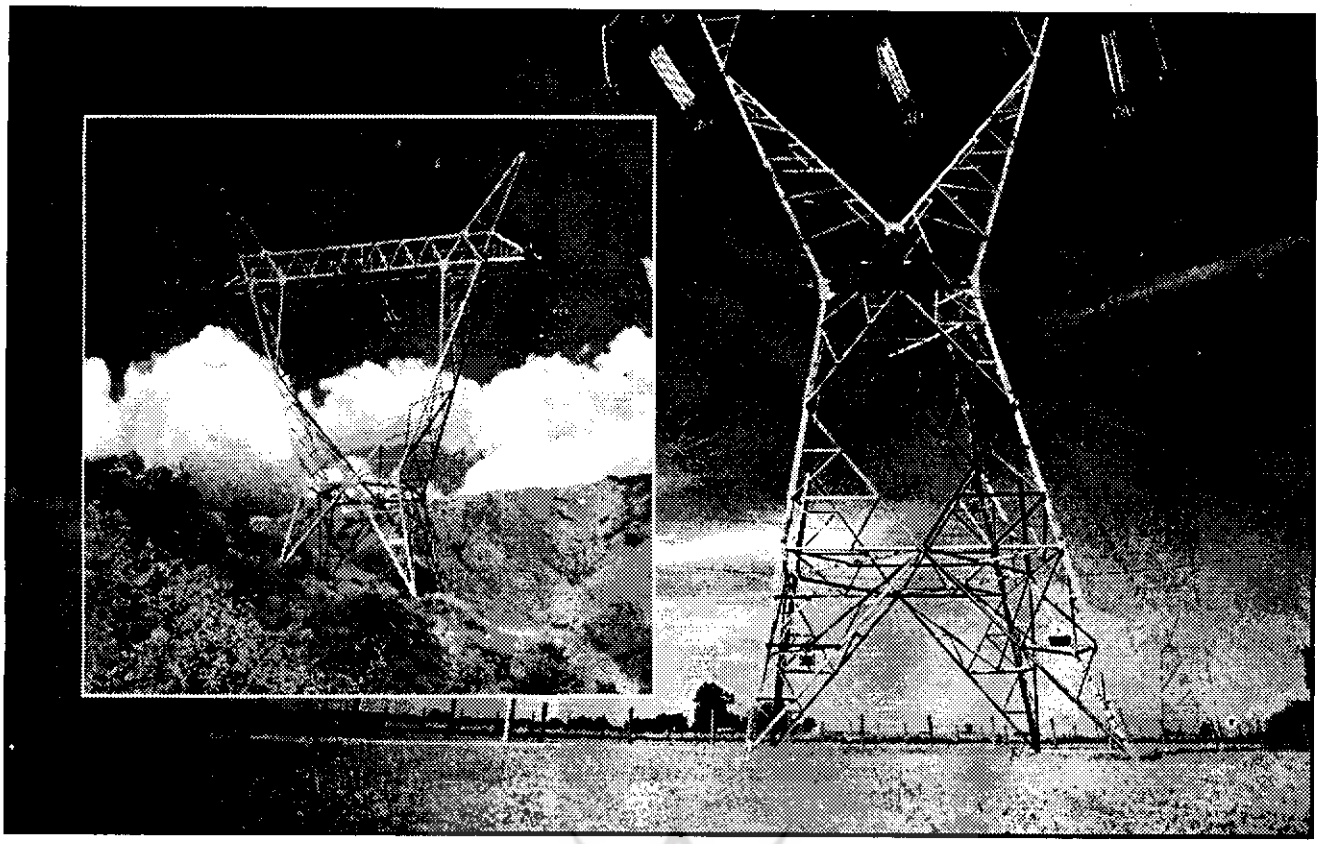


چالش‌های استفاده از برق هسته‌ای و سیاست‌های راهبردی کشور در این زمینه

اسدا... صبوری، خسرو عابدی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مقدمه

در قرن بیستم تکیهٔ اصلی نظام انرژی جهانی برپایهٔ سوخت‌های فسیلی استوار بود. وفور منابع ارزان انرژی فسیلی سبب رشد سریع اقتصاد کشورهای صنعتی شد و اسراف در مصرف انرژی به خصوص در کشورهای پیشرفته باعث گردید تا در دهه‌های پایانی این قرن علایم آشکاری از تهی شدن منابع تجدیدناپذیر ظاهر شود. پدیدهٔ شکافت هسته‌ای در نیمهٔ اول این قرن، امیدهای تازه‌ای برای دسترسی بشر به یک منبع عظیم انرژی به وجود آورد و با تجاری شدن نیروگاه‌های اتمی در دههٔ ۱۹۶۰ انتظار می‌رفت که قسمت اعظم انرژی الکتریکی کشورهای صنعتی از طریق نیروی هسته‌ای تأمین شود. اما به رغم رشد سریع در احداث و به کارگیری نیروگاه‌های اتمی در دهه‌های ۷۰ و ۸۰ و با آنکه پیش‌بینی شده بود که تا سال ۲۰۰۰ قدرت نصب شدهٔ این نوع نیروگاه‌ها بالغ بر یک میلیون مگاوات گردد، این پیش‌بینی‌ها به علت مشکلاتی از قبیل پذیرش افکار عمومی، وقوع دو حادثهٔ هسته‌ای در آمریکا و اوکراین در دههٔ ۸۰ و تشدید ترس روانی از تکرار حوادث مشابه هسته‌ای، مشکلات سیاسی و روانی پسماندداری سوخت‌های مصرف شده، پایان‌پذیری منابع شناخته شدهٔ اورانیوم برای تهیهٔ سوخت در نسل فعلی نیروگاه‌های اتمی و بالاخره پایین نگه‌داشتن مصنوعی قیمت سوخت‌های فسیلی و بالا رفتن تکنولوژی و کارایی نیروگاه‌های حرارتی محقق نشد و نیروگاه‌های اتمی آن چنان که انتظار می‌رفت، توسعه نیافتند.

اکنون که به قرن بیست و یکم و هزارهٔ سوم میلادی وارد شده‌ایم، کشورهای جهان شاهد وضعیت کاملاً متفاوتی در بخش انرژی هستند. احتمال پایان‌پذیری منابع نفت و گاز جهان تا نیمهٔ اول قرن حاضر باعث افزایش شدید قیمت این حامل‌ها در دهه‌های آتی و توجه بیشتر به استفادهٔ بهینه از این منابع تهی شونده در بخش های پتروشیمی و صنعتی به جای سوزاندن آنها به عنوان سوخت اولیه در نیروگاه‌ها و موتورهای صنعتی خواهد

گردید.

جدی شدن پدیدهٔ گرمخانه‌ای و افزایش تدریجی دمای اتمسفر ناشی از کاربرد بی‌رویهٔ سوخت‌های فسیلی، باعث ایجاد فشار بین‌المللی برای کاهش انتشار کربن و تصفیهٔ گازهای آلایندهٔ ناشی از استفاده از سوخت فسیلی و بالا رفتن هزینهٔ واحد انرژی از این حامل ها خواهد شد.

محدودیت امکانات بالقوهٔ آبی باقیمانده در جهان برای توسعهٔ برق آبی از یک طرف و پیشرفت‌های حاصله در سال‌های اخیر در مورد نیروگاه‌های ذاتاً ایمن[1] و سرمایه‌گذاری‌های عظیم انجام شده در مورد نیروگاه‌های زاینده[2] و همچنین امکانات به وجود آمده برای استفاده از سوخت مخلوط اورانیوم و پلوتونیوم (MOX) برای استفادهٔ بهینه از سوخت هسته‌ای در راکتورهای نسل جدید، و پیشرفت‌های حاصله در زمینهٔ پسماندای سوخت و بالاخره مزیت‌های زیست محیطی این نیروگاه‌ها از لحاظ عدم انتشار گازهای آلاینده، باعث توسعه و به‌کارگیری وسیع‌تر این نیروگاه‌ها در دهه‌های اول این قرن خواهد شد. در زمینهٔ به‌کارگیری منابع تجدیدپذیر و تکنولوژیهای جدید، نظیر سلول‌های سوختی، انرژی خورشیدی، باد، زمین گرمایی، بیوماس صنعتی، جزر و غیره نیز با افزایش قیمت حامل‌های فسیلی و پیشرفت تکنولوژیهای مربوط، زمینهٔ گسترش سهم این حامل‌ها در سیستم انرژی کشورها پیش از پیش فراهم خواهد شد. بنابراین، مشخصه‌های اصلی انرژی جهان در قرن حاضر، عمدتاً برپایهٔ صرفه‌جویی در انرژی، کارآیی سیستم‌های عرضه و مصرف انرژی، ایجاد تنوع در حامل‌های انرژی و حتی‌المقدور تکیهٔ کمتر بر منابع فسیلی خواهد بود.

در جمهوری اسلامی ایران نیز توجه به تحولات سیستم انرژی جهان در دهه‌های آینده و ایجاد تنوع در سیستم عرضهٔ انرژی، اهمیت راهبردی دارد. نفت و گاز علاوه بر اینکه تأمین‌کنندهٔ ۹۷ درصد از انرژی اولیهٔ مصرفی کشور بوده و حدود ۹۲ درصد از ظرفیت نصب شدهٔ نیروگاه‌های کشور نیز بر پایهٔ سوخت ناشی از حامل‌های نفتی و گاز هستند، دارای نقش مضاعف در تأمین قسمت اعظم درآمدهای ارزی کشور، درآمدهای بخش دولتی و کمک به فرآیند رشد و توسعهٔ اقتصادی کشور می‌باشد. بنابر این صیانت از این منابع تبهی‌پذیر و بهره‌گیری بهینه از آنها در جهت ارزش افزودهٔ بالاتر از اولویت‌های سیاست‌های کلان کشور است و ایجاد تنوع در سیستم‌های عرضهٔ انرژی کشور و بهره‌گیری از سایر منابع تأمین انرژی و همچنین اعمال مدیریت و ایجاد کارآیی در مصرف انرژی، از ضروریات انرژی در دهه‌های آینده به شمار می‌رود.

هدف از این تحقیق، بررسی رهیافت استفاده از برق هسته‌ای در تأمین قسمتی از نیروی برق مورد نیاز کشور در دهه‌های آتی و بررسی چالش‌های این صنعت در افق آینده است. در طول این تحقیق به سؤالات اصلی ذیل پاسخ داده خواهد شد.

