پروژه های مطالعاتی، فنی و آماری مرتبط
دستیابی به دانش فنی بهبود پایداری و آمادگی توربینهای گازی در کارکرد با سوختهای مایع	

در قسمت بعد، ارزیابی جزئی تر مربوط به راهبردها و روشهای دستیابی به اهداف کلان ارائه خواهد شد.

۲-۶- ارزیابی اقتصادی و تعیین جذابیت بازار توسعه فناوری بخش داغ

توربینهای گازی

چنانچه در جدول ۳۶-۲ نیز بیان گردید راهبرد و روش کلی دستیابی به اهداف کلان بخش بومی‌سازی فناوریها، اجرای پکیجهای ارتقاء فناوری توربینهای گازی است. در این بخش با توجه به شرایط هزینه کرد واحدهای نیروگاهی در داخل کشور و فروش و تعمیرات و هزینه های مرتبط سعی در ارزیابی ارتقاءهای موجود برای توربینهای با فراوانی بالا خواهد شد.

۱-۶-۲- بررسی ارتقاءهای توربین گازی F9E

توربینهای گازی فریم 9E موجود در کشور دارای توان ۱۲۳.۴۵ و بازدهی ۳۳.۸۶ درصد در نظر گرفته می شوند. ارتقاء عمر این توربینها مشخص و از ۲۴۰۰۰ ساعت فاصله دوره بازرسی به ۳۲۰۰۰ ساعت می باشد. پکیج اصلی ارتقاء این توربین با نام NGT150-1 است که با همکاری مشترک توربوتک-پژوهشگاه نیرو ارائه شده است و در پیشنهاد اول حدود افزایش توان ۹.۵۵ مگاوات با عمر ۲۴۰۰۰ ساعت پیشنهاد گردید. میزان سرمایه گذاری برای پکیجهای ارتقاء این واحدها در جدول ۲-۳۷ ارائه شده است. در ستون اول بازگشت سرمایه، نتایج براساس نرخ بهره صفر نیز صرفاً جهت مقایسه ارائه شده است. لازم به ذکر است که ارتقاء این واحدها بدون حمایت از آنها مقرون به صرفه نیست و سرمایه گذار نیز تمایل چندانی نخواهد داشت چنانچه در اسناد بالادستی نیز به سیاست حمایت از ارتقاء توربینهای گازی اشاره شده است [۳۶]. اگر فرض شود که با مجوز هیات تنظیم بازار برای ارتقاءهای صورت گرفته، برق تولید شده افزوده نیروگاه به بهای بالاتری خرید گردد می تواند ارتقاء را مقرون به صرفه نماید و در کمتر از ۵ سال بازگشت سرمایه صورت گیرد. دو ستون آخر نیز حداقل قیمت حمایتی مورد نیاز برای خرید در ۵ سال اول جهت به صرفه شدن ارتقاء و عدم ضرردهی و همچنین مبلغ خرید برق برای اجبار برای بازگشت سرمایه در ۵ سال اول را نشان می دهد. ردیف اول ارتقاء پیشنهاد اول NGT150-1 را نشان می دهد که افزایش توان و عمر مورد نظر به دست نیامد و صرفاً جهت مقایسه آورده شده است. از آنجا که تمام واحدهای گازی F9 نیروگاهی به صورت سیکل ترکیبی با بخاری هستند، محاسبات تنها برای واحدهای گازی-سیکل ترکیبی ارائه شده است.

جدول ۲-۳۷. ارزیابی ارتقاءهای توربینهای گازی F9E سیکل ترکیبی.

ارائه	افزایش توان (MW)	افزایش بازدهی (%)	هزینه ارتقاء (\$/kW)	هزینه ارتقاء (میلیارد تومان) BT	ارتقاء زمان بازرسی HGPI	عمر سرمایه گذاری (سال)	بازگشت سرمایه (سال) بدون حمایت	قیمت آمادگی در ۵ سال اول جهت حمایت
							EC=650 rial/kW-hr r=0 (r=0.08)	EC=min rial/kW-hr (N=۱۸۵/آمادگی)
NGT150-1 ^(۱)	9.55	1.14			24 -> 32	12.2	4.2 (12.9)	-
NGT150-1	9.55	1.14			24 -> 24	9.1	14.6 (21)	
NGT150-1-50%Life	9.55-6.6~8.1	1.14			24 -> 28	10.7	8.9 (17.8)	
NGT150-1-Life	6.6	1.14			24 -> 32	12.2	7.1 (19.7)	
F9-S (adv. Seal)	2.34	0.45			24 -> 24	6.1	4.8 (6.2)	
GE - AGP	8.6	0.6			24 -> 32	12.2	3 (11.7) [+3%] ^(۲)	

^(۱) این ارتقاء صرفاً جهت مقایسه آورده شده است و در سید محصولات نمی باشد.

^(۲) ارتقاء فوق بدون حمایت نیز مقرون به صرفه است. [..] میزان سود با لحاظ بهره را مشخص می کند.

(۳) با توجه به عمر محدود ارتقاء فوق، هزینه ارتقاء دوره بعد نیز در حمایت در نظر گرفته شده است.

جدول ۳۸-۲. مفروضات ارتقاء توربینهای گازی F9E

هزینه هر مرتبه تعمیر پره و وین برابر ۱۰ درصد ارزش پره در نظر گرفته می شود.
پره های ثابت و متحرک و شراد بلاکها در هر HGPI تعمیر می شوند.
پره های ثابت و متحرک و شراد بلاکها بعد از 3HGPI جایگزین می شوند.
ارزش اسقاط برابر ۲۵ درصد در نظر گرفته شده است.
هزینه ارتقاء NGT150-1 برابر .. میلیون یورو در نظر گرفته شده است.
فاکتور ظرفیت واحد ۹۰ درصد با قیمت برق ۶۵۰ ریال برای هر کیلووات ساعت متوسط سال در نظر گرفته شده است که شامل هزینه خرید برق بعلاوه آمادگی و با کسر هزینه سوخت است. هزینه آمادگی برابر ۱۸۵ ریال به ازاء کیلووات ساعت لحاظ شده است.
بسته به ارتفاع و دما، ظرفیت عملی واحد ۸۰ درصد ظرفیت نامی فرض می گردد.
ارزش حرارتی گاز طبیعی برابر $LHV=8600 \text{ Kcal/m}^3$ در نظر گرفته شده است.
در ارتقاء NGT150-1 در صورت مصرف عمر جهت دستیابی به توان، دوره بازرسی HGPI برابر ۲۴۰۰۰ ساعت خواهد بود و همچنین بازرسی محفظه داغ CI هر ۸۰۰۰ ساعت صورت خواهد گرفت. در صورت افزایش عمر به ۳۲۰۰۰ ساعت، دوره بازرسی CI حذف می گردد.

مفروضات ارزیابی اقتصادی واحدهای گازی فریم ۹ در جدول ۳۸-۲ ارائه شده است. توربینهای گازی در بلوک سیکل ترکیبی در کل سال در مدار هستند بجز مواقعی که نیاز به خروج اضطراری تعمیر دارند بنابراین بین ۸۵ تا ۹۰ درصد حضور دارند که ساعات استهلاک نیز محسوب می گردد.

۲-۶-۲- بررسی ارتقاء توربینهای گازی زیمنس (V94.2)

چنانچه در گزارش فاز ۱ به تفصیل اشاره گردید ارتقاءهای گوناگونی برای توربینهای V94.2 توسط سازندگان داخلی و خارجی تعریف شده است که مهمترین آنها ارتقاء MAP2B شرکت مپنا و ارتقاءهای شرکت زیمنس است. جدول ۳۹-۲ اطلاعات ارتقاءهای ارائه شده توسط شرکت مپنا و زیمنس، هزینه ارتقاء و مدت زمان بازگشت سرمایه ارائه شده است. در جدول ۴۰-۲ مفروضات با استفاده از اطلاعات [۴۶] و متخصصین این حوزه ارائه شده است.

جدول ۳۹-۲ ارزیابی ارتقاءهای توربینهای گازی (V94.2(5) سیکل ترکیبی و سیکل ساده.

ارْتقاء	افزایش توان (MW)	افزایش بازدهی (%)	هزینه ارتقاء (\$/kW)	هزینه ارتقاء (میلیارد تومان) BT	ارْتقاء زمان بازرسی HGPI - kEoH	عمر سرمایه گذاری (سال)	بازگشت سرمایه (سال) بدون حمایت	قیمت آمادگی در ۵ سال اول جهت حمایت
Combined Cycle Gas Trurbine								
MAP2B	19.5	1.2			33 -> 33	12.6	EC=650 rial/kW-hr (r=0.08)	EC=min rial/kW-hr (N=۱۸۵)
MAP2B – 50% Life	14.25	1.2			33 -> 37	14.1		
MAP2B - Life	9 ⁽³⁾	1.2			33 -> 41	15.6		
MAP2B - T60	4	0.6			33 -> 41	15.6		
MAP2B – T90	12.5	0.8			33 -> 33	12.6		
MAP2B - CT60 – 50% Life	7.75	0.9			33 -> 37	14.1		
MAP2B - CT60	10.5	0.9			33 -> 33	12.6		
Siemens Si3D	7.5	0.45			33 -> 33	12.6		
Siemens Si3D+Life	7.5	0.45			33 -> 41	15.6		
Siemens 41MAC	2.1	0			33 -> 37	15.6		
Simple Cycle Gas Turbine								
MAP2B - 50% Life - SC	14.25	1.5			33 -> 37	25.3		
MAP2B - T60- SC	4	0.6			33 -> 41	28.1		
MAP2B – T90- SC	12.5	0.8			33 -> 33	22.6		
Siemens Si3D-SC	7.5	0.45			33 -> 33	22.6		

(۱) ارتقاء فوق بدون حمایت نیز مقرون به صرفه است.

(۲) لازم است میزان خرید آمادگی فعلی (۱۸۵ ریال) به ... ریال افزایش یابد.

(۳) ارتقاء MAP2B در حالت عدم افزایش عمر، افزایش توان ۱۹.۵ مگاوات خواهد داشت.

(۴) مبلغ ارتقاء به صورت تقریبی در نظر گرفته شده است و ارزش افزایش عمر نیز لحاظ شده است.

(۵) ارتقاء 41MAC براساس مدارک زیرمنس معادل ۴.۱ مگاوات افزایش توان در حالت مصرف عمر در نظر گرفته شده است.

(۶) برابر قیمت ارتقاء پریکلووات MAP2B در حالت بدون افزایش عمر فرض شده است.

(۷) محاسبات برای مواردی که تولید حداکثر توان در فصول گرم و تبدیل عمر به توان با توجه به نیاز شبکه برق را در نظر می گیرند انجام شده است.

جدول ۴۰-۲. مفروضات ارزیابی ارتقاءهای توربین (V94.2(5).

هزینه ارتقاء MAP2B-Full برابر ... میلیارد تومان اعلام شده است. سایر ارتقاءهای برآوردی است و بر مبنای مقایسه کل هزینه ارتقاء با ورژن فول است. هزینه جهانی توربین گازی (8) V94.2 برابر ۲۴۹ دلار بر کیلووات است.
هزینه تعمیر پره های متحرک برابر ۲۰٪ هزینه قطعه نو و هزینه تعمیر پره های ثابت ردیف ۱ و ۲ برابر .. درصد هزینه قطعه نو محسوب می گردد.
وین ۱ و ۲ و بلید ۳ در هر HGPI۳ دو بار تعمیر می شوند. بلید ۱ و ۲ در هر HGPI۲ یک بار تعمیر می شوند.
پره های متحرک مراحل ۱ و ۲ در هر 2HGPI تعویض می گردند. سایر پره های ثابت و متحرک در هر 3HGPI تعمیر می گردند.

ارزش اسقاط برابر ۲۵ درصد در نظر گرفته شده است.
فاکتور ظرفیت واحد سیکل ترکیبی برابر ۹۰ درصد لحاظ شده است و واحد سیکل ساده گازی برابر ۵۰ درصد.
قیمت خرید برق از واحدهای گازی (پیک) در ۶ ماه اول سال حدود ۹۰۰ ریال برای هر کیلووات ساعت برق تولیدی است. هزینه آمادگی نیز حدود ۱۲۰ ریال است که می تواند به هزینه تولید ابتدای سال افزوده شود. بنابراین در این مطالعه واحدهای گازی با ظرفیت ۵۰ درصد در مدار هستند و هر کیلووات ساعت ۱۰۰۰ ریال با کسر سوخت و افزوده آمادگی است.
بسته به ارتفاع و دما، ظرفیت عملی واحد کمتر از مقدار نامی است که اینجا ۸۰ درصد فرض می گردد.
ارزش حرارتی گاز طبیعی در نظر گرفته شده است. $LHV=8600 \text{ Kcal/m}^3$
در این مطالعه، ظرفیت حضور واحدهای سیکل ترکیبی گازی-بخاری برابر ۹۰ درصد و میانگین خرید برق در ساعات تولید برق با افزوده آمادگی و کسر هزینه سوخت برابر ۶۵۰ ریال فرض می شود. مبلغ ۱۸۵ ریال هزینه آمادگی واحدهای سیکل ترکیبی است.
هزینه تعمیرات اساسی و بازرسی مسیر گاز داغ و مدت زمان انجام آنها در محاسبات در نظر گرفته شده است.
با توجه به حمایت و بازگشت سرمایه در ۵ سال اول، فرض می شود با ادامه کار تا زمان عمر سرمایه گذاری، هزینه مورد نیاز برای بازسازی و جایگزینی قطعات جهت ادامه در دوره عمر جدید تامین گردد.

نتایج زیر برای ارتقاء توربین گازی V94.2 قابل حصول است:

- کاهش هزینه های تعمیرات و استهلاک که دلاری است تاثیر قابل توجهی دارد.
- ارتقاء MAP2B – 50% Life به واسطه افزوده توان قابل توجهی که با صرف عمر ایجاد می شود به صرفه تر از حفظ عمر در شرایط بدون حمایت خواهد بود.
- مقایسه میزان حمایت مورد ارتقاءهای توربین گازی F9 و V94.2 نشان می دهد که ارتقاء توربینهای گازی فریم ۹ گرانتر از توربینهای پایه V94.2 است که دلیل اصلی آن عمر کمتر قطعات ارتقاء و بالا بودن هزینه ارتقاء به ازاء افزایش کیلووات توان خروجی است.

۳-۶-۲- ارتقاء توربینهای گازی وظیفه سنگین میتسویشی MW-701B و MW-701D

چنانچه در بخش ۱-۳ ارائه شد شرکت میتسویشی ارتقاء DA را برای توربینهای ورژن D ارائه کرده است که خود برگرفته و سرریز فناوریهای توربینهای کلاس F میتسویشی است. تعداد ۳ توربین ورژن B در کشور موجود است که با ارتقاء آنها مزایای زیر ایجاد می گردد:

جدول ۴۱-۲. مزایای حدودی ارتقاءها و مدرنسازي توربینهای MW701B براساس تخمینی از ارتقاء DA.

پکیج ارتقاء فناوری	ارتقاء	توان توربین گازی	(مطلق بازدهی) درصد نرخ حرارتی	توان سیکل ترکیبی	نرخ حرارتی سیکل ترکیبی
M701B-F	افزایش دمای احتراق	+5.2% (4.42MW)	-1.3% (+0.39)	+5.0%	-1.2%
M701B-S	بهبود آب بندی	+1.7%(1.45MW)	-0.7% (+0.21)	+1.5%	-0.5%

M701B-A	پوشش سایش پذیر ^{۴۴}	+1.3%(1.11MW)	-1.3% (+0.39)	+0.4%	-0.4%
M701B-H	گرمایش سوخت گاز	0.0%	-0.6% (+0.18)	0.0%	-0.6%
	بهبود قابلیت اطمینان	بهبود 1.0 - 1.5 برابری عمر قطعات داغ			
M701B-D	ارتقاء دیفیوزر	بهبود عملکرد دیفیوزر			

از ورژن D نیز ۶ توربین در کشور موجود است که پکیجهای ارتقاء می‌تواند مزیت‌های زیر را داشته باشد:

جدول ۴۲-۲. مزایای حدودی ارتقاءها و مدرنسازی توربینهای M701D با توان 128.5 MW.

