انرژی هسته‌ای؛ ضرورت‌ها و سیاست‌ها

بابک یوسف پور - عبدالرحیم رحیمی

کارشناسان سازمان انرژی اتمی ایران

انرژی در حال حاضر به عنوان یکی از فاکتورهای اصلی تولید در کنار سایر عوامل تولید نقش مهمی ایفا می‌کند، وابستگی روزافزون بشر در بیشتر فرایندها به این عامل تولید، حقیقتی انکارناپذیر است. از طرفی انرژی و مسائل مرتبط با آن نظیر تولید، توزیع و مصرف در فرایند توسعه اقتصادی جایگاه ویژه‌ای را به خود اختصاص داده است. به طوری که تأمین انرژی پایدار از اهداف مهم توسعهٔ پایدار است. هم‌اکنون با توجه به مفاهیم امنیت ملی، امنیت همه کشورهای جهان در گرو دسترسی مطمئن به انرژی است و بی‌جهت نیست که تعاملات بخش انرژی و اقتصاد تا آنجا پیش رفته است که در ادبیات اقتصادی امروزه، میزان منابع انرژی در کشورها، میزان عرضه و مصرف سرانه انرژی اولیه و میزان سرانه کیلووات ساعت برق مصرفی به صورت یکی از شاخص‌های مقایسه امکانات توسعه کشورها محسوب می‌شود.

ضرورت ایجاد تنوع در سیستم عرضه انرژی کشور از سالها قبل مورد نظر مسؤولین جمهوری اسلامی ایران بوده است. در این مقاله ضمن اشاره به انرژی هسته‌ای به عنوان یک گزینه مطمئن اقتصادی در توسعه انرژی الکتریکی کشور اهمیت و ضرورت استفاده از تکنولوژی هسته‌ای و توسعه آن در زمینه‌های صلح‌آمیز از قبیل استفاده‌های علمی، تحقیقاتی و کاربردی در بخش‌های صنعت، کشاورزی، پزشکی، خدمات و... مورد بررسی و مطالعه قرار می‌گیرد.

خلاصه

جمهوری اسلامی ایران به عنوان یک کشور نفت‌خیز و دارای منابع عظیم گاز در ردیف کشورهای صادرکننده انرژی اولیه قرار دارد. در فرآیند توسعه اقتصادی و اجتماعی کشور در سه دههٔ گذشته، دو مسأله عمده در بخش انرژی و در رابطه با بهره‌برداری از منابع انرژی مطرح بوده است: ۱ـ رشد و توسعه اقتصادی که تقاضای انرژی در کشور را افزایش می‌دهد ۲ـ وابستگی کشور به اقتصاد تک محصولی (نفت).

با نگاهی گذرا به آمار و ارقام مربوط به مصرف انرژی کشور در سه دهه گذشته تاکنون درمی‌یابیم که طی این مدت شدت انرژی در کشور ۴ برابر شده است. بنابراین ادامه وضعیت مصرفی کنونی، ممکن است توسعه پایدار کشور را در آینده با خطرات جدی مواجه سازد.

تکیه اصلی سیستم عرضه انرژی کشور بر منابع فسیلی با توجه به روند تقاضای رو به تزاید آن، در آینده مشکلات زیادی در مسیر توسعه بخش‌های اقتصادی و اجتماعی ایجاد خواهد نمود. بنابراین ضرورت ایجاد تنوع در سیستم عرضه انرژی کشور از سال‌ها قبل مورد نظر مسؤولین جمهوری اسلامی ایران بوده به طوری که این مهم در سیاست‌های اعلان شده و خط‌مشی‌های برنامه اول و دوم عمرانی کشور مورد تأکید قرار گرفته است.

بنابراین در این مقاله ضمن اشاره به انرژی هسته‌ای به عنوان یک گزینه مطمئن اقتصادی در توسعه انرژی الکتریکی کشور، اهمیت و ضرورت استفاده از تکنولوژی هسته‌ای و توسعه آن در زمینه‌های صلح‌آمیز از قبیل استفاده‌های علمی، تحقیقاتی و کاربردی در بخش‌های صنعت، کشاورزی، پزشکی، خدمات و... مورد بررسی و مطالعه قرار می‌دهد.

در فرایند توسعه اقتصادی و اجتماعی کشور در سه دهه گذشته دو مسأله عمده در بخش انرژی در رابطه با بهره‌برداری از منابع انرژی مطرح بوده است. از یک‌سو رشد و توسعه اقتصادی و بهبود سطح زندگی آحاد جامعه ایجاب کرده است که انرژی لازم برای تداوم فعالیت‌های تولیدی و گسترش آنها تأمین شود و از طرف دیگر وابستگی اقتصادی کشور به درآمدهای ارزی حاصل از فروش نفت و وابستگی انکارناپذیر بخش‌های اقتصادی و اجتماعی به درآمد این بخش و به احتمال قوی، پایان‌پذیری این منابع در دهه‌های آینده چگونگی بهره‌برداری از منابع انرژی را با ابهام مواجه کرده

در صورت رفع موانع و مسایل سیاسی مربوط به گسترش انرژی هسته‌ای در جهان به ویژه در کشورهای در حال توسعه و جهان سوم، این انرژی در دهه‌های آینده در رهیافت زیست‌محیطی نقش مهمی در کاهش آلودگی‌ها و انتشار گازهای گلخانه‌ای ایفا می‌کند

است، به عنوان نمونه مصرف نهایی انرژی درسال ۱۳۵۰ از ۹۰/۱ میلیون بشکه معادل نفت‌خام به ۶۳۰ میلیون بشکه معادل نفت‌خام در سال ۱۳۷۶ بالغ شده است (در حدود ۷ برابر) در حالی که تولید ناخالص داخلی طی این مدت از ۶۶۵۰ میلیارد ریال به ۱۵۱۲۱/۳ میلیارد ریال افزایش یافته است (حدود ۲/۳ برابر).

این مقایسه ساده نشان دهنده آن است که قسمت اعظم انرژی نهایی مصرف شده صرف امور غیر تولیدی شده است و سایر مصارف از جمله مصارف بخش‌های خانگی و تجاری سهم اعظم مصرف را به خود اختصاص داده است.

متأسفانه واقعیات دهه‌های گذشته نشان می‌دهد که همواره سیستم عرضه انرژی در کشور با تصور نامحدود بودن منابع سوخت فسیلی نفت و گاز کشور و با تکیه بر مصرف و تولید حامل‌های انرژی (از جمله برق، نفت سفید، گازوئیل، نفت کوره و سایر فرآورده‌هایی که در تولید انرژی به‌کار می‌روند) از طریق سوخت‌های فسیلی همواره درصدد برآورده کردن تقاضای روبه تزاید جامعه بوده است. شاخص شدت انرژی[1] در سال ۱۳۵۰ از میزان ۱۳/۵۵ به ۴۱/۶۵ بشکه معادل نفت‌خام برای استحصال یک میلیون ریال تولید ناخالص در سال ۱۳۷۶ افزایش یافته است. این مقدار مصرف انرژی بیانگر روند مصرف بی‌رویه و اسراف و اتلاف بیش از حد انرژی در بخش‌های مختلف اقتصادی خصوصاً بخش‌های غیرمولد آن است. تداوم این روند منجر به افزایش مصارف داخلی و کاهش مقادیر نفت‌خام جهت صادرات خواهد شد و وضعیت توسعه پایدار کشور را در آینده با مخاطرات جدی مواجه می‌سازد. بنابراین یکی از راه‌های پرهیز از این مسأله ایجاد تنوع در سیستم عرضه انرژی کشور می‌باشد. انرژی هسته‌ای در حال حاضر سهم قابل ملاحظه‌ای از کل انرژی الکتریکی تولید شده به‌ویژه در کشورهای صنعتی را به خود اختصاص داده است.