ـ وضعیت استفاده از انرژی هسته‌ای برای تولید برق در جهان صنعتی و کشورهای در حال توسعه چگونه است و جهت‌گیری و مسایل و چالش‌های استفاده از این انرژی در وضعیت حاضر و در آینده کدام است؟

ـ با توجه به تحولات جمعیت و نیروی انسانی، روند توسعهٔ اقتصادی و تحولات تقاضای انرژی برق، وضعیت بهینهٔ استفاده از رهیافت هسته‌ای در سیستم عرضهٔ انرژی کشور چگونه خواهد بود؟

۱ـ وضعیت انرژی هسته‌ای در جهان

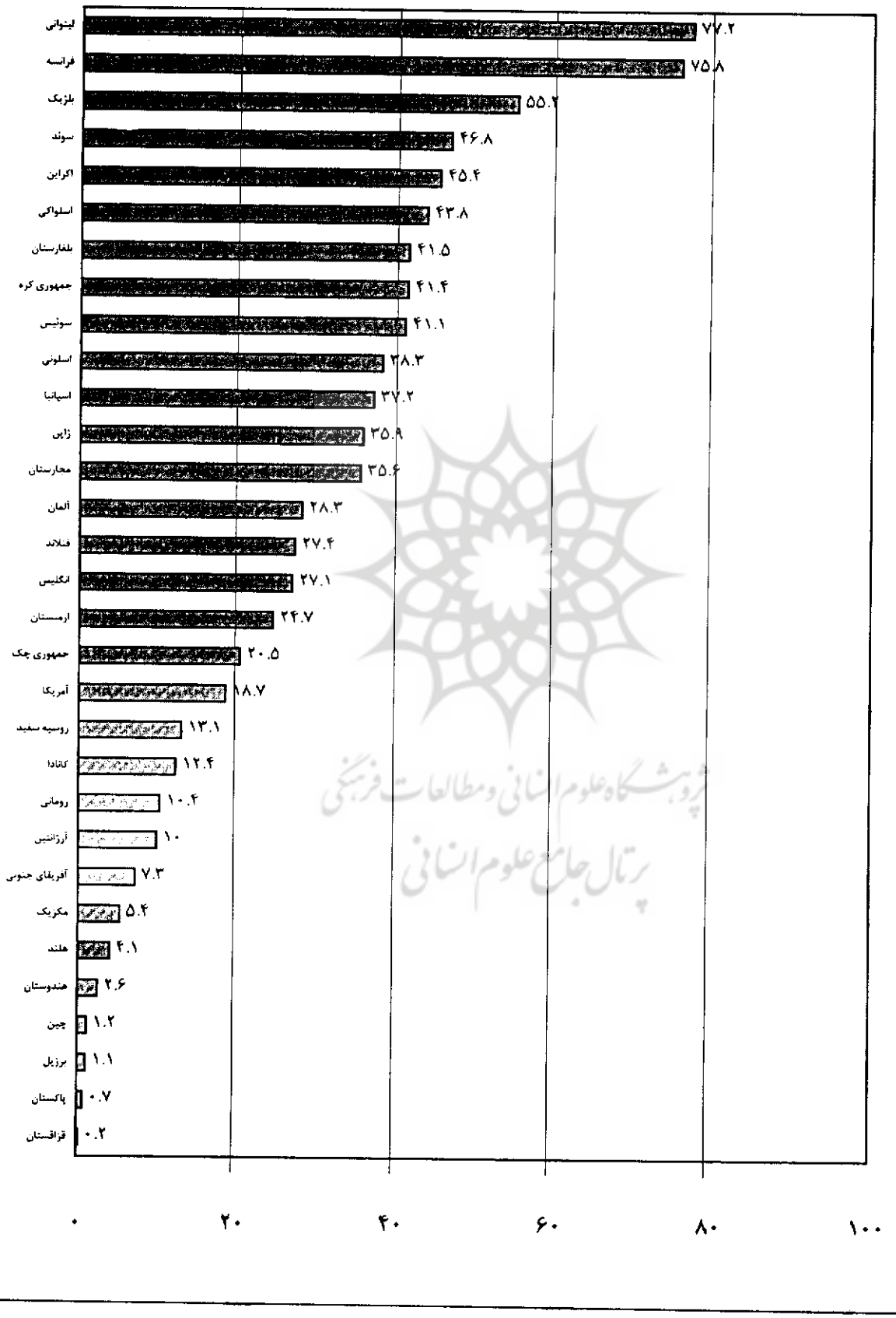
۱ـ۱ـ چالش‌ها و وضعیت موجود

از زمان معرفی اولین نمونه‌های تجربی نیروگاه‌های BWR و PWR که برای نخستین بار توسط شرکت‌های جنرال الکتریک و وستینگهاوس به ترتیب در سال‌های ۱۹۵۹ و ۱۹۶۱ به مرحلهٔ بهره‌برداری رسیدند، بیش از ۴۰ سال نمی‌گذرد. اما در این مدت نسبتاً کم، علی‌رغم بروز چالش‌های سیاسی و دشوازی‌های فنی و اقتصادی مختلف، نیروگاه‌های هسته‌ای توانسته‌اند نقش مهمی در تأمین برق جهانی ایفا نمایند. در پایان سال ۱۹۹۸، جمعاً ۴۳۴ نیروگاه اتمی با ظرفیت ۳۴۸۸۶۴ مگاوات در ۳۱ کشور جهان در دست بهره‌برداری و ۳۶ نیروگاه با ظرفیت ۲۷۵۳۶ مگاوات در دست ساخت بوده است(۱) (جدول ۱). این نیروگاه‌ها توانسته‌اند در سال‌های اخیر بالغ بر ۱۶ درصد از کل برق جهانی را تولید نمایند که تقریباً معادل کل برق آبی جهان بوده است. در حال حاضر در ۱۸ کشور جهان، نیروگاه‌های هسته‌ای تولید ۲۰ تا ۷۷ درصد از کل تولید نیروی برق را به عهده داشته‌اند که عمدهٔ این کشورها در زمرهٔ کشورهای صنعتی یا وابسته به بلوک شرق سابق قرار دارند (نمودار ۱). اما سهم کشورهای در حال توسعه از کل ظرفیت نصب شده و در دست بهره‌برداری همچنان ناچیز است. در سال ۱۹۹۸، ظرفیت نصب شده در ۹ کشور در حال توسعه، شامل آرژانتین، برزیل، مکزیک، آفریقای جنوبی، هندوستان، پاکستان، چین، کرهٔ جنوبی و تایوان جمعاً ۲۵۹۲۱ مگاوات بوده است که حدود ۷/۴ درصد ظرفیت نصب شدهٔ برق اتمی جهان می‌باشد. (نمودار ۲)

از بدو پیدایش نیروگاه‌های هسته‌ای تا زمان حاضر، همواره طرح مسائلی نظیر خطرات این نیروگاه‌ها، رقابت‌پذیری اقتصادی و بالاخره مشکلات دفن پسمان‌های نهایی هسته‌ای بر روند توسعهٔ این صنعت تأثیرگذار بوده است. هرچند با پیشرفت تکنولوژیهای مربوط و براساس تجربیات موفقیت‌آمیز عملی گذشته، دست‌اندرکاران صنعت انرژی هسته‌ای کوشیده‌اند تا به ارایه گزارش‌های مستمر و انتشار صدها کتاب و هزاران مقالهٔ علمی، برای این سؤالات پاسخ‌های اقناع کننده‌ای را ارایه نمایند، اما همچنان توسعهٔ این صنعت پیش از آن که تحت تأثیر پیشرفت‌های تکنولوژیکی یا عوامل اقتصادی مربوط باشد، بیشتر تحت تأثیر عوامل سیاسی و روانی در کشورهای مختلف بوده است.

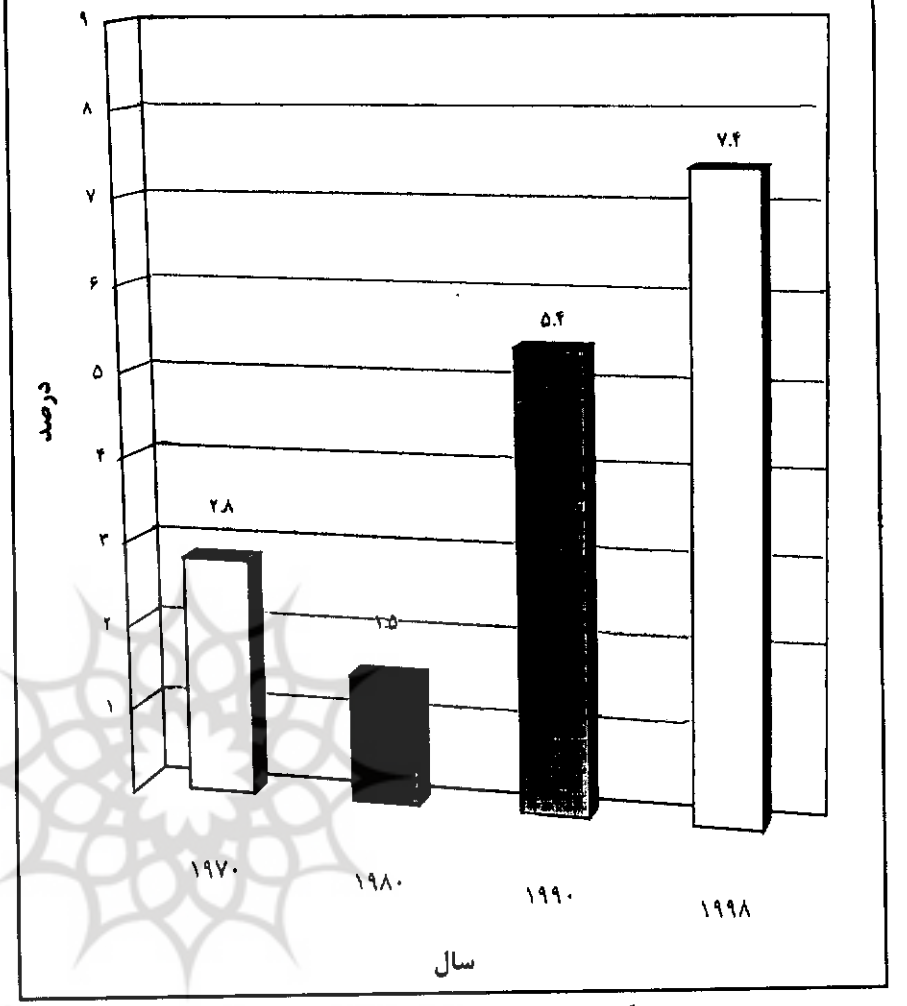
از نظر مقایسهٔ خطرات انسانی و زیست‌محیطی، علی‌رغم وقوع حوادث نادر در صنعت هسته‌ای، نظیر حادثهٔ چرنوبیل در اوکراین و واقعهٔ تری‌مایل آیلند در آمریکا، تجربهٔ انباشته از بیش از ۹۰۰۰ راکتور- (سال از نیروگاه‌های اتمی نشان داده که میزان مخاطرات این نیروگاه‌ها در حد قابل قبولی بوده است و در مقایسه با سایر گزینه‌های تأمین انرژی و یا استفاده از سایر مظاهر تمدن صنعتی حتی کمتر نیز می‌باشد.

