به‌نام خدا

پژوهشگاه نیرو

نام گزارش: گزارش فاز پنجم: تدوین ره‌نگاشت توسعه فناوری‌های توربین گاز

کد گزارش- ویرایش: PMEPN16/T05

عنوان پروژه: تدوین سند راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری توربین گاز

مدیر پروژه: سید سعید ضیایی طباطبایی

کارفرما: پژوهشگاه نیرو

تهیه کننده: گروه تجهیزات دوار مکانیکی

تاریخ: شهریور ماه ۱۳۹۴

پیشگفتار

امروزه یکی از چالش‌های پیش روی جوامع، تامین انرژی همراه با کارایی مناسب و کاهش آلاینده‌های زیست محیطی می‌باشد. در این راستا توسعه فناوری‌های توربین گازی به عنوان یکی از مهمترین فناوری‌های تولید انرژی ضروری است. برای برنامه‌ریزی صحیح و مبتنی بر نیازهای کشور در بحث توسعه فناوری توربین گاز نیاز است که ابتدا چالش‌های پیشرو در مسیر توسعه این فناوری‌ها شناسایی گردند و برای هر یک از این چالش‌ها سیاست‌ها و اقدامات مناسب رفع آنها تدوین گردد.

در ایران نیز با توجه به نقش حائز اهمیت نیروگاه‌های گازی و سیکل ترکیبی در تولید برق، موضوع توسعه فناوری توربین گاز به عنوان راهکاری برای رفع نیاز کشور به منابع انرژی امری مهم تلقی می‌شود.

در این گزارش به عنوان فاز پنجم از پروژه تدوین سند راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری توربین گاز، به موضوع تدوین رەنگاشت توسعه فناوری پرداخته خواهد شد. در این راستا علاوه بر بررسی مختصر ادبیات موضوع، آیتم‌های عملیاتی لازم برای دستیابی به اهداف طرح، بودجه و زمان لازم برای پیاده‌سازی فعالیت‌ها و نیز مجریان پیشنهادی جهت انجام کارها تشریح خواهند شد.

این گزارش توسط گروه پژوهشی تجهیزات دوار مکانیکی پژوهشگاه نیرو و تحت نظارت و هدایت اعضای محترم کمیته راهبری پروژه به شرح ذیل و مشاوره شرکت پیشگامان مدیریت توسعه تدبیر تهیه گردیده است که بدینوسیله از زحمات ایشان تشکر و قدردانی می‌گردد.

اعضای کمیته راهبری	محل خدمت	نمایندگان
۱- آقای دکتر مسعود برومند	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	دانشگاه
۲- آقای دکتر نادر منتظرین	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	
۳- آقای دکتر کریم مظاهری	دانشگاه صنعتی شریف	
۴- آقای دکتر محمد اولیاء	دبیر کمیته راهبری – مپنا (توگا)	صنعت
۵-آقای مهندس بهنام تحویل دار	مپنا (توگا)	صنعت
۶-آقای مهندس محمد رضا ده آفرین	وزارت نیرو	توانیر
۷- آقای مهندس سید محمد حسین دیباجی	وزارت نفت	شرکت توربو کمپرسور
۸- آقای مهندس مسعود آسایش	وزارت نیرو	پژوهشگاه نیرو
۹- آقای مهندس سید سعید ضیائی طباطبائی	وزارت نیرو	پژوهشگاه نیرو
۱۰ آقای مهندس محمد زمانی میاندشتی	مشاور ارشد مدیریت تکنولوژی	

همکاران پروژه و تهیه کنندگان گزارش:

۱. مهندس سید سعید ضیائی طباطبائی
۲. مهندس محمد زمانی- مشاور ارشد مدیریت تکنولوژی
۳. دکتر محمد ضابطیان
۴. مهندس رویا صالح زاده
۵. آرش شجاعی - کارشناس مدیریت تکنولوژی
۶. مهندس سینا باقری نژاد – کارشناس مدیریت تکنولوژی

فهرست مطالب

عنوان **شماره صفحه**

پیشگفتار ..... أ
مقدمه ۱
۱-مرور ادبیات: مفاهیم نقشه راه..... ۲
۱-۱- مقدمه..... ۲
۱-۲- تدوین نقشه راه..... ۳
۲-تدوین نقشه راه توسعه فناوری توربین گازی..... ۶
۲-۱- مقدمه..... ۶
۲-۲- تعیین زمان و هزینه اجرای اقدامات فنی..... ۷
۲-۳- ره‌نگاشت توسعه فناوری توربین گاز..... ۹
۲-۴- تعیین نهادهای مجری طرح ها..... ۱۱
۲-۵- شناسنامه اقدامات و پروژه های فنی..... ۱۳
۲-۶- نحوه تقسیم کار ملی..... ۱۸
۳-جمع بندی و نتیجه گیری کلی گزارش..... ۲۰
پیوست: پاسخ سوالات مطروحه در شورای پژوهشی وزارت نیرو ۲۱
مراجع ۲۳

فهرست شکلها

عنوان **شماره صفحه**

شکل ۱- مسیر کلی طراحی و ساخت توربین ۹
شکل ۲- رهنگاشت توسعه فناوری توربین های گازی کشوری در افق ۱۴۰۴..... ۱۰
شکل ۳- رهنگاشت و سرمایه گذاری سالیانه شرکت مپنا در توسعه فناوری توربین گاز..... ۱۲
شکل ۴- ره نگاشت و سرمایه گذاری سالیانه وزارت نیرو در توسعه فناوری توربین گاز..... ۱۳
شکل ۵- ساختار اجرایی در سطح ملی..... ۱۹

فهرست جداول

عنوان **شماره صفحه**

جدول ۱- عناوین طرح‌ها، مدت زمان و منابع مورد نیاز جهت توسعه فناوری کمپرسور ۷
جدول ۲- عناوین طرح ها، مدت زمان و منابع مورد نیاز جهت توسعه فناوری محفظه احتراق ۸
جدول ۳- عناوین طرح ها، مدت زمان و منابع مورد نیاز جهت توسعه فناوری توربین..... ۸
جدول ۴- عناوین طرح ها، مدت زمان و منابع مورد نیاز جهت توسعه فناوری آزمون های پروتوتایپ محصول جدید..... ۸
جدول ۵- طرح ها و سرمایه گذاری توسعه ای شرکت مپنا ۱۱
جدول ۶- طرح ها و سهم سرمایه گذاری وزارت نیرو..... ۱۲

مقدمه

پس از شناخت اولویت‌های توسعه فناوری و تعیین راهبردهای مربوطه، لازم است به طراحی نقشه راهی برای پیاده‌سازی آن‌ها پرداخت. به عبارت دیگر لازم است مجموعه اقدامات لازم در راستای دستیابی به اهداف در قالب زمانی نشان داده شده و وظایف هر یک از نهادهای ذی‌ربط مشخص گردد.

