نگاهی به منابع تأمین برق و آثار فاجعه فوکوشیما در سیاستگذاری‌های هسته‌ای جهان

کد موضوعی: ۳۱۰
شماره مسلسل: ۱۰۸۷۲
تیرماه ۱۳۹۰
دفتر: مطالعات انرژی، صنعت و معدن

به‌نام خدا

فهرست مطالب

چکیده ۱
مقدمه ۱
۱. منابع اولیه انرژی برای تولید برق ۲
۲. محدودیت‌های منابع اولیّه انرژی ۳
نتیجه‌گیری ۲۱
منابع و مآخذ ۲۳

نگاهی به منابع تأمین برق و آثار فاجعه فوکوشیما در سیاستگذاری‌های هسته‌ای جهان

چکیده

مصرف انرژی در جهان به‌طور فزاینده‌ای روبه افزایش است. بیشتر شدن جمعیت جهان و روند رشد اقتصادی کشورها، نیازهای انرژی را افزایش داده است. درحال حاضر، ایجاد تنوع در منابع تأمین انرژی به‌منظور دستیابی به توسعه پایدار مورد توجه همگان قرار گرفته است. در سال ۱۹٤۸، استفاده از انرژی هسته‌ای به عنوان یکی از منابع تولید برق در روسیه معرفی و بعدها به اصلی‌ترین منبع تولید برق در برخی از کشورهای جهان تبدیل شد. به واسطهٔ گسترش و اشاعهٔ این منبع انرژی برای تولید برق فجایع و حوادث عظیمی نیز به وقوع پیوست. از جملهٔ این فجایع می‌توان به چرنوبیل، تری مایل‌آیلند و فوکوشیما اشاره کرد. پیامدهای ناشی از این‌گونه حوادث ادامه استفاده از این منبع انرژی و یا قطع تولید برق با به کارگیری از این منبع را در تعدادی از کشورها در هاله‌ای از ابهام فرو برد.

در واکنش به رخدادهای هسته‌ای کشورهای جهان رویکردهای متفاوتی اتخاذ کردند. گروهی از کشورها بر تولید و ساخت راکتورهای هسته‌ای افزودند و بهره‌گیری از این منبع رشد بیشتری یافت. تعداد دیگری از کشورها به‌عنوان نمونه آلمان بالعکس به تعطیلی راکتورها پرداختند، اما برخی دیگر از دولت‌ها به بررسی و افزایش ایمنی راکتورهای هسته‌ای پرداختند. گروهی دیگر نیز تحت نظارت و بازرسی آژانس بین‌المللی انرژی هسته‌ای و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین به فعالیت‌های هسته‌ای و تولید انرژی ادامه می‌دهند.

مقدمه

رابطه بین مصرف انرژی و رفاه و پیشرفت عمومی بشر ناگسستنی است. همواره نیاز به انرژی همگام با پیشرفت‌ها در جهان بیشتر می‌شود و به عبارت ساده‌تر، استفاده از انرژی فراهم‌کننده این گونه امکانات وسیع برای بشر بوده است. جامعه بشری مقهور طبیعت بوده و تا آغاز قرن هفدهم میلادی دسترسی او به انرژی در سطح بسیار پایین و حداکثر استفاده از فضولات حیوانی و چوب و غیره بوده است.

رفته‌رفته با استفاده از انرژی، سبک زندگی بشر متحول شد و به سطح امروزی درآمد و در این میان نقش استفاده از انرژی برق بی‌بدیل است چون از انرژی برق برای تمام مصارف متصور کنونی می‌توان بهره برد و به همین دلیل است که مصرف انرژی برق در جهان امروز در حال افزایش است و تمام کشورهای دنیا در صدد هستند که برای رفع نیاز این انرژی برتر تمام کوشش خود را به کار گیرند.

ولی متأسفانه اغلب کشورهای دنیا برای سرمایه‌گذاری در صنعت برق با کمبود منابع مالی مواجه هستند و به‌جز چند کشور انگشت‌شمار اغلب ممالک دنیا از کمبود این انرژی رنج می‌برند. حتی کشور پیشرفته‌ای مانند ژاپن هم بعد از واقعه سونامی در فوکوشیما با این کمبود مواجه شد و تدابیری برای جبران این کمبود اتخاذ کرد که آموزنده است.

در این گزارش سعی شده است ضمن اشاره به منابع اولیه تبدیل انرژی به برق و بررسی جایگاه بی‌بدیل برق و روش‌های تأمین آن در جوامع متعدد با نگاهی بر فاجعه فوکوشیما به جایگاه انرژی هسته‌ای در تولید برق در کشورهای دارنده راکتور هسته‌ای پرداخته و برخوردهای متعدد کشورها با این منبع انرژی پس از این واقعه و وقایع پیش از فوکوشیما اعم از چرنوبیل وتری مایل آیلند و غیره مورد مطالعه قرار گیرد.

۱. منابع اولیه انرژی برای تولید برق

در حال حاضر، مصرف سرانه برق در کشورهای عضو سازمان توسعه همکاری اقتصاد اروپا[1] به طور متوسط ۸۶۰۰ کیلووات ساعت است که این میزان ۱۷۰ برابر انرژی برقی است که در آفریقا مصرف می‌شود و تقریباً ٤ برابر مصرف سرانه برق در ایران است. این ناهمگونی مصرف انرژی در میان کشورهای گوناگون جهان بسیار چشمگیر است.

در واقع سرانه مصرف انرژی «به‌خصوص برق» در یک جامعه یکی از معیارهای میزان رشد آن جامعه است ولی در دهه‌های اخیر با افزایش روز به روز مصرف برق در جهان چنین به نظر می‌رسد که منابع انرژی اولیه متداول جوابگوی نیاز جامعه بشری نخواهد بود. به طور کلی منابع اولیه برای تبدیل به انرژی برق عبارتند از:

۱. زغال‌سنگ، ۲. نفت، ۳. گاز، ٤. پتانسیل آبی، ٥. انرژی خورشیدی، ٦. انرژی زمین‌گرمایی، ۷. انرژی بیو گاز، ۸. انرژی اتمی، ۹. انرژی جزر و مد.

منابع اولیه انرژی را می‌توان به سه گروه تقسیم کرد:

1. OECD

• گروه اول

مواد سوختنی فسیلی شامل زغال‌سنگ، نفت و گاز طبیعی که با سوزاندن این مواد، تولید گاز CO_2 در کره زمین به شدت بالا می‌رود و مشکلات زیست‌محیطی فوق‌العاده‌ای به وجود می‌آورد. گرمایش زمین یکی از آثار مخرب ازدیاد این گاز در جو زمین است، ضمن آنکه از گاز و نفت می‌توان مشتقات سودمند بسیار زیادی تهیه کرد در نتیجه باید قبول کرد استفاده از این منابع برای تولید برق تا اندازه‌ای توجیه ندارد.

• گروه دوم

منابع انرژی تجدیدشونده اعم از انرژی خورشیدی، باد، جزر و مد، پتانسیل آب و زمین گرمایی که بدون دخالت انسان و در طبیعت، خود به خود تجدید می‌شوند و چون در چرخه طبیعت هستند هیچ‌گونه آلودگی خاصی ایجاد نمی‌کنند «به‌جز ایجاد سدها». ولی با توجه به آمار و اطلاعات موجود میزان انرژی تولیدی آنها نیازهای بشر را مرتفع نمی‌کند.

• گروه سوم

مواد سوختی هسته‌ای مانند اورانیوم و پلوتونیوم که انرژی عظیم و شگفت‌آوری را برای بشر به ارمغان می‌آورند. لازم به ذکر است که با سوختن یک مترمکعب گاز، ٤-٣/٥ کیلووات‌ساعت برق تولید و یا با یک کیلوگرم زغال‌سنگ، حداکثر ۳ کیلووات‌ساعت برق تولید می‌شود. درحالی که، با یک کیلوگرم اورانیوم می‌توان ۲۳ میلیون کیلووات‌ساعت برق تولید کرد. مقایسه اعداد نشان‌دهنده اختلاف توان انرژی در این منابع است.

۲. محدودیت‌های منابع اولیّه انرژی

۱-۲. منابع فسیلی

۱-۱-۲. گاز

میزان گاز موجود در دنیا در حال حاضر، معادل ۱۸۲ تریلیون مترمکعب برآورد می‌شود و منابع شناخته شده گاز در ایران دارای ظرفیت ۲۸ تریلیون مترمکعب است. (نسبت ذخایر تولید بیش از صد سال است؛ بدیهی است میزان مصرف به شدت افزایش یافته؛ بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که گاز موجود نیازهای در حدود هفتاد سال آینده جهان را تأمین می‌کند ولی بالاخره این منبع فناپذیر است).

لذا با توجه به مصرف فعلی گاز در جهان و استفاده این ماده در صنایع پتروشیمی استفاده از آن برای تولید برق شاید در ایران توجیه داشته باشد ولی در سایر مناطق دنیا کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲-۱-۲. نفت

نفت یک ماده هیدروکربنی است که دارای کاربردهای متعدد است؛ ولی ذخایر آن هم تمام شدنی است. حجم کل ذخایر کشف شده سطح جهان ۱۱۵۰ میلیارد بشکه نفت است که با فرض ادامه مصرف فعلی طول عمر میادین نفت ٤٠ سال بیشتر نخواهد بود و نفت هم بالاخره تمام خواهد شد. ذخایر نفت ایران ۱۳۸ میلیارد بشکه نفت (۱۱/۲ درصد جهان) که عمر این ماده با میزان تولید فعلی نفت برای ۹۰ سال در این کشور موجود است. ولی با توجه به افزایش رشد مصرف احتمالاً این زمان کاهش پیدا خواهد کرد. میزان کاهش به رشد مصرف بستگی دارد و اگر رشد مصرف کنترل نشود طول عمر منابع به کمتر از ٤٠-٥٠ سال کاهش خواهد یافت.

