انجام مطالعات اقتصادی و زیست محیطی نیروگاه‌های فسیلی و هسته‌ای و ارائه گزینه بهینه

معصومه شجاعی [۱]

ساناز غازی [۲]

مهتاب بیرانوند [۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۰/۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۱۲

چکیده

در طی سال‌های اخیر روند بسیار فزاینده‌ای در مصرف انرژی در سطح جهان به‌ویژه در بخش برق ایجاد گردیده که با توجه به حساسیت‌های جهانی در حفظ محیط زیست و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، منجر به کاربرد سایر منابع غیرفسیلی تولید برق همچون انرژی‌های تجدید پذیر (باد، برق آبی و خورشیدی) و نیز انرژی هسته‌ای شده است. عوامل متعددی درانتخاب گزینه مناسب از بین منابع متعدد تولید برق دارای اهمیت می‌باشند که از آن جمله می‌توان به شرایط جغرافیایی و اقلیمی منطقه، دارا بودن منابع فسیلی، عوامل اقتصادی، فنی و مسایل زیست محیطی مربوطه اشاره کرد. در این راستا با توجه به وضعیت زیست محیطی جهانی و اثرات قابل توجه بخش انرژی بر آن، گرایش عمومی به‌سمت کاربرد روش‌هایی با کارایی بالاتر و تولید برق با آلودگی کمتر است. از میان منابع آتی تامین برق، انرژی هسته‌ای به‌عنوان یک روش تولید انرژی با انتشار در حد صفر گازهای گلخانه‌ای در سطح جهان شناخته شده است که علاوه بر این مزیت دارای ویژگی‌هایی همچون تامین مقدار بسیار چشمگیری از انرژی الکتریکی با مصرف سوخت بسیار ناچیز، اطمینان دسترسی به منبع سوخت و از دیدگاه اقتصادی پایین بودن هزینه‌های تولید همچون ساخت، سرمایه‌گذاری، عملیات بهره‌برداری، مدیریت زائدات و نیز برچیدن سایت پس از اتمام زمان بهره‌برداری می‌باشد که می‌تواند به‌عنوان گزینه مناسبی در کنار زغال‌سنگ جهت تامین انرژی برق در دهه‌های آتی مد نظر قرار گیرد. در این مقاله سعی گردیده با توجه به وجود دیدگاه‌های متعددی در زمینه کاربرد و عدم کاربرد انرژی هسته‌ای به‌عنوان یک روش تامین انرژی، مطالعه بسیار وسیع و جامعی در مورد اثرات حاصل از یک نیروگاه هسته‌ای در مقایسه با نیروگاه هسته‌ای از منظر زیست محیطی و اقتصادی جهت تعیین گزینه بهینه صورت پذیرد. در انتها در بخش اقتصادی، مقایسه هزینه برق فسیلی و هسته‌ای صورت پذیرفته و نتایج نشان‌دهنده این واقعیت می‌باشد که در صورتیکه هزینه‌های خارجی شامل انتشار گازهای گلخانه‌ای در این بخش در نظرگرفته شود، برق هسته‌ای به‌عنوان یک گزینه قابل رقابت و جایگزین می‌باشد ولیکن همچنان دغدغه حاصل از مدیریت پسماندهای هسته‌ای و نیز تامین ایمنی کامل و جلوگیری از بروز حوادث بعنوان معضلات موجود پیشرو قرار دارد.

واژگان کلیدی: برق هسته‌ای، مطالعات اقتصادی، مطالعه زیست محیطی، برق فسیلی

طبقه‌بندی JEL: N7, P28

---

۱. استادیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد پرند، (نویسنده مسئول) E.Mail:shojaee_75@yahoo.com

۲. استادیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد پرند، E.Mail: sanaz_ghazi2001@yahoo.com

۳. دانشجوی رشته مهندسی محیط زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد پرند، E.Mail: o_mahtab1989@yahoo.com

۱. مقدمه

افزایش روند روزافزون 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 حال و آینده به‌دنبال دارد. بدیهی است که این روند به‌دلیل اثرات مخرب و مرگبار آن در آینده تداوم چندانی نخواهد داشت. از این‌رو به‌جهت افزایش خطرات و نگرانی‌ها تدریجی در مورد اثرات مخرب انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از کاربرد فرآیند انرژی‌های فسیلی، واضح است که از کاربرد انرژی هسته‌ای به‌عنوان یکی از رهیافت‌های زیست محیطی برای مقابله با افزایش دمای کره زمین و کاهش آلودگی محیط زیست یاد می‌شود. همچنانکه آمار نشان می‌دهد، در حال حاضر نیروگاه‌های هسته‌ای جهان با ظرفیت نصب شده فعلی توانسته‌اند سالانه از انتشار ۸ درصد از گازهای دی‌اکسیدکربن در فضا جلوگیری کنند که در این راستا تقریبا مشابه نقش نیروگاه‌های برق آبی عمل کرده‌اند. چنانچه ظرفیت‌های در دست بهره‌برداری فعلی تولید برق نیروگاه‌های هسته‌ای، از طریق نیروگاه‌های با خوراک ذغال‌سنگ تأمین می‌شد، سالانه بالغ بر ۱۸۰۰ میلیون تن دی‌اکسیدکربن، چندین میلیون تن گازهای خطرناک دی‌اکسیدگوگرد و نیتروژن، حدود ۷۰ میلیون تن خاکستر و معادل ۹۰ هزار تن فلزات سنگین در فضا و محیط زیست انسان منتشر می‌شد که مضرات آن غیرقابل انکار است. لذا در صورت رفع موانع و مسایل سیاسی و نیز دارا بودن تکنولوژی مناسب و رعایت کامل اصول ایمنی مربوط به گسترش انرژی هسته‌ای در جهان به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه و جهان سوم، این انرژی در دهه‌های آینده نقش مهمی در کاهش آلودگی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ایفا خواهد نمود. (۳)

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 مناسبی رفع ولیکن به‌طور کامل برطرف نشده است و هنوز به‌عنوان یکی از موارد هزینه بر مطرح بوده که با توجه به کم بودن حجم زباله‌های هسته‌ای و پیشرفت‌های علوم هسته‌ای به‌دست آمده در این زمینه هنوز در بین متخصصین این حوزه جای بحث و اختلاف نظر بسیار وجود دارد. از روش‌های متعدد پیش‌بینی شده برای دفع زائدات رادیواکتیو همچون دفن در زیر بستر اقیانوس‌ها، دفن در

زیرزمین، دفن در معادن متروکه مس و نمک، پرتاب به فضای خارج از جو و دفن در یخ‌های قطبی که هر کدام با تهدیداتی جدی مواجه می‌باشد روش دفن نهایی این زباله‌ها در صخره‌های عمیق زیرزمینی با توجه به حفاظت و استتار ایمنی کامل، مشکلات موجود را تا حدودی برطرف نموده است. (۳و۴)

از سوی دیگر به‌نظر می‌رسد که بیشترین اعتراضات و مخالفت‌ها در زمینه استفاده از انرژی اتمی به‌خاطر عدم رعایت کامل اصول ایمنی و وقوع حوادث و انفجارات در برخی از نیروگاه‌های هسته‌ای نظیر حادثه اخیر در نیروگاه چرنوبیل می‌باشد، که این امر با توجه به اثرگذاری شدید، پایداری بسیار بالا و پرتوزایی قوی مواد هسته‌ای انتشاریافته در اثر یک فاجعه هسته‌ای می‌بایست با حساسیت بالا و نیز اتخاذ سیاست‌های و تصمیمات ملی مناسب صورت پذیرد. این قضیه تا حدی دارای اهمیت می‌باشد که کشور آلمان به‌عنوان یکی از پیشروان کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر رویکرد خود را جهت تعطیلی کامل نیروگاه‌های هسته‌اش را تا سال ۲۰۲۰ اعلام نموده و با کاربرد منابع تجدیدپذیر همچون نیروگاه بادی با نصب توربین بادی در خطوط ساحلی و ایجاد مزرعه بادی و نیز نیروگاه خورشیدی سهم بسیار زیادی از نیاز انرژی برق خود را تامین می‌نماید.

