فصلنامه رهیافت‌های نوین مدیریت جهادی و حکمرانی اسلامی ، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰

# نقش فناوری هسته‌ای در افزایش قدرت ملی جمهوری اسلامی ایران در گام دوم انقلاب

محمد پورقربان[۱]
غلامرضا کریمی[۲]
ارسلان قربانی شیخ نشین[۳]

تاریخ دریافت مقاله : ۹۹/۱۰/۱۶ تاریخ پذیرش مقاله : ۹۹/۱۱/۲۷

## چکیده

انرژی صلح‌آمیز هسته‌ای به‌عنوان یکی از صنایع مادر، امروزه کاربرد بسیاری در صنایع دیگر داشته و زمینه‌های رشد و اعتلا و پیشرفت را در ابعاد داخلی و بین‌المللی ایفا می‌نماید. از دیگر سوی دستیابی به انرژی صلح‌آمیز هسته‌ای و بومی نمودن این صنعت موجبات ایجاد قدرت داخلی و بین‌المللی در چانه‌زنی‌های سیاسی و افزایش قدرت نرم و سخت را فراهم می‌نماید. بررسی موضوع دستیابی به انرژی صلح‌آمیز هسته‌ای در قالب بیانیه گام دوم انقلاب که توسط مقام معظم رهبری ارائه گردیده است، می‌تواند از اهمیت بسیاری برخوردار باشد. اینکه درگذشته به فناوری هسته‌ای با چه اهمیتی نگریسته می‌شده است و امروزه از چه اهمیتی برخوردار می‌باشد و در آینده می‌بایست در چه مسیری حرکت نموده و به چه نقطه‌ای برسد، از اهمیت وافری در دوران کنونی و فضای سیاسی حاکم بر آن برخوردار است. نویسنده با استفاده از بیانیه گام دوم انقلاب به‌عنوان نظریه حاکم بر این پژوهش درصدد می‌باشد تا به فناوری صلح‌آمیز هسته‌ای از دیدگاه راهبردی و استراتژیک نگریسته و با توجه به منافع ملموس آن، آن را در قالب گام دوم انقلاب مفهوم‌سازی نماید. سؤال اصلی پژوهش بر این قرار است که عمل به بیانیه گام دوم انقلاب چگونه باعث اعتلای صنعت هسته‌ای می‌گردد؟ و فرضیه پژوهش به این موضوع اشاره دارد که با در نظر گرفتن مبانی بیانیه گام دوم، ایران به قطبی هسته‌ای در دنیا تبدیل خواهد شد. پژوهش حاضر می‌کوشد با استفاده از منابع کتابخانه‌ای موجود و استناد به بیانیه گام دوم انقلاب و به روش توصیفی و تحلیلی، موضوع را مورد کنکاش و بررسی قرار دهد.

## کلمات کلیدی

انرژی هسته‌ای، فناوری صلح‌آمیز هسته‌ای، غنی‌سازی، بیانیه گام دوم انقلاب، مقام معظم رهبری

۱-استادیار، گروه روابط بین الملل، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. (نویسنده مسئول) mhpor@yahoo.com
۲-دانشیار، گروه روابط بین الملل، دانشکده حقوق و علوم سیاسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. ghkarimi@khu.ac.ir
۳-استاد، گروه روابط بین الملل، دانشکده حقوق و علوم سیاسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. ghorbani@khu.ac.ir

**مقدمه**

انرژی هسته‌ای به‌عنوان یکی از مهم‌ترین صنایع که امروز موردتوجه و نظر بسیاری از کشورها قرارگرفته است دارای ابعاد و کاربردهای بسیاری می‌باشد. در خصوص بررسی این موضوع در قالب بیانیه گام دوم انقلاب می‌توانیم سه دوره مجزا و درعین‌حال به‌هم‌پیوسته را موردبررسی و تدقیق قرار دهیم.

دوره اول، دوره قبل از دوران کنونی و حاضر است که بیشتر مربوط به دوران ابتدایی و طفولیت این صنعت و مشخصاً مرتبط با دوران حاکمیت رژیم پهلوی می‌باشد. دورانی که با پایان یافتن آن، دستیابی به‌پیشرفت در حوزه‌های مختلف علم و تکنولوژی به‌صورت بومی و بر پایه‌های خودکفایی داخلی در دل‌ها زنده گردید. مقام معظم رهبری در توصیف آن دوران می‌فرمایند:

«همه‌چیز برعلیه ما بود، چه رژیم فاسد طاغوت که علاوه بر وابستگی و فساد و استبداد و کودتایی بودن ... و چه دولت آمریکا و برخی دیگر از دولت‌های غربی، و چه وضع به‌شدت نابسامان داخلی و عقب‌افتادگی شرم‌آور در علم و فناوری و سیاست و معنویت و هر فضیلت دیگر[۱]».

دوره دوم که بعد از سرنگونی رژیم پهلوی محقق گردید، از آن به‌عنوان دوران کنونی نام‌برده می‌شود و پیشرفت‌های قابل‌توجهی در آن به وقوع پیوسته است. مقام معظم رهبری با اشاره به میزان انحطاط و وابستگی حاکم در دوران پهلوی به اهمیت انقلاب اسلامی به‌عنوان عامل به وجود آورنده و تسریع‌کننده پیشرفت‌های کنونی کشور، این‌گونه اشاره می‌نمایند:

«انقلاب به یک انحطاط تاریخی طولانی پایان داد و کشور که در دوران پهلوی و قاجار به‌شدت تحقیرشده و به‌شدت عقب‌مانده بود، در مسیر پیشرفت سریع قرار گرفت؛ در گام نخست رژیم ننگین سلطنت استبدادی را به حکومت مردمی و مردم‌سالاری تبدیل کرد و عنصر اراده ملی را که جان‌مایه پیشرفت همه‌جانبه و حقیقی است در کانون مدیریت کشور وارد کرد. آنگاه جوانان را میدان‌دار اصلی حوادث و وارد عرصه مدیریت کرد. روحیه و باور ما می‌توانیم را به همگان منتقل کرد. به برکت تحریم دشمنان اتکاء به توانایی داخلی را به همه آموخت و این منشاء برکات بزرگ شد»[۲].

ایشان همچنین پیشرفت‌های علمی در کشور را ازجمله برکات بزرگ انقلاب و مدیریت جوانان در این عرصه برمی‌شمارند و می‌فرمایند:

«هزاران شرکت دانش‌بنیان، هزاران طرح زیرساختی و ضروری برای کشور در حوزه‌های عمران و حمل‌ونقل و صنعت و نیرو و معدن و سلامت و کشاورزی و آب و غیره، میلیون‌ها تحصیل‌کرده دانشگاهی

یا در حال تحصیل، هزاران واحد دانشگاهی در سراسر کشور، ده‌ها طرح بزرگ از قبیل چرخه سوخت هسته‌ای، سلول‌های بنیادی، فناوری نانو، زیست‌فناوری و غیره ... محصول آن روحیه و آن حضور و آن احساس جمعی است که انقلاب برای کشور به ارمغان آورد»[۳]

شاید نکته قابل‌توجه در این دوران، بومی‌سازی صنعت هسته‌ای در داخل کشور و توسط متخصصان داخلی باشد. در ادامه پژوهش (دوره دوم) با توضیح در خصوص ابعاد مختلف پیشرفت در این صنعت، میزان اهمیتِ پرداختن به آن در داخل کشور و تأثیراتی که در مدیریت و حکمرانی مطلوب داخلی دارد، بیشتر درک می‌گردد.

دوره سوم نیز دوره‌ای است که می‌بایست در آینده و در گام دوم و یا چهل‌ساله دوم انقلاب به آن نیل کنیم و در بیانیه گام دوم انقلاب نیز به آن به‌صورت اختصار و کلی اشاره‌شده است. مقام معظم رهبری در بیانیه گام دوم انقلاب در چندین مورد از انرژی و فناوری صلح‌آمیز هسته‌ای به‌عنوان شاخصه‌ای از پیشرفت علوم و دانش نام می‌برند و میزان اهمیت آن را در عرصه‌های مختلف موردتوجه قرار می‌دهند.

**دوره اول:آغاز فعالیت‌های هسته‌ای**

برای بررسی تاریخچه فناوری هسته‌ای باید رویدادهای سال‌های قبل از انقلاب و دهه شصت میلادی را موردتوجه قرارداد. بازخوانی این رویدادها چرایی و چگونگی طرح فناوری هسته‌ای در فضای علمی و فناوری کشور را روشن می‌سازد.

مقام معظم رهبری در این خصوص می‌فرمایند:

«برای برداشتن گام‌های استوار در آینده، باید گذشته را درست شناخت و از تجربه‌ها درس گرفت؛ اگر از این راهبرد غفلت شود دروغ‌ها جای حقیقت خواهند نشست و آینده مورد تهدیدهای ناشناخته قرار خواهد گرفت[۴]».

در برآیندی کلی می‌توان گفت که فعالیت‌های هسته‌ای ایران در پیش از انقلاب اسلامی عملاً با حمایت و مرکزیت غرب و با دو رویکرد کوتاه‌مدت و بلندمدت، یعنی تولید برق هسته‌ای و دستیابی به چرخه کامل سوخت برنامه‌ریزی و دنبال می‌شد. (توکل‌پور، ۱۳۸۸: ۱۱۶) برنامه هسته‌ای ایران در دهه ۶۰ میلادی و در ادامه برنامه‌های بلندپروازانه محمدرضا پهلوی برای توسعه کشور به‌طورجدی آغاز شد. حکومت پهلوی پس از عضویت در آژانس بین‌المللی انرژی اتمی تصمیم گرفت تا با همکاری طرف‌های غربی مراکز اتمی را در ایران تأسیس نموده و گسترش دهد.

برای این منظور، شاه برای تأسیس چند نیروگاه هسته‌ای در داخل کشور مذاکره با دولت‌های غربی را آغاز نمود. با توافقی که با آمریکایی‌ها صورت گرفت، ساخت اولین راکتور تحقیقاتی در تهران آغاز شد و این مرکز در سال ۱۹۶۷ میلادی تأسیس شد. ساخت راکتور اتمی دانشگاه تهران، نقطه آغاز مهمی درزمینه فعالیت‌های هسته‌ای ایران محسوب می‌شود و عملاً با ساخت این راکتور تحول مثبتی درزمینه ایجاد صنایع هسته‌ای در کشور صورت گرفت.

آمریکا در جهت ترغیب دیگر کشورها به استفاده از فناوری هسته‌ای، برای ایران به‌عنوان متحد خود در منطقه، برخی تجهیزات اتمی را ارسال کرد و تلاش نمود تا ایران صرفاً یک مصرف‌کننده باشد و تحلیلی در خصوص فناوری هسته‌ای نداشته باشد. از طرفی با توجه به تهدیدی که شوروی هسته‌ای برای منافع آمریکا در منطقه داشت، آمریکا برای ایجاد قطبی هسته‌ای در برابر شوروی و دست‌یابی شاه به سلاح هسته‌ای در آینده، شاه را نسبت به انرژی هسته‌ای تشویق می‌نمود و تجهیزاتی نیز در اختیار ایران قرار می‌داد تا هم نسبت به اتمی شدن ایران تسریع کرده باشد و هم‌وابستگی ایران به آمریکا در این مسیر، ریشه‌دارتر شده، حس تعلق ایران به آمریکا نیز افزایش یابد. (لیالی و همکاران،۱۳۹۴: ۸۵)

در این خصوص مقام معظم رهبری در بیانیه گام دوم انقلاب می‌فرمایند:

«همه‌چیز برعلیه ما بود، چه رژیم فاسد طاغوت که علاوه بر وابستگی و فساد و استبداد و کودتایی بودن ... و چه دولت آمریکا و برخی دیگر از دولت‌های غربی، و چه وضع به‌شدت نابسامان داخلی و عقب‌افتادگی شرم‌آور در علم و فناوری و سیاست و معنویت و هر فضیلت دیگر[۵]».

در این دوران بود که حمایت‌های دولت آمریکا از ایران هسته‌ای به اوج خود رسید تا جایی که وزارت خارجه آمریکا طی یادداشتی اعلام می‌دارد: «آمریکا از تلاش‌های ایران برای توسعه منابع انرژی غیرنفتی و تحقیقات هسته‌ای این کشور، دلگرم شده و امیدوار است توافق‌نامه همکاری گسترده انرژی هسته‌ای آمریکا و ایران، به‌زودی منعقد شود».

