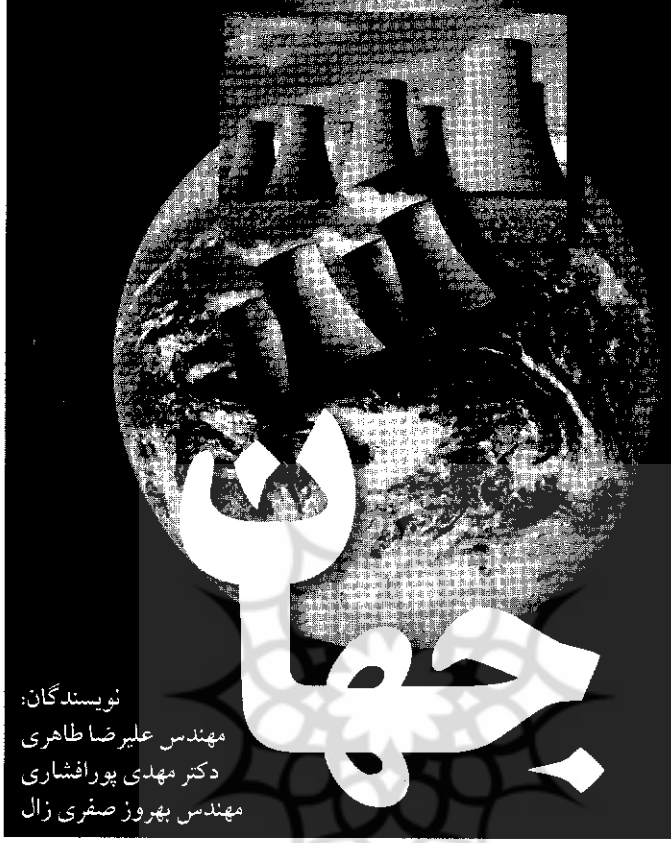
مقاله

انرژی هسته‌ای در جهان



نویسندگان:
مهندس علیرضا طاهری
دکتر مهدی پورافشاری
مهندس بهروز صفری زال

«اولین نیروگاه هسته‌ای تجاری در دهه ۵۰ شروع به کار کرد و این در حالی است که امروزه در حدود ۴۴۰ راکتور هسته‌ای تجاری در ۳۱ کشور جهان وجود دارند که ظرفیت کل این راکتورها بیش از ۳۵۰ هزار مگاوات است. این راکتورها ۱۶ درصد از الکتریسیته جهان را تاءمین می‌کنند و قابل توجه است که راندمان این نیروگاه‌ها پیوسته در حال افزایش است. در ۵۶ کشور جهان، مجموعاً ۲۸۴ راکتور تحقیقاتی به کار افتاده‌اند که در این میان کانادا در صدر کشورهای عرضه‌کننده اورانیوم جهان قرار دارد و نیاز بسیاری از این راکتورها را تاءمین می‌کند.»

نیاز بشر به یک منبع انرژی پایا برای الکتریسته کاملاً آشکار است. اما سؤال این است که چگونه این نیاز به نحو مطلوب برآورده شود. افراد زیادی معتقدند که انرژی هسته‌ای، می‌تواند این نیاز را تاءمین کند و همواره در کانون این بحث قرار داشته است که اگر به نحو مناسبی برنامه‌ریزی شود انرژی عظیمی از نیرو هسته‌ای در دسترس است ولی مشکلات ایمنی و خطرات پیرامون این بحث تحقیقات پیوسته و بیشتری را طلب می‌کند.

رشد سالانه مصرف انرژی در ۳۰ سال گذشته حدود ۳/۳ درصد بوده است که این رشد در کشورهای در حال توسعه بیشترین سرعت را داشته و در کشورهای صنعتی نیز همچنان به رشد خود ادامه می‌دهد. در همین زمان رشد سالانه جمعیت در حدود ۲ درصد بوده است.

در تکنولوژی هسته‌ای از انرژی آزاد شده به وسیله شکافت اتم‌های عناصر خاصی استفاده می‌شود. رشد اولیه تکنولوژی هسته‌ای به دهه ۱۹۴۰ باز می‌گردد. در طول مدت جنگ جهانی دوم، تحقیقات برای تولید بمب‌هایی که از شکافت اتم‌های اورانیوم یا پلوتونیم استفاده می‌کردند، متمرکز شده بود. ولی در دهه ۱۹۵۰ اهداف صلح‌آمیز شکافت هسته‌ای، مخصوصاً کاربرد نیروگاهی آن مورد توجه بشر قرار گرفت.

در حال حاضر ظرفیت نیروگاه‌های هسته‌ای جهان بیش از ۳۵۰ هزار مگاوات است که می‌توان گفت به اندازه ظرفیت الکتریسته تولید شده از دیگر منابع انرژی در سال ۱۹۶۰ بوده است. در حال حاضر توان هسته‌ای غیرنظامی می‌تواند به تجربه بیش از ۱۰ هزار راکتور - سال و تأمین ۱۶ درصد از تقاضای جهانی الکتریسته افتخار کند. همچنین در بسیاری از کشورها، راکتورهای تحقیقاتی برای تأمین یک منبع از پرتوهای نوترونی برای تحقیقات علمی و تولید ایزوتوپ‌های صنعتی و پزشکی ساخته شده‌اند.

مزایای انرژی هسته‌ای

• شاید بتوان گفت که انرژی هسته‌ای نسبت به سایر منابع انرژی، کمترین تأثیر را بر محیط اطراف‌مان (هوا، آب، زمین و حیوانات وحشی) داشته است. به دلیل این که برای تولید الکتریسته از انرژی هسته‌ای، سطح اشغال شده کمتری در مقایسه با دیگر منابع تولید این انرژی نیاز است.

• قابل اعتماد بودن الکتریسته تولیدی از نیروگاه‌های هسته‌ای از دیگر مزیت‌های این منبع است که تا حدودی می‌توان گفت، بزرگی اندازه نیروگاه‌ها و زمان عملکرد طولانی آنها، انرژی هسته‌ای را به یک منبع الکتریسته قابل اعتماد برای جهان و به خصوص ایالات متحده تبدیل کرده است.

• اقتصادی بودن انرژی هسته‌ای یکی از عمده مزیت‌های این منبع است.

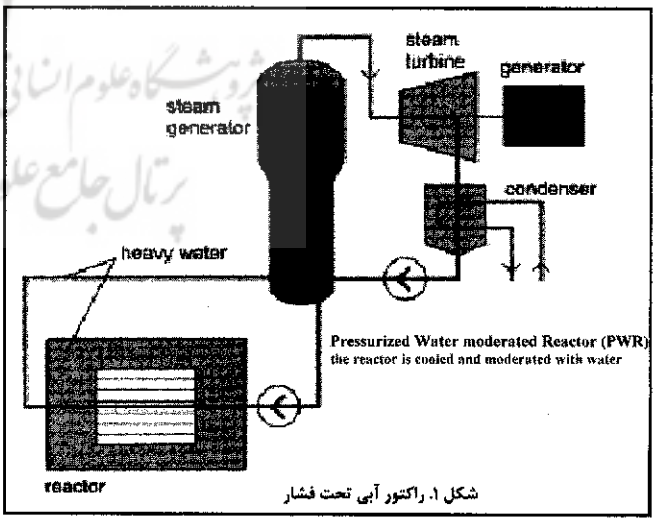
• انرژی هسته‌ای در امنیت ملی انرژی سهم دارد و به عنوان یک جز مکمل در سبد انرژی کشورها، منبعی مطمئن بوده که می‌توانند به آن متکی باشند و بر خلاف برخی دیگر از منابع انرژی، تابعی از شرایط آب و هوایی غیرقابل اطمینان، عدم تعادل غیرقابل پیش‌بینی قیمت یا وابستگی به عرضه‌کنندگان خارجی، نیست. در حقیقت، انرژی هسته‌ای یک صنعت بین‌المللی است که در عین حال به صورت بومی نیز از این منبع در مقیاس وسیع می‌توان استفاده کرد.