پکیج ارتقاء	ارتقاء	توان توربین گازی	(مطلق بازدهی) درصد نرخ	توان سیکل	نرخ حرارتی
فناوری			حرارتی	ترکیبی	سیکل ترکیبی
M701D-F	افزایش دمای احتراق	+5.2% (6.7MW)	-1.3% (+0.43)	+5.0%	-1.2%
M701D-S	بهبود آب بندی	+1.7%(2.2MW)	-0.7% (+0.2)	+1.5%	-0.5%
M701D-A	پوشش سایش پذیر	+1.3%(1.67MW)	-1.3% (+0.43)	+0.4%	-0.4%
M701D-H	گرمایش سوخت گاز	0.0%	-0.6% (+0.2)	0.0%	-0.6%
	بهبود قابلیت اطمینان	بهبود 1.0 - 1.5 برابری عمر قطعات داغ			
M701D-D	ارتقاء دیفیوزر	بهبود عملکرد دیفیوزر			

با اعمال ارتقاءهای مناسب می‌توان انتظار بهبود تا ۶٪ و ۲.۵٪ به ترتیب برای توان و نرخ حرارتی سیکل ترکیبی گازی داشت

تعداد توربینهای میتسوبیشی موجود در کشور محدود است و بنابر نظر نخبگان یا این توربینها تا انتهای عمر تنها بازسازی و ادامه کار خواهند یافت و یا با خرید مستقیم از شرکت سازنده می‌توانند ارتقاء یابند از این رو در این مطالعه برنامه توسعه فناوری برای این توربینها به دلیل عدم توجیه اقتصادی، پیگیری نخواهد شد.

۷-۲- اولویت بندی توسعه فناوریهای بخش داغ توربین گازی نیروگاهی

در این بخش ابتدا اولویت بندی پکیجهای ارتقاء فناوری ارائه خواهد شد و با تعیین نیازمندیهای توسعه زیرفناوریها، اولویت این زیرفناوریها شناسایی خواهد شد. اولویت بندی پکیجهای ارتقاء توربین گازی فریم ۹ براساس داده های جدول ۳۷-۲ در جدول ۴۳-۲ ارائه شده است. دو ارتقاء GE-AGP و NGT-150-1 به ترتیب به دلیل تحریم و به صرفه نبودن حذف می شوند.

جدول ۴۳-۲. اولویت بندی پکیجهای ارتقاء فناوری توربین گازی فریم ۹.

پکیج ارتقاء	افزایش توان (مگاوات)	افزایش عمر (درصد)	قیمت آمادگی در ۵ سال اول جهت حمایت	اولویت براساس بازار	اولویت فنی+بازار	فناوریهای توسعه مورد نیاز
F9-S (adv. Seal)	+2.34	0		۲	۱	- آب بند هانی کامب - آب بند براش توربین - آب بند فنشونده
GE – AGP	+8.6	33%		۱	حذف	- خنک کاری پیشرفته پره ها و هوای ثانویه - طراحی آئرو دینامیک پیشرفته مرحله آخر - پوششهای پیشرفته GT33, DVC-TBC, ETBC - آب بندهای پیشرفته - آب بند پارچه ای، ریشه ای و آویز وتری - طراحی جدید شراد بلاکهای ۱ - مواد پیشرفته
NGT150-1-50%Life (NGT150-1 NGT150-1-Life)	+6.6	33%		۳	۲	- خنک کاری پیشرفته پره ها و هوای ثانویه - طراحی آئرو دینامیک پیشرفته مرحله آخر - پوششهای پیشرفته GT33, DVC-TBC, ETBC - آب بندهای پیشرفته - آب بند پارچه ای - طراحی جدید شراد بلاکهای ۱

بررسی جدول ارتقاء توربین فریم ۹ نشان میدهد که ارتقاء آب بند بالاترین سود بازار را دارد منتها افزایش توان قابل توجهی ندارد و شاید به تنهایی جذابیت چندانی نداشته باشد. اما لازم به ذکر است که با توجه به عمر قابل توجه ناوگان نیروگاهی فریم ۹ کشور که مشکلاتی همچون بیضی شدن یا اعوجاج پوسته و تغییر لقی ها در آنها ایجاد شده و اضمحلال دائمی عملکرد بوجود آمده است یکی از روشهای مناسب کاهش این تلفات استفاده از آب بندهای پیشرفته اشاره شده است و بنابراین انتظار بهبود بیشتری از توان و بازدهی می رود. ارتقاء AGP در اختیار GE بوده و بدلیل تحریم در دسترس نمی باشد.

اولویت بندی پکیجهای ارتقاء فناوری توربینهای پایه V94.2 براساس داده های

جدول ۲-۳۹ در جدول ۲-۴۴ ارائه شده است. جدول ۲-۴۶ نیز به فناوریهای مورد نیاز برای هر یک از پکیجها اشاره دارد. در اولویت‌بندی اصلاح شده این نکته نیز در نظر گرفته شده است که به طور طبیعی، ارتقاءهای با مقدار افزایش توان کوچک هزینه پر کیلووات بالاتری دارند و بنابراین ارتقاء Siemens Si3d بالاتر از MAP2B قرار می‌گیرد. همچنین ارتقاءهایی که افزایش توان بالایی ایجاد می‌کنند محدودیتهای ژنراتور، تولید مگاوار و محدودیت بیشتر بخش سیکل ترکیبی در تبدیل توان اضافی را به همراه خواهند داشت.

جدول ۲-۴۴. اولویت بندی پکیجهای ارتقاء توربینهای پایه V94.2 زیمنس سیکل ترکیبی گازی-بخاری.

اولویت فنی ^(۱)	اولویت بازار (اصلاح شده)	اولویت بازار	هزینه حمایت آمادگی (ریال به ازاء کیلووات ساعت)	افزایش توان (مگاوات)	پکیج ارتقاء
۷	۲	۱		19.5	MAP2B
۳	۱	۲		7.5	Siemens Si3D
۵	۳	۳		12.5	MAP2B – T90
-	۵	۴		14.25	MAP2B – 50% Life
۶	۴	۵		10.5	MAP2B - CT60
۴	۶	۶		7.5	Siemens Si3D+Life
-	۷	۷		7.75	MAP2B - CT60 – 50% Life
۲	۸	۸		4	MAP2B - T60
-	۹	۹		9	MAP2B - Life
۱	10	10		2.1	Siemens 41MAC

^(۱) اولویت فنی مبتنی بر حداقل اصلاحات فنی و ممکن و امکان‌پذیری با توجه به سطح فناوری داخل کشور است.

جدول ۲-۴۵. اولویت بندی پکیجهای ارتقاء توربینهای پایه V94.2 زیمنس سیکل ساده گازی.

اولویت بازار (اصلاح شده)	اولویت بازار	هزینه حمایت آمادگی (ریال به ازاء کیلووات ساعت)	افزایش توان (مگاوات)	پکیج ارتقاء
1	1		7.5	Siemens Si3D - SC
2	2		12.5	MAP2B – T90- SC
3	3		14.25	MAP2B – 50% Life - SC
4	4		4	MAP2B - T60- SC

جدول ۲-۴۶. فناوریهای توسعه مورد نیاز پکیجهای ارتقاء فناوری.

فناوریهای توسعه مورد نیاز	پکیج ارتقاء
- طراحی آنرودینامیک پیشرفته Si3d مراحل ۱ و ۲ - طراحی خنک‌کاری پیشرفته - ارتقاء به مواد و پوشش پیشرفته	MAP2B - T60
- طراحی آنرودینامیک پیشرفته Si3d مراحل ۱ و ۲ - طراحی خنک‌کاری پیشرفته	MAP2B - CT60 – 50% Life (MAP2B - CT60)

• ارتقاء به مواد و پوشش پیشرفته • طراحی آئرو دینامیک پیشرفته پره‌های کمپرسور • اصلاح air intake	
• طراحی آئرو دینامیک پیشرفته Si3d مراحل ۱ و ۲ • طراحی خنک‌کاری پیشرفته • ارتقاء به مواد و پوشش پیشرفته • پوشش دهی مسیر احتراق • اصلاح سیستم احتراق	MAP2B – T90
• طراحی آئرو دینامیک پیشرفته Si3d چهار مرحله • طراحی خنک‌کاری پیشرفته • ارتقاء به مواد و پوشش پیشرفته • طراحی جدید پوسته داخلی و محفظه اختلاط • اصلاح مشعل • دمپره‌های اصطکاکی پیشرفته پره توربین	Siemens Si3D+Life
• طراحی آئرو دینامیک پیشرفته Si3d چهار مرحله • طراحی خنک‌کاری پیشرفته • دمپره‌های اصطکاکی پیشرفته پره توربین	Siemens Si3D
• طراحی خنک‌کاری پیشرفته • ارتقاء به پوشش پیشرفته • طراحی جدید پوسته داخلی و محفظه اختلاط • اصلاح مشعل	Siemens 41MAC
• طراحی آئرو دینامیک پیشرفته Si3d چهار مرحله • طراحی خنک‌کاری پیشرفته • ارتقاء به مواد و پوشش پیشرفته • اصلاح پاتاقان تراست • طراحی جدید پوسته داخلی و محفظه اختلاط • اصلاح مشعل • طراحی آئرو دینامیک پیشرفته پره‌های کمپرسور • اصلاح air intake • دمپره‌های اصطکاکی پیشرفته پره توربین	MAP2B – 50% Life (MAP2B MAP2B – Life)

۸-۲- سبک اکتساب فناوریهای اولویت دار ارتقاء توربینهای گازی داخل

کشور

دو سبک رویکرد توسعه فناوریهای مورد نیاز در کشور وجود دارد. سبک غالب نوآوری در فناوریهای که در مراحل اولیه معرفی و رشد خود قرار دارند معمولاً روش نوآوری مبتنی بر تحقق و توسعه داخلی (STI⁴⁵) است و برای فناوریهای که در مراحل پایانی رشد و یا بلوغ خود قرار دارند سبک غالب نوآوری مبتنی بر ورود فناوری (DUI⁴⁶) است. در کشورهای در حال توسعه معمولاً از سبک DUI جهت ورود فناوریهای بالغ استفاده کرده و سپس تلاش جهت تبدیل آن به STI و

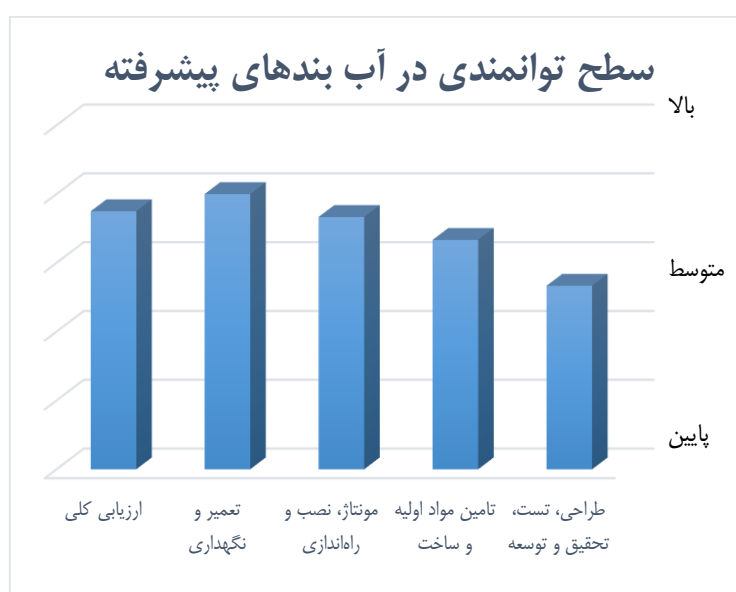
⁴⁵ Science and Technology Innovation (STI)

⁴⁶ Doing, Using and Interacting (DUI)

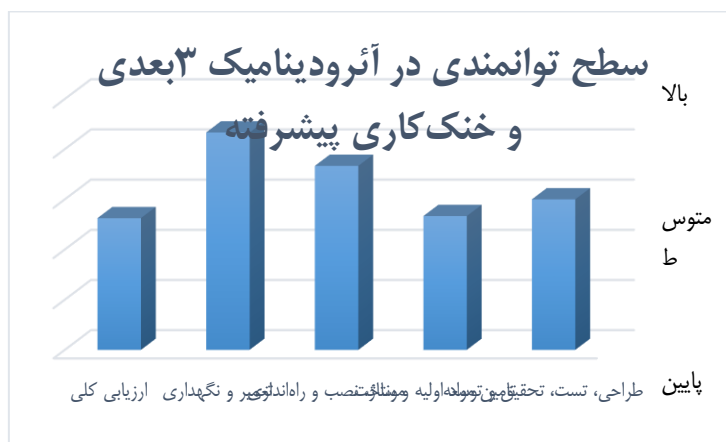
توسعه درونزا دارند. این امر در توربین‌های پایه زیمنس V94.2 اتفاق افتاده است و با ورود فناوری طی همکاری فناورانه با زیمنس، توربین V94.2 ساخت داخل گردید و با همکاری فناورانه و سپس توسعه درونزا به سمت تولید توربین‌های ارتقاء یافته MAP2B و یا MGT75 که کلاس بالاتر این توربین‌ها است هدایت شده است. توربین‌های فریم ۹ تولید داخل نمی‌باشند ولی بواسطه نیازهای بازار و تحریم‌های اعمالی، اغلب قطعات تکنولوژی بالا در آن همچون باکته‌ها و نازل‌های توربین ساخت داخل شده‌اند و شکاف فناورانه در این توربین بیش از توربین‌های V94.2 است.

با توجه به شرح داده شده و همچنین نتایج سند توسعه فناوری توربین گازی، سبک اکتساب تمامی فناوری‌های اولویت‌دار مبتنی بر بهره‌گیری از توانمندی داخلی بوده و به طور موازی فرصت‌های همکاری فناورانه جهت تسریع احتمالی توسعه فناوری نیز قابل پیگیری است.

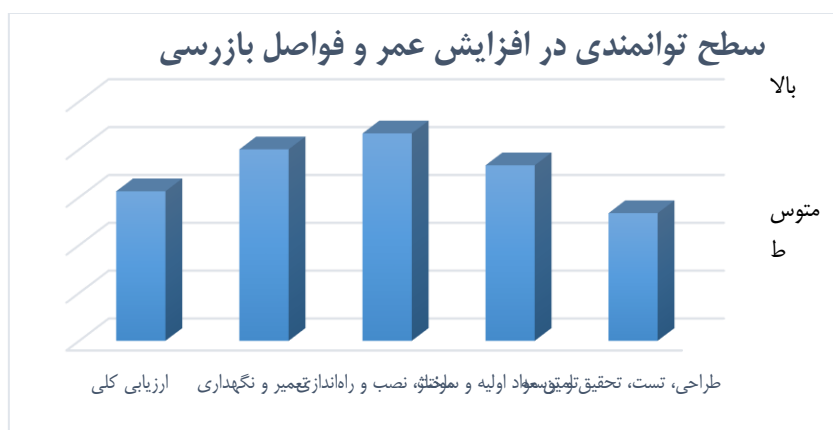
براساس نظرات نخبگان و پرسشنامه پیوست - (ب) سطح توانمندی موجود در زنجیره ارزش فناوری‌های پیشرفته مربوط به توربین گازی مورد ارزیابی قرار گرفت که در شکل ۵۳-۲ الی شکل ۵۶-۲ نشان داده شده است. ارزیابی کلی نشان دهنده نظر نهایی و جمع‌بندی سطوح زنجیره ارزش است. این ارزیابی عمومی بوده و توربین خاصی را مورد نظر قرار نداده است هر چند که ارتقاءهای ارائه شده توسط شرکت مپنا برای توربین V94.2 و همچنین ورود فناوری‌های پیشرفته کلاس F توسط این شرکت تاثیر محسوس در نظرات نخبگان داشته است. در ضمن، سطح توانمندی به صورت معکوس با شکاف فناوری مرتبط است.