انرژی هسته‌ای

امروزه تکنولوژی هسته‌ای به خاطر نقش ویژه آن در تولید و تأمین انرژی و استفاده گسترده آن در جهت مقاصد صلح‌آمیز از قبیل کاربردهای صنعتی، کشاورزی، پزشکی، علمی و خدماتی، از اهمیت خاصی برخوردار شده است. علاوه بر آن پتانسیل موجود در این نوع انرژی و تکنولوژی مربوطه در کاربردهای استراتژیک جلوه خاصی به آن بخشیده است.

حساسیت‌های سیاسی در مورد احتمال استفاده‌های نظامی از این تکنولوژی سبب شده است که انتقال و توسعه آن به کشورهای در حال توسعه با ممانعت‌ها، محدودیت‌ها و اشکالات بسیاری توأم باشد. لیکن در دهه‌های گذشته معدودی از کشورهای در حال توسعه شامل چین، هندوستان، پاکستان، آرژانتین، کره جنوبی و برزیل با آینده‌نگری و تلاش بسیار محققین، متخصصین و حمایت همه جانبه دولتمردان خود توانسته‌اند از این دایره بسته بیرون آمده و فراتر از آن از موقعیت قابل توجه و ممتازی در این صنعت برخوردار شوند. علاوه بر آن (استفاده‌های غیر صلح‌آمیزی که در کشورهای صاحب تکنولوژی هسته‌ای در جهت رسیدن به مقاصد شوم غیرانسانی به عمل می‌آید) انتقال و توسعه تکنولوژی هسته‌ای سبب شده است تا صنایع و تکنولوژی‌های جانبی و باارزش دیگری نیز در این‌کشورها تشکیل شده وتوسعه یابند.

جمهوری اسلامی ایران در فرایند توسعه پایدار خود به تکنولوژی هسته‌ای هم از لحاظ تأمین نیرو و ایجاد تنوع در سیستم عرضه انرژی و هم از جنبه کاربردهای مختلف و صلح‌آمیز آن در زمینه‌های مختلف صنعتی، کشاورزی، پزشکی و خدمات، نیاز فزاینده‌ای دارد و با توجه به استعدادهای موجود منابع و نیروهای بالقوه لازم در این خصوص، در صورتی که حمایت‌های سیاسی و مالی لازم از برنامه‌های هسته‌ای کشور صورت پذیرد، حتی با وجود ممانعت‌ها و گرایش‌های انحصارطلبانه ممالک صاحب این تکنولوژی‌ها، نیل به خودکفایی و خوداتکایی ملی برای رفع نیازهای فعلی و آتی در زمینه‌های مختلف تکنولوژی هسته‌ای میسر و ممکن‌است.

در پایان جنگ دوم جهانی و بعد از واقعه اسفبار هیروشیما، انریکو فرمی ایتالیایی یکی از کارشناسان علوم و فنون هسته‌ای چنین پیش‌بینی کرد: «در آینده استفاده از انرژی هسته‌ای به نحو وسیعی گسترش خواهد یافت و این کاربردها نه برای نابودی انسان‌ها بلکه برای ارتقای زندگی و ارایه امکانات بیشتر برای جوامع بشری شکل خواهد گرفت». پیش‌بینی که درکمتر از نیم‌قرن کاملاً جامع عمل به خود پوشیده است.

با وجود پیشرفت‌های چشمگیر سطوح تکنولوژی در جمهوری اسلامی ایران و افزایش سطح فرهنگ آگاهی و سواد عمومی جامعه ما، متأسفانه چه اقشار تحصیل کرده کشور و چه عوام هنگامی که صحبت از انرژی اتمی به میان می‌آید، ابر قارچ گونه‌ای حاصل از انفجارات اتمی است را در ذهن تداعی می‌کنند یا بسیار خوشبینانه‌تر رآکتورهای هسته‌ای برای تولید برق در اذهان عموم مجسم می‌شود و به ندرت کسانی را می‌توان یافت که بدانند چگونه جنبه‌های دیگری از تکنولوژی انرژی اتمی در طی نیم قرن اخیر زندگی روزمره کلیه ساکنین کشورهای صنعتی را به نحوی دچار تحول و تغییر کرده است، بنابراین بدون توجه به کاربردهای وسیع این تکنولوژی که تعداد آنها به بیش از یک میلیون کاربرد مختلف در اکثر ابعاد ممکن می‌رسد، ادامه زندگی در جهان امروزی غیرممکن است. اما حقیقت این است که طی ۵۰ سال گذشته در نتیجه تلاش پیگیر و زحمات فراوان پژوهشگران، مهندسین و تکنسین‌های دست‌اندرکار پژوهش‌های هسته‌ای، توسعه دانش و تکنولوژی هسته‌ای نقش مهمی در ارتقا سطح زندگی مردم در ابعاد مختلف صنعت، کشاورزی‌وارائه‌خدمات‌فنی‌وپزشکی‌ایفاکرده‌است.

امروزه از رادیوایزوتوپ‌ها برای پرتودهی‌جهت بهبود محصولات غذایی، نگهداری مواد غذایی، تعیین منابع آب‌های زیرزمینی، استرلیزه کردن منابع وتولیدات پزشکی، آنالیز هورمون‌ها، آنالیز مواد

و عناصر، کنترل کیفیت فرآیندهای صنعتی و بررسی آلودگی محیط زیست استفاده می‌شود.

بسیاری از اشیایی‌که ما در زندگی روزمره از آن استفاده می‌کنیم، به نوعی در فرآیند تولید آنها از تکنیک‌های هسته‌ای استفاده شده است.

برخی از عناصر رادیوم در طبیعت یافت می‌شوند، ولی اکثر ایزوتوپ‌های[۲] رادیواکتیو در راکتورهای اتمی و یا به وسیله شتاب‌دهنده‌ها (ابزاری که ذرات اتمی را با سرعت بالا به حرکت درمی‌آورد) تولید می‌شوند. از سال ۱۹۴۰ میلادی به بعد از ایزوتوپ‌های ذکر شده در زمینهٔ تأمین آب، غذاوبهداشت و حفاظت محیط‌زیست و سایر نیازها استفاده به عمل آمده است.

یکی از مهم‌ترین کاربردهای این تکنولوژی که در جهت نیل به اهداف صلح‌آمیز و در بیشتر کشورهای صاحب این تکنولوژی مورد استفاده قرار می‌گیرد، بهره‌گیری از نیروی برق اتمی از طریق راه‌اندازی نیروگاه‌های هسته‌ای است.

در زمینه بهره‌برداری از نیروگاه‌های هسته‌ای جهان آمار و اطلاعات موجود حاکی از آن است که تا پایان سال ۲۰۰۱ تعداد ۴۳۸ راکتور قدرت هسته‌ای (نیروگاه اتمی) با ظرفیتی بالغ بر ۳۵۳ هزار مگاوات در ۳۱ کشور جهان در دست بهره‌برداری بوده که برق تولیدی این نیروگاه‌ها بیش از ۱۷ درصد کل برق مصرفی جهان (حدود ۶ درصد کل انرژی اولیه دنیا) را در سال مزبور تأمین کرده‌اند.