همکاری‌های فی‌مابین ایران و آمریکا در جهت هسته‌ای شدن ایران، تا جایی به‌پیش رفت که روزنامه واشنگتن پست[۶] نوشت: "پرزیدنت فورد[۷] در ابتدا نسبت به فروش راکتورهای هسته‌ای و سوخت آن‌ها به ایران دچار شک و بی‌اعتمادی بود تا این‌که مشاورانش او را متقاعد کردند که، ایران صرفاً به دنبال استفاده صلح‌آمیز از این نوع انرژی می‌باشد، و لذا بعدازآن بود که فورد با تصویب فروش فناوری‌های هسته‌ای به ایران موافقت کرد". (اطهری و مشهدیان، ۱۳۹۱)

شاه به این نتیجه رسیده بود که برخورداری از قدرت تکنیکی و سیاسی در عرصه بین‌الملل و منطقه‌ای با پیشرفت در حوزه انرژی هسته‌ای ارتباط دارد و بر همین اساس با اعتماد به غرب میلیاردها دلار از بودجه کشور را صرف سرمایه‌گذاری هسته‌ای و قرارداد با کشورهای غربی نمود. تلاش‌های ایران درزمینه فعالیت‌های هسته‌ای در این دوران انعکاس جهانی یافت. به‌عنوان‌مثال فایننشال تایمز در مقاله‌ای تحت عنوان «شاه اقدام به خرید راکتورهای هسته‌ای کرده است»، نوشت: تصمیم ایران در جهت دنبال کردن یک برنامه بزرگ هسته‌ای مورد استقبال اذهان عمومی واقع‌شده است و این برای اولین بار است که یکی از کشورهای تولیدکننده نفت چنین برنامه‌ای را پی می‌گیرد و وابستگی به نفت را به‌عنوان منبعی از انرژی خطرناک می‌داند[۸].

پس‌ازآن، ایران قراردادهایی را با آلمان و فرانسه جهت ساخت راکتور هسته‌ای به امضاء رساند و با آفریقای جنوبی در خصوص خرید کیک زرد[۹] به ارزش ۷۰۰ میلیون دلار به تفاهم رسید. ایران همچنین در جهت ارتقاء فناوری هسته‌ای خود در سال‌های پیش از انقلاب اسلامی به‌جز آمریکا، با کشورهای فرانسه، آلمان، استرالیا، کانادا، هند و انگلستان توافقنامه همکاری به امضاء رسانده بود.

آیزنهاور در سال ۱۹۵۷ در دیدار سران کشورهای انگلستان، فرانسه و آلمان با اشاره به مرزهای شمالی ایران اعلام می‌کند: "برای حفظ منافع آمریکا لازم است ایران اتمی شود"، موضعی کاملاً متضاد با موضع کنونی آمریکا، که کاخ سفید اعلام می‌کند: "با مجهز شدن ایران به نیروی هسته‌ای، منافع آمریکا به خطر می‌افتد". (بصیری و قاسمی، ۱۳۸۵ )

در این خصوص مقام معظم رهبری در نامه خود به رئیس‌جمهور به این نکته مهم اشاره می‌نمایند: «جنابعالی باسابقه‌ی چند دهه حضور در متن مسائل جمهوری اسلامی طبعاً دانسته‌اید که دولت ایالت آمریکا در قضیه‌ی هسته‌ای و نه در هیچ مسأله‌ی دیگری، در برابر ایران رویکردی جز خصومت و اخلال در پیش نگرفته است و در آینده هم بعید است جز این روش عمل کند[۱۰]».

با تأسیس سازمان انرژی هسته‌ای در سال ۱۳۵۳ رژیم شاه فعالیت‌های هسته‌ای خود را به‌صورت جدی‌تر پیگیری نمود. در برنامه‌ای که تنظیم‌شده بود محمدرضا شاه در نظر داشت تا با راه‌اندازی ۲۳ نیروگاه هسته‌ای تا اواسط دهه ۱۳۷۰ بیش از ۲۳۰۰۰ مگاوات برق هسته‌ای تولید کند. برای تحقق این برنامه در نخستین گام وی با انعقاد قراردادهایی با شرکت‌های آلمانی و فرانسوی ساخت نیروگاه‌های اتمی بوشهر و دارخوین را آغاز نمود. علاوه بر این، برای تأمین سوخت موردنیاز برای نیروگاه‌های هسته‌ای ۱۰

درصد از سهام شرکت یورودیف[11] فرانسه را که درزمینه غنی‌سازی اورانیوم فعالیت می‌کرد خریداری نمود. (دهقانی‌فیروزآبادی و عطایی، ۱۳۹۵: ۶۵)

همچنین جفری کمپ[12] از موسسه نیکسون نیز ضمن اشاره به ادعاهای کشورهای غربی موارد و موضوعات مرتبط با برنامه هسته‌ای ایران را مربوط به حکومت گذشته می‌داند. "جاه‌طلبی هسته‌ای ایران نتیجه شرایط ایدئولوژیکی و ژئوپولیتیکی پیچیده می‌باشد. اگرچه مسئولان ایرانی به ایجاد زیرساخت‌های هسته‌ای و تولید بمب اتمی علاقه وافر و آشکاری دارند، ولی باید گفت که برنامه‌های هسته‌ای ایران به دوران قبل از روی کار آمدن حکومت فعلی بازمی‌گردد". (گلشن‌پژوه،۱۳۸۳: ۳۰۰)

در اواخر حکومت پهلوی، محمدرضا شاه در مصاحبه‌ای به‌صراحت برای تبدیل نقاط کویری کشور به محل دفن زباله‌های اتمی کشورهای غربی اعلام آمادگی می‌کند که در همین راستا مذاکراتی توسط آقای اعتماد در مورد دفن زباله‌های اتمی اتریش در مناطق کویری ایران آغازشده بود که با وقوع انقلاب به نتیجه نرسید. (توکل‌پور، ۱۳۸۸: ۱۱۶)

با پیروزی انقلاب اسلامی برنامه هسته‌ای ایران متوقف گردید و طرف‌های غربی نیز با خطری که از جانب دولت انقلابی احساس می‌کردند، همکاری هسته‌ای خود را با دولت جدید ایران به حالت تعلیق درآوردند. در این برهه زمانی، تغییرات عمیقی در اهداف، اولویت‌ها، برنامه‌ها و ساختارهای اداری کشور ایجاد شد. این تغییرات به همراه مشکلات جدید ایجادشده برای کشور، موجب کاهش اولویت پروژه‌های هسته‌ای گردید.

در این میان، نیروهای انقلابی مخالف شاه برنامه هسته‌ای رژیم را مانند سایر برنامه‌های او با دیدی بدبینانه می‌نگریستند. مهم‌ترین استدلال انقلابیون برای مخالفت با برنامه هسته‌ای شاه و تصمیم به توقف آن پس از پیروزی انقلاب، ادامه وابستگی به غرب بود. پیروزی انقلاب از سوی دیگر به خروج گسترده استعدادهای علمی منجر شد و تعداد کارکنان سازمان انرژی اتمی ایران به‌شدت کاهش یافت. این سازمان قبل از سال ۱۹۷۹ بیش از ۴۵۰۰ دانشمند را به خدمت گرفته بود. (توکل‌پور، ۱۳۸۸: ۱۱۷)

در آستانه پیروزی انقلاب، جمعی از دانشجویان ایرانی که مشغول آموختن دانش هسته‌ای در آلمان بودند و برای دیدار با امام خمینی (ره) به نوفل لوشاتو[13] در فرانسه رفته بودند، با صدور اطلاعیه‌ای تولید برق هسته‌ای و تأسیس نیروگاه توسط رژیم وقت را خیانتی بزرگ به کشور معرفی نمودند. آن‌ها با ذکر دلایلی چون پرهزینه بودن، وابستگی تکنولوژیک به غرب و پسماندهای ناشی از آن، از امام خواسته بودند

که این قرارداد خائنانه را ملغی اعلام کند. (روحانی، ۱۳۹۰: ۳۳) ازاین‌رو آغاز به‌کارگیری فناوری هسته‌ای در ایران عملاً در دوران قبل از پیروزی انقلاب، پیشرفت چندانی نداشت و در حد قراردادهای بلاتکلیف و بدون سرانجام باقی ماند و بعضاً هزینه‌هایی را برای کشور به بار آورد.

**دوره دوم: دستاوردهای هسته‌ای**

دوره دوم زمانی که به آن می‌پردازیم، دورانی است که در آن حضور داریم و شاهد پیشرفت‌هایی هستیم که درزمینه هسته‌ای در کشور به وجود آمده است. میزان ارزش و اهمیت این پیشرفت‌ها مشخص نخواهد شد مگر اینکه مقداری هرچند اندک از ابعاد و زوایای فنی این صنعت را مورداشاره قرار دهیم. مواردی که در پی می‌آید همگی در کشور مورداستفاده قرارگرفته و کاربردی می‌باشند و در روند جاری فناوری هسته‌ای در کشور در حال اجراء هستند.

بدیهی است که امروزه از میزان کاربردهای انرژی هسته‌ای در متن زندگی بشر نمی‌توان به‌راحتی چشم پوشید. امروزه بی‌گمان انرژی هسته‌ای با توجه به مزیت‌ها و ارزش‌های بی‌شمار آن توانسته به‌عنوان بهترین جایگزین برای منابع فسیلی جهت تأمین انرژی در جهان شناخته شود. به‌عبارت‌دیگر انرژی شکافتنی جانشین انرژی سوختنی شده است. مزایای مهم این انرژی از قبیل فناناپذیر بودن آن، عدم آسیب‌رسانی به محیط‌زیست و تنوع استفاده از محصولات آن، باعث شده، جهان به‌سرعت به‌سوی استفاده از این انرژی گام بردارد. (ملکی و محمدی، ۱۳۹۶: ۳۰)

از سوی دیگر در کنار فوایدی که برای فناوری هسته‌ای متصور است، این صنعت می‌تواند در پیشرفت‌های علمی و فناورانه دیگر، نقش محوری ایفا نموده و سبب تولید ثروت ملی و ارزش‌افزوده برای صاحبان آن گردد. قرار گرفتن در زمره صنایع مادر و پایه نیز از موارد دیگری است که میزان اهمیت فناوری هسته‌ای را روشن می‌نماید. صنایع مادر اصطلاحاً به صنایعی اطلاق می‌شود که حجم بسیاری از فناوری‌ها و فرایندهای صنایع دیگر را در برمی‌گیرد و از این منظر، ارتباط بسیار گسترده‌ای با سایر بخش‌های صنعت دارد. صنایع مادر زمانی که در یک کشور توسعه می‌یابند، سبب می‌شوند که سایر صنایع مرتبط نیز همگام با آن‌ها به سطحی بالاتر ارتقاء پیدا کنند. صنایعی نظیر تولید فلزات، مواد شیمیایی و پتروشیمی و الکترونیک همگی از صنایع مادر به‌حساب می‌آیند که در حقیقت، برای هر کشوری، یک مزیت رقابتی ایجاد می‌کنند.

علی‌اکبر اعتماد رئیس سازمان انرژی اتمی در رژیم پهلوی، این نکته را مورد تائید قرار می‌دهد: "انرژی هسته‌ای به دلیل آن‌که توانایی در اختیار گرفتن سهمی از ترکیب منابع انرژی ایران را دارا می‌باشد، حتماً یکی از صنایع مادر در کشور ایران محسوب می‌گردد". (لیالی و همکاران،۱۳۹۴: ۴۸)

متولی رسیدگی به امورات مربوط به انرژی هسته‌ای و پایش فعالیت‌های مرتبط با آن در کشورهای مختلف در سطح دنیا، آژانس بین‌المللی انرژی اتمی می‌باشد. ایجاد زمینه‌های مساعد جهت دستیابی و استفاده از فناوری صلح‌آمیز هسته‌ای با ارائه همکاری‌های فنی و تخصصی، ازجمله وظایف آژانس می‌باشد. امروزه به‌واسطه کاربردهای بی‌شماری که فناوری و انرژی هسته‌ای دارا می‌باشد، نام آژانس نیز طی سال‌های گذشته، بیش‌ازپیش بر سر زبان‌ها افتاد و به‌نوعی جزو کلیدواژه‌های پرکاربرد در اخبار و رسانه‌ها قرار گرفت. علی‌اکبر صالحی[۱۴] در این خصوص چنین می‌گوید:

"یادم هست همان اوایل که آژانس با نام مختصر IAEA مطرح می‌شد برخی مسئولین اروپایی و آمریکایی می‌گفتند What is IAEA? یعنی حتی آن موقع، خیلی از مسئولین سیاسی هم IAEA را نمی‌شناختند. ولی سال‌های آخر دوران البرادعی و اوایل زمان انتخاب آقای آمانو، پرونده‌های هسته‌ای ایران، عراق و کره‌شمالی روی میز بود و آژانس به یکی از محوری‌ترین سازمان‌های بین‌المللی تبدیل شده بود". (اداره نشر وزارت امور خارجه، ۱۳۹۶: ۵۱۹)

این میزان اهمیت نیز از دیدگاه مقام معظم رهبری دور نمانده است و ایشان پیشرفت‌های علمی در طی ۴۰ سال پس از پیروزی انقلاب را این‌گونه موردتوجه قرار می‌دهند:

«محصول تلاش چهل‌ساله، اکنون برابر چشم ما است: کشور و ملّتی مستقل، آزاد، مقتدر، با عزّت، متدیّن، پیشرفته در علم، انباشته از تجربه‌هایی گران‌بها، مطمئن و امیدوار، دارای تأثیر اساسی در منطقه و دارای منطق قوی در مسائل جهانی، رکورددار در شتاب پیشرفت‌های علمی، رکورددار در رسیدن به رتبه‌های بالا در دانش‌ها و فنّاوری‌های مهم از قبیل هسته‌ای و سلول‌های بنیادی و نانو و هوافضا و امثال آن، سرآمد در گسترش خدمات اجتماعی، سرآمد در انگیزه‌های جهادی میان جوانان، سرآمد در جمعیت جوان کارآمد، و بسی ویژگی‌های افتخارآمیز دیگر که همگی محصول انقلاب و نتیجه‌ی جهت‌گیری‌های انقلابی و جهادی است[۱۵]».