۳-۱-۲. زغال‌سنگ

زغال‌سنگ یکی از منابع مهم انرژی اولیه در دنیا و اولین سوخت فسیلی است که بشر از آن استفاده کرد. در قرن هفدهم استفاده از زغال‌سنگ در کوره ذوب آهن، شروع دنیای صنعتی را نوید داد. براساس آمار ارائه شده در مؤسسه جهانی زغال‌سنگ، ۲۷ درصد انرژی اولیه جهان مربوط به زغال‌سنگ است و ٣٦ درصد برق تولیدی جهان هم از زغال‌سنگ بهره می‌گیرد. سهم نفت به صورت انرژی اولیه در سند انرژی جهانی ٤٠ درصد، گاز ۲۳ درصد، انرژی هسته‌ای ۷ درصد و انرژی آبی ۳ درصد است که ۹ درصد نفت، ١٦ درصد گاز، ۱۷ درصد انرژی هسته‌ای و ۲۲ درصد انرژی آبی از برق جهان را تولید می‌کنند.

میزان زغال‌سنگ در جهان معادل ۹۰۹ میلیارد تن است که با توجه به میزان مصرف فعلی این ذخیره برای ۳۰۰ سال دنیا کافی است. ولی گرم شدن زمین و ایجاد باران‌های اسیدی از عواقب مصرف زغال‌سنگ است.

متأسفانه میزان ذخایر زغال‌سنگ ایران در حدی نیست که بتوان از آن در حد وسیع برای تولید برق استفاده کرد. مطالعاتی در طبس و زرند کرمان برای نصب یک نیروگاه با توان تولیدی ۱۰۰۰ مگاوات صورت گرفته است، اما شواهد نشان می‌دهد که برای تولید برق و یا سایر مصارف انرژی (گرمایش، صنعتی، حمل‌ونقل و غیره)، ایران منحصراً وابسته به نفت و گاز است.

۲-۲. منابع تجدیدپذیر

۱-۲-۲. انرژی خورشیدی

به طور متوسط خورشید در هر ثانیه $۱/۱ \times ۱۰^{۲۰}$ کیلووات ساعت انرژی ساطع می‌کند. از کل انرژی منتشر شده توسط خورشید فقط در حدود ٤٧ درصد آن به سطح زمین می‌رسد. اگر انسان

می‌توانست حتی کمتر از یک هزارم این انرژی را مهار کند، نیاز بشر به انرژی به‌طور کامل حل می‌شد. اما این انرژی در کل سطح زمین پخش می‌شود. چگالی توان انرژی تابشی خورشید به زمین در حدود ۱/٤ کیلووات ساعت بر مترمربع است که چگالی پایینی است و جمع‌آوری این انرژی پخش شده بسیار دشوار است و موجب می‌شود که یک نیروگاه خورشیدی فضای زیادی را اشغال کند. در خوشبینانه‌ترین برآوردها یک نیروگاه خورشیدی حرارتی برای هر مگاوات توان به ۱۸۵۰۰۰ مترمربع و در نیروگاه فتوولتایی به ۳۷۵۰۰ مترمربع زمین نیاز است.

۱-۱-۲-۲. انواع نیروگاه خورشیدی

الف) نیروگاه فتوولتایی

نیروگاه فتوولتایی از سلول‌های فتوولتایی تشکیل شده است که تابش نور بر آنها تولید جریان برق می‌کند. به همین دلیل این نیروگاه فقط در روز کار می‌کند.

همانطور که گفته شد در این نوع نیروگاه به مکان وسیعی نیاز است و مسئله کنترل واحدهای بزرگ آنها تاکنون حل نشده است. به‌علاوه، این واحدها به تکنولوژی نیمه‌هادی و مواد گوناگونی چون منیزیم و لیتیم وابسته‌اند، که اگر زمانی قرار باشد از این نیروگاه‌ها بطور گسترده استفاده شود، این مواد به صورت مواد استراتژیک بسیار مهم در می‌آیند و همان مشکلی که امروز در مورد سوخت فسیلی و هسته‌ای وجود دارد درخصوص این مواد نیز ایجاد خواهد شد.

امروزه کاربرد نیروگاه فتوولتایی در واحدهای کوچک مثل روشنایی بزرگراه‌ها، تلمبه‌های کشاورزی، منازل و روستاهای دورافتاده (مثلاً در وسط کویر) و برای عشایری است که در یکجا ساکن نیستند. برق حاصل از این نیروگاه‌ها و همچنین نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی خیلی گران است؛ بنابراین، جز در مواردی که چارهٔ دیگری نباشد، مقرون به صرفه نیستند.

چون هنوز ذخیره‌سازی برق در سطح بزرگ عملی نیست، نمی‌توان برق یک نیروگاه خورشیدی بزرگ در طی روز را برای مصرف شب ذخیره کرد. از طرفی، نیروگاه‌های خورشیدی حرارتی بزرگ که به شبکه وصل باشند باید در شب برای تولید برق، گاز بسوزانند وگرنه در شب تبدیل به مصرف‌کننده‌هایی مزاحم در شبکه خواهند شد، مثلاً اگر نیروگاهی خورشیدی در شرایطی فوق‌العاده خوب یعنی ۹ ساعت آفتاب در روز کار کند در ۱۵ ساعت دیگر باید گاز بسوزاند. یعنی در بهترین شرایط هنوز ٦۲/۵ درصد انرژی آن از گاز تولید می‌شود پس باز به منابع فسیلی وابستگی وجود دارد. همچنین ادامهٔ کار انواع نیروگاه‌های خورشیدی به وضعیت آب و هوای محیط بستگی دارد و با ابری شدن هوا یا ناملایمات جوی کیفیت کار به شدت پایین می‌آید.

در سال ۱۹۷۵ برآورد مؤسسه بین‌المللی تحلیل سیستم‌های کاربردی (I.I.A.S.A) نشان می‌داد که حتی با تخمین‌های خوشبینانه نیز انرژی خورشیدی در سال ۲۰۰۰ کمتر از یک درصد و در سال

۲۰۳۰ کمی بیش از یک‌ونیم درصد مصرف انرژی جهانی را تأمین خواهد کرد. در بهترین حالت با حداکثر سرمایه‌گذاری قرار است میزان تولید از این منابع در سال ۲۰۵۰ تا ۲۰ درصد برسد.

کشورهای گوناگون همانند آمریکا، فرانسه، آلمان، روسیه و غیره، در این زمینه فعالیت بسیاری انجام داده‌اند. امروزه بزرگترین نیروگاه خورشیدی جهان، نیروگاه کرامر جانکشن[1] با قدرت ۳۵۲ مگاوات در آمریکاست. آلمان نیز در سال ۱۹۹۳، اولین خانه مستقل خورشیدی را در فرایبورگ[2] با صرف ۵ میلیون مارک ساخت.

چنین به نظر می‌رسد که در ایران استفاده از انرژی خورشیدی در واحدهای کوچک و برای مناطق محروم کویری و عشایر که امکان کشیدن خط انتقال برق از شبکهٔ سراسری به آنها نیست، مناسب باشد.

احتمالاً هم در سال‌های آینده خانه‌ها و مزارع خورشیدی، اتومبیل‌های خورشیدی، دستگاه‌های آب شیرین‌کن و تصفیهٔ آب خورشیدی در سطحی کوچک در نقاط آفتابی جهان متداول شود. البته طرح‌های بسیاری برای استفاده از انرژی خورشیدی در جهان مورد بررسی است که بسیاری از آنها جنبهٔ علمی تخیلی دارند. مثل طرح دریافت انرژی نور خورشید در فضا به‌وسیله ماهواره‌هایی در مدار زمین و انتقال آن انرژی به‌صورت امواج میکروویو به زمین و غیره که بعید به نظر می‌رسد حتی در نیمه اول قرن بیست‌ویکم هم قابل اجرا باشند.

طرح‌هایی نیز برای تولید هیدروژن با انرژی خورشیدی وجود دارد، ولی، به‌خاطر طبیعت انفجاری هیدروژن، هنوز به مرحله اجرای کامل در نیامده است.

در خاورمیانه، رژیم صهیونیستی پیشگام استفاده از انرژی خورشیدی بوده و اخیراً کشور عمان نیز به کارهای جالبی در این زمینه دست زده است که از آن جمله تلفن‌های خورشیدی و چراغ‌های خیابانی است که با انرژی خورشیدی کار می‌کنند.

ب) نیروگاه خورشیدی حرارتی

تأسیساتی که با استفاده از آنها انرژی جذب شده حرارتی خورشید به الکتریسیته تبدیل می‌شود نیروگاه حرارتی خورشیدی نامیده می‌شود؛ این تأسیسات براساس انواع متمرکزکننده‌های موجود و برحسب اشکال هندسی متمرکزکننده‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند:

- نیروگاه‌هایی که گیرنده آنها آینه‌های سهموی ناودانی هستند.
- نیروگاه‌هایی که گیرنده آنها در یک برج قرار دارد و نور خورشید توسط آینه‌های بزرگی به نام هلیوستات به آن منعکس می‌شود (دریافت‌کننده مرکزی).

