

بخش هفتم : انرژی هسته‌ای

۷-۱ : نیروگاه‌های اتمی

۷-۲ : چرخه سوخت هسته‌ای ایران

بخش هفتم: انرژی هسته‌ای^۱

۷-۱- نیروگاه‌های اتمی

استفاده از انرژی هسته‌ای برای تولید برق یکی از اهداف اصلی سازمان انرژی اتمی ایران می‌باشد. اهم فعالیت‌های در حال انجام در راستای تولید و توسعه برق هسته‌ای به چهار بخش عمده پیگیری طرح تکمیل نیروگاه اتمی بوشهر، احداث نیروگاه اتمی ۳۶۰ - IR، احداث واحدهای جدید نیروگاه اتمی و شناسایی و انتخاب ساختگاه‌های جدید برای تحقق بیست هزار مگاوات برق هسته‌ای تقسیم می‌گردد، که در اینجا به اختصار هر یک از آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

پیگیری طرح تکمیل نیروگاه اتمی بوشهر: استفاده صلح آمیز از انرژی هسته‌ای برای تولید برق در ایران دارای یک سابقه پر فراز و نشیب سی ساله می‌باشد. قبل از پیروزی انقلاب اسلامی ایران، برنامه‌های گسترده‌ای برای احداث نیروگاه‌های اتمی و مراکز پشتیبانی و تحقیقاتی مربوطه فراهم و دولت وقت مصمم شد که ظرفیت نیروگاه‌های اتمی در کشور را به ۲۳۰۰۰ مگاوات برساند. مطالعاتی که منجر به برنامه‌های مزبور گردید با کمک شرکت‌های معتبر آمریکایی و اروپایی صورت گرفت. پس از پیروزی انقلاب اسلامی و به دنبال عدم همکاری کشورهای آلمان، فرانسه و چین و تعلیق پروژه نیروگاه اتمی بوشهر توسط شرکت KWU در ژانویه ۱۹۷۸، در نتیجه تلاش‌های مستمر مسئولین وقت سازمان و به دنبال امضای موافقتنامه همکاری‌های صلح آمیز اتمی ما بین دولت‌های جمهوری اسلامی ایران و فدراسیون روسیه در آگوست ۱۹۹۲، نهایتاً در ژانویه ۱۹۹۵ قرارداد تکمیل واحد اول نیروگاه اتمی بوشهر مابین سازمان انرژی اتمی ایران و پیمانکار روسی وابسته به وزارت انرژی اتمی روسیه (ASE) به امضاء رسید و در ژانویه ۱۹۹۶ نافذ گردید. متعاقباً به سبب پیچیدگی امور مشترک کاری کارفرما و پیمانکار که به مانعی بر سر راه پیشرفت پروژه تبدیل شده بود، در آگوست ۱۹۹۸ (مرداد ماه ۱۳۷۷) الحاقیه شماره یک نیز به قرارداد فوق‌الذکر ضمیمه گردید و بدین ترتیب تقسیم مسئولیت‌های قراردادی بین کارفرما و پیمانکار مورد تجدید نظر کلی قرار گرفت. یکی از اهداف مورد نظر در قرارداد با شرکت ASE حداکثر استفاده از تجهیزات به جا مانده از طرح KWU بوده که در این راستا نهایت جدیت اعمال گردیده است. هدف دیگر طرح جدید، اعمال تغییرات اجتناب ناپذیر به طور مناسب در جهت تطبیق با ضوابط، استانداردها و همچنین تکنولوژی امروزی و در نهایت حصول اطمینان از راه‌اندازی و بهره‌برداری موفقیت آمیز نیروگاه به صورت ایمن بوده است.

مشخصات فنی نیروگاه اتمی بوشهر به شرح زیر می‌باشد:

(۱) مأخذ مطالب این بخش سازمان انرژی اتمی ایران می‌باشد.