از سوی دیگر امروزه با توجه به مفاهیم امنیت ملی، امنیت همه کشورهای جهان در گرو دسترسی مطمئن به انرژی است و بی‌جهت نیست که انرژی یک بخش استراتژیک و زیربنایی مهم در اقتصاد هر کشور به‌حساب می‌آید. تعاملات انرژی و اقتصاد تا بدانجا پیشرفته است که در ادبیات اقتصادی امروزی میزان منابع انرژی در کشورها، میزان عرضه و مصرف سرانه انرژی اولیه و میزان سرانه یک کیلو وات ساعت برق مصرفی به‌صورت یکی از شاخص‌های مقایسه امکانات بالفعل و بالقوه و سطح توسعه کشورها در آمده است. جمهوری اسلامی ایران به‌عنوان یک کشور نفت‌خیز و دارای منابع عظیم گاز در گروه کشورهای صادرکننده انرژی اولیه قرار دارد. در فرآیند توسعه اقتصادی و اجتماعی کشورها در سه دهه گذشته دو مسئله عمده در بخش انرژی در رابطه با بهره‌برداری از منابع انرژی مطرح بوده است. از یک طرف رشد و توسعه اقتصادی و بهبود سطح زندگی مردم ایجاب کرده است که انرژی لازم برای تداوم فعالیت‌های تولیدی و گسترش آن‌ها تامین شود. از طرف دیگر وابستگی اقتصادی کشور به درآمدهای ارزی حاصل از فروش نفت و وابستگی

انکارناپذیر بخش‌های اقتصادی و اجتماعی به بخش نفت و پایان‌پذیری این منابع در دهه‌های آینده چگونگی بهره‌برداری از منابع انرژی را زیر سوال برده است. با روند روبه تزائد مصرف سوخت‌های فسیلی پیش‌بینی شده این نوع منبع انرژی مهم در چند دهه آتی به تمام خواهد رسید. با توجه به این موضوع سوخت‌های فسیلی قابل بهره‌برداری از نظر اقتصادی دوران خود را پشت سر گذاشته‌اند و انرژی فقط از سایر منابع (انرژی آب، باد، جزر و مد، اقیانوسی، انرژی خورشیدی و انرژی هسته‌ای) به‌دست می‌آید. سهم جزر و مد اقیانوس‌ها، انرژی زمین گرمایی و خورشیدی و آب جاری بسیار محدود است و هزینه استفاده از آن‌ها بیش از آن میزان است که به‌صورت درصد قابل ملاحظه‌ای از انرژی خواست شده بشر در آینده درآیند. پس از گذشت حدود نیم قرن از کشف واقعه شکافت امروزه انرژی هسته‌ای حدود ۱۷٪ انرژی کل مصرفی جهان را تامین می‌کند که این مقدار انرژی معادل با مصرف ۴۵ میلیون تن نفت در سال می‌باشد. در چنین شرایطی طرفداران انرژی هسته‌ای در دنیا اعتقاد دارند که انرژی هسته‌ای بر پایه حقایقی نظیر تقاضای فزاینده انرژی و تهی شدن منابع فسیلی در دهه‌های آینده، انتشار در حد صفر آلاینده‌های زیست محیطی انرژی اتمی و پایین بودن هزینه اجتماعی نسبت به سایر گزینه‌های سوخت قرار داشته و جهان فردا برای تامین بخش قابل توجه‌ای از مصرف انرژی خود چاره‌ای جز استفاده از انرژی هسته‌ای نخواهد داشت. در این تحقیق با توجه به وجود رویکرد متعدد وذکر دلایل متنوع در خصوص کاربرد و یا عدم کاربرد انرژی هسته‌ای به‌عنوان یک روش مطمئن تامین انرژی، مطالعه گسترده‌ای بر اثرات زیست محیطی نیروگاه‌های فسیلی و نیروگاه‌های هسته‌ای صورت پذیرفته و با ذکر مطالعه موردی برای کشور این‌دو نیروگاه از بعد زیست محیطی و اقتصادی مورد مقایسه قرار گرفته است سپس با در نظر گرفتن جمیع موارد گزینه بهینه پیشنهاد شده است. (۳و۴)

۲. پیشینه تحقیق

۱-۲. مطالعات داخلی

مهرپرور (۱۳۸۸) به ارزیابی اقتصادی احداث نیروگاه‌های خورشیدی در مقایسه با نیروگاه‌های فسیلی از طریق بررسی تئوریک و کتابخانه‌ای و تجزیه و تحلیل هزینه‌های

پروژه با استفاده از روش ارزش فعلی خالص (NPV) پرداخته است. در این پژوهش با توجه به محدودیت تعداد نیروگاه‌های خورشیدی ایران، نیروگاه خورشیدی سرکویر سمنان مورد بررسی قرار گرفته است.

هدف از ارائه این پژوهش، موضوع انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد به‌طوری که پژوهشگر پس از ارزیابی اقتصادی احداث نیروگاه‌های خورشیدی در مقایسه با نیروگاه‌های فسیلی، به اثبات مقرون به صرفه بودن استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر می‌رسد. ولی این سوال را مطرح می‌کند که اگر این ارزیابی با انرژی‌های تجدیدپذیر دیگری مثل برق آبی، خورشیدی و... انجام شود آیا از لحاظ اقتصادی، باز هم مقرون به صرفه خواهد بود یا خیر؟ (۶)

فاطمه غلامی (۱۳۸۸) به مقایسه هزینه برق خورشیدی و برق آبی با تامین برق از شبکه سراسری در روستاهای فاقد برق پرداخته و با توجه به عدم وجود یک نرخ تنزیل واحد، این پروژه با سه سناریو ارزیابی اقتصادی شده است. در این سناریوها نرخ تورم و نرخ بهره‌های واقعی متفاوتی در سه سطح مشخص شده است. سپس با استفاده از تکنیک هزینه یکنواخت سالیانه، درآمدها و هزینه‌ها به دریافت و پرداخت سالیانه تبدیل می‌شود.

با توجه به محاسبات این بررسی نتیجه‌گیری می‌شود که در هر سه سناریو، قیمت تمام شده برق در نیروگاه برق آبی کوچک کمتر از قیمت برق تولیدی ناشی از گسترش شبکه می‌باشد. پس بنابراین انرژی برق آبی کوچک در تامین انرژی روستاهایی که ذخایر آبی کافی دارند دارای توجیه اقتصادی است. (۷)

عنایتی و همکاران در مطالعه‌ای ضمن معرفی تعداد نقاط دارای پتانسیل آبی استان مازندران، به بررسی استفاده از انرژی برق آبی در یکی از جایگاه‌های استان مازندران پرداخته و به ارزیابی اقتصادی نیروگاه برق آبی و همچنین نقش آن در پایداری شبکه از طریق روش تحلیلی و توصیفی و گردآوری اطلاعات از روش آماری و اسنادی پرداخته است. پژوهشگر ابتدا هزینه سرمایه‌گذاری نیروگاه برق آبی کوچک رابرآورد نموده، سپس عوامل موثر در تغییرات هزینه نیروگاه برق آبی کوچک نسبت به کشورهای آمریکا، کانادا و کشورهای شرق آسیا را به‌دست می‌آورد.

