

## کاربرد اثر بخش انرژی هسته‌ای در تولید برق و مقایسه نیروگاه برق هسته‌ای با نیروگاه‌های سوخت فسیلی

امیرحسین اسکندریان ۱

۱- لیسانس برق گرایش شبکه های انتقال و توزیع ۲- مرکز مطالعات و پژوهش های شورای اسلامی

شهر همدان

ایران - همدان - AMIR156863@YAHOO.COM

### چکیده

دغدغه اصلی جهان در دو دهه آینده، تولید انرژی است و با توجه به وضعیت زیست محیطی جهانی و اثرات قابل توجه بخش انرژی بر آن، گرایش عمومی به سمت کاربرد روش‌های با کارایی بالاتر و تولید برق با آلودگی کمتر است و ساخت نیروگاه هسته‌ای برق تنها راه خروج از بحران انرژی در دهه‌های آینده است. امروزه نیروگاه‌های اتمی با توجه به سایر مزایایی که در علوم مختلف دارد، اقتصادی‌ترین نیروگاهی است که احداث می‌شود و با توجه به افزایش روزافزون مصرف انرژی جهانی و محدود بودن منابع فسیلی کره زمین، ضرورت توجه به بحث توسعه نیروگاه‌های برق هسته‌ای در جهان افزایش می‌یابد. شایان ذکر است با افزایش دمای کره زمین در اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی، اهمیت تولید برق از طریق انرژی‌های پاک دو چندان می‌شود. و با توجه به بررسی جنبه‌های اقتصادی تولید برق هسته‌ای از نظر نیروگاهی، در مقایسه با سایر منابع انرژی و همچنین وضعیت راکتورها و نیروگاه‌های هسته‌ای، طی بررسی انجام شده روی قیمت برق تولیدی توسط نیروگاه‌های مختلف، مشخص شد، علی‌رغم هزینه بالای احداث نیروگاه هسته‌ای، اما به دلیل این که سهم هزینه سوخت هسته‌ای فقط ۱۴ تا ۱۷ درصد از هزینه تولید برق را به خود اختصاص می‌دهد و همچنین از نظر انتشار گازهای گلخانه‌ای زیان بار، برچسب قیمتی برای منابع انرژی در نظر بگیریم، به سرعت درمی‌یابیم که انرژی هسته‌ای در زمینه تولید فزاینده ی انرژی، آن هم در مقیاس جهانی، ارزان ترین و البته پاکیزه ترین گزینه است. وابستگی هزینه برق تولیدی توسط نیروگاه مختلف هسته‌ای به هزینه سوخت مصرفی کم است و این باعث می‌شود که نوسانات بازار و تورم، تأثیر زیادی بر هزینه برق نگذارد.

**واژگان کلیدی:** انرژی هسته‌ای، دیدگاه اقتصادی، زیست محیطی، نیروگاه برق هسته‌ای، سوخت فسیلی

**۱. مقدمه**

افزایش روند روز افزون مصرف سوخت‌های فسیلی طی دو دهه اخیر و ایجاد انواع آلاینده‌های خطرناک و سمی و انتشار آن در محیط زیست انسان، نگرانی‌های جدی و مهمی برای بشر در حالا و آینده به دنبال دارد. بدیهی هست که این روند به دلیل اثرات مخرب و مرگبار آن در آینده تداوم چندانی نخواهد داشت. از این روبرو جهت افزایش خطرات و نگرانی‌ها تدریجی در مورد اثرات مخرب انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از کاربرد فرآیند انرژی‌های فسیلی؛ واضح هست که از کاربرد انرژی هسته‌ای به عنوان یکی از رهیافت‌های زیست محیطی برای مقابله با افزایش دمای کره زمین و کاهش آلودگی محیط زیست یاد می‌شود. [۱]