انواع گوناگون نیروگاه‌های هسته‌ای

نیروگاه‌های هسته‌ای به وسیله نوع راکتوری که در آنها مورد استفاده قرار می‌گیرد از یکدیگر متمایز می‌شوند. انواع بسیار متداول نیروگاه‌های هسته‌ای در ۵ نوع خلاصه می‌شوند.

راکتور آبی تحت فشار (PWR)

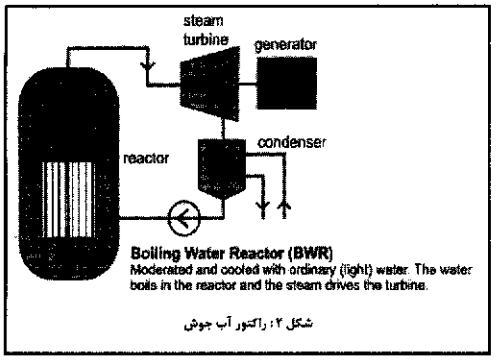
این راکتورها توسط آب، خنک و سرد می‌شوند. این آب در راکتور می‌جوشد و بخار تولید شده در توربین و به دنبال آن ژنراتور برای تولید الکتریسیته به کار می‌رود.



شکل ۱. راکتور آبی تحت فشار

راکتور آب جوش (BWR)

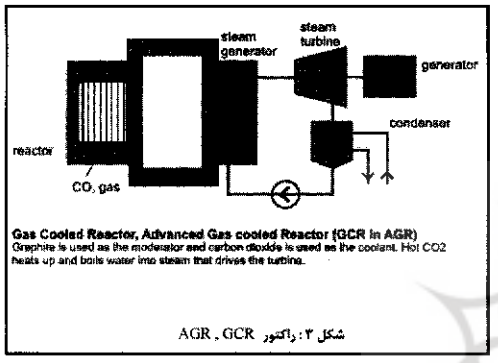
این راکتور نیز توسط آب معمولی (سبک) خنک و سرد می‌شود. در این حالت بر خلاف راکتور آبی تحت فشار، آب به جوش می‌آید و بخار برای به کار انداختن توربین به کار می‌رود.



شکل ۲: راکتور آب جوش

راکتور گاز سرد (GCR) یا راکتور سرد پیشرفته (AGR)

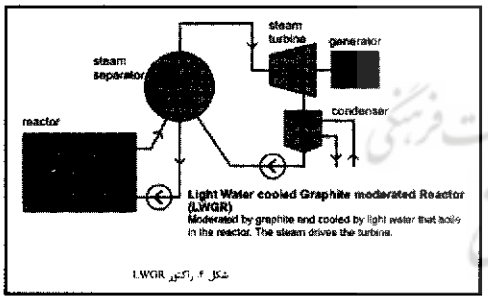
در این راکتورها برای کاهش دما تا دماهای میانی از گرافیت استفاده می‌شود و از دی‌اکسیدکربن نیز به عنوان سرد ساز استفاده می‌شود. گاز CO_2 داغ، گرفته شده و آب را به جوش آورده و تولید بخار می‌کند که این بخار توربین را به کار می‌اندازد.



شکل ۳: راکتور AGR , GCR

راکتور آب سبک سرد، گرافیت خنک‌کننده (LWGR)

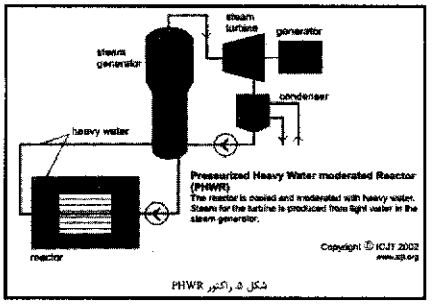
در این حالت، برای کاهش دما تا دماهای میانی از گرافیت استفاده می‌شود و از آب سبک به عنوان سردساز استفاده می‌شود. در این راکتورها آب سبک می‌جوشد و بخار مورد نیاز توربین را تولید می‌کند.



شکل ۴ راکتور LWGR

راکتور آب سنگین تحت فشار (PHWR)

این راکتورها توسط آب سنگین خنک و سرد می‌شوند. بخار مورد نیاز توربین توسط ژنراتور بخار که از آب سبک تغذیه می‌کند، تأمین می‌شود.



شکل ۵ راکتور PHWR

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

میزان به کارگیری انواع راکتورها در جهان

سهم انواع نیروگاه‌های هسته‌ای از کل نیروگاه‌های هسته‌ای به گونه‌ای است که در شکل زیر آمده است. با توجه به شکل، در می‌یابیم بیشتر راکتورهای هسته‌ای موجود از نوع راکتورهای آبی تحت فشار و راکتورهای آب جوش هستند.

توان هسته‌ای در جهان

در حال حاضر، فقط هشت کشور در جهان وجود دارد که به طور مشخص دارای توانایی ساخت سلاح هسته‌ای هستند. در مقایسه می‌توان گفت، ۵۶ کشور، راکتورهای هسته‌ای صلح‌آمیز تحقیقاتی را راه‌اندازی کرده‌اند و ۳۱ کشور نیز با داشتن ۴۴۰ نیروگاه هسته‌ای تجاری، چیزی در حدود ۴۵۴ هزار مگاوات الکتریسیته تولید می‌کنند که در جدول ۱ آمده است. همچنین ۳۲ نیروگاه هسته‌ای دیگر در دست ساخت هستند که ظرفیتی معادل ۷/۵ درصد ظرفیت کنونی نیروگاه‌های هسته‌ای را دارا هستند و بیش از ۳۲ راکتور نیروگاهی دیگر نیز در حال طراحی هستند که ظرفیت این راکتورها نیز ۹/۸ درصد ظرفیت نیروگاه‌های هسته‌ای فصلی جهان خواهد بود.

در حال حاضر ۱۵ کشور جهان برای تأمین حداقل ۲۵ درصد از الکتریسته مورد نیازشان به توان هسته‌ای وابسته‌اند که در این میان فرانسه و لیتوانی بیش از ۷۵ درصد الکتریسیته مورد نیاز کشورشان را از نیروگاه‌های هسته‌ای تأمین می‌کنند و این در حالی است که کشورهایی مانند بلژیک، اوکراین، سوئد، بلغارستان، اسلونی، اسلوواکی، سوئیس، ژاپن، مجارستان و کره‌جنوبی و چین بیشتر از ۳۵ درصد الکتریسیته مورد نیاز خود را از نیروگاه‌های هسته‌ای تأمین می‌کنند.

دلایل پویایی صنعت تولید الکتریسیته هسته‌ای

صنعت تولید الکتریسیته هسته‌ای پیوسته در حال تغییر و تحول و دگرگونی است که عوامل آن به شرح زیر است.

- بهبود ضرایب بار (ضرایب ظرفیت) متوسط که برابر نسبت کل مقدار توان تولید شده در طول سال است، بستگی به توانایی دارد که راکتور در طول سال با حداکثر ظرفیت و به طور پیوسته فعالیت کند.
- اصلاح و بهبود عملکرد توان هسته‌ای، به کمک افزایش ظرفیت واحدهای موجود، مانند اصلاح مولدهای بخار.