نتایج حاصل از مطالعات در این مقاله حاکی از آن است که با توجه به این که استان مازندران به لحاظ موقعیت جغرافیایی دارای منابع بزرگ انرژی آبی می‌باشد، پایین بودن

قیمت تمام شده انرژی برق آبی و عدم آلایندگی آن برای محیط زیست، آن را جایگزین مناسبی برای سوخت‌های فسیلی نموده است. از طرفی واقع شدن مراکز تولید انرژی نیروگاه‌های برق آبی کوچک در مناطق روستایی باعث ایجاد فرصت‌های شغلی و امکان رشد و توسعه آن و همچنین کاهش تلفات شبکه توزیع خواهد گردید. (۸)

۲-۲. مطالعات خارجی

لزورد (۲۰۰۲) در مقاله‌ای بابررسی سیستم‌های فتوولتائیک و اقتصاد منابع تجدیدپذیر، ضمن به‌دست آوردن هزینه واحد انرژی خورشیدی از روش تحلیل هزینه چرخه عمر و مقایسه آن با هزینه واحد انرژی نیروگاه‌های متعارف، به بررسی میزان مزایای استفاده از این سیستم پرداخته است. در این مطالعه پژوهشگر اعلام نموده با توجه به این که در بخش تولید برق محدودیت منابع سرمایه‌گذاری و محیط زیست از جمله مسایل مهمی است که این فرایند را تحت تاثیر قرار می‌دهد، به حداقل رساندن هزینه و اثرات مخرب محیط زیست همواره مورد توجه متخصصان بوده و خواهد بود. اهمیت حفاظت از محیط زیست و همچنین امنیت انرژی الکتریسیته موجب شده که فرایند تولید برق توسط نیروگاه‌های خورشیدی مورد تاکید قرار گیرد. بدیهی است منابع لازم برای سرمایه‌گذاری در کشورها، مسایل زیست محیطی را تحت‌الشعاع خود قرار می‌دهد. حال سوال اساسی این است که آیا امکان جایگزینی نیروگاه‌های فسیلی به‌وسیله نیروگاه‌های خورشیدی وجود دارد یا حداقل در آینده وجود خواهد داشت؟

این مطالعه سعی دارد با توجه به بالا بودن هزینه‌های تولید برق توسط نیروگاه‌های فسیلی در کشور و همچنین با توجه به وضعیت هزینه‌های تولید برق با درنظر گرفتن هزینه‌های اجتماعی به بررسی اقتصادی موضوع مزبور بپردازد. در این بررسی ابتدا هزینه تمام شده تولید برق به ازای هر کیلو وات ساعت در هر یک از نیروگاه‌های تولید برق محاسبه شده، سپس با توجه به انتشار آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای از نیروگاه‌های غیرخورشیدی و منظور نمودن هزینه‌های خارجی تحمیل شده، ارزیابی لازم صورت گرفته است. در نهایت مشخص شده است که درحال حاضر استفاده از برق تولیدشده از نیروگاه‌های خورشیدی اقتصادی می‌باشد. به‌نظر می‌رسد باتوجه به افزایش تقاضای برق و محدودیت منابع فسیلی و بالا

بودن میزان آلودگی حاصل از این منابع، استفاده از انرژی حاصل از نیروگاه‌های فسیلی، توجیه اقتصادی نداشته باشد. (۱۰)

در تحقیق دیگری شورای جهانی انرژی (۱۹۹۶) منابع تجدیدپذیر در مناطق مختلف جهان را مورد مطالعه قرار داده است. هدف از این مطالعه، یافتن جایگاهی برای انرژی تجدیدپذیر نوین، در مصرف کلی انرژی جهانی و بررسی جنبه‌های زیست محیطی انرژی‌های نو در مناطق مختلف جهان می‌باشد. (۵)

نگاهی اجمالی به سیکل تولید برق نیروگاه‌های هسته‌ای و فسیلی

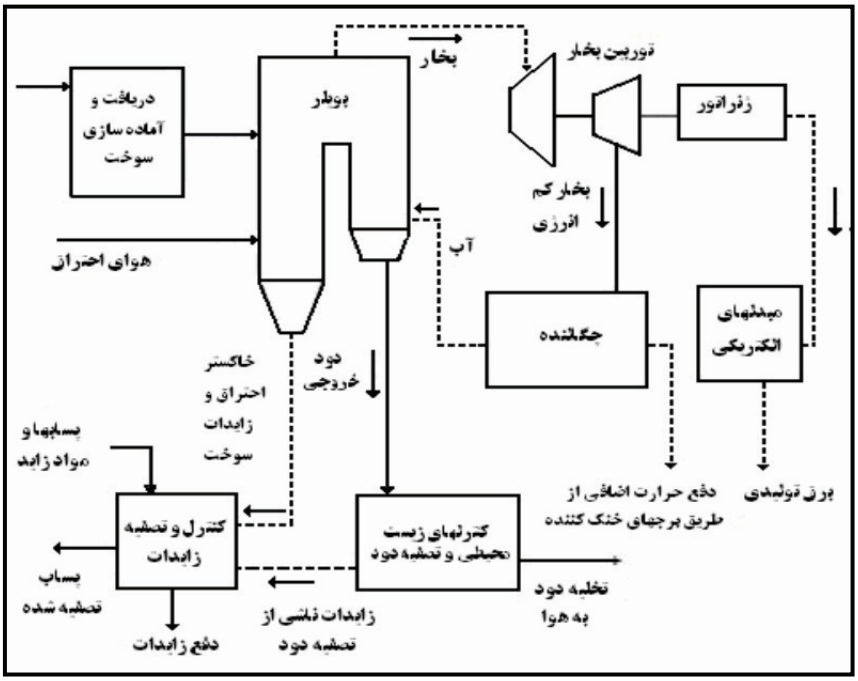
تولید برق در نیروگاه فسیلی

تولید برق در یک نیروگاه سوخت فسیلی بر مبنای احتراق سوخت که باعث تبدیل انرژی شیمیایی به حرارت و سپس استفاده از حرارت برای گردش توربین و ژنراتورها م باشد، صورت می‌گیرد. از دیدگاه زیست محیطی نوع سوخت و نیز روش تولید الکتریسیته از سوخت دارای اهمیت قابل توجهی است. سوخت‌های فسیلی مورد استفاده برای تولید الکتریسیته را می‌توان زغا سنگ، گاز و نفت و مشتقات آن مانند نفت گاز و نفت کوره دانست. کاربرد گاز طبیعی و یا سایر مشتقات آن در نیروگاه‌های برق به دلایل متعدد فنی و زیست محیطی در کلیه کشورهای جهان و نیز در کشور ما رو به افزایش است. استفاده از گاز برای تولید برق مشکلات مربوط به زایدات، به‌خصوص زایدات جامد و نیمه‌جامد را در صنعت برق و نیروگاه‌ها به‌میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد. کاربرد نفت گاز هم غالباً در توربین‌های گازی و نیروگاه‌های دیزلی انجام می‌گیرد. از نفت کوره عمدتاً در نیروگاه‌های حرارتی به‌خصوص در فصول سرد سال استفاده می‌شود که با توجه به وجود انواع ناخالصی‌ها، عناصر سنگین و گوگرد در آن، مسایل زیست محیطی و زایدات مرتبط با فعالیت نیروگاه به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد. در یک نگرش گسترده، مسایل زیست محیطی در کلیه مراحل مربوط به استخراج زغال‌سنگ، نفت و یا گاز، حمل‌ونقل سوخت‌ها، آماده‌سازی و پالایش آن‌ها وجود دارد. همانگونه که قبلاً اشاره گردید علاوه بر نوع سوخت مصرفی که از دیدگاه مدیریت مواد زاید در صنعت تولید برق از اهمیت زیادی برخوردار است و به‌طور مستقیم بر مقدار و نوع زایدات تولید شده مؤثر خواهد بود، روش انتخابی تولید برق از

