

### ارزیابی تولید الکتریسیته هسته ای در ایران از نظر زیست محیطی

محمد علی عبدلی\*، استاد دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران.

علی دریاییگی زند، عضو هیأت علمی پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی

پذیرش مقاله: ۸۳/۱۱/۸

تأیید نهایی: ۸۴/۸/۳۰

#### چکیده

در این مقاله تولید الکتریسیته هسته ای در ایران با تمرکز بر روی جنبه های زیست محیطی، مورد ارزیابی قرار گرفت. رشد سریع جمعیت و بالا رفتن استانداردهای زندگی موجب افزایش چشمگیر مصرف الکتریسیته در دهه های آتی در ایران خواهد شد. تأمین تقاضای انرژی الکتریکی در سال ۱۴۳۰، نیاز به ظرفیت تولید الکتریسیته حدود  $120000\text{MW}$  دارد. در حال حاضر الکتریسیته تولیدی برخی کشورهای جهان، عمدتاً از انرژی هسته ای تأمین می گردد. تولید الکتریسیته هسته ای در واقع هیچیک از گازهای گلخانه ای را منتشر نمی سازد. محاسبات آماری نشان داد تولید ۱۰ و ۲۰ درصد الکتریسیته هسته ای در سال ۱۴۰۰ در ایران، انتشار  $\text{CO}_2$  در بخش انرژی را تنها در این سال، به ترتیب  $9/3$  و  $18/6$  درصد کاهش می دهد. در ایران تاکنون هزینه های خارجی تولید الکتریسیته برآورد نشده است. در این تحقیق هزینه های خارجی تولید الکتریسیته هسته ای برآورد شد. این مطالعه نشان داد انرژی هسته ای یکی از ایمن ترین و ارزان ترین منابع تولید الکتریسیته است. در تلاش برای رسیدن به توسعه پایدار، ریسک های اجتماعی و تغییرات وضعیت آب و هوا ناشی از تکنولوژی های مختلف انرژی باید در نظر گرفته شوند. تولید الکتریسیته هسته ای نقش مهمی در دستیابی به اهداف توسعه پایدار در ایران خواهد داشت.

**واژگان کلیدی:** الکتریسیته هسته ای، انتشار  $\text{CO}_2$ ، هزینه های خارجی، توسعه پایدار

#### مقدمه

یکی از شاخصهای مهم و عمده سطح زندگی و توسعه صنعتی در هر کشور، مصرف نیروی برق بوده و توسعه و پیشرفت هر چه بیشتر آن، شالوده و اساس رشد صنعتی کشور است. امروزه برق فقط یک وسیله روشنایی بسیار محدود و منحصر به منازل نیست، بلکه یک عامل زیر بنایی برای توسعه اقتصادی بوده و همانند جریان حیات صنایع و اقتصاد هر کشور است.

\* E-mail: Abduli@ut.ac.ir

افزایش نیاز به تولید و مصرف الکتریسیته در نتیجه رشد سریع جمعیت و نیاز به رسیدن به سطح بالاتر استانداردهای زندگی به ویژه در کشورهای در حال توسعه نظیر ایران موجب ایجاد نگرانیهایی در خصوص تأمین الکتریسیته لازم برای دهه های آینده و کنترل و مهار تولید گازهای گلخانه ای (به ویژه CO<sub>2</sub>) در مقیاس محلی و جهانی شده است. روند کنونی تولید الکتریسیته در ایران نمی تواند متضمن تأمین الکتریسیته و نیازهای زیست محیطی کشور در دهه های آتی باشد. ناگزیر باید به فکر منابع جایگزین برای تأمین انرژی بود. منابع تجدید پذیر انرژی با توجه به محدودیت هایشان نظیر وابستگی به موقعیت جغرافیایی، شرایط آب و هوایی و نوسانات سالانه و فصلی نمی توانند به تنهایی عهده دار تأمین انرژی لازم برای اجتماعات بزرگ باشند (Li, 2005, p. 2241). با توجه به تجربیات قبلی و خط مشی های دراز مدت در بسیاری از کشورهای جهان، به نظر می رسد در ایران نیز تنها منبع کلان انرژی که قادر به تأمین الکتریسیته نسلهای آتی، در عین کنترل مؤثر انتشار گازهای گلخانه ای باشد، انرژی هسته ای است. در این تحقیق اهمیت نقش انرژی هسته ای و لزوم استفاده از آن در تأمین تقاضای الکتریسیته در دهه های آتی، اثرات اجتماعی و زیست محیطی تولید الکتریسیته هسته ای و به طور کلی نقش انرژی هسته ای در حرکت کشور به سمت توسعه پایدار مورد ارزیابی قرار گرفته است.

#### روش کار

بدیهی است قبل از شروع تولید الکتریسیته هسته ای در ایران، تعیین آثار و شاخص های قطعی مربوط به این تکنولوژی امکان پذیر نیست. لیکن با توجه به تجربیات دهها سال تولید برق هسته ای در کشورهای پیشرفته و در حال توسعه جهان و تطبیق آنها با شرایط کشور ایران امکان ارزیابی و برآورد این آثار و شاخص ها وجود دارد. با توجه به اهمیت نقش تولید برق هسته ای در ایران در دهه های آتی برای تهیه اطلاعات موجود در این مقاله، اسناد و مدارک و مقالات خارجی به همراه گزارش ها و اسناد محدود داخلی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین برای دستیابی به برخی اسناد از سایت های اینترنتی استفاده شد. اطلاعات خام در خصوص ایران با مراجعه به سازمان انرژی اتمی، سازمان حفاظت محیط زیست و وزارت نیرو به دست آمد. اطلاعات خام به وسیله محاسبات آماری مورد پردازش قرار گرفت. برای تحلیل هزینه ریسک نیروگاه اتمی بوشهر با توجه به اینکه از لحاظ آماری جزء پیشامد های جداگانه در یک فاصله زمانی مشخص به حساب می آید، از توزیع آماری پواسون استفاده شد.

#### تولید الکتریسیته هسته ای در جهان

دستیابی به کاربردهای صلح آمیز فناوری هسته ای در یک کشور نمایانگر توان عملی، تکنولوژیکی و پیشرفت عالی آن کشور در علوم مختلف می باشد. انرژی هسته ای از تبدیل جرم به انرژی، در شکافت یا جوش هسته ای ایجاد می شود. در نیروگاههای هسته ای، انرژی حاصل از سوخت هسته ای، آب را بخار کرده، سپس نیروی بخار حاصله، مانند سایر نیروگاههای تولید الکتریسیته، موجب به چرخش درآمدن توربین و تولید الکتریسیته می شود (Cooper et al., 2003, p. 123). در سال ۲۰۰۳، حدود ۴۳۸ راکتور هسته ای فعال در جهان در حال کار بوده اند و انرژی الکتریکی بعضی کشورهای جهان، عمدتاً از الکتریسیته هسته ای تأمین می گردد (جدول ۱). در حال حاضر حدود ۱۷ درصد از کل الکتریسیته در جهان از انرژی هسته ای تأمین می گردد (حدود ۲۵۲۵ میلیارد کیلو وات ساعت در سال ۲۰۰۳).