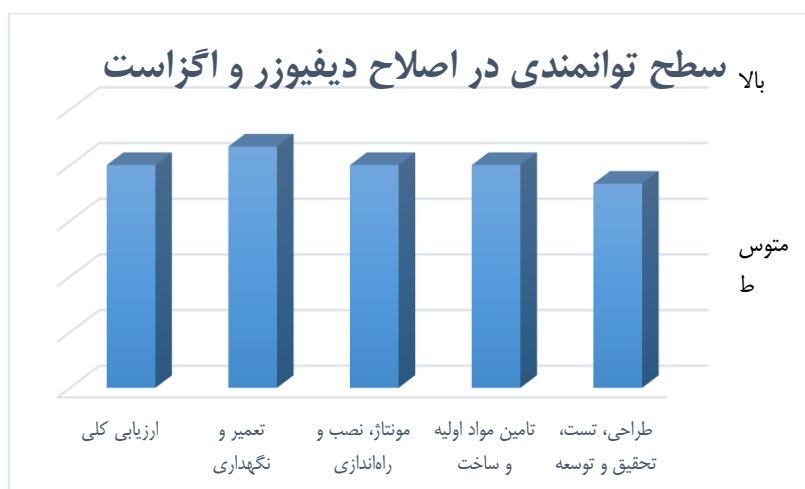
شکل ۵۳-۲. ارزیابی سطح توانمندی در آب بند پیشرفته.



شکل ۵۴-۲. ارزیابی سطح توانمندی در آنرودینامیک ۳ بعدی.



شکل ۵۵-۲. ارزیابی سطح توانمندی در افزایش عمر.



شکل ۵۶-۲. ارزیابی سطح توانمندی در اصلاح دیفیوزر و اگزاست.

سبک اکتساب فناوریهای مورد نیاز ارتقاء توربینهای گازی فریم ۹ و V94.2 در جدول ۲-۴۷ و جدول ۲-۴۸ ارائه شده است. جذابیت فناوری براساس نتایج اولویت بندی پکیجهای ارتقاء (جدول ۲-۴۳ و جدول ۲-۴۶) بدست آمده است. برای تعیین سطح توانمندی در فناوری نیز از نظرات نخبگان این صنعت که طی پرسشنامه پیوست - (ب) حاصل گردید (شکل ۲-۵۳ الی شکل ۲-۵۶) استفاده شده است.

جدول ۲-۴۷. سبک توسعه فناوریهای توربینهای 9E

سبک توسعه	اولویت	جذابیت	ارزیابی کلی توانمندی	فناوریهای توسعه مورد نیاز
تحقیق و توسعه داخلی همکاری فناورانه تحقیق و توسعه داخلی تحقیق و توسعه داخلی	۲	بالا بالا بالا متوسط	متوسط-بالا متوسط-پایین متوسط متوسط	آب بند هانی کامب آب بند برآش توربین آب بند فناشونده آب بند پارچه ای
همکاری فناورانه	۳	متوسط	متوسط-پایین	خنک کاری پیشرفته پره ها و هوای ثانویه طراحی آئرو دینامیک پیشرفته مرحله آخر طراحی جدید شرادد بلاکهای ۱
تحقیق و توسعه داخلی	۱	بالا بالا	متوسط-بالا	مواد پیشرفته پوششهای پیشرفته DVC-TBC, GT33, ETBC
تحقیق و توسعه داخلی	۴	پایین	بالا	اصلاح دیفیوزر و اگزاست

جدول ۲-۴۸. سبک اکتساب فناوریهای توربین گازی V94.2 زیمنس.

سبک توسعه	اولویت	جذابیت	ارزیابی کلی توانمندی فناورانه	فناوریهای توسعه مورد نیاز
تحقیق و توسعه داخلی تحقیق و توسعه داخلی همکاری فناورانه	۲ ۱ ۲	بالا بالا بالا	متوسط متوسط-بالا متوسط-پایین	طراحی آئرو دینامیک پیشرفته Si3D مراحل ۱ و ۲ طراحی خنک کاری پیشرفته طراحی آئرو دینامیک پیشرفته Si3D مراحل ۳ و ۴
تحقیق و توسعه داخلی	۱	بالا	بالا	ارتقاء به مواد و پوشش پیشرفته
همکاری فناورانه	۲	متوسط	متوسط-پایین	دمپرهای اصطکاکی پیشرفته
همکاری فناورانه	۵	متوسط	پایین	سیستم کنترل هیدرولیکی لقی
تحقیق و توسعه داخلی	۳	پایین	متوسط-بالا	آب بندهای بهینه
تحقیق و توسعه داخلی	۴	بالا	بالا	(اصلاح یاتاقان تراست، طراحی جدید پوسته داخلی و محفظه اختلاط، اصلاح مشعل، اصلاح air intake)

ردیف آخر جدول فوق مربوط به سایر اصلاحات مورد نیاز است که مربوط به بخش داغ نمی‌شود. سبک اکتساب فناوریهای ارتقاء توربینهای گازی میتسویشی نیز در جدول ۴۹-۲ ارائه شده است که عمدتاً بر پایه خرید فناوری است.

جدول ۴۹-۲. سبک اکتساب فناوریهای توربین گازی میتسویشی.

فناوریهای توسعه مورد نیاز	ارزیابی کلی توانمندی فناوریانه	جذابیت	اولویت	سبک توسعه
فناوریهای آنرویدینامیک و خنک کاری پیشرفته	متوسط به پایین	پایین	۴	عدم توسعه یا خرید
فناوری آب بند پیشرفته برایش و E	متوسط به پایین	متوسط	۳	فناوری
فناوری آب بند فناشونده	متوسط	بالا	۲	
فناوریهای ارتقاء عمر با مواد و پوشش پیشرفته	متوسط به بالا	بالا	۱	تحقیق و توسعه داخلی

۳- تدوین نقشه راه توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی

۱-۳- مقدمه

نقشه راه توسعه فناوری بخش داغ مجموعه اقدامات فنی و غیرفنی و سیاستهای اجرایی جهت دستیابی به اهداف کلان و چشم انداز توسعه است. در فاز دوم این مطالعات [۴۷]، اهداف کلان توسعه فناوری و راهبردهای توسعه مشخص گردید. بر مبنای اهداف کلان توسعه فناوری، پکیجهای ارتقاء توربینهای گازی اصلی کشور ارزیابی فنی و اقتصادی گردید و اولویتهای فناوریهای مورد نیاز جهت توسعه مشخص شد. جهت توسعه فناوریها لازم است مجموعه اقدامات غیرفنی و سیاستهای توسعه پیش گرفته شود و همچنین مجموعه ای از اقدامات فنی توسعه اجرا گردد. در این بخش پس از مرور مفاهیم نقشه راه، سیاستهای پیشنهادی و متولی مربوطه ارائه خواهند شد و سپس اقدامات فنی که شامل مجموعه پروژهها و طرحهای فناوری است شرح داده خواهد شد.

۲-۳- مرور ادبیات: مفاهیم نقشه راه

۱-۲-۳- مبانی

رهنگاشت برنامه ای راهبردی است که به توصیف گامهای مورد نیاز یک سازمان برای دستیابی به اهداف و خروجیهای بیان شده، می پردازد. این ابزار به وضوح روابطی میان فعالیتها و اولویتهای تصویر می کند تا در کوتاه مدت، میان مدت و بلندمدت پیاده سازی شوند. به علاوه یک رهنگاشت اثربخش شامل سنجها^{۴۷} و نقاط عطف^{۴۸} می باشد به طوری که امکان پایش منظم پیشرفت به سوی اهداف غایی رهنگاشت، به وجود آید.

رهنگاشتها انواع گوناگونی دارند. رهنگاشتهای مختص فناوری مقصودشان حمایت از توسعه یک نوع خاصی از فناوری می باشد. افرادی که به طور معمول در این فرآیند همکاری می کنند، شامل کارشناسان فنی، سیاستگذاران، تحلیلگران انرژی و پژوهشگران دانشگاهی می باشند که گرد هم می آیند تا به طراحی اهداف عملکردی، مسیرهای کاری^{۴۹}، اولویتهای و چارچوبهای زمانی برای تحقیق، توسعه، رونمایی و پیاده سازی^{۵۰} یک فناوری، بپردازند.

⁴⁷ metrics

⁴⁸ milestones

⁴⁹ Pathways

⁵⁰ Research, development, demonstration and deployment (RDD&D)

تعریف آژانس بین‌المللی انرژی از رهنگاشت فناوری عبارت است از یک مجموعه پویا از نیازمندی‌های فنی، سیاستی، قانونی، مالی، بازاری و سازمانی شناسایی شده توسط کلیه ذی‌نفعان درگیر در تدوین رهنگاشت. تلاش‌ها بایست معطوف به تسهیم بهتر کلیه اطلاعات مرتبط با تحقیق، توسعه، رونمایی و پیاده‌سازی یک فناوری بین شرکت‌کنندگان باشد [۴۸]. در ادامه تعاریف برخی از عبارات ارائه شده است:

- رهنگاشت: نوعی خاص از برنامه‌ریزی راهبردی ناظر بر طرح‌ریزی مجموعه فعالیت‌هایی است که یک سازمان می‌تواند طی چارچوب‌های زمانی خاص، برای دستیابی به اهداف و خروجی‌های بیان شده تعهد کند.
 - رهنگاری: فرآیند تکاملی که طی آن یک رهنگاشت خلق، اجرا، پایش و در صورت لزوم به‌روزرسانی می‌شود.
 - ذی‌نفعان: افراد، سازمانها و نهادهایی که در تحقق توسعه و پیاده‌سازی رهنگاشت ذی‌نفع‌اند، مانند نمایندگان دولت، صنعت، دانشگاه و سازمان‌های مردم‌نهاد.
 - اجرا: فرآیند عملیاتی کردن رهنگاشت به واسطه انجام پروژه‌ها و اقدامات معطوف به خرده فعالیت‌ها و اولویت‌ها و همچنین به واسطه پایش پیشرفت با استفاده از یک سامانه ردگیری.
- مخاطبان رهنگاشت بسته به نوع سندی که تدوین می‌شود تغییر می‌کنند. برای رهنگاشت‌های فناوری انرژی در سطح ملی، مخاطبان ممکن است شامل موارد زیر باشند:
- تصمیم‌سازان دولتی و ملی در وزارتخانه‌های انرژی، محیط زیست، صنعت، منابع طبیعی و امور زیربنایی
 - تصمیم‌سازان دولتی و ملی در وزارتخانه‌های دارایی یا امور اقتصادی معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری، سازمان استاندارد
 - سیاست‌گذاران بخشی، استانی و محلی و تنظیم‌گران ملی
 - تصمیم‌سازان بخش انرژی، به ویژه از صنایعی که مقادیر زیادی از انرژی را تولید یا مصرف می‌کنند (مانند صنعت برق، حوزه‌های منابع طبیعی و کشاورزی، و صنایع انرژی بر)
 - کارشناسان پیشروی علمی، مهندسی، سیاست‌گذاری، علوم اجتماعی و کسب و کار که مشغول در پژوهش روی فناوری‌های خاص انرژی و سیاست‌های پشتیبان و مکانیسم‌های مالی مورد نیاز برای تسریع تجاری‌سازی می‌باشند
 - سازمان‌های مردم‌نهاد درگیر در پژوهش و حمایت از انرژی پاک [۴۹]

۳-۲-۲- تدوین نقشه راه

در این قسمت باید به معرفی (گام‌های) روشی برای تدوین برنامه عملیاتی پرداخت. این روش پیشنهادی باید قادر باشد تا به سؤالات مختلف فرآیند توسعه فناوری که تا این مرحله مورد توجه قرار نگرفته‌اند پاسخ داده شود؛ سؤالاتی نظیر:

- برنامه‌ها برای پاسخ‌گویی به کدام اهداف تدوین و اجرا می‌شود؟
 - برنامه‌ها چگونه اولویت‌ها و ملاحظات تعریف شده در راهبردها، سیاست‌ها و اقدامات را عملیاتی می‌سازند؟
 - گروه‌ها یا نهادهای اصلی هدف (یعنی هویت‌هایی که این قصد تأثیرگذاری بر رفتار آن‌ها را دارد) کدامند؟
 - مجری یا مجریان این برنامه کدامند؟ و نحوه عمل آن‌ها چگونه است؟
 - دوره زمانی اجرای برنامه چقدر است؟
 - منابع موردنیاز و نتایج مورد انتظار از اجرای این برنامه‌ها کدامند؟
- بر مبنای رویکرد چارچوب منطقی و روش تدوین برنامه عملیاتی فناوری از یک طرف، و نیز برنامه اقدامات و سیاست‌های تدوین شده، در این قسمت لازم است تا روش پیشنهادی تدوین برنامه عملیاتی ارائه شود. این روش پیشنهادی متشکل از گام‌های زیر خواهد بود:

- در نظرگیری ارتباط برنامه عملیاتی با برنامه اقدامات و سیاست‌ها: هر برنامه عملیاتی در ارتباط با یک و چند هدف بالادستی نوشته می‌شود. به عبارت دیگر، هدف اولیه یک سند توسعه فناوری در ابتدا برآورده ساختن برنامه اقدامات و سیاست‌ها تعریف شده در مراحل قبل است. با توجه به منطقی که در فصول پیشین به عنوان فرآیند تدوین اسناد ملی راهبردی بیان شد، تدوین برنامه‌های عملیاتی نیز باید با توجه و در نظرگیری این فرآیند انجام گردد. برنامه‌های تدوین شده در مرحله اول باید همراه با اهداف کلان و خرد تعریف شده در مراحل قبلی باشد. در مرحله دوم، برنامه‌های عملیاتی تدوین شده باید با راهبردها، اقدامات و سیاست‌های تدوین شده همخوان باشد. این کار را می‌توان با تحلیل موانع شناسایی شده در مرحله برنامه اقدامات و سیاست‌ها به انجام رساند. با در نظر داشتن موانع به شکل مشکلاتی که باید برای آن‌ها راه حل ارائه گردد، یک مشکل پیچیده به شکل آسانی حل خواهد شد، اگر علت و اثرات آن به طور کامل مورد تحلیل قرار گرفته باشد.

- تعیین پروژه‌ها: در این گام پروژه‌های ضروری به منظور برآورده کردن اهداف کلان و خرد و نیز محقق نمودن راهبردها، اقدامات و سیاست‌ها تعیین می‌شود. این پروژه‌ها، فعالیت‌هایی هستند که توسط کنش‌گران توسعه فناوری و در راستای راهبردهای کلان و سیاست‌های نوآوری تعریف می‌شود. اگر پروژه‌ها به طور صحیحی برنامه‌ریزی شوند، نتایج مورد انتظار از انجام آن‌ها حاصل، و در نتیجه، اهداف میان‌مدت و بلندمدت نیز محقق

می‌گردد. پروژه‌ها در فرآیندی توافقی و تعاملی و براساس نظر ذینفعان استخراج می‌گردد. اقداماتی تدوین شده در مراحل قبل هم راهنمای مناسبی برای طراحی پروژه‌ها هستند. به عبارت دیگر، برای تحقق هر اقدام یا سیاست اجرایی، وجود مجموعه‌ای از پروژه‌ها ضروری است.

• تعریف دوره‌های زمانی: هرچند پایداری و قابل پیش‌بینی بودن گاه به‌عنوان نکات مثبت در بعضی از انواع برنامه‌های حمایتی برشمرده می‌شود، اما در عمل و به‌دلایل مختلف بهتر است این برنامه‌ها برای دوره‌های زمانی مشخص و محدود طراحی و اجرا شوند. از مهمترین مزایای محدود بودن زمان برنامه‌ها، می‌توان به روشن و محدود بودن بودجه موردنیاز، فراهم شدن امکانات ارزیابی بهتر نتایج و دستاوردها و امکان اصلاح، بازنگری و ایجاد تطابق بیشتر در برنامه‌ها با شرایط زمان اشاره کرد. بر این اساس، لازم است تا دوره زمانی اجرایی هر برنامه را در این گام مشخص نمود.