نیروگاه‌های هسته‌ای جهان در پایان سال ۲۰۰۰ (به ترتیب سهم برق هسته‌ای)

ردیف	کشور	تعداد واحدها		کل تولید برق (TWh)	تولیدبرق هسته‌ای (TWh)	ظرفیت نیروگاههای هسته‌ای در حال کار در ۲۰۰۱ (MWe)	سهم‌برق‌هسته‌ای (درصد)
		در حال کار	درحال‌ساخت				
۱	فرانسه	۵۹	–	۵۱۹/۷	۳۹۵	۶۳۲۰۳	۷۶
۲	لیتوانی	۲	–	۱۱/۵	۸/۴	۲۳۷۰	۷۴
۳	بلژیک	۷	–	۷۸/۹	۴۵	۵۷۲۸	۵۷
۴	اسلواکی	۶	۲	۳۰/۲	۱۶	۲۴۷۲	۵۳
۵	اکراین	۱۳	۲	۱۵۳/۲	۷۲	۱۱۱۹۵	۴۷
۶	بلغارستان	۶	–	۴۰	۱۸	۳۵۳۸	۴۵
۷	مجارستان	۴	–	۳۵/۷	۱۵	۱۷۵۵	۴۲
۸	کره جنوبی	۱۶	۴	۲۵۳/۶	۱۰۴	۱۲۹۷۰	۴۱
۹	سوئد	۱۱	–	۱۴۱	۵۵	۹۴۶۰	۳۹
۱۰	اسلوانی	۱	–	۱۲/۲	۴/۵	۶۷۹	۳۷
۱۱	سوئیس	۵	–	۶۶/۶	۲۴	۳۱۷۰	۳۶
۱۲	ژاپن	۵۳	–	۸۹۷	۳۰۵	۴۴۴۳۰	۳۴
۱۳	ارمنستان	۱	–	۵/۴	۱/۸	۳۷۶	۳۳
۱۴	فنلاند	۴	–	۶۵/۶	۲۱	۲۶۵۶	۳۲
۱۵	آلمان	۱۹	–	۵۱/۶	۱۶۰	۲۱۱۴۱	۳۱
۱۶	اسپانیا	۹	–	۲۱۰/۷	۵۹	۷۳۴۵	۲۸
۱۷	تایوان	۶	۲	۱۵۴/۲	۳۷	۴۸۸۴	۲۴
۱۸	انگلستان	۳۵	–	۳۵۴/۵	۷۸	۱۲۵۲۸	۲۲
۱۹	آمریکا	۱۰۴	–	۳۷۷۰	۷۵۴	۹۸۱۰۵	۲۰
۲۰	جمهوری‌چک	۵	۱	۷۳/۷	۱۴	۲۵۶۰	۱۹
۲۱	روسیه	۲۹	۳	۸۰۰	۱۲۰	۲۰۷۹۳	۱۵
۲۲	کانادا	۱۴	۸	۵۷۵	۶۹	۹۹۹۸	۱۲
۲۳	رومانی	۱	۱	۴۶/۴	۵/۱	۶۵۵	۱۱
۲۴	آرژانتین	۲	–	۷۸/۱	۵/۷	۹۳۵	۷/۳
۲۵	آفریقای‌جنوبی	۲	–	۱۹۴	۱۳	۱۸۴۲	۶/۷
۲۶	هلند	۱	–	۹۲/۵	۳/۷	۴۵۲	۴
۲۷	مکزیک	۲	–	۲۰۲/۵	۷/۹	۱۳۱۰	۳/۹
۲۸	هند	۱۴	۲	۴۵۱/۶	۱۴	۲۵۴۸	۳/۱
۲۹	پاکستان	۲	–	۶۴/۷	۱/۱	۴۲۵	۱/۷
۳۰	برزیل	۱	–	۳۷۳/۳	۵/۶	۱۸۵۵	۱/۵
۳۱	چین	۳	۸	۱۳۳۳/۳	۱۶	۲۱۶۷	۱/۲
	جمع کل	۴۳۸	۳۵	۱۰۹۶۵/۸	۷۵۴	۳۵۳۴۱۶	–

منبع: www.world-Nuclear.org

می‌توان گفت نیروگاه‌های هسته‌ای نقشی معادل کل نیروگاه‌های آبی در دنیا را ایفا می‌کنند.

به طور کلی از مجموع ظرفیت نصب‌شده نیروگاه‌های هسته‌ای جهان، حدود ۳۵ درصد به اروپای غربی، ۳۳ درصد به آمریکای شمالی، ۱۶/۵ درصد به خاور دور، ۱۳ درصد به اروپای شرقی، ۰/۲۱ درصد آمریکای لاتین، ۰/۷۴ درصد به آسیای میانه و ۰/۵۵ درصد به آفریقای جنوبی تعلق دارد.

همان طور که ملاحظه می‌شود سهم ظرفیت نصب شده اتمی در ۹ کشور آرژانتین، برزیل، مکزیک، آفریقای جنوبی، هندوستان، پاکستان، چین، کره جنوبی و تایوان جمعاً ۲۸۹۳۷ مگاوات بوده که فقط ۸ درصد ظرفیت اتمی جهان را تشکیل می‌دهند.

در حال حاضر بعضی از کشورها قسمت عمده‌ای از برق مورد نیاز خود را توسط نیروگاه‌های اتمی تأمین می‌کنند و در ۱۸ کشور جهان نیروگاه‌های هسته‌ای تولید و تأمین حدود ۲۰ تا ۷۵ درصد از کل تولید نیروی برق آن کشورها را به عهده دارند.

با وجود کلیه جریانات و حرکت‌های سیاسی و تبلیغاتی که به عمد در کشورهای غربی علیه نیروگاه‌های اتمی انجام می‌شود، یکی از اهداف اصلی این مانور و تبلیغات، دور نگهداشتن کشورهای در حال توسعه از این تکنولوژی بوده و نهایتاً تشویق آنها در جهت تداوم سوخت‌های فسیلی و استفاده این کشورها از نفت و گاز و سوخت‌های جامد در جهان سوم است. براساس آمار و ارقام دهه‌های گذشته همواره روند ساخت نیروگاه‌های اتمی جهان از رشد بالایی برخوردار بوده است. (جز در موارد استثنایی که ممکن است برخی از نیروگاه‌ها به دلایل فنی و مهندسی به طور موقت تعطیل شده باشند).

در سال‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۹ متوسط رشد سالیانه قدرت نصب شده اتمی در جهان بیش از ۱۲/۵ درصد بوده که این میزان رشد به مراتب از رشد متوسط مصرف برق در سطح جهان (که حدود ۳/۸ درصد در سال برآورد می‌شود) بالاتر بوده است.

شایان ذکر است که طی دو دهه گذشته همراه با افزایش نگرانی‌ها در مورد اثرات مخرب گازهای گلخانه‌ای ناشی از کاربرد فرایند انرژی‌های فسیلی، از کاربردهای انرژی هسته‌ای به عنوان یکی از رهیافت‌های زیست‌محیطی برای مقابله با افزایش دمای کره زمین و کاهش آلودگی‌های محیط زیست یاد می‌شود. در حال حاضر نیروگاه‌های هسته‌ای جهان با ظرفیت‌های نصب شده فعلی توانسته‌اند سالانه از انتشار ۸ درصد از گاز دی‌اکسید کربن به فضا جلوگیری کنند که تقریباً مشابه نقش نیروگاه‌های آبی در این خصوص عمل کرده‌اند.