البته، اگر چه نیروگاه‌های هسته‌ای که در حال حاضر ساخته شده‌اند کمتر از تعداد راکتورهایی است که در طول دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ ساخته شدند، ولی میزان الکتریسیته تولیدی بیشتر است به طوری که در سال ۲۰۰۰، تولید الکتریسیته در حدود ۲۴۴۷ بیلون کیلووات ساعت بوده است که یک افزایش ۱۵ درصدی (در حدود ۳۱۷ تراوات ساعت) را در طول ۶ سال گذشته نشان می‌دهد. این مقدار با تولید بیش از ۳۰ نیروگاه هسته‌ای بزرگ برابر است. باید توجه داشت که در فاصله سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۰۰ فقط ۵ راکتور جدید اضافه شدند که افزایش ظرفیت این راکتورها ۳ درصد بوده است و باقی مانده این افزایش ظرفیت به دلیل عملکرد بهتر واحدهای موجود است. در حال حاضر، دو سوم راکتورهای هسته‌ای جهان (به جز روسیه و اوکراین) دارای ضرایب ظرفیت بالاتر از ۷۵ درصد هستند که برای مقایسه باید گفت، ضرایب بار اکثر راکتورها در سال ۱۹۹۰ فقط ۳۹ درصد بوده است. ضرایب بار یا فاکتور ظرفیت عبارت است از: نسبت توان

جدول ۱- راکتورهای نیروگاهی هسته‌ای جهان

	تولید الکتریسیته هسته‌ای، ۲۰۰۰		راکتورهای درحال فعالیت، مارس ۲۰۰۲		راکتورهای درحال ساخت، مارس ۲۰۰۲		راکتورهای طرح‌ریزی شده، مارس ۲۰۰۲		اورانیوم مورد نیاز، ۲۰۰۱
کشور	بیلیون کیلووات	درصد	تعداد	مگاوات	تعداد	مگاوات	تعداد	مگاوات	تن اورانیوم
آرژانتین	۵/۷	۷/۳	۲	۹۳۵	۰	۰	۱	۶۹۲	۱۳۳
ارمنستان	۱/۸	۳۳	۱	۳۷۶	۰	۰	۰	۰	۶۸
بلژیک	۴۵	۵۷	۷	۵۷۲۸	۰	۰	۰	۰	۱۱۰۹
برزیل	۵/۶	۱/۵	۲	۱۸۵۵	۰	۰	۰	۰	۲۹۶
بلغارستان	۱۸	۴۵	۶	۳۵۳۸	۰	۰	۰	۰	۶۱۸
کانادا	۶۹	۱۲	۱۴	۹۹۹۸	۶	۳۵۹۸	۰	۰	۱۳۴۳
چین	۱۶	۱/۲	۴	۲۷۶۷	۷	۵۷۰	۰	۰	۵۷۲
تایوان	۳۷	۲۴	۶	۴۴۸۴	۲	۲۶۰۰	۰	۰	۹۶۶
جمهوری چک	۱۴	۱۹	۵	۲۵۶۰	۱	۹۱۲	۰	۰	۵۱۹
فنلاند	۲۱	۳۲	۴	۲۶۵۶	۰	۰	۰	۰	۵۵۳
فرانسه	۳۹۵	۷۶	۵۹	۶۳۲۰۳	۰	۰	۰	۰	۱۰۱۵۹
آلمان	۱۶۰	۳۱	۱۹	۲۱۱۴۱	۰	۰	۰	۰	۳۷۱۲
مجارستان	۱۵	۴۲	۴	۱۷۵۵	۰	۰	۰	۰	۴۲۵
هند	۱۴	۳۰۱	۱۴	۲۵۴۸	۳	۱۹۱۶	۳	۱۳۴۰	۳۱۲
ایران	۰	۰	۰	۴۴۳۰۱	۱	۹۵۰	۰	۰	۰
ژاپن	۳۰۵	۳۴	۵۴	۰	۳	۳۶۹۶	۱۲	۱۵۸۵۸	۷۳۹۳
کره شمالی	۰	۰	۰	۱۲۹۷۰	۰	۰	۲	۱۹۰۰	۰
کره جنوبی	۱۰۴	۴۱	۱۶	۲۳۷۰	۴	۳۸۰۰	۸	۹۲۰۰	۲۴۶۶
لیتوانی	۸/۴	۷۴	۲	۱۳۱۰	۰	۰	۰	۰	۳۵۹
مکزیک	۷/۹	۳/۹	۲	۴۵۲	۰	۰	۰	۰	۲۳۲
هلند	۳/۷	۴	۱	۴۲۵	۰	۰	۰	۰	۱۱۵
پاکستان	۱/۱	۱/۷	۲	۶۵۵	۰	۰	۰	۰	۵۶
رومانی	۵/۱	۱۱	۱	۲۰۷۹۳	۰	۰	۱	۶۲۰	۹۰
روسیه	۱۲۰	۱۵	۳۰	۲۴۷۲	۰	۲۶۲۵	۳	۲۹۵۰	۳۴۱۱
اسلواکی	۱۶	۵۳	۶۰	۶۷۹	۳	۸۴۰	۰	۰	۵۲۸
اسلونی	۴/۵	۳/۷	۱	۱۸۴۲	۲	۰	۰	۰	۱۳۱
آفریقای جنوبی	۱۳	۶/۷	۲	۷۳۴۵	۰	۰	۰	۰	۳۶۳
اسپانیا	۵۹	۲۸	۹	۹۴۶۰	۰	۰	۰	۰	۱۶۱۳
سوئد	۵۵	۳۹	۱۱	۳۱۱۷	۰	۰	۰	۰	۱۵۳۳
سوئیس	۲۴	۳۶	۵	۱۱۱۹۵	۰	۰	۰	۰	۵۹۹
اوکراین	۷۲	۴۷	۱۳	۱۲۵۲۸	۰	۰	۲	۱۹۰۰	۱۸۹۳
انگلستان	۷۸	۲۲	۳۳	۹۸۲۴۸	۰	۰	۰	۰	۲۵۸۸
ایالات متحده	۷۵۴	۲۰	۱۰۴		۰	۰	۰	۰	۲۰۸۰۱
جمع کل جهان	۲۴۴۷	۱۶	۴۳۹	۳۵۴۱۵۹	۳۲	۲۶۷۰۷	۳۲	۳۴۴۶۰	۶۴۹۵۶

جدول ۲: اطلاعات کلی درباره نیروگاه‌های هسته‌ای جهان

تعداد نیروگاه‌های هسته‌ای در حال کار در مارس ۲۰۰۲	۴۳۹
اولین نیروگاه هسته‌ای	نیروگاه Obninsk در روسیه، سال ۱۹۵۴
قدرتمند ترین نیروگاه	نیروگاه Chooz در فرانسه با ۱۴۵۵ مگاوات ظرفیت
سهم انرژی هسته‌ای در تولید انرژی جهان در سال ۲۰۰۰	۱۶ درصد
الکتریسیته هسته‌ای تولیدی در سال ۲۰۰۰	۲۴۴۷ میلیون کیلووات ساعت
تعداد کشورهای دارای نیروگاه هسته‌ای	۳۱
تعداد نیروگاه‌های هسته‌ای در دست ساخت	۳۲
تعداد نیروگاه‌هایی که در سال ۲۰۰۰ راه اندازی شدند	۳
تعداد نیروگاه‌هایی که تعطیل شده‌اند	۹۰
تعداد نیروگاه‌هایی که اجازه کار کردن مجدد را دارند	۱۷

تولید شده در طول سال به توانی که اگر نیروگاه به طور پیوسته و با تمام قدرت کار می کرد، می توانست تولید کند.

واحدهایی که در طول ۱۵ سال گذشته ساخته و راه‌اندازی شده‌اند، در صدر جداول عملکرد راکتورها قرار گرفته‌اند و فاکتور ظرفیت متوسط این راکتورها در حال حاضر در حدود ۹۲ درصد است.

همچنین بلژیک، جمهوری چک، آلمان، مجارستان، ژاپن، کره‌جنوبی، اسپانیا، سوئیس، تایوان و امریکا دست کم به ضریب بار ۸۰درصد رسیده‌اند.

عملکرد نیروگاه‌های هسته‌ای امریکا در طول ۱۰ سال گذشته یک روند اصلاح یکنواخت را از خود نشان داده‌اند و در حال حاضر ضریب ظرفیت متوسطی در حدود ۸۵ درصد را دارا هستند که این مقدار در سال ۱۹۹۰ برای نیروگاه‌های هسته‌ای امریکا در حدود ۶۵درصد بوده است. این افزایش ضریب ظرفیت، امریکا را در میان کشورها از نظر عملکرد راکتورهای هسته‌ای پیشرو قرار داده است و از ۲۵ راکتور اول جهان از نظر عملکرد، ۱۷ راکتور آن در امریکا واقع شده‌اند. نیروگاه‌های امریکا حدوداً یک سوم الکتریسیته هسته‌ای جهان را به خود اختصاص می دهند. همچنین در سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ ضرایب ظرفیت راکتورهای ژاپن و فرانسه به ترتیب به ۸۰/۶ درصد و ۷۱/۲ درصد رسید که نشانگر پیشرفت قابل توجه این کشورها در این زمینه است.