- نوع راکتور: آب تحت فشار PWR
- توان حرارتی: ۳۰۰۰ مگاوات
- توان الکتریکی: ۱۰۰۰ مگاوات
- نرخ حجم آب در گردش از راکتور: ۸۴۰۰۰ مترمکعب در ساعت
- نرخ حجم آب مورد نیاز کندانسور: ۶۱ مترمکعب در ثانیه
- فشار مدار اول: ۱۵۷ بار
- درجه حرارت آب مدار اول: ورودی به راکتور ۲۹۱ درجه سانتیگراد و خروجی از راکتور ۳۲۱ درجه سانتیگراد
- نوع سوخت: اکسید اورانیوم غنی شده
- وزن کل اکسید اورانیوم (سوخت اولیه): ۸۰ تن
- غنای سوخت در سوخت گذاری اولیه: ۱/۶ درصد، ۲/۴ درصد و ۳/۶۲ درصد^۱

جدول (۷-۱): مشخصات پروژه اجرایی مربوط به نیروگاه اتمی بوشهر

نام پروژه	منطقه (استان)	سال شروع	سال بهره‌برداری	قابلیت تولید سالانه انرژی (میلیون کیلووات ساعت)	ظرفیت طرح (مگاوات)	درصد پیشرفت کار تا پایان سال ۱۳۸۵
طرح تکمیل نیروگاه اتمی بوشهر	بوشهر	۱۳۷۴	۱۳۸۷	۷۰۰۰	۱۰۰۰	۹۲/۴

آخرین وضعیت طرح به این صورت است که احداث و تعمیر و بازسازی کلیه ساختمان‌ها پایان پذیرفته و با توجه به پیشرفت نصب تجهیزات به میزان ۸۱ درصد، راه اندازی واحدهای پشتیبان نظیر تولید آب بدون املاح، تولید آب سرد، پمپ خانه مرکزی و پست ۴۰۰ کیلوولت گازی با موفقیت صورت پذیرفته است. هم اکنون عملیات تکمیلی نصب سایر سیستم‌ها و آزمایش‌های اولیه آنها در دست اقدام می‌باشند. همچنین سوخت اولیه نیروگاه در روسیه بطور کامل ساخته شده و انبار نگهداری موقت برای پذیرش سوخت احداث گردیده و کلیه مجوزهای لازم برای حمل سوخت اولیه از مقامات ذیصلاح نیز اخذ شده است.

احداث نیروگاه اتمی ۳۶۰ - IR: طراحی و احداث نیروگاه ۳۶۰ - IR با قدرت نامی ۳۶۰ مگاوات از نوع آب تحت فشار، از اواسط سال ۱۳۸۴ با تکیه بر توان مهندسی داخلی آغاز و طراحی پایه هم اکنون در دست انجام می‌باشد. مکان احداث این نیروگاه پس از مطالعات صورت گرفته، ساختگاه دارخوین در استان خوزستان تعیین شده است.

(۱) نیروگاه‌های هسته‌ای در سوخت‌گیری اولیه نیاز به سه غنای سوخت متفاوت دارند.

احداث واحدهای جدید نیروگاه اتمی: سازمان انرژی اتمی ایران، در راستای اهداف و وظایف محوله و همچنین مصوبه مورخ ۸۴/۳/۱ مجلس محترم شورای اسلامی مبنی بر تحقق سهم انرژی هسته‌ای به میزان ۲۰ گیگاوات از کل ظرفیت انرژی الکتریکی کشور، تهیه اسناد مناقصه احداث دو واحد جدید نیروگاه هسته‌ای از نوع نسل سوم آب سبک تحت فشار به ظرفیت هر یک ۱۶۰۰-۱۰۰۰ مگاوات الکتریک را تهیه و در اوایل سال ۱۳۸۶ به مناقصه بین‌المللی گذاشته است. اسناد مناقصه تهیه شده از نقطه نظر ساختار، جزییات مطالب و مبانی کلی بر پایه موارد زیر تهیه گردیده است:

- تجربه حاصله از قرارداد واحد اول نیروگاه هسته‌ای در بوشهر

- استراتژی احداث ۲۰ گیگاوات برق هسته‌ای

- گزارش توجیهی احداث دومین نیروگاه هسته‌ای

- ضوابط نیروگاه‌های هسته‌ای در اروپا

- توصیه‌های آژانس بین‌المللی انرژی اتمی

شناسایی و انتخاب ساختگاه‌های جدید برای تحقق ۲۰ گیگاوات برق هسته‌ای: بدون شک تحقق ۲۰ گیگاوات برق

هسته‌ای نیازمند ساختگاه‌های مناسب مطابق با ضوابط و مقررات دفتر امور ایمنی هسته‌ای کشور و استانداردهای بین‌المللی می‌باشد. در این راستا شرکت تولید و توسعه انرژی اتمی ایران اسناد مناقصه انتخاب ساختگاه‌های جدید در کشور را تهیه نموده است و مراحل شناسایی مشاورین ذی صلاح در دست اقدام می‌باشد.