در این گزارش ابتدا مفاهیم و روش‌های تدوین نقشه راه بررسی شده و سپس براساس مبانی تدوین ره‌نگاشت، ضمن شناسایی آیتم‌های عملیاتی لازم برای تدوین نقشه راه توسعه فناوری توربین گاز، فرآیند تدوین ره‌نگاشت و نگاره نهایی آن ارائه خواهد شد.

۱- مرور ادبیات: مفاهیم نقشه راه

۱-۱- مقدمه

رهنگاشت برنامه‌ای راهبردی است که به توصیف گام‌های مورد نیاز یک سازمان برای دستیابی به اهداف و خروجی‌های بیان شده، می‌پردازد. این ابزار به وضوح روابطی میان فعالیت‌ها و اولویت‌ها تصویر می‌کند تا در کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت پیاده‌سازی شوند. به علاوه یک رهنگاشت اثربخش شامل سنجه‌ها[1] و نقاط عطف[2] می‌باشد 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 می‌باشد. افرادی که به طور معمول در این فرآیند همکاری می‌کنند، شامل کارشناسان فنی، سیاستگذاران، تحلیلگران انرژی و پژوهشگران دانشگاهی می‌باشند که گرد هم می‌آیند تا به طراحی اهداف عملکردی، مسیرهای کاری[3] اولویت‌ها و چارچوب‌های زمانی برای تحقیق، توسعه، رونمایی و پیاده‌سازی[4] یک فناوری، بپردازند.

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 پیاده‌سازیِ یک فناوری بین شرکت‌کنندگان باشد.(۴)

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 مناسبی که در تحقق توسعه و پیاده‌سازی رهنگاشت ذی‌نفع‌اند، مانند نمایندگان دولت، صنعت، دانشگاه و سازمان‌های مردم‌نهاد.

[1] metrics
[2] milestones
[3] pathways
[4] research, development, demonstration and deployment (RDD&D)

- 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
- سیاستگذاران ایالتی/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(۱)

۲-۱- 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 ارکان جهت‌ساز و 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:

- درنظرگیری ارتباط برنامه عملیاتی با ارکان جهت‌ساز و برنامه اقدامات و سیاست‌ها: هر برنامه عملیاتی در ارتباط با یک و چند هدف بالادستی نوشته می‌شود. به‌عبارت دیگر، هدف اولیه یک سند توسعه فناوری در ابتدا برآورده ساختن ارکان جهت‌ساز و برنامه اقدامات و سیاست‌ها تعریف شده در مراحل قبل است. با توجه به منطقی که در فصول پیشین به‌عنوان فرآیند تدوین اسناد ملی راهبردی بیان شد، تدوین برنامه‌های عملیاتی نیز باید با توجه و درنظرگیری این فرآیند انجام گردد. برنامه‌های تدوین شده در مرحله اول باید همراستا 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 درنظر داشتن موانع به شکل مشکلاتی که باید برای آن‌ها راه‌حل ارائه گردد، یک مشکل پیچیده به شکل آسانی حل خواهد شد، اگر علت و اثرات آن به‌طور کامل مورد تحلیل قرار گرفته باشد.
- تعیین پروژه‌ها: در این گام پروژه‌های ضروری به‌منظور برآورده کردن اهداف کلان و خرد و نیز محقق نمودن راهبردها، اقدامات و سیاست‌ها تعیین می‌شود. این پروژه‌ها، فعالیت‌هایی هستند که توسط کنش-گران توسعه فناوری و در راستای راهبردهای کلان و سیاست‌های نوآوری تعریف می‌شود. اگر پروژه‌ها به‌طور صحیحی برنامه‌ریزی شوند، نتایج موردانتظار 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. به‌عبارت 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 به‌معنی 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.
- مرور ادبیات: مفاهیم نقشه راه
- مرور ادبیات: مفاهیم نقشه راه

۲- تدوین نقشه راه توسعه فناوری توربین گازی

۲-۱- مقدمه

همانطور که در گزارش فاز چهارم این پروژه تشریح گردید، لیست اقدامات فنی این پروژه به شرح ذیل می‌باشد:

- **حوزه کمپرسور**
  - تکمیل زیرساخت‌های تست و ساخت چهار مرحله کمپرسور
  - صحه گذاری طراحی اولیه
  - طراحی کامل کمپرسور
  - ساخت کمپرسور مطابق با طرح جدید
- **حوزه محفظه احتراق**
  - تکمیل زیرساخت‌های تست و آزمون
  - طراحی محفظه احتراق حلقوی و مشعل‌ها
  - ساخت و تست محفظه احتراق و مشعل و نیز اجزای متأثر از آن
  - طراحی سیستم‌های جانبی مرتبط
- **حوزه توربین**
  - تکمیل زیرساخت‌های لازم ساخت، تست و آزمون
  - طراحی آیرودینامیک توربین
  - طراحی خنک کاری و پوشش
  - طراحی مکانیک و آب‌بندها
  - طراحی سیستم هوای ثانویه
  - توسعه و ساخت اولین سری پره‌ها و پوسته وسیلینگ توربین با طراحی و مواد و پوشش جدید

- **آزمون های پروتوتایپ محصول جدید**

  - انتخاب و تهیه ابزار دقیق، تجهیزات جانبی و زیرساخت مورد نیاز تست پروتوتایپ و ساخت اولین نمونه
  - تغییرات و اصلاحات در طراحی
  - تست و آزمون نمونه