نمودار ۱ – درصد سهم انرژی هسته‌ای از کل تولید برق در کشورهای مختلف در سال ۱۹۹۸



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

نمودار ۲- درصد سهم انرژی هسته‌ای از تولید برق در کشورهای در حال توسعه در سال ۱۹۹۸



حوادث اتفاق افتاده در فرآیند بیش از ۹۰۰۰ راکتور-سال بهره‌برداری از نیروگاه‌های هسته‌ای، حتی در استثنایی‌ترین و سخت‌ترین وضعیت نظیر حادثهٔ چرنوبیل که در سال ۱۹۸۶ اتفاق افتاد، از لحاظ ایجاد تلفات انسانی و خسارات مالی، ضایعات کمتری را در مقایسه با استفاده از سایر تکنولوژیها یا حوادث طبیعی به وجود آورده است. در دورهٔ طولانی ۱۹۸۷-۱۹۴۵، میزان تلفات جانی فوری ناشی از پراکندگی مواد و پرتوهای رادیواکتیو برای کلیهٔ تأسیسات هسته‌ای (شامل نیروگاه‌ها و تأسیسات تولید سوخت هسته‌ای)، فقط ۶۱ نفر طی ۱۷ حادثهٔ مهم و نسبتاً مهم بوده است (۲). البته این ارقام که توسط آژانس بین‌المللی انرژی اتمی انتشار یافته است، فقط میزان تلفات فوری حوادث ناشی از پرتوگیری در تأسیسات هسته‌ای را نشان می‌دهد و اثرات تأخیری تشعشعات رادیواکتیو به علت نامشخص بودن و دخالت سایر عوامل متغیر، عنوان نشده است. اما طبق بررسی‌های علمی به عمل آمده، مقایسهٔ اثرات تأخیری ناشی از حوادث اتفاق افتادهٔ هسته‌ای نسبت به آنچه که تبلیغ می‌شده بسیار کمتر بوده است. به عنوان مثال ده سال بعد از حادثهٔ چرنوبیل که به نوبهٔ خود سخت‌ترین و استثنایی‌ترین حادثه در طول حیات صنعت هسته‌ای بود، بر اساس جمع‌بندی گزارش‌ها و بررسی‌های صدها متخصص از مؤسسات تخصصی بین‌المللی، نظیر آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA)، سازمان بهداشت جهانی (WHO)، سازمان خواربار و کشاورزی (FAO) و کمیتهٔ فنی سازمان ملل برای بررسی تشعشعات اتمی (UNSCEAS)، مشخص گردید که اثرات تأخیری تشعشعات این حادثه آن گونه که در تبلیغات به عمل آمده هراس‌آور و منفی اعلام شده بود، نبوده و به مراتب کم‌خطرتر بوده است. در آوریل سال ۱۹۹۵، در کنفرانسی با مشارکت بیش از ۸۰۰ کارشناس از ۷۱ کشور جهان و ۲۰ سازمان بین‌المللی و با حضور بیش از ۲۰۰ خبرنگار که برای جمع‌بندی آثار این حادثه در وین تشکیل شد، بر اساس نتایج مقالات و تحقیقات ارایه شده در این زمینه، اعلام گردید که مجموع تلفات تأخیری احتمالی ناشی از بروز سرطان در میان ۱/۱ میلیون نفر ساکن در مناطق آلوده در طول ۸۵ سال آینده فقط ۳۵۰۰ نفر برآورده شده است که نسبت به تلفات سوانح طبیعی و حوادثی که ناشی از استفاده از سایر تکنولوژیهای صنعتی در زندگی روزمره اتفاق می‌افتد، در حد قابل قبولی می‌باشد (۳). پس از واقعهٔ چرنوبیل و اجرای توصیه‌ها و استانداردهای گروه مشورتی بین‌المللی هسته‌ای (INSAG) که از سال ۱۹۸۸ به بعد مورد قبول کلیهٔ کشورهای دارندهٔ نیروگاه‌های هسته‌ای قرار گرفته است، بهبود طراحی‌ها و کارآیی بهتر سیستم‌های فعال و بالاخره ازدیاد ظرفیت مدارهای سیستم‌های اضطراری برای مقابله با خطرات احتمالی، سبب شده است که احتمال بروز خطر در نیروگاه‌های نسل فعلی از 10^{-4} به یک واقعهٔ سخت در 10^{5} سال-راکتور کاهش یابد. توسعهٔ تکنولوژی برای نیروگاه‌های ذاتاً ایمن نیز به گونه‌ای است که در طراحی نیروگاه‌های جدید احتمال بروز خطر، ۱۰۰۰ برابر کمتر از نیروگاه‌های نسل فعلی باشد (۴). بیان این مطالب به مفهوم بی‌خطر بودن استفاده از انرژی هسته‌ای در تولید برق نیست، بلکه نکتهٔ مهم و قابل تعمق در مورد مخاطرات بهره‌برداری از نیروگاه‌های هسته‌ای، مقایسهٔ نسبی این مخاطره با مخاطرات ناشی از استفاده از سایر گزینه‌های تأمین انرژی می‌باشد. استفاده از هر کدام از منابع انرژی توأم با قبول مخاطرات احتمالی است. انفجار در نیروگاه‌های زغال‌سنگ، شکستن سدها، انفجار محموله‌های گاز مایع، اثرات گازهای آلایندهٔ محیط‌زیست ناشی از نیروگاه‌های فسیلی، هر کدام به نوبهٔ خود مخاطراتی دربر دارد. نتایج کلیهٔ مطالعاتی که در مورد مقایسهٔ خطرات احتمالی در سیستم‌های مختلف تأمین برق در آمریکا و کشورهای اروپای غربی انجام شده است، نشان می‌دهد که میزان تلفات احتمالی در نیروگاه‌های هسته‌ای به ازای هر گیگاوات انرژی تولیدی در سال نسبت به سایر گزینه‌های تأمین برق به مراتب کمتر بوده و بروز فقط یک حادثهٔ سخت در بیش از ۹۰۰۰ سال-راکتور تجربهٔ انباشتهٔ استفاده از نیروگاه‌های هسته‌ای نیز شاهد این مدعاست.

در زمینهٔ اقتصاد نیروگاه‌های هسته‌ای، شایان

ذکر است که هزینهٔ تمام شدهٔ برق در سیستم‌های مختلف تولید نیرو، یکی از مهمترین عوامل تصمیم‌گیری برای توسعهٔ منابع عرضه در برنامه‌ریزی انرژی الکتریکی می‌باشد. دلیل اصلی رشد سریع نیروگاه‌های اتمی در دهه‌های ۷۰ تا ۸۰ میلادی در کشورهای صنعتی و تازه صنعتی شده نیز، عمدتاً بر پایهٔ محاسبات اقتصادی، ایجاد تنوع در سیستم تولید نیرو و رهایی نسبی از واردات انرژی فسیلی قرار داشته است. در دهه‌های گذشته، نیروگاه‌های هسته‌ای در اغلب کشورها توانسته‌اند با عملکرد اقتصادی مناسب از هر لحاظ با نیروگاه‌های فسیلی قابل رقابت باشند. هزینهٔ سرمایه‌گذاری اولیه در نیروگاه‌های هسته‌ای حدود ۲ تا ۳ برابر نیروگاه‌های فسیلی است، اما هزینه‌های نسبتاً پایین و با ثبات چرخهٔ سوخت هسته‌ای که در حدود $\frac{1}{3}$ تا $\frac{1}{4}$ هزینه‌های سوخت فسیلی در طول عمر مفید نیروگاه است، عامل کلیدی و اصلی در رقابت قیمت تمام شدهٔ برق اتمی در مقایسه با نیروگاه‌های فسیلی به شمار می‌رود (جدول ۲). به طور خلاصه، اقتصاد نیروگاه‌های هسته‌ای تحت تأثیر ۳ عامل اصلی، الف- نرخ تنزل دوران ساخت تا زمان بهره‌برداری، ب- هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه، پ- عملکرد نیروگاه با ضریب بهره‌برداری بالا می‌باشد. مطالعات انجام شده که در اغلب کشورهای صنعتی حتی در دههٔ ۹۰ که جهان با نوسانات شدید قیمت سوخت‌های فسیلی روبرو بود، نشان می‌دهد که علی‌رغم افزایش سرمایه‌گذاری اولیه که عمدتاً ناشی از تدابیر اضافی برای انطباق با مقررات ایمنی جدید بوده است، در نتیجهٔ دقت در عوامل مزبور و اتمام عملیات اکثر نیروگاه‌ها طبق برنامه زمان‌بندی شده و بهبود عملکرد و ضریب آمادگی این نیروگاه‌ها، هزینهٔ تمام شدهٔ برق اتمی کاملاً قابل رقابت با قیمت حاصله از نیروگاه‌های فسیلی بوده و یا نسبت به سایر گزینه‌های تأمین برق حداقل فاصله را با برق فسیلی داشته است. نتایج این مطالعات حاکی از این است که در اغلب کشورهای صنعتی با احتساب نرخ تنزل ۵ درصد، نیروگاه‌های هسته‌ای نسبت به نیروگاه‌های فسیلی دارای مزیت اقتصادی بوده و با نرخ تنزیل ۱۰ درصد نیز در بعضی از کشورها همچنان رقابت‌پذیری اقتصادی این نیروگاه‌ها حفظ شده است (۵). اما در کشورها در حال توسعه، مشکلات تأمین سرمایهٔ اولیه، مسایل اجرایی و مدیریتی و کمبود امکانات زیربنایی و بالاخره فشارهای سیاسی سبب شده است که

مشخصه‌های اصلی انرژی جهان در قرن حاضر، صرفه‌جویی در انرژی و کارآیی سیستم‌های عرضه و مصرف انرژی، تنوع در حامل‌های انرژی و تکیهٔ کمتر بر منابع فسیلی خواهد بود

بعضی از طرح‌های هسته‌ای این کشورها بسیار فراتر از برنامهٔ زمان‌بندی اولیه به طول انجامد و در نتیجه، قیمت برق هسته‌ای نسبت به سایر گزینه‌های فسیلی بالاتر باشد. مثلاً در کشورهای مکزیک، آرژانتین و برزیل به علت طولانی شدن مدت ساخت نیروگاه‌های هسته‌ای، قیمت تمام شدهٔ واحد برق هسته‌ای نسبت به سایر گزینه‌های تولید برق بالاتر رفته و از صرفه‌های اقتصادی آن کاسته است. بالعکس، در کشورهایی نظیر کرهٔ جنوبی، هند و چین که عمدتاً با تکیه بر منابع داخلی از نظر سرمایه‌گذاری و نیروهای تخصصی و برنامه‌ریزی صحیح و سنجیده اقدام به احداث نیروگاه‌های هسته‌ای نموده‌اند، با کاهش زمان اجرای پروژه‌های نیروگاهی و سهم بالای مشارکت داخلی و استاندارد کردن طراحی‌ها توانسته‌اند که قیمت برق تولیدی در نیروگاه‌های هسته‌ای خود را به سطحی کاملاً اقتصادی و قابل مقایسه با سایر گزینه‌های تأمین نیرو برسانند.

در زمینهٔ دفن نهایی پسمان‌های هسته‌ای با اکتیویتهٔ بالا که عمدتاً شامل مجتمع‌های سوخت تشعشع دیده و مواد زاید ناشی از فرایند جداسازی پلوتونیوم هستند، هنوز راه‌حل قاطعی پیدا نشده و پژوهش‌های انجام شده برای کم کردن عمر این پسمان‌ها بی‌نتیجه بوده است. پسمان‌های با اکتیویتهٔ بالا فقط ۳ درصد از حجم کل پسمان‌ها را در فرآیند چرخهٔ سوخت هسته‌ای تشکیل می‌دهند و در حال حاضر مجموع پسمان‌هایی از این نوع که از بهره‌برداری از کل نیروگاه‌ها و تأسیسات هسته‌ای سراسر جهان تولید می‌شود، کمتر از ۱۲۰۰۰ تن در سال می‌باشد که این مقدار در مقایسه با میلیاردها تن گازهای گلخانه‌ای و هزاران تن مواد سمی که از سیستم‌های فسیلی سالانه در محیط‌زیست انتشار می‌یابد، بسیار ناچیز است (۶). البته کم بودن حجم زباله‌های هسته‌ای برای دفع نهایی آنها از نظر فنی، عامل مفیدی به حساب می‌آید. در یک نیروگاه معمولی، سالانه حدود ۳۰ تن سوخت تشعشع دیده به صورت پسمان به وجود می‌آید که در صورت باز فراورش این سوخت، حجم پسمان نهایی در حدود ۱۰ متر مکعب خواهد بود. در تکنولوژی موجود، سوخت‌های تشعشع دیده تا مرحلهٔ فرارسیدن عمر مفید نیروگاه برای کاهش حرارت و خنک شدن و همچنین از دست دادن مواد رادیواکتیو که دارای نیمهٔ عمر کوتاه و متوسط هستند در استخرهای مخصوصی تحت کنترل قرار می‌گیرند و در مرحلهٔ دفن نهایی باید بعد از جداسازی بعضی از عناصر، کل پسمان‌های باقیمانده با پودر شیشه مخلوط شده و به صورت غلاف‌های جامد درآمده و سپس در محفظه‌های فلزی که از آلیاژ مخصوص ضد زنگ و خوردگی درست شده‌اند، قرار گیرند و در نهایت در سیلوهایی که از بتن مسلح و در عمق زمین احداث شده‌اند، جای داده شوند. در بعضی از کشورها نیز پیشنهاد شده است که از معادن متروکهٔ نمک برای انبار کردن این دسته از پسمان‌ها استفاده شود. تاکنون در مورد پسمان‌های هسته‌ای موجود، حادثهٔ مهمی که منجر به ایجاد خطر برای افراد یا محیط‌زیست گردد، گزارشی دریافت نشده و در مورد دفن نهایی آنها نیز در هیچ کشوری مجوز مربوط داده نشده است. اما با تکنولوژی موجود می‌توان پسمان‌های با اکتیویتهٔ بالا را در سطح مطلوبی از ایمنی، حفاظت، کنترل و نگهداری نمود. این واقعیت را هم باید پذیرفت که در کشورهای غربی، علی‌رغم آنکه مردم از مزایای تکنولوژی هسته‌ای استفاده می‌کنند، ولی اغلب افراد با ایجاد محل نگهداری دایمی پسمان‌های هسته‌ای در نزدیکی محل سکونت خود مخالفند. بنابراین، مسئله دفع نهایی پسمان‌های هسته‌ای بیش از آنکه یک مشکل مربوط به تکنولوژی باشد، بیشتر معلول یک معضل روانی سیاسی و