مخالفت با توان هسته‌ای به اثر منفی خود بر تولید توان هسته‌ای در برخی راکتورها ادامه می‌دهد. پیرامون همین بحث در سوئد، یکی از راکتورهای هسته‌ای در سال ۱۹۹۹ و پیش از اتمام طول عمرش تعطیل شد. در سال ۲۰۰۱ نیز خدمات الکتریسیته آلمان و دولت آلمان توافق نامه‌ای را امضا کردند که بر این اساس طول عمر نیروگاه‌های هسته‌ای کشور را محدود کنند. در نتیجه نیروگاه‌ها قبل از رسیدن به طول عمر اسمی‌شان تعطیل خواهند شد و مواردی نیز به دلایل اقتصادی و فنی، راکتورها قبل از رسیدن به طول عمر فنی شان تعطیل شده‌اند. یکی دیگر از عواملی که بر آینده توان هسته‌ای در بلند مدت مؤثر است، نگرانی در مورد گرم شدن زمین است. در سال ۱۹۹۷، توافق کیوتو برای کنترل و کاهش انتشار آلاینده‌ها شکل گرفت و توافقی برای رسیدن به این اهداف صورت گرفته است که تا به حال نادیده گرفته شده است. نیروگاه‌های هسته‌ای یک منبع بسیار مهم هستند که انرژی را بدون تولید و انتشار آلاینده‌ها فراهم می کنند.

عوامل فوق در تصحیح پیش‌بینی‌های ظرفیت تولید توان هسته‌ای در برخی کشورهای خاص، مورد بررسی قرار گرفته‌اند، اما عوامل دیگری نیز هستند که باید به حساب آورده شوند؛ مانند رقابتی بودن قیمت، طرح‌های ساخت راکتور، سیاست‌های ملی و مشکلات پذیرش افکار عمومی که اثر به سزایی در این پیش‌بینی‌ها خواهد داشت.

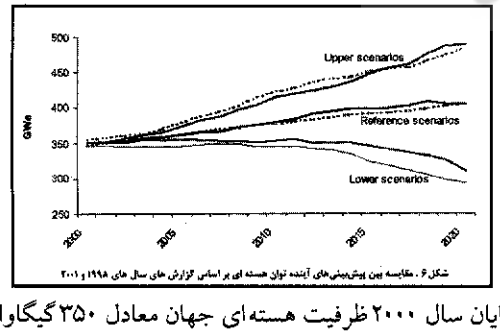
برای انعکاس محدوده عدم اطمینانی که هر پیش‌بینی را مشخص می‌کنند، سه سناریو توسعه و بسط یافته است. در سناریو حالت مبنا، انتظار می‌رود که توسعه توان هسته‌ای در یک مسیر مشابه سال‌های اخیر ادامه یابد. برای کشورهایی با برنامه‌های توان هسته‌ای موجود و طرح‌های توسعه بلند مدت، پیش‌بینی توسعه و رشد توان هسته‌ای در نظر گرفته شده است؛ ولی برای کشورهایی که هیچ واحد نیروگاهی هسته‌ای ندارند، هیچ رشدی نیز در نظر گرفته نشده است.

در سناریوی حالت مبنا، فرض می‌شود که همه واحدهای موجود با طول عمر عملکرد اسمی‌شان (به جز در آلمان) به فعالیت‌شان ادامه خواهند داد و در برخی کشورها طول عمر عملکرد راکتورها بعد از این دوره توسعه خواهد یافت. برای تعدادی از انواع راکتورها، یک طول عمر عملکرد ۵۰الی ۶۰سال که از نقطه نظر فنی و ایمنی، معقول به نظر می‌رسد، در نظر گرفته شده است.

در سناریو حالت بالا، فرض می‌شود که در طول دو دهه آینده جنبه‌های اقتصادی توان هسته‌ای نسبت به منابع تولید الکتریسیته جایگزین، رشد و ترقی داشته باشند. در سناریوی بالا فرضی که در نظر گرفته می‌شود آن است که بعد از گذشت ده سال، پارامترهای اقتصادی تولید الکتریسیته هسته‌ای به منابع تولید الکتریسیته دیگر (آلترناتیوهای دیگر) بستگی دارد و همچنین اعتماد و تأیید عمومی در مورد عدم مدیریت و حدود و اختیارات عملکردی تولید الکتریسیته هسته‌ای بهبود پیدا کرده به طوری که سرانجام مخالفت با تولید نیروی هسته‌ای کاهش پیدا کرده است. این پیشرفت مدیون زیان‌ها و خسارات ناشی از آلودگی‌های سوخت‌های فسیلی و تأثیرات ناهنجار و رو به افزایش آن در محیط زیست است. در سناریوی بالا یک احیا و تجدید حیات در تولید الکتریسیته هسته‌ای دیده می‌شود.

در سناریوی حالت پایین، فرضی که در نظر گرفته می‌شود این است که سرمایه‌گذاری در بخش تولید الکتریسیته از انرژی هسته‌ای در مقابل انتخاب‌های دیگر انرژی الکتریکی از استقبال کمتری برخوردار است. این مخالفت‌ها که اغلب با درایت نیز صورت گرفته و در مقابل تولید انرژی هسته‌ای به صورت اعتقادی قوی در بسیاری از کشورهای باقی مانده است. با وجود این پیامد، واحدهای موجود قبل از آن که به طول عمر اسمی‌شان برسند تعطیل می‌شوند و عمر راکتورها رو به کم شدن است و در دراز مدت ظرفیت انرژی هسته‌ای کاهش می‌یابد.

نتایج پیش‌بینی ظرفیت تولید انرژی هسته‌ای توسط انجمن هسته‌ای جهان (WNA) برای هر کدام از سناریوها در شکل شماره ۶ نشان داده شده است. همه پیش‌بینی‌ها به همراه پیش‌بینی براساس گزارش‌های سال ۱۹۹۸ (خطوط منقطع) در این شکل آمده است.



شکل ۶ . مقایسه بین پیش‌بینی‌های آینده توان هسته ای بر اساس گزارش های سال های ۱۹۹۸ و ۲۰۰۱

در پایان سال ۲۰۰۰ ظرفیت هسته‌ای جهان معادل ۳۵۰ گیگاوات بوده است. در سناریو حالت مبنا انتظار می‌رود که این ظرفیت در سال ۲۰۱۰ به ۳۷۹Gwe برسد و در سال ۲۰۲۰ نیز از این مقدار تا مرز ۴۰۵Gwe افزایش یابد. از این آمار و ارقام نتیجه می‌شود که میانگین نرخ سالانه در حدود ۰/۷ درصد خواهد بود.

در سناریو حالت بالا، این ظرفیت در سال ۲۰۱۰ به ۴۱۴Gwe و در سال ۲۰۲۰ به ۴۸۷Gwe خواهد رسید. در سناریو حالت پایین نیز این ارقام به ترتیب ۳۵۳