حال می‌بایست پس از مشخص شدن اقدامات فنی، زمان، هزینه و مجریان پیشنهادی هر یک از اقدامات را مشخص نمود. در ادامه هر یک از این مباحث مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۲-۲- تعیین زمان و هزینه اجرای اقدامات فنی

پس از تعیین اقدامات فنی، تیم پروژه با همکاری بخش تحقیق و توسعه شرکت توربین‌سازی مپنا (از جمله جناب آقای دکتر محمد اولیا و جناب آقای مهندس بهنام تحویل دار)، زمان و منابع مورد نیاز اجرای اقدامات فنی را تهیه نموده و در اختیار اعضای کمیته راهبری قرار داد و اعضای محترم کمیته راهبری، محتوای آن را طی جلساتی در تاریخ‌های ۹۴/۰۲/۲۰ و ۹۴/۰۵/۱۱ مورد بررسی قرار داده و تأیید نمودند.

جداول ذیل زمان و بودجه مورد نیاز پروژه‌های توسعه فناوری را بیان می‌کند. لازم به ذکر است بودجه تخمین زده شده به صورت تجمیعی بوده و شامل نیروی انسانی، ساخت و تهیه تجهیزات مورد نیاز می شود. در این بودجه ۳۰ درصد هزینه ها مربوط به منابع انسانی و ۷۰ درصد مابقی مربوط به تجهیزات و ساخت می‌باشد.

جدول ۱- عناوین طرح‌ها، مدت زمان و منابع مورد نیاز جهت توسعه فناوری کمپرسور

ردیف۱	نام طرح	مدت زمان مورد نیاز (سال)
۱	تکمیل زیرساخت تست و ساخت چهار مرحله کمپرسور	۱
۲	صحه گذاری طراحی اولیه (بر مبنای کمپرسور ۴ استیجی)	۱
۳	طراحی کامل کمپرسور	۱
۴	ساخت کمپرسور مطابق با طرح جدید	۱/۵
جمع		

جدول ۲- عناوین طرح‌ها، مدت زمان و منابع مورد نیاز جهت توسعه فناوری محفظه احتراق

ردیف	نام طرح	مدت زمان مورد نیاز (سال)
۱	تکمیل زیرساخت‌های تست و آزمون	۲/۵
۲	طراحی محفظه احتراق و مشعل‌ها	۲
۳	ساخت و تست محفظه احتراق و مشعل و نیز اجزای متأثر از آن	۲
۴	طراحی سیستم‌های جانبی مرتبط	۱
جمع		

جدول ۳- عناوین طرح‌ها، مدت زمان و منابع مورد نیاز جهت توسعه فناوری توربین

ردیف	نام طرح	مدت زمان مورد نیاز (سال)
۱	تکمیل زیرساخت‌های لازم ساخت، تست و آزمون	۳
۲	طراحی ایرودینامیک	۲
۳	طراحی خنک‌کاری و پوشش	۲
۴	طراحی مکانیک و آب‌بندها	۲
۵	طراحی سیستم هوای ثانویه	۱
۶	تست و ساخت اولین سری پره‌ها و پوسته و سیلینگ توربین با طراحی و مواد و پوشش جدید	۳
جمع		

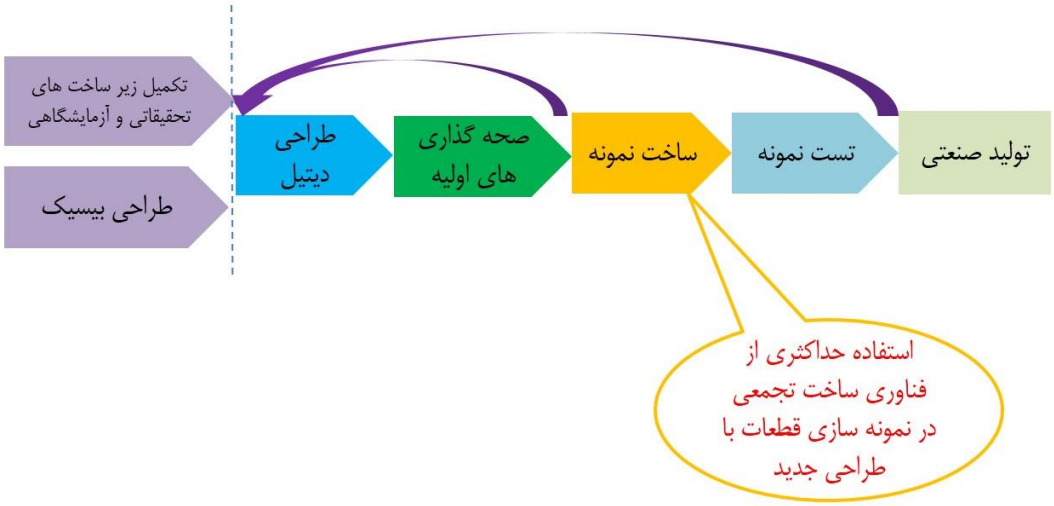
جدول ۴- عناوین طرح‌ها، مدت زمان و منابع مورد نیاز جهت توسعه فناوری آزمون‌های پروتوتایپ محصول جدید

ردیف	نام طرح	مدت زمان مورد نیاز (سال)
۱	انتخاب و تهیه ابزار دقیق، تجهیزات جانبی و زیرساخت مورد نیاز تست پروتوتایپ و ساخت اولین نمونه	۲
۲	تغییرات و اصلاحات در طراحی	۱
۳	تست و آزمون نمونه	۲
جمع		