مقابله با افکار عمومی است و تا زمانی که راه‌حل‌های مطلوب‌تر و مطمئن‌تری برای کاهش هراس عمومی در مورد نگهداری زباله‌های اتمی پیدا نشود، این مسئله همچنان بر توسعهٔ صنعت نیروگاه‌های اتمی تأثیرگذار خواهد بود.

۲ـ۱ـ آیندهٔ نیروگاه‌های هسته‌ای

پیش‌بینی توسعهٔ صنعت هسته‌ای که تاریخ ۴۰ سالهٔ تحول آن به شدت با مسائل سیاسی آمیخته بوده، بسیار دشوار است و این صنعت علی‌رغم موفقیت‌های حاصله در بالا بردن ایمنی و عملکرد فنی و اقتصادی نیروگاه‌های هسته‌ای، هنوز تثبیت نشده است و همچنان برای ادامهٔ بقای خود و رقابت با سایر تکنولوژیهای جایگزین در حال تلاش و تحول می‌باشد.

طرفداران انرژی هسته‌ای برپایهٔ حقایقی نظیر، وضعیت تقاضای فزایندهٔ انرژی و تهی شدن منابع فسیلی در دهه‌های آینده، مزیت‌های زیست‌محیطی انرژی اتمی و مضرات کمتر چرخهٔ سوخت هسته‌ای نسبت به سایر گزینه‌های سوخت و همچنین آمار عملکرد اقتصادی و ضریب بالای ایمنی نیروگاه‌های اتمی و پیشرفت‌های حاصله در زمینهٔ توسعهٔ تکنولوژی نیروگاه‌های ذاتاً ایمن و نیروگاه‌های زاینده در نیمهٔ اول قرن و بالاخره مهار انرژی گداخت در سال‌های ۲۰۵۰ به بعد، بر این باورند که تکنولوژی هسته‌ای تنها بدیل مطمئن عرضهٔ انرژی در قرن حاضر خواهد بود. در مقابل، تشکل‌های سیاسی و گروه‌های سبز در بعضی از کشورها سعی کرده‌اند که از این صنعت چهرهٔ نامطلوبی ارایه دهند و با بزرگنمایی خطرات احتمالی نیروگاه‌ها و تأسیسات هسته‌ای و به خصوص مسئله دفن پسمان‌های سوخت توانسته‌اند در سفارش نیروگاه‌های جدید تأثیر بگذارند.

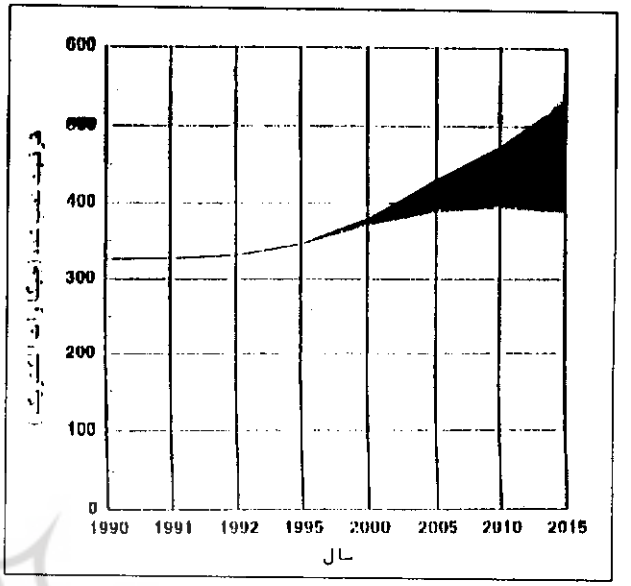
در طول دههٔ گذشته، برنامه‌های توسعهٔ نیروگاه‌های هسته‌ای در اغلب کشورهای غربی نظیر سوئد، آلمان، سویس، انگلستان، بلژیک و آمریکا به دلیل فشارهای سیاسی، کاهش روند مصرف برق، نازل بودن قیمت سوخت‌های فسیلی و بهبود تکنولوژی و بازده نیروگاه‌های فسیلی، متوقف شده یا به حالت تعلیق درآمده است. در کشورهای در حال توسعه نیز علی‌رغم رشد شدید و فزایندهٔ تقاضای برق، مهمترین عوامل مربوط به عدم توسعهٔ نیروگاه‌های هسته‌ای را می‌توان در مخالفت‌های سیاسی کشورهای عرضه‌کنندهٔ تکنولوژی،عدم اماکن

از بدو پیدایش نیروگاه‌های هسته‌ای، همواره مسایلی نظیر خطرات این نیروگاه‌ها، رقابت‌پذیری اقتصادی و مشکلات فنی پسمان‌های هسته‌ای بر روند توسعهٔ این صنعت تأثیرگذار بوده است

تأمین سرمایه‌گذاری زیاد اولیه، و وضعیت زیربناهای تخصصی و فنی در این کشورها خلاصه نمود. ارتباط فرضی میان استفاده‌های صلح‌آمیز از انرژی اتمی و عملیات تکثیر سلاحهای اتمی باعث آن شده است تا بسیاری از سیاستمداران کشورهای عرضه کنندهٔ تکنولوژی، نسبت به کشورهای متقاضی با تردید بنگرند و این مسئله سبب شده است که صدور مجوزهای صادراتی برای فروش نیروگاه‌های اتمی با محدودیت‌های شدیدی توأم باشد. به علاوه، کمبود سرمایه، عدم تمایل مؤسسات اعتباری بین‌المللی و بانک‌های صادراتی به تأمین مالی طرح‌های ساخت نیروگاه‌های اتمی و همچنین ضعف زیربناهای صنعتی و نیروی انسانی متخصص سبب شده است که استفاده از نیروگاه‌های اتمی در بسیاری از کشورهای در حال توسعه که بیشترین تقاضا را برای توسعهٔ صنعت برق دارند، امری مشکل و دور از دسترس باشد. اما طی سال‌های اخیر با آشکار شدن واقعیت‌های ملموس در مورد محدودیت منابع موجود سوخت‌های فسیلی و روند مصرف نفت و گاز و تمام شدن این منابع اولیه در طول ۴۰ تا ۵۰ سال آینده و مضرات و مشکلات زیست‌محیطی استفاده از زغال‌سنگ، جدی شدن مسایل زیست‌محیطی و گسترش خطرات پدیدهٔ گلخانه‌ای ناشی از احتراق منابع فسیلی، وضع مالیات کربن و گاز نیتروژن در بسیاری از کشورهای صنعتی و تصویب مقررات شدید برای نصب تجهیزات و وسایل مربوط به تصفیهٔ گازهای مضر آلاینده در نیروگاه‌های فسیلی، محدودیت منابع انرژی‌های نو در عرضهٔ وسیع و مطمئن انرژی، پیشرفت‌های حاصله در زمینهٔ تکنولوژیهای پسمانداری، موفقیت‌های حاصله در بهبود طراحی‌ها و بالا بردن حاشیهٔ ایمنی نیروگاه‌های هسته‌ای و همچنین پیشرفت‌های حاصله در زمینهٔ ارتقای تکنولوژی نیروگاه‌های زاینده، افقهای جدیدی را برای گسترش استفاده از نیروگاه‌های هسته‌ای گشوده است.

در گزارش‌های شورای جهانی انرژی (WEC) و همچنین دستاوردهای همایش جهانی انرژی که در شهر هوستون ایالات متحدهٔ آمریکا در تابستان ۱۹۹۹ برگزار گردید، به الزام‌ناپذیر بودن استفاده از رهیافت هسته‌ای برای تأمین تقاضای فزایندهٔ برق جهانی و مقابله با انتشار کربن و گازهای آلاینده در محیط‌زیست تأکید شده است. مشاوران رئیس جمهوری آمریکا، خواستار افزایش قابل ملاحظه در بودجهٔ تحقیقات انرژی با تأکید خاص بر روی توسعهٔ تکنولوژیهای منابع انرژی‌های غیر فسیلی شامل انرژی هسته‌ای گردیده‌اند و طی سال‌های اخیر نیز قسمت اعظم بودجه‌های تحقیقاتی کشورهای عضو سازمان همکاری‌های اقتصادی (OECD) در بخش انرژی صرف ارتقا و توسعهٔ فن‌آوری‌های مربوط به انرژی هسته‌ای شده است. در سپتامبر ۱۹۹۹ در کنفرانس سالانهٔ آژانس بین‌المللی انرژی اتمی آقای جان ریچ سفیر آمریکا در آژانس اعلام نمود که تأمین توسعهٔ پایدار و امنیت انرژی در کشورهای متبوعش در طول قرن بیست و یکم در گرو استفادهٔ بیشتر از انرژی هسته‌ای است. او پیش‌بینی نمود که در دهه‌های آینده، سیاستمداران و تصمیم‌گیران در دمکراسی‌های غربی برای مقابله و محدود نمودن انتشار گازهای آلایندهٔ ناشی از کاربرد سوخت‌های فسیلی، چاره‌ای جز انتخاب رویکرد هسته‌ای برای تأمین تقاضای انرژی نخواهند داشت (۷). پیش‌بینی‌های به عمل آمده توسط سازمان‌های تخصصی بین‌المللی نیز حاکی از این است که سهم انرژی هسته‌ای در کل تولید برق جهانی در طول دو دههٔ آینده با کمی کاهش تقریباً در سطح فعلی حفظ خواهد شد. اما پس از آن با کاهش منابع نفت و گاز جهانی و افزایش قیمت این حامل‌ها همراه با تجاری شدن

نمودار ۳
پیش‌بینی وضعیت آیندهٔ نیروگاههای اتمی
توسط آژانس بین‌المللی انرژی اتمی
در دو سناریوی رشد پایین و بالا تا سال ۲۰۱۵ میلادی



راکتورهای زاینده، انرژی هسته‌ای نقشی اساسی در تأمین برق کشورهای صنعتی قبل از نیمهٔ اول قرن حاضر ایفا خواهد کرد.