از مهمترین منابع استفاده صلح آمیز از انرژی اتمی، ساخت راکتورهای هسته‌ای جهت تولید برق می‌باشد. راکتور هسته‌ای وسیله‌ای است که در آن فرآیند شکافت هسته‌ای بصورت کنترل شده انجام می‌گیرد. در طی این فرآیند انرژی زیاد آزاد می‌گردد به نحوی که مثلا در اثر شکافت نیم کیلوگرم اورانیوم انرژی معادل بیش از ۱۵۰۰ تن زغال سنگ بدست می‌آید. هم اکنون در سراسر جهان، راکتورهای متعددی در حال کار وجود دارند که بسیاری از آنها برای تولید قدرت و به منظور تبدیل آن به انرژی الکتریکی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در راکتورهای هسته‌ای که برای نیروگاه‌های اتمی طراحی شده‌اند (راکتورهای قدرت)، اتمهای اورانیوم و پلوتونیم توسط نوترونها شکافته می‌شوند و انرژی آزاد شده گرمای لازم را برای تولید بخار ایجاد کرده و بخار حاصله برای چرخاندن توربین‌های مولد برق بکار گرفته می‌شوند. [۴]

باتوجه به اقتصادی بودن تولید برق هسته‌ای و قابل اطمینان بودن آن در صنعت برق می‌توان انرژی هسته‌ای را جایگزین مناسبی بجای سوخت فسیلی در آینده در نظر گرفت.

**۲. روش‌ها و نظریه‌ها****۱.۲. تاریخچه**

به لحاظ تاریخی اولین راکتور اتمی در آمریکا بوسیله شرکت "وستینگهاوس" و به منظور استفاده در زیردریاییها ساخته شد. ساخت این راکتور پایه اصلی و استخوان بندی تکنولوژی فعلی نیروگاههای اتمی PWR را تشکیل داد. سپس شرکت جنرال الکتریک موفق به ساخت راکتورهایی از نوع BWR گردید. اما اولین راکتوری که اختصاصا جهت تولید برق طراحی شده، توسط شوروی و در ژوئن ۱۹۵۴ در "آبنینسک" نزدیک مسکو احداث گردید که بیشتر جنبه نمایشی داشت. تولید الکتریسیته از راکتورهای اتمی در مقیاس صنعتی در سال ۱۹۵۶ در انگلستان آغاز گردید. سال ۱۹۶۵ روند ساخت نیروگاههای اتمی از رشد محدودی برخوردار بود، اما طی دو دهه ۱۹۶۶ تا ۱۹۸۵ جهش زیادی در ساخت نیروگاههای اتمی بوجود آمده است. این جهش طی سالهای ۱۹۷۲ تا ۱۹۷۶ که بطور متوسط هر سال ۳۰ نیروگاه شروع به ساخت می‌کردند بسیار زیاد و قابل توجه است. یک دلیل آن شوک نفتی اوایل دهه ۱۹۷۰ می‌باشد که کشورهای مختلف را بر آن داشت تا جهت تأمین انرژی مورد نیاز خود بطور زاید الوصفی به انرژی هسته‌ای روی آورند. پس از دوره جهش فوق یعنی از سال ۱۹۸۶ تا کنون روند ساخت نیروگاهها به شدت کاهش یافته، بطوریکه بطور متوسط سالیانه ۴ راکتور اتمی شروع به ساخت می‌شوند. [۴]

**۲.۲. سهم برق هسته‌ای در تولید برق کشورها**

کشورهای مختلف در تولید برق هسته‌ای روند گوناگونی داشته‌اند. به عنوان مثال کشور انگلستان که تا سال ۱۹۶۵ پیشرو در ساخت نیروگاه اتمی بود، پس از آن تاریخ، ساخت نیروگاه اتمی در این کشور کاهش یافت، اما برعکس در آمریکا به اوج خود رسید. کشور آمریکا که تا اواخر دهه ۱۹۶۰ تنها ۱۷ نیروگاه اتمی داشت، در طول دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ بیش از ۹۰ نیروگاه اتمی دیگر ساخت. این مسئله نشان دهنده افزایش شدید تقاضای انرژی در آمریکاست. هزینه تولید برق هسته‌ای در مقایسه با تولید برق از منابع دیگر انرژی در آمریکا کاملا قابل رقابت می‌باشد.