سوخت‌های فسیلی نیز بر مواد زاید تولیدی از نظر کمی وکیفی موثر می‌باشد. نوع نیروگاه برق نیز می‌تواند در انتخاب نوع سوخت مصرفی محدودیت‌هایی از نظر سازگاری فناوری ایجاد نماید که اثر زیادی بر آلودگی تولیدی خواهد داشت. مهمترین انواع نیروگاه‌هایی که در، آن‌ها با احتراق سوخت‌های فسیلی، برق تولید می‌شود عبارتند از: نیروگا های حرارتی بخاری متعارف، نیروگاه‌های توربین گازی و نیروگاه‌های چرخه ترکیبی (۱و۳)

در جمهوری اسلامی ایران نیروگاه‌های حرارتی دارای دو تا چهار واحد تولید با ظرفت‌هایی از ۱۲/۵ مگاوات (مانند نیروگاه حرارتی شهید فیروزی در تهران) تا ۴۴۰ مگاوات (مانند نیروگاه حرارتی شهید سلیمی نکا مازندران) است.

شکل ۱. اجزای اساسی یک نیروگاه حرارتی با توربین بخار(۳)



با توجه به اینکه بیشترین زایدات صنعت برق ناشی از بهره‌برداری از این نوع نیروگاه‌های با سوخت مایع و جامد می‌باشد و نیز با در نظر گرفتن این نکته که بیشترین سهم تولید برق کشور توسط نیروگاه‌های حرارتی بخار متعارف انجام می‌گیرد.

تولید برق در نیروگاه هسته‌ای

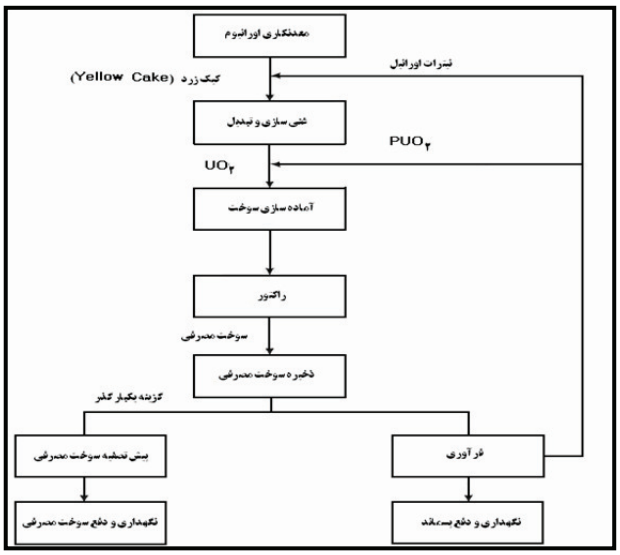
ضرورت استفاده از انرژی هست ای هم از نظر راهبردی و هم از جنبه اقتصادی در بسیاری از کشورهای جهان در مرحله توسعه قرار دارد. این ضرورت هنگامی بیشتر احساس می‌شود که با راه‌اندازی یک نیروگاه هسته‌ای بزرگ می‌توان از مصرف روزانه ۵۰۰۰۰ بشکه نفت جلوگیری نمود. با احتساب قیمت نفت مشخص می‌شود که هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای یک نیروگاه هسته‌ای در عرض چند سال جبران خواهد گردید. همچنین این روش با توجه به اینکه ذخایر نفت جهانی رو به کاهش است.

می‌تواند به‌عنوان یک روش مطمئن برای آینده در نظر گرفته شود. هر چند دیدگاه های منفی نیز نسبت به تولید برق از انرژی هست ای وجود دارد که ممکن است در ارتباط با مسایل سیاسی و یا احتمالات بروز فاجعه‌های زیست محیطی باشد. در نیروگاه‌های هسته‌ای از حرارت تولید شده از انرژی هسته‌ای برای استفاده در یک چرخه بخار یا یک چرخه گاز و بخار برای تولید الکتریسیته استفاده می‌شود. این حرارت معمولا از شکافت اتم‌های سنگین حاصل می‌گردد. در حال حاضر اورانیوم به‌عنوان سوخت هسته‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. معادن اورانیوم در طبیعت وجود داشته و به‌طور متعارف مورد استخراج و بهره‌برداری قرار می‌گیرند. سپس این محصولات در فرآیند فرآوری قرار می‌گیرند تا بتوان آنها را به‌عنوان سوخت هسته‌ای بکار برد. اورانیوم طبیعی دارای دو ایزوتوپ ۲۳۵ و ۲۳۸ م باشد. در حال حاضر فقط از اورانیوم ۲۳۵ برای شکافت استفاده می‌شود. در حالی که تنها ۰/۷ درصد مقدار طبیعی اورانیوم را تشکیل می‌دهد. برخی راکتورها قادرند از اورانیوم طبیعی به‌عنوان سوخت استفاده کنند اما بیشتر راکتورها اورانیومی را که قدری غنی شده است به‌عنوان سوخت بکار می‌برند. در این نوع اورانیوم، درصد ایزوتوپ ۲۳۵ افزایش داده شده است. در درون راکتور، فرآیند شکافت تحت کنترل به‌وقوع می‌پیوندد. اورانیوم ۲۳۵ شکافته شده و به انرژی و اتم‌های سبکتر که به‌عنوان محصولات شکافت موسومند تبدیل می‌گردد. برخی از محصولات شکافت به شدت رادیواکتیو هستند. مقداری از اورانیوم ۲۳۸ به محصولات

سنگین‌تر تبدیل می‌شود که آنها نیز رادیواکتیو می‌باشند. سوخت مصرف شده با خروج از راکتور (معمولا به‌صورت سالانه) حاوی اورانیوم مصرف نشده، محصولات شکافت، پلوتونیوم و سایر اتم‌های سنگین است. از نظر شیمیایی ممکن است سوخت مصرف شده را حل نموده و تحت فرآیندهای شیمیایی آنرا فرآوری و مجددا اورانیوم و پلوتونیوم مصرف نشده را از آن جدا و مورد مصرف قرار داد. از سوی دیگر می‌توان سوخت مصرف شده را بدون فرآوری مستقیما به‌عنوان پسماند برای فرآیند دفع ارسال نمود. راکتورهای حرارتی مختلفی در حال حاضر برای تولید الکتریسیته از انرژی هسته‌ای به‌کار گرفته می‌شوند که می‌توان به رآکتورهای آبی تحت فشار[1]، رآکتوهای آبی جوشان[2]، راکتورهای خنک شونده با گاز[3]، راکتورهای CANDU[4] اشاره نمود(۲و۵) نوعی که بیشترین استفاده را در سطح جهان دارد راکتور آبی تحت فشار است.