• برنامه‌ریزی منابع: برنامه‌ریزی منابع با هدف اجرایی نمودن اقدامات تعریف شده صورت می‌پذیرد. این برنامه‌ریزی را باید قبل از اجرایی کردن اقدامات به انجام رساند. منظور از منابع موردنیاز در این گام دانش فنی، ابزارآلات و تجهیزات و منابع مالی است. در صورت وجود منابع موردنیاز، برنامه‌ریزی منابع بیانگر چگونگی و اولویت‌بندی استفاده از آن‌هاست. اما در شرایطی که منابع موجود نباشد، برنامه‌ریزی به معنی چگونگی دستیابی به منابع از طریق خرید، همکاری و یا تولید منابع موردنیاز است.

• ترسیم رهنگاشت برنامه عملیاتی: پس از تعریف پروژه‌ها و برنامه‌های عملیاتی، برنامه‌ریزی منابع و تعیین مجریان، در گام آخر برنامه عملیاتی لازم است تا ارتباط میان آن‌ها مشخص شده و خلاصه نتایج آن در قالب رهنگاشت برنامه عملیاتی ارائه شود.

حال با توجه به مطالب ذکر شده و معرفی خلاصه ای از روش کار و نحوه کارکرد، در ادامه به بررسی و بکارگیری این مطالب در تدوین نقشه راه توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی پرداخته خواهد شد.

۳-۳- سیاستهای پیشنهادی توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی

نیروگاهی

براساس بررسی و مطالعه فاز ۲ این مطالعات، اهداف کلان و راهبردهای کلی نتیجه گردید.

جدول ۱-۳. اهداف کلان نهایی و راهبردهای کلی توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی.

عناصر اهداف کلان	راهبرد و روش کلی دستیابی
دستیابی به نیروی انسانی توانمند، خلاق و متخصص در زمینه طراحی، ساخت و مونتاژ ارتقاء توربینهای گازی قدیمی	انجام پروژه های توسعه فناوری و اجرای پکیجهای ارتقاء توربینهای گازی، اقدامات غیرفنی
دستیابی به بیش از ۳۰ درصد بهبود فاصله زمانی تعمیرات و کاهش هزینه های تعمیرات و نگهداری	انجام پروژه های توسعه فناوری و اجرای پکیجهای ارتقاء فناوری توربینهای گازی
دستیابی به فناوریهای پوشش دهی پیشرفته توربین گازی	
دستیابی به دانش فنی طراحی آئرو دینامیک پیشرفته توربینهای گازی کلاس E	
دستیابی به صرفه جویی ارزی به میزان ۶۰ درصد از هزینه های ارتقاء	
دستیابی به حداکثر توان و پایداری واحد در ماههای گرم سال	تعریف و اجرای پروژه های مطالعاتی، فنی و آماری مرتبط
دستیابی به دانش فنی بهبود پایداری و آمادگی توربینهای گازی در کارکرد با سوختهای مایع	

دستیابی به اهداف کلان با انجام اقدامات فنی و غیرفنی و در پیش گرفتن سیاستهایی در مسیر راهبردهای توسعه فناوری میسر است. سیاستها و اقدامات غیرفنی پیشنهادی جهت توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی در جدول ۲-۳ ارائه شده است. نظارت بر اجرای سیاستهای توسعه فناوری، در طرح توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی می تواند صورت گیرد. در جدول ۳-۳، برآوردی از هزینه برخی از سیاستها و اقدامات غیرفنی ارائه شده است.

جدول ۲-۳. سیاستها و اقدامات در برابر چالشهای توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی

۱. تنظیم ECA برای تضمین بازگشت سرمایه گذاری ارتقاء (خرید با قیمت حمایتی و تضمینی)
۲. اعطاء تسهیلات وامهای کم بهره به نیروگاهها در جهت پیاده سازی پکیجهای ارتقاء
۳. ایجاد کارگروه مشترک پژوهشگاه نیرو با برق حرارتی جهت دریافت بازخوردها و ساماندهی و تعیین اولویتهای نیازهای فناورانه بخش داغ توربین
۴. همکاری مشترک شرکت برق حرارتی و پژوهشگاه نیرو جهت تعریف و اجرای پروژه های فناورانه دانشگاهی و صنعتی
۵. اعطاء تسهیلات و وامهای کم بهره به شرکتهای تحقیق و توسعه صنعتی
۶. اعطاء مشوقها، تسهیلات و اولویتهای به همکاری مشترک مراکز تحقیق و توسعه صنعتی با مراکز دانشگاهی و دانش بنیان
۷. ایجاد مکانیزمهای اعطاء تسهیلات و حمایتها ویژه همکاری مشترک فناوری با مراکزی همانند پژوهشگاه نیرو
۸. پیش خرید پکیجهای ارتقاء فناوری توسط وزارت نیرو

۹. اختصاص واحدهای ویژه جهت پیاده سازی مطالعات فنی توسعه فناوری
۱۰. اختصاص واحدهای ویژه جهت پیاده سازی پکیجهای ارتقاء توربینهای گازی
۱۱. تخصیص مشوقها جهت جبران هزینه‌های واحدهای نیروگاهی پیشرو نصب پکیجهای ارتقاء
۱۲. اعزام کارشناسان فنی تحقیق و توسعه جهت آموزش تخصصی ساخت و مونتاژ توربین گازی
۱۳. حمایت از انجام پروژه‌های مشترک تحقیق و توسعه با شرکتهای معتبر اصلی جهت کسب دانش فنی و دستیابی به نیروی انسانی توانمند، خلاق و متخصص در طراحی توربین
۱۴. همکاری مشترک پژوهشگاه نیرو با مراکز معتبر متناظر در دنیا (همچون EPRI، CEPRI، KEPRI، ...) جهت ارائه برنامه ملی توانمندسازی دانشگاه‌ها و مراکز دانش بنیان

جدول ۳-۳. برآوردی از هزینه برخی از اقدامات غیرفنی پیشنهادی.

هزینه (میلیون ریال)	مدت زمان (ماه)	اقدام
	۶۰	ایجاد کارگروه مشترک پژوهشگاه نیرو با برق حرارتی جهت دریافت بازخوردها و ساماندهی و تعیین اولویتهای نیازهای فناورانه بخش داغ توربین
	۱۰	همکاری مشترک شرکت برق حرارتی و پژوهشگاه نیرو جهت تعریف و اجرای پروژه‌های فناورانه دانشگاهی و صنعتی
	۲۴	اعزام کارشناسان فنی تحقیق و توسعه جهت آموزش تخصصی ساخت و مونتاژ توربین گازی
	۳۶	همکاری مشترک پژوهشگاه نیرو با مراکز معتبر متناظر در دنیا (همچون EPRI، CEPRI، KEPRI، ...) جهت ارائه برنامه ملی توانمندسازی دانشگاه‌ها و مراکز دانش بنیان

۴-۳- اقدامات فنی ویژه

اقدامات فنی شامل مجموعه‌ای از پروژه‌ها و طرحهای توسعه فناوری است که خود به دو دسته ویژه و عمومی تقسیم می‌گردد. اقدامات فنی ویژه، شامل اقدامات توسعه فناوریهای مورد نیاز برای پکیجهای ارتقاء عملکرد و توان توربینهای F9 و V94.2 است که ارزیابی آنها در گزارش فاز ۲ [۴۷] ارائه گردید و بیشتر به فناوریهای طراحی توربین گازی اشاره دارد. اقدامات عمومی شامل مواردی است که توسعه فناوریهای عمومی بهره‌برداری و ساخت را در بردارد.

مجموعه پروژه‌های توسعه فناوریهای ویژه توربینهای گازی V94.2 در جدول ۳-۴ ارائه شده است. سبک توسعه از گزارش فاز ۲ [۴۷] آورده شده است. هزینه و مدت زمان توسعه و مجری پیشنهادی نیز در جدول نشان داده شده است. هزینه‌های توسعه فناوری از طریق کسب و کار طرح و بازگشت هزینه ارتقاء و اجرای پکیجهای نیروگاهی حاصل می‌شود.

سرمایه گذاری اولیه می تواند در کنسرسیومی از شرکتهای خصوصی و دولتی حاصل شود که مجریان پیشنهادی در جدول ارائه شده است.

جدول ۴-۳. مجموعه فناوریهای ویژه توربین گازی V94.2 جهت توسعه.

فناوریهای توسعه مورد نیاز	سبک توسعه	هزینه سرمایه گذاری (میلیون ریال)	مدت زمان	مجری
پره های آنرودینامیک پیشرفته Si3D مراحل ۱ و ۲	تحقیق و توسعه داخلی		۲۴	کنسرسیوم مپنا، پژوهشگاه نیرو-شرکتهای دانش بنیان
سیستم خنک کاری پیشرفته	تحقیق و توسعه داخلی		۱۲	"
پره های آنرودینامیک پیشرفته Si3D مراحل ۳ و ۴ دمپره های اصطکاکی پیشرفته	همکاری فناورانه		۱۸	"
ارتقاء به مواد و پوشش پیشرفته	تحقیق و توسعه داخلی		۱۸	پژوهشگاه نیرو-شرکتهای دانش بنیان
سیستم کنترل هیدرولیکی لقی	انتقال فناوری		۱۲	مپنا
(آببندهای بهینه، اصلاح یاتاقان تراست، طراحی جدید پوسته داخلی و محفظه اختلاط، اصلاح مشعل، اصلاح air intake)	تحقیق و توسعه داخلی		۱۸	کنسرسیوم مپنا، پژوهشگاه نیرو-شرکتهای دانش بنیان
مجموع هزینه های توسعه				

دستیابی به فناوری براساس سبک توسعه، خود شامل مراحل از طراحی، ساخت نمونه آزمایشی و ساخت نمونه صنعتی است که در جدول ۵-۳ ارائه شده است.

جدول ۵-۳. توسعه فناوریهای طراحی، تست و ساخت ویژه

فناوریهای توسعه مورد نیاز	زیرمراحل	اكتساب هزینه ها	محل بازگشت هزینه
تحقیق و توسعه داخلی	طراحی و شبیه سازی ساخت نمونه آزمایشگاهی و تست	سرمایه گذاری مشترک ^(۱)	سود فروش محصول به نیروگاه
همکاری فناورانه خارجی	طراحی اولیه و مفهومی با رویکرد همکاری فناورانه همکاری مشترک با شرکت خارجی با افزایش تدریجی سهم داخلی	خرید پکیج توسط نیروگاه سرمایه گذاری مشترک ^(۲)	افزایش فروش سود فروش محصول به نیروگاه
انتقال فناوری	خرید و انتقال فناوری (بومی سازی)	خرید پکیج توسط نیروگاه	افزایش فروش و کاهش مصرف سوخت

(۱) سرمایه گذاری مشترک بخش دولتی-خصوصی، پژوهشگاه نیرو و شرکتهای پیشرو صنعتی یا دانش بنیان

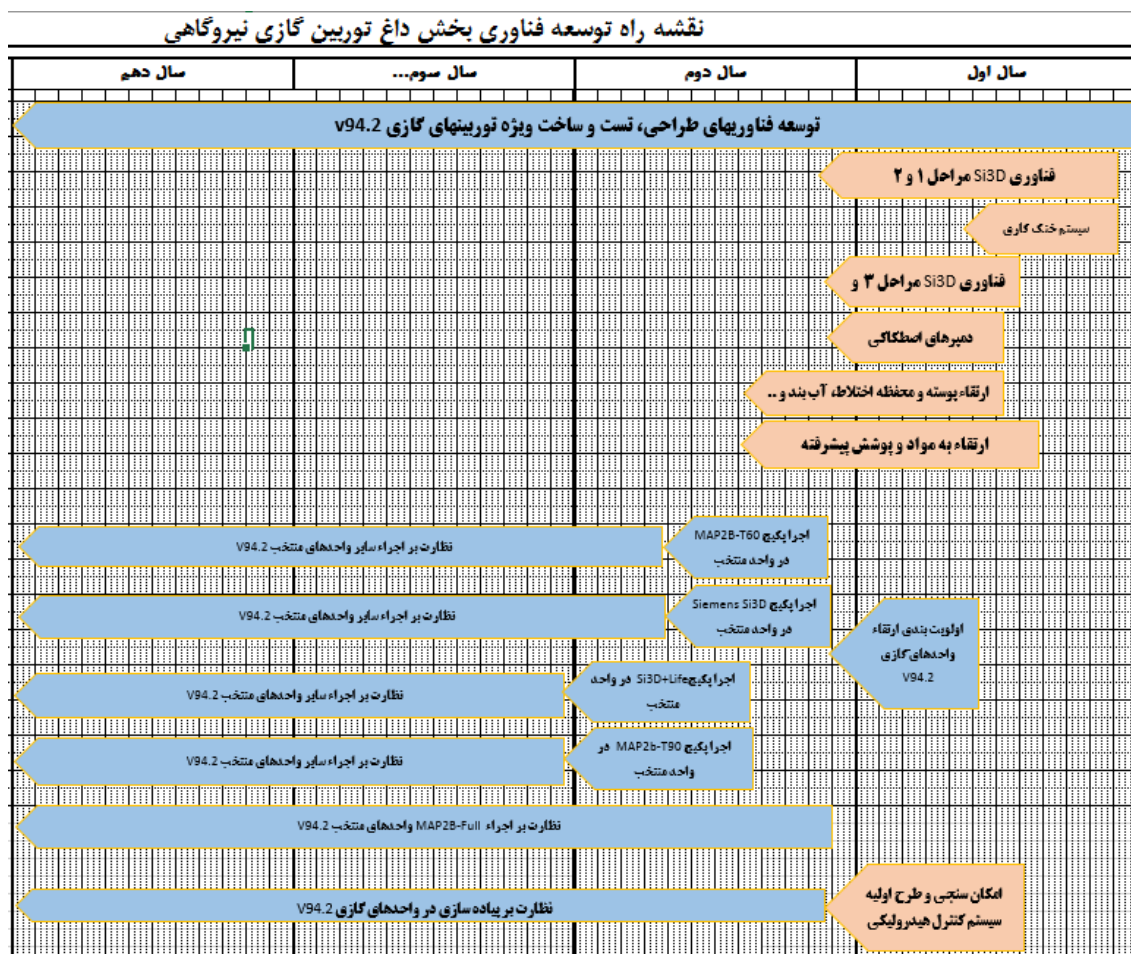
(۲) سرمایه گذاری مشترک جهت طراحی و توسعه فناوری با شرکت پیشرو خارجی

فناوریهای ویژه مربوط به پکیجهای ارتقاء اولویت دار توربین گازی F9 در جدول ۳-۶ ارائه شده است. هزینه توسعه فناوری بر مبنای مصاحبه متخصصین و تقریبی از روی هزینه های قطعه نو حاصل شده است.