۳-۲- رەنگاشت توسعه فناوری توربین گاز

همانطور که ذکر شد رەنگاشت فناوری نمایی تصویری از زمان‌بندی و بودجه‌بندی طرح‌های توسعه فناوری است به طوری که در بازه زمانی مشخص به اهداف طراحی شده دست یابیم. با توجه به توضیحات داده شده در بخش رویکرد توسعه و سبک اکتساب فناوری، با توجه به رویکرد کلان DUI و نیز پیشرو بودن شرکت‌های صنعتی در توسعه فناوری، دولت می‌بایست اقدامات و برنامه‌های خود را همراستا با برنامه‌های صنعت تنظیم نماید و بر این اساس می‌توان گفت نقشه راه توسعه این فناوری می‌بایست با مشارکت فعالان صنعتی این حوزه تنظیم گردد. بنابراین به منظور ترسیم نقشه راه توسعه این فناوری، تیم پروژه با مشارکت معاونت مهندسی و معاونت پژوهشی شرکت توربین‌سازی مپنا (از جمله جناب آقای دکتر محمد اولیا و جناب آقای مهندس بهنام تحویل دار) اقدام به تهیه نقشه راه اولیه توسعه این فناوری نمود و پس از اعمال نظرات خبرگان این حوزه، این نقشه راه در اختیار اعضای کمیته محترم کمیته راهبری قرار داده شد و اعضا محتوای آن را طی جلساتی در تاریخ‌های ۹۴/۰۲/۲۰ و ۹۴/۰۵/۱۱ مورد بررسی قرار داده و تأیید نمودند.

بنابراین با توجه به نظرات اعضای محترم کمیته راهبری، مسیر کلی طراحی و ساخت توربین (شکل ۱) و نیز رەنگاشت توسعه فناوری توربین گازی (شکل ۲) تهیه گردید.



شکل ۱- مسیر کلی طراحی و ساخت توربین

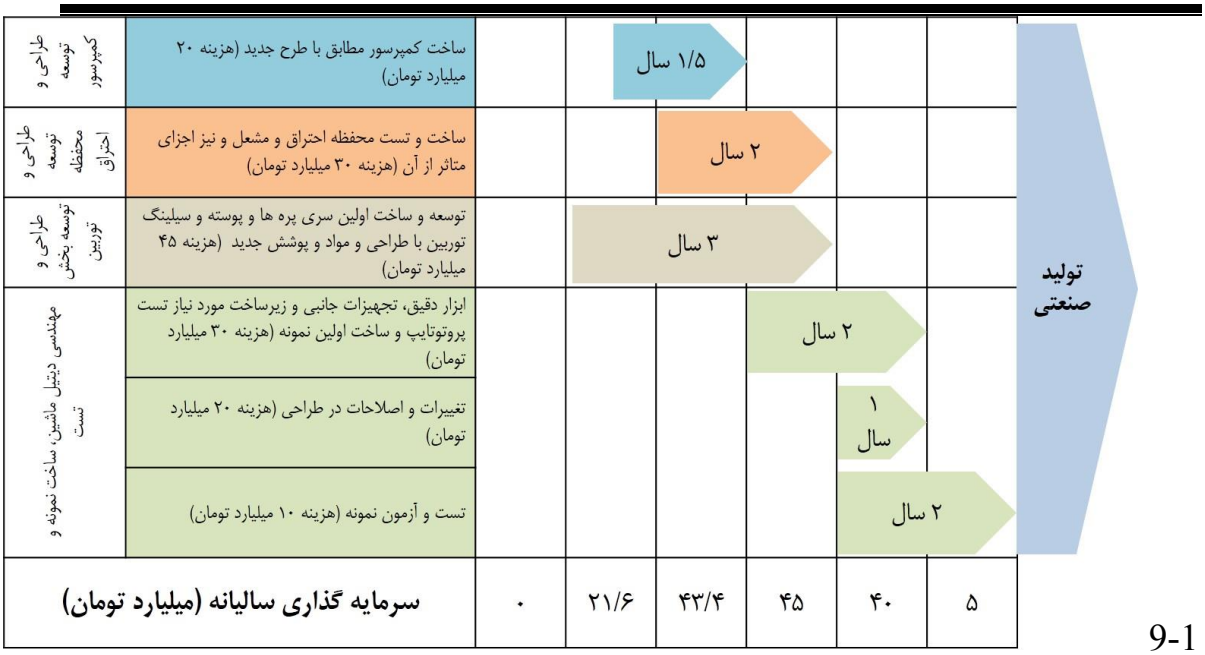
شکل ۲- ره‌نگاشت توسعه فناوری توربین‌های گازی کشوری در افق ۱۴۰۴

۴-۲- تعیین نهادهای مجری طرح‌ها

در جداول ۱ تا ۴ اقدامات فنی در جهت توسعه فناوری مشخص گردید. همانطور که ذکر شد این جداول با همکاری مرکز تحقیق و توسعه شرکت توربین‌سازی مپنا طراحی شده‌اند. در جلساتی که با مدیران مرکز تحقیق و توسعه شرکت توربین‌سازی مپنا گذاشته شد، در نهایت سهم فعالیت‌های وزارت نیرو و گروه مپنا مشخص شد. به طور کلی فعالیت‌های مرتبط با طراحی و زیرساخت با هزینه‌ای بالغ بر ۱۰۷ میلیارد تومان به عنوان سهم سرمایه‌گذاری وزارت نیرو و فعالیت‌های بخش ساخت اجزا، طراحی جدید و پورتوتایپ محصول با هزینه‌ای بالغ بر ۱۵۵ میلیارد تومان به عنوان سهم سرمایه‌گذاری گروه مپنا در نظر گرفته شد. جداول ۵ و ۶ سهم سرمایه‌گذاری و فعالیت‌های مرتبط با وزارت نیرو و گروه مپنا را تشریح می‌کند. همچنین شکل ۳ و ۴ نقشه راه پروژه‌های توسعه فناوری مرتبط با وزارت نیرو و گروه مپنا را به طور جداگانه، به همراه میزان سرمایه‌گذاری لازم در هر سال نمایش می‌دهد.