در این راستا، شورای جهانی انرژی وضعیت عرضهٔ انرژی در جهان را تا سال ۲۰۲۰ برحسب سوخت‌های مختلف در ۴ حالت مختلف پیش‌بینی نموده است (جدول ۳). براساس این پیش‌بینی، میزان عرضهٔ انرژی هسته‌ای نسبت به سطح سال ۱۹۹۰ نزدیک به دو برابر افزایش خواهد یافت و سالانه از حدود ۴ درصد گیگا تن معادل نفت به ۰/۷ تا ۱ گیگا تن معادل نفت خواهد رسید. تحقق این امر، منوط به رقابت‌پذیری اقتصادی نیروگاههای هسته‌ای، توسعهٔ راکتورهای ایمن‌تر، اجرای تعهدات بین‌المللی برای کاهش انتشار گازهای آلاینده و افزایش مقبولیت اجتماعی انرژی هسته‌ای و تصمیماتی است که سیاستمداران کشورهای مهم صنعتی در زمینهٔ تدارک برق هسته‌ای در آینده اتخاذ خواهند کرد.

آژانس بین‌المللی انرژی هسته‌ای نیز، وضعیت نیروگاههای هسته‌ای را تا سال ۲۰۱۵ در دو حالت رشد پایین و رشد بالا برآورد کرده است. پیش‌بینی‌های این آژانس صرفاً بر اساس برنامه‌های اعلام شدهٔ کشورهای عضو برای ساخت نیروگاههای اتمی صورت گرفته است. در حالت رشد پایین، پیش فرض اصلی این است که رکود هسته‌ای فعلی به دلیل مخالفت‌های موجود در کشورهای عضو سازمان همکاری‌های اقتصادی ادامه یابد و در مشکلات اقتصادی کشورهای وابسته به بلوک شرق سابق بهبودی حاصل نشود و همچنین مسایل سیاسی، اقتصادی و مالی فعلی در مورد فروش این نیروگاهها به کشورهای در حال توسعه همچنان به قوت خود باقی بماند. در این حالت تنها نیروگاههای در دست ساخت فعلی تکمیل خواهند شد و فقط کشورهایی نظیر فرانسه، کرهٔ جنوبی، هند، چین، ژاپن و پاکستان و معدودی از کشورهای جهان سوم مانند ترکیه نسبت به سفارش نیروگاههای جدید طی این دوره اقدام خواهند کرد. طبق سناریوی رشد کم، تا سال ۲۰۱۵ مجموعاً ظرفیت نصب شدهٔ اتمی به حدود ۳۹۰ هزار مگاوات خواهد رسید و سهم آن از کل برق جهانی از ۱۶ درصد فعلی به ۱۲ درصد کاهش خواهد یافت. سناریوی رشد بالا در صورتی تحقق خواهد یافت که در تصمیم‌گیری‌های انرژی، همهٔ مضار و منافع مربوط به هر سیستم تولید برق از لحاظ اقتصادی و زیست‌محیطی درنظر گرفته شود. در این پیش‌بینی، قسمت عمدهٔ رشد برق هسته‌ای در اروپای غربی برای کاهش مضرات زیست‌محیطی ناشی از کاربرد سوخت‌های فسیلی و در خاور دور، چین و هند برای تأمین تقاضای فزایندهٔ برق اتفاق خواهد افتاد. در اروپای مرکزی و شرقی نیز رشد نیروگاههای هسته‌ای منوط به فایق آمدن به مشکلات فعلی اقتصادی و تأمین سرمایه‌های لازم برای احداث نیروگاههای جدید خواهد بود. در صورت تحقق این پیش‌فرض‌ها، سهم نیروگاههای هسته‌ای به حدود ۱۵ درصد کل مصرف برق جهانی و مجموع ظرفیت نصب شدهٔ اتمی به حدود ۵۴۰ هزار مگاوات خواهد رسید (۸) (نمودار ۳). شایان ذکر است که برنامه‌ریزی اعلام شده فقط در دو کشور چین و هند، حاکی از افزایش ظرفیت هسته‌ای این کشورها به حدود ۲۰۰۰۰ مگاوات تا سال ۲۰۳۰ در هند و بین ۴۰۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰ مگاوات تا سال ۲۰۲۰ در چین می‌باشد.

در برآوردهای دراز مدت تقاضای انرژی با توجه به جدی شدن خطرات زیست‌محیطی ناشی از کاربرد سوخت‌های فسیلی، نهی شدن منابع نفت و گاز، تجاری شدن نیروگاههای زاینده تا سال ۲۰۳۰ و مهار شدن انرژی گداخت تا سال ۲۰۵۰، دورنمای کاملاً متفاوتی توسط سازمان‌های معتبر جهانی برای انرژی اتمی تصویر شده است. در این پیش‌بینی که با همکاری مشترک آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA) و آژانس انرژی اتمی (NEA) و همچنین میزگرد بین دولت‌ها برای تغییرات آب و هوا (IPCC) تا سال ۲۱۰۰ صورت گرفته است، ظرفیت نیروگاههای هسته‌ای در قرن بیست و یکم جهش چشم‌گیری پیدا خواهد کرد. در این پیش‌بینی، ظرفیت نیروگاههای هسته‌ای به منظور مقابله با انتشار گازهای گلخانه‌ای و اجرای تعهدات بین‌المللی در این زمینه تا سال ۲۰۲۵ بالغ بر دو برابر، تا سال ۲۰۵۰ بالغ بر ۴ برابر، تا سال ۲۰۷۵ نزدیک به ۷ برابر و تا سال ۲۱۰۰ حدود ۱۰ برابر ظرفیت فعلی افزایش خواهد یافت و سهم این نیروگاهها در کل نیروی برق جهانی از ۱۶ درصد فعلی در سال ۲۰۲۵ به ۲۳ درصد، در سال ۲۰۵۰ به ۳۰ درصد، در سال ۲۰۷۵ به ۳۸ درصد و در سال ۲۱۰۰ به ۴۶ درصد خواهد رسید(۹).

بنابراین، بر اساس کلیهٔ پیش‌بینی‌های انجام شده در مورد رشد نیروگاههای هسته‌ای، این نکته مشخص است که در میان مدت تا دهه‌های اول قرن بیست و یکم به علت مشکلات سیاسی و فنی موجود در مورد صنعت هسته‌ای، رکود فعلی ادامه خواهد یافت و سهم نیروگاههای هسته‌ای در کل تولید برق جهانی تا حدود نسبت به میزان فعلی کاهش خواهد یافت. اما در پیش‌بینی‌های درازمدت به دلیل عدم قطعیت‌هایی که در مورد قابلیت‌های تولید در سیستم‌های فعلی تولید برق وجود دارد و با توجه به محدودیت‌های تکنیکی انرژی‌های تجدیدپذیر در تأمین تقاضای فزایندهٔ جهانی نسبت به انرژی برق، از نظر متخصصان تنها چارهٔ مطمئن و سالم و پایدار برای تأمین برق و کاهش گازهای مضر گلخانه‌ای در توسعهٔ تکنولوژی هسته‌ای و تداوم تحقیق و توسعه در زمینهٔ راکتورهای ایمن و پیشرفته، توسعهٔ تکنولوژی چرخهٔ سوخت، بهبود روشهای پسمانداری، افزایش ظرفیت در نسل فعلی و آتی نیروگاههای شکافت و نیروگاههای زایندهٔ آینده و بالاخره بهره‌برداری از نیروگاههای آتی گداخت تشخیص

داده شده است.

۲ـ وضعیت انرژی هسته‌ای در جمهوری اسلامی ایران

۲-۱- سابقه

تردیدی نیست که مقولهٔ استفاده از انرژی هسته‌ای در جهان یک مقولهٔ راهبردی (استراتژیک) است. در ایران نیز نمی‌توان نگاه به تأمین قسمتی از انرژی الکتریکی مورد نیاز کشور توسط نیروگاه‌های هسته‌ای را صرفاً به نگرش اقتصادی محدود کرد. بلکه همچون کشورهای دیگران باید مزایای ناشی از ایجاد تنوع در سیستم عرضهٔ برق یا بهبود کیفیت محصولات صنعتی از طریق افزایش مشارکت داخلی در ساخت سازه‌ها و بعضی از قطعات و تجهیزات نیروگاهی، صیانت از منابع تهی شوندهٔ نفت و گاز و استفادهٔ اقتصادی بهتر از این منابع و بالاخره اثرات مربوط به ارتقای تکنولوژیهای مربوط به صنعت هسته‌ای را به عنوان اجزای این سیاست راهبردی به حساب آورد. این نگرش راهبردی، لزوماً یک رویکرد غیر اقتصادی یا معیار با اصول و معیارهای اقتصادی نیست، بلکه منابع بخش انرژی کشور را در یک دورهٔ بلندمدت مورد ملاحظه قرار داده و بهینگی اقتصادی کوتاه مدت بخش را به نفع بهینگی بلند مدت تعیین می‌کند.

متأسفانه به دلیل فقدان این نگرش، وضعیت استفاده از انرژی اتمی در ایران طی ۲۵ سال گذشته همواره با فراز و نشیب و نوسانات زیادی توأم بوده و در این مدت بیش از آنکه حتی یک وات نیرو از اولین نیروگاه هسته‌ای کشور تولید شود، انرژی معتنابهی در مقوله‌های سیاسی و اجتماعی و اجرایی این مبحث صرف شده است.

در سال ۱۳۵۳، سازمان انرژی اتمی ایران با هدف تولید ۲۳۰۰۰ مگاوات برق هسته‌ای آن هم فقط در طول ۱۵ سال به وجود آمد. این هدف جاه‌طلبانه و غیرمنطقی در حالتی تعیین شد که مجموع قدرت نصب شدهٔ کشور از نیروگاه‌های مختلف اعم از حرارتی و آبی از ۵۰۰۰ مگاوات فراتر نمی‌رفت و طبعاً این هدف بدون توجه به زمینه‌های زیربنایی، نیروی انسانی مورد نیاز، منابع ارزی و مالی، قدرت تکنولوژیکی و امکانات صنعتی کشور و برنامه‌ریزی‌های لازم برای بهینه نمودن منابع عرضهٔ انرژی الکتریکی و مشخص کردن سهم

میزان تلفات احتمالی در نیروگاه‌های هسته‌ای به ازای هر گیگاوات انرژی تولیدی در سال نسبت به سایر گزینه‌های تأمین برق به مراتب کمتر بوده است

انرژی هسته‌ای از لحاظ راهبردی، فنی و اقتصادی تعیین شده است. پس از پیروزی انقلاب اسلامی با یک گردش ۱۸۰ درجه‌ای و با شتاب‌زدگی کلیهٔ قراردادهای اصلی در دست اجرا، شامل ۴ واحد نیروگاهی در دست ساخت در بوشهر و دارخوین مجموعاً به قدرت ۴۲۰۰ مگاوات و قراردادهای جنبی مربوط به آنها لغو یا معلق گردید و ضرورت استفاده از نیروگاه‌های هسته‌ای برای تولید برق زیر سؤال رفت.