جدول ۱- سهم تولید الکتریسیته هسته ای از کل تولید الکتریسیته در سال ۲۰۰۳ در چند کشور جهان

کشور	لیتوانی	فرانسه	اسلواکی	بلژیک	سوئد	اوکراین	سوئیس	اسلونی	کره جنوبی
سهم تولید الکتریسیته هسته ای (%)	۸۰	۷۸	۵۷	۵۵	۵۰	۴۶	۴۰	۴۰	۴۰

World nuclear Association,2004.

### نقش الکتریسیته هسته ای در کاهش گازهای گلخانه ای در ایران و جهان

تولید الکتریسیته در جهان سالانه مسؤول انتشار بیش از ۷۷۰۰ میلیون تن دی اکسید کربن در اتمسفر است (۲۱۰۰ میلیون تن معادل کربن در سال) که حدود ۳۷/۵ درصد از کل انتشار CO<sub>2</sub> در جهان را شامل می شود (بیش از یک سوم) (Sims et al,2003,p.4). سرانه انتشار CO<sub>2</sub> از بخش انرژی در ایران، بیش از ۵۰۰۰ کیلوگرم به ازای هر نفر است که نسبت به سال ۱۳۶۰ (با سرانه ۷۱۸ کیلوگرم به ازای هر نفر) تقریباً ۷ برابر شده است (وزارت نیرو، ۱۳۸۲، ۳۱۶).

نیروگاههای برق هسته ای در حال حاضر، سالانه مانع از انتشار ۲/۵ میلیارد تن CO<sub>2</sub> در اتمسفر می گردند (World Nuclear Association,2002). در ایران بیش از ۹۳ درصد از انتشار CO<sub>2</sub> در بخش تولید الکتریسیته، ناشی از احتراق سوخت های فسیلی می باشد. انتشار CO<sub>2</sub> در اتمسفر ایران حدود ۱/۴۳ درصد از کل انتشارات CO<sub>2</sub> در جهان را تشکیل می دهد. همچنین میزان انتشار CO<sub>2</sub> حاصل از تولید الکتریسیته در ایران حدود ۰/۸۴ درصد از کل انتشار CO<sub>2</sub> مربوط به بخش تولید الکتریسیته در جهان را شامل می شود (وزارت نیرو، ۱۳۸۲، ۵۲۹، ۵۲۸، ۵۳۱، ۵۳۲) که درصد قابل توجهی است. ادامه این روند افزایش انتشار CO<sub>2</sub> در اتمسفر ایران را در پی دارد. این تأثیر تنها در سطح محلی نبوده و به پدیده گرم شدن جهانی کمک می کند.

نیروگاه های هسته ای در زمان بهره برداری، هیچ یک از گازهای گلخانه ای نظیر CO<sub>2</sub> را در اتمسفر منتشر نمی سازند. لیکن عملیات ساختمانی و احداث نیروگاه های هسته ای طی سال های ساخت، با توجه به منابع انرژی مصرف شده در ساخت نیروگاه، خود باعث انتشار مقادیری CO<sub>2</sub> در اتمسفر می گردد (به عنوان مثال، ساخت بتن و فولاد مورد نیاز توسط صنایع مربوطه). انتشار مقادیر مذکور به دلیل این فرض است که الکتریسیته لازم برای ساخت نیروگاه هسته ای، از نیروگاه های غیر هسته ای تأمین می گردد. میزان انتشار CO<sub>2</sub> در چرخه سوخت هسته ای ۱۰ تا ۵۰ گرم به ازای هر کیلووات ساعت الکتریسیته تولیدی است (World nuclear Association,2002).

پیش بینی شده است، نیروگاه اتمی بوشهر به محض شروع به کار، انتشار CO<sub>2</sub> از بخش تولید الکتریسیته را ۳ درصد در سال اول بهره برداری کاهش دهد (Iran s Initial national communication to Unfccc,2002,p.44).

با توجه به اینکه تا کنون سهم انرژی هسته ای در کنترل و کاهش انتشار CO<sub>2</sub> در ایران به طور کمی تعیین نشده بود، در این تحقیق اطلاعات خام موجود مورد پردازش قرار گرفت و با انجام محاسبات آماری سهم آن تعیین شد (جدول ۲).

بر اساس پیش بینی های صورت گرفته ظرفیت نیروگاه های کشور که در سال ۱۳۸۱ حدود  $30000\text{ MW}$  بود، در سال ۱۳۸۸ به  $50000\text{ MW}$ ، در سال ۱۴۰۰ به  $70000\text{ MW}$  و در سال ۱۴۳۰ تقریباً به  $120000\text{ MW}$  خواهد رسید (وزارت نیرو، ۱۳۸۲، ۲۰۴؛ Ibid, 94). در سال ۱۳۸۱ کار مفید نیروگاه های کشور به طور متوسط ۴۴۰۰ ساعت در سال بوده است. این مقدار برای سال های ۱۳۸۸، ۱۴۰۰ و ۱۴۳۰ به ترتیب ۴۵۰۰، ۴۸۰۰ و ۵۰۰۰ ساعت در نظر گرفته شده است. سرانه انتشار  $\text{CO}_2$  از بخش نیروگاهی کشور در سال ۱۳۸۱ حدود ۵۹۰ گرم بر کیلووات ساعت (بر اساس تحلیل چرخه سوخت) بوده است (وزارت نیرو، ۱۳۸۲، ۳۲۵). با بهبود وضعیت کنترل انتشار  $\text{CO}_2$  و عملکرد نیروگاه ها، فرض می شود این سرانه به طور خطی کاهش یافته و تا سال ۱۴۰۰ به ۴۵۰ گرم بر کیلووات ساعت برسد. در ستون چهارم جدول ۲ انتشار  $\text{CO}_2$  از بخش تولید الکتریسیته با فرض عدم استفاده از انرژی هسته ای تا سال ۱۴۰۰ محاسبه شده است. در ستون های ۵ و ۶ جدول، میزان انتشار  $\text{CO}_2$  با احتساب سهم انرژی هسته ای در تولید الکتریسیته (از سال ۱۳۸۵) و افزایش تولید الکتریسیته هسته ای به ترتیب تا ۱۰ و ۲۰ درصد تا سال ۱۴۰۰ محاسبه شده است. متوسط انتشار  $\text{CO}_2$  بر اساس تحلیل چرخه سوخت هسته ای ۳۰ گرم بر کیلووات ساعت در نظر گرفته شده است. همچنین در جدول ۳ خلاصه نتایج محاسبات مشابه برای انتشار  $\text{CO}_2$  در ایران بر اساس گزینه های مختلف (بر حسب میلیون تن)، بین سال های ۱۳۸۱ تا ۱۴۳۰ آمده است.