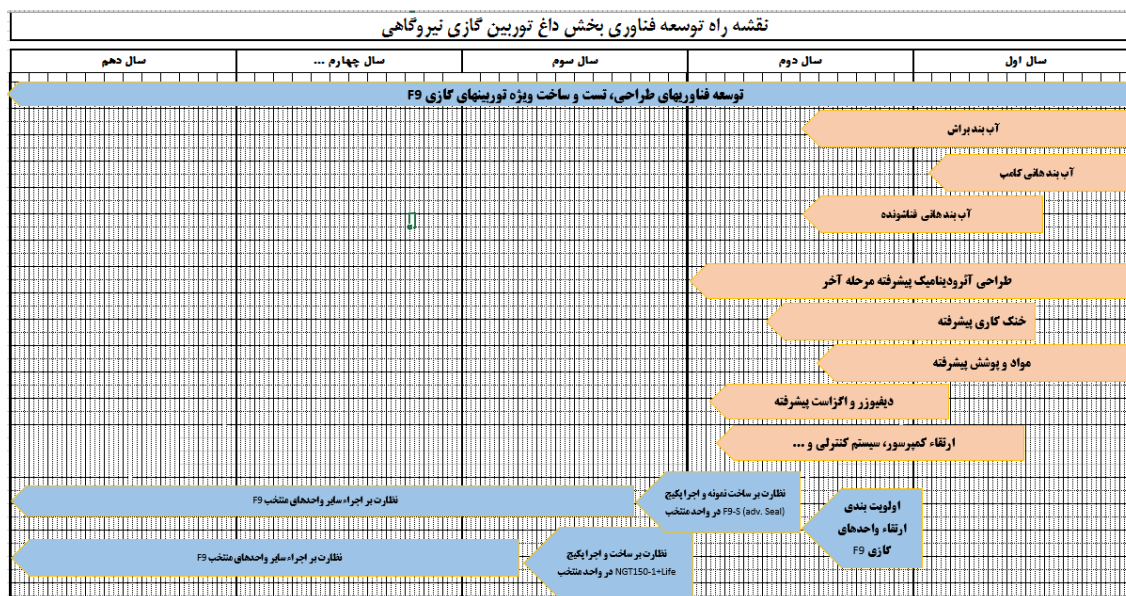
جدول ۳-۶. مجموعه فناوریهای ویژه توربین گازی F9 جهت توسعه.

فناوریهای توسعه مورد نیاز	سبک توسعه	هزینه سرمایه گذاری (میلیون ریال)	مدت زمان (ماه)	مجری
آببند هائی کامب	تحقیق و توسعه داخلی		۱۲	کنسرسیوم پژوهشگاه نیرو - شرکتهای R&D صنعتی و شرکت تعمیرات نیروگاهی
آببند برایش توربین	همکاری فناورانه		۱۸	"
آببند فناشونده	تحقیق و توسعه داخلی		۱۲	"
آببند پارچه ای	تحقیق و توسعه داخلی		۱۸	"
خنک کاری پیشرفته پره ها و هوای ثانویه طراحی آئرو دینامیک پیشرفته مرحله آخر طراحی جدید شراد بالکهای ۱	همکاری فناورانه		۲۴	"
مواد پیشرفته پوششهای پیشرفته DVC-TBC, GT33, ETBC	تحقیق و توسعه داخلی		۱۸	"
دیفیوزر و اگزاست پیشرفته	تحقیق و توسعه داخلی		۱۲	"
(ارتقاء سیستم کنترلی، ارتقاء ردیفهای اول کمپرسور و سایر اصلاحات)	تحقیق و توسعه داخلی		۲۴	"
مجموع هزینه های توسعه			۳۶	

نقشه راه توسعه فناوریهای ویژه توربینهای گازی V94.2 و F9 به ترتیب در شکل ۳-۱ و شکل ۳-۲ ارائه شده است. لازم به ذکر است که اجرا ارتقاءهای در توربینهای گازی تابع شرایطی همچون شرایط واحد، عمر و بودجه است و براساس اطلاعات فنی حال حاضر نیروگاههای دارای قابلیت ارتقاء می تواند برنامه ریزی ۱۰ الی ۲۰ ساله داشته باشد که در این مطالعه، ۱۰ سال در نظر گرفته می شود.



شکل ۱-۳. نقشه راه توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی V94.2.



شکل ۲-۳. نقشه راه توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی F9.

۵-۳- اقدامات فنی عمومی

پروژه‌های عمومی توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی که از اهداف کلان، راهبردها، مصاحبه‌ها و مطالعه نیازمندیهای داخل کشور نتیجه شده است به شرح زیر است که شامل مجموعه پروژه‌های توسعه فناوریهای عمومی بهره‌برداری (آیتمهای ۱ الی ۷ و ۹) و فناوریهای عمومی ساخت (آیتم ۸) است:

- ۱- توسعه فناوری جهت دستیابی به حداکثر توان و پایداری واحد در ماههای گرم سال
- ۲- توسعه فناوری جهت دستیابی به دانش فنی بهبود پایداری و آمادگی توربینهای گازی در کارکرد با سوختهای مایع
- ۳- بهبود محدودیتهای بهره‌برداری قطعات داغ توربین گازی با تعیین عمر معادل وزن‌دهی شده (WEOH) و اصلاح زمان بازرسی و تعمیرات اساسی
- ۴- آسیب‌شناسی و روشهای شناسایی عیوب فرآیندی و بهره‌برداری از قطعات داغ دوار توربین گازی جهت کاهش هزینه‌های تعمیر و بهبود عمر و آمادگی واحد
- ۵- شناسایی و رفع اضمحلال دائمی عملکرد و توان بخش داغ توربینهای گازی F9 و V94.2
- ۶- بررسی و مطالعه مکانیزمهای آسیبهای ایستا در توربینهای گازی ویژه پیک و ارائه راهکار بهبود وضعیت
- ۷- رفع محدودیتهای تولید توان واحدهای حرارتی سیکل ترکیبی V94.2 با بازطراحی و بهینه‌سازی سیکل
- ۸- مجموعه پروژه‌های مواد و پوششهای پیشرفته
- ۹- مجموعه پروژه‌های بررسی روشهای شناسایی مکانیکی عیوب تعمیر و نگهداری و تعیین فرآیند بهینه نصب و مونتاژ اجزاء داغ توربین گازی
- ۱۰- تقویت توان و عملکرد توربین گازی پایه F9 با تزریق بخار، طراحی سیکل و ارزیابی فنی اقتصادی

مواد و پوشش و روشهای شناسایی عیوب مکانیکی خود متشکل از چندین پروژه هستند. شرح مختصری از این پروژه‌ها در ادامه خواهد آمد. توسعه زیرساختی و پایه‌ای پوشش و مواد بخش داغ در سندهای دیگر پیگیری می‌گردد و در این مطالعه به آن پرداخته نمی‌شود. در این مطالعه تنها به چند پروژه کاربردی توسعه‌ای که نیاز به توسعه پایه‌ای ندارد اشاره خواهد شد. شرح مختصری از پروژه‌ها و طرحهای عمومی توسعه فناوری در ادامه ارائه خواهد شد.

۱- توسعه فناوری جهت دستیابی به حداکثر توان و پایداری واحد در ماههای گرم سال

سومین اولویت اهداف کلان و مورد نیاز از نظر اکثر نخبگان، دستیابی به حداکثر توان و به ویژه پایداری واحد در زمان تولید فصول گرم است. پیک تولید برق در تابستان شرایط ویژه‌ای الزام می‌کند تا اغلب واحدها با حداکثر توان تولیدی و

در برخی ساعات با بار پیک در شبکه حضور داشته باشند. از سوی دیگر لازم است واحدها در طی سال آمادگی و قابلیت اطمینان جهت تولید برق در پیک را داشته باشند. هر گونه خروج واحدهای وظیفه سنگین در پیک تابستان فشار سنگینی به شبکه برق وارد می‌کند از این رو لازم است بین حداکثر تولید توان و قابلیت اطمینان واحد توازن کافی بوجود آید و شرایط توربین و سیستمهای جانبی در حالتی مطمئن قرار گیرد تا دچار خروج نگردد. قابلیت اطمینان خود تابعی از مدت زمان بهره‌برداری و فاصله تا تعمیرات است. هدف از این پروژه تعیین عوامل اصلی موثر بر تولید توان و قابلیت اطمینان واحدهای گازی در ماههای گرم سال و راهکاری بهبود وضعیت است و با الویت‌بندی و امکان‌سنجی فنی برای توربینهای گازی داخل کشور، راهکارهای منتخب در دو توربین متداول نمونه V94.2 و F9 پیاده‌سازی شده و جهت کاربرد در سایر واحدهای گازی توسعه یابند.

۲- توسعه فناوری جهت دستیابی به دانش فنی بهبود پایداری و آمادگی توربینهای گازی در کارکرد با سوختهای مایع

این موضوع جزء اولویتهای توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی است. با توجه به کمبود گاز، نیاز به مصرف سوخت مایع در توربینهای گازی کشور وجود دارد. استفاده از سوخت مایع، کاهش قابل توجهی در عمر بخش داغ توربین گازی نیروگاهی دارد و به ویژه در زمانهای نزدیک به تعمیرات اساسی می‌تواند ریسک بالای آسیب و خرابی را به همراه داشته باشد. بررسی محدودیتهای استفاده از سوختهای مایع، پایداری و آمادگی واحدهای گازی و تدوین راهکارهای عملی بهبود پایداری، امکان‌سنجی و اولویت‌بندی راهکارهای منتخب با توجه به وضعیت ناوگان نیروگاهی گازی کشور لازم است انجام گیرد. با انجام شبیه‌سازی و بررسی تئوریک راهکارهای منتخب و سپس با پیاده‌سازی آنها در واحد نمونه گازی و دریافت بازخورد و مشاهده نتایج واقعی، در انتها دستورالعمل بهره‌برداری پایدار و ایمن از واحدهای گازی در کارکرد با سوخت مایع استخراج و جهت ابلاغ به سایر واحدهای گازی مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

۳- بهبود محدودیتهای بهره‌برداری قطعات داغ توربین گازی با تعیین عمر معادل وزن‌دهی شده (WEOH) و اصلاح زمان بازرسی و تعمیرات اساسی

افزایش فاصله زمانی بین تعمیرات اساسی و بالطبع افزایش عمر، اولویت اول توسعه فناوریهای بخش داغ توربینهای گازی نیروگاهی براساس نظر متخصصین و بهره‌برداران واحدهای گازی کشور است. شرکتهایی معتبر همچون آنسالدو توانسته‌اند با شبیه‌سازی و تحلیل‌های مکانیکی دقیق سازه‌ای حرارتی در بارهای میانی و در شرایط گذرای استارت واحد و همچنین با استفاده از بازخوردها و شرایط واقعی قطعات توربین و بهینه‌سازی خنک‌کاری مسیر داغ و نصب قطعات بهبودیافته در مسیر گاز داغ، افزایش قابل توجهی در فاصله زمانی بین تعمیرات اساسی و کاهش زیادی در هزینه‌های تعمیر و نگهداری داشته باشند. در این طرح نیز اصلاحات نرم‌افزاری و شبیه‌سازی دقیق رژیمهای مختلف بهره‌برداری و استفاده از بازخوردهای آماری و مشاهدات واقعی برای تعیین عمر وزن‌دهی شده بکار رفته و نتایج در واحد گازی نمونه پیاده‌سازی خواهد شد.

۴- آسیب‌شناسی و روشهای شناسایی عیوب فرآیندی و بهره‌برداری از قطعات داغ دوار توربین

گازی جهت کاهش هزینه‌های تعمیر و بهبود عمر و آمادگی واحد

- ۱-۴- شناسایی عیوب و پایش پیش‌بینانه مسیر گاز داغ در توربینهای گازی
- ۲-۴- شناسایی وقوع هامپینگ در اتاق احتراق V94.2 و بررسی اثر عمر روی پوشش و قطعات دوار توربین و ارائه راهکارهای عملی کاهش اثرات یا رفع آن
- ۳-۴- مانیتورینگ وضعیت دمای گاز خروجی توربین گاز در شناسایی عیوب و مشکلات بهره‌برداری توربین گازی و پیاده‌سازی و اجرا در واحد نمونه F9 و V94.2

۵- شناسایی و رفع اضمحلال دائمی عملکرد و توان بخش داغ توربینهای گازی F9 و V94.2

تستهای عملکردی واحدهای گازی نیروگاهی در کشور همچون نیروگاه گازی دماوند نشان می‌دهد که تعدادی از واحدها پس از انجام تعمیرات اساسی و به ویژه افزایش دوره عمر LTE، کاهش توان و بازدهی قابل توجهی را تجربه کنند. این کاهش توان فراتر از کاهش توان معمول این واحدها بر اثر زوال عملکرد ناشی از افزایش عمر و تلفات معمول توربین و یا رسوب‌گذاری روی پره‌های کمپرسور است و به دلایلی همچون تغییر فرم قطعات بخش داغ همچون پوسته مرتبط است. هدف از این پروژه، بررسی میزان و علل کاهش توان در بخش داغ (توربین) واحدهای گازی فریم 9E و V94.2 با وجود بازسازیهای صورت گرفته در آنها و ارائه راه حل جهت حل مشکل است. شبیه‌سازی راهکارهای منتخب جهت شناسایی و رفع مشکل، پیاده‌سازی در واحد منتخب

F9 و V94.2، توسعه ابزارهای شناسایی و اندازه‌گیری زوال عملکرد و توان توربین و توسعه راهکارهای منتخب جهت اجرا در سایر واحدهای گازی در این طرح انجام خواهد شد.

۶- بررسی و مطالعه مکانیزمهای آسیبهای ایستا در توربینهای گازی ویژه پیک و ارائه راهکار بهبود

وضعیت

توربینهای پیک همچون F5 و توربینهای گازی سیکل ساده V94.2 که در شرایط پیک وارد مدار شده و بیش از نیمی از سال خاموش هستند تحت اثر مکانیزمهای خرابی شرایط ایستا همچون خوردگی ناشی از وجود رطوبت و گرد و غبار یا نگهداری نامناسب قرار دارند و موجب بروز خستگی و شکست با نشانه‌هایی همچون لقی پرها می‌گردند. لازم است مطالعات صورت گرفته در این زمینه و راهکارهای ارائه شده برای آن و بررسی آماری عیوب در توربینهای داخل کشور انجام و امکان سنجی و اولویت بندی راهکارها صورت گیرد و با پیاده سازی راهکارها در واحدهای منتخب، دستورالعمل بهره‌برداری با ملاحظات آسیبهای ایستا بدست آمده و جهت ارائه برای سایر واحدهای گازی و نظارت بر اجرای آن توسعه یابد.

۷- رفع محدودیتهای تولید توان واحدهای حرارتی سیکل ترکیبی V94.2 با بازطراحی و بهینه‌سازی

سیکل

عموماً، طراحی واحدهای نیروگاهی برای شرایط ایزو صورت می‌گیرد که در کشورهای نسبتاً گرم همچون ایران فاصله قابل توجهی از لحاظ توان و عملکرد به ویژه در شرایط گرم تابستانی پیدا می‌کند. سیستمهای خنک کن هوای ورودی برطرف کننده بخشی از این افت هستند اما مواردی همچون افت عملکرد کندانسور و یا مناسب نبودن سایز برج خنک کن، موجب محدودیت تولید توان سیکل می‌شود. از سوی دیگر، بررسی میدانی نشان میدهد افزایش توان ناشی از ارتقاء توربینهای گازی در طراحی بخش بخار دیده نشده است. هدف مطالعه، انجام مطالعات بازبینی طراحی نیروگاه برای تطبیق با شرایط گرم، اولویت‌بندی و بررسی فنی و اقتصادی راهکارها و روشهای نرم‌افزاری و سخت‌افزاری بهبود وضعیت

واحدهای موجود V94.2 و پیاده‌سازی در واحد نمونه و توسعه سیکل ترکیبی پیشرفته جهت رفع محدودیتهای تولید توان در سایر نیروگاه‌ها است.

۸- مجموعه پروژه‌های مواد و پوشش‌های پیشرفته

در این طرح مجموعه‌ای از فناوریهای کاربردی که بیشتر مربوط به توسعه کاربرد مواد و پوشش پیشرفته هستند ارائه می‌گردد که از مطالعه مربوط به توسعه فناوریهای شرکت‌های معتبر GE و میتسوبیشی و مطالعات مراکز معتبر نتیجه شده است.