جدول ۳ ظرفیت‌های هسته‌ای نصب شده و پیش‌بینی ظرفیت‌های آینده، ۲۰۰۰ الی ۲۰۲۰

منطقه	a۲۰۰۰ حالت مبنا	۲۰۰۵ (گیگاوات خالص)	۲۰۱۰	۲۰۱۵	۲۰۲۰
کشورهای صنعتی	۲۷۸/۱	۲۸۰/۳	۲۷۷/۳	۲۶۸/۴	۲۶۰/۶
ایالات متحده	۹۷/۵	۹۷/۷	۹۴/۳	۸۸/۸	۸۸/۰
دیگر کشورهای آمریکای شمالی	۱۱/۴	۱۵/۰	۱۵/۰	۱۵/۰	۵/۰
ژاپن	۴۳/۵	۴۴/۰	۴۷/۸	۵۰/۸	۵۳/۴
فرانسه	۶۳/۲	۶۲/۹	۶۲/۹	۶۲/۹	۶۴/۴
انگلستان	۱۲/۵	۱۱/۴	۹/۸	۸/۰۱	۴/۸
دیگر کشورهای آفریقای جنوبی	۵۰/۱	۴۹/۱	۴۷/۵	۴۲/۸	۳۴/۹
اروپای شرقی و شوروی سابق	۴۲/۵	۴۶/۲	۴۲/۶	۴۱/۵	۳۶/۷
اروپای شرقی	۱۰/۷	۱۱/۷	۱۰/۱	۱۰/۱	۱۰/۷
روسیه	۱۹/۸	۲۱/۷	۲۱/۳	۲۰/۳	۱۴/۸
اوکراین	۱۱/۲	۱۱/۲	۱۱/۲	۱۱/۲	۱۱/۲
دیگر کشورهای شوروی سابق	۲/۷	۱/۶	۰/۰	۰/۰	۰/۰
کشورهای در حال توسعه	۲۷/۴	۳۵/۹	۴۳/۳	۵۰/۶	۶۲/۰
چین	۲/۲	۶/۶	۹/۶	۱۱/۶	۱۶/۶
کره جنوبی	۱۳/۰	۱۵/۹	۱۶/۳	۱۹/۴	۲۲/۱
سایر کشورها	۱۲/۲	۱۳/۵	۱۷/۵	۱۹/۶	۲۳/۶
رشد بالا					
کشورهای صنعتی	۲۷۸/۱	۲۸۴/۸	۲۸۳/۱	۲۹۳/۱	۳۰۱/۵
ایالات متحده	۹۷/۵	۹۷/۷	۹۵/۴	۸۹/۹	۸۹/۱
دیگر کشورهای امریکای شمالی	۱۱/۴	۱۹/۳	۱۵/۰	۱۵/۰	۱۷/۰
ژاپن	۴۳/۵	۴۶/۷	۴۸/۷	۶۳/۸	۶۸/۸
فرانسه	۶۳/۲	۶۳/۲	۶۲/۹	۶۴/۴	۶۴/۴
انگلستان	۱۲/۵	۱۲/۳	۱۱/۱۰	۱۰/۶	۱۲/۴
دیگر کشورهای آفریقای جنوبی	۵۰/۱	۵۰/۱	۵۰/۱	۴۹/۵	۴۹/۹
اروپای شرقی و شوروی سابق	۴۴/۵	۴۹/۲	۵۰/۵	۵۱/۷	۵۵/۸
اروپای شرقی	۱۰/۷	۱۲/۵	۱۱/۹	۱۱/۱	۱۳/۰
روسیه	۱۹/۱۸	۲۲/۷	۲۳/۹	۲۶/۱	۲۶/۶/۲
اوکراین	۱۱/۲	۱۱/۲	۱۳/۱	۱۳/۱	۱۵/۰
دیگر کشورهای شوروی سابق	۲/۷	۲/۷	۱/۶	۱/۴	۱/۶
کشورهای در حال توسعه	۲۷/۴	۳۷/۹	۵۱/۶	۶۶/۶	۸۳/۰
چین	۲/۲	۷/۶	۱۱/۶	۱۸/۶	۲۰/۶
کره جنوبی	۱۳/۰	۱۶/۸	۱۹/۷	۲۱/۴	۲۶/۲
سایر کشورها	۱۲/۲	۱۳/۵	۲۰/۳	۲۶/۶	۳۶/۲
کل جهان	۳۴۹/۹	۳۷۱/۹	۳۸۵/۲	۴۱۱/۳	۴۴۰/۴
رشد کم					
کشورهای صنعتی	۲۷۸/۱	۲۷۳/۹	۲۶۴/۱	۲۳۹/۹	۲۱۷/۱
ایالات متحده	۹۷/۵	۹۷/۷	۹۴/۱	۸۶/۴	۸۵/۶
دیگر کشورهای امریکای شمالی	۱۱/۴	۱۱/۴	۱۱/۴	۱۰/۱	۱۰/۱
ژاپن	۴۳/۵	۴۴/۰	۴۶/۲	۴۲/۹	۳۸/۷
فرانسه	۶۳/۲	۶۲/۹	۶۲/۹	۶۱/۱	۵۳/۰
انگلستان	۱۲/۵	۱۱/۰	۸/۱	۴/۴	۱/۲
دیگر کشورهای آفریقای جنوبی	۵۰/۱	۴۶/۹	۴۱/۲	۳۵/۳	۲۸/۵
اروپای شرقی و شوروی سابق	۴۴/۵	۴۳/۳	۳۶/۷	۲۷/۹	۱۷/۲
اروپای شرقی	۱۰/۷	۱۰/۵	۱۰/۱	۱۰/۱	۷/۷
روسیه	۱۹/۸	۲۰/۴	۱۵/۵	۱۱/۲	۸/۶
اوکراین	۱۱/۲	۱۱/۲	۱۱/۲	۶/۷	۱/۰
دیگر کشورهای شوروی سابق	۲/۷	۱/۲	۰/۰	۰/۰	۰/۰
کشورهای در حال توسعه	۲۷/۴	۳۳/۰	۳۸/۷	۴۹/۸	۴۴/۵
چین	۲/۲	۶/۶	۸/۶	۹/۶	۱۰/۶
کره جنوبی	۱۳/۰	۱۴/۹	۱۶/۳	۱۸/۵	۲۰/۲
سایر کشورها	۱۲/۲	۱۱/۶	۱۳/۹	۱۴/۷	۱۳/۷

گیگاوات و ۳۰۹ گیگاوات خواهد بود.

علاوه بر نیروگاه‌های هسته‌ای تجاری، در حال حاضر در ۵۶ کشور، بیشتر از ۲۸۰ راکتور تحقیقاتی در حال کار وجود دارند و تعدادی نیز در حال ساخت هستند. این راکتورها دارای کاربردهای زیادی هستند. از کاربردهای این راکتورها می‌توان به تولید ایزوتوپ‌های صنعتی و پزشکی اشاره کرد؛ همچنین جنبه‌های تحقیقاتی و آموزشی این راکتورها نیز نباید نادیده گرفته شوند.

استفاده از راکتورها در نیروی دریایی، محدود به چندین ناوگان بزرگ می‌شود که در طول چهار دهه گذشته نقش مهمی را ایفا کرده‌اند، به طور مثال کاربرد این راکتورها در زیردریایی‌ها و کشتی‌های بزرگ را می‌توان عنوان کرد. هشت کشتی یخ‌شکن روسی که از راکتورهای هسته‌ای استفاده می‌کنند از این دسته‌اند و بیشتر کاربرد غیرنظامی دارند.

پیش‌بینی مصرف توان هسته‌ای

براساس پیش‌بینی‌های انجام شده برآورد می‌شود، ظرفیت توان هسته‌ای جهان در ۲۰ سال آینده اندکی افزایش یافته و از ۳۵۰ گیگاوات در سال ۲۰۰۰ به ۳۵۹ گیگاوات در سال ۲۰۲۰ برسد. انتظار می‌رود بیشترین رشد را کشورهای در حال توسعه آسیا، بویژه چین، داشته باشند. تخمین زده می‌شود تا سال ۲۰۲۰، در این مناطق ۱۷ نیروگاه جدید راه‌اندازی شوند. با این که در این تخمین‌ها تمدید احتمالی ادامه کار برخی از نیروگاه‌ها را که هم اکنون در امریکا و سایر کشورهای صنعتی مشغول به کار هستند، در نظر گرفته شده‌اند ولی به دلیل این که در کشورهای صنعتی، نیروگاه‌های جدید کمتری احداث خواهند شد، انتظار می‌رود تعداد زیادی از نیروگاه‌های موجود نیز بسته شوند، به نظر می‌رسد ظرفیت توان هسته‌ای جهان به طور قابل توجهی کاهش یابد.

در سال ۲۰۰۰، در حدود ۴۳۸ نیروگاه اتمی در ۳۰ کشور جهان در زمینه تولید الکتریسیته هسته‌ای فعال بوده‌اند که از این تعداد ۱۰۴ نیروگاه در امریکا، ۵۹ نیروگاه در فرانسه و ۵۳ نیروگاه در ژاپن مشغول به کار بوده‌اند، که در جدول ۱ آمده است.