چنانچه ظرفیت‌های در دست بهره‌برداری فعلی در زمینه تولید برق اتمی، از طریق نیروگاه‌های با خوراک زغال‌سنگ تأمین می‌شد، سالانه بالغ بر ۱۸۰۰ میلیون تن دی‌اکسید کربن، چندین میلیون تن گازهای خطرناک دی‌اکسید گوگرد و نیتروژن، حدود ۷۰ میلیون تن خاکستر و معادل ۹۰ هزار تن فلزات سنگین در فضا و محیط زیست انسان منتشر می‌شد[۳]، که مضرات آن غیر قابل انکار است. در صورتی که موانع و مسایل سیاسی مربوط به گسترش انرژی هسته‌ای در جهان به ویژه در کشورهای در حال توسعه و جهان سوم حل نشود، این انرژی طی دهه‌های آینده در رهیافت زیست‌محیطی نقش مهمی در کاهش آلودگی‌ها و انتشار گازهای گلخانه‌ای ایفا می‌کند.

از طرف دیگر ابعاد اقتصادی جایگزینی نیروگاه‌های هسته‌ای با تحلیل اجزای هزینه تمام شده برق در سیستم‌های مختلف تولید نیرو قابل تأمل و بررسی است. در اغلب کشورها نیروگاه‌های هسته‌ای با عملکرد مناسب اقتصادی از هر لحاظ با نیروگاه‌های سوخت فسیلی با پایه قابل رقابت هستند. هرچند طی دهه‌های گذشته کاهش قیمت سوخت‌های فسیلی در بازارهای جهانی، افزایش هزینه ساخت نیروگاه‌های هسته‌ای به علت تشدید مقررات و ضوابط ایمنی، طولانی‌تر شدن مدت ساخت و بالاخره مشکلات تأمین منابع مالی لازم، قیمت تمام شده واحد الکتریسیته را در این نیروگاه‌ها بالا برده است اما در عین حال طی این مدت ۴۰ درصد از هزینه‌های چرخه سوخت هسته‌ای کاسته شده است و با اقدامات انجام شده در زمینه استفاده از طرح‌های استاندارد برای چند واحد و برنامه‌ریزی‌های دقیق برای تأمین مطمئن و به هنگام سرمایه اولیه مورد نیاز احداث چند واحد در یک سایت برای صرفه‌جویی‌های مربوط به تأسیسات و تسهیلات مشترک مورد نیاز در هر نیروگاه همچنین استفاده از تجربیات سایر کشورها در مورد مدیریت هزینه در دوران احداث و بهره‌برداری، همچنین مزیت نیروگاه‌های اتمی از دیدگاه اقتصادی نسبت به نیروگاه‌های سوخت فسیلی بار پایه در اغلب کشورها حفظ شده است.

در مورد آینده انرژی هسته‌ای براساس تحلیل سطح تقاضا و منابع عرضه انرژی در جهان با توجه به تکنولوژی‌های موجود در دست توسعه و برپایه حقایقی نظیر روند تهی شدن منابع فسیلی در دهه‌های آینده، مزیت‌های زیست‌محیطی انرژی اتمی و همچنین استناد به آمار عملکرد اقتصادی و ضریب بالای ایمنی نیروگاه‌های هسته‌ای، مضرات کمتر چرخه سوخت هسته‌ای نسبت به سایر گزینه‌های سوخت و پیشرفت‌های حاصله در زمینه نیروگاه‌های زاینده و مهار انرژی گداخت هسته‌ای در طول نیم قرن آینده نتیجه‌گیری می‌شود که انرژی هسته‌ای یکی از حامل‌های قابل دسترسی و مطمئن انرژی جهان در هزاره سوم میلادی به شمار می‌رود.

آینده انرژی هسته‌ای

طبق برآورد شورای جهانی انرژی تا سال ۲۰۲۰ میلادی میزان عرضه انرژی هسته‌ای نسبت به سطح فعلی نزدیک به دو برابر افزایش خواهد یافت و از حدود ۰/۴ گیگاتن معادل نفت‌خام در وضعیت حاضر به حدود ۰/۷ گیگاتن معادل نفت‌خام در سال مزبور خواهد رسید: بنابراین با توجه به روند تهی شدن منابع نفت و گاز جهان و افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی و تشدید خطرات زیست‌محیطی ناشی از کاربرد سوخت‌های فسیلی به خصوص زغال‌سنگ و جدی گرفتن تعهدات بین‌المللی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای، توسعه و بهبود طراحی و افزایش ایمنی تأسیسات اتمی، بهبود وضعیت پشمان‌های هسته‌ای و بالاخره تجاری شدن راکتورهای گداخت هسته‌ای، آینده بسیار روشنی از استفاده تکنولوژی هسته‌ای و تأمین نیرو جلوه‌گر می‌کند.

علاوه بر تأمین نیرو توسط نیروگاه‌های هسته‌ای، دامنه کاربرد تکنولوژی‌های هسته‌ای در موارد مختلف نظیر کاربرد اشعه و مواد رادیواکتیو در بخش‌های کشاورزی، آب‌شناسی، پزشکی، صنعت و خدمات بسیار فراتر از آنچه در تصور اذهان عمومی است، گسترش خواهد یافت.

در طول نیم قرن گذشته همان طور که گفته شد، استفاده از روش‌های هسته‌ای در فعالیت‌های گوناگون صنعتی، عمدتاً در زمینه بهبود فرایندها، اندازه‌گیری‌های دقیق در مورد سطح‌سنجی، ضخامت‌سنجی، ردیابی، آزمایش‌های کنترل کیفی، ایجاد واکنش‌های

شیمیایی مورد نظر و کاهش هزینه‌ها در فرآیند تولید است. در عملیات اکتشاف و استخراج معادن زیرزمینی، نفت و گاز از رادیو ایزوتوپ‌ها به عنوان وسیله‌ای مطمئن و آسان برای تعیین جریان‌های زیرزمینی، تعیین مشخصات و تشکیلات زیرزمینی برای تعیین محل دقیق حفاری‌ها و... افزایش یافته است. علاوه بر آن برای تعیین محل نشست سیالات، زمینه استفاده از روش‌های بسیار کم‌هزینه‌تر و سریعتر از روش‌های معمول توسط کاربرد تکنیک‌های هسته‌ای فراهم شده است. تعیین میزان خوردگی فلزات، ساییدگی قطعات متحرک از جمله پیستون‌های هواپیماها از روش‌های هسته‌ای نسبت به سایر روش‌ها کاملاً باصرفه‌تر است. روش‌های هسته‌ای در حال حاضر به صورت جزء جدایی‌ناپذیر توسعه صنایع ابزار دقیق و اتوماسیون برای کنترل‌های خودکار در فرایندهای تولیدی درآمده است.