- ۸-۱- کسب دانش فنی تحلیل الاستو پلاستیک ریخته‌گری و فرآیند عملیات حرارتی و پیش‌بینی عیوب ساخت
- ۸-۲- توسعه طراحی و بکارگیری فناوری DS جهت بهبود عمر پره F5 و F9
- ۸-۳- توسعه بانک اطلاعات پیشرفته متالورژیکی و مکانیکی مواد و ابزارهای پیشرفته انتخاب بهینه جهت توسعه مواد با استحکام و دوام بهبود یافته
- ۸-۴- کسب دانش فنی افزایش ضخامت و پایداری پوشش‌های سرامیکی جهت کارکرد در توربینهای گازی داخل کشور
- ۸-۵- توسعه فناوریهای پوشش‌های بسیار صاف پره‌های داغ توربین گازی با هدف بهبود آئرو دینامیک و کاهش رسوب آلودگی (کاربرد نانو برای آینده)
- ۸-۶- طراحی سامانه اتوماسیون و شبیه‌سازی سطوح پیچیده برای پوشش‌دهی پیشرفته با ربات
- ۸-۷- ارائه روشهای جدید لیزری (لیزر دو مرحله‌ای) جهت بهبود کیفیت سوراخکاری خنک‌کاری روی پره‌های پوشش‌دار و افزایش عمر پره

۹- مجموعه پروژه‌های بررسی روشهای شناسایی مکانیکی عیوب تعمیر و نگهداری و تعیین فرآیند

بهینه نصب و مونتاژ اجزاء داغ توربین گازی

- ۹-۱- تدوین دستورالعمل فنی و آماری ثبت و گزارش‌گیری حوادث و رویدادهای خروج واحدهای گازی و آسیب اجزاء و قطعات و اجرا برای نمونه رخداد حادثه نیروگاهی
- ۹-۲- توسعه کاربرد پیرومتر در تعیین عیوب پره‌های داغ توربین گازی (پره‌های داغ تر از دیگر پره‌ها) و اجرا
- ۹-۳- توسعه فناوری سیستم شناسایی آکوستیکی ترک در پره‌های بلند ردیف آخر و تعیین عمر و زمان کارکرد
- ۹-۴- مطالعه و بررسی آماری و میدانی عیوب نصب و مونتاژ اجزاء و قطعات توربین و تدوین راهکارهای بهینه حداقل سازی آسیبها و خرابی

۱۰- تقویت توان و عملکرد توربین گازی پایه F9 با تزریق بخار، طراحی سیکل و ارزیابی فنی

اقتصادی

با تزریق بخار به دیسشارژ کمپرسور و یا تزریق آب یا بخار به محفظه احتراق می‌توان به افزایش قابل توجهی در توان توربین گازی و بهبود نرخ حرارتی به ویژه در فصول گرم سال دست یافت. تزریق بخار تا ۵٪ دبی جرمی هوای دیسشارژ کمپرسور می‌تواند افزایش ۱۸٪-۱۵٪ در توان خروجی و بهبودی حدود ۵٪ در نرخ حرارتی ایجاد نماید. طبق مدارک جی‌ئی [۴۵] تحقیقاتی نیز جهت امکان‌پذیر تزریق تا ۹٪ دبی جرمی هوای کمپرسور در جریان است.

۱-۵-۳- گانت و هزینه پروژه‌های عمومی توسعه فناوری

در ادامه، زیر پروژه‌ها، مدت زمان آنها و هزینه انجام مراحل طرحها و پروژه‌ها ارائه خواهد شد. این پروژه‌ها به صورت پیش‌نویس اولیه تهیه گردید و پس از ارائه و کسب نظر متخصصین نهایی گردید.

جدول ۷-۳. زیر پروژه‌های طرحها و پروژه‌های اقدامات فنی عمومی.

عنوان طرح	عنوان پروژه	مدت زمان	مبلغ (میلیون ریال)
۱- توسعه فناوری جهت دستیابی به حداکثر توان و پایداری واحد در ماههای گرم سال	۱-۱- بررسی فنی و مطالعه محدودیتهای پایداری و تولید توان واحدهای گازی در ماههای گرم سال و تدوین راهکارهای عملی جهت بهینه‌سازی آن	۹	
	۱-۲- امکان‌سنجی و اولویت‌بندی پیاده‌سازی راهکارهای منتخب جهت حداکثر پایداری و کاهش خروج واحدهای گازی کشور در ماههای گرم سال	۶	
	۱-۳- شبیه‌سازی راهکارهای عملی منتخب در واحدهای گازی جهت حداکثر پایداری و رفع محدودیتهای تولید توان در ماههای گرم سال	۶	
	۱-۴- پیاده‌سازی راهکارهای منتخب بهینه‌سازی پایداری و رفع محدودیت تولید توان در ماههای گرم سال در واحد گازی نمونه V94.2	۹	
	۱-۵- پیاده‌سازی راهکارهای منتخب بهینه‌سازی پایداری و رفع محدودیت تولید توان در ماههای گرم سال در واحد گازی نمونه F9	۹	
	۱-۶- توسعه راهکارهای بهینه سازی پایداری و رفع محدودیت تولید توان در ماههای گرم سال جهت پیاده‌سازی در سایر واحدهای گازی منتخب	-	
۲- توسعه فناوری جهت دستیابی به دانش فنی بهبود پایداری و آمادگی توربینهای گازی در کارکرد با سوختهای مایع	۲-۱- بررسی و مطالعه محدودیتهای پایداری و آمادگی واحدهای گازی در کارکرد با سوخت مایع و سوخت نامتعارف و انتخاب راهکارهای عملی بهبود آن	۶	
	۲-۲- امکان‌سنجی و اولویت‌بندی پیاده‌سازی راهکارهای منتخب جهت بهبود پایداری و آمادگی واحدهای گازی کشور در کارکرد با سوخت مایع	۶	
	۲-۳- شبیه‌سازی راهکارهای عملی منتخب جهت بهبود پایداری و آمادگی واحدهای گازی در کارکرد با سوخت مایع	۹	
	۲-۴- پیاده‌سازی راهکارهای منتخب بهبود پایداری و آمادگی واحدهای گازی نمونه در کارکرد با سوخت مایع	۶	

۶	۲-۵- تدوین دستورالعمل بهره‌برداری پایدار از واحدهای گازی در کارکرد با سوخت مایع	
---	---	--

۶	۳-۱- بررسی فنی و مطالعه روشهای تعیین عمر و عمر معادل وزن‌دهی شده در رژیمهای مختلف بهره‌برداری توربینهای گازی پایه GE و زیمنس بر پایه فناوریهای نوین دنیا و فناوریهای موجود در داخل کشور و تعیین راهکارهای بهبود محدودیت بهره‌برداری	۳- بهبود محدودیتهای بهره‌برداری قطعات داغ توربین گازی با تعیین عمر معادل وزن‌دهی شده (WEOH) و اصلاح زمان بازرسی و تعمیرات اساسی
۹	۳-۲- تعیین عمر معادل وزن‌دهی شده برای توربین گازی V94.2 براساس مدل‌سازی و شبیه‌سازی مکانیک اجزاء توربین در رژیمهای مختلف بهره‌برداری و بازخوردهای آماری و مشاهدات واقعی	
۹	۳-۳- تعیین عمر معادل وزن‌دهی شده برای توربین گازی فریم ۹ براساس مدل‌سازی و شبیه‌سازی مکانیک اجزاء توربین در رژیمهای مختلف بهره‌برداری و بازخوردهای آماری و مشاهدات واقعی	
۹	۳-۴- پیاده‌سازی راهکاری بهبود محدودیت بهره‌برداری با محاسبه و تعیین عمر معادل وزن‌دهی شده در واحدهای گازی نمونه فریم ۹ و V94.2 و تدوین و اصلاح زمان بازرسی و تعمیرات اساسی واحدهای گازی در کشور	
۲۴	۳-۵- توسعه روشهای پیشرفته تعیین عمر و بهبود محدودیت بهره‌برداری برای بکارگیری در سایر نیروگاههای گازی	

۲۴	۴-۱- شناسایی عیوب و پایش پیش‌بینانه مسیر گاز داغ در توربینهای گازی	۴- آسیب‌شناسی و تبیین روشهای شناسایی عیوب فرآیندی و بهره‌برداری از توربین گازی
۹	- بررسی فنی و آماری عیوب فرآیندی و بهره‌برداری قطعات داغ دوار توربینهای گازی و مطالعه روشهای شناسایی و اثرات عمر و هزینه مرتبط آنها	
۶	- بررسی آماری و امکان‌سنجی و اولویت‌بندی پیاده‌سازی راهکارهای منتخب جهت شناسایی و تعیین عیوب فرآیندی و بهره‌برداری قطعات داغ توربینهای داخل کشور	
۹	- پیاده‌سازی راهکارهای منتخب جهت شناسایی و تعیین عیوب فرآیندی و بهره‌برداری قطعات داغ واحد گازی نمونه فریم ۹ و تدوین دستورالعمل بهره‌برداری ویژه	
۹	- پیاده‌سازی راهکارهای منتخب جهت شناسایی و تعیین عیوب فرآیندی و بهره‌برداری قطعات داغ واحد گازی نمونه V94.2 و تدوین دستورالعمل بهره‌برداری ویژه	
۱۸	۴-۲- شناسایی وقوع هامینگ در اتاق احتراق V94.2 و بررسی اثر عمر روی پوشش و قطعات دوار توربین و ارائه راهکارهای عملی کاهش اثرات یا رفع آن	
۱۲	۴-۳- مانیتورینگ وضعیت دمای گاز خروجی توربین گاز در شناسایی عیوب و مشکلات بهره‌برداری توربین گازی و پیاده‌سازی و اجرا در واحد نمونه F9 و V94.2	

۶	۵-۱- بررسی فنی و مطالعه اضمحلال دائمی عملکرد و توان بخش داغ توربینهای گازی و راهکارهای عملی جهت شناسایی، کاهش یا رفع آن	۵- شناسایی و رفع اضمحلال دائمی عملکرد و توان بخش داغ توربینهای گازی F9 و V94.2
۶	۵-۲- امکان‌سنجی و اولویت‌بندی پیاده‌سازی راهکارهای منتخب جهت شناسایی و رفع اضمحلال دائمی عملکرد و توان بخش داغ در واحدهای گازی کشور	
۹	۵-۳- شبیه‌سازی راهکارهای عملی منتخب در واحدهای گازی V94.2 و F9 جهت شناسایی و رفع اضمحلال دائمی عملکرد و توان بخش داغ	
۹	۵-۴- پیاده‌سازی راهکارهای منتخب شناسایی و رفع اضمحلال دائمی عملکرد و توان بخش داغ در واحد گازی نمونه V94.2	

۵-۵	۹	پیاده‌سازی راهکارهای منتخب شناسایی و رفع اضمحلال دائمی عملکرد و توان بخش داغ در واحد گازی نمونه F9
۵-۶	۳۶	نظارت بر پیاده‌سازی راهکارهای شناسایی و رفع اضمحلال دائمی عملکرد و توان بخش داغ در سطح نیروگاههای گازی کشور

۶-۱	۹	بررسی و مطالعه آماری آسیبهای وارد بر توربینهای گازی ویژه پیک و روشهای شناسایی فنی و آماری و ارائه راهکارهای بهبود وضعیت	۶- بررسی و مطالعه مکانیزمهای آسیبهای ایستا در توربینهای گازی ویژه پیک و ارائه راهکار بهبود وضعیت
۶-۲	۶	امکان‌سنجی و اولویت‌بندی پیاده‌سازی راهکارهای منتخب جهت تعیین آسیبهای ایستا و روشهای رفع و بهبود وضعیت برای توربینهای گازی داخل کشور	
۶-۳	۹	پیاده‌سازی راهکارهای منتخب جهت تعیین آسیبهای ایستا و روشهای رفع و بهبود وضعیت واحد گازی نمونه و تدوین دستورالعمل بهره‌برداری با ملاحظات آسیبهای ایستا	
۶-۴	۳۶	توسعه روشهای بهبود وضعیت توربین در برابر آسیبهای ایستا و نظارت بر اجرای دستورالعمل در سطح نیروگاههای کشور	

۷-۱	۶	مدلسازی و شبیه‌سازی سیکل ترکیبی متداول توربین گازی V94.2 و تعیین عملکرد و هزینه‌ها و محدودیتهای تولید در شرایط مختلف جوی و ارتفاع کشور	۷- رفع محدودیتهای تولید توان واحدهای حرارتی سیکل ترکیبی V94.2 با بازطراحی بهینه‌سازی سیکل
۷-۲	۶	بررسی فنی و مطالعه سیکلهای ترکیبی پیشرفته، تعیین راهکارهای بهبود وضعیت تولید توان سیکل، بازطراحی سیکل ترکیبی V94.2 و انجام محاسبات فنی و اقتصادی جهت بهینه‌سازی درآمد و هزینه‌ها، حداکثر تولید توان در بار پیک و پوشش ارتقاءهای توربین گازی	
۷-۳	۱۸	تعیین راهکارهای نرم افزاری و سخت افزاری اجرای ارتقاء سیکل واحدهای سیکل ترکیبی V94.2، اولویت بندی و پیاده‌سازی در واحد نمونه	
۷-۴	۳۶	توسعه سیکلهای ترکیبی پیشرفته جهت رفع محدودیتهای تولید توان سیکل ترکیبی V94.2 در سایر نیروگاهها	