در این قسمت و به جهت اهمیت موضوع موردپژوهش، مراحل مختلف فعالیت‌های هسته‌ای و کاربردهای انرژی هسته‌ای در زندگی بشر، جهت آگاهی از ابعاد مهم و ویژه فنی مرتبط با آن در ادامه

موردنظر قرار می‌گیرد.لازم به ذکر است که همگی این موارد در داخل کشور و توسط متخصصان داخلی به انجام می‌رسد.

**الف) چرخه سوخت اورانیوم**

این موضوع از پرچالش‌ترین و مهم‌ترین موضوعات مورد اختلاف در پرونده هسته‌ای ایران بوده و به‌نوعی توجه به آن نیز از خطوط قرمز کشورمان و ۵+۱ در مذاکرات به شمار می‌رفت. مراحل مختلف چرخه سوخت می‌بایست تحت نظارت آژانس بین‌المللی انرژی اتمی صورت پذیرد. چرخه سوخت اورانیوم را چرخه سوخت هسته‌ای نیز می‌گویند. عمدتاً چرخه سوخت اورانیوم از دو بخش انتهای جلویی[۱۶] و انتهای عقبی[۱۷] تشکیل‌شده است. به مراحلی که شامل استخراج از معدن، آسیاب کردن، تبدیل، غنی‌سازی و تولید سوخت منجر به آماده‌سازی اورانیوم به‌عنوان سوخت رآکتور هسته‌ای می‌شود، «چرخه سوخت» می‌گویند. پس از مصرف اورانیوم به‌عنوان سوخت و تولید انرژی از آن، انتهای عقبی چرخه آغاز می‌شود تا پسماندهای هسته‌ای به انسان و محیط‌زیست آسیبی نرسانند. قسمت انتهایی شامل انبارداری موقتی، باز فرآوری و انبار نهایی است. (شیرمردی، ۱۳۹۷)

به‌طورکلی می‌توان چرخه سوخت اورانیوم را به مراحل زیر دسته‌بندی نمود:

۱- اکتشاف و استخراج[۱۸]، خردایش و تولید کیک زرد

۲- تبدیل (فرآوری)

۳- غنی‌سازی[۱۹]

۴- تولید میله و صفحات سوخت و به کار بردن در راکتور

۵- باز فرآوری[۲۰] (گلشن‌پژوه، ۱۳۸۷: ۲۴۴)

**۱) اکتشاف و استخراج، خردایش و تولید کیک زرد**

کلیه این مراحل در سازمان انرژی اتمی و توسط کارشناسان فنی آن صورت می‌گیرد و به‌نوعی اهمیت ویژه این سازمان را در آینده فناوری صلح‌آمیز هسته‌ای و حکمرانی و مدیریت داخلی نمایان می‌کند. فرایند اکتشاف جهت یافتن کانسارهای اورانیوم از بخش‌های اکتشاف مقدماتی، نیمه تفصیلی و تفصیلی تشکیل‌شده است. جستجو در اکتشاف مقدماتی توسط ماشین، هلی‌کوپتر و یا هواپیما انجام می‌شود. به‌طورکلی با استفاده از تکنیک‌ها و روش‌های زمین‌شناسی و فرایندهای فوق، معدن اورانیوم شناسایی گردیده و نمونه‌هایی از سنگ معدن آن به آزمایشگاه فرستاده می‌شود. در آزمایشگاه، محلولی از سنگ

معدن تهیه و اورانیوم ته‌نشین شده را موردبررسی قرار می‌دهند تا بفهمند میزان دقیق عیار چقدر است و چه مقدار اورانیوم را می‌توان از آن معدن استخراج کرد. روش‌های مختلف استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی، اکتشاف هوایی و سطحی داده‌های موردنیاز تشخیص محل معادن اورانیوم را ارائه می‌کند. اورانیوم، ماده‌ای پایه‌ای برای برنامه‌های صلح‌آمیز (با مصارف غیرنظامی) و هم برنامه‌های نظامی (ساخت تسلیحات هسته‌ای) در سراسر جهان به شمار می‌رود. (شیرمردی، ۱۳۹۶)

اورانیوم برخلاف تصور عوام، چندان فلز کمیابی نیست. اگر فلز اورانیوم را با فلز نقره مقایسه کنیم، ذخایر اورانیوم ۴۰ برابر فراوان‌تر از ذخایر نقره است. اورانیوم در خاک و سنگ و همچنین به مقدار بسیار کم (اما قابل‌ردیابی) در آب وجود داشته و مانند بسیاری از عناصر دیگر با غلظت‌ها و اشکال گوناگون یافت می‌شود. (وود، ۱۳۹۰: ۱)

مهم‌ترین ماده معدنی اورانیوم پچبلند[۲۱]می‌باشد. این سنگ معدنی در قسمت فوقانی قشر جامد کره زمین تحت تأثیر جریانات آب تغییر می‌یابد و هیدرات‌های مختلف به وجود می‌آورد و اگر تغییرات و ترکیبات پیشرفت کند فسفات‌های مختلف مواد معدنی دیگری که خیلی پیچیده هستند، ایجاد می‌کند. سنگ اورانیوم خام به رنگ سیاه متمایل به قهوه‌ای است که جلای فلزی ندارد و مات و کدر است.

بعد از شناسایی معادن اورانیوم، به سه روش می‌توان آن را استخراج نمود:

۱- استخراج از سطح زمین (معادن روباز) که در صورت امکان اجرای آن، دارای مزایایی از قبیل میزان تولید بیشتر، بازیابی بالاتر، آبکشی آسان‌تر، شرایط کاری ایمن‌تر بوده و معمولاً هزینه‌های آن پایین‌تر از سایر روش‌ها می‌باشد.

۲- استخراج از معادن زیرزمینی، پایین‌تر از ۲۰۰ متر معدن‌کاری زیرزمینی، دارای محاسنی است. روش‌ها برای کانسنگ‌های نوع رسوبی و نوع رگه‌ای متفاوت هستند.

۳- تصفیه در معدن

دو روش نخست همانند دیگر روش‌های استخراج فلزات هستند، ولی در روش سوم که در ایالات‌متحده آمریکا استفاده می‌شود، سنگ معدن در خود معدن تصفیه می‌شود و اورانیوم آن به دست می‌آید. (گلشن‌پژوه، ۱۳۸۷: ۲۴۶)

ایران دارای دو معدن شناخته شده و معروف بندرعباس (روباز) و ساغند یزد (زیرزمینی) می‌باشد که معدن بندرعباس به انتهای تولید رسیده است.

**۲) عملیات تبدیل (فرآوری)**

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، برای استخراج اورانیوم از سنگ معدن، ابتدا پس از اندازه‌گیری عیار آن، سنگ معدن اورانیوم خردشده و پس از طی فرآیندهای شیمیایی مختلف و افزودن برخی مواد، پودر تقریباً زرد رنگی به دست می‌آید که به آن «کیک زرد» می‌گویند. کیک زرد به‌طور مستقیم قابلیت استفاده در راکتورهای هسته‌ای را ندارد.

کیک زرد که به نام اورانیا[۲۲] هم شناخته می‌شود درواقع خاک معدنی اورانیوم است که پس از گذراندن مراحل تصفیه و پردازش‌های لازم از سنگ معدن آن تهیه می‌شود. تهیه این ماده به‌منزله رسیدن به بخش میانی مراحل مختلف تصفیه سنگ معدن اورانیوم است و باید توجه داشت که فاصله بسیار زیادی برای استفاده در بمب اتمی وجود دارد. (گلشن‌پژوه، ۱۳۸۷: ۲۴۷)

با توجه به این‌که کیک زرد به‌صورت مستقیم و بدون هیچ فراوری نمی‌تواند وارد راکتورهای هسته‌ای شود، لذا باید فرایندهای ویژه‌ای بر روی آن انجام شود. در مجتمع‌های تبدیل اورانیوم، اورانیوم به دی‌اکسید اورانیوم و یا هگزا فلوراید اورانیوم تبدیل می‌شود. در برخی از راکتورها از دی‌اکسید اورانیوم غنی نشده استفاده می‌شود و جهت غنی‌سازی از ترکیب $UF_6$ استفاده می‌شود. به‌طورکلی در مرحله تبدیل یا فرآوری، کیک زرد تبدیل به $UO_2$ و یا $UF_6$ می‌شود که جهت انجام غنی‌سازی از فاز گازی $UF_6$ استفاده می‌شود.

**۳) غنی‌سازی**

بامطالعه این قسمت، علت حساسیت کشورهای ۵+۱ بر روی آن را بیشتر درک می‌نماییم. برای بهره‌جویی از اورانیوم در برخی از راکتورها و نیز جهت ساخت سلاح‌های هسته‌ای، ابتدا باید اورانیوم را غنی کرد. ازآنجایی‌که اورانیوم به شکل $UF_6$ را به‌راحتی می‌توان به گاز تبدیل کرد، می‌توان آن را تحت فرآوری قرارداد و درصد اورانیوم-۲۳۵ در مخلوط را به سطح مناسبی از غنی‌سازی رساند تا برای استفاده در سوخت آماده شود. (وود، ۱۳۹۰: ۱۵۴)

هدف از غنی‌سازی اورانیوم افزایش غلظت ایزوتوپ اورانیوم-۲۳۵ نسبت به حالت طبیعی آن است. اورانیوم طبیعی شامل ۳ ایزوتوپ است که سهم U-۲۳۵ آن حدود ۰/۳ درصد می‌باشد. اورانیوم موردنیاز در مصارف صلح‌آمیز نظیر راکتورهای هسته‌ای نیروگاه‌ها (بر اساس نوع طراحی) باید شامل دو تا پنج درصد اورانیوم-۲۳۵ باشد، در راکتورهای تحقیقاتی مانند راکتور تهران، غنای تا ۱۹/۷۵ درصد نیز وجود

دارد. اما اورانیوم موردنیاز در تسلیحات هسته‌ای باید دارای غنای بیش از نود درصد اورانیوم-۲۳۵ باشد. غنی‌سازی اورانیوم از مسیرهای مختلفی امکان‌پذیر است که عبارت‌اند از: دیفیوژن گازی، سانتریفیوژ گازی، جداسازی آیرودینامیک، روش لیزری و روش الکترومغناطیسی. (شیرمردی، ۱۳۹۶)

کشورهای مختلفی همچون آمریکا، روسیه، چین، فرانسه، انگلستان، هند، پاکستان، آرژانتین، برزیل و ایران قادر به غنی‌سازی اورانیوم هستند. استفاده از سانتریفیوژهای گازی که از دو قسمت روتور[۲۳] و بدنه تشکیل‌شده‌اند، یکی از مهم‌ترین روش‌های تولید انبوه اورانیوم غنی‌شده است. اساس جداسازی اورانیوم U-۲۳۵ از U-۲۳۸ مبتنی بر اختلاف جرم این دو ایزوتوپ در یک محیط دوار است. برای این کار گاز $UF_6$ وارد استوانه‌های خلأ با ارتفاع یک تا دو متر و قطرهای مختلف (بر اساس نوع طراحی) شده و با چرخش روتور درون این استوانه‌ها، اورانیوم U-۲۳۵ جداشده و توسط لوله‌هایی به خارج ارسال می‌شود.