شکل ۲ نشان‌دهنده مراحل اساسی چرخه سوخت هسته‌ای برای تولید الکتریسیته است.

شکل۲. مراحل مختلف چرخه سوخت هسته ای برای تولید الکتریسیته از معدن تا دفع پسماند (سیکل تولید برق در نیروگاه هسته‌ای)



1. Pressurized Water Reactor(PWR)
2. Boiling Water Reactor (BWR)
3. Gas- cooled reactor(GCR)
4. Canada Deuterium Uranium

اثرات زیست محیطی نیروگاه‌ها

به دلایل گوناگون در کشورهای درحال‌توسعه و به‌ویژه جوامعی که براساس توانایی‌های بالقوه خویش از رشد سریعی برخوردار می‌گردند، در بسیاری از موارد اولویت‌های توسعه راه را بر اولویت‌های زیست محیطی می‌بندند. بنابراین در چنین شرایطی بروز برخی موانع و عوارض ناشی از ورود آلایند های جامد، مایع و گاز به آب و هوا و خاک در مقیاس محلی، منطقه‌ای، ملی و حتی فراملی امری اجتناب ناپذیر می‌گردد. اثرات زیست محیطی نیروگاه‌ها را می توان به دو مرحله ساخت و بهره‌برداری تقسیم بندی نمود. (۳)

نیروگاه‌های فسیلی در مرحله ساختمانی دارای اثرات بالقوه منفی تدریجی می‌باشند که نخست با اجرای فعالیت‌های آماده‌سازی اراضی ایجاد می‌شود. پاکتراشی محل احداث، گودبرداری، خاکبرداری، زهکشی و لایروبی از عمده‌ترین اقدامات در این مرحله به‌شمار می‌آید. علاوه بر این، استخدام و بکارگیری تعداد زیادی از کارگران در مرحله ساختمانی می‌تواند، اثرات قابل توجه فرهنگی و اجتماعی در منطقه ایجاد نماید. یکی از اثرات عمده نیروگاه‌ها عبارت از ورود کارگران به منطقه در طی مراحل ساختمانی واحد است. حتی تا چند هزار کارگر ممکن است در طی سال‌های اجرای کارهای ساختمانی یک نیروگاه بزرگ به کار اشتغال یابند و این تعداد در جریان بهره‌برداری به چند صد کارگر تقلیل می‌یابد. هنگامی که جامعه پذیرنده، کوچک باشد فشار وارده بیشتر و ملموستر خواهد شد. در چنین مرحله‌ای وضعیتی تحت عنوان شهر سریع الرشد پدید می‌آید که بالطبع این امر تاثیر منفی و قابل توجهی به تاسیسات زیربنایی جامعه (مدرسه، پلیس ،آتش‌نشانی ، امکانات و خدمات بهداشتی و درمانی و .....) خواهد گذاشت. جابجایی جمعیت‌های محلی به‌دلیل نیازمندی‌های پروژه و امکانات جانبی آن در اراضی پیرامون پدید خواهد آمد و آشفتگی‌های عمده‌ای درحمل‌ونقل و ترافیک محلی در نتیجه ساخت‌وساز و بهره‌برداری از نیروگاه بروز خواهد کرد.

در بخش بهره‌برداری انواع اصلی آلاینده‌ها و مهمترین منابع آنها در فرآیندهای اصلی و فرعی مرتبط با روش‌های مختلف تولید انرژی برق مورد بررسی قرار می‌گیرد. در اکثر روش‌های تولید الکتریسیته حتی در روش‌های مورد استفاده در انرژی‌های نو یا هسته‌ای به نوعی یک چرخه توربین گازی یا توربین بخار مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. از این جهت بسیاری از آلاینده‌های احتمالی ناشی از بهره‌برداری واحدهای تولید الکتریسیته مشابهت‌های

قابل توجهی خواهند داشت. اگرچه بسیاری از آلاینده‌ها نیز به‌خصوص در چرخه‌های تولید برق، به‌طور غیرمستقیم یا مستقیم به‌دلیل مصرف سوخت‌های فسیلی تولید می‌شوند که در نیروگاه‌های غیرفسیلی وجود ندارند. در عین حال در همان نیروگاه‌ها ممکن است آلاینده‌های دیگری ناشی از مواد اولیه، منبع اصلی انرژی یا مواد شیمیایی مورد استفاده در فرآیند تولید گردند. (۳)

در نیروگا های هسته‌ای به‌جای استفاده از سوخت فسیلی برای تهیه بخار از سوخت هسته‌ای استفاده می‌شود. در حقیقت در این نیروگاها یک راکتور هسته‌ای وجود دارد که به همراه آن از روش‌های مختلف چرخه‌های بخار یا گاز یا ترکیب این دو جهت تولید انرژی برق استفاده می‌شود. بنابراین اجزای اصلی یک چرخه بخار مانند توربین، ژنراتور، چگالنده، گرمکن‌ها و مبدل‌های حرارتی، تصفیه خانه آب و بسیاری اجزای دیگر در نیروگاه‌های هسته‌ای نیز وجود دارند. آلودگی احتمالی ناشی از هر یک از این بخش‌ها تا حدودی همانند نیروگاه‌های حرارتی بخار سوخت فسیلی می‌باشد و تنها تفاوت موجود، در آلاینده‌های مربوط به سوخت است. از دیگرآلاینده‌های اصلی نیروگاه‌های هسته‌ای زباله‌های تولیدی حاصل از فرایند تولید برق می‌باشد. این مواد همواره پس از دفع در زباله‌ها یا فاضلاب‌های شهری و صنعتی از طریق خاک وآب وارد آب‌های سطحی یا زیرزمینی شده و به طرق مختلف مورد استفاده حیوانات و گیاهان قرار می‌گیرند. استفاده از گیاهان آلوده و مصرف شیر و گوشت حیواناتی که از طریق آب یا گیاه آلوده شده‌اند، موجب ورود این مواد به بدن انسان شده و عوارض بی‌شماری در محیط زیست به‌وجود می‌آورند. خطر آلودگی انسان به مواد رادیواکتیو از طریق آب در بسیاری از موارد مورد تایید قرارگرفته است. به‌حدی که دفع اینگونه مواد در آب دریاها واقیانوس‌ها ممنوع شده است. در حال حاضر بیشترین مقدار زباله‌های هسته‌ای مربوط به تولید پلوتونیم است که برای تهیه بمب‌های هسته‌ای در صنایع نظامی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این زباله‌ها به حالت خمیری و یا سیال درمخازن مخصوص نگهداری می‌شوند. روش‌های مختلفی که برای جامد کردن اینگونه زباله‌ها به‌کار می‌رود، عبارتند از: خشک کردن، شفاف یا کریستالی کردن آن‌ها است. از جمله مشکلات و خطرات حاصل از پسماندهای هسته‌ای می‌توان به‌موارد ذیل اشاره نمود:

خطر واپاشی رادیواکتیوی: خطر عمده ناشی از این واقعیت است که بعضی نیمه عمرها زمان فعال زباله‌های رادیواکتیوی را به هزاران سال می‌رسانند. واپاشی رادیواکتیوی باید جریان خود را طی کند حتی اگر هزار سال طول بکشد.

فراوانی زباله هسته‌ای: دیر یا پس نیم ـ عمرها مشکل نیست. در فرایند تولید انرژی هسته‌ای مقدار زیادی زباله رادیواکتیوی به‌وجود می‌آید. بنابراین ، آمار وزارت انرژی آمریکا از سال ۱۹۴۶ تا ۱۹۸۳ حدود ۷۱ میلیون پوند زباله رادیواکتیو از هفت مرکز در آزمایش‌های مربوط به هوا، آب و زمین تخلیه شده است. بدیهی است که زباله‌های دیگری از مراکز دیگر تخلیه شده است.