جدول ۵- طرح‌ها و سرمایه‌گذاری توسعه‌ای شرکت مپنا

حوزه فعالیت	
کمپرسور	ساخت کمپرسور مطابق طرح جدید
محفظه احتراق	ساخت و تست محفظه احتراق و مشعل و نیز اجزای متاثر از آن
توربین	توسعه و ساخت اولین سری پره ها و پوسته و سیلینگ توربین با طراحی و مواد و پوشش جدید
آزمون های پروتوتایپ ماشین و بهبودها	ابزار دقیق، تجهیزات جانبی و زیرساخت مورد نیاز تست پروتوتایپ
	انجام تست های محصول اولیه، تغییرات و اصلاحات و تست مجدد
	آزمون های عملکردی مستمر
مجموع (سهم سرمایه گذاری توسعه ای *گروه مپنا*)	



9-1

شکل ۳- رەنگاشت و سرمایه گذاری سالیانه شرکت مپنا در توسعه فناوری توربین گاز

جدول ۶- طرح‌ها و سهم سرمایه‌گذاری وزارت نیرو

حوزه فعالیت	
کمپرسور	تکمیل زیر ساخت های تست(ساخت و تست کمپرسور ۴ مرحله ای)
	صحه گذاری طراحی اولیه
	طراحی کامل کمپرسور
محفظه احتراق	تکمیل زیر ساخت های تست و آزمون
	طراحی محفظه احتراق حلقوی و مشعل ها
	طراحی سیستم های جانبی مرتبط
توربین	تکمیل زیرساخت های فناوری ساخت و تست اجزای داغ
	طراحی آیرودینامیک، کولینگ، سیلینگ و مکانیکال
	طراحی و توسعه سیستم هوای ثانویه
مجموع (سهم سرمایه گذاری *وزارت نیرو* در توسعه فناوری)	

9-2

شکل ۴- رهنگاشت و سرمایه گذاری سالیانه وزارت نیرو در توسعه فناوری توربین گاز

۵-۲- شناسنامه اقدامات و پروژه‌های فنی

با توجه به آنچه در بخش‌های قبل گفته شد، پروژه‌های فنی در راستای دستیابی به چشم انداز و اهداف کلان توسعه فناوری توربین گاز شناسائی شده و پس از برآورد بودجه و زمان مورد نیاز، متولی اجرای آنها معرفی گردید. در اینجا لازم است اطلاعات فوق الذکر را در کنار معرفی پروژه‌ها و اقدامات فنی یکجا گردآوری نموده و به عنوان شناسنامه اقدامات فنی ارائه گردند. لذا با توجه به آنچه گفته شد شناسنامه اقدامات و پروژه‌های فنی به شرح ذیل می‌باشد.

الف) طرح های مربوط به کمپرسور

- **تکمیل زیر ساخت‌های تست و ساخت چهار مرحله کمپرسور**

این پروژه طی یک سال و با هزینه ۱۰ میلیارد تومان توسط وزارت نیرو انجام خواهد شد. با توجه به اینکه ساخت کامل یک مجموعه تست برای تمام مراحل کمپرسور غیر ممکن است، بنابراین نیازمند یک زیرساخت تست مولفه¬ای می باشد. از آنجا که می توان عملکرد کمپرسور را با ساخت و آزمون چهار مرحله از آن مورد ارزیابی

قرار داد. بر مبنای طراحی انجام شده، ساخت پره های سه بعدی کمپرسور در این طرح انجام شده و درگاه های لازم جهت نصب ابزارهای اندازه گیری نیز در کمپرسور تعبیه می شود.

- **صحه گذاری طراحی اولیه**

بر اساس طراحی و نمونه کمپرسور ۴ مرحله ای ساخته شده، آزمون های مولفه ای(Cascade Tests) طراحی می شود. طراحی آزمون ها در مدت ۱ ماه، نصب سنسورها و تجهیزات اتاق کنترل در مدت ۲ ماه و آزمون های مولفه ای در مدت زمان ۹ ماه و کل طرح در زمان ۱ سال با هزینه ۲ میلیارد تومان توسط وزارت نیرو صورت خواهند گرفت. فرآیند آزمون ها و گزارش نتایج بر مبنای استاندارد کارخانه ای خواهد بود.

- **طراحی کمپرسور کامل کلاس F**

با توجه به پروژه های ساخت و آزمون ۴ مرحله کمپرسور، طرحی کمپرسور کامل طی مدت یک سال و با هزینه ۶ میلیارد تومان انجام خواهد شد. در این طرح، با توجه به خروجی های طراحی ۴ مرحله و آزمون های انجام شده، اجرا خواهد شد.

در این پروژه در صورت نیاز، طراحی مجدد به منظور دستیابی به نسبت فشار مرحله و تامین پارامترهای آیرودینامیکی، طراحی برمبنای عمر و قابلیت اطمینان انجام خواهد شد. طراحی ماژولار به گونه ای خواهد بود که با توجه به اصلاحات لازم احتمالی، قابلیت باز طراحی اجزاء با حداقل هزینه امکان پذیر باشد.

- **ساخت کمپرسور مطابق با طرح جدید**

بر مبنای نتایج صحه گذاری در آزمون مولفه ای کمپرسور و طراحی های سه بعدی انجام شده از پره های کمپرسور ساخت تمام مراحل کمپرسور به طور کامل انجام می پذیرد. این فعالیت در طی مدت ۱۸ ماه با هزینه ۲۰ میلیارد تومان توسط شرکت مپنا انجام خواهد گرفت.

ب) طرح های مربوط به محفظه احتراق

- **تکمیل زیر ساخت تست و آزمون محفظه احتراق**

آزمون های محفظه احتراق طی مدت ۲/۵ سال و با هزینه ۵ میلیارد تومان انجام خواهند شد. با توجه به بستر سازی انجام شده، دو آزمایشگاه مجزای احتراق اتمسفریک و احتراق تحت فشار طبق استاندارد جهت انجام آزمون ها بکار گرفته خواهند شد. این فعالیت با هزینه کرد وزارت نیرو دنبال خواهد شد.

- **طراحی محفظه احتراق حلقوی و مشعل‌ها**

طراحی محفظه احتراق به عنوان مهمترین قسمت توربین گازی از نظر جایگاه فناوری در مدت ۲ سال با مساعدت مالی وزارت نیرو و با هزینه ۳۰ میلیارد تومان انجام خواهد شد. محفظه احتراق بصورت Can-Annular و بر اساس مطالعه الگوهای کلاس F موجود صورت گرفته و در سه بخش اصلی طراحی مکانیکی، سیالاتی و آکوستیکی انجام خواهد شد. طراحی بصورت ماژولار بوده و آزمون های عملکردی محفظه در نرم افزار شبیه سازی خواهد شد.