سانتریفیوژها بر اساس نوع طراحی در دورهای زیاد تا ۷۰ هزار دور کار می‌کنند. برای بالا بردن سرعت جداسازی و تولید محصول بیشتر در زمان کمتر، از آرایش‌های مختلف چینش سانتریفیوژها به نام «آبشار سانتریفیوژها[۲۴]» استفاده می‌شود. این آبشارها از تعداد مختلف سانتریفیوژ که می‌توانند به‌صورت‌های مختلف در کنار هم قرار گیرند، ساخته می‌شوند. آبشارها می‌توانند دارای ۱۶۴، ۱۷۴ و ... سانتریفیوژ باشند. تا سال ۲۰۰۵ در دنیا حدود ۴۵ درصد غنی‌سازی با دفیوژن و ۵۵ درصد بر اساس سانتریفیوژ انجام می‌شده است. (شیرمردی، ۱۳۹۶) بزرگ‌ترین واحد غنی‌سازی اورانیوم با روش سانتریفیوژ گازی در فرانسه تأسیس شد که ۴ راکتور اتمی باقدرت ۳۰۰۰ مگاوات، الکتریسیته موردنیاز آن را تأمین می‌کنند. (قریب، ۱۳۸۵: ۲۴۵)

**۴) تولید قرص یا صفحات سوخت و به کار بردن در راکتور**

اساس کار راکتورهای هسته‌ای شکافت مواد شکافت‌پذیر مانند اورانیوم-۲۳۵ و تولید گرمای تابشی از شکافت است. $UF_6$ غنی‌شده به کارخانه ساخت سوخت انتقال می‌یابد، جایی که به پودر دی‌اکسید اورانیوم $UO_2$ تبدیل می‌شود. این ترکیب اورانیومی به این دلیل در راکتور مورداستفاده قرار می‌گیرد که در دماهای بالای چند صد درجه‌ای پایدار می‌ماند. (وود، ۱۳۹۰: ۱۵۷)

با اعمال فرایندهای فیزیکی همچون زینترینگ (اعمال فشار و دمای بالا) این پودرها به قرص تبدیل شده و در غلاف‌های سوخت قرار می‌گیرند که به مجموعه غلاف و قرص، «میله‌های سوخت» گویند. میله

سوخت پایه، لوله‌ای است از جنس آلیاژ زیرکونیوم که قرص‌های $UO_2$ در درون آن قرارداده شده است و هر دو طرف آن توسط درپوش‌هایی مسدود گردیده است.

در ادامه میله‌های سوخت در مجتمع‌های سوخت قرارگرفته و به راکتورهای هسته‌ای منتقل می‌شوند. که این گرما می‌تواند تحت کنترل درآید و برای گرم کردن آب مورداستفاده قرار گیرد. بخار آب حاصله نیز می‌تواند با دمیده شدن به توربین‌ها، آن‌ها را به گردش درآورد. بر روی محور توربین‌ها، ژنراتورها قرار دارند که با چرخش آن‌ها برق تولید می‌شود اما راکتورهایی نیز وجود دارد که تولید برق نمی‌کنند و تنها جهت اهداف تحقیقاتی استفاده می‌شوند (راکتور تحقیقاتی تهران ازاین‌دسته است که راکتوری ۵ مگاوات و جهت تحقیقات و تولید رادیو ایزوتوپ‌های با کاربری پزشکی و صنعتی استفاده می‌شود). اما راکتورهایی که برای تولید برق استفاده می‌شوند را، «راکتورهای قدرت» گویند. این راکتورها دارای انواع مختلفی هستند که می‌توان انواع PWR، BWR، زاینده، AGR، Magnox و ... را نام برد. (شیرمردی، ۱۳۹۷)

برای عمل کردن راکتور، اورانیوم باید به اندازه کافی غنی شود، تا اجازه بدهد که زنجیره‌ای از واکنش‌های پی‌درپی رخ دهد. تنظیم این فرایند به‌وسیله میله‌هایی که در قلب راکتور وجود دارد کنترل می‌شود. این میله‌های کنترل از موادی مقاوم ساخته می‌شوند، که از آن جمله فلز کادمیوم، نقره، ایندیوم و... که نوترون‌ها را در راکتور جذب می‌کند، می‌توان نام برد. نوترون‌ها واسطه این عمل می‌شوند که زنجیره‌ی فعل و انفعالات زنجیره‌ای در راکتور هسته‌ای آغاز شود، و شکافت هسته‌ای را به آهستگی به‌پیش ببرند.

در حال حاضر بیش از ۴۰۰ راکتور هسته‌ای در جهان وجود دارند که تقریباً ۱۷ درصد انرژی الکتریکی جهان را تولید می‌کنند. از راکتورهای هسته‌ای نیز می‌توان برای کشتی‌ها و زیردریایی‌ها جهت تأمین انرژی آن‌ها استفاده کرد. (گلشن‌پژوه، ۱۳۸۷: ۲۵۴) این موضوع اهمیت حرکت به‌سوی دستیابی به انرژی پاک و صلح‌آمیز هسته‌ای فضای جهانی آینده را آشکار می‌نماید.

با مشاهده متن توافق هسته‌ای به این نکته پی می‌بریم که محدودیت‌های اعمال‌شده در متن این توافق توانمندی‌های متخصصان فنی کشورمان را موردتوجه و نظر قرارداده بود و با شناخت کامل آن‌ها ازلحاظ فنی محدودیت‌های هدفمند را اعمال نمودند. مطابق برجام ایران به‌طور دائم از تولید قرص سوخت و مجتمع سوخت با اورانیوم طبیعی (قابل استفاده در راکتورهای آب‌سنگین)، محروم گردید. همچنین

پس از مصرف سوخت راکتور تهران که سوخت ۲۰ درصد است، ایران باید هرگونه سوخت موردنیاز برای راکتور تهران را از بازارهای بین‌المللی تهیه نماید. (متن برجام، ۱۳۹۵)

ایران دارای دو سایت غنی‌سازی است که در نطنز و فردو قرار دارند که پس از توافق هسته‌ای برجام، ۵۰۶۰ سانتریفیوژ نسل اول در نطنز و ۱۰۴۴ سانتریفیوژ در سایت فردو باقی ماندند. اما فرایند غنی‌سازی اورانیوم تنها در نطنز صورت می‌گیرد و سانتریفیوژهای نصب شده در فردو جهت غنی‌سازی ایزوتوپ‌های پایدار استفاده خواهند شد.

طبق برجام ایران برای ۱۵ سال فعالیت‌های مرتبط با غنی‌سازی خود را فقط در سطح کمتر از ۳/۶۷ درصد دنبال خواهد کرد و در این مدت در فردو هیچ مواد هسته‌ای غنی‌سازی و یا نگهداری نمی‌شود. طبق این توافقنامه تا ۱۵ سال ایران هیچ مجتمع غنی‌سازی جدیدی نخواهد ساخت و ذخیره اورانیوم غنی‌شده خود را تا سطح ۳۰۰ کیلوگرم (غنای ۳/۶۷) نگه می‌دارد. بر طبق برجام ایران متعهد شد که بعد از گذشت ۸/۵ سال از اجرای برجام، صرفاً می‌تواند با سانتریفیوژهای نسل ۶ و ۸ زنجیره‌های کوچک و میانی دارای حداکثر ۳۰ ماشین را ایجاد نماید. این زنجیره‌ها توانایی غنی‌سازی صنعتی را ندارند و در حد مقیاس تحقیقاتی خواهد بود. بعد از سال ۸ از اجرای برجام و تا سال دهم، ایران مجاز است از نسل ۶ و ۸ تا ۲۰۰ سانتریفیوژ بدون روتور بسازد و از سال دهم به بعد، می‌تواند سانتریفیوژهای کامل را تا ۲۰۰ ماشین در سال تولید نماید که این ماشین‌ها تنها در سایت نطنز می‌توانند نصب شوند. (شیرمردی، ۱۳۹۶)

**۵) باز فرآوری**

این فرایند که در تسلیحات هسته‌ای نیز به کار گرفته می‌شود، موردتوجه ویژه در مذاکرات هسته‌ای قرار گرفت و در متن توافق برجام نیز به شکل کامل به آن توجه شده است. باز فرآوری عملیاتی است شیمیایی، که سوخت سودمند برای چرخه هسته‌ای را از پسماندهای هسته‌ای یا سوخت مصرف‌شده جداسازی می‌کند. در این فرایند از سوخت‌های مصرف‌شده، برای استفاده مجدد از اورانیوم باقی‌مانده و پلوتونیوم تولیدشده، بهره‌برداری می‌شود. (نبویان، ۱۳۹۷: ۹۷)

وقتی یک مجموعه سوختی از راکتور خارج می‌شود از خود پرتو ساطع می‌کند، این سوخت مصرف‌شده فوراً در استخرهای کنار راکتور جهت کاهش میزان پرتوزایی آن قرارداده می‌شوند. استخرهای

آب به‌عنوان مانعی در برابر پرتوزایی عمل می‌کنند و همچنین حرارت و گرمای سوخت‌ها را به خود جذب می‌کنند.

سوخت مصرف‌شده در چنین استخرهایی برای ماه‌ها و یا مهروموم‌ها نگه‌داشته می‌شوند. بسته به سیاست‌های کشورهای مختلف در بعضی از آن‌ها مقداری از سوخت مصرف‌شده به امکانات و تأسیسات انبار مرکزی انتقال می‌یابند. سرانجام سوخت مصرف‌شده یا باید دوباره پردازش شود و یا برای دفن آماده شود. عمدتاً سوخت‌های مصرف‌شده در راکتورهایی با سوخت اورانیومی دارای حدود ۱ درصد اورانیوم-۲۳۵ است که در فرایند باز فرآوری آن را جدا می‌کنند. مقادیری نیز پلوتونیوم-۲۳۹ و پلوتونیوم-۲۴۱ نیز جهت مصرف در راکتورهای قدرت از آن سوخت‌های مصرف‌شده می‌توان استخراج کرد. قابل‌ذکر است که نسبت میزان پلوتونیوم تولیدشده به اورانیوم-۲۳۵ در راکتورهای آب‌سنگین بیشتر از راکتورهای با آب معمولی است. (شیرمردی، ۱۳۹۶) قابل‌توجه این‌که مطابق متن توافق‌نامه برجام، ایران به مدت ۲۵ سال و بدون داشتن قصدی برای بعدازآن، باز فرآوری سوخت‌های مصرف‌شده را انجام نخواهد داد. (متن برجام، ۱۳۹۵)

**ب) راکتورهای هسته‌ای**

راکتور یکی از ملزومات اصلی در فرایندهای هسته‌ای به شمار می‌آید. راکتورهای شکافت هسته‌ای عنصر مرکزی چرخه سوخت می‌باشند. ازآنجاکه هدف اصلی و ابتدایی صنعت هسته‌ای تولید انرژی می‌باشد، این عمل در راکتورهای هسته‌ای اتفاق می‌افتد. همچنین منبع شکافت هسته و محصولات قابل تبدیلی که فرصت‌ها و مسائلی را در مراحل رسیدن به نتیجه به وجود می‌آورد، راکتور می‌باشد. راکتورها انواع مختلفی دارند که برحسب محصولات و همچنین سوخت مصرفی و ساختارشان تقسیم‌بندی می‌شوند.