گرچه ساخت نیروگاه های هسته ای و تولید برق هسته ای در جهان از رشد انفجاری اواخر دهه ۱۹۶۰ تا اواسط ۱۹۸۰ برخوردار نیست، اما کشورهای مختلف همچنان درصدد تأمین انرژی مورد نیاز خود از طریق انرژی هسته ای می باشند. طبق پیش بینی های به عمل آمده روند استفاده از برق هسته ای تا دهه های آینده همچنان روند صعودی خواهد داشت. در این زمینه، منطقه آسیا و اروپای شرقی به ترتیب مناطق اصلی جهان در ساخت نیروگاه هسته ای خواهند بود. در این راستا، ژاپن با ساخت نیروگاه های اتمی با ظرفیت بیش از ۲۵۰۰۰ مگا وات در صدر کشورها قرار دارد. پس از آن چین، کره جنوبی، قزاقستان، رومانی، هند و روسیه جای دارند. استفاده از انرژی هسته ای در کشورهای کانادا، آرژانتین، فرانسه، آلمان، آفریقای جنوبی، سوئیس و آمریکا تقریباً روند ثابتی را طی دو دهه آینده طی خواهد کرد. [۴]

### ۳.۲. دیدگاه اقتصادی استفاده از برق هسته ای

ضرورت استفاده از انرژی هسته ای هم از نظر راهبردی و هم از جنبه اقتصادی در بسیاری از کشورهای جهان در مرحله توسعه قرار دارند. این ضرورت هنگامی بیشتر احساس می شود که با راه اندازی یک نیروگاه هسته ای بزرگ می توان از مصرف روزانه ۵۰۰۰۰ بشکه نفت جلوگیری نمود و با احتساب قیمت نفت مشخص می شود که هزینه های سرمایه گذاری برای یک نیروگاه هسته ای در عرض چند سال جبران خواهد گردید، همچنین این روش با توجه به اینکه ذخایر نفت جهانی روبه کاهش هست و می تواند به عنوان یک روش مطمئن برای آینده در نظر گرفته شود. [۱]

امروزه کشورهای بسیاری بویژه کشورهای اروپایی سهم قابل توجهی از برق مورد نیاز خود را از انرژی هسته ای تأمین می نمایند. بطوری که آمار نشان می دهد از مجموع نیروگاه های هسته ای نصب شده جهت تأمین برق در جهان به ترتیب ۳۵ درصد به اروپای غربی، ۳۳ درصد به آمریکای شمالی، ۱۶٫۵ درصد به خاور دور، ۱۳ درصد به اروپای شرقی و نهایتاً فقط ۰٫۷۴ درصد به آسیای میانه اختصاص دارد. بدون شک در توجیه ضرورت ایجاد تنوع در سیستم عرضه انرژی کشورهای مذکور، انرژی هسته ای به عنوان یک گزینه مطمئن اقتصادی مطرح است. بنابراین ابعاد اقتصادی جایگزینی نیروگاه های هسته ای با توجه به تحلیل هزینه تولید (قیمت تمام شده) برق در سیستم های مختلف نیرو قابل تأمل و بررسی است. از اینرو در اغلب کشورها، نیروگاه های هسته ای با عملکرد مناسب اقتصادی خود از هر لحاظ با نیروگاه های سوخت فسیلی قابل رقابت می باشند. بهرحال طی چند دهه گذشته کاهش قیمت سوخت های فسیلی در بازارهای جهانی، سبب افزایش هزینه های ساخت نیروگاه های هسته ای به دلیل تشدید مقررات و ضوابط ایمنی، طولانی شدن مدت ساخت و بالاخره باعث ایجاد مشکلات تأمین مالی لازم و بالا رفتن قیمت تمام شده هر واحد الکتریسیته در این نیروگاه ها شده است. از یک طرف مشاهده می شود که طی این مدت حدود ۴۰ درصد از هزینه های چرخه سوخت هسته ای کاهش یافته است و از سویی دیگر با توجه به پیشرفتهای فنی و تکنولوژی حاصل از طرح های استاندارد و برنامه ریزی های دقیق به منظور تأمین سرمایه اولیه مورد نیاز مطمئن و به هنگام احداث چند واحد در یک سایت برای صرفه جویی های ناشی از مقیاس مربوط به تأسیسات و تسهیلات مشترک مورد نیاز در هر نیروگاه، همچنان مزیت نیروگاه های اتمی از دیدگاه اقتصادی نسبت به نیروگاه های با سوخت فسیلی در اغلب کشورها حفظ شده است. [۴]