- **ساخت محفظه احتراق و مشعل و نیز اجزای متأثر از آن**

ساخت محفظه احتراق حلقوی در مدت زمان ۲ سال و با هزینه ۳۰ میلیارد تومان با سرمایه‌گذاری مپنا انجام خواهد شد. با توجه به فناوری های مورد نیاز در ساخت، در مراحل لازم از برون سپاری نیز استفاده خواهد شد و مسئولیت اجرایی آن بر عهده شرکت مپنا می باشد.

- **طراحی سیستم‌های جانبی مرتبط**

طراحی سیستم سوخت رسانی محفظه احتراق، پمپ‌ها، نازلهای سوخت و سیستمهای کنترلی مربوطه طی مدت ۱ سال و با هزینه ۲ میلیارد تومان که توسط وزارت نیرو تامین خواهد شد، صورت خواهد گرفت.

ج) طرح های مربوط به توربین

- **تکمیل زیرساخت های ساخت، تست و آزمون**

این طرح توسط وزارت نیرو طی مدت ۳ سال و با هزینه ۲۵ میلیارد تومان با سرمایه گذاری مپنا انجام خواهد شد. در این طرح، مجموعه آزمایشگاه های تخصصی جهت آزمون نمونه های توربین های گازی تجهیز خواهند شد. دستگاه های مشخص شده در طرح های قبلی، در این طرح تهیه و جهت آزمون، طبق شرایط استاندارد آماده سازی و راه اندازی می شوند

- **طراحی آیرودینامیک توربین**

این طرح با سرمایه گذاری وزارت نیرو طی مدت ۲ سال و هزینه ۶ میلیارد تومان انجام خواهد شد. طراحی یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی آیرودینامیک توربین و روتور مبتنی بر شبیه سازی CFD انجام خواهد شد. طراحی سیستم بر مبنای کارکرد در شرایط نامی و شرایط تغییر بار شبیه سازی می شود.

- **طراحی خنک کاری و پوشش**

سیستم های خنک کننده پیشرفته به عنوان یکی از نیازمندی های اساسی در طراحی توربین گاز است. هدف طراحی یک سیستم خنک کننده پیشرفته جهت تامین حد تحمل دمائی توربین گازی کلاس F است. طراحی پوشش های توربین جهت غلبه بر سایش(wear)، خوردگی(Corrosion)، اصطکاک و افزایش حد تحمل حرارتی پره ها و افزایش عمر توربین انجام خواهد شد. شبیه سازی عملکرد پوشش ها در نرم افزارهای تخصصی صورت گرفته و اصلاحات لازم در طراحی اعمال می‌شود. این طرح با سرمایه گذاری وزارت نیرو طی مدت ۲ سال با هزینه ۸ میلیارد تومان انجام خواهد شد.

- **طراحی مکانیک و آب بندها**

با توجه به شبیه سازی دینامیکی توربین گاز و در نظر گرفتن کلیه پارامترهای موثر در کاهش/افزایش عمر اجزاء اصلی، طراحی مکانیکی و تخمین عمر صورت خواهد گرفت. همچنین طراحی مناسب آب‌بندها نیز جهت بالابردن راندمان و عملکرد توربین مؤثر می¬باشد. این طرح با هزینه ۸ میلیارد تومان در طی ۲ سال با تامین بودجه از طریق وزارت نیرو اجرا خواهد شد.

- **طراحی سیستم هوای ثانویه (SAS)**

این طرح طی مدت ۱ سال و با هزینه ۵ میلیارد تومان توسط مپنا انجام خواهد شد. مسیرهای جریان، طراحی پنوماتیکی، شبیه سازی انتقال حرارت و اختلاط جریان ها، مطالعه شده و با توجه به الگوهای موجود، طراحی مناسب صورت خواهد گرفت.

- **توسعه و ساخت اولین سری پره‌ها و پوسته و سیلینگ توربین با طراحی و مواد و پوشش جدید**

این طرح توسط شرکت مپنا طی مدت ۳ سال و با هزینه ۴۵ میلیارد تومان انجام خواهد شد. با توجه به تحقیقات و کارهای عملیاتی انجام شده روی پره های تک کریستال در شرکت پرتو ، فناوری این پره ها جهت استفاده در توربین کلاس F توسعه داده شده و طراحی انجام خواهد شد. ساخت پره های سه بعدی طراحی شده به کمک فیکسچر ها و قالب های جدید صورت خواهد گرفت. همچنین پوسته و سیلینگهای جدید توربین نیز با طراحی مواد و پوشش جدید مطابق کلاس F ساخته خواهد شد.

د) طرح های مربوط به آزمون های پروتوتایپ محصول جدید

هدف از این طرحها آماده سازی بستر لازم جهت انجام تست های اولیه از نمونه ساخته شده و انجام اصلاحات لازم روی محصول اولیه ارائه شده جهت تولید صنعتی می باشد. بطور کلی این طرحها در حد امکان بطور موازی با بخشهای دیگر انجام می‌شود. کلیه طرح‌های مربوط به آزمون‌های پرتوتایپ توسط شرکت مپنا اجرا خواهد شد.

- **ابزاردقیق، تجهیزات جانبی و زیر ساخت مورد نیاز تست پروتوتایپ و ساخت اولین نمونه**

این طرح با هزینه ۳۰ میلیارد تومان و در مدت ۲ سال انجام می شود و هدف خرید کارشناسی تجهیزات و سنسور های لازم برای انجام آزمون و ساخت نمون اولیه می باشد.

- **تغییرات و اصلاحات در طراحی**

هدف بدست آوردن اختلافات با طرح اولیه در عملکرد و معیار های طراحی می باشد. تا با مقایسه به ارائه راه حلهایی منطقی جهت رفع مشکلات مربوطه پرداخته شود. این طرح نیز در مدت یکسال و با هزینه ۲۰ میلیارد تومان انجام خواهد شد.

- **تست و آزمون نمونه**

در این طرح هدف انجام آزمون اولیه جهت بررسی عملکرد اجزاء مختلف (توربین، کمپرسور و محفظه احتراق)، کل سیستم و مقایسه با طراحی های انجام شده می باشد. این طرح در مدت ۲ سال و با هزینه ۱۰ میلیارد تومان انجام می شود.