راکتورهای تحقیقاتی و راکتورهای تولید رادیو ایزوتوپ از اولین راکتورهای مورداستفاده بشر هستند. راکتورهای تحقیقاتی نیز به چند دسته تقسیم می‌شوند. راکتورهای کوچک برای آزمایش پیش‌بینی‌های کدهای کامپیوتری، راکتورهای طراحی‌شده برای آزمایش طرح‌های جدید میله‌های سوخت، چشمه‌های قوی نوترون برای کاربردهای متعدد همچون آزمایش مواد تحت بمباران نوترونی و راکتورهای کوچک برای مقاصد آموزشی و تربیت پرسنل که بیشتر در دانشگاه‌ها به کار می‌رود. همچنین راکتورهای کوچکی با ماموریت‌های ویژه طراحی گردیده‌اند که راکتورهای مورداستفاده در تولید مواد هسته‌ای جهت

کاربردهای پزشکی و ردیاب‌های عکس‌برداری و چشمه‌های تشعشع ازاین‌دست می‌باشد. (ویلسون، ۱۳۸۹: ۱۱۷-۱۱۸)

راکتورهایی که جهت تولید برق استفاده می‌شوند نیز همچنان که قبلاً توصیف شد با نام «راکتورهای قدرت» معروف‌اند. غنای سوخت راکتورهای تحقیقاتی عمدتاً ۲۰ درصد و بالای آن است و راکتورهای قدرت از غنای مختلف سوخت استفاده می‌کنند که اغلب غنای پایین است. امروزه بیشتر راکتورهای استفاده‌شده در سطح دنیا از نوع راکتورهای حرارتی می‌باشند. راکتورهای آب تحت‌فشار[۲۵]، راکتورهای آب‌جوشان[۲۶]، راکتورهای گازی[۲۷]، راکتورهای آب‌سنگین تحت‌فشار[۲۸]، راکتورهای کند شونده با گرافیت و خنک شونده با آب[۲۹]، راکتورهای دریایی و راکتورهای فضایی از انواع مختلف راکتور هستند که امروزه مورداستفاده قرار می‌گیرند. (شیرمردی، ۱۳۹۶)

**۱) استفاده در تسلیحات هسته‌ای**

استفاده از برخی راکتورها در تولید تسلیحات هسته‌ای نیز به امری متداول در جهان تبدیل شده است. برخی راکتورها برای تولید پلوتونیوم جهت به کار بردن در تولید تسلیحات هسته‌ای به‌کاربرده می‌شوند. برای استفاده پلوتونیوم در تسلیحات هسته‌ای از ایزوتوپ‌های ۲۳۹ و ۲۴۱ آن بیشتر استفاده می‌شود. نکته قابل‌توجه این‌که در کل دنیا پلوتونیوم تولیدشده در راکتورها، بیشتر از این‌که در امور صلح‌آمیز مورداستفاده قرار گیرند در جهت اهداف غیر صلح‌آمیز استفاده می‌شوند و این نکته حساسیت بیشتر ۱+۵ را در این خصوص برمی‌انگیزد و موجبات ایجاد محدودیت‌های مختلف در این زمینه و در صنعت هسته‌ای ایران را فراهم می‌آورد. حاصل کار (تولید پلوتونیوم) راکتور به‌کاررفته جهت اهداف نظامی، بالاتر از دو برابر راکتورهای قدرت بوده و این‌یک برنامه مهم است که بازرسان پادمان هسته‌ای بین‌المللی در تولید مخفیانه پلوتونیوم به آن توجه دارند. (ویلسون، ۱۳۸۹: ۱۱۹)

در تسلیحات هسته‌ای از اورانیوم غنی‌شده با غنای بیش از ۹۰ درصد اورانیوم ۲۳۵ و یا از ترکیب اورانیوم و پلوتونیوم استفاده می‌شود.

**۲) انتهای عقبی چرخه سوخت هسته‌ای**

**انبارداری موقتی**

سوخت مصرف‌شده که از رآکتور خارج می‌شود، بسیار داغ و رادیواکتیو است. ازاین‌رو، باید هم آن را سرد کرد و هم از تابش پرتوهای رادیواکتیو آن به محیط جلوگیری نمود. در کنار هر رآکتور، استخرهایی

برای انبار کردن سوخت مصرف‌شده وجود دارد. این استخرها مخزن‌هایی بتنی مسلح به لایه‌های فولاد زنگ نزن هستند که ۸ متر عمق دارند و پر از آب هستند. آب هم میله‌های سوخت مصرف نشده را خنک می‌کند و هم به‌عنوان پوشش حفاظتی در برابر تابش رادیواکتیو عمل می‌کند.

**باز فرآوری و انبار نهایی**

۳ درصد سوخت مصرف‌شده در یک رآکتور آب سبک را پسماندهای بسیار خطرناک رادیواکتیو تشکیل می‌دهد، ولی بقیه آن حاوی مقادیر قابل‌توجهی U-۲۳۵، Pu-۲۳۹ و U-۲۳۸ و دیگر مواد رادیواکتیو است. این مواد را می‌توان با روش‌های شیمیایی از یکدیگر جدا کرد و اگر شرایط اقتصادی اجازه دهد، می‌توان سوخت مصرف‌شده را برای تهیه سوخت هسته‌ای جدید بازیافت کرد. پسماندهای هسته‌ای سطح بالا را پس از جداسازی، از روش‌های مختلفی جهت کم کردن حجم و محبوس سازی آن استفاده می‌کنند، به‌عنوان‌مثال پس از خشک‌سازی، آن را با شیشه مخلوط می‌کنند تا پسماند در محفظه‌ای محبوس شود. این فرآیند شیشه‌سازی نام دارد. شیشه مایع برای ذخیره‌سازی درون محفظه‌هایی از جنس فولاد ضدزنگ قرار می‌گیرند و این محفظه‌ها را در منطقه‌ای پایدار (ازنظر جغرافیایی) انبار می‌کنند. پس از سالیان سال، شدت تابش‌های رادیواکتیو ضایعات هسته‌ای به مقدار طبیعی کاهش پیدا می‌کند. این نقطه تا به امروز انتهای چرخه سوخت هسته‌ای است. (شیرمردی، ۱۳۹۶)

**ج) کاربردهای انرژی هسته‌ای**

بامطالعه این قسمت و اطلاع از زمینه‌هایی که می‌توان از انرژی صلح‌آمیز هسته‌ای سود برد، اهمیت و ارزش این فناوری را درمی‌یابیم. زمینه‌های مختلفی که امروزه کشورمان از آن بهره‌مند می‌باشد و موجبات ایجاد قدرت مضاعف و بومی را در کشور فراهم می‌نماید.

**۱) تولید برق**

امروزه ضرورت استفاده از نیروگاه‌های اتمی هم ازنظر سیاست‌گذاری راهبردی در حوزه انرژی و هم ازنظر اقتصادی در بسیاری از کشورهای جهان امری پذیرفته‌شده است. افزایش منافع کشورها در استفاده از همکاری‌های فنی و تخصصی، که از اولویت‌های سازمان‌ها و نهادهای بین‌المللی است در این خصوص دارای اهمیت روزافزون می‌باشد. به‌طورکلی نیروگاه هسته‌ای به تأسیساتی اطلاق می‌شود که بر پایه فناوری هسته‌ای اقدام به تولید انرژی الکتریکی می‌کند. در راکتور اتمی که قلب نیروگاه محسوب می‌شود یک شکافت هسته‌ای اتفاق می‌افتد و در طی این عمل انرژی بسیار زیادی آزاد می‌شود و از گرمای

تولیدشده برای تولید بخار آب استفاده می‌شود و با استفاده از بخار آب تولیدشده، توربین‌های بخار می‌چرخند و با انتقال آن به ژنراتورها، انرژی الکتریکی تولید می‌شود. در حال حاضر به‌صورت عمده از اورانیوم به‌عنوان سوخت هسته‌ای در این نیروگاه‌ها استفاده می‌شود. (لیالی و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۵۱)

یکی از مهم‌ترین مزایای تولید برق هسته‌ای که استفاده از آن را لاجرم می‌نماید به‌صرفه بودن آن است. اگرچه ازلحاظ اقتصادی نیروگاه‌های هسته‌ای به سرمایه‌گذاری زیادی در مقایسه با سایر نیروگاه‌ها نیاز دارند و همین موضوع یکی از دلایل مخالفت با این نیروگاه‌هاست، اما هزینه سوخت این نیروگاه‌ها به‌مراتب پایین‌تر از نیروگاه‌های فسیلی است. از سوی دیگر نیروگاه‌های فسیلی عمر مفیدشان بسیار کمتر از عمر مفید نیروگاه‌های هسته‌ای می‌باشد.

یکی از مهم‌ترین مزیت‌های نیروگاه هسته‌ای نسبت به سایر نیروگاه‌ها، موضوع آلایندگی است. زیرا نیروگاه‌های فسیلی با تولید گازکربنیک و سایر آلاینده‌ها بزرگ‌ترین منبع تولید گازهای گلخانه‌ای محسوب می‌شوند. گازهای گلخانه‌ای به‌تدریج به تغییر اقلیم و گرم شدن زمین منجر می‌شوند.

استفاده از انرژی هسته‌ای برای تولید برق روشی پیچیده اما کارآمد برای تأمین انرژی موردنیاز بشر است. به‌طورکلی برای بهره‌برداری از انرژی هسته‌ای در نیروگاه‌های هسته‌ای، از عناصری همچون اورانیوم، توریوم و پلوتونیوم به‌عنوان سوخت استفاده می‌شود که در این میان اورانیوم پرکاربردترین آن‌هاست. این عنصر یکی از عناصر شیمیایی جدول تناوبی است که نماد آن U و عدد اتمی آن ۹۲ است. عنصر اورانیوم در طبیعت دارای ایزوتوپ‌های مختلف ازجمله دو ایزوتوپ مهم اورانیوم-۲۳۵ (۳ درصد) و اورانیوم-۲۳۸(۹۹/۳درصد) است. (شیرمردی، ۱۳۹۶)

### ۲) صنایع غذایی

تأثیر مواد غذایی سالم بر زندگی انسان به‌هیچ‌وجه قابل‌انکار نیست. تغذیه سالم و بدون آلودگی علاوه بر تأمین سلامت بدن و رشد و نمو سلول‌ها، قوای دفاعی آن را در برابر بیماری‌ها افزایش می‌دهد. پیامدهای بیماری‌های ناشی از تغذیه نامناسب و فاسد بودن مواد غذایی، محققان صنایع غذایی را متوجه ضرورت توجه به حوزه فناوری هسته‌ای نمود. امروزه استفاده از روش‌های نوین جهت نگهداری مواد غذایی و همچنین انجام مطالعات تحقیقاتی به‌منظور ارتقای کیفیت آن‌ها موردتوجه می‌باشد. دانش هسته‌ای ازجمله علومی است که امروزه به شکل گسترده، در کشورهای مختلف برای بررسی مشکلات و ارتقاء کیفیت انواع مواد غذایی به‌کاربرده می‌شود.

به‌طورکلی استفاده از پرتوها در این حوزه که توسط چشمه‌های کبالت-۶۰ و یا شتاب‌دهنده‌های الکترونی تولید می‌شوند می‌تواند باعث افزایش انبارمانی محصولاتی همچون سیب‌زمینی، پیاز، پسته، حبوبات و ... گردد و یا با کاهش بار میکروبی مواد غذایی همچون گوشت و پودرهای غذایی ماندگاری آن‌ها را می‌توان افزایش داد. پرتوها می‌توانند با بهبود و اصلاح ژنتیکی برخی از گونه‌های گیاهی باعث افزایش محصول و مقاومت در برابر خشکی و شوره‌زار شوند. درمجموع استفاده از فناوری هسته‌ای به دلیل مقابله با آفات، بیماری‌ها و آلودگی‌ها، شرایط بهتری را برای محصولات غذایی رقم‌زده است، به‌طوری‌که می‌توان این‌گونه محصولات را ارگانیک یا تقریباً ارگانیک دانست. (شیرمردی، ۱۳۹۶)

**۳) پزشکی**

امروزه استفاده از فناوری هسته‌ای در عرصه پزشکی نفوذ گسترده‌ای داشته است تا جایی که به جرات می‌توان بیان نمود که با کنار گذاشتن این فناوری، زندگی برای انسان سخت و دشوار خواهد بود. کاربرد این فناوری در حوزه پزشکی (با تاکید بر استفاده از رادیو ایزوتوپ‌ها) شامل دو بخش عمده فعالیت‌های تشخیصی و درمانی است که عمدتاً از گسیلنده‌های گاما برای تشخیص و از گسیلنده‌های آلفا و بتا برای درمان استفاده می‌شود. بیش از ۹۰ درصد کاربردهای پزشکی رادیو ایزوتوپ‌ها مربوط به فعالیت‌های تشخیصی و حدود ۱۰ درصد مربوط به فعالیت‌های درمانی است. تکنسیوم-۹۹m پرکاربردترین رادیو ایزوتوپ در حوزه پزشکی است که برای امور تشخیصی استفاده می‌گردد و ایران با داشتن تعداد قابل‌توجهی مراکز پزشکی هسته‌ای و همچنین بیمارستان، یکی از مصرف‌کنندگان عمده این ماده رادیواکتیو در منطقه و دنیا محسوب می‌شود، تا جایی که در میزان مصرف این رادیو ایزوتوپ با کشور روسیه رقابت می‌کند. (شیرمردی، ۱۳۹۶) سالانه در سراسر دنیا بیش از پنج هزار میلیارد دلار هزینه سلامت می‌باشد که این مقدار بیش از هشت درصد از تولید ناخالص داخلی جهانی است. از نقطه‌نظر جغرافیایی بازار رادیو داروها به ۴ قسمت، آمریکا، اروپا، آسیا- اقیانوسیه و بقیه جهان تقسیم‌بندی می‌شود، که کشور آمریکا تقریباً نیمی از رادیو داروهای دنیا را مصرف می‌کند و پس‌ازآن اروپا و آسیا قرار دارند.[۳۰]