### ۴.۲. دیدگاه زیست محیطی استفاده از انرژی هسته ای بجای سوخت فسیلی در تولید برق

افزایش روند روزافزون مصرف سوخت های فسیلی طی دو دهه اخیر و ایجاد انواع آلاینده های خطرناک و سمی و انتشار آن در محیط زیست انسان، نگرانی های جدی و مهمی برای بشر در حال و آینده به دنبال دارد. بدیهی است که این روند به دلیل اثرات مخرب و مرگبار آن در آینده تداوم چندانی نخواهد داشت. از اینرو به جهت افزایش خطرات و نگرانی ها تدریجی در مورد اثرات مخرب انتشار گازهای گلخانه ای ناشی از کاربرد فرآیند انرژی های فسیلی، واضح است که از کاربرد انرژی هسته ای بعنوان یکی از رهیافت های زیست محیطی برای مقابله با افزایش دمای کره زمین و کاهش آلودگی محیط زیست یاد می شود. همچنان که آمار نشان می دهد، در حال حاضر نیروگاه های هسته ای جهان با ظرفیت نصب شده فعلی توانسته اند سالانه از انتشار ۸ درصد از گازهای دی اکسید کربن در فضا جلوگیری کنند که در این راستا تقریباً مشابه نقش نیروگاه های آبی عمل کرده اند.

چنانچه ظرفیتهای در دست بهره برداری فعلی تولید برق نیروگاههای هسته‌ای، از طریق نیروگاههای با خوراک ذغال سنگ تأمین می‌شود، سالانه بالغ بر ۱۸۰۰ میلیون تن دی اکسید کربن، چندین میلیون تن گازهای خطرناک دی اکسید گوگرد و نیتروژن، حدود ۷۰ میلیون تن خاکستر و معادل ۹۰ هزار تن فلزات سنگین در فضا و محیط زیست انسان منتشر می‌شود که مضرات آن غیرقابل انکار است. لذا در صورت رفع موانع و مسایل سیاسی مربوط به گسترش انرژی هسته‌ای در جهان بویژه در کشورهای در حال توسعه و جهان سوم، این انرژی در دهه‌های آینده نقش مهمی در کاهش آلودگی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ایفا خواهد نمود. در حالیکه آلودگیهای ناشی از نیروگاههای فسیلی سبب وقوع حوادث و مشکلات بسیار زیاد بر محیط زیست و انسانها می‌شود، سوخت هسته‌ای گازهای سمی و مضر تولید نمی‌کند و مشکل زباله‌های اتمی نیز تا حد قابل قبولی رفع شده است، چرا که در مورد مسایل پسمانداری با توجه به کم بودن حجم زباله‌های هسته‌ای و پیشرفت‌های علوم هسته‌ای بدست آمده در این زمینه در دین نهایی این زباله‌ها در صخره‌های عمیق زیرزمینی با توجه به حفاظت و استتار ایمنی کامل، مشکلات موجود تا حدود زیادی از نظر فنی حل شده است و طبیعتاً در مورد کشور ما نیز تا زمان لازم برای دفع نهایی پسماندهای هسته‌ای، مسائل اجتماعی باقیمانده از نظر تکنولوژیکی کاملاً مرتفع خواهد شد. [۴]

### ۳. قلمرو زیست محیطی

قلمرو طرح نیروگاه هسته‌ای باید مطابق باشد با:

دمای محیط زیست، رطوبت، تجدید هوای تازه، دسترسی پرسنل عادی

سطح تابش

پتانسیل آلودگی

تشعشع: طراح باید تجهیزات و طرح بندی را طوری انجام دهد که افراد در معرض تشعشع در نیروگاه به حداقل برسند.