1. Kramer Junction Solar Electric Generating Station
2. Fribourg

- نیروگاه‌هایی که گیرنده آنها بشقابی سهموی (دیش) است.

ج) نیروگاه توربینی خورشیدی

در نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی وظیفه اصلی بخش‌های خورشیدی تولید بخار مورد نیاز برای تغذیه توربین‌ها است یا به عبارت دیگر می‌توان گفت که این نوع نیروگاه‌ها شامل دو قسمت هستند:

- سیستم خورشیدی که پرتوهای خورشید را جذب کرده و با استفاده از حرارت جذب شده تولید بخار می‌کنند.
- سیستمی موسوم به سیستم سنتی که همانند دیگر نیروگاه‌های حرارتی، بخار تولید شده را توسط توربین و ژنراتور به الکتریسیته تبدیل می‌کند.

۲-۲-۲. انرژی باد

استفاده از آسیاب بادی و کشتی بادبانی از هزاران سال پیش معمول بوده است. حدود ۲۰۰ سال قبل از میلاد مسیح ایرانیان اولین آسیاب بادی را ساختند. در قرن ۱۲ و ۱۳ میلادی آسیاب بادی به اروپا راه یافت و اروپاییان و به دنبال آنها، آمریکایی‌ها سال‌های متمادی از آن استفادهٔ بسیار کردند. روش‌های جدید تولید انرژی در قرن اخیر آنها را کنار زد و اکنون در مقابل مسئله بحران انرژی مجدداً توجه به انرژی باد جلب شده است.

در فاصله سال‌های ۱۸۸۰ تا ۱۹۳۰ حدود ٦/٥ میلیون آسیاب بادی در آمریکا مشغول کار بود و هنوز هم تعداد زیادی توربین بادی در آمریکا کار می‌کنند، اما با ایجاد شبکهٔ برق سراسری توربین‌های بادی مولد برق برچیده شد. در نیمه اول قرن حاضر، آمریکا و دانمارک دست به تلاش زیادی در زمینه بهره‌برداری از انرژی باد زدند. در دانمارک سال‌های بین دو جنگ و پس از جنگ جهانی دوم تا سال ۱۹٦۰ مولدهای بادی برق کوچک به شبکه سراسری وصل بودند و در دهه ٦۰ به دلایل اقتصادی از ادامهٔ کار آنها ممانعت به عمل آمد.

اکنون در دانمارک توربین بادی مستقر در دریاها بیشتر مورد توجه قرار گرفته و در نظر گرفته شده که ۱۰ درصد الکتریسیته مورد نیاز این کشور از طریق باد تأمین شود. در سال ۱۹۹۱، پارلمان هلند نیز ساخت ۲۰۰۰ توربین بادی را برای تولید برق تصویب کرد که در صورت احداث باید تا ۱۰۰۰ مگاوات برق تولید کند.

در انگلستان، آلمان، روسیه و فرانسه نیز بعد از جنگ جهانی دوم مولدهای بادی چندصد کیلوواتی ساخته شده ولی برای تولید انرژی بیشتر از باد هنوز پیش‌بینی صورت نگرفته است.

محدودیت‌های استفاده از باد در نیروگاه‌های بادی عبارتند از:

۱. نیروگاه بادی حتماً باید در نقاط بادخیزی که باد دائم دارند نصب شوند وگرنه در لحظات

نبود باد تبدیل به مصرف‌کننده در شبکه خواهند شد.

۲. برق تولیدی توسط این نیروگاه‌ها گران‌تر[۱] از نیروگاه‌های معمولی است.

۳. واحدهای تولید برق بادی ساخته شدهٔ فعلی کوچک بوده و یکی از نکات مهم در رشد صنعتی، جایگزینی واحدهای کوچک با واحدهای بزرگ است.

٤. مشکل ایمنی این نیروگاه‌ها در مقابل تغییرات جوی و طوفان نیز مسئله مهمی است به خصوص اینکه دستگاه‌ها در نقاط بادخیز و دارای هوای متلاطم نصب می‌شوند.

٥. مسائل ایمنی و پایداری شبکه‌های برق، برای اتصال توربین‌های بادی به شبکه، هنوز حل نشده است.

٦. این نیروگاه‌ها نیز به نوبه خود می‌توانند موجب مشکلات زیست‌محیطی شوند. برای مثال، در کالیفرنیا و ویلز انگلستان پره‌های عظیم توربین‌های بادی پرندگان را قتل عام می‌کنند. بنابراین، دست‌کم در مناطقی که در مسیر مهاجرت سالیانه پرندگان مهاجر قرار دارند، باید از نصب چنین توربین‌هایی اجتناب شود.

در مجموع در دو سه دههٔ آینده باد هم نمی‌تواند جوابگوی بخش عمده‌ای از نیاز بشر باشد هرچند که هواداران آن تبلیغ بسیاری می‌کنند. در ایران نیز منجیل و سیستان و کوه‌های بینالود در خراسان از شدت وزش باد خوبی برخوردارند و باید مناطق دیگر هم مورد مطالعه قرار گیرند، اما حتی تأمین چند درصد از انرژی مصرفی کشور از این روش را هم نمی‌توان به حساب آورد. ولی موارد کاربردی مفید برای انرژی باد در کشور وجود دارد، مثل توربین بادی برای مزارع و آبکشی از چاه، آبیاری مراتع و آبخور دام و برای تأمین آب وحوش در مناطق حفاظت شده که این مورد در پارک ملی کویر به اجرا در آمده است. البته موارد ذکر شده کاربردهای کوچکی هستند و گرهی از مسئله انرژی کشور نمی‌گشاید.

۳-۲-۲. انرژی زمین‌گرمایی

سابقهٔ استفاده از این انرژی به قرن‌ها پیش برمی‌گردد. مثلاً رومیان قدیم از آن برای گرم کردن حمام‌ها استفاده می‌کردند. در بعضی جزایر اقیانوس آرام نیز مردم از آب داغ و بخار زیرزمین برای پخت‌وپز و گرم کردن منازل خود استفاده می‌کردند. همچنین صدها سال قبل در ایتالیا و فرانسه استفاده از چشمه‌های آب گرم برای گرم‌سازی منازل در روستاها معمول بوده است.

اکنون کشورهایی چون آمریکا، روسیه، نیوزیلند، ژاپن، السالوادور، مکزیک، فیلیپین، ایسلند، ایتالیا، فرانسه و مجارستان از این انرژی استفاده می‌کنند.

---

۱. در حدود ۱۳۰۰ ریال به‌ازای هر کیلووات ساعت

در حال حاضر، حدود ۲۰ کارخانه تولید برق زمین‌گرمایی در جهان مشغول به کار است که جمع تولید انرژی آنها حدود ۱۵۰۰ مگاوات است. ایتالیا کشور پیشگام در این زمینه است که برای راه‌آهن برقی خود از این انرژی استفاده کرده و اکنون در نزدیکی شهر پیزا[1] حدود ۶۰۰ مگاوات برق از این راه تولید می‌کند. هزینهٔ برق تولید شده از این طریق، با هزینه برق نیروگاه‌های فسیلی و هسته‌ای قابل رقابت است و آلودگی زیست‌محیطی ناشی از آن بسیار کم است، اما از آنجایی که بهره‌برداری از انرژی زمین‌گرمایی فقط در نقاط خاصی که منبع گرما به سطح زمین نزدیک باشد،[2] میسر است؛ مقدار انرژی زمین‌گرمایی حاصل شده محدود است. انرژی تمام میدان‌های زمین‌گرمایی شناخته شده در حدود ۱،۰۰۰،۰۰۰ مگاوات برآورد می‌شود. در ایران انرژی زمین‌گرمایی منطقه البرز و آذربایجان حدود ۴۰۰ مگاوات تخمین زده شده است. بهره‌برداری از انرژی زمین گرمایی در جهان و استفاده از این انرژی مناسب مقرون به صرفه به‌نظر می‌رسد، به‌نظر می‌رسد باید تلاش کرد تا با به کارگیری تجارب کشورهای فعال در زمینهٔ انرژی زمین‌گرمای در نواحی اطراف دماوند و سبلان و هر نقطه مناسب دیگر از این منبع انرژی استفادهٔ بهینه کرد.

۲-۲-۴. انرژی جزر و مد

استفاده از انرژی جزر و مد آب دریاها فقط در چند نقطه از جهان که اختلاف ارتفاع جزر و مد خیلی زیاد است از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است، از جمله بخش‌هایی از کانال مانش، آب‌های ساحلی آمریکای شمالی، استرالیا و غیره که حداکثر ظرفیت ممکن تولید جهانی آن در این مناطق حدود ۲۰ هزار مگاوات تخمین زده شده است (حدود دو برابر مصرف کشور هلند). بنابراین، منبع حائز اهمیتی برای انرژی جهان به حساب نمی‌آید. اکنون فقط یک کارخانه بزرگ تولید برق جزر و مدی در فرانسه در ساحل دریای مانش در حال کار است که تولید آن در حدود ۶۰ مگاوات است. بنابراین، به نظر نمی‌رسد که در ایران بتوان بخش قابل توجهی از انرژی مصرفی کشور را از این طریق تأمین کرد، زیرا در دریای مازندران، جزر و مد قابل توجهی وجود ندارد. ولی بررسی علمی امکان استفاده از انرژی جزر و مد خلیج فارس و دریای عمان در مراکز تحقیقاتی و پژوهشی کشور گامی مؤثر در این راستا به شمار می‌رود.