در بخش کشاورزی طی دهه‌های اخیر از رادیوایزوتوپ‌ها استفاده‌های وسیعی به عمل آمده است، به طوری که توسعه کشاورزی هسته‌ای در کنار روش‌های معمول کشاورزی نقش بسیار مهمی را در ایجاد بذرهای جدید و مقاوم به آفات و کم آبی، افزایش بازدهی محصولات، استفاده مؤثر و بهینه از کودهای شیمیایی و کنترل حشرات و آفات ایفا کرده است. در زمینه پرتودهی مواد غذایی امروزه بیش از ۳۰ کشور جهان مواد غذایی برای جلوگیری از فاسد شدن، دوام تازگی و استفاده‌های تجاری مورد تابش قرار می‌گیرند و روش پرتودهی در مقایسه با تکنولوژی‌های معمول ضدعفونی نظیر روش‌های سنتی موجود، از نظر اقتصادی و سرعت در انجام کار از مزیت‌های بیشتری برخوردار است. در زمینه تحقیقات آب‌شناسی استفاده از چشمه‌های پرتوزا و ردیابها برای ردیابی رسوبات، اندازه‌گیری ضخامت و غلظت لایه‌های رسوبی، ردیابی آنها و تعیین دقیق ذخیره سفره‌های آب زیرزمینی، اندازه‌گیری دبی آب رودخانه‌ها و کانال‌ها و... بسیار متداول شده است.

در بخش پزشکی کاربرد روش‌های هسته‌ای در زمینه تشخیص درمان تقریباً منحصر به فرد است. حدود ۱۰۰ سال است که دانشمندان با خواص اشعه ایکس آشنا شده‌اند و در حال حاضر کاربرد این اشعه در تشخیص پزشکی بسیار وسعت یافته است. طی نیم قرن گذشته مواد و تجهیزات و روش‌های هسته‌ای آنچنان در بخش پزشکی توسعه یافته که تخصص پزشکی هسته‌ای یکی از رشته‌های پویا و تخصصی علوم پزشکی گشته است. تصویربرداری، تشخیص و پیش‌بینی و درمان بعضی از بیماری‌ها نظیر سرطان‌های مختلف و کم‌کاری غدد فقط با استفاده از روش‌های پرتودهی رادیوایزوتوپ‌ها حاصل می‌شود. در زمینه تولید تجهیزات آشکارسازی جدید نظیر دوربین PET، رادیوتراپی، تولید کیت‌های رادیوایمنزاسی، رادیوداروهای جدید با نیمه عمر کوتاه و سترون کردن تولیدات پزشکی طی دهه‌های اخیر پیشرفت‌های چشمگیری حاصل شده است. به طوری که امروزه در بخش پزشکی استفاده از مواد و روش‌های هسته‌ای به صورت یک بخش جدایی‌ناپذیر در ارایه خدمات لازم در این بخش درآمده است.

میزان استفاده از تکنولوژی‌های صلح‌آمیز هسته‌ای در بخش‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی بستگی به سطح توسعه فنی و صنعتی کشورها و نیاز به ارتقای کیفیت کالاهای تولیدی و دقت در عوامل اقتصادی برای کاهش هزینه‌ها در فرآیند تولید دارد.

توزیع راکتورهای تحقیقاتی و شتاب‌دهنده‌ها که از عوامل اصلی تولید مواد و گسترش تکنیک‌های هسته‌ای به شمار می‌روند، نشان می‌دهد که ۷۵ درصد راکتورهای تحقیقاتی و ۹۲ درصد از شتاب‌دهنده‌های موجود در سطح جهان متعلق به کشورهای صنعتی است. کاربرد علوم و فنون هسته‌ای در کشورهای در حال توسعه به جز در موارد معدودی نظیر هندوستان، چین، پاکستان، آرژانتین، برزیل، کره جنوبی و تایوان به دلایل ساختارهای ضعیف فنی، صنعتی و کشاورزی هنوز به طور واقعی و آنچنان که می‌بایست باشند، توسعه نیافته‌اند.

طبق برآورد شورای جهانی انرژی تا سال ۲۰۲۰ میلادی میزان عرضه انرژی هسته‌ای از حدود ۰/۴ گیگاتن معادل نفت‌خام در وضعیت حاضر به حدود ۰/۷ گیگاتن معادل نفت‌خام در سال مزبور خواهد رسید

انرژی هسته‌ای در ایران

تلاش ایران برای دستیابی به انرژی هسته‌ای از سال‌های قبل از انقلاب اسلامی شروع شد که براساس آن ساخت ۲۳ نیروگاه برق هسته‌ای در سراسر کشور تا نیمه دهه ۱۹۹۰ برنامه‌ریزی شده بود. سازمان انرژی اتمی ایران (AEOI) در سال ۱۹۷۴ تأسیس شده و بلافاصله پس از آن ایران به منظور ساخت راکتور برق هسته‌ای با کشورهای آمریکا، فرانسه و آلمان غربی وارد مذاکره شد. در سال ۱۹۶۷ ایران از آمریکا یک راکتور تحقیقاتی ۵ مگاواتی خریداری کرد و در دانشکده فنی امیرآباد تهران قرار داده شد. این راکتور در حال حاضر با خوراک اورانیوم غنی شده در جهت امور علمی تحقیقاتی مشغول به فعالیت است.

جمهوری اسلامی ایران تا سال ۱۹۷۹ (بعد از پیروزی انقلاب اسلامی ۱۳۵۸) برای خرید شش راکتور برق هسته‌ای با آلمان، فرانسه و آمریکا قراردادهایی منعقد کرده بود، دو راکتور برق هسته‌ای ۱۳۰۰ مگاواتی از نوع آب سبک آلمانی در بوشهر به میزان ۶۵ و ۷۵ درصد تکمیل شده بودند و آماده‌سازی محل استقرار راکتورهای ۹۳۵ مگاواتی فرانسوی نیز در دارخوین آغاز شده بود. ایران همچنین با عقد قراردادهایی با کشورهای غربی که سوخت اورانیوم با غنای کم را برای راکتورهایش تأمین می‌کردند و کارکنان ایرانی را در زمینه هسته‌ای آموزش می‌دادند و در همین راستا ایران اقدام به عقد قراردادها و موافقت‌نامه‌های ۱۰ ساله و قابل تمدید سوخت با آمریکا، آلمان و فرانسه کرد. از طرف دیگر آلمان غربی، فرانسه، آمریکا، انگلستان و هند هم چندین متخصص ایرانی را در زمینه هسته‌ای تربیت کردند و عده‌ای دیگر از کارکنان ایرانی در ایتالیا و بلژیک و کانادا آموزش دیدند این متخصصان در کاربردهای صلح‌جویانه

انرژی هسته‌ای تعلیم می‌دیدند تا با راه‌اندازی ۲۳ راکتور برق هسته‌ای نارسایی از ناحیه نیروی متخصص احساس نشود.