مناطق تشعشع: اقدامات کنترل دستی و طرح بندی ساختمان، به نوعی که دسترسی به مناطقی با میزان تشعشع بالا را از مناطقی با تابش کم صورت دهد. در عملیات عادی (از جمله شرایط خاموش شدن)

پیشگیری از آلودگی: ترتیب تجهیزات و طراحی ساختمان باید ویژگی‌هایی را برای کاهش پتانسیل گسترش آلودگی رادیواکتیو و تسهیل تمیز کردن آنها داشته باشند. [۳]

### ۴. ایجاد حوادث در نیروگاهها

#### ۴.۱. حوادث بهره برداری نیروگاههای هسته‌ای

سوخت هسته‌ای در مراحل مختلف بهره برداری از نیروگاه و یا هنگامی که نیروگاه برای عملیات تعمیر و نگهداری متوقف می‌شود و مجتمع‌های سوخت، برای کنترل و بازرسی به جایگاه‌های خاص انتقال داده می‌شود، همواره در معرض صدمه قرار دارند و هرگونه بی‌دقتی در هر یک از این مراحل باعث آسیب به سوخت شده، که این آسیب دیدگی‌ها در زمان بهره برداری باعث بروز مشکلات متعددی می‌گردند، حوادثی که در نیروگاه‌های هسته‌ای رخ می‌دهد توسط سازمان جهانی همچون WANO بررسی می‌گردد. و سپس در یک سری مدارک فنی نیروگاهی (JIT, SOER) (۵و۶) بصورت دوره‌ای منتشر می‌گردد که بهره‌برداران نیروگاهها می‌توانند با مطالعه این مدارک نسبت به ساز و کار حوادثی که در نیروگاه‌های مختلف سراسر جهان اتفاق افتاده است، آگاهی یابند. [۲]

از سوی دیگر بنظر می‌رسد که بیشترین اعتراضات و مخالفت‌ها در زمینه استفاده از انرژی اتمی بخاطر وقوع حوادث و انفجارات در برخی از نیروگاههای هسته‌ای نظیر حادثه اخیر در نیروگاه چرنوبیل می‌باشد، این در حالی است که براساس مطالعات بعمل آمده احتمال وقوع حوادثی که منجر به مرگ عده‌ای زیاد بشود نظیر تصادف هوایی، شکسته شدن سدها، انفجارات زلزله، طوفان، سقوط سنگهای آسمانی و غیره، بسیار بیشتر از وقایعی است که نیروگاههای اتمی می‌توانند باعث گردند. [۴]

#### ۴.۲. مقایسه هزینه‌های اجتماعی تولید برق در نیروگاههای فسیلی و اتمی

در مجموع ارزیابی های اقتصادی و مطالعات بعمل آمده در مورد مقایسه هزینه تولید (قیمت تمام شده) برق در نیروگاه های رایج فسیلی کشور و نیروگاه اتمی نشان می دهد که قیمت این دو نوع منبع انرژی صرف نظر از هزینه های اجتماعی، تقریباً نزدیک به هم و قابل رقابت با یکدیگر هستند. چنانچه قیمت مصرف انرژی های فسیلی برای نیروگاه های کشور بر مبنای قیمت های متعارف بین المللی منظور شوند و همچنین در شرایطی که نرخ تسعیر هر دلار در کشور تعیین گردد، هزینه تولید (قیمت تمام شده) هر کیلووات ساعت برق در نیروگاه های فسیلی و اتمی بشرح زیر می باشد.