زباله‌های گازی: غالبا ایزوتوپ‌های رادیواکتیو از گازهای نجیب، از قبیل کریپتون هستند. تریتیم که ایزوتوپی از هیدروژن است نیز به‌صورت گاز، عمدتا به‌صورت بخار آب تخلیه می‌شود. تریتیم به‌صورت بخش هیدروژنی مولکول آب در زنجیرهای زیست شناختی مواد غذایی وارد می‌شود.

آب‌های زیرزمینی: ایزوتوپ‌های رادیواکتیو در زباله‌های مایع، معمولا از طریق بارندگی به‌صورت جامد در می‌آید و انبار می‌شود. اگر این زباله‌ها در زمین در گودالهای بدون آستر، بدون آنکه در محفظه‌های خاص باشند دفن شوند در طی چند قرن بعد آب‌های زیرزمینی این مواد رادیواکتیو را پراکنده خواهند کرد. (۳)

۳. نتایج

در این قسمت به‌بیان مقایسه تطبیقی اثرات زیست محیطی و اقتصادی نیروگاه فسیلی و هسته‌ای پرداخته می‌شود و در ادامه با مقایسه یک نمونه موردی به ذکر ملموس‌تر نتایج اشاره می‌گردد.

ابتدا جهت درک و مقایسه تطبیقی ملموس‌تر اثرات زیست محیطی نیروگاه‌های فسیلی و هسته‌ای به ذکر نمونه اثرات زیست محیطی حاصل از تولید برق به یک میزان واحد برابر با ۸۰۰۰ کیلو وات ساعت که به‌طور معمول مورد نیاز انرژی برق یک نفر در کشور درحال‌توسعه می‌باشد با منبع انرژی هسته‌ای و نیز نیروگاه زغال‌سنگ اشاره می شود.

جدول۱نشان‌دهنده نتایج حاصل از کاربرد این دو منبع جهت تامین ۸۰۰۰ کیلو وات ساعت برق می‌باشد.

میزان برق تولیدی	نوع نیروگاه	نوع سوخت	میزان سوخت	محصولات و آلاینده های تولیدی
۸۰۰۰ کیلو وات ساعت	هسته‌ای	اورانیم	۷۰-۳۰ کیلوگرم	۲۰۰ گرم اورانیم تهی شده ، ۳۰ گرم سوخت مصرف شده، ۲۰ میلی لیتر پسماند با سطح اکتیویته بالا، ۶ گرم شیشه بعنوان ماده زائد نهایی
	فسیلی	زغال سنگ	۳ تن	۳۰۰ کیلو گرم خاکستر فرار، ۸ تن گازهای گلخانه ای شامل دی اکسید کربن و دی اکسید گوگرد

همچنین با توجه به اثرات حاصل از نیروگاه‌ها نتایج حاصل از مقایسه اثرات زیست محیطی حاصل از نیروگاه‌های حرارتی، هسته‌ای و برق آبی با توجه به شدت هر اثر در جدول۲ ارائه شده است:

جدول۲. مقایسه اثرات زیست محیطی حاصل از نیروگاه های حرارتی و هسته ای و برق آبی

طرح / پارامترهای زیست محیطی	نیروگاه های حرارتی	نیروگاه های هسته ای	نیروگاه های برق آبی
هیدرولوژی آبهای سطحی	۱	۳	۱
کیفیت آبهای سطحی	۱	۱	۲
هیدرولوژی آبهای زیرزمینی	۳	۳	
کیفیت آبهای زیر زمینی	۳	۱	
کیفیت هوا	۱	۳	
منابع معدنی	۳	۲	
شیلات و ماهیگیری	۱	۱	
کیفیت خاک (آلودگی)		۱	
جنگل	۲		۱
حیات وحش			۱
کاربری زمین	۳	۲	۱
فرسایش و رسوبزایی			۲
لرزه خیزی			۱
صنعت	۲	۲	۲

شاخص : ۱- اثر مشخص و مهم ۲- اثر با اهمیت متوسط ۳- اثر ناچیز
همانگونه که مشخص است نیروگاه‌های حرارتی دارای اثر بالقوه و مشخص و مهمی بر کیفیت و هیدرولوژی آب‌های سطحی، کیفیت هوا، شیلات و ماهیگیری دارند و این اثرات برای نیروگاه‌های هسته‌ای در برگیرنده اثراتی بر کیفیت آب‌های سطحی، آب‌های زیر زمینی ، شیلات و ماهیگیری و کیفیت خاک می‌باشند.

مطالعات اقتصادی برق فسیلی و هسته‌ای

تولید هر کیلو وات ساعت برق به‌عوامل متفاوتی بستگی دارد بنابراین برای محاسبه قیمت الکتریسیته تولید شده در نیروگاه‌ها محاسبه چهار عامل ۱- هزینه ساخت ۲- هزینه سوخت ۳- هزینه تعمیرات و نگهداری و ۴- هزینه انرژی الکتریکی تولید شده توسط نیروگاه مورد نیاز می‌باشد. همچنین از آنجائیکه تولید برق بخشی از فرایند تولید انرژی محسوب می‌گردد لذا برای تولید و مصرف انرژی که دارای اثرات سوء زیست محیطی و بهداشتی می‌باشد هزینه‌های بیرونی نیز لحاظ می‌گردد. (۲) که در علم محیط زیست کمی نمودن اثرات سوء زیست محیطی و بهداشتی تحت عنوان هزینه‌های اجتماعی قلمداد می‌گردد. هزینه‌های اجتماعی انواع روش‌های تولید برق بسیار متفاوت خواهد بود. بیشترین هزینه‌های اجتماعی مربوط به تولید برق از زغال‌سنگ و کمترین آن به تولید انرژی از باد تعلق می‌گیرد.

جدول۳. هزینه های اجتماعی انواع روش های تولید برق (۱)

منبع تولید برق	هزینه اجتماعی Cent/kwh	ریال به ازای کیلو وات ساعت
زغال سنگ	۲-۱۵	۱۸۰-۱۳۵۰
گاز	۱-۳	۹۰-۲۷۰
هسته ای	۰/۲-۰/۷	۱۸-۶۳
زیست توده	۱-۳	۹۰-۲۷۰
باد	۰/۰۵-۰/۲۵	۴/۵-۲۲/۵
آب	۰/۱-۱	۹-۹۰
فتوولتائیک	۰/۴-۰/۶	۳۶-۵۴
نفت کوره	۳-۸	۲۷۰-۷۲۰
۹۰ ریال به ازای سنت		

در واقع هزینه‌های بیرونی تولید برق در برگیرنده مسایل زیست محیطی، اکتشاف، استخراج، تولید و انتقال سوخت به نیروگا ها می‌باشد. به هر حال در برابر این عقیده، عده‌ای نیز معتقدند که هزینه‌های بیرونی هر فعالیت باید جداگانه محاسبه شود و تداخل هزینه‌ای صورت نپذیرد. مطالعات جهانی حاکی از آن است که بیشترین هزینه اجتماعی تولید یک کیلووات ساعت برق مربوط به نیروگاه‌های زغال‌سنگی که در مناطق حساس از نقطه نظر اکوسیستمی قرار دارند، می‌باشد که معادل ۶۴۰ ریال است. همچنین هزینه‌های بیرونی تولید یک کیلووات ساعت برق از نیروگاه‌های اتمی بسیار پائین و معادل ۲۲ ریال است. البته باید این نکته را در نظر داشت که هزینه‌های بیرونی تولید برق شدیداً تابع مکان استقرار واحدهای تولید برق است.