۲-۳. راکتورهای هسته‌ای

دستگاهی که برای تولید انرژی الکتریکی به کمک انرژی آزاد شده از شکافت هسته‌ای کنترل شده، مورد استفاده قرار می‌گیرد، راکتورهای اتمی نامیده می‌شود.

---

1. Pizza

۲. فقط نقاط آتشفشانی

اولین انرژی کنترل شده ناشی از شکافت هسته، در سال ۱۹٤۲ به‌دست آمد. با مدیریت فرمی ساخت و راه‌اندازی یک پیل از آجرهای گرافیتی، اورانیوم و سوخت اکسید اورانیوم با موفقیت به نتیجه رسید. این پیل هسته‌ای، در زیر میدان فوتبال دانشگاه شیکاگو ساخته شد و در زمان خود اولین راکتور هسته‌ای فعال بود.

۱-۳-۲. کاربردهای راکتورهای اتمی

دانشمندان روسی برای اولین بار توانستند فرآیند کنترل شده شکافت هسته‌ای به‌منظور تولید برق را بررسی کنند.

در سال ۱۹٤۸، با پیشنهاد کورچاتف، دانشمند بزرگ روسی و متعاقب آن با توجه به وظایف از پیش تعیین شده و دستورات لازم جماهیر شوروی سابق، اولین کارهای عملیاتی و تجربی به‌منظور استفاده از انرژی هسته‌ای برای تولید برق پیگیری شد.

در ماه مه ۱۹۵۰، در منطقهٔ آبنینسک[1] روسیه اقدامات لازم برای ساخت اولین نیروگاه اتمی جهان صورت گرفت.

توان اولین نیروگاه اتمی دنیا ٥ مگاوات بود که در ۲۷ ژوئن ۱۹٥٤ در شوروی سابق به بهره‌برداری رسید. در ۱۹٥۸ اولین واحد نیروگاه اتمی سیبری با توان ۱۰۰ مگاوات نیز به بهره‌برداری رسید. در همین زمان مراحل ساخت نیروگاه اتمی بلیارسک[2] در ۲٦ آوریل ۱۹٦٤ آغاز شد. در ۱۹٦٤ نیز ساخت اولین واحد نیروگاه اتمی نواوارونژ روسیه با توان مجموعاً ۲۱۰ مگاوات آغاز شد. دومین بلوک این مجموعه با توان ۳٦۰ مگاوات در دسامبر ۱۹٦۹ ساخته شد.

پس از اولین نیروگاه اتمی روسیه اولین نیروگاه اتمی با توان ٤٦ مگاوات در (انگلیس) و بعد از یک سال اولین نیروگاه اتمی در آمریکا با توان ٦۰ مگاوات طراحی شد. پیشگامان اصلی در تولید برق هسته‌ای کشورهای آمریکا، فرانسه، ژاپن، آلمان و روسیه بوده‌اند. بزرگترین نیروگاه اتمی اروپا در زاپاروژسکی در اکراین قرار دارد که در ۱۹۸۰ ساخته شده و در سال ۲۰۰۸ با ٦ واحد نیروگاه اتمی جمعاً توان ٦ هزار مگاوات را تولید می‌کنند.

بزرگترین نیروگاه اتمی دنیا در ژاپن به نام کاسیوادزاکی ـ کاریوا که در آن ٥ بلوک از نوع BWR و دو بلوک از نوع ABWR وجود دارد که مجموعاً توانی در حدود ۸۲۱۲ مگاوات را تولید می‌کند.

۲-۳-۲. نیروگاه‌های هسته‌ای

نیروگاه‌های اتمی را براساس اینکه چگونه راکتوری برای آن در نظر گرفته شده به شکل زیر

1. Obninsk
2. Beloyarsk Nuclear Power Station

تقسیم‌بندی می‌شوند:

الف) راکتور با نوترون حرارتی: در این راکتور به طور مشخص از کندکننده استفاده می‌کنند تا احتمال جذب نوترون توسط اتم‌های سوخت را افزایش دهند؛

ب) راکتور با آب سبک؛

ج) راکتور با آب سنگین؛

د) راکتور فوق بحرانی که از یک چشمهٔ خارجی نوترون استفاده می‌شود؛

هـ) راکتورهای گرمایی هسته‌ای.

راکتورهای اتمی براساس نوع انرژی آزاد شده به دو صورت زیر است:

الف) نیروگاه اتمی که فقط برای تولید برق مورد استفاده قرار می‌گیرند؛

ب) نیروگاه گرمایی الکتریکی که برق و گرمایش مورد نیاز منطقه را همزمان تأمین می‌کند.

۳-۳-۲. وضعیت کنونی انرژی هسته‌ای

امروزه ایمنی در تولید انرژی هسته‌ای به دلیل ارتقای طراحی راکتورهای جدید و همچنین ارتقای کیفی راکتورهای در حال بهره‌برداری، افزایش چشمگیری یافته است. براساس آمارهای آژانس بین‌المللی انرژی اتمی و مجمع جهانی انرژی، نیروگاه‌های هسته‌ای در حال بهره‌برداری در ۱۰ الی ۱۵ سال گذشته از بازدهی فزاینده‌ای برخوردار بوده و قابلیت رقابت اقتصادی نسبت به سایر منابع تولید انرژی را به نمایش گذاشته‌اند.

شواهد حاکی از آن است که نیروگاه‌های برق هسته‌ای به خاطر طراحی، ساخت و بهره‌برداری مناسب، یک منبع انرژی الکتریکی قابل اطمینان، ایمن و از لحاظ زیست‌محیطی قابل قبول هستند.

در سال ۲۰۰۷، تعداد ٤٣٩ نیروگاه اتمی در حال بهره‌برداری در ۳۰ کشور، جمعاً ١٦ درصد برق کل جهان را تولید کرده‌اند و جمع تجارب بهره‌برداری آنها بالغ بر ١٣٠٣٦ راکتور در سال بوده است. تولید برق در ۱۹ کشور دارای راکتورهای هسته‌ای در حال بهره‌برداری، به این راکتورهای قدرت وابسته بوده است. ایالات متحده آمریکا با تولید حدود ۲۰ درصد انرژی مورد نیاز خود از راکتورهای هسته‌ای در میزان کل تولید انرژی هسته‌ای جایگاه اول جهان را داراست، حال آنکه فرانسه با تولید نزدیک به ۸۰ درصد انرژی الکتریکی مورد نیاز خود با ۵۹ نیروگاه هسته‌ای از نظر درصد دارای رتبه اول جهان است.

این در حالی است که در کل اروپا، انرژی هسته‌ای ۳۰ درصد برق مصرفی این قاره را تأمین می‌کند. البته سیاست‌های هسته‌ای در کشورهای اروپایی با هم متفاوتند به طوری که در کشورهایی نظیر ایرلند یا اتریش هیچ راکتور هسته‌ای فعالی وجود ندارد.

در سال ۲۰۰۷، سه نیروگاه هسته‌ای جدید به شبکه برق متصل شده است. راه‌اندازی این سه واحد در چین، هندوستان و رومانی صورت گرفته است. در ضمن یک واحد در آمریکا از خط خارج شده بود که دوباره به شبکه برق متصل شد. این اعداد را می‌توان در سال ۲۰۰٦ و ۲۰۰۵ بدین صورت مقایسه کرد که، دو واحد در سال ۲۰۰٦ و ٤ واحد در سال ۲۰۰۵ (یک واحد دوباره به شبکه برق متصل شد) به شبکه برق متصل شده است. ازسوی دیگر، در سال ۲۰۰۵ دو نیروگاه هسته‌ای و در سال ۲۰۰٦ هشت نیروگاه هسته‌ای به طور دائم از کار انداخته شد. در سال ۲۰۰۷ هیچ نیروگاه هسته‌ای به طور دائم از کار انداخته نشد. در همین سال، ساخت ۷ راکتور هسته‌ای در جهان آغاز شد. نزدیک به یک چهارم از ٤۳۹ واحد نیروگاه‌های هسته‌ای موجود در جهان (۱۰٤ واحد) در ایالات متحده در حال بهره‌برداری است. فرانسه، ژاپن و روسیه به لحاظ تعداد نیروگاه‌های هسته‌ای در حال بهره برداری، ایالات متحده آمریکا را دنبال می‌کنند. در فرانسه ۵۹، در ژاپن ۵۵ و در روسیه ۳۱ نیروگاه هسته‌ای در حال بهره‌برداری است. در این کشورهای صنعتی به علت اشباع بازار عرضه برق و همچنین مشکلات پذیرش عمومی در ساخت نیروگاه‌های هسته‌ای جدید، روند تأسیس این نیروگاه‌ها تقریباً متوقف شده و یا در مسیر توقف قرار گرفته است. این در حالی است که کشورهای در حال توسعه همانند چین و هند به شدت در حال ساخت نیروگاه‌های هسته‌ای هستند.