از سال ۱۳۶۱ به بعد، به تدریج جو منفی داخلی در مورد فعالیت‌های هسته‌ای کشور تعدیل و نگرش به صنعت هسته‌ای با واقع‌بینی همراه شد و طبق دستور نخست‌وزیر وقت مقرر گردید به منظور استفاده از سرمایه‌گذاری‌های گذشته، واحد اول نیروگاه‌های اتمی بوشهر تکمیل گردد. اما اوج‌گیری جنگ تحمیلی و اولویت بسیج کلیهٔ امکانات کشور در راه دفاع از میهن اسلامی و بمباران‌های مکرر نیروگاه بوشهر باعث شد که تا شروع برنامهٔ اول عمرانی، عملاً تکمیل این طرح به علت مضیقه‌های اعتباری و ارزی همراه با کارشکنی‌های پیمانکار اولیه در مورد ادامهٔ قرارداد، همچنان متوقف باقی بماند. در برنامهٔ اول عمرانی کشور در خط‌مشی‌های اساسی این برنامه در فصل برق، سیاست استفاده از نیروگاه‌های اتمی برای ایجاد تنوع در سیستم عرضهٔ انرژی الکتریکی مورد تصویب قرار گرفت، اما اعتبارات لازم برای اجرای عملیات تکمیل نیروگاه بوشهر در طول برنامه تأمین نگردید. از سوی دیگر، شرکت کی‌دبلیو‌یو، پیمانکار اولیهٔ طرح که در زمان جنگ تحمیلی به بهانهٔ ادامهٔ جنگ از ادامهٔ کار طفره رفته بود، نهایتاً در پایان جنگ با عنوان کردن مخالفت دولت آلمان در مورد صدور مجوزهای لازم، انصراف خود را در مورد قرارداد تکمیل نیروگاه بوشهر اعلام نمود. اقدامات بعدی سازمان انرژی اتمی نیز برای جلب موافقت پیمانکاران اسپانیایی و آرژانتینی جهت انجام عملیات تکمیل به دلیل مخالفت دولت آلمان در مورد تحویل سند و مدارک و قطعات لازم عقیم ماند. در نهایت به ناچار جایگزین کردن پیمانکار و قطعات روسی به جای آلمانی محور کار قرار گرفت که قراردادها و الحاقیه‌های مربوط در طول برنامهٔ دوم عمرانی منعقد شد و عملاً از سال ۱۳۷۶ به صورت جدی در دست پیگیری و انجام است و تا پایان سال ۱۳۷۸ میزان پیشرفت فیزیکی این طرح بالغ بر ۳۰ درصد بوده است. بنابراین، ملاحظه می‌شود که پس از سال‌ها تلاش و صرف میلیاردها دلار در دوران قبل از پیروزی انقلاب برای استفاده از نیروگاه‌های اتمی به دلایل متعدد نظیر برنامهٔ غلط اولیه، تنش‌های سال‌های اولیهٔ انقلاب، مشکلات سال‌های جنگ، عدم انسجام و استمرار سیاست‌های مربوط، مخالفت و کارشکنی‌های دول غربی، مضیقه‌های اعتباری و ارزی و... هنوز دولت جمهوری اسلامی ایران نتوانسته است اولین نیروگاه هسته‌ای خود را به مرحلهٔ بهره‌برداری برساند. طولانی شدن این طرح با توجه به مشکلات گذشته و موجود به هیچ‌وجه از ضرورت تکمیل آن نمی‌کاهد. اصولاً انتقال تکنولوژی هسته‌ای و فروش نیروگاه‌های اتمی به کشورهای جهان سوم به خصوص طی دو دههٔ اخیر در حوزهٔ ممنوعهٔ صدور تکنولوژی قرار گرفته است. طبعاً در این راستا، وقتی متقاضی و مدعی آن دولت جمهوری اسلامی ایران باشد با توجه به کارشکنی‌های دول غربی که در سال‌های گذشته به کرات در جنبه‌های مختلف توسعهٔ اقتصادی و اجتماعی کشورمان تجربه شده است، مشکلات اجرای طرح‌های هسته‌ای به مراتب پیچیده‌تر خواهد بود. مروری بر تجربهٔ کشورهای آرژانتین، مکزیک و برزیل در مورد احداث نخستین نیروگاه‌های اتمی نشان می‌دهد با آن که این کشورها هیچ کدام تنش‌های انقلابی،

مشکلات جنگ و بمباران‌های مکرر را در مورد نیروگاه‌های خود نداشته‌اند، با این وجود به دلیل مشکلات مالی و کارشکنی‌های متعدد از سوی پیمانکاران مربوط، دوران احداث اولین نیروگاه‌های این کشورها بین ۱۴ تا ۲۰ سال در نوسان بوده است. اما مسئولان سیاسی و سازمان‌های هسته‌ای این کشورها با اعتقاد به اهمیت و ضرورت کار توانسته‌اند با شکیبایی این مسایل و دشواری‌ها را مرتفع نموده و با ورود به باشگاه کشورهای دارندگان نیروگاه‌های اتمی، از ثمرات تکنولوژیکی و اقتصادی آن بهره‌مند شوند و راه را برای احداث نیروگاه‌های اتمی مورد نیاز خود در آینده همواره نمایند. بنابراین مهم این است که از میان انبوهی از معضلات و مشکلات گذشته و موجود با اتخاذ راه‌حل‌های مناسب بتوان از سرمایه‌گذاری‌های کلان انجام شده در دوران قبل از انقلاب به نحو بهینه استفاده نمود و جمهوری اسلامی ایران پس از سال‌ها تلاش بتواند به جرگهٔ دارندگان نیروگاه‌های اتمی به پیوندد و زمینه را برای نیروگاه‌های آتی مورد نیاز کشور همواره سازد.

۲-۲- سیاست‌ها و برنامه‌های مصوب در مورد احداث نیروگاه‌های اتمی در دوران بعد از انقلاب

بعد از سال‌های اولیهٔ پیروزی انقلاب اسلامی، اهم سیاست‌های مصوب در مورد استفاده از نیروگاه‌های اتمی برای تأمین قسمتی از نیروی برق مورد نیاز کشور به شرح ذیل می‌باشد:

ـ در تاریخ ۱۳۶۱/۶/۲۳ نخست‌وزیر وقت، دستور تکمیل عملیات نیروگاه نیمه تمام بوشهر را صادر کرد.

ـ در اولین جلسهٔ شورای انرژی اتمی کشور بعد از پیروزی انقلاب اسلامی، تأمین تا ۲۰ درصد از برق مورد نیاز کشور به وسیلهٔ نیروگاه‌های اتمی مورد تأیید قرار گرفت.

ـ در خط‌مشی‌های اساسی و سیاست‌های برنامهٔ اول عمرانی در بخش انرژی، ایجاد تنوع در منابع تأمین انرژی اولیه، کاهش سهم نفت در کل انرژی مصرفی از طریق افزایش سهم گاز در مصرف داخلی و استفاده از انرژی هسته‌ای و انرژی‌های تجدیدپذیر مورد تأکید قرار گرفت.

ـ در سیاست‌های اجرایی و اهداف کمی بخش انرژی اتمی در برنامهٔ دوم، برای نخستین بار در دوران بعد از پیروزی انقلاب به صورت کمّی ایجاد ظرفیت برق هسته‌ای به میزان ۱۶۰۰ مگاوات از طریق انجام عملیات تکمیل واحد اول نیروگاه اتمی بوشهر به ظرفیت ۱۰۰۰ مگاوات و شروع عملیات مربوط به دو واحد ۳۰۰ مگاواتی توسط پیمانکار چینی مورد تصویب قرار گرفت. اما اعتبارات لازم در برنامه فقط برای عملیات تکمیل واحد اول تأمین گردید.

ـ در سیاست‌های کلان بخش انرژی که در سال ۱۳۷۷ به تصویب مجمع تشخیص مصلحت نظام رسید، به استفاده از انرژی هسته‌ای در تأمین بخشی از انرژی مورد نیاز کشور در آینده تأکید شده است.

ـ در سیاست‌های و راهکارهای عملیاتی بخش انرژی در طول برنامهٔ سوم، تکمیل عملیات نیروگاه بوشهر و شروع عملیات اجرایی یک نیروگاه جدید اتمی به تصویب رسیده است.

۳-۲- دلایل توجیهی استفاده از نیروگاه اتمی برای تأمین بخشی از تقاضای برق مورد نیاز کشور

به طور کلی در بعد تقاضا و عرضهٔ انرژی الکتریکی، حقایق و عوامل ذیل در سال‌های آینده باعث خواهد شد که به بهره‌برداری ترکیبی از منابع مختلف انرژی و ایجاد تنوع در سیستم عرضهٔ برق و استفاده از نیروگاه‌های اتمی توجه بیشتری معمول گردد.

ـ طی دو دههٔ گذشته، رشد تقاضای برق سالیانه بالغ بر ۸/۵ درصد بوده که به مراتب بیش از رشد متوسط جمعیت و تولید ناخالص داخلی می‌باشد و برای تأمین این تقاضای فزاینده، مجموع قدرت اسمی نیروگاه‌های کشور بیش از ۵ برابر افزایش یافته و به ۲۹۰۰۰ مگاوات در پایان سال ۱۲۷۷ رسیده است. برای سال‌های آینده در گزارش‌های مختلف ارایه شده بر اساس حالت‌های مختلف رشد اقتصادی، تا سال ۱۴۰۰ میزان ظرفیت الکتریکی مورد نیاز کشور بین ۵۵۰۰۰ تا ۷۰۰۰۰ مگاوات برآورد شده است.

ـ در حال حاضر ۹۱ درصد از ظرفیت نصب شدهٔ کشور، بر پایهٔ سوخت فسیلی قرار دارد. با توجه به میزان تقاضای برق در سال‌های آتی و محدودیت ظرفیت منابع آبی که حداکثر ظرفیت عملی آن حدود ۱۴۰۰۰-۱۲۰۰۰ مگاوات گزارش شده است، لزوم اتخاذ سیاست‌های مناسب برای ایجاد تنوع در سیستم عرضهٔ برق بیشتر احساس خواهد شد.

ـ افزایش احتمالی قیمت نفت و گاز به علت تهی شدن این منابع در جهان در طول دهه‌های آینده، هزینهٔ فرصت استفاده از این حامل‌های انرژی را به عنوان سوخت افزایش خواهد داد و ضرورت ایجاد تنوع در سیستم عرضهٔ انرژی و استفاده از گزینه‌های دیگر، نظیر نیروگاه‌های اتمی را برای صرفه‌جویی در منابع فناپذیر فسیلی بیشتر آشکار خواهد ساخت.

ـ از نظر اقتصادی، براساس مطالعات انجام شده در صورتی که قیمت فروش هر بشکه نفت بالاتر از ۲۵ دلار با هزینهٔ فرصت صدور گاز حدود ۹ سنت در هر متر مکعب محاسبه شود، استفاده از نیروگاه‌های هسته‌ای در ایران با احتساب هزینهٔ فرصت فروش نفت یا گاز مقرون به صرفه خواهد بود. در طول سال‌های گذشته، از جمله سال جاری، علی‌رغم نوسانات قیمت نفت در جهان چند بار قیمت این حامل انرژی از مرز ۳۰ دلار در هر بشکه گذشته است و در دهه‌های آینده نیز با توجه به علایم مربوط به تهی شدن منابع نفت و گاز در جهان بر اساس کلیهٔ پیش‌بینی‌های به عمل آمده توسط مؤسسات معتبر بین‌المللی، تثبیت قیمت نفت در این حدود و حتی بیش از آن بسیار محتمل می‌باشد.

ـ از منابع گازی و نفتی کشور می‌توان در صنایع پالایشگاهی و پتروشیمی با ایجاد ارزش افزوده بیشتر استفاده نمود و خطوط اصلی برنامهٔ اقتصاد بدون نفت و طرح سامان‌دهی اقتصادی

در ایران علی‌رغم وجود منابع عظیم نفت و گاز با نگاهی راهبردی به مقولهٔ انرژی استفاده از انرژی هسته‌ای در ترکیب بهینه‌ای از حامل‌های انرژی نسبت به سایر گزینه‌ها مقرون به صرفه‌تر و مطلوب‌تر است

که توسط مقامات عالیهٔ کشور به تصویب رسیده است، نیز ناظر بر استفادهٔ حداکثر از نفت و گاز برای تولید پتروشیمی و بسیاری از فرآورده‌های صنعتی دیگر است.