بر اساس جدول ۳، تولید ۱۰ و ۲۰ درصد الکتریسیته هسته ای در سال ۱۴۰۰، انتشار  $\text{CO}_2$  در بخش انرژی را تنها در این سال، به ترتیب ۹/۳ و ۱۸/۶ درصد نسبت به عدم تولید الکتریسیته هسته ای کاهش می دهد. مقدار تجمعی انتشار  $\text{CO}_2$  بین سال های ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۰ برای گزینه دو، برابر ۵ درصد و برای گزینه سه، برابر ۹/۳ درصد، نسبت به گزینه یک، کاهش می یابد.

تولید ۵۰ درصد الکتریسیته هسته ای در سال ۱۴۳۰، انتشار  $\text{CO}_2$  را بیش از ۴۶ درصد، تنها در همان سال کاهش می دهد. مقدار تجمعی انتشار  $\text{CO}_2$  بین سال های ۱۳۸۱ تا ۱۴۳۰ برای گزینه دو، برابر ۲۷/۳ درصد و برای گزینه سه، برابر ۳۱/۴ درصد، نسبت به گزینه یک، کاهش خواهد یافت.

با توجه به نتایج به دست آمده، دورنمای تولید الکتریسیته هسته ای نشان می دهد، نیروگاه های هسته ای در آینده ایران، نقش و سهم چشمگیری در کنترل انتشار  $\text{CO}_2$  در بخش انرژی کشور خواهند داشت.

جدول ۲- سهم الکتریسیته هسته ای در کاهش گازهای گلخانه ای در ایران

سال	تولید الکتریسیته	سرانه انتشار CO <sub>2</sub>	انتشار CO <sub>2</sub> از بخش تولید الکتریسیته	انتشار CO <sub>2</sub> از بخش تولید الکتریسیته (۱۰)	انتشار CO <sub>2</sub> از بخش تولید الکتریسیته (۲۰)
	GWh	g/kWh	میلیون تن	درصد تولید برق هسته ای تا سال (۱۴۰۰)	درصد تولید برق هسته ای تا سال (۱۴۰۰)
۱۳۸۱	۱۳۵۱۴۶	۲۹۰	۷۹/۷۳۶	۷۹/۷۳۶	۷۹/۷۳۶
۱۳۸۲	۱۴۷۹۸۲/۲۸۶	۵۸۲/۶۳	۸۶/۲۱۹	۸۶/۲۱۹	۸۶/۲۱۹
۱۳۸۳	۱۶۰۸۱۸/۵۷۱	۵۷۵/۲۶	۹۲/۵۱۲	۹۲/۵۱۲	۹۲/۵۱۲
۱۳۸۴	۱۷۳۶۵۴/۸۵۷	۵۶۷/۹	۹۸/۶۱۹	۹۸/۶۱۹	۹۸/۶۱۹
۱۳۸۵	۱۸۶۴۹۱/۱۴۳	۵۶۰/۵۳	۱۰۴/۵۳۴	۱۰۲/۵۵۵	۱۰۲/۵۵۵
۱۳۸۶	۱۹۹۳۲۷/۴۲۹	۵۵۳/۱۶	۱۱۰/۲۶۰	۱۰۷/۶۱۸	۱۰۶/۹۲۳
۱۳۸۷	۲۱۲۱۶۳/۷۱۴	۵۴۵/۸	۱۱۵/۷۹۹	۱۱۲/۴۴۳	۱۱۰/۹۸۴
۱۳۸۸	۲۲۵۰۰۰	۵۳۸/۴۲	۱۲۱/۱۴۵	۱۱۷/۰۲۶	۱۱۴/۷۳۸
۱۳۸۹	۲۳۴۲۵۰	۵۳۱/۰۶	۱۲۴/۴۰۱	۱۱۹/۵۴۹	۱۱۶/۴۱۹
۱۳۹۰	۲۴۴۵۰۰	۵۲۳/۷	۱۲۷/۵۲۱	۱۲۱/۹۱۱	۱۱۷/۹۰۴
۱۳۹۱	۲۵۲۷۵۰	۵۱۶/۳۲	۱۳۰/۵۰۰	۱۲۴/۱۰۸	۱۱۹/۱۹۱
۱۳۹۲	۲۶۲۰۰۰	۵۰۸/۹۵	۱۳۳/۳۴۵	۱۲۶/۱۵	۱۲۰/۲۹۴
۱۳۹۳	۲۷۱۲۵۰	۵۰۱/۵۸	۱۳۶/۰۵۴	۱۲۸/۰۳۸	۱۲۱/۲۱۵
۱۳۹۴	۲۸۰۵۰۰	۴۹۶/۲۲	۱۳۸/۶۲۹	۱۲۹/۷۷۴	۱۲۱/۹۶۱
۱۳۹۵	۲۸۹۷۵۰	۴۸۶/۸۵	۱۴۱/۰۶۵	۱۳۱/۳۵۷	۱۲۲/۵۳۳
۱۳۹۶	۲۹۹۰۰۰	۴۷۹/۴۸	۱۴۳/۳۶۵	۱۳۲/۷۹۲	۱۲۲/۹۳۷
۱۳۹۷	۳۰۸۲۵۰	۴۷۲/۱۱	۱۴۵/۵۲۸	۱۳۴/۰۸	۱۲۳/۱۷۸
۱۳۹۸	۳۱۷۵۰۰	۴۶۴/۷۴	۱۴۷/۵۵۵	۱۳۵/۲۲۴	۱۲۳/۲۶۲
۱۳۹۹	۳۲۶۷۵۰	۴۵۷/۳۷	۱۴۹/۴۴۶	۱۳۶/۲۲۶	۱۲۳/۱۹۳
۱۴۰۰	۳۳۶۰۰۰	۴۵۰	۱۵۱/۲۰۰	۱۳۷/۰۸۸	۱۲۲/۹۷۶

جدول ۳- میزان انتشار CO<sub>2</sub> در ایران در گزینه های مختلف ( بر حسب میلیون تن)

گزینه	شرح	انتشار CO <sub>2</sub> در سال ۱۴۰۰	مقدار تجمعی انتشار CO <sub>2</sub> بین سالهای ۱۴۰۰ تا ۱۳۸۱	انتشار CO <sub>2</sub> در سال ۱۴۳۰	مقدار تجمعی انتشار CO <sub>2</sub> بین سالهای ۱۳۸۱ تا ۱۴۳۰
یک	عدم تولید الکتریسیته هسته ای	۱۵۱/۲	۲۴۷۷/۴۳	۲۷۰	۸۸۵۴/۸۳
دو	۱۰ و ۵۰ درصد تولید الکتریسیته هسته ای به ترتیب تا سال های ۱۴۰۰ و ۱۴۳۰	۱۳۷/۰۸۸	۲۳۵۳/۰۲۵	۱۴۴	۶۴۳۷/۲۳۱
سه	۲۰ و ۵۰ درصد تولید الکتریسیته هسته ای به ترتیب تا سال های ۱۴۰۰ و ۱۴۳۰	۱۲۲/۹۷۶	۲۲۴۷/۳۴۹	۱۴۴	۶۰۷۱/۵۵۱