در جدول زیر نیروگاه‌های هسته‌ای در حال ساخت و راه‌اندازی در سطح جهان در سال ۲۰۰۷ نشان داده شده است.

جدول نیروگاه‌های هسته‌ای در حال ساخت و راه‌اندازی در سطح جهان در سال ۲۰۰۷

کشور	تعداد	ظرفیت مگاوات	نیروگاه
چین	۱	٦۱۰	Qinshan TI-4
چین	۱	۱۰۰۰	Hongyanhe
فرانسه	۱	۱۰۰۰	Flamanville 3
روسیه	۲	۲ * ۳۰	Severodvinsic-Akademik Lomonosov
جمهوری کره	۲	۲ * ۹٦۰	Shin-Wolsong1;shin kori 2

Source: eia

در سال ۲۰۰۷، ۳۳ راکتور هسته‌ای در ۱۳ کشور جهان درحال ساخت بوده که سهم آسیا از این تعداد، ۱۹ راکتور هسته‌ای است. همچنین سهم کشورهای آسیایی در مورد راکتورهای هسته‌ای

که تا پایان ۲۰۰۷ به شبکه برق وصل شده‌اند، ۲۸ راکتور هسته‌ای است. پیش‌بینی آژانس بین‌المللی انرژی اتمی در مورد رشد استفاده از راکتورهای هسته‌ای بدین صورت است که، مجموع ظرفیت تولید آنها از ٤٤٧ گیگاوات به ٦٩١ گیگاوات در سال ۲۰۳۰ افزایش پیدا خواهد کرد.

فناوری هسته‌ای بیشتر در آمریکا، کانادا، روسیه، فرانسه، آلمان، بریتانیا و سوئد شناخته شده است. طراحی نیروگاه‌های هسته‌ای در کشورهای یاد شده، استاندارد بوده و ایمنی از اهمیت به‌سزایی برخوردار است.

به جرئت می‌توان گفت که در چندین دهه گذشته، در بسیاری از کشورهای صنعتی، سفارشات جدید برای ساخت نیروگاه‌های هسته‌ای تقریباً به صفر رسیده است (البته فدراسیون روسیه به دلیل داشتن سیاست مستقل‌تری نسبت به سایر کشورهای صنعتی توانسته سمت و سوی بازار را به سمت خود تغییر دهد به گونه‌ای که فقط در سال ۲۰۰۵– ۲۰۰۷، شرکت ایژورا سفارش ساخت ٥ راکتور از اروپا را داشته است).

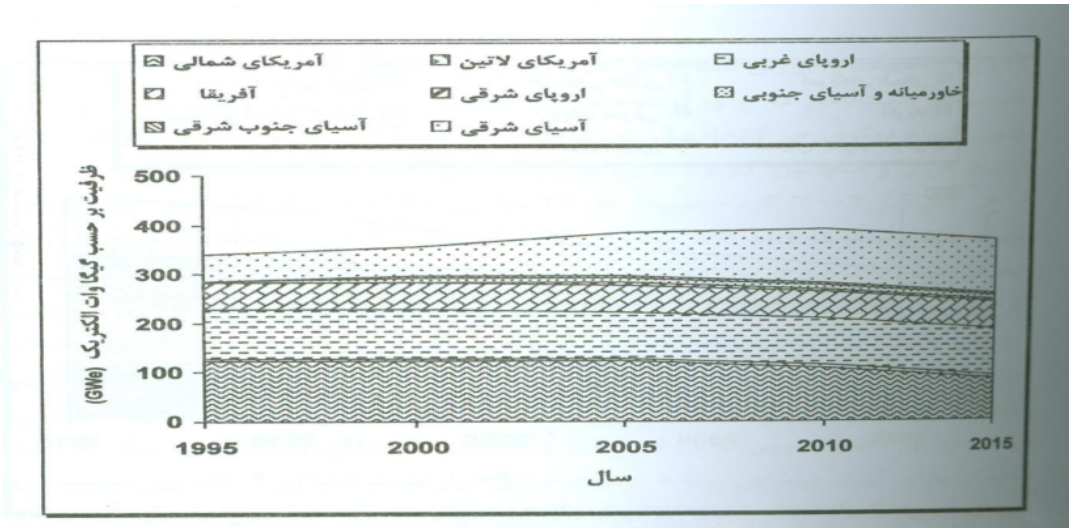
بسیاری از تأمین‌کنندگان در این فاصله زمانی مجبور شده‌اند که طراحی‌ها و ظرفیت ساخت خود را متوقف کرده و توان خود را به ارائه پشتیبانی در زمینه بهره‌برداری و نگهداری از نیروگاه‌های موجود جهت دهند. (این کاهش سفارش نیروگاه‌های هسته‌ای جدید را فقط می‌توان به دلیل فشار گروه‌های مختلف در اروپای غربی و آمریکا دانست). این انتظار را باید داشت که در چند سال آینده، طراحان و سازندگان تجهیزات نیروگاه‌های اتمی از بسیاری از کشورهای در حال توسعه نیز وارد بازار رقابت شوند.

آژانس بین‌المللی انرژی اتمی، نمایی از پیشرفت انرژی هسته‌ای را تا سال ۲۰۱۵ براساس پیش‌بینی‌های خوشبینانه و بدبینانه درخصوص ظرفیت تولید انرژی هسته‌ای منتشر نموده است.

پیش‌بینی بدبینانه در شکل ۱ نشان داده شده است. در این پیش‌بینی فرض بر این است که موانع جاری در مقابل پیشرفت انرژی هسته‌ای در اغلب کشورها در دو دهه آینده برجسته شوند. این موانع عبارتند از:

- رشد پایین اقتصادی و در نتیجه، کاهش تقاضای برق در کشورهای عضو OECD؛
- مخالفت مردمی با انرژی هسته‌ای علیرغم توان رقابتی آن از نظر اقتصادی و قابلیت بالقوه آن در کاهش تأثیرات زیست‌محیطی منتج از تولید انرژی؛
- مشکلات تشکیلاتی و مالی در کشورهای در حال توسعه که موجبات رکود اجرای برنامه‌های هسته‌ای از پیش تعیین شده را باعث می‌شود؛
- راهکارهای نامناسب جهت انتقال فناوری هسته‌ای و منابع مالی در کشورهای در حال رشد.

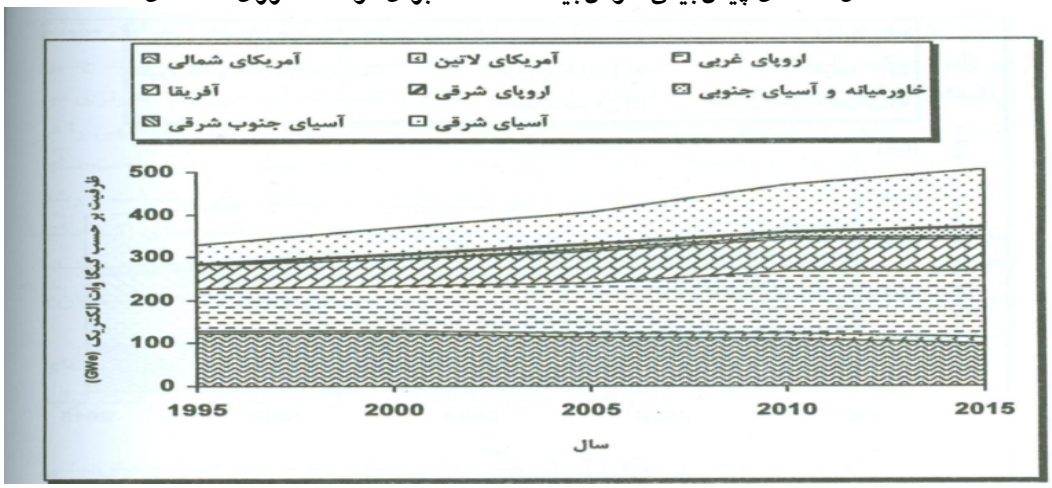
شکل ۱. نمای پیش‌بینی بدبینانه IAEA برای توسعه انرژی هسته‌ای



مأخذ: گزارش آژانس بین‌المللی انرژی هسته‌ای.

پیش‌بینی خوشبینانه در شکل ۲ نشان داده شده است و نشانگر رونق منطقی در توسعه انرژی هسته‌ای به واسطه ارزیابی مقایسه‌ای معقول بین گزینه‌های مختلف تولید انرژی، یکپارچگی اقتصادی، اجتماعی، بهداشتی و اهداف زیست‌محیطی است. این پیش‌بینی براساس بازنگری برنامه‌های انرژی هسته‌ای ملی به ویژه ارزیابی امکانات فنی و اقتصادی حاصل شده است، با این پیش‌فرض که اتخاذ تمهیدات سیاسی و تقویت همکاری‌های بین‌المللی، بکارگیری و انتقال فناوری پیشرفته و همچنین برقراری سازوکارهای جدید مالی موجب تسهیل در اجرای این برنامه‌ها خواهد شد.

شکل ۲. نمای پیش‌بینی خوش‌بینانه IAEA برای توسعه انرژی هسته‌ای



1. Integration

مأخذ: گزارش آژانس بین‌المللی انرژی هسته‌ای

۴-۳-۲. حوادث مهم در تاریخ نیروگاه‌های هسته‌ای جهان

در اینجا، سه حادثه مهم در سه نیروگاه هسته‌ای که در نوع خود از بدترین حوادث در نیروگاه‌های هسته‌ای در حال کار بودند، مورد توجه قرار گرفته است. البته، در نیروگاه‌های دیگری نظیر وینکیل[1] (انگلستان)، بروانزفری (ایالت آلاباما‌ی آمریکا)، کیتیم (جنوب اورال در اتحاد جماهیر شوروی سابق) نیز حوادث کم اهمیت‌تری روی داده است که از ذکر آنها خودداری می‌شود.