۲-۷- چرخه سوخت هسته‌ای ایران

یکی از برنامه‌های راهبردی جمهوری اسلامی ایران در راستای توسعه نیروگاه‌های هسته‌ای در کشور، تأمین داخلی بخشی از سوخت مورد نیاز این نیروگاه‌ها می‌باشد. اطمینان از تأمین این سوخت، ایجاب می‌نماید کشور اقدامات مؤثری را در بومی نمودن فناوری‌های تولید انواع مختلف آن انجام دهد. به عبارت دیگر، دستیابی به دانش چرخه سوخت هسته‌ای و تکنولوژی تولید میله‌ها و بسته‌های سوخت اتمی به عنوان یک اصل جهت رسیدن به خودکفایی و پیش زمینه‌ای جهت افزایش توان علمی یک امر عقلایی و مورد قبول می‌باشد. در همین ارتباط مهمترین اقدامات انجام شده در چارچوب مراحل ۸ گانه چرخه سوخت هسته‌ای عبارتند از:

- اکتشاف اورانیوم ،

- استخراج سنگ معدن اورانیوم ،

- تولید کنسانتره اورانیوم (کیک زرد)،
- فرآوری و تولید محصولات مختلف اورانیوم در تأسیسات UCF ،
- غنی سازی اورانیوم،
- تولید ورق، لوله و میلگرد زیر کونیوم و آلیاژهای آن در کارخانه ZPP ،
- تولید مجتمع سوخت هسته‌ای در کارخانه FMP ،
- پسمانداری هسته‌ای.

۱-۲-۷- اکتشاف اورانیوم

اولین گام و اولین حلقه در چرخه سوخت هسته‌ای تأمین منابع اورانیوم مورد نیاز جهت صنعت انرژی هسته‌ای است. با توجه به مطالعات به عمل آمده، ایران کشور پهنای و مستعدی از نظر انواع منابع فلزی و غیر فلزی در محیط‌های مختلف زمین شناسی است. نقشه‌های رادیومتری و اسپکترومتری هوایی که برای مناطق وسیعی از کشور تهیه گردیده‌اند، وجود ناهنجاریهای متعددی از اورانیوم و عناصر همراه آن را در مناطق وسیعی از کشور که ممکن است در مواردی حاکی از وجود معادن اورانیوم باشد نشان می‌دهند. لذا بر اساس سیاست‌های کلان سازمان انرژی اتمی ایران و با توجه به شرایط زمین شناسی کشور در حال حاضر پنج راهکار برای اکتشاف منابع معدنی اورانیوم در ایران طراحی گردیده است که به نظر می‌رسد به طور مطلوبی کل کشور را تحت پوشش قرار دهند. این راهکارها عبارتند از:

- اکتشاف اورانیوم در حوضه‌های رسوبی کشور،
- اکتشاف از طریق کنترل نقاط شاخص اکتشاف هوابرد،
- توسعه عملیات ژئوفیزیک هوایی در مناطق باقی مانده کشور ،
- اکتشاف در حیطه گندهای نمکی جنوب کشور،
- توسعه عملیات اکتشافی در اندیس‌های قبلی .

گفتنی است که جهت اکتشاف منابع اورانیوم در کشور، مراحل مطالعات حوضه‌های نفتی و حوضه‌های ماسه سنگ‌های زغال دار ایران پیش‌بینی و برای آن برنامه ریزی شده است. همچنین نزدیک به یک سوم مناطق کشور تحت عملیات ژئوفیزیک هوایی قرار گرفته و در جنوب کشور نیز ۶۸ گنبد نمکی شناسایی شده و در امور توسعه عملیات اکتشافی صدها اندیس در ۴۶ منطقه اکتشافی مورد بررسی قرار گرفته‌اند که از مهمترین آنها می‌توان به مناطق معدنی ساغند و اکتشافی خشومی، ناریمان و چاه جوله اشاره نمود.

۷-۲-۲- استخراج سنگ معدن اورانیوم

در حال حاضر مهمترین کانسار اورانیوم ایران در منطقه معدنی ساغند واقع شده است. به همین منظور طرح تجهیز و بهره‌برداری از معدن ساغند در حال حاضر توسط سازمان انرژی اتمی در حال انجام است. هدف از اجرای این طرح استخراج سالانه ۱۲۰ هزار تن سنگ معدن اورانیوم مورد نیاز چرخه سوخت هسته‌ای می‌باشد. بنابر این پروژه ساغند یکی از فعالیت‌های عمده ایران در زمینه استحصال اورانیوم از منابع طبیعی است. تأسیسات موجود در این کارخانه، اورانیوم را از عمق ۳۵۰ متری استخراج کرده و سپس در منطقه اردکان یزد پس از اعمال فرآیندهای مختلف فیزیکی و شیمیایی به کیک زرد تبدیل می‌کند.