۶-۲- نحوه تقسیم کار ملی

پس از شناسایی پروژه‌ها، ارائه زمانبندی طرح‌های توسعه فناوری توربین گاز، هزینه‌های اجرایی و تحقیق و توسعه و مهندسی هر یک، و تعیین نهادهای مجری طرح‌ها، لازم است ساختار اجرایی کار با عنایت به سیاست‌های اصلاح ساختاری که در فصل پیشین ارائه شدند، از حیث نوع روابط بین نهادهای پیشنهادی ارائه شود.

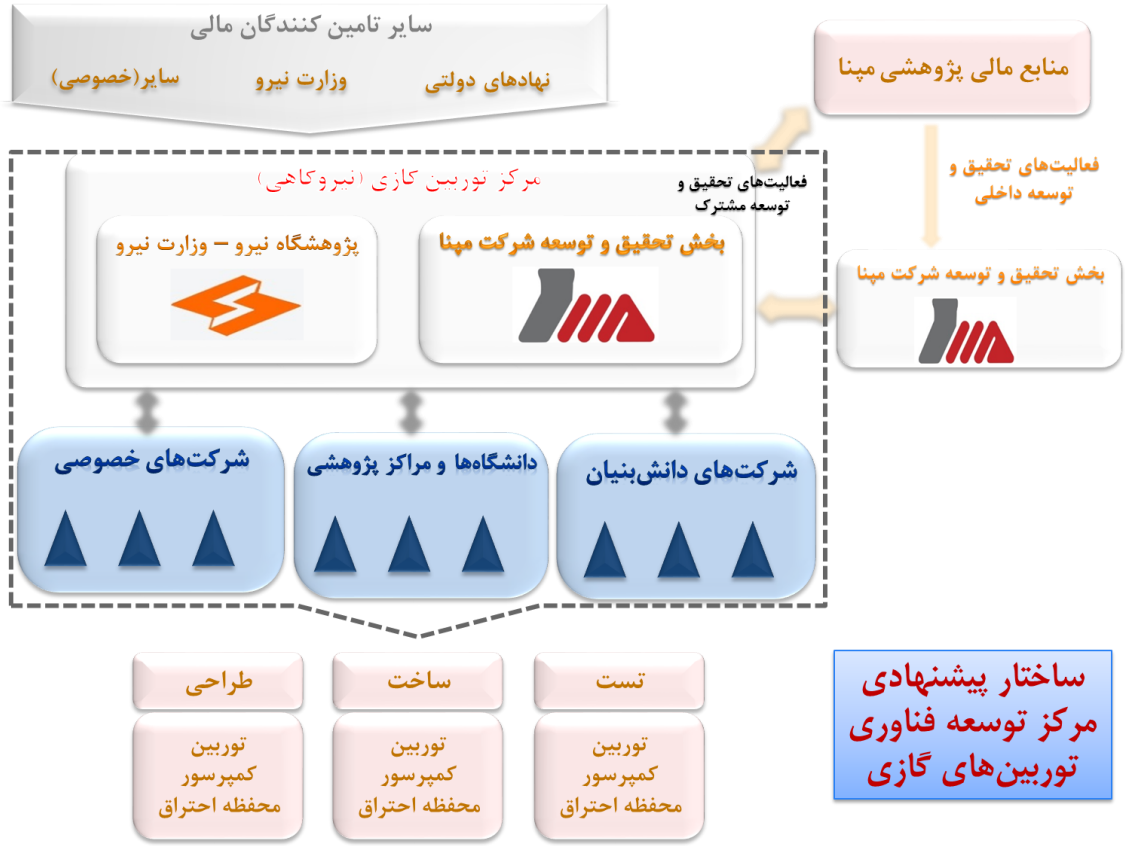
در پی مذاکرات و توافقات انجام گرفته با مدیریت محترم شرکت مپنا، تفاهم‌نامه همکاری بین شرکت مپنا و پژوهشگاه نیرو به امضاء خواهد رسید. هدف از این تفاهم‌نامه، همکاری در زمینه راه‌اندازی مرکز توسعه فناوری توربین‌های گازی کشور و توسعه فناوری توربین گازی کلاس F ۲۵۰ مگاواتی است.

زمینه‌های کلی در همکاری طرفین عبارت‌اند از:

۱. طراحی، ساخت و تست توربین‌های گازی پیشرفته
۲. تأمین منابع لازم برای پیشبرد پروژه از طریق جذب سرمایه‌گذار داخلی و خارجی
۳. حمایت و کمک به توسعه شرکت‌های دانش‌بنیان مرتبط با فناوری‌های توربین گازی پیشرفته
۴. تعاملات تکنولوژیک با دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی بین‌المللی و داخلی
۵. توانمندسازی بخش خصوصی در زمینه فناوری‌های مربوط به توربین‌های گازی پیشرفته

طرح‌های فنی معرفی شده در بخش قبل به عنوان طرح‌های تخصصی در همکاری مشترک به منظور توسعه فناوری توربین گاز کلاس F ۲۵۰ مگاوات تعیین شده اند.

شکل ۵ نمایی از تقسیم کار ملی توسعه فناوری توربین گاز را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشخص است، همکاری پژوهشگاه نیرو و بخش تحقیق و توسعه شرکت توربین‌سازی مپنا با شرکت‌های دانش‌بنیان، دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی و شرکتهای خصوصی در جهت تست، ساخت و طراحی توربین، کمپرسور و محفظه احتراق انجام می‌گیرد.