۱-۴-۳-۲. حادثه نیروگاه اتمی جزیره تری مایل آیلند[2]

روز بیست‌وهشتم مارس ۱۹۷۹ در نیروگاه اتمی تری مایل آیلند در ایالت پنسیلوانیای آمریکا حادثه‌ای رخ داد که قبل از حادثه چرنوبیل بزرگترین حادثه در نیروگاه‌های اتمی جهان بود. در این روز در واحد شماره ۲ (از نوع PWR به قدرت ۸۰۸ مگاوات) این نیروگاه که اختصاراً TM12 نامیده می‌شد، سوپاپ تنظیم‌کننده فشار[3] که فشار آب داخل راکتور و مدارهای مربوطه را تنظیم می‌کرد، به دلایل فنی باز نشد و پمپ‌های مدار اصلی این واحد از نیروگاه از کار افتاد. اگر در این موقع اپراتورهای نیروگاه عکس‌العمل صحیحی از خود نشان داده بودند این حادثه عواقب وخیمی را که بعداً اتفاق افتاد در پی نداشت ولی اپراتورها سیستم‌های اضطراری را نیز که می‌بایستی به‌طور طبیعی عمل کنند از مدار خارج کردند و در نتیجه حرارت در محفظه اصلی راکتور که قسمت زیادی از آن از آب خالی شده بود بالا رفت و میله‌های سوخت و غلاف‌های آنها ذوب شدند. مواد

1. Windcale
2. Three Mile Island
3. Pressurizer

رادیواکتیو، آب موجود در داخل راکتور را آلوده کرد و این آب، در نتیجه یک اشتباه فنی بجای اینکه در راکتور تحت کنترل بماند به ساختمان مجاور و داخل پوشش بتونی راکتور[1] وارد شد و پرتوهای رادیواکتیو در خارج از نیروگاه به چند برابر حد معمول رسید. مقامات محلی دستور تخلیه اطراف نیروگاه را از سکنه به شعاع ۱۵ کیلومتر صادر کردند و مردم، خانه و محل کار خود را ترک کرده و خود را از محل نیروگاه دور کردند. یک روز طول کشید تا حادثه تحت کنترل درآمد.

حادثه تری مایل آیلند در اثر انعکاس منفی که در آمریکا و سایر کشورهای جهان ایجاد کرد از نظر تحولات انرژی اتمی یک نقطه عطف بود. اثر اصلی و فوری آن این بود که خیلی از شرکت‌های تولید برق آمریکا که قراردادهایی را برای ایجاد نیروگاه‌های اتمی منعقد کرده بودند، فسخ کردند. حتی قراردادهای تعداد زیادی از نیروگاه‌های اتمی در دست ساختمان فسخ شد.

۲-۴-۳-۲. حادثهٔ نیروگاه اتمی چرنوبیل

در ۲۶ آوریل ۱۹۸۶ بزرگترین سانحه نیروگاه‌های هسته‌ای جهان در اوکراین اتفاق افتاد و ضربه‌ای دیگر بر پیکر این تکنولوژی وارد آمد که پیامدهای آن چند سال افکار عمومی جهان را به خود مشغول کرد.

این حادثه در واحد ٤ نیروگاه چرنوبیل واقع در اوکراین اتفاق افتاد. قدرت این واحد ۱۰۰۰ مگاوات و راکتور آن از نوع آب- گرافیک[2] بود که RBMK نیز نامیده می‌شد. در این نوع راکتور که تکنولوژی نسبتاً پیچیده‌ای دارد و فقط در شوروی سابق مورد استفاده قرار گرفته است آب در داخل لوله‌هایی جریان دارد که میله‌های سوخت با غلاف زیرکونیوم را احاطه کرده و داخل بلوک‌های عظیم گرافیت قرار دارند. این آب جوشیده و به صورت بخار در آمده و از طریق مبدل حرارتی، انرژی خود را به توربین منتقل می‌کند.

در این حادثه درجه حرارت بخار به طور پیش‌بینی نشده‌ای بالا رفت و به‌واسطه انفجاری که بین هیدروژن و زیرکونیوم در حرارت‌های بالا به‌وجود آمد بلوک‌های گرافیت که فوق‌العاده قابل اشتعال هستند، آتش گرفتند. با انفجارهای پی در پی قلب راکتور محتوی میله‌های سوخت ذوب شد و مواد رادیواکتیو به هوا متصاعد شد.

در اثر این انفجارها نه تنها سطح پرتوهای هسته‌ای در محیط به طرز وحشتناکی بالا رفت بلکه ذرات مواد رادیواکتیو نیز در هوا منتشر شد. این انفجارها و پیامدهای آن قریب به ۱۰ ساعت ادامه داشت و به کلی اوضاع از کنترل خارج شده بود. روز بعد چون در اثر آتش‌سوزی این واحد، نیروگاه غیر قابل استفاده شد و علاوه بر این پخش مداوم پرتوهای رادیواکتیو محیط را تهدید

1. Containment
2. LGR Light Water Cooled Graphite Reactor

می‌کرد، تصمیم گرفته شد که با ریختن شن و قطعاتی از سرب از پرتودهی این واحد جلوگیری شود. چند خلبان فداکار مأمور شدند که با هلیکوپتر این عملیات را انجام دهند. این افراد توانستند تشعشعات راکتور را تا اندازه زیادی پایین بیاورند ولی در این راه جان خود را از دست دادند. تعدادی از اپراتورها و تکنسین‌هایی که در این واحد از نیروگاه کار می‌کردند جزو ۳۱ نفر تلفات این حادثه بودند که هزاران مجروح نیز به همراه داشت.

در دسامبر ۲۰۱۰، تأیید شد که قدیمی‌ترین راکتور اوکراین به نام راونو ۱[1] می‌تواند تا بیست سال دیگر نیز به فعالیت خود ادامه دهد. قرار است تا سال ۲۰۳۰ پروژه‌های اتمی اوکراین افزایش یافته و ظرفیت نصب نیروگاه هسته‌ای به دو برابر برسد. مقامات بلاروس تصمیم گرفتند که طی تفاهمنامه‌ای با روسیه، نخستین نیروگاه هسته‌ای خود را بسازند. روسیه رسماً ۱۱ راکتور در دست ساخت دارد و بعد از چین دومین کشور جهان به لحاظ دارا بودن بالاترین تعداد راکتور هسته‌ای در حال ساخت است.

طبق نظر آژانس بین‌المللی هسته‌ای (IAEA) «به نظر می‌رسد که صنعت بین‌المللی هسته‌ای به طور موفقیت‌آمیزی بر «علائم چرنوبیل» فائق آمده است. ٦٠ کشور برای رواج انرژی هسته‌ای به راهنمایی این آژانس گرویده‌اند».

۳-۴-۳-۲. حادثه نیروگاه هسته‌ای فوکوشیما

سومین واقعه مهمی که در جهان در نیروگاه‌های اتمی اتفاق افتاد واقعه نیروگاه اتمی فوکوشیما بود که در تاریخ ۱۱ مارس ۲۰۱۱ به وقوع پیوست. علت وقوع حادثه در این نیروگاه سونامی ناشی از زلزله ۹/۲ ریشتری بود که در شرق منطقه و در عمق کم اقیانوس حادث شد.

با وجود شدت زلزله که بزرگی آن معادل ۹/۲ ریشتر بود تأسیسات در مقابل این زلزله به آسانی مقاومت کرد و در اثر زلزله هیچ‌گونه حادثه‌ای برای نیروگاه ایجاد نشد ولی سونامی حاصل از این زلزله که در نوع خود کم‌نظیر بود باعث شد که ارتفاع آب در ساحل به بیش از ده متر و سرعت آن به ۸۰۰ کیلومتر بر ساعت برسد و با توجه به اینکه جنس زمین این منطقه بازالت است و مقاومت بیشتری دارد، زمانی که می‌شکند آب را با حجم عظیمی در طول چندصد کیلومتری به بالا پرتاب کرده و آبی که به این ترتیب در اقیانوس به حرکت درمی‌آید ۸۰۰ کیلومتر در ساعت سرعت دارد و ارتفاع آب به بیش از ده متر می‌رسد. این یکی از حوادث بسیار نادر طبیعت بود. ارتفاع اولیه موج آب در اثر زلزله ۲ متر و سرعت آن ۸۰۰ کیلومتر بر ساعت بود ولی این موج هرچه به ساحل نزدیک‌تر می‌شد ارتفاع آن بیشتر شده و به بیش از ده متر و سرعت آن به ۸۰ کیلومتر در ساعت رسید. ارتفاع دیواره‌ای که در کنار ساحل ساخته شده بود نزدیک به ٦ متر بود بنابراین موج، این

1. Rovno 1

دیواره را درنوردید و از بالای آن نیروگاه را مورد تهاجم قرار داد و فاجعه فوکوشیما به وقوع پیوست.