#### مقایسه هزینه های داخلی و خارجی تولید الکتریسیته هسته ای با سایر سیستم های تولید الکتریسیته

کاملاً واضح است که بهترین تدبیر در انتخاب سیستم های انرژی، انتخاب سیستمی است که کمترین هزینه را، چه از نظر هزینه هایی که باید توسط مصرف کنندگان الکتریسیته پرداخت شود و چه هزینه هایی که به کل جامعه تحمیل می شود، دارا باشد. هزینه های دسته اول اصطلاحاً هزینه های داخلی نامیده می شوند و شامل سرمایه گذاری های لازم جهت تولید الکتریسیته، نظیر ساخت نیروگاه و تهیه سوخت می باشند. هزینه های دسته دوم اصطلاحاً هزینه های خارجی نامیده می شوند. هزینه های خارجی عبارتند از هزینه های واقعی مربوط به خسارات وارده به سلامت انسان و محیط زیست که از نظر کمی قابل سنجش و تعیین هستند لیکن در هزینه های مربوط به تولید الکتریسیته که مصرف کننده می پردازد به حساب نمی آیند و در نتیجه این هزینه ها به کل جامعه تحمیل می شوند. مانند هزینه های ناشی از خسارات وارده از آلودگی هوا به سلامت انسان، کاهش بازده محصولات کشاورزی، امراض حرفه ای و شغلی ناشی از تولید الکتریسیته و حوادث نیروگاهی (Uic Nuclear Issues, 2004, p.7). امروزه با وجود عدم قطعیت ها و تقریب های زیاد در کمی کردن و ارزیابی اقتصادی اثرات انتشار گازهای گلخانه ای و پدیده گرم شدن جهانی، هزینه آنها جزء هزینه های خارجی تولید الکتریسیته به حساب می آید. برای اینکه تصویری واقعی از هزینه های تولید الکتریسیته در سیستم های مختلف انرژی به دست آید، نمی توان فقط به هزینه های داخلی اکتفا کرد و باید هزینه های خارجی را نیز به هزینه های داخلی اضافه کرد تا مجموعاً هزینه واقعی که در اثر تولید الکتریسیته به کلیه بخش های جامعه وارد می شود، مشخص شود.

به طور کلی هزینه های مربوط به ساخت و سرمایه گذاری نیروگاه های برق هسته ای بیشتر از هزینه های مشابه برای ساخت نیروگاه های فسیلی است. اما وقتی نیروگاه هسته ای ساخته شد و مورد بهره برداری قرار گرفت، هزینه متغیرهای اقتصادی کم می شود، به طوریکه تولید الکتریسیته هسته ای نسبت به سایر سیستم ها اقتصادی تر می شود (van der zwaan, 2003, pp3-10). اگر هزینه های خارجی مربوط به تولید الکتریسیته در سیستم های انرژی مختلف در نظر گرفته شود، هزینه کل تولید الکتریسیته توسط نیروگاههایی که ذغال سنگ می سوزانند دو برابر می شود و هزینه مربوط به نیروگاههای با سوخت گاز طبیعی، ۳۰ درصد افزایش می یابد (UIC Nuclear Issues, 2004).

هزینه‌های خارجی مربوط به استفاده از انرژی هسته ای به مانند اغلب سیستم های انرژی تجدید پذیر و بر خلاف سیستم های انرژی سوخت فسیلی بسیار پایین است (Rable,2001,p.1).

جدول ۴- هزینه های خارجی تولید الکتریسیته در اروپا بر حسب سنت یورو به کیلووات ساعت (Euro cent / kWh)

سیستم تولید الکتریسیته	هسته ای	ذغال سنگ	گازی	آبی	بادی
هزینه خارجی	۰/۲-۰/۷	۲-۱۵	۱-۴	۰/۱-۰/۷	۰/۰۵-۰/۲۵

Walker,R,2002,p6.

در جدول فوق هزینه های خارجی بدون در نظر گرفتن هزینه کنترل انتشار کربن و گرم شدن جهانی محاسبه شده است. اگر این هزینه ها نیز شامل شوند، برای نیروگاه هایی که گاز طبیعی می سوزانند باید یک سنت به ازای هر کیلووات ساعت و برای نیروگاه های با سوخت ذغال سنگ، ۱/۵ سنت به ازای هر کیلووات ساعت به هزینه های خارجی اضافه کنیم (UIC Nuclear Issues,2004) اگر هزینه مربوط به کنترل انتشار CO<sub>2</sub> در ایران را یک سنت به ازای هر کیلووات ساعت (حداقل ممکن) در نظر بگیریم، تنها در سال ۱۴۰۰، هزینه کنترل ما به تفاوت انتشار CO<sub>2</sub> ناشی از تولید الکتریسیته، برای تولید ۱۰ و ۲۰ درصد الکتریسیته هسته ای در آن سال و عدم تولید الکتریسیته هسته ای، به ترتیب ۳۳۶ و ۶۷۲ میلیون دلار خواهد بود. مقدار تجمعی این ما به تفاوت بین سال های ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۰ بر اساس واریانت های ۱۰ و ۲۰ درصد به ترتیب به ۲/۷۲ و ۵/۰۶ میلیارد دلار می رسد. ملاحظه می شود که این هزینه ها مقادیر قابل توجهی است. تأثیر دادن هزینه های مربوط به کنترل انتشار CO<sub>2</sub> و گرم شدن جهانی در هزینه های تولید الکتریسیته، مقبولیت اقتصادی نیروگاه های برق هسته ای را بیش از پیش نمایان می سازد. در ایران تاکنون هزینه های خارجی تولید الکتریسیته مورد بررسی قرار نگرفته و کمی نشده اند. در این تحقیق با توجه به هدف آن، هزینه های خارجی تولید الکتریسیته هسته ای با استفاده از نتایج مطالعات کشورهای پیشرفته و تطبیق آنها با وضعیت ایران برآورد شده است. ملاحظه می شود که مجموع هزینه های خارجی تولید الکتریسیته در چرخه سوخت هسته ای حدود ۲۸/۴ Rial / kWh است که در مقایسه با هزینه های خارجی تولید الکتریسیته در سیستم های دیگر که در سایر کشورها محاسبه شده است بسیار کمتر است. با توجه به در دسترس بودن سوخت هسته ای به قیمت نسبتاً پایین در بازارهای جهانی و سهم بالای بازپزدازش سوخت مصرفی در هزینه های خارجی تولید الکتریسیته، می توان جهت صرفه جویی اقتصادی، باز پزدازش را در چرخه سوخت هسته ای لحاظ نکرد.