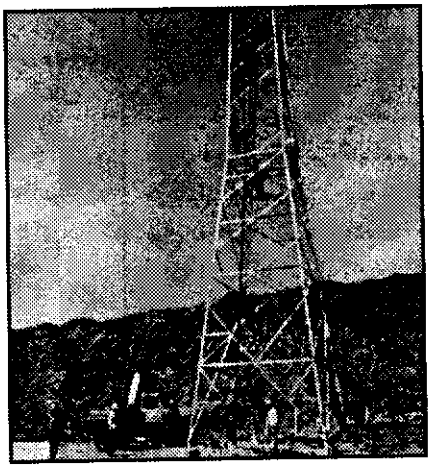
ـ بالا بودن شدت انرژی در ایران، روند افزایش جمعیت و بالا رفتن تقاضا برای انرژی الکتریکی در سال‌های آینده در بخشهای مختلف، ضرورت منطقی کردن قیمت‌های انرژی و کاهش یارانه‌های پنهان و تعدیل هزینه‌های فرصت سوخت‌های فسیلی را بیشتر آشکار خواهد ساخت و در نتیجه از نظر اقتصادی استفاده از منابع غیر فسیلی، نظیر نیروگاه‌های اتمی برای تأمین نیرو توجیه بیشتری پیدا خواهد کرد.

ـ افزایش ملاحظات زیست‌محیطی و فشار بین‌المللی برای کاهش آلاینده‌های ناشی از کاربرد سوخت‌های فسیلی و محدودیت‌های تکنیکی و اقتصادی در خصوص گسترش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر سبب مقبولیت بیشتر نیروگاه‌های اتمی خواهد گردید.

ـ در سال‌های آینده با تکمیل و بهره‌برداری از نیروگاه بوشهر، کشورمان در زمرهٔ کشورهای دارندهٔ نیروگاه اتمی قرار خواهد گرفت و طبعاً از فشارها و ممانعت‌های موجود تا حدود زیادی کاسته خواهد شد. به علاوه با توجه به روند شکل‌گیری و توسعهٔ نظام چند قطبی در جهان، امکانات بیشتری برای همکاری‌های تکنولوژیکی با کشورهای دیگر فراهم خواهد شد و کشورمان می‌تواند از این فرصتها استفاده نماید.

ـ با استفاده از تجربهٔ تکمیل نیروگاه بوشهر و مشارکت نیروهای متخصص و منابع داخلی در ساخت بعضی از تجهیزات و قطعات مورد نیاز و بالا بردن سهم مشارکت داخلی در ساخت نیروگاه‌های آینده از نظر اقتصادی صرفه‌های بیشتری عاید خواهد گردید و در ارتقای کیفیت محصولات و تولیدات صنعتی و پیشبرد تکنولوژی مختلف اثرات مثبتی به بار خواهد آورد.

ـ با گسترش عملیات اکتشاف و استخراج اورانیوم از منابع داخلی و انتقال تکنولوژی قسمتی از چرخهٔ سوخت هسته‌ای که در دست اقدام است، در سال‌های آینده می‌توان قسمتی از عملیات تولید سوخت لازم برای نیروگاه‌های اتمی کشور را در داخل انجام داد و ضمن استفاده از صرفه‌های اقتصادی از وابستگی موجود در این زمینه کاست.



۴-۲- تعیین سهم بهینهٔ انرژی هسته‌ای در سیستم انرژی الکتریکی کشور

با توجه به سیاست‌های اعلام شدهٔ دولت در زمینهٔ استفاده از انرژی هسته‌ای در طول دو برنامهٔ عمرانی گذشته و تأکید به گسترش استفاده از انرژی هسته‌ای در طول برنامه سوم و همچنین تأیید رهیافت انرژی هسته‌ای در مجموعهٔ سیاست‌های کلان بخش انرژی مصوب مجمع تشخیص مصلحت نظام، این سؤال اساسی مطرح است که حد بهینهٔ استفاده از این نوع انرژی در سیستم انرژی الکتریکی کشور کدام است؟

برای پاسخ به این سؤال، تاکنون دو مطالعه در دوران بعد از پیروزی انقلاب اسلامی صورت پذیرفته است. در مطالعهٔ اول که در قالب طرح جامع انرژی توسط مؤسسهٔ عالی پژوهش در برنامه‌ریزی و توسعه و دانشگاه شریف در طول سال‌های ۱۳۷۴-۱۳۷۰ صورت گرفته است، برای برآورد رشد اقتصادی، تقاضای انرژی مفید و سیستم عرضهٔ برق از طریق پیش‌بینی سناریوهای مختلف اقتصادی از مجموعه‌ای از مدل‌های برنامه‌ریزی در بخش اقتصاد کلان (مدل‌های اقتصادسنجی)، بخش تقاضا (مدل‌های MADEII) و بخش عرضه (MESSAGE III) استفاده شده است. نتایج اولیهٔ این مطالعه و گزارش‌های بعدی در مورد تجدید در نتایج طرح جامع انرژی که در اردیبهشت ماه سال ۱۳۷۵ انتشار یافت، نشان می‌دهد که ظرفیت نصب شدهٔ مورد نیاز کشور تا سال ۱۴۰۰ در محدوده‌ای نزدیک به ۵۲۰۰۰-۴۰۰۰۰ مگاوات الکتریک خواهد بود (۱۰). براساس این مطالعه، استفاده از انرژی هسته‌ای از نظر اقتصادی در صورتی قابل توجیه است که قیمت نفت تا سال ۱۴۰۰ به بشکه‌ای حدود ۳۰ دلار برسد. بنابراین، طبق این مطالعه در حالت افزایش قیمت صدور نفت تا این سطح، بهره‌برداری از نیروگاه‌های اتمی در توسعهٔ سیستم برق، حدود ۱۱۰۰۰ مگاوات تا سال ۱۴۰۰ درنظر گرفته شده است.

در مطالعهٔ دوم که توسط سازمان انرژی اتمی ایران در سال ۱۳۷۶ انجام پذیرفته است، در قسمت تقاضا، بر اساس داده‌های آماری در دههٔ گذشته و محاسبات کشش درآمدی قیمت برق و تعیین ارتباط بین درآمد سرانه و تقاضای سرانهٔ برق و ارتباط بین قیمت و تقاضا و همچنین پیش‌فرض‌های منطقی در مورد رشد متغیرهای کلان اقتصادی، نظیر تولید ناخالص داخلی جمعیت، تعداد مشترکان و... از یک مدل اقتصادسنجی برای برآورد تقاضای برق و پیش‌بینی بار حداکثر همزمان تا سال ۱۴۰۰ استفاده شده است. طبق این مدل در ۳ سناریوی مختلف رشد اقتصادی حداقل ۴/۸- درصد در سال)، رشد اقتصادی متوسط (۵/۵ درصد در سال) و رشد اقتصادی بالا (۶/۸ درصد در سال) میزان تقاضای برق به ۲۵۴۰۰۰ تا ۳۱۸۰۰۰ گیگاوات ساعت خواهد رسید و ظرفیت نصب شدهٔ مورد نیاز برای تأمین این میزان تقاضا، بین ۵۱۰۰۰ تا ۶۵۰۰۰ مگاوات نوسان خواهد داشت.

در قسمت عرضه برای تعیین سهم بهینهٔ نیروگاه‌های اتمی در ظرفیت نصب شدهٔ مورد نیاز کشور، از مدل WASP که مشهورترین و کاربردی‌ترین الگوی بهینه‌سازی توسعهٔ سیستم انرژی الکتریکی می‌باشد، استفاده گردیده است. در این بررسی، کلیهٔ اطلاعات اقتصادی و فنی مربوط به نیروگاه‌های حرارتی در دست بهره‌برداری و همچنین نیروگاه‌های در دست ساخت یا طراحی شده به برنامهٔ رایانه‌ای این الگو ارایه شده و تعیین ترکیب نیروگاه‌های تعیین شده برای تأمین مطمئن تقاضای برق کشور با حداقل هزینه به برنامه واگذار شده است. نتایج کاربرد مدل WASP در ایران نشان می‌دهد که تا سال ۱۴۰۰ در سناریوی رشد کم، سهم نیروگاه‌های هسته‌ای ۳۰۰۰ مگاوات، در سناریوی رشد متوسط حدود ۷۰۰۰ مگاوات و در سناریوی رشد بالا معادل ۱۱۰۰۰ مگاوات به صورت بهینه از نظر اقتصادی و فنی خواهد بود (۱۱) (نمودارهای ۶-۴). بنابراین سهم اقتصادی نیروگاه‌های هسته‌ای در سناریوهای

خواهد داشت. در این مطالعه توصیه شده است، با توجه به اینکه مراحل برنامه‌ریزی، تعیین محل و اخذ مجوزهای ساخت و دوران اجرای یک نیروگاه اتمی در شرایط معمولی حدود ۱۰ سال به طول می‌انجامد، لازم است از قبل با ایجاد راهبرد و تعیین خط‌مشی‌های لازم، زمینه‌های مورد نیاز برای ایجاد زیربناهای فنی، فیزیکی و نیروی انسانی مورد نیاز برای اجرای موفقیت‌آمیز این برنامه فراهم گردد.

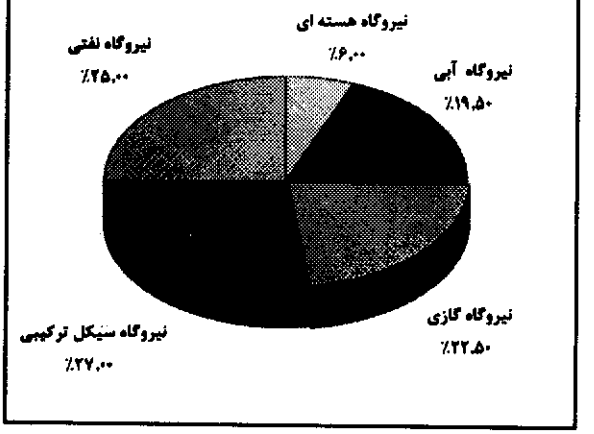
نتیجه‌گیری

به رغم چالش‌هایی که صنعت انرژی هسته‌ای طی دهه‌های گذشته داشته است، واقعیت‌های موجود در مورد محدودیت منابع فسیلی و همچنین افزایش نگرانی‌ها در مورد گسترش گازهای گلخانه‌ای و گرم شدن جو کره زمین نشان می‌دهد که در قرن حاضر گسترش استفاده از رهیافت انرژی اتمی برای تأمین انرژی الکتریکی کشورهای مختلف اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. توسعهٔ پایدار ایجاب می‌کند که محیط‌زیست تخریب نشده و منابع نابود نشوند و در این راستا با توجه به پیشرفت‌هایی که در توسعهٔ تکنولوژی نیروگاه‌های هسته‌ای به وجود آمده است، در مورد کشورهایی که قبلاً به این تکنولوژی دست یافته‌اند، استفاده از یک رویکرد در مقایسه با سایر گزینه‌ها مقرون به صرفه بیشتر اقتصادی و زیست‌محیطی خواهد بود.