همچنین در این سال تعداد ۶ راکتور جدید وارد شبکه شده و ۲ راکتور نیز بسته شدند. راکتورهای جدید، راکتور Angra۲ در برزیل، Temelin۱ در جمهوری چک، Kaigal, Rajasthan۳,۴ در هندوستان و Chasnupp۱ پاکستان است که در مجموع ظرفیتی برابر با ۳۰۶۵ مگاوات را به شبکه اضافه کردند. در سال ۱۹۹۹، فرانسه با ۷۶ درصد، بیشترین سهم را در تولید الکتریسته به وسیله توان هسته‌ای داشت که در شکل ۶ آمده است. همچنین در حدود ۴۰ درصد از تولید الکتریسیته کشورهای بلژیک، بلغارستان، فرانسه، مجارستان، لیتوانی، اسلوواکی، کره‌جنوبی و اوکراین به توان هسته‌ای وابسته است.

در سال ۱۹۹۹، سهم توان هسته‌ای از عرضه جهانی الکتریسیته، ۱۶ درصد بود. طبق پیش‌بینی‌های انجام شده این سهم در سال ۲۰۲۰، به ۱۲ درصد کاهش خواهد یافت، زیرا انتظار می‌رود کشورهای صنعتی از ساخت واحدهای جدید اجتناب کنند، در ضمن نیروگاه‌هایی که در دوران اوج توان هسته‌ای، یعنی دهه‌های ۷۰ و ۸۰ ساخته شده‌اند، به مرور از دور خارج خواهند شد.

انتظار می‌رود تمدید مجوزهای کاری نیروگاه‌های اتمی که اولین بار در سال ۲۰۰۰ در امریکا صورت گرفت در سایر کشورهای صنعتی نیز انجام شود. در بسیاری از کشورها، افزایش عمر عملکردی نیروگاه‌های هسته‌ای، چندان مرسوم نیست، ولی در امریکا، کمیسیون تنظیم توان هسته‌ای (NRC) باید با تمدید این مجوزها موافقت کند. در برخی کشورها، افزایش عمر عملکردی نیروگاه‌ها به عهده صاحب آن گذاشته می‌شود.

طبق برنامه‌ریزی‌های صورت گرفته، تا سال ۲۰۲۰، ظرفیتی معادل ۳۲ گیگاوات به ظرفیت اتمی ۲۳ گیگاواتی موجود در کشورهای در حال توسعه آسیا افزوده خواهد شد که ۱۴ گیگاوات از این افزایش ظرفیت به چین اختصاص خواهد یافت (جدول ۳). در حال حاضر، در سراسر جهان ۳۳ راکتور در دست ساخت هستند (شکل ۱۰)، که نیمی از آنها در کشورهای در حال توسعه آسیا هستند. از این تعداد ۸ واحد در چین، ۴ واحد در کره‌جنوبی و در هند و تایوان هر کدام ۲ واحد، در دست احداث هستند.

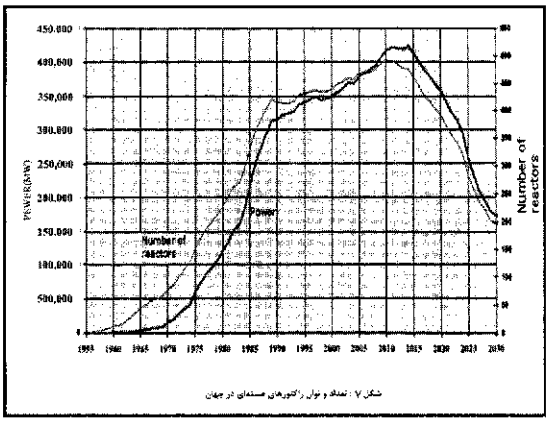
در حال حاضر در امریکای شمالی، آمریکای جنوبی واروپای غربی هیچ نیروگاه جدیدی در دست احداث نبوده و طرح ساخت آن نیز مطرح نشده است.

براساس پیش‌بینی‌های انجام شده در مورد دورنمای انرژی جهان در سال‌های آتی، (IEO۲۰۰۲) ظرفیت کلی جهانی در سال ۲۰۲۰، ۳۵۹ گیگاوات خواهد بود که ۹ گیگاوات بیشتر از پیش‌بینی حالت مبنا در سال ۲۰۰۱ برآورد شده است. ظرفیت هسته‌ای پیش‌بینی شده برای امریکا در سال ۲۰۲۰، براساس پیش‌بینی سال ۲۰۰۲، ۱۶ گیگاوات بیشتر است، زیرا انتظار می‌رود دارندگان اغلب نیروگاه‌های فعال اتمی در امریکا، به دنبال تمدید مجوز کاری هستند و این نیروگاه‌ها به کار خود ادامه خواهند داد.

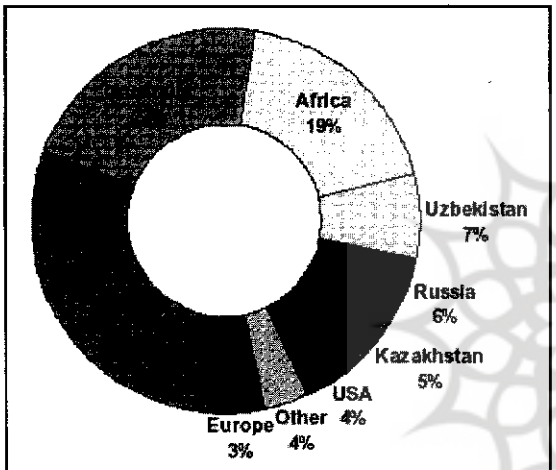
در بسیاری از کشورها، ساخت یک نیروگاه اتمی با شک و تردید بسیار همراه است و در بسیاری از موارد طرح ساخت نیروگاه پایان یافته ولی کار احداث آن یا به تأخیر افتاده و یا کاملاً متوقف شده است. کار ساخت برخی نیروگاه‌ها، ۴ سال به طول می‌انجامد ولی برای ساخت برخی دیگر بیش از یک دهه زمان لازم است.

اولین بار در دهه ۱۹۷۰، انرژی هسته‌ای به عنوان منبع اصلی تولید الکتریسیته مطرح شد. مصرف جهانی انرژی هسته‌ای از ۱۸۸ بیلیون کیلووات ساعت در سال ۱۹۷۳، به ۱۸۴۳ بیلیون کیلووات ساعت در سال ۱۹۸۹ رسید. در دهه ۱۹۹۰ میزان رشد مصرف انرژی هسته‌ای رو به کاهش گذاشت و انتظار می‌رود در حدود سال ۲۰۱۰ به پایین‌ترین میزان خود برسد. از سال ۱۹۷۳، در استرالیا، مجارستان، ایتالیا، مکزیک، هلند، سوئیس و امریکا هیچ سفارشی برای ساخت نیروگاه‌های جدید داده نشده است. تاکنون تنها، کشورهای اوکراین، سوئد، لیتوانی و آلمان با بسته شدن زود هنگام برخی و یا همه نیروگاه‌های اتمی خود موافقت کرده‌اند.

سایر کشورها سعی دارند وابستگی و اتکای خود را به انرژی هسته‌ای، با عدم ساخت نیروگاه‌های جدید و نیز بستن نیروگاه‌های قبلی کاهش دهند. اما هنوز بسیاری از کشورها بر این باورند که استفاده از انتخاب‌های دیگر برای تولید انرژی از آن چیزی که تصور می‌شود، سخت‌تر است. به عنوان مثال، سوئد که با بسته شدن نیروگاه Barseback خود در سال ۲۰۰۱ موافقت کرده بود، بستن نیروگاه Barseback۲ را تا سال ۲۰۰۳، به تعویق انداخت.