جدول ۵- خلاصه هزینه های خارجی مربوط به چرخه سوخت هسته ای در ایران

مراحل	هزینه های خارجی (Rial / kWh)	سهم هر یک از مسیرهای دریافت پرتوهای رادیواکتیو در هزینه ها
معدن کاری و آسیاب کردن	۰/۷۱۵	- دریافت و مجاورت رادون در محیط های کاری (۰/۵۰) - دریافت و مجاورت عمومی در اثر انتشار رادون در اتمسفر (۰/۵۰)
تبدیل	۰/۰۱	- اثرات مربوط به محیط های کاری در اثر تصادفات غیر رادیولوژیکی (۰/۹۹) - دریافت و مجاورت عمومی ناشی از آزاد شدن رادیونوکلیدها در محیط (۰/۱)، شامل: ۱- استنشاق ۲- خوردن محصولات کشاورزی ۳- دریافت از محیط های آبی
غنی سازی	۰/۰۱۳	- اثرات مربوط به محیط های کاری در اثر تصادفات غیر رادیولوژیکی (۰/۹۹) - دریافت و مجاورت عمومی ناشی از آزاد شدن رادیونوکلیدها در محیط (۰/۱)، شامل: ۱- استنشاق ۲- خوردن محصولات کشاورزی ۳- دریافت از محیط های آبی
ساخت میله های سوخت	۰/۰۲۱	- اثرات رادیولوژیکی در محیط های کاری (۰/۹۹) - دریافت و مجاورت عمومی ناشی از آزاد شدن رادیونوکلیدها در محیط (۰/۱)، شامل: ۱- استنشاق ۲- خوردن محصولات کشاورزی ۳- دریافت از محیط های آبی
تولید الکتریسیته	۵/۱۳۴	- ساخت نیروگاه (۰/۷) - عملیات (۰/۸۹) - تعطیل و تخریب نیروگاه (۰/۴)
باز پردازش	۲۱/۱۲	- هزینه اثرات دژ تجمعی آزاد شدن ۱۴-C در اتمسفر (۰/۸۳) - خوردن ماهی (سهم ناچیز)
دفع زائدات	۰/۳۳	- مجاورت انسان در دراز مدت - انتقال زائدات به محل دفع
حمل و نقل	۰/۰۰۸	-
ریسک حوادث هسته ای	۰/۰۲۲ - ۲	-
مجموع	۲۸/۴	-

Walker, R, 2002, p.304.



محاسبه هزینه هایی که در اثر وقوع حادثه در نیروگاه های هسته ای به سرمایه گذار تحمیل می گردد

به طور کلی اثرات ناشی از حوادث نیروگاهی بر سلامت انسان، کمتر از اثرات مربوط به انتشار حاصل از عملکرد طبیعی نیروگاهها در طول عمر مفید نیروگاه ها است. برای در نظر گرفتن شاخص های تعیین حوادث نیروگاهی، هم باید به سوابق تاریخی توجه کرد و هم موفقیت های تکنولوژیکی در هر یک از سیستم های انرژی را مدنظر قرار داد. مطالعات انجام گرفته نشان داد که خطرات مربوط به حوادث نیروگاهی برای نیروگاه های الکتریسیته هسته ای نسبت به اغلب سیستم های تولید الکتریسیته دیگر، کمتر است (World Nuclear association, 2002).

در این بخش هزینه های ناشی از احتمال وقوع حادثه برای نیروگاه اتمی بوشهر، که جزئی از هزینه های خارجی تولید برق هسته ای در ایران است، محاسبه شده است. خلاصه نتایج در جدول ۶ آمده است. برای انجام محاسبات آماری از توزیع پواسن استفاده شد. علت این است که توزیع پواسن برای بررسی پیشامدهای جداگانه در یک فاصله زمانی مشخص به کار می رود (منصور فر، ۶۴، ۶۳، ۱۳۶۹) در برآورد انجام شده، هزینه پیشگیری از خطرات احتمالی برای هر نفر، هم وزن با احتمال انتشار مواد رادیو اکتیو به محیط زیست در نظر گرفته شده است. احتمال وقوع حادثه (در اثر داغ شدن بیش از حد هسته راکتور) که یک واقعه نادر است، یک صد هزارم ( $10^{-5}$ ) در هر سال است (Margulies, 2004, p.327).

نیروگاه اتمی بوشهر دارای ظرفیت ۹۵۰ MWe است. اگر این نیروگاه سالیانه به طور متوسط ۷۰۰۰ ساعت الکتریسیته تولید کند (مقدار معمول برای راکتورهای هسته ای در سراسر جهان)، آنگاه هزینه ریسک مذکور به ازای هر کیلووات ساعت الکتریسیته تولیدی با توجه به نتایج جدول ۶ به قرار زیر است:

$$\text{تولید الکتریسیته: } ۹۵۰ * ۷۰۰۰ = ۶/۶۵ * ۱۰^۹ \text{ kWh/yr}$$

شاخص هزینه ریسک = نسبت هزینه های ریسک در اثر وقوع حادثه در نیروگاه اتمی بوشهر به کل تولید الکتریسیته هسته ای توسط این نیروگاه طی ۲۰ سال

$$\text{ریال به ازای هر کیلووات ساعت } = ۱/۸ = (۲۰ * ۱۰^۹ * ۶/۶۵) / (۲/۴۱۴ * ۱۰^{۱۱})$$

ملاحظه می شود که هزینه های وقوع حادثه در نیروگاه اتمی بوشهر پایین بوده و در صورت داخلی کردن آن (گرفتن هزینه ریسک از مصرف کنندگان الکتریسیته) مقدار کمی به هزینه تولید الکتریسیته اضافه می شود.