**جدول ۱- برخی از رادیو ایزوتوپ‌های معروف با کاربری پزشکی۳۱و ۳۲**

| نام | علامت شیمیایی | نیمه‌عمر | مورداستفاده |
|---|---|---|---|
| سزیم-۱۳۷ | $^{137}Cs$ | ۳۰ سال | برای عقیم‌سازی با شدت کم از طریق خون |
| کروم-۵۱ | $^{51}Cr$ | ۲۸ روز | برای نشاندارسازی گلبول‌های قرمز خون |
| کبالت-۶۰ | $^{60}Co$ | ۵,۲۷ سال | پرتودرمانی خارجی |
| ید-۱۲۵ | $^{125}I$ | ۶۰ روز | در براکی‌تراپی (پروستات و مغز)، در رادیوایمونواسی برای نشان دادن حضور هورمون در مقادیر کوچک |
| ید-۱۳۱ | $^{131}I$ | ۸ روز* | درمان سرطان تیروئید و تصویربرداری از تیروئید |
| لوتشیوم-۱۷۷ | $^{177}Lu$ | ۶,۷ روز | برای درمان غدد درون‌ریز |
| فسفر-۳۲ | $^{32}P$ | ۱۴روز | در درمان سرطان کبد و استخوان |
| رنیوم-۱۸۶ | $^{186}Re$ | ۳,۸روز | تسکین درد در سرطان استخوان |
| رنیوم-۱۸۸ | $^{188}Re$ | ۱۷ ساعت | تسکین درد در سرطان استخوان |
| ساماریوم-۱۵۳ | $^{153}Sm$ | ۴۷ ساعت | تسکین درد سرطان در استخوان در مرحله ثانویه ، برای سرطان پروستات و سرطان سینه |
| تکنسیوم-۹۹m | $^{99m}Tc$ | ۶ ساعت | مورداستفاده در تصویربرداری اسکلت، مغز، تیروییید، ریه‌ها، کبد، طحال، کلیه، کیسه صفرا، استخوان مغز، بزاق و غدد اشکی و ... |
| ایتریوم-۹۰ | $^{90}Y$ | ۶۴ ساعت* | تسکین درد آرتریت در مفاصل بزرگ. سرطان کبد |

**۴) کشاورزی و پرورش دام**

کشاورزی و پرورش دام نیز همچون سایر ابعاد زندگی بشری از فناوری هسته‌ای بی‌بهره نبوده است. امروزه از دانش هسته‌ای در بخش‌های مختلف استفاده می‌شود به‌طوری‌که استفاده از آن منجر به وقوع تحولی عظیم در عرصه‌های مختلف و مرتبط با زندگی بشر گردیده است.

در روش‌های عادی برای تولید بذر اصلاح شده به حدود ۱۰ تا ۱۵ سال زمان نیاز است، درحالی‌که با استفاده از فناوری هسته‌ای و پرتودهی گاما می‌توان در زمان کمتر از ۵ سال بذر اصلاح شده را تولید کرد.

تولید گیاهان مقاوم در برابر شوری، به‌منظور افزایش سطح زیر کشت درزمینه‌ای شور و خشک، تولید بذرهای مقاوم در برابر شرایط سرما و خشکی، صرفه‌جویی در مصرف کود و آب در تولید محصولات

کشاورزی، تولید مرکباتی با هسته کوچک‌تر یا بدون هسته، بهبود تولید دانه‌های روغنی، کمک به حفظ طعم و تازگی میوه‌ها، جلوگیری از جوانه زدن محصولات در انبارها و مبارزه با آفات و عوامل میکروبی از دیگر کاربردهای فناوری هسته‌ای در تولیدات کشاورزی می‌باشد. (لیالی و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۶۱-۲۶۷)

استفاده از فناوری هسته‌ای در دامپزشکی و پرورش دام، طیور و آبزیان، یکی دیگر از حوزه‌هایی است که بسیار موردتوجه می‌باشد. پرتوتابی و استفاده از رادیو ایزوتوپ‌ها، کاربردهای بسیاری در پرورش دام و طیور، مدیریت خوراک دام، دامپزشکی و به‌طورکلی علوم دامی‌دارد. ازجمله این کاربردها می‌توان به تشخیص و درمان بیماری‌های دامی، تولیدمثل، تغذیه، اصلاح نژاد، بهداشت و ایمن‌سازی محصولات دامی و خوراک دام اشاره کرد.

**۵) منابع آب**

محققان پیش‌بینی می‌کنند که تا چند سال آینده اولین جنگ‌ها بر سر منابع آبی در جهان رخ خواهد داد و بی‌تردید یکی از راه‌کارهای جدی در خصوص مقابله با خشک‌سالی و بحران کم‌آبی، مدیریت تقاضای آب و ارتقای بهره‌وری در مصرف آن است. با توجه به وجود دریای خزر، خلیج‌فارس و دریای عمان در شمال و جنوب کشور و وجود منابع آب‌شور، شیرین کردن آب در کشور به‌منظور رفع کمبود آب، با استفاده از فناوری هسته‌ای مدنظر قرارگرفته است.

در این روش که دومنظوره می‌باشد علاوه بر تولید برق، آب نیز شیرین می‌گردد. بدین‌صورت که از گرمای اضافی ناشی از تولید برق در نیروگاه، برای شیرین کردن آب استفاده می‌شود که در آن بهره‌وری بالاتر و تولید آب به‌صرفه‌تر خواهد بود. یکی از اهداف آینده اعلام‌شده توسط آژانس بین‌المللی انرژی اتمی توسعه این طرح می‌باشد. بر اساس تحقیقات به‌عمل‌آمده راکتورهای متوسط و کوچک همراه با روش نمک‌زدایی، در شیرین کردن آب، بسیار مؤثر می‌باشند. (لیالی و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۶۸)

**۶) استفاده در صنایع و تسلیحات نظامی**

صنعت نفت یکی دیگر از حوزه‌هایی است که فناوری هسته‌ای در آن از کاربردهای بسیاری برخوردار است و با توجه به اهمیت این صنعت در کشورمان، توجه به کاربردهای آن در مراحل مختلف اکتشاف، برداشت، پالایش و انتقال نفت، از ضرورت و اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد.

تشخیص انواع نفت‌ها، برآورد مواد نفتی در مکان‌های گمانه‌زنی شده برای حفاری، عیب‌یابی تجهیزات در حین کار و شناسایی نشت‌های احتمالی در مسیر انتقال نفت از کاربردهای متنوع و متعدد فناوری

هسته‌ای در صنعت نفت می‌باشد. حوزه دیگری که استفاده از فناوری هسته‌ای در آن بسیار چشمگیر می‌باشد، حوزه معادن است. امروزه تقریباً در همه مراحل و بخش‌های معادن از فناوری‌های مرتبط با فناوری هسته‌ای بهره‌گیری می‌شود. در مراحل مختلف تشخیص و کشف معادن و تعیین محل دقیق حفاری‌ها، از مواد رادیواکتیو استفاده می‌شود. (لیالی و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۷۳)

از دیگر موارد استفاده از انرژی هسته‌ای می‌توان به استفاده نظامی از آن اشاره کرد که کشورهای جهان علاوه بر موارد فوق، به علل مختلف می‌توانند خواهان دستیابی به سلاح‌های هسته‌ای باشند. معمای امنیت، محیط آنارشی، رژیم‌های بین‌المللی ناعادلانه، بازدارندگی و مسابقه تسلیحاتی، افتخار بین‌المللی، کاهش هزینه‌های نظامی و مزیت‌های جانبی ازجمله عواملی است که کشورها را به دستیابی به سلاح هسته‌ای ترغیب می‌کند. (توکل‌پور، ۱۳۸۸: ۲۹-۲۷)

با نگاهی اجمالی به پرونده هسته‌ای ایران درمی‌یابیم که بیشترین محدودیت‌ها بر فعالیت‌های هسته‌ای بر حوزه‌های تعداد سانتریفیوژ، میزان غنی‌سازی، ذخیره اورانیوم غنی‌شده، تولید و انباشت آب‌سنگین، راکتورهای آب‌سنگین، تولید سوخت راکتورهای آب‌سنگین و باز فرآوری متمرکز گردیده بود.

با توجه به راهبرد ایران مبنی بر عدم تولید، نگهداری و استفاده از سلاح‌های هسته‌ای که بارها در گفته‌های مسئولین مختلف کشور بیان‌شده و در گزارش‌های مربوط به آژانس بین‌المللی انرژی اتمی نیز به آن‌ها اذعان شده است و همچنین نظر به فتوای مقام معظم رهبری[۳۳] مبنی بر حرام بودن این موضوع، همواره کشورهای غربی در خصوص حرکت ایران به‌سوی سلاح هسته‌ای ابراز نگرانی کرده‌اند. مطرح نمودن موضوع PMD و بیان مطالبی از طرف آژانس در این مورد که ایران تا قبل از سال ۲۰۰۹ درگیر یک سلسله فعالیت‌های مرتبط با طراحی یک سلاح هسته‌ای اورانیومی بوده و این فعالیت‌ها قبل از سال ۲۰۰۳ جنبه ساختارمند داشته است، ازجمله شواهدی است که دولت‌های غربی با ادعاهای بی‌اساس و تحت‌فشار قراردادن آژانس بین‌المللی انرژی اتمی برای بیان برخی تصورات و مطالب ساختگی به دنبال محدود نمودن و در نهایت توقف برنامه‌های صلح‌آمیز هسته‌ای ایران بوده‌اند. موضع جمهوری اسلامی ایران در این منازعه یک دهه‌ای همواره این بوده که برنامه هسته‌ایش با اهداف صلح‌آمیز توسعه داده شده و هیچ انحرافی نداشته است. با توجه به این‌که حوزه چرخه‌سوخت و آب‌سنگین یک حوزه فنی و راهبردی برای ایران به‌حساب می‌آید، دولت‌های غربی بر محدود نمودن این دو موضوع پا فشاری ویژه‌ای داشتند.

ازآنجایی‌که در ساخت سلاح‌های هسته‌ای مبتنی بر شکافت از مواد شکافت‌پذیر اورانیوم ۲۳۵، پلوتونیوم ۲۳۹ و یا ترکیبی از این دو استفاده می‌شود و فرآیند تولید این ایزوتوپ‌ها از طریق غنی‌سازی اورانیوم ۲۳۵ تا بیش از ۹۰ درصد و یا راکتورهای آب‌سنگین برای تولید پلوتونیوم ۲۳۹ می‌باشد، لذا اعمال فشار طرف‌های مذاکره موجب تحدید تمام این حوزه‌ها در ایران شد.

این در حالی است که با توجه به مصوبه مجلس مبنی بر تولید ۲۰ هزار مگاوات انرژی هسته‌ای توسط راکتورهای هسته‌ای، دولت ملزم به تأمین سوخت مصرفی برای این راکتورها می‌باشد. با توجه به وجود ظرفیت‌های فنی، انسانی و معادن اورانیوم، اراده نظام و قانون مجلس، حرکت دولت‌ها در جهت به ثمر رسیدن این موضوع قرار گرفت. تولید اورانیوم غنی‌شده و پیاده‌سازی ۱۹۰ هزار سو[۳۴]، که بارها توسط مقام معظم رهبری بر آن تاکید شده بود نیز مقدمه‌ای جهت تأمین سوخت یک راکتور با ظرفیت راکتور بوشهر می‌باشد.

طراحی و ساخت راکتور تحقیقاتی آب‌سنگین اراک نیز با هدف تولید رادیو ایزوتوپ‌های موردنیاز در حوزه پزشکی صورت پذیرفت و تا مراحل پایانی ساخت آن نیز پیش رفت. تا جائی‌که جهت تأمین آب‌سنگین موردنیاز برای کندسازی نوترونی و خنک‌سازی راکتور، یک تأسیسات تولید آب‌سنگین در اراک راه‌اندازی گردید. این کارخانه دارای ظرفیت تولید سالانه حدود ۱۶ تن آب‌سنگین بوده و قابلیت تولید آب‌سنگین با غنای بیش از ۹۹ درصد را دارد. (شیرمردی، ۱۳۹۶)

**دوره سوم: رسیدن به نقطه مطلوب**

آرمان و خط‌مشی کشور به‌صورت کلی در یک افق بیست‌ساله مدنظر قرارگرفته است و به ارکان نظام نیز ابلاغ گردید. این سند، ایرانِ پس از بیست سال را در عرصه‌های مختلف علمی، فرهنگی، اقتصادی و سیاسی ترسیم می‌نماید. متن سند چشم‌انداز بیست‌ساله در افق ۱۴۰۴ در سال ۸۲ به سران قوا ابلاغ شد. در ابتدای این سند آمده است:

«با اتکال به قدرت لایزال الهی و در پرتو ایمان و عزم ملی و کوشش برنامه‌ریزی شده و مدبرانه‌ی جمعی و در مسیر تحقق آرمان‌ها و اصول قانون اساسی، در چشم‌انداز بیست‌ساله: ایران کشوری است توسعه‌یافته با جایگاه اول اقتصادی، علمی و فناوری در سطح منطقه، با هویت اسلامی و انقلابی، لهام بخش در جهان اسلام و با تعامل سازنده و مؤثر در روابط بین‌الملل[۳۵]».