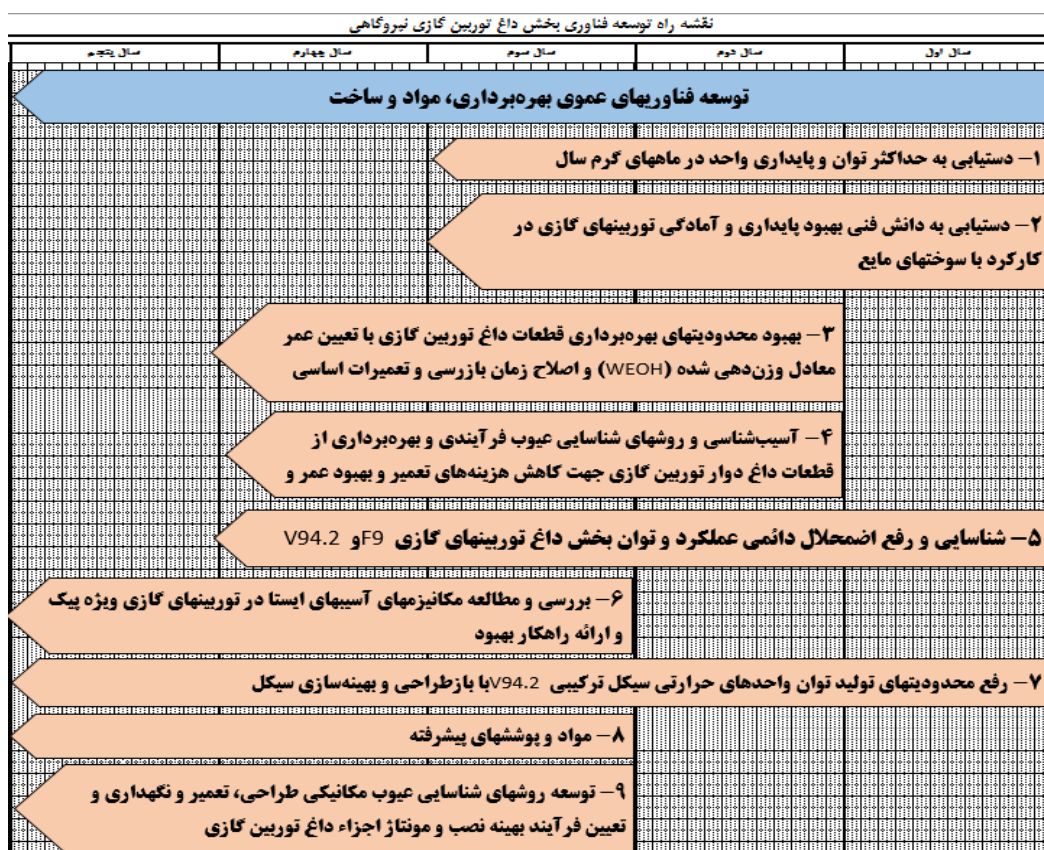
فناوریهای مواد و ساخت

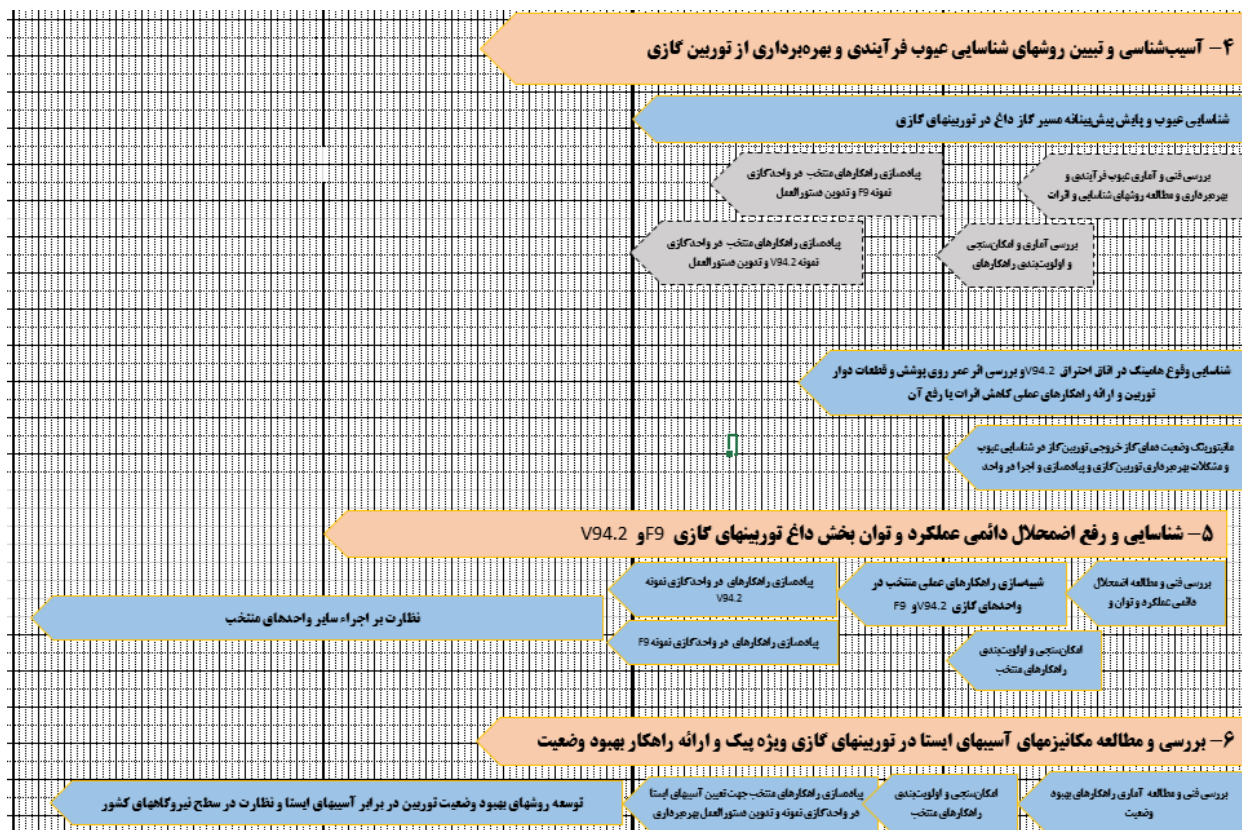
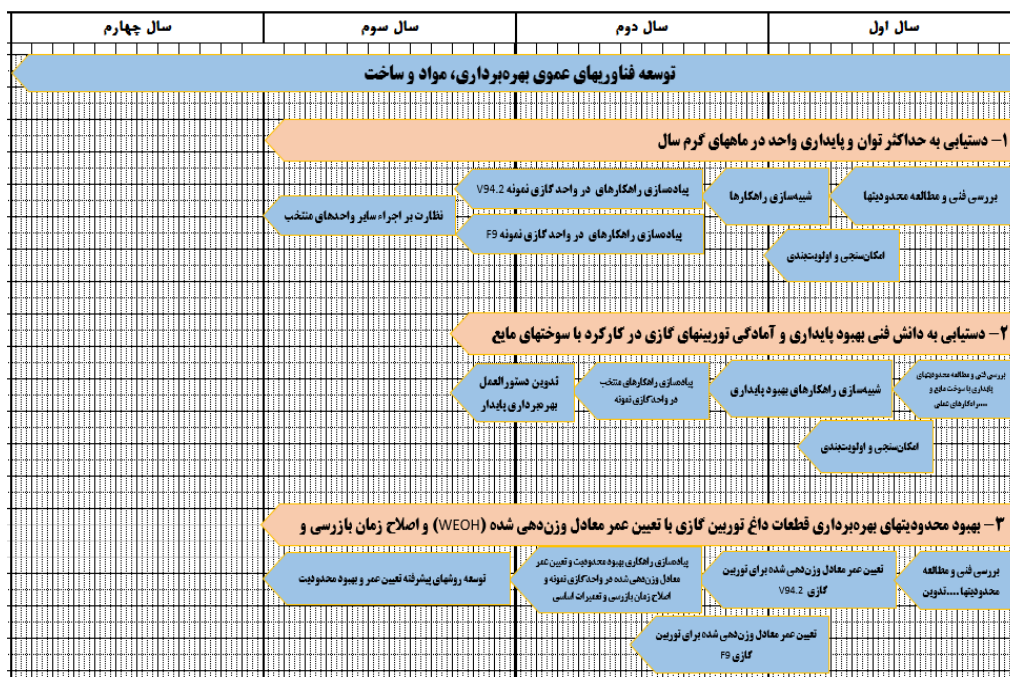
۸-۱	۱۸	کسب دانش فنی تحلیل الاستو پلاستیک ریخته‌گری و فرآیند عملیات حرارتی و پیش‌بینی عیوب ساخت	۸- مواد و پوششهای پیشرفته
۸-۲	۱۸	توسعه طراحی و بکارگیری فناوری DS جهت بهبود عمر پره F5 و F9	
۸-۳	۱۲	توسعه بانک اطلاعات پیشرفته متالوژیکی و مکانیکی مواد و ابزارهای پیشرفته انتخاب بهینه جهت توسعه مواد با استحکام و دوام بهبود یافته	
۸-۴	۱۲	کسب دانش فنی افزایش ضخامت و پایداری پوشش‌های سرامیکی جهت کارکرد در توربینهای گازی داخل کشور	
۸-۵	۱۲	توسعه فناوریهای پوششهای بسیار صاف پره‌های داغ توربین گازی با هدف بهبود آئروپنایمیک و کاهش رسوب آلودگی (کاربرد نانو برای آینده)	
۸-۶	۱۸	طراحی سامانه اتوماسیون و شبیه‌سازی سطوح پیچیده برای پوشش‌دهی پیشرفته با ربات	

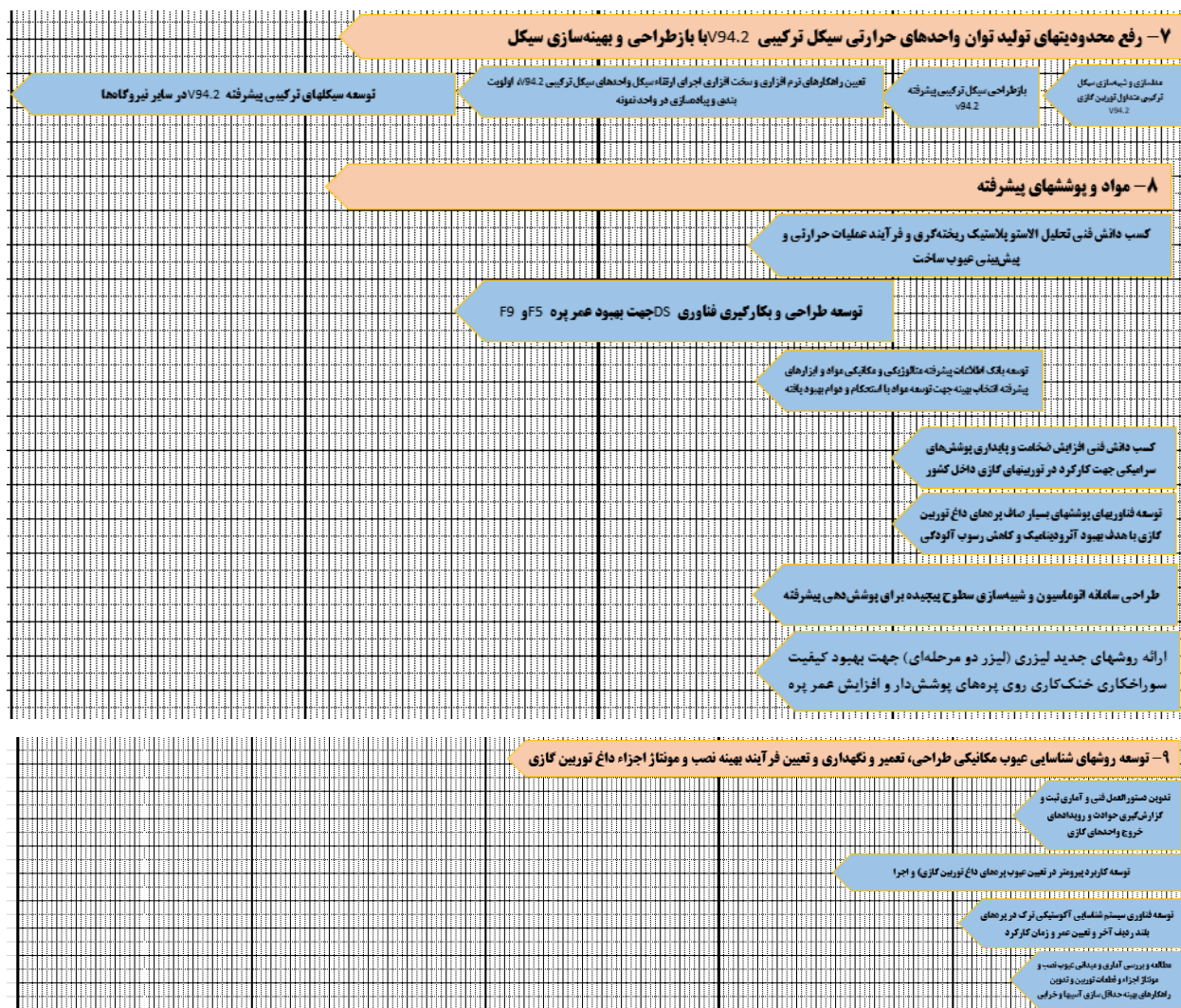
۷-۸- ارائه روشهای جدید لیزری (لیزر دو مرحله‌ای) جهت بهبود کیفیت سوراخکاری خنک‌کاری روی پره‌های پوشش‌دار و افزایش عمر پوشش	۱۸	
---	----	--

۹-۱- تدوین دستورالعمل فنی و آماری ثبت و گزارش‌گیری حوادث و رویدادهای خروج واحدهای گازی و آسیب اجزاء و قطعات و اجرا برای نمونه رخداد حادثه نیروگاهی	۹	۹- بررسی روشهای شناسایی مکانیکی عیوب تعمیر و نگهداری و تعیین فرآیند بهینه نصب و مونتاژ اجزاء داغ توربین گازی
۹-۲- توسعه کاربرد پیرومتر در تعیین عیوب پره‌های داغ توربین گازی (پره های داغ تراز دیگر پره ها) و اجرا	۱۸	
۹-۳- توسعه فناوری سیستم شناسایی آکوستیکی ترک در پره‌های بلند ردیف آخر و تعیین عمر و زمان کارکرد	۱۲	
۹-۴- مطالعه و بررسی آماری و میدانی عیوب نصب و مونتاژ اجزاء و قطعات توربین و تدوین راهکارهای بهینه حداقل سازی آسیبها و خرابی	۹	

ره‌نگاشت توسعه فناوریهای عمومی در شکل ۳-۳ ارائه می‌گردد. نظارت بر اجرا و توسعه فناوریها به سایر نیروگاهها در افق کوتاه مدت ۵ ساله در نظر گرفته شده است که در ره‌نگاشت تا زمان توسعه فناوری نشان داده شده است. هر چند، امکان بسط زمانی تا افق میان مدت ۱۰ ساله در صورت اجراء در سایر نیروگاههای گازی می‌تواند نیاز باشد.







شکل ۳-۳. ره‌نگاشت توسعه فناوریهای عمومی بخش داغ توربین گازی نیروگاهی.

۳-۶- بازیگران صنعت و تقسیم کار ملی

پس از شناسایی پروژه‌ها و طرحها و ارائه زمانبندی و هزینه‌های تحقیق و توسعه لازم است نقشها و وظایف سازمانها و بخشهای دولتی و خصوصی و پیمانکاری مشخص گردد که موارد زیر پیشنهاد می‌گردد. لازم به ذکر است که شرح جزئیات این نقشها به تفصیل در اسناد توسعه فناوری (به عنوان نمونه مراجع [۲۹]، [۵۰]) اشاره شده است که جهت مطالعه به اسناد فوق می‌توان مراجعه نمود.

سیاست‌گذاری، تسهیل‌گری و تنظیم‌گری: کمیته‌ای متشکل از مدیریت طرح‌های توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی از پژوهشگاه نیرو، نماینده شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی، نماینده مدیریت شبکه برق ایران

پژوهش و فناوری: پژوهشگاه نیرو، شرکت مپنا، شرکت توربوتک، توربین شهریار، دانشگاه‌ها و شرکت‌های دانش بنیان (معرفی شده در گزارش فاز ۱ [۳۳])

اجرایی و صنعتی: شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی، نیروگاه‌ها، شرکت تعمیرات نیروگاهی ایران، شرکت مپنا و شرکت‌های پیمانکار

شرکت‌های صنعتی که در قالب پیمانکار در این مطالعه بررسی شدند به همراه متخصصین دانشگاهی و شرکت‌های دولتی به صورت مفصل در گزارش فاز ۱ [۳۳] ارائه شده‌اند.

پیوست‌ها

پیوست – الف

پرسشنامه تدوین چشم انداز و اهداف کلان نقشه راه توسعه فناوریهای ارتقاء عمر، عملکرد و توان بخش داغ توربین گازی نیروگاهی

به نام خدا

با سلام و احترام

فرهیخته گرامی؛

از اینکه فرصتی برای پاسخگویی به پرسش‌های این پرسشنامه صرف می‌کنید، بسیار سپاسگزاریم. پرسشنامه حاضر بخشی از فرآیند تهیه بیانیه چشم‌انداز و تدوین اهداف کلان نقشه راه توسعه فناوریهای ارتقاء عمر، عملکرد و توان بخش داغ توربین گازی نیروگاهی را شکل می‌دهد که طی آن آینده مطلوب کشور در این حوزه در افق ۱۴۱۰ ترسیم می‌گردد. این مطالعات در پژوهشگاه نیرو در حال انجام است و محدوده آن شامل توربین‌های گازی نیروگاهی با فناوری قدیمی و فراوانی زیاد همچون V94.2، F9E، میتسوبیشی، F5، و ... است.

۱. چشم‌انداز

چشم‌انداز، تصویری مطلوب (شفاف، واقعی، جذاب و قابل قبول) و آرمان قابل دستیابی در حوزه فناوری می‌باشد که در یک افق زمانی متناسب با مبانی ارزشی جامعه تعیین می‌گردد. به طور کلی چشم‌انداز شامل ابعاد زیر می‌شود:

ابعاد چشم‌انداز
توجه به اسناد بالادستی
افق زمانی
نتایج کلی
حوزه کاربرد فناوری

جایگاه

با بررسی اسناد بالادستی مرتبط می‌توان یک بیانیه چشم‌انداز ابتدایی تدوین نمود که در این راستا سه بیانیه چشم‌انداز ارائه شده است که درخواست می‌گردد ضمن بررسی و ارزیابی آنها، مورد انتخابی و موارد اصلاحی و پیشنهادی را مبدول فرمایید.