به دنبال پیروزی انقلاب اسلامی ایران، همه توافق‌های رژیم سابق با غرب از جمله تعلیم و تربیت کارکنان، تأمین سوخت اورانیوم با غنای کم، توافقنامه اورادیف و احداث راکتورهای برق هسته‌ای متوقف شد. چند سال پس از پیروزی انقلاب اسلامی ایران در سال ۱۹۸۴ ایران تصمیم گرفت احداث نیروگاه‌های برق هسته‌ای بوشهر را ادامه دهد و یک مرکز تحقیقات هسته‌ای نیز به دنبال آن در اصفهان تأسیس کرد. در طول دوران جنگ تحمیلی با توجه به مشکلات ناشی از جنگ ایران موفق به توسعه برنامه‌های تحقیقاتی هسته‌ای خود نشد، ولی با پایان پذیرفتن جنگ تحمیلی و انعقاد قطعنامه ۵۹۸ از سال ۱۳۶۸ به بعد ایران مصمم شد تا اقدام به تکمیل و راه‌اندازی نیروگاه هسته‌ای بوشهر کند. بنابراین در این ارتباط ابتدا برای ادامه پروژه بوشهر با آلمان وارد مذاکره شد که متأسفانه آلمان از انجام تعهدات خود شانه خالی کرد و به دنبال آن از چندین کشور دیگر برای تکمیل نیروگاه بوشهر و ساخت نیروگاه‌های هسته‌ای جدید دعوت به عمل آورد که نهایتاً در طی این مدت فقط موفق شد با روسیه قراردادی را مبنی بر تکمیل نیروگاه اتمی بوشهر و تربیت نیروی متخصص برای این نیروگاه منعقد کند. براساس مذاکرات به عمل آمده بین ایران و شوروی در ژانویه ۱۹۹۵ علاوه بر قرارداد منعقد شده جهت تکمیل واحد یک بوشهر مذاکرات و توافقاتی در زمینه ساخت دو راکتور ۴۴۰ مگاواتی VVER و دو راکتور بوشهر به عمل آمده است، بنابراین روسیه طبق قرارداد منعقده متعهد شد ظرف مدت آینده اولین راکتور ۱۰۰۰ مگاواتی از نوع آب سبک VVER بوشهر را جایگزین کار ناتمام آلمان‌ها در محل کند.

ب- سایر استفاده‌های صلح‌آمیز از انرژی هسته‌ای (دستاوردهای علمی):

جمهوری اسلامی ایران در فرایند توسعه پایدار خود به تکنولوژی هسته‌ای چه از لحاظ تأمین نیرو و ایجاد جایگزینی مناسب در عرضه انرژی و هم از نظر دیگر بهره‌برداریهای صلح‌آمیز آن در زمینه‌های صنعت، کشاورزی، پزشکی و خدمات بدان نیاز مبرم دارد که تحقیق این رسالت مهم به عهده سازمان انرژی اتمی ایران می‌باشد.

هم‌اکنون یکی از فعالیتهای عمده تحقیقاتی و علمی سازمان انرژی اتمی ایران بهره‌برداری از راکتور تحقیقاتی تهران می‌باشد، این راکتور با داشتن تسهیلات پرتودهی گوناگون امکان انجام کارهای تحقیقاتی پایه در زمینه فیزیک راکتور، فیزیک نوترون، اثر تشعشعات مختلف بر ماده را فراهم می‌سازد.

همچنین در زمینه آموزش و تربیت نیروی انسانی و همکاری با دانشگاهها در انجام پروژه‌های کارشناسی ارشد و دکترا نقش بسیار مهمی را ایفا می‌نماید. یکی دیگر از اهداف راکتور تحقیقاتی تهران، تولید رادیوایزوتوپهای مختلف پزشکی و صنعتی می‌باشد، بطوریکه در حال حاضر بسیاری از رادیوایزوتوپهای مورد نیاز بیمارستانها و مراکز صنعتی کشور توسط این راکتور تأمین می‌گردد.

لازم به ذکر است که در حال حاضر اکثر صنایع کشور به جهت استفاده گسترده از انرژی هسته‌ای دارای سیستمهای رادیوایزوتوپی هستند، بنابراین عمده فعالیتهای پژوهش و خدمات فنی و اجرایی بخش رادیوایزوتوپهای «سازمان انرژی اتمی ایران» شامل موارد ذیل می‌باشد:

۱- نشت‌یابی در خطوط انتقال نفت، با استفاده از تکنیکهای کاربرد ردیابهای رادیواکتیو.

۲- ساخت و تولید انواع چشمه‌های نورانی (بتالایت) در اشکال و ابعاد مختلف جهت کاربردهای صنعتی و غیره.

۳- طراحی و ساخت سیستمهای رادیوایزوتوپی از جمله سطح‌سنج پیوسته، سطح‌سنج ناپیوسته، ضخامت‌سنج برای شیشه، دانسیته‌سنجی و ضخامت لایه‌گذاری شده.

۴- بررسی وضعیت کوره‌های ذوب شیشه با استفاده از تکنیک کاربرد ردیابهای رادیواکتیو.

۵- نصب و راه‌اندازی سیستمهای جدید در صنایع کشور.

۶- تعویض شارژ مجدد چشمه‌های موجود در سیستم‌های موجود در کارخانجات.

۷- تعمیر و بازسازی، کالیبراسیون و راه‌اندازی و همچنین سرویس و نگهداری انواع سیستمهای هسته‌ای موجود در صنایع کشور.

بخش فیزیک هسته‌ای نیز یکی از بخشهای تحقیقاتی علمی حائز اهمیت در سازمان انرژی اتمی ایران می‌باشد که از دو گروه شتابدهنده و اندوگراف و فیزیک نوترون تشکیل یافته است. از جمله فعالیتهای پیشرفت کارهای تحقیقاتی عمده گروه اول می‌توان به توسعه استفاده از شتابدهنده‌ها در کشور اشاره نمود که نصب و راه‌اندازی شتابدهنده «سیکلوترون» در مرکز تحقیقات کشاورزی و پزشکی هسته‌ای کرج برای تولید رادیوایزوتوپهای مورد مصرف در پزشکی و همچنین استفاده از شتابدهنده الکترون در مرکز لیزر برای کارهای پرتودهی مواد غذایی و صنعتی را می‌توان نام برد. مهمترین پروژه‌های کاربردی و تحقیقاتی شتابدهنده واندوگراف شامل؛ توسعه سیستم‌های آنالیز آزمایشگاهها، در زمینه پزشکی آنالیز نمونه‌های بیوپسی و تجزیه خون و مو، در خصوص صنعت، آنالیز قطعات مختلف آلیاژها و بررسی اندازه‌گیری جنس و ضخامت پوششهای در حد میکرون، در زمینه محیط زیست شناسایی و اندازه‌گیری ذرات معلق در هوا و آب و نهایتاً در قسمت همکاریهای علمی می‌توان انجام پروژه‌های دانشجویان دوره کارشناسی ارشد و دکتری دانشگاهی کشور در رشته‌های مرتبط را نام برد. همچنین فعالیتهای گروه دوم «فیزیک نوترون» شامل بهره‌برداری از پرتوهای نوترونی و گامای حاصل از قلب راکتور در زمینه‌های فیزیک پایه، فیزیک کاربردی و فیزیک پزشکی و بیولوژی می‌باشد. این گروه در حال حاضر پروژه‌هایی از قبیل آنالیز مواد به طریقی اسپکتروسکپی، آنالیز مواد به طریق فعال‌سازی نوترونی، رادیوگرافی با نوترونهای حرارتی در صنایع مختلف، دیفراکتومتری نوترونی برای متالوژی مواد، نوترون‌تراپی بابور در مراکز پزشکی و درمانی و اندازه‌گیری میزان اورانیوم و توریوم و سایر محاسبات و اندازه‌گیری پارامترهای مختلف کشور در دست اجرا دارد.

در سایر مراکز تحت پوشش سازمان انرژی اتمی ایران نیز فعالیت تحقیقاتی - علمی و کاربردی مشابه‌ای همانند مراکز مذکور در دست اقدام دارند، لذا از توضیح آنها در این مبحث صرفنظر می‌شود.