جدول ۶ - محاسبه هزینه های ریسک وقوع حادثه در نیروگاه اتمی بوشهر

واحد	مقدار پارامتر	شرح پارامتر	پارامتر																																												
-	$10^{-5}$	احتمال وقوع حادثه در هر سال	a																																												
person-rem*	۱۰۰۰۰۰۰	مجموع دُز پرتوهای رادیولوژیکی که در اثر بروز حادثه توسط افراد دریافت می شود	b																																												
Rial / person-rem	$17 * 10^6$	خسارت وارده به هر فرد	c																																												
-	$142^{**}$	ضریب ریسک در طول عمر نیروگاه	d																																												
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>سال</th> <th>ضریب ریسک در هر سال با نرخ افزایش ۰/۰۶٪ به ازای هر سال</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>۱</td><td>۰/۹۴۳</td></tr> <tr><td>۲</td><td>۱/۸۳۴</td></tr> <tr><td>۳</td><td>۲/۶۷۳</td></tr> <tr><td>۴</td><td>۳/۴۶۵</td></tr> <tr><td>۵</td><td>۴/۲۱۲</td></tr> <tr><td>۶</td><td>۴/۹۱۷</td></tr> <tr><td>۷</td><td>۵/۵۸۲</td></tr> <tr><td>۸</td><td>۶/۲۱۰</td></tr> <tr><td>۹</td><td>۶/۸۱۷</td></tr> <tr><td>۱۰</td><td>۷/۳۶۰</td></tr> <tr><td>۱۱</td><td>۷/۸۸۷</td></tr> <tr><td>۱۲</td><td>۸/۳۸۴</td></tr> <tr><td>۱۳</td><td>۸/۸۵۳</td></tr> <tr><td>۱۴</td><td>۹/۲۹۵</td></tr> <tr><td>۱۵</td><td>۹/۷۱۲</td></tr> <tr><td>۱۶</td><td>۱۰/۱۰۶</td></tr> <tr><td>۱۷</td><td>۱۰/۴۷۷</td></tr> <tr><td>۱۸</td><td>۱۰/۸۲۸</td></tr> <tr><td>۱۹</td><td>۱۱/۱۵۸</td></tr> <tr><td>۲۰</td><td>۱۱/۴۷۰</td></tr> <tr><td>جمع</td><td>۱۴۲/۱۸۴</td></tr> </tbody> </table>	سال	ضریب ریسک در هر سال با نرخ افزایش ۰/۰۶٪ به ازای هر سال	۱	۰/۹۴۳	۲	۱/۸۳۴	۳	۲/۶۷۳	۴	۳/۴۶۵	۵	۴/۲۱۲	۶	۴/۹۱۷	۷	۵/۵۸۲	۸	۶/۲۱۰	۹	۶/۸۱۷	۱۰	۷/۳۶۰	۱۱	۷/۸۸۷	۱۲	۸/۳۸۴	۱۳	۸/۸۵۳	۱۴	۹/۲۹۵	۱۵	۹/۷۱۲	۱۶	۱۰/۱۰۶	۱۷	۱۰/۴۷۷	۱۸	۱۰/۸۲۸	۱۹	۱۱/۱۵۸	۲۰	۱۱/۴۷۰	جمع	۱۴۲/۱۸۴	
سال	ضریب ریسک در هر سال با نرخ افزایش ۰/۰۶٪ به ازای هر سال																																														
۱	۰/۹۴۳																																														
۲	۱/۸۳۴																																														
۳	۲/۶۷۳																																														
۴	۳/۴۶۵																																														
۵	۴/۲۱۲																																														
۶	۴/۹۱۷																																														
۷	۵/۵۸۲																																														
۸	۶/۲۱۰																																														
۹	۶/۸۱۷																																														
۱۰	۷/۳۶۰																																														
۱۱	۷/۸۸۷																																														
۱۲	۸/۳۸۴																																														
۱۳	۸/۸۵۳																																														
۱۴	۹/۲۹۵																																														
۱۵	۹/۷۱۲																																														
۱۶	۱۰/۱۰۶																																														
۱۷	۱۰/۴۷۷																																														
۱۸	۱۰/۸۲۸																																														
۱۹	۱۱/۱۵۸																																														
۲۰	۱۱/۴۷۰																																														
جمع	۱۴۲/۱۸۴																																														
		$d_i = [(1 - (1 + i)^{-n}) / i]$ i: نرخ افزایش = ۰/۰۶ n: سال																																													
میلیارد ریال	۲۴۱/۴	هزینه هایی که در اثر ریسک به سرمایه گذار وارد می شود بر اساس ارزش فعلی پول	PV***																																												

\* واحد اندازه گیری مقدار دُز دریافت شده توسط افرادی که در یک شعاع مشخص (معمولاً ۸۰ کیلومتر) از محل نیروگاهی که دچار حادثه شده است، قرار دارند.

\*\* مقدار ضریب ریسک در طول عمر نیروگاه با استفاده از مدل توزیع پواسن مطابق جدول فوق محاسبه شده است (عمر مفید نیروگاه اتمی بوشهر قبل از نیاز به تعمیرات یا تغییرات اساسی ۲۰ سال در نظر گرفته شده است).

\*\*\* هزینه هایی که در اثر ریسک به سرمایه گذار وارد می شود بر اساس ارزش فعلی پول برابر می شود با:

$$\begin{aligned} PV &= a * b * c * d \\ &= (1 E -5) * (1 E 7) * (17 * 10^6) * 142 \\ &= 2/414 * 10^{11} \quad \text{ریال} \\ &= 241/1 \quad \text{میلیارد ریال} \end{aligned}$$

#### نقش الکتریسته هسته ای در توسعه پایدار

توسعه پایدار عبارتست از توسعه ای که احتیاجات نسل حاضر را بدون لطمه زدن به توانایی نسل های آتی در تأمین نیازهای خود برآورده می نماید (عبدلی، ۱۳۷۶، ۲۸). تولید الکتریسته یک محرک حتمی و شاید مهمترین محرک در پیشرفت اقتصادی و اجتماعی کشورهای در حال توسعه از جمله ایران است. اگرچه در حال حاضر انرژی هسته ای یک منبع انرژی پایدار به حساب نمی آید لیکن می تواند نقش بسیار مهمی در گذار به سمت ایجاد سیستم های پایدار ایفا کند. از دیدگاه دور نمای ملی، انتخاب یک منبع انرژی قابل اطمینان که بتواند نیازهای انرژی را برای دراز مدت تأمین کند، یک عامل بسیار مهم در ارزیابی پایداری به شمار می رود.

برای بررسی روند حرکت به سمت توسعه پایدار، از یکسری پارامترهای قابل اندازه گیری که اصطلاحاً شاخص های توسعه پایدار نامیده می شوند، استفاده می کنیم. این شاخص ها در برگیرنده سه جزء اصلی توسعه پایدار، یعنی مسائل اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی می باشند (World Nuclear association, 2002).

در بررسی پیشرفت سیاستهای انرژی و ارزیابی نقش انرژی هسته ای در توسعه پایدار، شاخص های زیر را مورد بررسی قرار می دهیم:

(۱) شاخص های زیست محیطی:

شاخص های زیست محیطی اصلی در توسعه پایدار عبارتند از:

(۱) شاخص های فشار<sup>۱</sup>

(۲) شاخص های وضعیت<sup>۲</sup>

(۳) شاخص های تأثیر<sup>۳</sup>

شاخص های فشار، اندرکنش بین انسان و محیط زیست را مشخص می سازند (نظیر انتشارات در اتمسفر). شاخص های وضعیت عبارتند از تغییرات قابل مشاهده در محیط زیست (نظیر غلظت گازهای گلخانه ای در طبیعت). شاخص های تأثیر

1 - Pressure Indicators  
2 - State Indicators  
3 - Impact Indicators

نیز اثرات ناشی از تغییرات زیست محیطی بر روی موجودات زنده و اکوسیستم‌ها را اندازه گیری می کنند (مثل تغییر آب و هوا).

در ادامه شاخصهای زیر مجموعه سه شاخص اصلی فوق مورد بررسی قرار می گیرد:

الف- انتشار گازهای گلخانه‌ای: برق هسته‌ای در واقع گاز گلخانه‌ای تولید نمی کند. الکتریسیته هسته ای از این جهت در رده انرژی بادی و تمیزتر از انرژی آبی ( بر اساس تحلیل چرخه سوخت ) قرار می گیرد. تولید برق هسته‌ای در ایران، در سال ۱۴۰۰ از انتشار ۱۴/۱ تا ۲۸/۲ میلیون تن  $CO_2$  جلوگیری خواهد کرد.