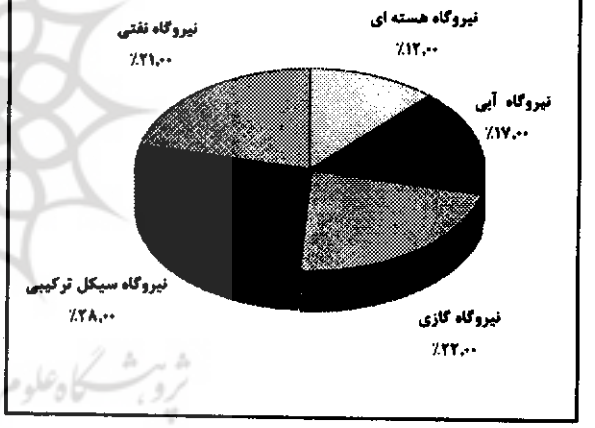
در جمهوری اسلامی ایران نیز علی‌رغم وجود منابع عظیم نفت و گاز، در صورتی که با نگاهی راهبردی به مقولهٔ انرژی نگاه کنیم و هزینه‌های فرصت را به امکانات تبدیل نماییم و صدور این حامل‌های انرژی با ارزش افزودهٔ بیشتر را به جای سوزاندن آنها در نیروگاه‌ها درنظر آوریم و بخواهیم در سیستم موجود عرضهٔ برق تنوع ایجاد کرده و ترکیب بهینه‌ای با نگرش درازمدت در این سیستم به‌وجود آوریم، استفاده از رهیافت هسته‌ای نسبت به سایر گزینه‌های مقرون به صرفه‌تر و مطلوب‌تر خواهد بود. مطالعات و بررسی‌های انجام شده در این زمینه، نشان می‌دهد که حد بهینهٔ استفاده از برق هسته‌ای در سیستم انرژی الکتریکی مورد نیاز کشور به طور متوسط حدود ۱۰ درصد ظرفیت شبکه تا سال ۱۴۰۰ خواهد بود.

برای اجرای موفقیت‌آمیز این سیاست راهبردی، با توجه به تجربیات تلخ دو دههٔ گذشته، لازم است نسبت به کاهش محدودیت‌ها و نقاط ضعف و تقویت فرصت‌ها و نقاط قوت اقدام شده و از فرصت‌های محدود و پراکندهٔ بین‌المللی استفادهٔ حداکثر برای ایجاد زیربناهای فنی، فیزیکی و تربیت نیروی انسانی متخصص مورد نیاز به عمل آید.

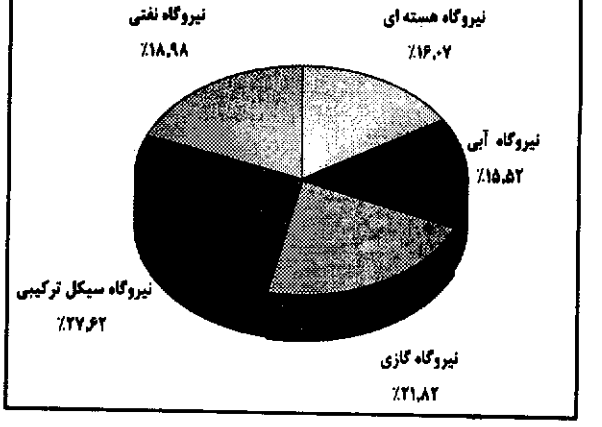
نمودار ۴ـ سهم نیروگاههای هسته ای در آرایش بهینه نیروگاهی کشور براساس نتایج کاربرد مدل WASP تا سال ۱۴۰۰ (سناریو رشد اقتصادی حداقل)



نمودار ۵ـ سهم نیروگاههای هسته ای در آرایش بهینه نیروگاهی کشور براساس نتایج کاربرد مدل WASP تا سال ۱۴۰۰ (سناریو رشد اقتصادی متوسط)



نمودار ۶ـ سهم نیروگاههای هسته ای در آرایش بهینه نیروگاهی کشور براساس نتایج کاربرد مدل WASP تا سال ۱۴۰۰ (سناریو رشد اقتصادی بالا)



جدول ۱ ـ راکتورهای هسته‌ای در حال کار و در دست ساخت تا پایان سال ۱۹۹۸

کشور	راکتورهای در حال کار		راکتورهای در دست ساخت		برق هسته‌ای تولیدی در ۱۹۹۸		کل تجربیات بهره‌برداری تا پایان ۱۹۹۸	
	تعداد واحد	کل (مگاوات الکتریک)	تعداد واحد	کل (مگاوات الکتریک)	TW(e).h	درصد از کل	سال	ماه
آرژانتین	۲	۹۳۵	۱	۶۹۲	۶/۹۳	۱۰/۰۴	۴۰	۷
ارمنستان	۱	۳۷۶			۱/۴۲	۲۴/۶۹	۳۱	۳
اسپانیا	۹	۷۳۵۰			۵۹	۳۷/۱۵	۱۷۴	۲
اسلوونی	۱	۶۳۲			۴/۷۹	۳۸/۳۳	۱۷	۳
افریقای جنوبی	۲	۱۸۴۲			۱۳/۵۸	۷/۲۵	۲۸	۳
اوکراین	۱۶	۱۳۷۶۵	۴	۳۸۰۰	۷۰/۶۴	۴۵/۴۲	۲۲۲	۱
آلمان	۲۰	۲۲۲۸۲			۱۴۵/۲	۲۸/۹۲	۵۷۰	۷
امریکا	۱۰۴	۹۶۴۲۳			۶۷۳/۷	۱۸/۶۹	۲۳۵۱	۸
ایران			۲	۲۱۱۱				۰
برزیل	۱	۶۲۶	۱	۱۲۲۹	۳/۲۷	۱/۰۸	۱۶	۹
بریتانیا	۳۵	۱۲۹۶۸			۹۱/۱۴	۲۷/۰۹	۱۱۶۸	۴
بلژیک	۷	۵۷۱۲			۴۳/۸۹	۵۵/۱۶	۱۵۶	۷
بلغارستان	۶	۳۵۳۸			۱۵/۴۹	۴۱/۵	۱۰۱	۱
پاکستان	۱	۱۲۵	۱	۳۰۰	۰/۳۴	۰/۶۵	۲۷	۳
جمهوری اسلواک	۵	۲۰۲۰	۳	۱۱۶۴	۱۱/۳۹	۴۳/۸	۷۳	۱۱
جمهوری چک	۴	۱۶۴۸	۲	۱۸۲۴	۱۲/۳۵	۲۰/۵	۵۰	۸
جمهوری کره	۱۵	۱۲۳۴۰	۳	۲۵۵۰	۸۵/۱۹	۴۱/۳۹	۱۳۷	۵
چین	۳	۲۱۶۷	۶	۴۴۲۰	۱۳/۶۴	۱/۱۶	۱۷	۵
روسیه	۲۹	۱۹۸۴۳	۴	۳۳۷۵	۴/۹۹۵/۳۸	۱۳/۰۸	۶۱۳	۶
رومانی	۱	۶۵۰	۱	۶۵۰	۴/۹	۱۰/۳۵	۲	۶
ژاپن	۵۳	۴۳۶۹۱	۲	۱۸۶۳	۳۰۶/۹۴	۳۵/۸۶	۸۶۳	۵
سوئد	۱۲	۱۰۰۴۰			۷۰	۴۵/۷۵	۲۵۵	۲
سویس	۵	۳۰۷۹			۲۴/۳۷	۴۱/۰۷	۱۱۸	۱۰
فرانسه	۵۸	۶۱۶۵۳	۱	۱۴۵۰	۳۶۸/۴	۷۵/۷۷	۱۰۵۲	۱
فنلاند	۴	۲۶۵۶			۲۰/۹۸	۲۷/۴۴	۷۹	۴
قزاقستان	۱	۷۰			۰/۰۹	۰/۱۸	۲۵	۶
کانادا	۱۴	۹۹۹۸			۶۷/۵	۱۲/۴۴	۲۰۵	۲
لتوانی	۲	۲۳۷۰			۱۲/۲۹	۷۷/۲۱	۲۶	۶
مجارستان	۴	۱۷۲۹			۱۳/۱۲	۳۵/۶۲	۵۴	۲
مکزیک	۲	۱۳۰۸			۸/۸۳	۵/۴۱	۱۳	۱۱
هلند	۱	۴۴۹			۳/۵۹	۴/۱۳	۵۴	۰
هندوستان	۱۰	۱۶۹۵	۴	۸۰۸	۱۰/۱۵	۲/۵۱	۱۵۹	۱
مجموع	۴۳۴	۳۴۸۸۶۴	۳۶	۲۷۵۳۶	۲۲۹۳/۷۳		۹۰۱۲	۶

جدول ۲ـ مقایسهٔ سهم اجزای هزینهٔ برق تولیدی در نیروگاه‌های مختلف

اجزای هزینه	درصد نسبت به کل هزینه		
	هسته‌ای	نفتی	زغال‌سنگی
سرمایه‌گذاری اولیه	۶۰-۸۰	۱۰-۲۵	۱۵-۴۵
سوخت	۲۰-۲۵	۷۰-۸۵	۴۰-۸۰
بهره‌برداری و نگهداری	۵-۱۵	۵-۱۰	۵-۱۵
جمع	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

جدول ۳ـ برآورد مصرف منابع مختلف انرژی تا سال ۲۰۲۰، طبق ۴ سناریوی مختلف شورای جهانی انرژی (ارقام به گیگاتن معادل نفت)

	۱۹۶۰	۱۹۹۰	در سال ۲۰۲۰			
			A	B1	B	C
زغال سنگ	۱/۴	۲/۳	۴/۹	۳/۸	۳/۰	۲/۱
نفت	۱/۰	۲/۸	۴/۶	۴/۵	۳/۸	۲/۹
گاز طبیعی	۰/۴	۱/۷	۳/۶	۳/۶	۳/۰	۲/۵
انرژی هسته‌ای	-	۰/۴	۱/۰	۱/۰	۰/۸	۰/۷
نیروگاه‌های آبی بزرگ	۰/۱۵	۰/۵	۱/۰	۱/۰	۰/۹	۰/۷
سوخت‌های سنتی	۰/۵	۰/۹	۱/۳	۱/۳	۱/۳	۱/۱
منابع انرژی تجدیدپذیر جدید	-	۰/۲	۰/۸	۰/۸	۰/۶	۱/۳
جمع	۳/۳	۸/۸	۱۷/۲	۱۶/۰	۱۳/۴	۱۱/۳

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مآخذ

1- International Atomic Energy Agency, Nuclear Power Reactors in The World. Vienna, IAEA, RDS. 2.16. April 1999, PP 8-9
2- International Atomic Energy Agency, IAEA Bulletin, Vol.30\ No. $, 1988, P.12
3- International Atomic Energy Agency, IAEA Bulletin, Vol.38, No.33, 1996. Pp 2-23
4- Greenhalgh Geoppery, The Future of Nuclear Power, London, Graham and Trotman Limited, 1988, PP 171-174
5- International Atomic Energy Agency, Projected Costs of Nuclear and Convernational Base Load Electricity Generation in some IAEA Member States, IAEA, TEC-DOC- 569, Vienna, 1990. p.22
6- IAEA Bulletin, 41/2/99. P.2
7- Opcit P.3
8- International Atomic Energy Agency, Energy, Electricity and Nuclear Power Estimation for The Period Up to 2015, Vienna, IAEA, RDS- 1/16, july 1996. PP.21-25
9- World Energy Council, 16Th Congress, Nuclear Power for Sustainable Energy Supply, PS\SRD 2.3.02, 1996, P.43
۱۰- سازمان برنامه و بودجه، مؤسسهٔ عالی پژوهش در برنامه‌ریزی و توسعه، دورنمای بخش انرژی در جمهوری اسلامی ایران، نتایج مرحلهٔ اول مطالعات طرح جامع انرژی، آبان ماه ۱۳۷۳، ص. ۲۱۰
۱۱- خسرو هایدی و مؤگان تیمسار، انرژی هسته‌ای در توسعهٔ بهینهٔ سیستم عرضهٔ برق کشور، مجموعه مقالات دومین همایش ملی انرژی، جلد اول، صفحات ۲۲-۲۰، ۱۳۷۸.

1- Inherent Safe Reactor

2- Fast Breeder Reactor