شکل ۵- ساختار اجرایی در سطح ملی

۳- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری کلی گزارش

در این گزارش به عنوان فاز چهارم در این گزارش ضمن بررسی مفاهیم مربوط به نقشه راه، به شناسایی پروژه‌های لازم، تعیین زمانبندی و برآورد هزینه‌های طرح‌ها پرداخته شد و در ادامه در قالب یک نقشه راه روند زمانی اجرایی طرح‌ها مشخص گردید. شکل ۲ نقشه راه توسعه فناوری توربین گاز را نشان می‌دهد. در ادامه در قالب شناسنامه اقدامات و پروژه‌های فنی، طرح‌های توسعه فناوری معرفی گردیده و بودجه و زمان مورد نیاز به همراه متولی هر طرح ذکر گردید. در پایان نیز نحوه تعاملات بین نهادی در زمینه راهبری پیاده‌سازی طرح‌ها در قالب ساختار اجرایی در سطح ملی ارائه گردید و این‌گونه ذکر شد که در پی تفاهم پژوهشگاه نیرو با شرکت مپنا، مرکزی به نام مرکز توسعه فناوری توربین گاز کشور راه‌اندازی خواهد شد و این مرکز با همکاری و سرمایه‌گذاری مشترک پژوهشگاه نیرو و شرکت مپنا طرح های فنی توسعه فناوری توربین گازی کلاس F را پیش خواهد برد. شکل ۵ ساختار اجرائی در سطح ملی را مشخص می‌کند.

در پایان شایان ذکر است که نتایج این مطالعات در جلسات شورای پژوهشی وزارت نیرو مطرح گردید و مورد تأیید اعضای این شورا قرار گرفت. همچنین در این جلسات سوالاتی جانبی مطرح گردید که در پیوست این گزارش پاسخ‌های مربوط به سوالات مطروحه آورده شده است.

پیوست: پاسخ سوالات مطرح شده در جلسه شورای پژوهشی وزارت نیرو

نقش توربین گازی بر سایر مواردی که از آن تاثیر می پذیرد، بیان شود:

۱- پایداری شبکه، کنترل فرکانس

۲- نوع سوخت ها(درجه ۱و۲)

۳- پسماند و مسائل زیست محیطی توربین گاز. نکات مثبت و منفی بیان گردد.

۴- وجود نکات منفی در تعمیرات و پشتیبانی توربین گاز در کشور ایران

۵- بازار منطقه ای باید دیده شود

۶- چراحاکمیت باید برای توسعه توربین گاز هزینه کند.

۷- قابلیت تبدیل به سیکل ترکیبی

پاسخ ها:

۱- قابلیت کنترل فرکانس در هر حال وجود دارد و در شبکه سراسری برق اعمال می گردد.

توربین گازی کلاس F از نظر پایداری شبکه و کنترل فرکانس در مقایسه با توربین های با ظرفیت بیشتر وضعیت بهتری دارد. در واقع پاسخگوئی به ظرفیت توان تولیدی مورد نیاز، رعایت الزام افزایش راندمان کلی نیروگاهها، قابلیت اطمینان، پایداری و کنترل پذیری در کنار هم دیده می شوند.

۲- به دلیل تبعات زیست محیطی، سوخت سنگین باید با احتیاط و در موارد استثنایی استفاده شود. ایران دارای منابع عظیم گاز طبیعی است که هم از نظر فنی، هم اقتصادی (طول عمر و هزینه های نگهداری تجهیزات) و هم زیست محیطی به مراتب بر سوخت سنگین ارجحیت دارد.

در مورد سوخت های نوین نظیر سوخت های زیستی، تحقیقات رو به رشدی در کارخانجات معتبر بین المللی در حال انجام است، اما نمونه های تجاری و تولید انبوه شده وجود ندارد. لذا به عنوان یک اولویت در این برنامه توسعه فناوری در کشور ما دیده نشده است.

۳- مسائل زیست محیطی از موارد مهم در توربین گاز است و زیرساخت دانشی و فناوری لازم در گروه مپنا ایجاد شده است. برخی از فناوری های مرتبط در محفظه احتراق توربین گاز نظیر طراحی محفظه احتراق حلقوی با آلایندگی پایین برای کلاس های بالاتر نیز در دست اجراست.

۴- در حوزه تعمیر و نگهداری در ایران پیشرفت زیادی تاکنون حاصل شده است. در عین حال با افزایش کلاس توربین گاز، هزینه های این حوزه نیز به مراتب بیشتر خواهد بود.

۵- بازارهای منطقه ای و فرامنطقه ای توربین های گازی توسط گروه مپنا دنبال می شود و موفقیت هایی نیز تاکنون حاصل شده است. توسعه فناوری کلاس های بالاتر توربین های گازی می تواند، پاسخگوی نیازهای جدید تری از مشتریان بین المللی باشد.

۶- در بخش تحقیقات کارخانه ای و تولیدی، گروه مپنا سرمایه گذاری لازم را انجام خواهد داد. اما در بخش تحقیقات پایه ای دولت باید سرمایه گذاری لازم را انجام داده تا دانشگاه ها و مراکز پژوهشی، دانش های مورد نیاز را توسعه دهند. به علاوه توسعه فناوری و دانش توربین های گازی نیروگاهی، قطعاً سرریز دانشی قابل توجهی به سایر حوزه های توربین های گازی نظیر توربین های صنعتی مورد استفاده در صنایع نفت و گاز و صنایع هوائی خواهد داشت.

۷- توربین گازی که در نقشه راه دیده شده است، توربین کلاس F در محدوده توانی ۲۰۰ تا ۲۵۰ مگاوات با راندمان تا ۳۹٪ در سیکل ساده و ۵۷٪ در سیکل ترکیبی می باشد.

مراجع

[1] **Ahrens, J.**, 2002. *Governance and the implementation of technology policy in less developed countries*. Econ. Innovation New Tech. 11, 441-476.

[2] **Colebatch H.K.**, 2002. *Policy*. Second edition, Open University Press, Buckingham.

[3] **Faulhaber G.R**., 2000. *Emerging technologies and public policy: in Wharton on managing emerging technologies*, ed. G.S. Day, P.J.H. Schoemaker and R.E. Gunther, John Wiley & Sons, Inc., New York.

[4] **Agency, International Energy.** *Energy Technology Roadmaps: a guide to development and implementation.* Paris : OECD/IEA, 2014.

[۵] **مرکز تحقیقات سیاست علمی کشور.** *روش‌شناسی تدوین اسناد ملی فناوری‌های راهبردی.* تهران : در دست چاپ, ۱۳۹۲.

[6] http://2rooznameh.ir/index/index.php/