ب- آلودگی هوا: آلاینده‌های اصلی که در بخش انرژی مطرح می باشند عبارتند از ذرات معلق (PM)،  $NO_x$  و  $SO_2$ . تولید برق هسته‌ای چنین آلاینده‌های را تولید نمی کند و در نتیجه از اثرات منفی این آلاینده‌ها بر جنگل‌ها، کلیه گیاهان و جانوران منطقه، ساختمانها و سلامت انسان جلوگیری به عمل می آید.

ج- زمین بری: مقدار زمین لازم برای چرخه سوخت هسته‌ای، مشابه مقدار زمین مورد نیاز برای چرخه سوخت‌های فسیلی است و در مقایسه با زمین بری مربوط به انرژی‌های تجدید پذیر بسیار کمتر است. مقدار زمین تقریبی لازم برای یک نیروگاه ۱۰۰۰ MW با در نظر گرفتن عملیات معدنکاری و چرخه سوخت مطابق جدول زیر است:

جدول ۵- زمین بری سیستم های مختلف تبدیل انرژی

سیستم تولید الکتریسیته	هسته ای	خورشیدی	بادی	زیست توده
زمین بری ( $km^2$ )	۱-۱۰	۲۰-۵۰	۵۰-۱۵۰	۴۰۰۰-۶۰۰۰

(World Nuclear association, 2002)

د- مصالح بری (مواد لازم) و تولید زائدات: به دلیل دانسته انرژی بالای سوخت هسته‌ای، کل مصالح و مواد لازم به ازای واحد الکتریسیته تولید شده (هر کیلووات ساعت) و حجم نهایی زائدات بسیار کم می باشد.

ه- دوام ذخایر اورانیم: منابع اورانیم بسیار وسیع بوده و در سراسر جهان پراکنده اند. در ایران بیش از ۴۹۱ تن اورانیم قابل استحصال وجود دارد. با در نظر گرفتن منابع غیر مکشوف، منابع اورانیم ایران جمعاً بیش از ۵۰۰۰ تن برآورد شده است (World Energy Council, 2001). گسترش راکتورهای مولد<sup>۱</sup> در آینده که انرژی حاصل از آنها دهها برابر راکتورهای معمولی است می تواند راندمان استحصال انرژی و دوام ذخایر اورانیم را به طور چشمگیری افزایش دهد (Grover, 2001, p. 15).

(۲) شاخص های اقتصادی و اجتماعی:

الف- هزینه‌های اجتماعی: تکنولوژیهای جدید تولید الکتریسیته هسته ای به منظور به حداقل رساندن خسارات زیست محیطی ناشی از تولید الکتریسیته، ایجاد شده و گسترش یافته‌اند. در عین حال خطرات این تکنولوژیها برای انسان و محیط زیست هرگز به صفر نرسیده است. مطالعات نشان داده است انرژی هسته ای یکی از کم هزینه ترین منابع تولید الکتریسیته است. هزینه های خارجی تولید الکتریسیته هسته ای نسبت به سایر منابع تولید الکتریسیته نظیر سوخت های

فسیلی بسیار پایین است. همچنین تکنولوژی تولید الکتریسیته هسته ای یکی از ایمن ترین روش های تولید الکتریسیته می باشد (UIC nuclear Issues, 2003).

ب- تضمین امنیت عرضه: مصرف کنندگان الکتریسیته نیاز به یک منبع قابل اطمینان با قیمت های قابل پیش بینی دارند. بی ثباتی قیمت انرژی یک مانع مهم در برابر توسعه پایدار، بویژه در کشورهای در حال توسعه نظیر ایران می باشد. شاخص های مربوط به تضمین امنیت عرضه انرژی عبارتند از: مقدار خالص واردات انرژی، تولید داخلی انرژی، تنوع سوخت در ترکیب انرژی، میزان حساسیت قیمت الکتریسیته و اندوخته انرژی در ذخیره داخل کشور. وجود منابع اورانیم در ایران، توزیع اورانیم در سراسر دنیا و میزان مصرف پایین آن در نیروگاه های هسته ای می تواند متضمن منبع تولید انرژی هسته ای در ایران باشد.

همانگونه که در قسمتهای قبلی توضیح داده شد، تکنولوژی هسته ای می تواند در دستیابی به اهداف دراز مدت توسعه پایدار در ایران نقش مهمی را ایفا کند. سهم و عملکرد انرژی هسته ای در پیشبرد اهداف توسعه پایدار، با شاخص های قابل اندازه گیری، به اثبات رسیده است. به طوریکه عدم حرکت در مسیر تولید و گسترش استفاده از الکتریسیته هسته ای، ایران را از نظر زیست محیطی و تأمین انرژی، در دهه های آتی با مشکل مواجه خواهد کرد.

#### بحث و نتیجه گیری

ایران در سالهای آتی با رشد جمعیت بالایی مواجه خواهد بود لذا مصرف انرژی و الکتریسیته در ایران رشد چشمگیری خواهد داشت. اما با توجه به اینکه ایران نسبت به کشورهای پیشرفته، دارای شبکه با ظرفیت پایین و سطح سرمایه اقتصادی کمتری است لذا توانایی ساخت نیروگاه های گیگاواتی با استفاده از سوخت های معمول را نخواهد داشت. بنابراین طرح ریزی باید در مقیاس های کوچکتر، اقتصادی تر و در نتیجه بدیع تر از نیروگاه های کنونی باشد. تنها منبعی که قادر است در فاصله زمانی کوتاه و با سرمایه گذاری نسبتاً پایین، این نیاز انرژی را برطرف سازد انرژی هسته ای است. لذا ایران از نقطه نظر توسعه پایدار باید به سمت استفاده از انرژی هسته ای حرکت کند.

بالا بردن ظرفیت نیروگاهی (از ۳۰۰۰۰ MW در سال ۱۳۸۱ تا حدود ۱۲۰۰۰۰ MW در سال ۱۴۳۰) به منظور تأمین افزایش تقاضای الکتریسیته در ایران در دهه های آتی در عین کاهش انتشار CO<sub>2</sub> در بخش تأمین انرژی، بدون استفاده از تکنولوژی هسته ای در تولید الکتریسیته بسیار بعید و مشکل (و شاید غیر ممکن) به نظر می رسد. امروزه انرژی هسته ای و سوخت های فسیلی مکمل یکدیگر هستند.

اقتصاد تولید الکتریسیته بسیار مهم می باشد. در خصوص سیستم های تولید الکتریسیته، هزینه های مربوط به بعد از بهره برداری از نیروگاهها نظیر مدیریت زائدات و از رده خارج کردن و تخریب نیروگاه نیز باید در نظر گرفته شوند. از آنجایی که کل هزینه های مربوط به مدیریت زائدات هسته ای، در هزینه های داخلی مربوط به این سیستم لحاظ می شود، لذا زمانی که سیستم های مختلف را فقط از نظر هزینه های داخلی مقایسه کنیم، قابلیت رقابت الکتریسیته هسته ای با سایر سیستم ها پایین می آید در حالیکه در یک مقایسه کامل با در نظر گرفتن مجموع هزینه های داخلی و خارجی برای کل سیستم ها، الکتریسیته هسته ای در رده بهترین و کم هزینه ترین ها قرار می گیرد.