بیانیه پیشنهادی چشم‌انداز ۱

۱. در راستای تحقق اهداف و سیاست‌های بخش انرژی کشور و به منظور بهینه‌سازی ناوگان نیروگاه‌های گازی، جمهوری اسلامی ایران در یک دوره ۱۰ ساله، با تکیه بر ظرفیت‌های داخلی و متخصصان کارآمد و خلاق، در بکارگیری و تعمیق دانش در زنجیره ارزش و بومی‌سازی فناوری‌های اولویت‌دار ارتقاء توان، عملکرد و عمر توربین‌های گازی نیروگاهی قدیمی در جایگاه مناسبی از توانمندی است

بیانیه پیشنهادی چشم‌انداز ۲

۲. در راستای تحقق اهداف و سیاست‌های بخش انرژی کشور، سند تراز تولید و مصرف گاز طبیعی تا افق ۱۴۲۰ و سند چشم‌انداز وزارت نیرو در افق ۱۴۰۴، جمهوری اسلامی ایران خودکفا در فناوری‌های ارتقاء توان، عملکرد و عمر توربین‌های گازی نیروگاهی قدیمی در افق ۱۴۱۰ خواهد بود.

بیانیه پیشنهادی چشم‌انداز ۳

۳. در راستای تحقق اهداف و سیاست‌های بخش انرژی کشور، سند چشم‌انداز وزارت نیرو در افق ۱۴۰۴ و حمایت از سرمایه ملی و کاهش آلاینده‌گی و صرفه جویی گاز طبیعی، توانمندی کامل فناورانه و بیش از ۶۰ درصد صرفه جویی ارزی در ارتقاء توربین‌های گازی نیروگاهی قدیمی در افق ۱۴۱۰ ایجاد خواهد شد.

پیشنهادهای:

۲. اهداف کلان

یکی دیگر از گام های اساسی در تعیین ارکان جهت ساز، تدوین اهداف توسعه در راستای چشم انداز تعریف شده است. این هدف گذاری به منظور شفاف نمودن مسیر نیل به چشم انداز انجام می گیرد. در حقیقت اهداف مذکور، پاسخگوی یک سؤال اساسی است با عنوان "برای رسیدن به چشم انداز در افق زمانی تعیین شده، به چه مقاصدی باید دست یافت؟".

در این مرحله نیز آنچه حائز اهمیت است تعیین وضعیت مجموعه اجزا و عناصر شکل دهنده اهداف کلان می باشد. لذا خواهمند است ویژگی های مربوط به اهداف کلان را براساس موارد طرح شده و با توجه به بیانیه چشم انداز و وضعیت فعلی مشخص نموده و پیشنهادات خود را ارائه نمایید.

به نظر شما هر یک از این موارد تا چه حد به عنوان اهداف کلان توسعه فناوریهای ارتقاء عمر،

عملکرد و توان بخش داغ توربین گازی نیروگاهی اهمیت دارد؟

میزان اهمیت				عنصر اهداف کلان	اهداف کلان بخش منابع
☐ کم	☐ متوسط	☐ زیاد	☐ خیلی زیاد	دستیابی به نیروی انسانی توانمند، خلاق و متخصص در زمینه طراحی، ساخت و مونتاژ ارتقاء توربینهای گازی قدیمی	
☐ کم	☐ متوسط	☐ زیاد	☐ خیلی زیاد	دستیابی به شرکتهای توانمند تحقیق و توسعه صنعتی در زمینه ارتقاء بخش داغ توربینهای گازی قدیمی	
☐ کم	☐ متوسط	☐ زیاد	☐ خیلی زیاد	توسعه دانش فنی ارتقاء بخش داغ توربینهای گازی قدیمی با تاکید بر سرمایه گذاری و تعامل موثر با دانشگاه ها و مراکز تحقیق و توسعه دانش بنیان	
☐ کم	☐ متوسط	☐ زیاد	☐ خیلی زیاد	توسعه دانش فنی ارتقاء بخش داغ توربینهای گازی قدیمی از طریق همکاری های فناورانه بین المللی	اهداف کلان در حوزه بومی سازی فناوریها
☐ کم	☐ متوسط	☐ زیاد	☐ خیلی زیاد	ارتقاء راندمان بیش از نیمی از واحدهای گازی قدیمی به بیش از ظرفیت نامی خود	
☐ کم	☐ متوسط	☐ زیاد	☐ خیلی زیاد	دستیابی به کمینه راندمان ۲۵٪ در واحدهای گازی کشور	
☐ کم	☐ متوسط	☐ زیاد	☐ خیلی زیاد	دستیابی به فناوری DS برای بهبود عمر قطعات توربین گازی قدیمی	
☐ کم	☐ متوسط	☐ زیاد	☐ خیلی زیاد	دستیابی به فناوریهای پوشش دهی پیشرفته توربین گازی	اهداف کلان در حوزه بومی سازی فناوریها
☐ کم	☐ متوسط	☐ زیاد	☐ خیلی زیاد	دستیابی به فناوریهای پوشش دهی پیشرفته توربین گازی	
☐ کم	☐ متوسط	☐ زیاد	☐ خیلی زیاد	دستیابی به فناوریهای پوشش دهی پیشرفته توربین گازی	
☐ کم	☐ متوسط	☐ زیاد	☐ خیلی زیاد	دستیابی به فناوریهای پوشش دهی پیشرفته توربین گازی	

دستیابی به دانش فنی طراحی آئرو دینامیک پیشرفته توربینهای گازی کلاس E	خیلی زیاد ☐	زیاد ☐	متوسط ☐	کم ☐
دستیابی به دانش فنی مونتاژ واحدهای اصلاح یافته	خیلی زیاد ☐	زیاد ☐	متوسط ☐	کم ☐
دستیابی به دانش فنی اگزاست اصلاح یافته	خیلی زیاد ☐	زیاد ☐	متوسط ☐	کم ☐
دستیابی به بیش از ۳۰ درصد بهبود فاصله زمانی تعمیرات و کاهش هزینه های تعمیرات و نگهداری	خیلی زیاد ☐	زیاد ☐	متوسط ☐	کم ☐
دستیابی به حداکثر توان و پایداری واحد در ماههای گرم سال	خیلی زیاد ☐	زیاد ☐	متوسط ☐	کم ☐
دستیابی به دانش فنی بهبود پایداری و آمادگی توربینهای گازی در کارکرد با سوخت های مایع	خیلی زیاد ☐	زیاد ☐	متوسط ☐	کم ☐
دستیابی به صرفه جویی ارزی به میزان ۶۰ درصد از هزینه های ارتقاء (با کسر هزینه مواد خام)	خیلی زیاد ☐	زیاد ☐	متوسط ☐	کم ☐
ورود به بازارهای منطقه ای	خیلی زیاد ☐	زیاد ☐	متوسط ☐	کم ☐
اهداف کلان سطح توانمندی				

در پایان چنانچه پیشنهاد دیگری مدنظر جنابعالی می باشد، مبذول فرمایید.

از حسن توجه و همکاریتان کمال تشکر را داریم.

پژوهشگاه نیرو

نام و نام خانوادگی تکمیل کننده:

تاریخ و امضا

پیوست - ب

پرسشنامه و مصاحبه تبیین ضرورت و بازار توسعه فناوری توربینهای گازی داخلی

در راستای تحقق اهداف چشم‌انداز، برآورده کردن نیازهای فناورانه توربین واحدهای گازی نیروگاهی، توسعه زیرساخت مورد نیاز براساس سطح نیاز فناورانه، نظرات متخصصین در چهارچوب سوالات زیر اخذ گردید.

اولویت اول تا سوم برای ارتقاء فناوری توربینهای گازی داخلی براساس مدل توربین.

سطح توانمندی	V94.2	GE-F9	F5	میتسوبیسی
افزایش توان				
بهبود عملکرد				
ارتقاء عمر و افزایش فواصل زمانی بازرسی				
تغییر کاربری	----	-----		-----
نیاز به ارتقاء ندارد				

	بهبود عملکرد و توان	افزایش عمر	ارتقاء نیاز ندارد	استهلاک واحد
سایر توربینهای گازی موجود در کشور همچون آسک، فیات و ...				

ارترقاء کامل	ماژولار	
--------------	---------	--

شکل ارتقاء	برای توربینهای بخش خصوصی	برای توربینهای دولتی
------------	--------------------------------	----------------------

با توجه به زنجیره ارزش فناوری، سطح توانمندی داخلی در ارتقاءهای مختلف در چه حدی است؟

سطح توانمندی	طراحی، تست، تحقیق و توسعه	تامین مواد اولیه و ساخت	مونتاژ، نصب و راه اندازی	تعمیر و نگهداری	ارزیابی کلی
آب بند پیشرفته					
آرودینامیک ۳ بعدی و خنک کاری پیشرفته					
افزایش دمای احتراق					
افزایش عمر و فواصل بازرسی					
اصلاح دیفیوزر و اگزاست					

فهرست منابع

- [1] S. Slade, "World Gas Turbine Forecast," *Turbomachinery 2020 Handbook*, 2018.
- [2] T. Ginter and T. Bouvay, "Uprate options for the MS9001 heavy duty gas turbine," *GE Energy, Atlanta, GA, pg*, pp. 12–13, 2008.
- [3] "GE Model 5000," 2015.
- [4] P. C. Daiber, "PERFORMANCE AND RELIABILITY IMPROVEMENTS FOR THE MS5001 GAS TURBINES," *GE Power Syst. Atlanta*, 1996.
- [5] "T32 Gas Turbine Unit," 2020.
- [6] A. Gupta, "Power LifeMax* - Solutions for B/E Gas Turbine Fleet," in *PowerGen 2015*, 2015.
- [7] General Electric, "GE Power Systems," 2020. [Online]. Available: <http://www.ge.com/>.
- [8] General Electric Company, "GE's Advanced Gas Path Brochure - General Electric," 2016.
- [9] C. L. Vandervort, D. Leach, and M. Scholz, "Advancements in h class gas turbines for combined cycle power plants for high efficiency, enhanced operational capability and broad fuel flexibility," in *The Future of Gas Turbine Technology, 8th International Gas Turbine Congress*, 2016.
- [10] C. Vandervort, "Advancements in H class gas turbines and combined cycle power plants," in *Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air*, 2018, vol. 51043, p. V003T08A007.
- [11] "MITSUBISHI HITACHI POWER SYSTEMS," 2020. [Online]. Available: <https://www.mhps.com/>.
- [12] J. MASADA, M. YURI, T. AI, K. TAKATA, and T. IWASAKI, "Technology Application to MHPS Large Frame F series Gas Turbine," *Mitsubishi Heavy Ind. Tech. Rev.*, vol. 55, no. 1, p. 11, 2018.
- [13] T. Ai, J. Masada, and E. Ito, "Development of the High Efficiency and Flexible Gas Turbine M701F5 by Applying 'J' Class Gas Turbine Technologies," *Mitsubishi Heavy Ind. Tech. Rev.*, vol. 51, no. 1, p. 1, 2014.
- [14] T. Ai, C. Koenke, H. Arimura, and Y. Hyakutake, "Development of an air cooled G class gas turbine (the M501GAC)," in *Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air*, 2009, vol. 48821, pp. 961–968.

- [15] E. Ito, K. Tsukagoshi, A. Muyama, J. Masada, and T. Torigoe, "Development of key technology for ultra-high-temperature gas turbines," *Mitsubishi Heavy Ind. Tech. Rev.*, vol. 47, no. 1, p. 19, 2010.
- [16] K. Tsukagoshi, A. Muyama, J. Masada, Y. Iwasaki, and E. Ito, "Operating status of uprating gas turbines and future trend of gas turbine development," *Mitsubishi Heavy Ind. Tech. Rev.*, vol. 44, no. 4, 2007.
- [17] E. Ito, K. Tsukagoshi, J. Masada, K. Ishizaka, K. SAITOH, and T. TORIGOE, "Key technologies for ultra-high temperature gas turbines," *Mitsubishi Heavy Ind. Tech. Rev.*, vol. 52, no. 2, pp. 15–23, 2015.
- [18] G. Bohrenkämper, D. Reiermann, G. Höhne, and U. Lingner, "Technology evolution of the proven gas turbine models V94. 2 and V84. 2 for new units and service retrofits," *Siemens Rep.*, 2004.
- [19] G. Bohrenkamper, K. Hermening, and G. Horne, "Gas turbine modernisation: looking at options," *Mod. power Syst.*, vol. 26, no. 3, p. 22, 2006.
- [20] س. ض. طباطبائی, "ساختار بازیگران فعال در حوزه فناوری توربین گازی," ۱۳۹۳.
- [21] شرکت مپنا. 2020, "www.mapnagroup.com,"
- [22] MAPNA TURBINE ENGINEERING & MANUFACTURING CO. (TUGA), "Technical Review," 2017.
- [23] ش. توگا, "طرح توربین گاز ارتقاء یافته. 1391. MAP2A,"
- [24] ش. توگا, "طرح ارتقاء. 1396. MAP2B,"
- [25] شرکت پرتو. 2020, "www.mapnablade.com,"
- [26] شرکت توربو کمپرسور تک خاورمیانه. 2020, "turbotec-co.com,"
- [27] شرکت تعمیرات نیروگاهی ایران. 2020, "ipr-co.com,"
- [28] پژوهشگاه نیرو. 2020, "www.nri.ac.ir,"
- [29] س. ض. طباطبائی, "سند راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری توربین‌های گازی," ۱۳۹۴.
- [30] وزارت نیرو. 2020, "www.moe.gov.ir,"
- [31] شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی. 2020, "www.tp-ph.ir,"
- [32] K. Watanabe, H. Arimura, K. Akagi, and H. Sakuma, "Modernization and Upgrade Programs for Mitsubishi Heavy-Duty Gas Turbines," 2003.

- [33] ج. آقایی، "تبیین مشخصه‌های فناوری و هوشمندی بخش داغ توربین گازی نیروگاهی"، ۱۳۹۹.
- [34] "Gas Turbine World Handbook (GTW)," *Pequot Publishing Inc.*, 2018.
- [35] ش. م. دریاپالا، "برنامه زمانی ورود تجهیزات واحدهای نیروگاهی و ارزش هر یک از تجهیزات"، ۱۳۸۱.
- [36] "سند تراز تولید و مصرف گاز طبیعی در کشور تا افق ۱۴۲۰"، ۱۳۹۹.
- [37] "Siemens upgrades six power plants in Iraq, adds 1.3GW of output," *Gas to Power Journal*, 2018. .
- [38] "GE's AGP upgrades generate \$775m in total customer value annually," *Gas to Power Journal*, 2018. .
- [39] siemens energy, "Modernization & Upgrades for Gas Turbines," 2021. [Online]. Available: <https://www.siemens-energy.com/global/en/offerings/services/performance-enhancement/modernization-upgrades/gas-turbines.html>.
- [40] Siemense AG, "Siemens innovative 3D optimized turbine blades and vanes for SGT5-2000E and SGT6-2000E stages 1 and 2," 2010.
- [41] Siemense AG, "Siemens innovative 3D optimized turbine blades and vanes for SGT5-2000E stages 3 and 4," 2010.
- [42] Siemense AG, "Hydraulic Clearance Optimization for Siemens Gas Turbines," 2013.
- [43] Siemense AG, "Firing Temperature Increase upgrade for Siemens Gas Turbines," 2010.
- [44] Siemense AG, "41k EOH Maintenance Concept for Siemens Gas Turbines," 2012.
- [45] J. R. Johnston, "Performance and Reliability Improvements for Heavy-Duty Gas Turbines (GER-3571H)," *Gen. Electr. Co.*, 2000.
- [46] م. ط. و. همکاران، "گزارش فصلی بازار برق ایران"، ۱۳۹۹.
- [47] ج. آقایی and آ. شجاعی، "تعیین اهداف و راهبردهای توسعه فناوری بخش داغ توربین گازی نیروگاهی"، ۱۴۰۰.
- [48] International Energy Agency, *Energy Technology Roadmaps.. A Guide to Development and Implementation*. OECD/IEA, 2014.
- [49] J. Ahrens, "Governance and the implementation of technology policy in less developed countries," *Econ. Innov. New Technol.*, vol. 11, no. 4–5, pp. 441–476, 2002.
- [50] م. س. حسینی، "سند راهبردی و نقشه راه افزایش راندمان نیروگاه‌های کشور"، ۱۳۹۴.