جایگاه علمی و فناوری ایران در حوزه‌های مختلف ازجمله فناوری صلح‌آمیز هسته‌ای، پس از بیست سال باید این‌گونه موردتوجه و ارزیابی قرار گیرد:

«دست یافتن به جایگاه اول اقتصادی، علمی و فناوری در سطح منطقه‌ی آسیای جنوب غربی (شامل آسیای میانه، قفقاز، خاورمیانه و کشورهای همسایه)، با تأکید بر جنبش نرم‌افزاری و تولید علم، رشد پرشتاب و مستمر اقتصادی، ارتقای نسبی سطح درآمد سرانه و رسیدن به اشتغال کامل[۳۶]».

سند چشم‌انداز ۲۰ ساله ازجمله اسناد مهم و بالادستی، بلندمدت و همچنین راهبردی کشور در حوزه‌های مختلف به شمار می‌رود. مقام معظم رهبری در خصوص میزان اهمیت سند ۱۴۰۴ و لزوم توجه به آن را، این‌گونه موردتوجه و تدقیق قرار می‌دهند:

«جهت‌گیری‌های برنامه‌ای و کاری دولت را با شاخص سند چشم‌انداز بسنجید. این سند چشم‌انداز چیز مهمی است؛ این را دست‌کم نباید گرفت. شاید بتوان گفت که بعد از قانون اساسی، ما هیچ سندی را در کشور به این اهمیت نداریم. یک نگاه کلان و بلندمدت است. سند چشم‌انداز مهم است. نگاه کنید ببینید الان چهار سال از سند چشم‌انداز گذشته (۱۳۸۸)، یعنی ما شانزده سال به پایان این چشم‌انداز داریم. چقدر پیش رفته‌ایم؟ یک ادعا این است که از چهار سال بیشتر پیش رفته‌ایم؛ یک ادعا این است که نه، کمتر پیش رفته‌ایم؛ نصف این چهار سال پیش رفته‌ایم. این‌ها باید درست سنجیده بشود؛ درست باید ملاحظه بشود. در این سند چشم‌انداز، آینده‌ای در نظر گرفته‌شده که برای ملت ایران این آینده لازم و شایسته است. اگر به آن آینده نرسیم، عقب می‌مانیم. آن‌وقت باید هم بدانیم که همین‌طور که ما داریم به سمت آن هدف حرکت می‌کنیم، اطراف ما هم همه ثابت نیستند؛ آن‌ها هم دارند حرکت می‌کنند. باید سرعت را تنظیم کنیم، زمان‌بندی‌های برنامه‌ها را تنظیم کنیم؛ جوری این سرعت را تنظیم کنیم که بتوانیم واقعاً به هدف چشم‌انداز برسیم. یعنی این دولت در سهم خودکار درست خودش را انجام داده باشد»[۳۷].

حال باگذشت ۱۶ سال از ابلاغ سند بیست‌ساله کشور، باید دید میزان پیشرفت و موفقیت اجرای این سند تا چه حد بوده است و قسمت‌های مختلف کشور تا چه حد در اجراء و پیاده‌سازی این سند موفق بوده‌اند و اصلاً تا چه میزان موارد مطروحه در این سند را در تدوین استراتژی‌ها و راهبردهای بلندمدت و کوتاه‌مدت کشور دخیل نموده‌اند. که این مورد جای بررسی و توجه ویژه دارد و در این مقال نمی‌گنجد.

بیانیه گام دوم انقلاب بار دیگر با یادآوری اهداف انقلاب اسلامی، با اشاره‌ای کوتاه به وضع گذشته و وضع موجود، شاید بار دیگر قصد یادآوری اهداف ابلاغی در سند چشم‌انداز ولی این بار به‌صورت مبسوط‌تر و خطاب به نسل جوان را دارد و این بار هدف را ایجاد تمدن نوین اسلامی بیان می‌دارد که هدفی بس فراتر، گسترده‌تر و بالاتر از یک برنامه بیست‌ساله می‌باشد:

« عزیزان! نادانسته‌ها را جز باتجربه‌ی خود یا گوش سپردن به تجربه‌ی دیگران نمی‌توان دانست. بسیاری ازآنچه را ما دیده و آزموده‌ایم، نسل شما هنوز نیازموده و ندیده است. ما دیده‌ایم و شما خواهید دید. دهه‌های آینده دهه‌های شما است و شمایید که باید کارآزموده و پُرانگیزه از انقلاب خود حراست کنید و آن را هر چه بیشتر به آرمان بزرگش که ایجاد تمدن نوین اسلامی و آمادگی برای طلوع خورشید ولایت عظمی (ارواحنافداه) است، نزدیک کنید[۳۸]».

بیانیه گام دوم انقلاب موضوع علم و فناوری را به‌صورت مجزا موردتوجه قرارداده است و در چند نقطه به فناوری هسته‌ای به‌صورت مخصوص پرداخته است. این بیانیه پیشرفت‌های امروز کشور در عرصه‌های علمی را خارق‌العاده دانسته ولی کافی نمی‌داند:

«دانش، آشکارترین وسیله‌ی عزّت و قدرت یک کشور است. روی دیگر دانایی، توانایی است. دنیای غرب به برکت دانش خود بود که توانست برای خود ثروت و نفوذ و قدرت دویست‌ساله فراهم کند و باوجود تهیدستی در بنیان‌های اخلاقی و اعتقادی، با تحمیل سبک زندگی غربی به جوامع عقب‌مانده از کاروان علم، اختیار سیاست و اقتصاد آن‌ها را به دست گیرد. ما به سوءاستفاده از دانش مانند آنچه غرب کرد، توصیه نمی‌کنیم، اما مؤکداً به نیاز کشور به جوشاندن چشمه‌ی دانش در میان خود اصرار می‌ورزیم. بحمدالله استعداد علم و تحقیق در ملّت ما از متوسّط جهان بالاتر است. اکنون نزدیک به دو دهه است که رستاخیز علمی در کشور آغازشده و با سرعتی که برای ناظران جهانی غافلگیرکننده بود ــ یعنی یازده برابر شتاب رشد متوسّط علم در جهان ــ به‌پیش رفته است. دستاوردهای دانش و فنّاوری ما در این مدّت که ما را به رتبه شانزدهم در میان بیش از دویست کشور جهان رسانید و مایه‌ی شگفتی ناظران جهانی شد و در برخی از رشته‌های حسّاس و نو پدید به رتبه‌های نخستین ارتقاء داد، همه و همه در حالی اتّفاق افتاده که کشور دچار تحریم مالی و تحریم علمی بوده است. ما باوجود شنا در جهت مخالف جریان دشمن‌ساز، به رکوردهای بزرگ دست یافته‌ایم و این نعمت بزرگی است که به خاطر آن باید روز و شب خدا را سپاس گفت[۳۹]».

با این تفاسیر مقام معظم رهبری در بیانیه گام دوم انقلاب پیشرفت‌های موجود در عرصه‌های علمی را تنها آغازی بر این مسیر می‌دانند و جوانان را به پیمودن ادامه مسیر و کسب موفقیت‌های بیشتر توصیه می‌کنند:

«اما آنچه من می‌خواهم بگویم این است که این راه طی شده، با همه‌ی اهمیتش فقط یک آغاز بوده است و نه بیشتر. ما هنوز از قله‌های دانش جهان بسیار عقبیم؛ باید به قله‌ها دست‌یابیم. باید از مرزهای کنونی دانش در مهم‌ترین رشته‌ها عبور کنیم. ما از این مرحله هنوز بسیار عقبیم؛ ما از صفر شروع کرده‌ایم. عقب‌ماندگی شرم‌آور علمی در دوران پهلوی‌ها و قاجارها در هنگامی‌که مسابقه‌ی علمی دنیا تازه شروع شده بود، ضربه‌ی سختی بر ما وارد کرده و ما را از این کاروان شتابان، فرسنگ‌ها عقب نگه‌داشته بود. ما اکنون حرکت را آغاز کرده و با شتاب پیش می‌رویم ولی این شتاب باید مهروموم‌ها با شدت بالا ادامه یابد تا آن عقب‌افتادگی جبران شود. این‌جانب همواره به دانشگاه‌ها و دانشگاهیان و مراکز پژوهش و پژوهندگان، گرم و قاطع و جدی دراین‌باره تذکر و هشدار و فراخوان داده‌ام، ولی اینک مطالبه‌ی عمومی من از شما جوانان آن است که این راه را بااحساس مسئولیت بیشتر و همچون یک جهاد در پیش گیرید. سنگ بنای یک انقلاب علمی در کشور گذاشته‌شده و این انقلاب، شهیدانی از قبیل شهدای هسته‌ای نیز داده است. به‌پاخیزید و دشمن بدخواه و کینه‌توز را که از جهاد علمی شما بشدت بیمناک است ناکام سازید[۴۰]».

این نکته را نیز همواره باید مدنظر قرارداد که با توجه به اختلافات راهبردی و کلان ایران و جبهه غرب به رهبری آمریکا، توقع اینکه دو کشور در مدت زمان کوتاهی همسو شوند محال به نظر می‌آید و برای مقابله با دشمنی‌ها نیز تنها راه‌حل موجود تقویت بنیه علمی و فناوری در داخل برای بالا بردن قوت و قدرت می‌باشد. همان‌گونه که مقام معظم رهبری در این خصوص می‌فرمایند:

"آمریکایی‌ها به دنبال نابود کردن صنعت هسته‌ای ایران هستند. در مقابل همه مسئولان ایران ضمن تاکید بر خطوط قرمز، به دنبال توافقی خوب، یعنی توافقی منصفانه و عادلانه، عزتمند و منطبق با منافع و مصالح ایران هستند. در هر رویارویی دیپلماتیک، دو میدان وجود دارد که باید موردتوجه قرار گیرد. میدان اصلی که میدان واقعیت، عمل و تولید دارایی است و میدان دیپلماسی و سیاست که عرصه تبدیل این دارایی‌ها به امتیاز و تأمین منافع ملی است"[۴۱].

## نتیجه‌گیری

با توجه به‌مرور منویات مقام معظم رهبری در بیانیه گام دوم انقلاب در خصوص لزوم برخورداری کشور از علم و فناوری‌های نوین، و همچنین جایگاه فعلی کشور درزمینه فناوری صلح‌آمیز هسته‌ای و اهمیتی که امروزه این صنعت از آن در دنیای کنونی برخوردار است و در آینده نیز موردتوجه قرار می‌گیرد، چند نکته در نتیجه‌گیری باید موردتوجه قرار گیرد:

۱- نیل به فناوری صلح‌آمیز هسته‌ای و تلاش برای گسترش و پیشرفت آن، باید به‌صورت یک ضرورت انکارناپذیر در کشور موردتوجه قرارگرفته و به‌هیچ‌عنوان مورد مذاکره قرار نگیرد. ۲- توسعه این فناوری و صنعت مادر باعث افزایش قدرت نرم کشور و بهبود مدیریت و حکمرانی مطلوب در تعاملات داخلی و خارجی می‌گردد. ۳- از طرفی باید به بومی‌سازی و بومی‌گرایی در این صنعت توجه ویژه گردد تا هرگونه وابستگی به خارج از بین برداشته شود. ۴- علم و دانش به‌طور اعم و فناوری صلح‌آمیز هسته‌ای به‌طور اخص می‌تواند در راستای تقویت سیاست خارجی بر مبنای عزت، حکمت و مصلحت قرار گیرد ۵- این فناوری باعث ایجاد ارزش مادی و عزت و غرور ملی در کشور و افزایش روحیه خودباوری می‌گردد که در مدیریت و حکمرانی مطلوب و اسلامی موردتوجه حاکمان می‌باشد ۶- مطرح‌شدن ایران به‌عنوان کشور اول منطقه با عنایت به خاص بودن این صنعت و عدم برخورداری دیگر کشورهای منطقه از آن می‌تواند دست برتر در منطقه را برای کشورمان در پی داشته باشد ۷- ایجاد ارزآوری و صدور فناوری بومی از دیگر محاسن مهم این فناوری است ۸ - ملی شدن و عدم تصمیم‌گیری در مورد آن با سلایق شخصی و تغییر دولت‌ها و منافع سیاسی و حزبی از دیگر مسائلی است که باید موردتوجه حاکمیت نظام قرار گیرد و پیشرفت و گسترش آن فارغ از تغییر دولت در کشور باید به یک راهبرد کلان و بلندمدت تبدیل گردد.