به هر حال جمهوری اسلامی ایران در راستای هماهنگ بودن با سیاستهای آژانس بین‌المللی انرژی اتمی نظارت کامل این آژانس را در تجهیزات و تأسیسات هسته‌ای خود پذیرفته است و پیگیر فعالیتهای مسالمت‌آمیز انرژی هسته‌ای می‌باشد. از اینرو با بکارگیری انرژی هسته‌ای در بخشهای کشاورزی، پزشکی، صنعتی و خدماتی تاکنون به پیشرفتها و موفقیتهای چشمگیری نیز نائل آمده است، بطوریکه قادر به تولید انواع رادیوایزوتوپها (اعم از صنعتی و پزشکی) و برخی لیزر می‌باشد.

از طرف دیگر استفاده‌های صلح‌آمیز از تکنولوژی‌های هسته‌ای در آینده نیز همچون نیم‌قرن گذشته روندی روبه‌رشد خواهد داشت و علاوه بر کاربردهای کنونی در سال‌های آتی در امور مختلف دیگر نیز از این تکنولوژی‌ها استفاده خواهد شد و فاصلهٔ بین کشورهای دارندهٔ این تکنولوژی‌ها و کشورهای در حال توسعه شکاف بیشتری خواهد یافت.

نتیجه‌گیری

زمینه‌های شناخته شده کاربردی علوم و فنون هسته‌ای و بسیاری از موارد دیگر که هنوز کشف نشده‌اند حاکی از اهمیت انتقال و توسعه تکنولوژی‌های هسته‌ای در آینده اقتصاد کشورهای مختلف است. کشور ایران نیز در فرایند رشد و توسعه اقتصادی برای حضور بیشتر در بازارهای جهانی و صدور محصولات با کیفیت بالا و مورد تأیید استانداردهای پذیرفته شده جهانی، همچنین توسعه بخش‌های کشاورزی، پزشکی و خدمات همچون کشورهای صنعتی نیاز فزاینده به انتقال تکنولوژی و کاربرد علوم و فنون هسته‌ای در زمینه‌های مختلف خواهد داشت و در این رهگذر با توجه به محدودیت‌هایی که کشورهای صاحب این تکنولوژی‌ها برای انتقال آن به کشورمان به وجود آورده و می‌آورند راهی بجز عزم و اراده محکم و پشتیبانی و حمایت جدی سیاست‌گذاران در انجام پروژه‌های هسته‌ای و استفاده از فرصت‌های پراکنده و محدود در بازارهای بین‌المللی و ارتقای تکنولوژی داخلی هسته‌ای، جهت نیل به خوداتکایی در زمینه‌های مختلف کاربردی هسته‌ای وجود نخواهد داشت

حال که سیاست‌ها و خط‌مشی‌های برنامه سوم توسعه اقتصادی اجتماعی جمهوری اسلامی ایران توسط دولت محترم تدوین گشته است توجه به این بخش از توسعه علوم و فنون الزامی است. در پایان یادآور می‌شود هر از چند گاهی برخی از کشورها با توجه به حرکت‌های صرف سیاسی درصدد این هدف هستند که جمهوری اسلامی ایران را به جرم انجام واکنشهایی در خصوص دستیابی به سلاح هسته‌ای متهم کنند و در عرصه بین‌المللی کشور ایران را مورد تاخت و تاز قرار دهند. این در حالی است که جمهوری اسلامی ایران به عنوان یک کشور صلح‌جو همیشه در راستای استفاده صلح‌جویانه از انرژی هسته‌ای تلاش می‌کند و بارها به طور مکرر از تریبون‌های بین‌المللی این موضوع را به گوش کشورهای متهم‌کننده رسانده است. بنابراین جمهوری اسلامی ایران از ابتدا سیاست خود را برپایه نفی سلاح‌های کشتارجمعی بنا نهاده و هیچگاه به دنبال دستیابی به این سلاح‌ها نبوده و نیست، و به همین دلیل عضویت در معاهدات زیادی به ویژه معاهده NPT را که هدفشان منبع گسترش سلاح‌های هسته‌ای در جهان بوده، پذیرفته است و در این ارتباط نیز به کلیه تعهدات خود جامهٔ عمل پوشانده است. همچنین ایران همواره از سیاست درهای باز و آشکارسازی برنامه‌های اتمی خود دریغ نکرده و در این ارتباط بارها از مجامع بین‌المللی به ویژه آژانس بین‌المللی انرژی سایر کشورهای مدعی جهت بازرسی و بازدید از تأسیسات اتمی خود دعوت به عمل آورده و همواره از همکاری کامل و مستمر با آژانس بین‌المللی انرژی اتمی تبعیت کرده است.

در عین حال که ایران خواستار ایجاد یک منطقه عاری از سلاح‌های هسته‌ای در خاورمیانه است، نسبت به تولید و گسترش سلاح‌های اتمی توسط برخی از کشورهای منطقه از جمله همسایه‌های شمال شرقی و آمریکا در جنوب به شدت نگران است و آن را تهدیدی بر امنیت ملی خود و منطقه می‌داند. در این زمینه حق مسلم جمهوری اسلامی ایران است که نسبت به خطر این سلاح‌ها در منطقه بیش از دیگران حساس باشد. با توجه به این که جمهوری اسلامی ایران در زمینه استفاده صلح‌آمیز از انرژی هسته‌ای مورد اتهامات و ادعاهای بی‌اساس برخی کشورها قرار می‌گیرد و این ادعاهای بی‌اساس خوراک برخی از رسانه‌های غربی را به منظور انجام تبلیغات سوء علیه ایران فراهم می‌آورد، ضروری است که این شایعات و موارد کذب محض مورد بررسی قرار گیرد تا جمهوری اسلامی ایران از کلیه جهات و به ویژه تبلیغات شبهه‌آمیز و مسموم غرب مبرا شود.

مراجع

۱ـ سازمان برنامه و بودجه، ایران آباد، هشت سال تلاش مقدس، چاپ سازمان برنامه و بودجه ۱۳۷۵.

۲ـ سازمان برنامه و بودجه، مؤسسه عالی پژوهش در برنامه‌ریزی و توسعه، دورنمای بخش انرژی در جمهوری اسلامی ایران نتایج مرحله اول مطالعات طرح جامع انرژی، گزارش شماره EN ۷۳۰۱۱۷۱ آبان ماه ۱۳۷۳.

۳ـ حقایقی در مورد پرتودهی مواد غذایی، سلسله واقعیت‌هایی از گروه مشاوران بین‌المللی پرتودهی مواد غذایی، ترجمه حمیدرضا ذوالفقاریه، چاپ سازمان انرژی اتمی ایران.

۴ـ امراللهی، رضا، توسعه تحول و چشم‌انداز نیروگاه‌های هسته‌ای در جهان، مقاله ارایه شده در کنفرانس مهندسی برق ایران؛ اردیبهشت ماه ۱۳۷۲.

۵ـ نخلی، احمد، «سیر تکاملی انرژی اتمی در ایران، (گزارش داخلی)»، سازمان انرژی اتمی ایران.

۶ـ عابدی، خسرو، «ضرورت انتقال و کاربرد تکنولوژی هسته‌ای در ایران» رساله دکترا، دانشگاه عالی دفاع ملی، ۱۳۷۶.

۷ـ عابدی، خسرو، «بررسی تمهیدات هسته‌ای برای امنیت ملی» سازمان انرژی اتمی ایران، مردادماه ۱۳۷۳.

۸ـ مجموعه مقالات ارائه شده در «سمینار بررسی جنبه‌های حقوقی، فنی و سیاسی پیمان منع گسترش سلاح‌های هسته‌ای» سازمان انرژی اتمی ایران، آذرماه ۱۳۷۳.