اکتشاف حین استخراج که سبب طولانی شدن عمر معدن و افزایش ضریب اقتصادی آن می‌گردد، از دیگر فعالیت‌های در حال انجام این مرحله می‌باشد. لذا پیش‌بینی می‌شود که از طریق بسط و توسعه حفاری‌های تحت‌الارضی در منطقه ساغند بتوان تا پایان عمر معدن حدود ۵۰۰ هزار تن سنگ معدن اورانیوم (۳۰ درصد منابع موجود) به ذخایر فعلی افزود.

۷-۲-۳- تولید کنسانتره اورانیوم (کیک زرد)

پس از استخراج سنگ معدن اورانیوم، تولید کنسانتره اورانیوم (کیک زرد) با ترکیب شیمیایی U_3O_8 سومین مرحله از چرخه سوخت هسته‌ای می‌باشد. در حال حاضر در جهت تولید این محصول، دو کارخانه فرآوری اورانیوم یکی در اردکان یزد با ظرفیت ۶۷ تن و دیگری در بندرعباس با ظرفیت ۲۱ تن در سال طراحی و ساخته شده است. در این ارتباط تا پایان برنامه چهارم توسعه به میزان ۵۰۰ تن کیک زرد تولید خواهد شد.

۷-۲-۴- فرآوری و تولید محصولات مختلف اورانیوم در تأسیسات UCF

پروژه UCF به دلیل مرکزیت آن در چرخه سوخت نقش استراتژیک داشته و در دستیابی کشور به فن‌آوری تولید سوخت هسته‌ای نقش مهمی دارد. به دلیل ساختار هسته‌ای و شیمیایی، این پروژه در طراحی و بهره‌برداری دارای نکات ظریف مهندسی است. لذا در ساخت کارخانه UCF از امکانات بیش از ۲۰۰ کارخانه و مؤسسه تولیدی داخل کشور استفاده شده که این کار با کنترل‌های دقیق کیفی صورت گرفته است. نتیجه این عمل نه تنها برآورده شدن نیازهای کارخانه UCF بوده بلکه سبب حمایت از تولید داخلی و ارتقاء سطح کیفی سازندگان کالا نیز شده است. ظرفیت‌های موجود در این بخش عبارتند از:

- تولید هگزا فلورید اورانیوم (UF_6) به عنوان مهمترین ترکیب شیمیایی واسطه در تولید سوخت هسته‌ای به

- میزان ۲۸۰ تن در سال (این محصول خوراک اصلی کارخانه غنی سازی اورانیوم در نطنز می‌باشد).
- تولید دی اکسید اورانیوم (UO_2) به میزان ۳۴ تن در سال برای استفاده در راکتورهای آب سبک و قدرت مانند نیروگاه هسته‌ای بوشهر (این وظیفه تا مرحله تولید UO_2 با ترکیب ایزوتوپی طبیعی در کارخانه UCF انجام می‌شود).
- تولید اکسید اورانیوم فلزی با غنای طبیعی برای استفاده در راکتورهای آب سنگین و راکتورهای تحقیقاتی به میزان ۱۱/۳ تن در سال.

۵-۲-۷- غنی سازی اورانیوم

اورانیوم دارای سه ایزوتوپ طبیعی U_{238} ، U_{235} و U_{234} است که در این میان ایزوتوپ U_{235} در شرایط خاصی به آسانی شکافته شده و انرژی زیادی را آزاد می‌سازد. از این رو جهت اخذ انرژی کنترل شده از اورانیوم، طی یک سری فرآیند فیزیکی، مقدار فراوانی ایزوتوپ مذکور را از ۰/۷۱۱ درصد به ۳ تا ۴ درصد افزایش می‌دهند. به این فرآیندها غنی سازی اورانیوم گفته می‌شود.

در حال حاضر تنها مرکز غنی سازی اورانیوم در کشور تأسیسات غنی سازی نطنز می‌باشد. آنچه در نطنز در حال انجام است تکمیل واحد غنی سازی اورانیوم برای تولید سوخت هسته‌ای نیروگاه‌هایی است که از اورانیوم با غنای کم (LEU) استفاده می‌کنند. در این تأسیسات غنی سازی به وسیله دستگاه‌های سانتریفیوژ صورت می‌گیرد.