**منابع**


۱) سخنان مقام معظم رهبری (بیانیه گام دوم انقلاب، ۱۳۹۷/۱۱/۲۲)

۲) توکل‌پور، محمدهادی (۱۳۸۸)، بررسی حقوقی مسئله هسته‌ای ایران، تهران، موسسه فرهنگی هنری و انتشارات مرکز اسناد انقلاب اسلامی

۳) لیالی، محمدعلی (۱۳۹۴)، خورشید از غرب طلوع نمی‌کند، تهران، کتاب رواق اندیشه

۴) اطهری، اسدالله و مشهدیان، بابک (۱۳۹۱)، «سیاست خارجی آمریکا در برابر برنامه هسته‌ای ایران، تأملی از پنجره واقع‌گرایی تهاجمی»، فصلنامه مطالعات منطقه‌ای، ۳۸-۱

۵) بصیری، محمدعلی، قاسمی، مصطفی (۱۳۸۵)، «مواضع اتحادیه اروپا و آمریکا در پرونده هسته‌ای ایران»، ماهنامه اطلاعات سیاسی اقتصادی، سال ۲۰، شماره ۹ و ۱۰، ص ۱۰۶

۶) دهقانی‌فیروزآبادی، سید جلال و عطایی، مهدی (۱۳۹۵)، گفتمان‌های هسته‌ای در سیاست خارجی جمهوری اسلامی ایران، تهران، پژوهشکده مطالعات راهبردی

۷) گلشن‌پژوه، محمدرضا (۱۳۸۳)، پرونده هسته‌ای ایران، روندها و نظرها، تهران، موسسه فرهنگی مطالعات و تحقیقات بین‌المللی ابرار معاصر تهران

۸) روحانی، حسن (۱۳۹۰)، امنیت ملی و دیپلماسی هسته‌ای، تهران، مرکز تحقیقات استراتژیک مجمع تشخیص مصلحت نظام

۹) ملکی، مصطفی و محمدی، حسن (۱۳۹۶)، نقطه صفر هسته‌ای، تهران، علوم و فنون رازی

۱۰) اداره نشر وزارت امور خارجه (۱۳۹۶)، گذری در تاریخ، تهران، اداره نشر وزارت امور خارجه

۱۱) مصاحبه با دکتر سید پژمان شیرمردی، عضو هیئت علمی پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای ۱۳۹۶

۱۲) گلشن‌پژوه، محمدرضا (۱۳۸۷)، پرونده هسته‌ای ایران (۴)، روندها و نظرها، تهران، موسسه فرهنگی مطالعات و تحقیقات بین‌المللی ابرار معاصر تهران

۱۳) وود، جانت (۱۳۹۰)، انرژی هسته‌ای، ترجمه علی حاج آقازاده، تهران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

۱۴) قریب، احمد (۱۳۸۵)، پیدایش و کاربردهای علوم و فناوری‌های هسته‌ای، تهران، انتشارات سازمان انرژی اتمی ایران

۱۵) متن توافق برجام که توسط وزارت امور خارجه منتشرشده است.

۱۶) نبویان، محمود (۱۳۹۷)، چالش هسته‌ای، تهران، موسسه فرهنگی هنری و انتشارات مرکز اسناد انقلاب اسلامی

۱۷) ویلسون، پی‌دی (۱۳۸۹)، چرخه‌سوخت هسته‌ای (از معدن تا پسمانداری) ، ترجمه محمد قنادی مراغه، تهران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای

۱۸) سایت مقام معظم رهبری

۱۹) https://www.cfr.org/event/conversation-ernest-j-moniz

۲۰) https://www.Belfercenter.org/publication/energy-secretary-ernest-moniz-statesman-science-and-diplomacy

۲۱) https://www.theguardian.com/science/political-science/۲۰۱۵/apr/۰۸/ernest-moniz-and-the-physics-of-diplomacy

۲۲) http://www.sciencemag.org/news/۲۰۱۵/۰۸/exclusive-iran-s-atomic-czar-explains-how-he-helped-seal-iran-nuclear-agreement

۲۳) https://sputniknews.com/politics/۲۰۱۵۰۷۱۶۱۰۲۴۶۸۲۲۸۹/

۲۴) https://www.reuters.com/article/us-iran-nuclear-talks/kerry-and-irans-zarif-to-try-narrow-gaps-in-nuclear-talks-idUSKBN۰LQ۰۸۴۲۰۱۵۰۲۲۲

۲۵) https://www.al-monitor.com/pulse/originals/۲۰۱۵/۰۲/us-iran-energy-chiefs-join-nuclear-talks.html

۲۶) http://theiranproject.com/blog/۲۰۱۵/۰۶/۲۹/kerry-energy-secretary-teaming-up-in-iran-talks/

۲۷) https://financialtribune.com/articles/national/۱۱۸۷۰/serious-engagement-to-strike-nuclear-deal

۲۸) https://www.Nytimes.com/۲۰۱۵/۰۳/۲۹/world/middleeast/no-۲-negotiators-in-iran-talks-argue-physics-behind-politics.htmlwww.nytimes.com

۲۹) http://iran-daily.com/News/۱۱۳۳۳۸.html

۳۰) http://www.irdiplomacy.ir/en/page/۱۹۴۵۶۰۰/Russia+Voices+Optimism+about+N.+Deal+with+Iran.html

۳۱) https://www.energy.gov/articles/secretary-moniz-opening-remarks-wilson-center-iran-s-nuclear-agreement-delivered

۳۲) http://www.presstv.com/Detail/۲۰۱۵/۰۳/۰۸/۴۰۰۸۵۳/Technical-accord-will-accelerate-Ntalks

۳۳) https://www.yjc.ir/fa/news/۶۰۱۸۱۶۹

۳۴) https://www.mashreghnews.ir/news/۷۷۲۴۱۱

۳۵) http://www.tabnak.ir/fa/news/۵۶۲۶۶۴

۳۶) Radiopharmaceuticals, Final text for addition to The International harmacopoeia (November ۲۰۰۸)

۳۷) MEDraysintell, the expert in strategic intelligence for the medical radiation industry, publishes its new report on Opportunities in Nuclear Medicine Edition ۲۰۱۴

۳۸) Radiopharmaceuticals — an overview of the basic principles Clinical Pharmacist ۱ JAN ۲۰۱۲

۳۹) https://lobelog.com/resolving-the-north-korea-crisis-through-the-iran-deal/

**یادداشت‌ها :**

۱- مقام معظم رهبری (بیانیه گام دوم انقلاب، ۱۳۹۷/۱۱/۲۲)

۲- مقام معظم رهبری (بیانیه گام دوم انقلاب، ۱۳۹۷/۱۱/۲۲)

۳- مقام معظم رهبری (بیانیه گام دوم انقلاب، ۱۳۹۷/۱۱/۲۲)

۴- مقام معظم رهبری (بیانیه گام دوم انقلاب، ۱۳۹۷/۱۱/۲۲)

۵- مقام معظم رهبری (بیانیه گام دوم انقلاب، ۱۳۹۷/۱۱/۲۲)

۶- The Washington Post

۷ - Gerald Rudolph "Jerry" Ford

۸- Finencial Times, ۱۳ November ۱۹۷۵

۹- به ترکیب پرعیار اورانیومی که قابل عرضه به بازار باشد «کیک زرد» گویند. این ماده از اجزای مهم تشکیل‌دهنده چرخه سوخت هسته‌ای است. کیک زرد در واقع اکسیداورانیوم آسیاب شده است و اولین قدم به سوی اورانیوم غنی شده است.

۱۰- مقام معظم رهبری (۱۳۹۴/۷/۲۹)

۱۱- Eurodif

- شرکت مزبور ویژه غنی‌سازی اورانیوم است. یورودیف با سرمایه چند کشور اروپایی ساخته شده است و حکومت وقت ایران نیز موافقت کرده بود که در آن سرمایه‌گذاری کند. ایران حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد

سرمایه آن را پرداخت نمود. (سلامتی، ۱۳۹۳: ۴۵) لازم به ذکر است که موضوع خرید سهام شرکت فرانسوی یورودیف در دوران رژیم گذشته، هنوز هم یکی از پرونده های مفتوح از طرف ایران در محاکم بین المللی می باشد که به نتیجه نرسیده است.

۱۲- Geoffrey Kemp

۱۳- Neauphle-le-Château

۱۴- رئیس کنونی سازمان انرژی اتمی ایران

۱۵- مقام معظم رهبری (بیانیه گام دوم انقلاب، ۱۳۹۷/۱۱/۲۲)

۱۶- Front End

۱۷ - Back End

۱۸ - Mining

۱۹- Enrichment

۲۰ - Reprocessing

۲۱- Pichblende

۲۲ - Urania

۲۳- Rotor

- سانتریفیوژها از قسمت‌های مختلف تشکیل شده‌اند که به قسمت مرکزی یا هسته اصلی آن قسمت چرخان یا روتور می‌گویند.

۲۴ - Centrifuge Cascade

- تعدادی از ماشین‌های سانتریفیوژ که در چینش‌های مختلف جهت بالا بردن سرعت و غنای غنی‌سازی کنار هم به صورت ترکیب سری و موازی قرار می‌گیرند آبشار گویند. در حال حاضر ۶ آبشار در فردو نصب می‌باشد که مجموعاً ۱۰۴۴ سانتریفیوژ را شامل می‌گردد. (شیرمردی، ۱۳۹۶)

۲۵- PWR

۲۶- BWR

۲۷- AGR

۲۸- PHWR

۲۹- RBMK

۳۰ - MEDraysintell, the expert in strategic intelligence for the medical radiation industry, publishes its new report on Opportunities in Nuclear Medicine Edition ۲۰۱۴.

۳۱- Radiopharmaceuticals, Final text for addition to The International Pharmacopoeia(November ۲۰۰۸).

۳۲- Radiopharmaceuticals — an overview of the basic principles Clinical Pharmacist ۱ JAN ۲۰۱۲.

۳۳- به اعتقاد ما افزون بر سلاح‌های هسته‌ای دیگر انواع سلاح‌های کشتارجمعی نظیر سلاح شیمیایی و سلاح میکروبی نیز تهدیدی جدی علیه بشریت تلقی می‌شوند. ملت ایران که خود قربانی کاربرد سلاح شیمیایی است بیش از دیگر ملت‌ها خطر تولید و انباشت این‌گونه سلاح‌ها را حس می‌کند و آماده است همه امکانات خود را در مسیر مقابله با آن قرار دهد. ما کاربرد این سلاح‌ها را حرام، و تلاش برای مصونیت بخشیدن ابنای بشر از این بلای بزرگ را وظیفه همگان می‌دانیم. (پیام مقام معظم رهبری به نخستین کنفرانس بین‌المللی خلع سلاح و عدم اشاعه در تهران سال ۱۳۹۰)

۳۴- یک واحد اندازه‌گیری است که به طور خاص در صنایع تولید انرژی هسته‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. این واحد همانند دیگر واحدهای اندازه‌گیری می‌باشد. اگر بخواهیم به طور علمی سو را تعریف کنیم بهتر است بگوییم سو یک واحد اندازه‌گیری جهت سنجش مقدار کار لازم برای جداسازی ایزوتوپ سبک عنصر اورانیوم از ایزوتوپ سنگین‌تر آن برای ایجاد محصول نهایی است. محصولی که از ایزوتوپ سبک غنی‌تر است.

- Separative Work Unit (SWU)

۳۵- متن سند چشم انداز بیست ساله

۳۶- متن سند چشم انداز بیست ساله

۳۷- سخنرانی مقام معظم رهبری در دیدار با اعضای هیات دولت-۱۳۸۸/۶/۱۸

۳۸- مقام معظم رهبری (بیانیه گام دوم انقلاب، ۱۳۹۷/۱۱/۲۲)

۳۹- مقام معظم رهبری (بیانیه گام دوم انقلاب، ۱۳۹۷/۱۱/۲۲)

۴۰- مقام معظم رهبری (بیانیه گام دوم انقلاب، ۱۳۹۷/۱۱/۲۲)

۴۱- سخنرانی مقام معظم رهبری در تاریخ دوم تیر ۱۳۹۴