● علل حادثه

در این زمینه باید منتظر اعلامیه رسمی شورای حکام سازمان انرژی اتمی IAEA بود در حالیکه:

۱. در سال ۲۰۰۱ کارشناسان مستقل نیروگاه‌های اتمی نسبت به قدمت و حفاظت این نیروگاه به شرکت پیکو صاحب این نیروگاه هشدار داده بودند که متأسفانه بدان توجه نشده بود.

۲. سوابق تاریخی چندین صدساله نشان می‌دهد که امکان وقوع چنین زلزله‌ای بدین شدت شاید در هر هزار سال یکبار اتفاق بیفتد. مع‌الوصف، مهندسین طراح اولیه این نیروگاه تمام تأسیسات را با ضریب اطمینان قابل قبول «شاید ۱/۵-۲ برابر» محاسبه و عملیات اجرایی را به خوبی به اتمام رسانیده‌اند و به همین علت نیروگاه در مقابل زلزله کاملاً مقاوم بود ولی در مورد سونامی ایجاد شده سوابق تاریخی نشان می‌دهد که سونامی حاصل از زلزله حداکثر امواجی به ارتفاع ٤ متر را ایجاد می‌کند و مهندسین دیواره حائل بین دریا و نیروگاه را با ارتفاع ٦ متر ساخته بودند و ۵۰ سال بهره‌برداری مداوم از این نیروگاه نشان‌دهنده محاسبات دقیق و اجرای بدون اشکال آن بوده است. متأسفانه ارتفاع آب در این سونامی به بیش از ده متر افزایش یافت و سرعت آن هم به ۸۰ کیلومتر در ساعت رسید.

این موضوع از نوادر اتفاقات طبیعی است و تاکنون سابقه نداشته است. بنابراین حجم عظیمی از آب با ارتفاع بیش از ده متر و با سرعت ۸۰۰ کیلومتر در ساعت سیلی را به وجود آورد که نیروگاه اتمی فوکوشیما را در خود غوطه‌ور ساخت.

حادثه‌ای که منطقاً و با توجه به سوابق تاریخی و آنچه بشر از آن اطلاع داشت می‌بایست اتفاق نمی‌افتاد. با این وصف، اگر دیوار حائل بین دریا و نیروگاه اتمی به ارتفاع ده متر ساخته شده بود این حادثه به وقوع نمی‌پیوست.

۳. در تمام کشورهایی که از انرژی اتمی جهت مصارف صلح‌آمیز از جمله نیروگاه‌های تولید برق استفاده می‌کنند، مؤسسات مستقلی هستند به نام حفاظت نیروگاه‌ها که هیچ ارتباط سازمانی با سازمان‌های انرژی اتمی کشورها ندارد ولی در ژاپن این مؤسسه که مسئولیت حفاظت نیروگاه‌ها را به عهده دارد زیر نظر سازمان انرژی اتمی ژاپن کار می‌کند بنابراین بازرس و ناظر جزء کارمندان کارفرما هستند که یکی از اشکالات بزرگ سازمان انرژی اتمی ژاپن است.

● واکنش کشورهای جهان نسبت به حادثهٔ فوکوشیما

نگرش‌ها و دیدگاه‌های متعددی درخصوص سیاستگذاری‌های هسته‌ای پس از اتفاق فاجعهٔ

فوکوشیما به‌وجود آمده است که به طور کلی می‌توان آن را در قالب چهار واکنش طبقه‌بندی کرد:

۱. گروهی از کشورها با نادیده گرفتن این حادثه و حوادث پیشتر از جمله واقعهٔ چرنوبیل همچنان به استفاده از انرژی هسته‌ای و تداوم ساخت و راه‌اندازی راکتورها پرداخته‌اند. برای مثال، تداوم فعالیت قدیمی‌ترین راکتور اوکراین برای بیست سال دیگر و افزایش پروژه‌های اتمی تا سال ۲۰۳۰ و دو برابر شدن ظرفیت نصب نیروگاه هسته‌ای در این کشور. ساخت نخستین نیروگاه هسته‌ای در بلاروس طی توافقنامه همکاری با کشور روسیه. همچنین در روسیه رسماً ۱۱ نیروگاه هسته‌ای در دست ساخت است و بعد از چین دومین کشور جهان به لحاظ دارا بودن بالاترین تعداد راکتور هسته‌ای است. بنگلادش، کنیا، سنگال، الجزایر، مصر، لیبی، مراکش، تانزانیا و یمن از جمله کشورهایی هستند که در جرگه دارندگان نیروگاه هسته‌ای خواهند پیوست.

۲. گروهی دیگر از کشورهای دارندهٔ نیروگاه هسته‌ای پس از حادثهٔ چرنوبیل و همچنین فوکوشیما دست به اقدامات تعدیلی زده و از تعداد راکتورهای موجود خود و یا در دست ساخت کاسته و بیشتر به سرمایه‌گذاری درخصوص استفاده از منابع تجدیدپذیر پرداخته‌اند. از جمله، از اول آوریل ۲۰۱۱ در اتحادیه اروپا ۱٤۳ راکتور که رسماً بهره‌برداری می‌شوند[۱] که از ۱۷۷ واحدی که در سال ۱۹۸۹ در بالاترین حد تعداد واحدها بود، تنزل کرده است. در سال ۲۰۰۹، نیروگاه‌های هسته‌ای ۲۵۵۸ تراوات ساعت برق تولید می‌کردند که نسبت به میزان تولید در سال قبل از آن در حدود ۲ درصد کاهش یافت. با اعمال نفوذ سازمانی این صنعت، انجمن هسته‌ای جهانی[۲] در چهارمین سال متوالی در سرمقاله‌ای تیتر کرد که: «افت دیگری در تولید انرژی هسته‌ای». نقش انرژی هسته‌ای همواره در حال کاهش است و در حال حاضر، تخمین زده شده که در حدود ۱۳ درصد تولید برق جهان و ۵/۵ درصد از انرژی پایهٔ تجاری را به خود اختصاص داده باشد. در سال ۲۰۱۰، ۱٦ کشور از بین ۳۰ کشور دارای نیروگاه فعال هسته‌ای (در سال ۲۰۰۹ یک راکتور هسته‌ای در لتونی تعطیل شد) به کاهش سهم انرژی هسته‌ای در تولید برق اظهار کردند درحالی که نه کشور سهم انرژی هسته‌ای خود را کاهش دادند و در مقابل هفت کشور بر سهم هسته‌ای خود افزوده‌اند.[۳]

۳. گروهی دیگر نیز اقدام به ایمن‌سازی و افزایش طول عمر راکتورها کردند بدین معنا که با افزودن بر میزان ایمنی نیروگاه‌های هسته‌ای به تجدید نظر در استفاده از انرژی هسته‌ای پرداخته‌اند. برای مثال، پروژهٔ عمدهٔ EPR در الکیلوتو[٤] فنلاند که ازسوی بزرگترین سازندگان

---

۱. شامل هفت واحد که دولت آلمان دستور تعطیلی آن را پس از آغاز بحران فوکوشیما ابلاغ کرد و بعید به نظر می‌رسد که پس از سه ماه از انقضای تاریخ تعلیق به خط شبکه برگردد.

2. World Nuclear Association

۳. براساس اکثر آمارهای اخیر موجود.

4. Olkiluoto

هسته‌ای جهان هدایت می‌شد (AREVA).

٤. گروهی از کشورها هم به لحاظ ایمنی و تأمین نیروی انسانی متخصص در زمینهٔ انرژی هسته‌ای و هم مراحل ساخت و راه‌اندازی نیروگاه‌ها تسلیم پیشنهادات و تصمیمات حکام آژانس بین‌المللی هسته‌ای IAEA هستند و به تحقیقات صلح‌آمیز اتمی در راستای افزایش سطح تکنولوژی هسته‌ای و اشاعهٔ آن در کشور خود می‌پردازند.

به‌طور کلی مقایسهٔ سه حادثهٔ بزرگ هسته‌ای جهان نشان می‌دهد که درخصوص حادثهٔ چرنوبیل خطای نیروی انسانی و مسئلهٔ فناوری کهنه و قدیمی، نیروگاه چرنوبیل را در هم شکست به طوری که در اصطلاح این نیروگاه «ویلا تایپ رآکتور»[1] نامیده شده است و در مقابل، حادثهٔ فوکوشیما با حادثه تری مایل آیلند قابل مقایسه است چراکه از دیدگاه صنعت هسته‌ای این دو نیروگاه تشابه‌های فراوانی با هم داشته و هر دو راکتور B.W.R (فوکوشیما) و .P.W.R (تری مایل آیلند) توسط جنرال الکتریک آمریکا طراحی شده‌اند. نکتهٔ اصلی در این مقایسه نشان می‌دهد که در حادثه چرنوبیل و تری مایل آیلند خطای نیروی انسانی عامل اساسی در وقوع این فجایع بوده در حالیکه در حادثهٔ فوکوشیما سونامی ناشی از زلزله عامل اصلی بوده است.[2]

از سوی دیگر، همانطور که در بالا ذکر شد گروهی از کشورها مانند آلمان و ایتالیا تصمیم به تعطیلی برخی از رآکتورها گرفتند و این در حالی است که این نوع تصمیم‌گیری خود عوامل سیاسی پنهان داشته و چنین واکنش‌هایی نه فقط جنجال رسانه‌ای به همراه دارد بلکه در نگرش‌ها و سیاستگذاری‌های سایر کشورها اثرگذار است، به طوری که برنامه‌ریزی استراتژیک هسته‌ای برخی از کشورها را نیز متحول ساخته است. از قرار اطلاع برخی از کارشناسان هسته‌ای اخیراً رأی به بازنگری وسیع و ایمن‌سازی نیروگاه‌های هسته‌ای داده‌اند و حالت ریسک که تاکنون به صورت یک پارامتر در نظر گرفته می‌شد حال با این بازاندیشی جدید به حذف خطاهای گذشته و ارائهٔ راهکارهای جدید مبدل شده است. در این بازنگری سعی شده است میزان خطای انسانی کاهش قابل توجهی یابد و برای ایمنی در برابر حوادث غیر مترقبه اعم از سونامی و زلزله‌های احتمالی استانداردها و ضریب اطمینان نیروگاه‌ها افزایش یابد و راه‌حل‌های عقلایی‌تری در این خصوص تبیین شود.