۶-۲-۷- تولید ورق، لوله و میلگرد زیرکونیوم و آلیاژهای آن در کارخانه ZPP

مجتمع سوخت در درون راکتور تحت شرایط سختی از نظر فشار، حرارت، تابش نوترون و گاما قرار می‌گیرد و باید برای مدت طولانی این شرایط را تحمل کند. در این شرایط یکپارچگی بسته سوخت و به ویژه غلاف سوخت به عنوان اولین سد دفاعی در جلوگیری از پخش مواد رادیو اکتیو نقش بسیار مهمی دارد. از این رو در صنعت هسته‌ای برای تولید مجتمع‌های سوخت از فلز زیرکونیوم و آلیاژهای آن به لحاظ مقاومت زیاد در برابر حرارت و فشار و همچنین برخورداری از سطح مقطع جذب نوترونی پایین و خواص مفید دیگر استفاده می‌شود. ظرفیت تولید محصولات این کارخانه به دو دسته تقسیم می‌شوند:

- محصولات اصلی شامل تولید ۵۰ تن اسفنج زیرکونیوم، ۱۰ تن لوله زیرکالوی (آلیاژهای زیرکون، قلع، کرم، نیکل و آهن) و ۲ تن تسمه و میلگرد زیرکالوی (همگی تحت استانداردهای هسته‌ای)
- محصولات فرعی شامل ۱۰۰ تن شمش منیزیم با خلوص ۹۹/۹۹ درصد و ۲ تا ۵ تن اکسید هافنیوم در سال

۷-۲-۷- تولید مجتمع سوخت هسته‌ای در کارخانه FMP

مرحله پایانی تولید سوخت هسته‌ای تولید قرص، میله (غلاف) و مجتمع‌های سوخت می‌باشد. کارخانه FMP، پودر اکسید اورانیوم را به دو صورت طبیعی و غنی شده از کارخانه UCF و لوله‌های زیرکونیومی را از کارخانه ZPP دریافت کرده و طی عملیاتی نظیر کنترل کیفی‌های بسیار دقیق، آماده سازی پودر، تولید قرص خام، انجام جوش‌های دو سر میله سوخت و بارگذاری لوله‌های سوخت در درون اسکلت مجتمع سوخت، در نهایت مجتمع سوخت را تولید خواهد کرد.

شایان ذکر است که ظرفیت تولید پیش‌بینی شده برای کارخانه FMP، مقدار ۴۰ تن سوخت هسته‌ای در سال می‌باشد که از این مقدار ۳۰ تن سوخت دی اکسید اورانیوم غنی شده با غنای حداکثر ۵ درصد جهت مصرف در نیروگاه اتمی ۱۰۰۰ مگاواتی بوشهر و ۱۰ تن سوخت دی اکسید اورانیوم طبیعی جهت راکتور ۴۰ مگاواتی آب سنگین اراک در نظر گرفته شده‌اند. در ضمن این کارخانه قابلیت افزایش ظرفیت تولید تا ۱۴۰ تن سوخت هسته‌ای در سال را نیز خواهد داشت.

۷-۲-۸- پسمانداری هسته‌ای

به لحاظ وجود پرتوزایی در بعضی از مواد غیر قابل استفاده، آنها را پسمان یا زباله رادیو اکتیو می‌نامند. پسمان‌های رادیو اکتیو در کلیه مراحل چرخه سوخت هسته‌ای وجود دارند و بسته به نوع پرتوهای موجود بایستی روش‌های متفاوتی برای حفاظت در برابر آنها اتخاذ کرد. مدیریت، دانش و تکنیک‌هایی که در رابطه با حفاظت انسان در برابر پسمان‌های رادیو اکتیو به کار گرفته می‌شود به طور کلی مدیریت پسمانداری هسته‌ای نامیده می‌شود.

مهمترین وظایف و فعالیت‌های در حال انجام این مرحله از چرخه سوخت هسته‌ای، نظارت و کنترل بر تولید پسمان، آمایش، انبارداری و دفن نهایی زباله‌های هسته‌ای می‌باشند که برای ۴ بخش تولید کننده پسمان در نظر گرفته شده است. این بخش‌ها عبارتند از:

- مراکز تحقیقات هسته‌ای،
- مراکز پزشکی و صنعتی کشور مانند بیمارستانها و غیره ،
- نیروگاه اتمی بوشهر،
- پروژه‌های مختلف تولید سوخت هسته‌ای.