در تازه ترین مطالعه ای که برای تعیین هزینه های اجتماعی نیروگاه های هسته ای در ۵ کشور اروپایی بلژیک، آلمان، فرانسه، هلند و انگلستان صورت گرفته است، میزان هزینه های اجتماعی ناشی از نیروگاه های هسته ای در مقایسه با نیروگاه های فسیلی بسیار پایین است. در این مطالعه هزینه های خارجی هر کیلووات ساعت برق تولیدی در نیروگاه های هسته ای در حدود ۰,۳۹ سنت (معادل ۳۱,۲ ریال) برآورده شده است. بنابراین در صورتیکه هزینه های اجتماعی تولید برق را در ارزیابی های اقتصادی نیروگاه های فسیلی و هسته ای منظور نمائیم قطعاً قیمت تمام شده هر کیلووات ساعت برق در نیروگاه هسته ای نسبت به فسیلی بطور قابل ملاحظه ای کاهش خواهد یافت. [۴]

## ۵. مقایسه اجمالی از سیکل تولید برق در نیروگاه های فسیلی و هسته ای

### ۱.۵. تولید برق در نیروگاه فسیلی

تولید برق در نیروگاه فسیلی بر مبنای احتراق سوخت که باعث تبدیل انرژی شیمیایی به حرارت و سپس استفاده از حرارت برای گردش توربین و ژنراتورها می باشد، صورت می گیرد. سوخت های فسیلی مورد استفاده برای تولید الکتریسیته را می توان ذغال سنگ، گاز، نفت و مشتقات آن مانند نفت گاز و نفت کوره دانست. روش انتخابی تولید برق از سوخت های فسیلی نیز بر مواد زاید تولیدی از نظر کمی و کیفی موثر می باشد. نوع نیروگاه برق نیز می تواند در انتخاب نوع سوخت مصرفی محدودیت هایی از نظر سازگاری فناوری ایجاد نماید که اثر زیادی بر آلودگی تولیدی خواهد داشت.

مهمترین انواع نیروگاه های که در آن با احتراق سوخت های فسیلی، برق تولید می شود عبارتند از: نیروگاه های حرارتی بخاری متعارف، نیروگاه های توربین گازی و نیروگاه های چرخه ترکیبی می باشد.

با توجه به اینکه بیشترین زایدات صنعت برق ناشی از بهره برداری از این نیروگاه های با سوخت مایع و جامد می باشد و نیز با در نظر گرفتن این نکته که بیشترین سهم تولید برق کشور توسط نیروگاه های حرارتی بخار متعارف انجام می گیرد. [۱]

### ۲.۵. تولید برق در نیروگاه هسته ای

نیروگاه هسته ای (Nuclear Power Station) یک نیروگاه الکتریکی که از انرژی تولیدی شکست هسته اتم اورانیوم یا پلوتونیم استفاده می کند. اولین جایگاه از این نوع در ۲۷ ژوئن سال ۱۹۵۸ در شوروی سابق ساخته شد. که قدرت آن ۵۰۰۰ کیلو وات است. چون شکست سوخت هسته ای اساساً گرما تولید می کند از گرمای تولید شده راکتورهای هسته ای برای تولید بخار استفاده می شود از بخار تولید شده برای به حرکت در آوردن توربین ها و ژنراتورها که نهایتاً برای تولید برق استفاده می شود. [۷]

در نیروگاه هسته ای از حرارت تولید شده از انرژی هسته ای برای استفاده در یک چرخه بخار یا یک چرخه گاز و بخار برای تولید الکتریسیته استفاده می شود. این حرارت معمولاً از شکاف اتم های سنگین حاصل می گردد. در حال حاضر اورانیوم به عنوان سوخت هسته ای مورد استفاده قرار می گیرد. معادن اورانیوم در طبیعت وجود داشته و بطور متعارف مورد استخراج و بهره برداری قرار می گیرد. سپس این محصولات در فرآیند فرآوری قرار می گیرند تا بتوان آنها بعنوان سوخت هسته ای بکاربرد. اورانیوم طبیعی دارای دو ایزوپ ۲۳۵ و ۲۳۸ می باشد. در حال حاضر فقط از اورانیوم ۲۳۵ برای شکافت استفاده می شود. در حالی که تنها ۷ درصد مقدار طبیعی اورانیوم را تشکیل می دهد. برخی راکتورها قادرند از اورانیوم طبیعی به عنوان سوخت استفاده کنند اما بیشتر راکتورهای اورانیومی را که غنی شده است بعنوان سوخت بکار می برند. از سوی دیگر می توان سوخت مصرف شده را بدون فرآوری مستقیماً بعنوان پسماند برای فرآیند دفع ارسال نمود. راکتورهای حرارتی مختلفی در حال حاضر برای تولید الکتریسیته از انرژی هسته ای به