۹ـ «انرژی برای فردا»، شورای جهانی انرژی، کمیته ملی انرژی جمهوری اسلامی ایران، ترجمه داریوش فروغی، ۱۳۷۵.

10- Nuclear.Power Reactors in the world, IAEA, April 2000.

11- www.world-Nuclear.org/Info/reactors.htm

■

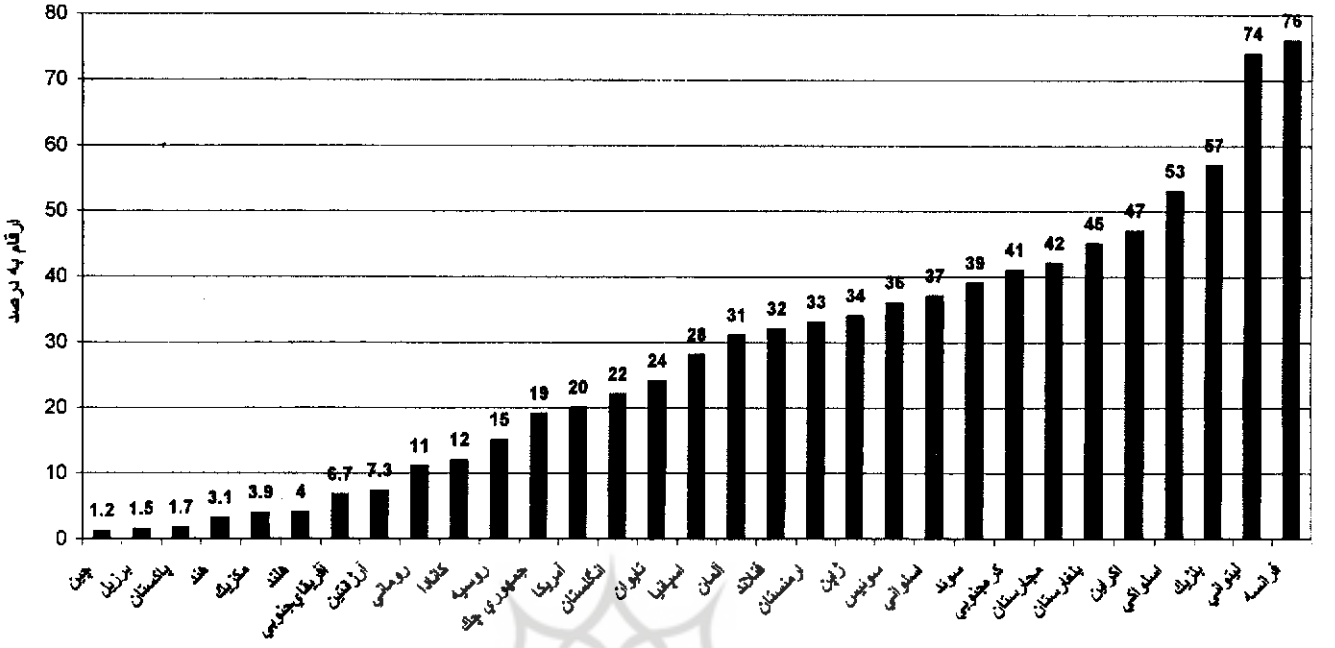
پی‌نوشت:

۱ـ مقدار انرژی مصرف شده به پشکه معادل نفت‌خام برای تولید یک‌میلیون‌ریال تولید ناخالص داخلی به قیمت ثابت

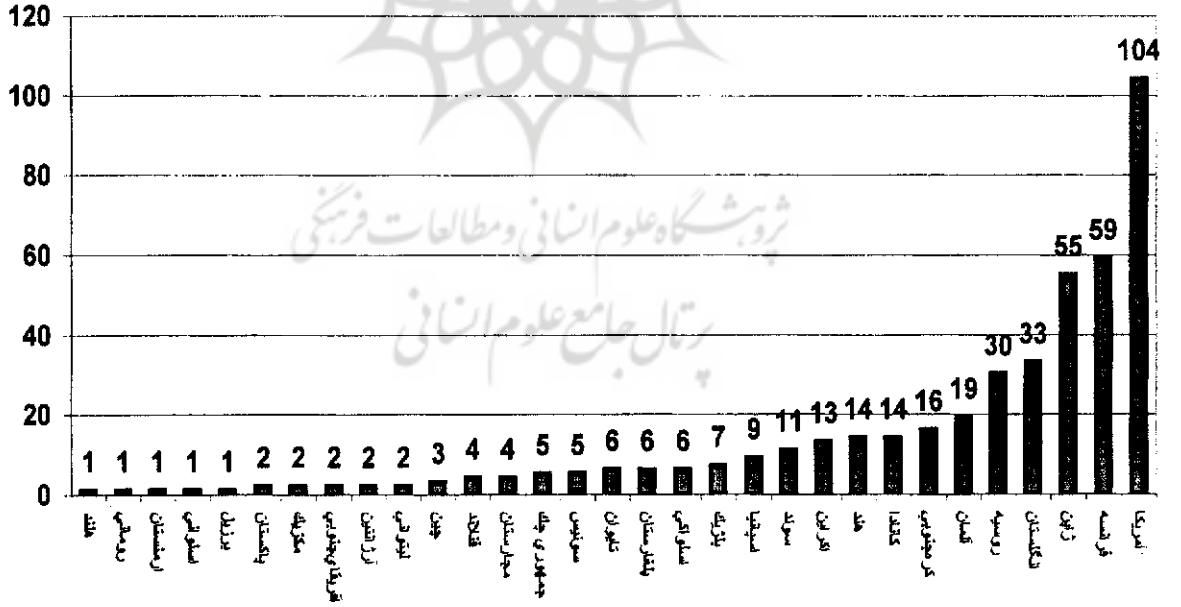
۲ـ کلیه مواد از اتم تشکیل شده‌اند. اتم‌های یک عنصر که هسته‌هایی با جرم‌های متفاوت دارند، ایزوتوپ‌های آن عنصر نامیده می‌شوند. خواص شیمیایی ایزوتوپ‌ها یکسان بوده ولی خواص مربوط به هسته متفاوت است. برخی از این ایزوتوپ‌ها دارای هسته‌ای ناپایدار بوده و پرتوهایی از خود ساطع می‌کنند. به این ایزوتوپ‌ها، ایزوتوپ‌های رادیواکتیو (رادیوایزوتوپ) و یا رادیونوکلایه می‌گویند. در تجزیه عناصر رادیواکتیو، تشعشعات انرژی‌دار متفاوت و متنوعی از هسته اتم ساطع می‌شود. این تشعشات خواص بسیار قابل توجهی دارند که در روش‌ها و تکنیک‌های هسته‌ای استفاده می‌شوند.

۳ـ سازمان برنامه بودجه، مؤسسه عالی پژوهش در برنامه‌ریزی و توسعه، دورنمای بخش انرژی در جمهوری اسلامی ایران، نتایج مرحله اول مطالعات طرح جامع انرژی، گزارش شماره EN ۷۳۰۱۱۷۱ آبان ماه ۱۳۷۳.

سهم برق هسته‌ای از تولید برق در کشورهای جهان در سال ۲۰۰۰



تعداد نیروگاههای هسته‌ای درحال کار در کشورهای جهان



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پراکندگی جغرافیایی ظرفیت‌های نصب شده نیروگاههای اتمی در جهان