شکل ۷ : تعداد و توان راکتورهای هسته‌ای در جهان



شکل ۸ . تولیدات منطقه ای اورانیوم جهان، ۲۰۰۰

جدول ۴ شرکت‌های بزرگ تولیدکننده اورانیوم در جهان و سهم آنها از تولیدات در سال ۲۰۰۰

نام شرکت	تولیددرسال ۲۰۰۰	سهم‌درجهان
	(TU)	(درصد)
Cameco	6757	19
Cogema	5159	15
WMC	3816	11
ERA	3762	11
Rossing	2714	8
Navoi	2350	7
Priargunsky	2000	6
KAZATOMPROM	1740	5
Sub total	28298	81
World total	34734	100

ذخایر و اندوخته‌های شناخته شده در جهان برای تأمین احتیاجات راکتورهای بیش از مقدار مورد نیاز تا سال ۲۰۲۰ (زمان مورد نظر در این گزارش) است. همچنین برآورد شده است که بیش از ۱/۲ میلیون اورانیوم

جدول ۶. مقادیر تقریبی تولید و مصرف اورانیوم (۱۹۴۵ الی ۲۰۰۰)

	غرب	شرق	جهان
تولید (تن اورانیوم)	+۱۲۲۵۰۰۰	+۷۵۴۰۰۰	+۱۹۹۹۰۰۰
مورد نیاز راکتورها	-۱۰۰۸۰۰۰	-۱۳۰۰۰۰	-۱۱۳۸۰۰۰
کاربرد نظامی	-۲۶۴۰۰۰	-۴۵۷۰۰۰	-۷۲۱۰۰۰
صادرات و واردات	+۱۴۴۰۰۰	-۱۴۴۰۰۰۱	—
باقی‌مانده در انبارها	۱۷۷۰۰۰	۲۳۰۰۰	۱۴۰۰۰۰

که با هزینه کمتر از ۴۰ دلار بر کیلوگرم قابل بهره‌برداری است در جهان وجود دارد و مقدار اورانیوم قابل بهره‌برداری با هزینه کمتر از ۸۰ دلار بر کیلوگرم بیشتر از ۳ میلیون تن برآورد شده است. با نرخ مصرف فعلی و با فرض این که منابع ثانویه ثابت بمانند، منابع اورانیوم که در بالا به آنها اشاره شد برای حدوداً ۱۰۰ سال دیگر کافی خواهد بود. براساس پیش‌بینی‌های تقاضا تا سال ۲۰۲۰ انتظار می‌رود که این عدد به ۴۰ سال کاهش یابد.

منابع ثانویه

پیش‌بینی می‌شود، مجموع تولیدات اورانیوم جهان از سال ۱۹۴۵ به بعد چیزی در حدود دو میلیون تن اورانیوم باشد که ۱/۲ میلیون تن آن از معادن غرب و ۸۰۰ هزار تن آن نیز از معادن NIS، اروپای شرقی و چین بوده است. همچنین در جدول ۶ آمده است که از کل تولید اورانیوم جهان، چیزی در حدود ۱/۱۴ میلیون تن آن در راکتورهای غیرنظامی مصرف شده است. ۸۶۰ هزار تن اورانیوم باقی‌مانده که در نیروگاه‌های اتمی مصرف نشده است، یا در کاربردهای نظامی مصرف شده و یا این که به صورت ذخیره باقی مانده است. با توجه به این که مصارف نظامی اورانیوم حدوداً ۷۲۰ هزار تن بوده است، سطح ذخیره در انباره‌های جهان از اورانیوم طبیعی چیزی در حدود ۱۴۰ هزار تن است.

برای به دست آوردن موجودی انبارها، انجمن هسته‌ای جهان پرسشنامه‌هایی تهیه کرد که در این پرسشنامه‌ها، اطلاعاتی راجع به موجودی‌های انبارها به صورت صنعتی نگه داشته می‌شدند از انبارها خواسته می‌شد. به علاوه، اطلاعات موجود، در مواردی که نتایج پرسشنامه موجود و یا کافی نبود برای فراهم کردن نتایج دقیق به کاربرده می‌شدند. با توجه به داده‌های جدول، واضح است که کل موجودی‌های صنعتی غرب از اختلاف بین احتیاجات راکتورها و تولید اولیه در این دوره به دست نیامده است.

یکی دیگر از منابع ثانویه عرضه اورانیوم، بازیافت مواد شکاف‌پذیر هسته‌ای فرآورش شده است. از نظر تاریخی تأثیر آنها محدود به چندین هزار تن معادل اورانیوم در سال است. موادی که در گذشته در صنایع نظامی به شکل اورانیوم کمتر غنی شده که از اورانیوم غنی شده مورد استفاده در صنایع نظامی حاصل می‌شد، برای استفاده مورد بررسی قرار می‌گیرد.

به موجب توافق‌های خلع سلاح به بحث گذاشته شده به وسیله روسیه و آمریکا، تا سقف ۹۰۰۰ تن اورانیوم در سال باید تحویل داده شود، و به موجب توافق بین روسیه و امریکا تا سال ۲۰۱۳ این مواد می‌توانند به موجب یک سهمیه در حال افزایش از ۳۰۷۷ تن در سال ۲۰۰۱ به حداکثر ۷۹۹۰ تن در سال برای سال ۲۰۰۹ در امریکا به فروش برسند. به موجب توافق نامه‌ای در سال ۱۹۹۹، کمپانی‌های غربی (Cogema,Comco,Nuken) دارای حق انتخاب هستند که چیزی در حدود ۶۷ درصد از اورانیمی را که باید تحویل داده می‌شد را خریداری کنند.

میزان مواد حاصل از صنایع نظامی امریکا که اضافی اعلام شده و انتظار می‌رود که در بازار موجود باشد بسیار محدود است و تخمین زده می‌شود که معادل چیزی در حدود ۱۰۰۰ تن اورانیوم (سالیانه) در طول دوره پیش‌بینی باشد. همچنین انتظار می‌رود که در طول دوره تا ۲۰۲۰، اورانیوم جزئی غنی شده، اضافه برمقدار نظامی از روسیه و سپس ایالات متحده، یک فاکتور بحرانی در بازار باشد و پلوتونیم اضافی، تنها تأثیر محدودکننده داشته باشد. انجمن هسته‌ای جهان دو سناریو را توسعه و گسترش داده است که در جدول ۷ آمده است.

یکی دیگر از منابع ثانویه، اورانیوم تحلیل رفته است. این مواد تا سطح اورانیوم طبیعی دوباره غنی‌سازی می‌شود و در بازار جایگزین اورانیوم طبیعی می‌شود. به طور مثال این اورانیوم تحلیل رفته به نحوی غنی‌سازی می‌شود که محتوای U-235 چیزی در حدود اورانیوم طبیعی باشد.

همچنین تخمین زده می‌شود که جمع کل موجودی‌های اورانیوم تحلیل رفته در جهان، ۱/۳ میلیون تن باشد. جنبه‌های اقتصادی دوباره غنی‌سازی به محتوای U-235 تحلیل رفته در انبارها به رابطه بین هزینه اورانیوم طبیعی و سرویس‌های غنی‌سازی بستگی دارد.

روسیه دارای ظرفیت اضافی غنی‌سازی است و چندین سال است که اورانیوم تحلیل رفته سایر کشورها عمدتاً اروپا را نیز به عهده داشته است.

تردیدها در مورد مقدار ظرفیت اضافی موجود روسیه و موجودی‌های اورانیوم تحلیل رفته که باید دوباره غنی‌سازی شوند، ارزیابی ظرفیت فعلی روسیه برای تأمین بازار توسط این مواد را با مشکل مواجه می‌کند؛ البته به نظر می‌رسد این ظرفیت قابل ملاحظه باشد. با فرض اینکه، موادی که دارای عیار بالا هستند در ابتدا به کار برده شوند باز هم شک و تردیدهایی پیرامون توانایی روسیه برای تاءمین عرضه در سطوح بالا برای طولانی مدت وجود دارد.