کارگرفته می‌شوند که می‌توان به راکتورهای آبی تحت فشار، راکتورهای آبی جوشان، راکتورهای خنک شونده با گاز، راکتورهای candu اشاره نمود و نوعی که بیشترین استفاده را در سطح جهان دارد راکتور آبی تحت فشار است. [۱]

## ۶. معایب و محاسن

به هر حال نیروگاههای فسیلی و هسته‌ای هر کدام دارای مزایا و معایب خاص خود می‌باشند و ایجاد هر یک متناسب با مقتضیات زمانی و مکانی هر کشور خواهد بود و انتخاب نهایی و تصمیم‌گیری در این زمینه می‌بایست با توجه به فاکتورهایی از قبیل عوامل تکنولوژیکی، ارزشی، سیاسی، اقتصادی و زیست محیطی توأماً اتخاذ گردد. قدر مسلم ایجاد تنوع در سیستم عرضه و تأمین انرژی از استراتژیهای بسیار مهم در زمینه توسعه سیستم پایدار انرژی در هر کشور محسوب می‌شود. در این راستا با توجه به بررسیهای صورت گرفته، [۴] طبق اعلام موسسه انرژی هسته‌ای (Nuclear Energy Institute یا NEI) یک گلوله سوخت اورانیوم به اندازه یک تن زغال سنگ، ۱۴۹ گالن نفت یا ۱۷ هزار فوت مکعب گاز طبیعی انرژی ایجاد می‌کند. [۵]

## ۷. قابلیت اطمینان نیروگاه‌های هسته‌ای

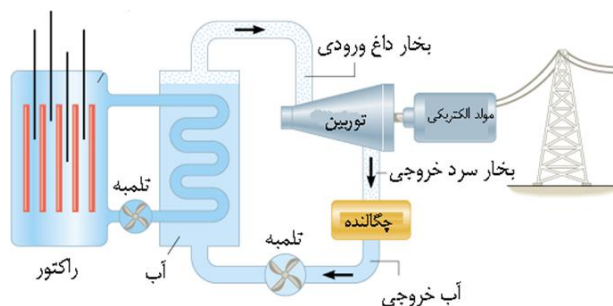
هنگامی که یک نیروگاه هسته‌ای به درستی کار می‌کند، می‌تواند بدون نیاز به سوخت‌گیری یک تا دو سال بدون وقفه کار کند. همچنین عملکرد و فعالیت نیروگاه هسته‌ای مثل نیروگاه‌های خورشیدی یا بادی وابسته به آب و هوا یا تأمین‌کننده خارجی نیست و این باعث می‌شود پایدارتر از سایر اشکال انرژی باشد. طبق گزارش اخبار هسته‌ای جهان (World Nuclear News) نیروگاه هسته‌ای Heyshame II در انگلستان با ۹۴۰ روز بدون نیاز به سوخت‌گیری در سال ۲۰۱۶ رکورد دار می‌باشد. [۵]

## ۸. نیروگاه‌های هسته‌ای بدون گازهای گلخانه‌ای

با اینکه انرژی هسته‌ای، برخی از گازهای گلخانه‌ای را تولید می‌کند ولی نیروگاه‌های هسته‌ای هیچ نوع گاز گلخانه‌ای را تولید نمی‌کنند. مطالعات نشان داده‌اند که انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از این انرژی با انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل از منابع انرژی تجدید پذیر مانند انرژی باد، همسان و برابر است. طبق گزارش اخبار هسته‌ای جهان، انتشار گازهای گلخانه‌ای نیروگاه‌های هسته‌ای در بین تمامی روش‌های تولید برق در کمترین حد بوده و بر مبنای چرخه حیات با آب، باد برق و زیست توده قابل مقایسه است. [۵]