بررسی ابعاد اقتصادی جایگزینی نیروگاه‌های هسته‌ای با توجه به تحلیل هزینه تولید (قیمت تمام شده) برق در سیستم‌های مختلف نیرو در سایر کشورها نشان‌دهنده اینست که نیروگاه‌های هسته‌ای با عملکرد مناسب اقتصادی خود از هر لحاظ با نیروگاه‌های سوخت فسیلی قابل رقابت می‌باشند. به‌هرحال طی چند دهه گذشته کاهش قیمت سوخت‌های فسیلی در بازارهای جهانی، سبب افزایش هزینه‌های ساخت نیروگاه‌های هسته‌ای به دلیل تشدید مقررات و ضوابط ایمنی، طولانی‌تر شدن مدت ساخت و بالاخره باعث ایجاد مشکلات تأمین مالی لازم و بالا رفتن قیمت تمام شده هر واحد الکتریسیته در این نیروگاه‌ها شده است. از یک طرف مشاهده می‌شود که طی این مدت حدود ۴۰ درصد از هزینه‌های چرخه سوخت هسته‌ای کاهش یافته است و از سویی دیگر با توجه به پیشرفت‌های فنی و تکنولوژی حاصل از طرح‌های استاندارد و برنامه‌ریزی‌های دقیق به‌منظور تأمین سرمایه اولیه مورد نیاز مطمئن و به هنگام احداث چند واحد در یک سایت برای صرفه جوئی‌های ناشی از مقیاس مربوط به تأسیسات و تسهیلات مشترک مورد نیاز در هر نیروگاه، همچنان مزیت نیروگاه‌های اتمی از دیدگاه اقتصادی نسبت به نیروگاه‌های با سوخت فسیلی در اغلب کشورها حفظ شده است. 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 مضرات کمتر چرخه سوخت هسته‌ای

نسبت به سایر گزینه‌های سوخت و پیشرفت‌های حاصله در زمینه نیروگاه‌های زاینده و مهار انرژی گداخت هسته‌ای در طول نیم قرن آینده، بدون تردید انرژی هسته‌ای یکی از حامل‌های قابل دسترس و مطمئن انرژی جهان در هزاره سوم میلادی به‌شمار می‌رود. در این راستا شورای جهانی انرژی تا سال ۲۰۲۰ میلادی میزان افزایش عرضه انرژی هسته‌ای را نسبت به سطح فعلی حدود ۲ برابر پیش بینی می‌نماید.

همچنین آمارها نشان‌دهنده این واقعیت است که در حال حاضر نیز کشورهای بسیاری به‌ویژه کشورهای اروپایی سهم قابل توجهی از برق مورد نیاز خود را از انرژی هسته‌ای تأمین می‌نمایند. به‌طوریکه از مجموع نیروگاه‌های هسته‌ای 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 نهایتا فقط ۰/۷۴ درصد به آسیای میانه اختصاص دارد. بدون شک در توجیه ضرورت ایجاد تنوع در سیستم عرضه انرژی کشورهای مذکور، انرژی هسته‌ای به‌عنوان یک گزینه مطمئن اقتصادی مطرح است. جدول ۴ نشان‌دهنده جدول مقایسه هزینه تولید برق از منابع مختلف در تعدادی از کشورهای جهان (سال ۲۰۱۰) است.

جدول۴. مقایسه هزینه تولید برق (۲۰۱۰)- (OECD2005)

نام کشور	هسته ای	زغالسنگ	گاز طبیعی
فنلاند	۲,۷۶	۳,۶۴	-
فرانسه	۲,۵۴	۳,۳۳	۳,۹۲
آلمان	۲,۸۶	۳,۵۲	۴,۹
سوئیس	۲,۸۸	-	۴,۳۶
هلند	۳,۵۸	-	۶,۰۴
جمهوری چک	۲,۳	۲,۹۴	۴,۹۷
اسلواکی	۳,۱۳	۴,۷۸	۵,۵۹
رومانی	۳,۰۶	۴,۵۵	-
ژاپن	۴,۸	۴,۹۵	۵,۲۱
کره	۲,۳۴	۲,۱۶	۴,۶۵
آمریکا	۳,۰۱	۲,۷۱	۴,۶۷
کانادا	۲,۶	۳,۱۱	۴

مطالعه موردی

در این بخش جهت کمی سازی مقایسه هزینه‌های نیروگاه فسیلی و هسته‌ای با استفاده از آمار موجود در خصوص هزینه‌های مرتبط با نیروگاه سیکل ترکیبی و بخاری شهید رجایی و نیز یک نمونه نیروگاه راکتوری مشابه نیروگاه بوشهر، مقایسه اقتصادی برق تولیدی از ایندو منبع ارائه شده است. در این خصوص هزینه‌های مرتبط با تولید برق نیروگاه شهید رجایی قزوین در بخش‌های ساخت، سوخت، تعمیر و نگهداری ارائه گردیده است.

نیروگاه شهید رجایی از دو بخش مجزا تشکیل شده یکی نیروگاه بخاری و دیگری سیکل ترکیبی که ابتدا هزینه یک کیلو وات ساعت، برق تولیدی در این نیروگاه ارائه گردیده است. جدول ۵ نشان‌دهنده هزینه‌های مرتبط با این نیروگاه می باشد.

جدول۵. هزینه ساخت، سوخت، تعمیر و نگهداری نیروگاه برق فسیلی شهید رجایی قزوین

هزینه ساخت (منبع: اطلاعات فنی و اقتصادی نیروگاه های بخاری و سیکل ترکیبی شهید رجایی، ۱۳۸۴)						
نام نیروگاه	قدرت(سال)	عمر مفید(سال)	زمان احداث(سال)	تولید(مگاوات ساعت)	هزینه احداث	
					Euro/kW	Rls./kW
بخاری شهید رجایی	۱۰۰۰	۳۰	۵	۶۷۳۰۰۴۵	۴۵۵	۱۸۸۰۴۰۰
سیکل ترکیبی شهید رجایی	۱۰۰۰	۳۰	۵	۵۰۵۴۱۳۸	۳۲۶	۱۸۵۰۴۰۰
هزینه ساخت یک نیروگاه بخاری ۱۰۰۰ مگاواتی ۱۰۱۲*۶/۸۸ ریال است. هزینه ساخت یک نیروگاه سیکل ترکیبی ۱۰۱۰*۵/۴۳ ریال است.						
هزینه سوخت(منبع: نوع سوخت مصرفی و مقدارومبلغ سوخت بر اساس قیمت سوخت FOB[1] خلیج فارس،۱۳۸۴)						
نام نیروگاه	گاز طبیعی		گازوئیل		نفت کوره	
	مصرف (متر مکعب)	قیمت (مترمکعب/ریال)	مصرف (لیتر)	قیمت (لیتر/ریال)	مصرف (لیتر)	قیمت (لیتر/ریال)
بخاری شهید	۱۰۷۷۷۸۸۰۰۰	۵۲۸	۱۱۲۰۰۰	۱۹۹۸	۵۰۶۲۴۳۰۰۰	۱۵۳۵

1. Free on board

رجایی						
سیکل ترکیبی شهید رجایی	۱۰۶۵۹۸۳۰۰۰	۵۲۸	۸۷۴۸۷۰۰۰	۱۹۹۸	-	-
هزینه سوخت سالانه ۱۰۱۰*۶/۳۴ ریال محاسبه می شود.						