عرضه ذخایر روسیه، آخرین عرضه منابع ثانویه محسوب می‌شود علاوه بر LEU[1] عرضه شده به غرب، بر طبق توافق HEU[2] بین دولت‌های روسیه و ایالات متحده، روسیه با بستن قراردادهای بلند مدت غنی‌سازی

جدول ۷. تأثیر HEU[1] بر بازار اورانیوم (تن اورانیوم)

سال	۲۰۰۱	۲۰۰۵	۲۰۱۰	۲۰۱۵	۲۰۲۰
سناریوی حالت بالا	۹۰۰۰	۹۰۰۰	۹۰۰۰	۹۰۰۰	۹۰۰۰
سناریوی حالت پایین	۳۰۷۷	۶۱۴۵	۷۶۹۰	۷۶۹۰	۷۶۹۰

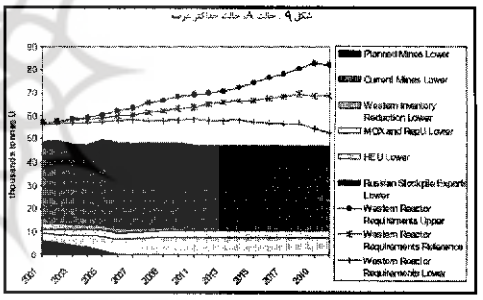
واحدهای با ارائه دهنده خدمات الکتریسیته (Utilities) و واسطه ها، LEU را عرضه می کند.

چندین سال است که هیچ مقدار قابل ملاحظه از اورانیوم طبیعی (مانند UF6U308) به غرب حمل نشده است. تخمین زده می شود که خوراک اورانیوم در این LEU چیزی در حدود ۸۰۰۰ تن اورانیوم در سال باشد.

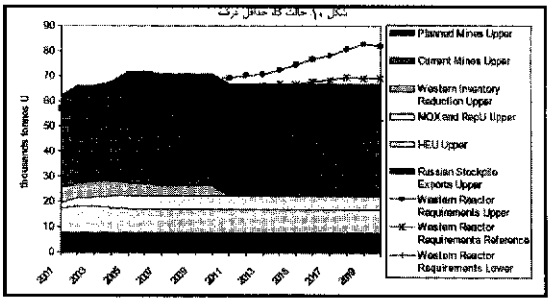
نتایج

چهار حالت توسط WNA توسعه یافته است که به همراه ۳ سناریوی تقاضا آورده شده و با هم مقایسه شده‌اند. با توجه به محدودیت منابع عرضه اولیه و ثانویه که قبلاً بحث شد، برای رسیدن به برخی نتایج بر مبنای امکان توسعه بازار اورانیوم برای ۲۰سال آینده محدودیت هایی وجود دارد. آن چه به نظر می رسد این است که این تحلیل ذاتاً استاتیکی است و به این که شرکا و رقبای بازار به سطح قیمت واکنش نشان خواهند داد و یا به کمبودها و پتانسیل ها هیچ اهمیتی داده نشده است.

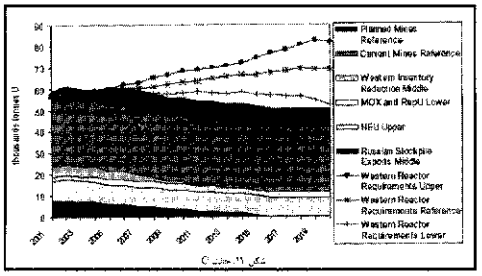
شکل ۹حالت حداکثر عرضه را نشان می‌دهد و سناریوهای بالاترین مقدار عرضه منابع اولیه و ثانویه را در نظر گرفته است در صورتی که شکل ۱۰ بر خلاف شکل ۹، سناریوی‌های عرضه پایین را در نظر گرفته است. هر کدام از این حالات حدی، غیرقابل تداوم هستند و در طول زمان برای حفظ توازن در بازار، یکی یا بیشتر از پارامترها در بازار اصلاح خواهند شد. در حالت اول، تقاضای بازار کمتر از مقدار عرضه شده است. به همین دلیل در این حالت قیمت‌های تولید ممکن است تعیین کنند که کدام یک از منابع عرضه باید کاهش یابند و یا این که توسعه معادن جدید به تعویق افتد.



در حالت حداقل عرضه احتمالاً Inventories Utility تا زمان تولید جدید برای توازن بازار مصرف می‌شوند و این احتمالاً به این مفهوم خواهد بود که معادن در حال حاضر در ظرفیت بالاتر کار خواهند کرد، شبیه حالت حداکثر عرضه، اما تولید از معادن جدید نیز همچنان شروع خواهد شد.



سناریوهای مختلف زیادی می توانند بر مبنای تغییر منابع کلیدی عرضه در نظر گرفته شوند. یک تغییر و تنوع ممکن در شکل ۱۱ نشان داده شده است که باید این حالت را به عنوان حالت بسیار واقع بینانه در نظر گرفت، اما می توان گفت که این یکی از آن تعداد بیشمار حالاتی بوده است که می توانست به وقوع بپیوندد.



در این حالت فرض شده است که شرایط و موقعیت عرضه شامل حالت مبنا برای تولید از هر کدام معادن موجود و طرح‌ریزی شده باشد. در این سناریو، سناریوی حداقل عرضه برای عرضه ذخایر روسیه در نظر گرفته شده است و بر طبق این سناریو این ذخایر به تدریج کاهش یافته و در سال ۲۰۱۵ به اتمام خواهد رسید. این حالت رتبه و میزان وسیع تری از توان بازار در کوتاه مدت را نشان می دهد، اما به دلیل اینکه عرضه ثانویه به بازار از این سال به بعد وجود نخواهد داشت، عرضه از سال های ۲۰۰۹ به بعد احتمالاً پایین تر از تقاضا قرار خواهد گرفت (در همه حالات).

در نتیجه، اگر همه منابع عرضه اولیه و ثانویه را با هم در نظر بگیرد می توان پیشنهاد کرد که بازار عرضه سوخت هسته‌ای، سال های بیشتری را در ۲۰ سال آینده جوابگوی بازار مصرف خواهد بود و هر چه مقدار منابع عرضه ثانویه بیشتر باشد احتیاج به تولید منابع اولیه کاهش خواهد یافت، بنابراین سرمایه گذاری های جدید کاهش خواهد یافت.

مزیت مهم صنعت هسته‌ای در جهان، در کاهش ذخایر هسته‌ای نظامی است، با این حال برای این صنعت متکی بودن به یک منبع عرضه به طور وسیع و برای تأمین احتیاجات سوخت خطرات و ریسک‌هایی وجود دارد که عمدتاً هنگامی که بیشتر این مواد از منابع ثانویه تأمین می شوند در دسترس بودنشان، بیشتر تحت تأثیر جنبه‌های سیاسی آن است نه اقتصاد این منابع. کاهش این منابع به هر دلیل که باشد، منجر به ایجاد شکستگی هایی در منحنی های عرضه خواهد شد. صاحبان انبارهای تجاری ممکن است که برای تجارت شان در زمان های کوتاه بی‌میل و مردد باشند. باید به این نکته نیز توجه شود که راه‌اندازی تسهیلات و وسایل تولید منابع اولیه چندین سال طول خواهد کشید.

به رغم چالش هایی که صنعت انرژی هسته‌ای طی دهه های گذشته داشته است، واقعیت های موجود درمورد محدودیت منابع فسیلی و همچنین افزایش نگرانی ها در مورد گسترش گازهای گلخانه‌ای و گرم شدن جو کره‌زمین نشان می دهد که در قرن حاضر گسترش استفاده از رهیافت انرژی اتمی برای تأمین انرژی الکتریکی کشورهای مختلف اجتناب ناپذیر خواهد بود. توسعه پایدار ایجاب می کند که محیط‌زیست تخریب نشده و منابع نابود نشوند. در این راستا با توجه به پیشرفت هایی که در توسعه تکنولوژی نیروگاه های هسته‌ای به وجود آمده است، در مورد کشورهایی که قبلاً به این تکنولوژی دست یافته‌اند، استفاده از یک رویکرد در مقایسه با سایر گزینه ها از نظر اقتصادی و زیست محیطی مقرون به صرفه خواهد بود.

*مشاور و راهنما:

-مهندس افشین جوان

-مهندس بهزاد عمرانی

پی نوشت:

۱- Low Enrichment Uranium

۲- High Enrichment Uranim