1. WILA Type Reactor

۲. رضا امراللهی، سونامی ژاپن و حادثه هسته‌ای، ماهنامه تازه‌های انرژی، سال چهارم، ش ٢٦، خردادماه ۱۳۹۰، ص٤٦.

نتیجه‌گیری

پس از قرن هفدهم، استفاده از انرژی بر سبک زندگی بشر اثر جدی‌تری گذاشت و رفته‌رفته با ظهور انرژی الکتریکی و توسعه صنعت برق شکل تازه‌تری به زندگی انسان‌ها داده و بر روند پیشرفت و توسعه افزوده شد. در این راستا منابع متعددی از انرژی برای تولید برق وجود دارد که عبارتند از: ۱. زغال‌سنگ، ۲. نفت، ۳. گاز، ٤. پتانسیل آبی، ٥. انرژی خورشیدی، ٦. انرژی زمین‌گرمایی، ۷. انرژی بیو گاز، ۸. انرژی اتمی و ۹. انرژی جزر و مد.

نفت و زغال‌سنگ مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده انرژی در جهان محسوب می‌شوند. اما این منابع فسیلی که از آنها به عنوان منابع تجدیدناپذیر یاد می‌شود، دیگر به آسانی گذشته قابل تأمین نیست. میانگین افزایش مصرف انرژی پنج تا ده درصد برآورد شده است. این در حالی است که با سرعت مصرف امروزی، ذخایر نفت و گاز تا ۷۰ سال دیگر به پایان می‌رسد. وضعیت منابع زغال‌سنگ نیز شبیه نفت و گاز است، هر چند برخی برآوردها نشان می‌دهد ذخایر آن تا پایان قرن دوام خواهد آورد، اما گرانی و نیز آلودگی ناشی از مصرف این سوخت در تأمین انرژی نگرانی‌هایی را مطرح کرده است. سایر منابع انرژی مانند خورشید، آب و باد که از آنها به عنوان انرژی پاک یاد می‌شود، علاوه بر آنکه نیازمند شرایط محیطی خاصی است، گران تمام می‌شود و به سرمایه‌گذاری سنگینی نیاز دارد. انرژی باد اگر چه رایگان است، اما نمی‌توان به پایداری آن اطمینان داشت. انرژی خورشید نیز به سرمایه‌گذاری هنگفتی نیاز دارد و در زمان حاضر استفاده گسترده از آن چندان مقرون به صرفه نیست.

میزان برق حاصل از منابع یاد شده متفاوت است که بسته به ناحیهٔ جغرافیایی و منابع موجود در کشورها با توجه به نوع سیاستگذاری‌ها در زمینهٔ تولید برق بسیار متفاوت است. به طور کلی بررسی‌ها نشان داده است درحال حاضر، در جهان ٤۳۹ نیروگاه اتمی فعال وجود دارد که ۱۷ درصد برق دنیا را تأمین می‌کنند. در کشورهای سازمان توسعه و همکاری اقتصادی این نسبت به ۲۳ درصد می‌رسد. در سال ۲۰۰۷ ساخت ۷ راکتور هسته‌ای در جهان شروع شده است. نزدیک به یک چهارم از ٤۳۹ واحد نیروگاه‌های هسته‌ای موجود در جهان (۱۰٤ واحد) در ایالات متحده در حال بهره‌برداری است. فرانسه، ژاپن و روسیه به لحاظ تعداد نیروگاه‌های هسته‌ای در حال بهره‌برداری، ایالات متحده آمریکا را دنبال می‌کنند. در فرانسه ٥۹، در ژاپن ٥٥ و در روسیه ۳۱ نیروگاه هسته‌ای در حال بهره‌برداری است. در این کشورهای صنعتی به علت اشباع بازار عرضه برق و همچنین مشکلات پذیرش عمومی در ساخت نیروگاه‌های هسته‌ای جدید، روند تأسیس این نیروگاه‌ها تقریباً متوقف شده و یا در مسیر توقف قرار گرفته است. این در حالی است که

کشورهای در حال توسعه همانند چین و هند به شدت در حال ساخت نیروگاه‌های هسته‌ای هستند. اتفاق حوادث متعدد هسته‌ای ازجمله تری مایل آیلند، چرنوبیل و فوکوشیما برخی کشورها را بر آن داشت تا سیاست‌های جدیدی اتخاذ کنند. در این راستا چهار واکنش صورت پذیرفت:

الف) گروهی از کشورها به شدت بر تولید برق از طریق نیروگاه‌های هسته‌ای خود افزودند و به حوادث و رخدادهای هسته‌ای بی‌اعتنا و بی‌تفاوت بودند از جمله چین، اوکراین و بلاروس.

ب) گروهی دیگر نیز با کاهش تعداد راکتورها و اتخاذ سیاست تعدیلی به کاهش تعداد راکتورهای خود پرداختند. از جمله، به تعلیق در آمدن ۷ واحد هسته‌ای در آلمان؛ البته لازم به ذکر است که از قرار اطلاع، کاهش واحدها در این کشور به واسطهٔ پاره‌ای اتفاقات سیاسی از جمله تهدید دوستداران محیط سبز به ترک دولت بوده است.

ج) برخی کشورها نیز به ایمن‌سازی و بالا بردن استاندارد ایمنی و عمر راکتورها پرداخته‌اند.

د) کشورهای دیگر نیز با تسلیم شدن به رأی حکام آژانس بین‌المللی هسته‌ای به فعالیت‌های هسته‌ای خود به روندی کاهشی و افزایشی پرداخته‌اند. درخصوص ایران نیز پیشنهاد می‌شود که طبق صلاحدید مقامات سیاسی کشور اشاعه و رشد تحقیقات صلح‌آمیز و ارتقای سطح تکنولوژی هسته‌ای ادامه یابد. باید توجه داشت که در شرایط موجود، استفاده از انرژی هسته‌ای اجتناب‌ناپذیر است زیرا که اولاً سوزاندن نفت و گاز طبیعی که از مهمترین مواد خام صنایع و پتروشیمی است جفا کردن در حق نسل‌های آینده است و از نظر اقتصادی نیز به صرفه و صلاح (و حتی برای آینده جهان) نیست و ثانیاً آثار مخرب زیست‌محیطی سوزاندن آنها بر کسی پوشیده نیست. از طرف دیگر، استفاده از سایر فرصت‌های انرژی مثل انرژی خورشیدی، بادی، جزر و مد دریا، زمین‌گرمایی و غیره در وضعیت موجود مشکلاتی به همراه دارد (از جمله بی‌ثباتی، ناممکن بودن ذخیره انرژی برق، هزینه بالای استفاده از دیگر فناوری‌ها و...) و به راحتی ممکن نیست و یکی از گزینه‌های آسان و کم هزینه‌تر نسبت به تجهیزات انرژی خورشیدی یا جزر و مد دریا با رعایت اصول حفاظتی و ایمنی، راکتورهای اتمی است که باید دقت فوق‌العاده به آن شود تا خطرات سنگینی را برای هر کشوری ایجاد نکند.

منابع و مآخذ

۱. امراللهی، رضا. سونامی ژاپن و حادثه هسته‌ای، ماهنامه تازه‌های انرژی، سال چهارم، ش ۲۶، خردادماه ۱۳۹۰، ص ٤٦.

2. Schneider Mycle, Antony Froggatt and Steve Thomas, " The World Nuclear Industry Status Report 2010–2011, Nuclear Power in a Post-Fukushima World, *25 Years After the Chernobyl Accident;* Paris, Berlin, Washington, April 2011.
3. http://www.eia.gov/
4. http://www.iaea.org

شناسنامه گزارش	مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی	شماره مسلسل: ۱۰۸۷۲

عنوان گزارش: نگاهی به منابع تأمین برق و آثار فاجعه فوکوشیما در سیاستگذاری‌های هسته‌ای جهان

نام دفتر: مطالعات انرژی، صنعت و معدن (گروه انرژی)

تهیه و تدوین: هاشم خویی

همکار: زهرا جعفری

ناظر علمی: محمدرضا محمدخانی

متقاضی: عسگر جلالیان (نماینده مردم شریف، دیر، کنگان و جم)

ویراستار تخصصی: ـــــ

ویراستار ادبی: ـــــ

واژه‌های کلیدی:

۱. انرژی هسته‌ای

۲. برق

۳. فوکوشیما

٤. انرژی‌های تجدیدپذیر

تاریخ انتشار: ۱۳۹۰/۴/۱۸