الکتریسیته هسته‌ای تنها روش تولید انرژی است که کل مسؤولیت‌های مربوط به زائدات خود را می‌پذیرد و هزینه‌هایش را داخلی کرده است که این یک عامل کلیدی در پایداری آن است (World Nuclear Association, 2004). همچنین از نظر ایمنی انرژی هسته‌ای ایمن‌ترین منبع تولید الکتریسیته است. بطوریکه حدوداً یک سوم از هزینه‌های سرمایه‌گذاری یک راکتور مربوط به سیستم‌های ایمنی و تجهیزات مربوطه می‌شود. این مقدار سهم بسیار زیادی است که حتی در طراحی و ساخت هواپیما هم، چنین سهمی برای ایمنی در نظر گرفته نمی‌شود (World Nuclear Association, 2002). مطالعات نشان می‌دهند که هم در شرایط بهره‌برداری و عملیاتی طبیعی و هم در مورد حوادث نیروگاهی، الکتریسیته هسته‌ای، آبی و بادی از نظر تأثیر بر سلامت انسانها و محیط زیست از سایرین بهترند (UIC Nuclear Issues, 2004).

نتیجه نهایی اینکه برای رسیدن به توسعه پایدار طی دهه‌های آتی که تأمین نیازهای انرژی در آینده، حفظ منابع ارزشمند سوخت‌های فسیلی و جلوگیری از تخریب محیط زیست در بخش انرژی را توأمأ به همراه داشته باشد، باید انرژی هسته‌ای سهم قابل توجهی در تولید الکتریسیته کشور داشته باشد.

#### پیشنهادات

بر اساس تحقیقات و مطالعات صورت گرفته و نتایج به دست آمده در این تحقیق، پیشنهادات ذیل ارائه می‌گردد:  
الف) با توجه به اینکه امروزه بیشترین کاربرد محصولات نفتی در حمل و نقل است و انتظار می‌رود این روند طی دهه‌های آتی نیز ادامه یابد و نیز اهمیت حفظ منابع ارزشمند نفت و گاز طبیعی و از سوی دیگر جلوگیری از تخریب بیش از حد محیط زیست، یکی از راهکارهای مناسب، حرکت به سمت کاهش سهم سوخت‌های فسیلی در بخش نیروگاهی و افزایش سهم انرژی هسته‌ای در تأمین الکتریسیته کشور در آینده می‌باشد.

ب) در ایران هزینه‌های خارجی تولید الکتریسیته در سیستم‌های مختلف، مورد مطالعه قرار نگرفته و کمی نشده اند. لذا توصیه می‌شود مطالعاتی برای برآورد هزینه‌های خارجی تولید الکتریسیته، به ویژه برای نیروگاه‌های سوخت فسیلی صورت گیرد و نتایج حاصل، با هزینه‌های خارجی تولید الکتریسیته هسته‌ای که در این تحقیق به دست آمده است مقایسه گردد. چرا که مقایسه هزینه‌های خارجی تولید الکتریسیته در طرح ریزی‌های دراز مدت آینده، نقش مهمی ایفا می‌کند.

ج) با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، در طرح ریزی تأمین انرژی برای ۵۰ سال آینده، تأمین انرژی در مقیاس کلان باید بر عهده انرژی هسته‌ای و در مقیاس خرد بر عهده انرژی‌های تجدید پذیر (به ویژه آبی) قرار گیرد. لذا باید هر چه سریعتر به سمت ایجاد زیرساخت‌های مقتضی حرکت کرد.

#### منابع و مأخذ

- ۱- عبدلی، محمد علی. ۱۳۷۶. اثرات توسعه تکنولوژی انرژی بر زیست بوم. مرکز مطالعات انرژی ایران.
- ۲- منصور فر، کریم. ۱۳۶۹. روشهای آماری. انتشارات دانشگاه تهران.
- ۳- وزارت نیرو. معاونت امور انرژی و دفتر برنامه ریزی انرژی. تراز نامه انرژی سال ۱۳۸۲.

- 4- C. Walker, R. 2002. Environmental loads due to the nuclear fuel cycle. World Nuclear Association, London, UK.
- 5- E. H. Sims, R., et al., 2003. Carbon emission and mitigation cost comparisons between fossil fuel, nuclear and renewable energy resources for electricity generation. Energy Policy 31, 1315-1326.
- 6- Grover, R. B., 2001. Nuclear power and sustainable development – a perspective. Department of Atomic Energy, Mumbai, India.
- 7- Iran's Initial National Communication to UNFCCC, 2002. Department of Environment of Iran, National Climate Change Office.
- 8- Li, X., 2005. Diversification and localization of energy systems for sustainable development and energy security. Energy Policy 33, 2237-2243.
- 9- R. Cooper, J., et al., 2003. Radioactive releases in the environment: Impact and Assessment.
- 10- Rabl, A., 2001. The importance of external costs for the competitiveness of renewable energies. International Journal of Global Energy Issues, 15, 1/2.
- 11- S. Margulies, T., 2004. Simple cost risk – benefit calculation: nuclear plant back fit analysis. Reliability Engineering & System Safety 86, 327-329.
- 12- Strupczewski, A., 2001. Environmental and health impacts of energy sources. Institute of Atomic Energy, Swierk, Poland.
- 13- UIC Nuclear Issues, 2003. Sustainable Energy. Briefing Paper # 54. - - [www.uic.com.au/nip54.htm](http://www.uic.com.au/nip54.htm).
- 14- UIC Nuclear Issues, 2004. Energy Analysis of Power Systems. Briefing Paper # 57. [www.uic.com.au/nip57.htm](http://www.uic.com.au/nip57.htm)
- 15- UIC Nuclear Issues, 2004. The Economics of Nuclear Power. Briefing Paper # 8. [www.uic.com.au/nip08.htm](http://www.uic.com.au/nip08.htm).
- 16- Van der Zwaan, B., 2003. Some Perspectives on the Prospects for Nuclear Energy in the Developing World and Asia. Paper for the 30th Session of the Erice International Seminars on Planetary Emergencies Erice.
- 17- World Energy Council, 2001. Survey of energy resources, Part 1: Uranium. [www.worldenergy.org/wec-eis/publications/reports/uranium/uranium.asp](http://www.worldenergy.org/wec-eis/publications/reports/uranium/uranium.asp)
- 18- World Nuclear Association, 2002. Indicators measuring nuclear energy's contribution to sustainable development , [w.worldnuclear.org/sustdev/indicators\\_final.pdf](http://w.worldnuclear.org/sustdev/indicators_final.pdf).
- 19- World Nuclear Association, 2004. Energy Subsidies and External Costs. [www.world-nuclear.org/info/inf68.htm](http://www.world-nuclear.org/info/inf68.htm).
- 20- World Nuclear Association, 2004. World Nuclear Power Reactors 2003-04 and Uranium Requirements. [www.world-nuclear.org/info/reactors.htm](http://www.world-nuclear.org/info/reactors.htm).