هزینه تعمیر و نگهداری (منبع: هزینه تعمیرات و نگهداری نیروگاه بخاری شهید رجایی سال1384)

نام نیروگاه	هزینه تعمیرات و نگهداری		
	ثابت سالیانه	متغیر	
	Rls./kw	Euro cents/kWh	Rls. / kWh
بخاری شهید رجایی	۳۹۳۱۸	۰/۰۱۴۸۴	۲/۰۹
سیکل ترکیبی شهید رجایی	۱۸۰۴۹	۰/۰۴۴۵۲	۱/۴۲
طبق محاسبات هزینه تعمیرات و نگهداری نیروگاه بخاری ۱۰۱۰*۲/۰۱می باشد.			

محاسبه قیمت الکتریسیته تولید شده نیروگاه هسته‌ای

با توجه به اینکه آمار دقیقی از برآورد هزینه‌های ساخت و راه‌اندازی نیروگاه اتمی بوشهر در دسترس نبود از نتایج قیمت الکتریسته تولید شده در یک پروژه تحقیقاتی شبیه‌سازی شده با نرم‌افزار NRFCP و نیز نتایج محاسبات فنی و اقتصادی استفاده شده است. در پروژه تحقیقاتی شبیه‌سازی شده از نرم‌افزار جهت آنالیز اقتصادی یک راکتور آب سبک از نوع PWR مشابه با رآکتور اتمی بوشهر استفاده شده است. نتایج حاصل از تحقیق انجام شده در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول۶. قیمت الکتریسیته تولید شده نیروگاه ها با احتساب هزینه های اجتماعی بر حسب (ریال بر Kwh)

نوع نیروگاه	قیمت الکتریسیته تولید شده	هزینه های اجتماعی	قیمت نهایی الکتریسیته
بخاری	۱۵۶/۲۵	۱۸۰	۳۳۶/۲۵
سیکل ترکیبی	۱۶۱/۷۶	۱۵۳	۳۱۴/۷۶
هسته ای	۱۵۲	۴۰	۱۹۲

۴. جمع‌بندی و ارائه پیشنهادات

از بررسی های انجام یافته می‌توان نتیجه گرفت که قیمت الکتریسیته تولید شده توسط نیروگاه هسته‌ای با متداو ترین نیروگاه فسیلی (نیروگاه بخاری) قابل رقابت می‌باشد. از منظر اقتصادی در صورتیکه هزینه خارجی به قیمت الکتریسیته تولید شده نیروگاه‌ها اضافه شود، نیروگاه هسته‌ای ارزاتر از نیروگاه فسیلی است و توجیه اقتصادی دارد. همچنین میزان آلایندگی تولید شده توسط نیروگاه هسته‌ای تقریبا نزدیک صفر است و از آن به‌عنوان منبعی با انتشار در حد صفر نام می‌برند ولیکن تنها نکته مهم و حساس در نیروگاه هسته‌ای مسئله دورریزی و دفن مواد پسماند پرتوزای تولید شده می‌باشد. اگرچه یک نیروگاه ۱۰۰۰ مگاواتی دارای حدودا ۳۰ تن پسماند در سال دارد و این مقدار مواد زائد بسیار ناچیز است ولیکن با توجه به خاصیت پرتوزایی، واکنش‌پذیری شدید و پایداری بالا و نیز اثرات تخریب‌کننده شدید بر محیط‌زیست و نیز انسان لحاظ سیستم مدیریت مواد زائد خطرناک متناسب با ماهیت پسماندهای تولیدی بسیار حائز اهمیت بوده و می‌بایست به‌درستی شناسایی و در قالب تعهدات بین‌المللی به اجرا گذاشته شود. از سوی دیگر مسئله ایمنی در سایت نیروگاه هسته‌ای برای کشورهای درحال‌توسعه که عمدتا در مراحل آغازین کاربرد این تکنولوژی می‌باشند دارای اهمیت بسیار بوده و باید به‌درستی برنامه‌ریزی و اجرا گردد. زیراکه با بروز خطایی در حد صدم ثانیه منجر به بروز فاجعه‌ای جبران‌ناپذیر همچون انفجار نیروگاه هسته‌ای چرنوبیل که در سال ۱۳۶۵ در اکراین اتفاق افتاد و منجر به کشته شدن فوری ۳۲ نفر و نیز مرگ ۴۷ نفر از کارکنان و گروه کمک رسان و بدنبال آن اثرات منفی آن همچون تولد کودکان ناقص الخلقه و نیز عدم باروری زمین و ایجاد جهش‌های ژنتیکی تا زمان حال، از اثراتی می‌باشد که می‌بایست در هنگام برنامه‌ریزی و کارکرد یک نیروگاه

هسته‌ای بدین اثرات اندیشیته و با دقت مدنظر قرار گیرد. از دیگر پیشنهادات جهت توسعه نیروگاه‌های هسته‌ای در نظر گرفتن این گزینه به‌همراه سایر منابع تجدیدپذیر می‌باشد و از آنجاکه کشور ما دارای پتانسیل بسیار بالایی در بهره‌مندی از انرژی خورشیدی می‌باشد لذا امکان تامین انرژی توسط این منبع تقریبا در تمام طول سال موجود بوده که می‌تواند به‌عنوان یک گزینه ترکیبی مدنظر قرار گیرد.

منابع

- معاونت امور انرژی، "ترازنامه انرژی ۱۳۸۹"، موجود در پرتابل وزارت نیرو : pep.moe.org.ir
- معطر، فرامرز، عابدی، زهرا و آزاده وزیری نهاد (۱۳۸۸)، " مقایسه تطبیقی و زیست محیطی برق هسته ای و فسیلی در ایران"، علوم و تکنولوژی محیط زیست ، دوره یازدهم ، شماره ۴.
- سعیدی، محسن و عبدالرضا کرباسی (۱۳۸۴)،"مدیریت زیست محیطی نیروگاه ها "، وزارت نیرو سازمان بهره وری انرژی سابا.
- طباخ، فرشید (۱۳۸۵)، "آنالیز فنی و اقتصادی راکتورهای آب سنگین برای ایران"، دانشگاه صنعتی امیر کبیر
- منابع انرژی تجدیدپذیر نوین، شورای جهانی انرژی ،ترجمه گروهی از کارشناسان دفتر انرژی های نو ،چاپ اول ،تهران،چاپ اطلس ،۱۳۷۵
- مهرپرور،محمد (۱۳۸۸)، "ارزیابی اقتصادی احداث نیروگاه های خورشیدی در مقایسه با نیروگاه های فسیلی". پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده اقتصاد وحسابداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز
- غلامی، فاطمه (۱۳۸۸) ،"مقایسه هزینه برق خورشیدی و برق آبی با تامین برق از شبکه سراسری در روستاهای فاقد برق". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده اقتصاد و حسابداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز
- عنایتی، عباسعلی، کاظم نژاد، سیدمحمد و سید حسن محسنی (۱۳۸۵)، " بررسی استفاده از انرژی برق آبی دریکی از جایگاه های استان مازندران" شرکت معاونت نظارت برتوزیع برق منطقه ای مازندران.

- Hore-Lacy Ian, (2006) “ Nuclear Energy in the 21 century” , The world nuclear university primer
- OECD Nuclear Energy Agency and International Energy Agency report, 2010