## ۹. کاربرد انرژی هسته‌ای در تولید برق

از انرژی هسته‌ای برای تولید برق استفاده می‌شود. تولید برق با انرژی هسته‌ای نیاز به غنی‌سازی اورانیوم دارد که دانش این امر تنها در انحصار چند کشور است. اساس کار نیروگاه‌های اتمی و نیروگاه بخار تقریباً شبیه هم است. در نیروگاه اتمی به جای بویلر (دیگ بخار) از راکتور استفاده می‌شود. در نیروگاه هسته‌ای، هسته اتم تغییر ماهیت داده و از خود انرژی تولید می‌کند. در راکتور آب به وسیله انرژی حاصل از واکنش‌های هسته‌ای گرم شده و بخار می‌شود و این بخار، توربین را به حرکت در آورده و الکتریسیته تولید می‌کند. (الیکا)



شکل ۱. فرآیند تولید برق در یک نیروگاه هسته‌ای.

**نتیجه گیری:**

سایر دیدگاههای اقتصادی در مورد آینده انرژی هسته‌ای حاکی از آن است که براساس تحلیل سطح تقاضا و منابع عرضه انرژی در جهان، توجه به توسعه تکنولوژیهای موجود و حقایقی نظیر روند تهی شدن منابع فسیلی در دهه‌های آینده، مزیت‌های زیست محیطی انرژی اتمی و همچنین استناد به آمار و عملکرد اقتصادی و ضریب بالای ایمنی نیروگاه‌های هسته‌ای، مضرات کمتر چرخه سوخت هسته‌ای نسبت به سایر گزینه‌های سوخت و با توجه به شرایط موجود چنانچه از لحاظ اقتصادی هزینه‌های فرصتی فروش نفت و گاز را با قیمت‌های متعارف بین المللی در محاسبات هزینه تولید (قیمت تمام شده) برای هر کیلووات برق تولیدی منظور نمائیم و همچنین تورم و افزایش احتمالی قیمت‌های این حامل‌ها (بویژه طی مدت اخیر) را براساس روند تدریجی به اتمام رسیدن منابع ذخایر نفت و گاز جهانی مد نظر قرار دهیم، یقیناً در بین گزینه‌های انرژی موجود مخصوصاً در جمهوری اسلامی ایران، استفاده از حامل انرژی هسته‌ای نزدیکترین فاصله ممکن را با قیمت تمام شده برق در نیروگاه‌های فسیلی خواهد داشت.

**مراجع**

- [۱] مهرزاد احمدی و یاور جلیلیان (ارزیابی عملکردی و زیست محیطی نیروگاه‌های هسته‌ای) دانشکده هسته‌ای بوشهر (کنفرانس ملی یافته‌های نوین پژوهشی و آموزشی ایران دی ۹۵)
- [۲] یوسف یوسفی مرزدشت وسید محسن صالح کوتاهی دانشگاه خواجه نصیرالدین طوس دانشکده فیزیک گروه فیزیک هسته‌ای (پیش بینی احتمال رخداد حوادث بهره‌برداری نیروگاه‌های هسته‌ای با استفاده از شبکه‌های عصبی و مصنوعی، همایش ملی مهندسی قدرت و نیروگاه‌های هسته‌ای)
- [۳] فرامرز یوسف پور، پدram حصارى از دانشگاه بین المللى امام خمینی (ره) قزوین (طراحی معماری نیروگاه‌های هسته‌ای)

[4] <http://daneshnameh.roshd.ir/mavara/mavara-index.php?pag/>

[5] <https://eafworld.com/nuclear-ene/>

[6] <https://elicaelectric.com/blog/>

[7] [barghnews.com/fa/news/5665](http://barghnews.com/fa/news/5665)