

ارزیابی هزینه امنیت حامل‌های مختلف انرژی مصرفی در تولید برق از نیروگاه‌های حرارتی کشور



مجید اسلامی اندازگلی *

حسین صادقی سقدل **

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۳/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۶/۱۵

چکیده

در این مطالعه تلاش شده که تا هزینه امنیت سوخت‌های مصرفی (گاز طبیعی، گازوئیل و نفت کوره) در تولید برق از نیروگاه‌های فسیلی کشور با استفاده از دو معیار هزینه امنیت عرضه و هزینه امنیت اقتصادی در سال ۱۳۹۰ محاسبه شود. نتایج محاسبات حاکی از این است که بیشترین میزان هزینه امنیت حامل‌های انرژی مصرفی نیروگاه‌های حرارتی در تولید برق مربوط به نفت گاز به میزان ۴/۵۲۵ (ریال بر کیلووات ساعت) می‌باشد. دلیل این امر نیز با توجه به نوع متدلوژی مورد استفاده در این مطالعه به منظور محاسبه امنیت انرژی قابل توجیه است. با توجه به طول عمر کمتر منبع انرژی نفت نسبت به گاز طبیعی، انتظار می‌رود که اختلالات عرضه این منبع و فرآورده‌های آن بیشتر و هزینه بیشتری بابت تأمین امنیت عرضه آن (هزینه فرصت) پرداخت شود. همین تفاسیر در مورد دیگر فرآورده نفتی مورد استفاده در نیروگاه یعنی نفت کوره نیز صادق است. همچنین، نتایج محاسبات حاکی از آن است که میزان هزینه کل امنیت انرژی حامل نفت کوره در تولید برق کشور برابر ۲/۸۹۱ (ریال بر کیلووات ساعت) می‌باشد. حامل انرژی گاز طبیعی به علت وجود ذخیره فراوان نسبت به تولید آن و با توجه به شرایط فعلی سیستم اقتصادی، از طول عمر بیشتری به منظور بهره‌برداری برخوردار بوده و میزان اختلالات عرضه آن در مقایسه با منبع انرژی نفت کمتر می‌باشد، به واسطه همین عوامل میزان هزینه امنیت انرژی این حامل کمتر از فرآورده‌های مختلف نفتی مصرفی در نیروگاه محاسبه شده است. میزان هزینه امنیت برای این حامل انرژی مصرفی در نیروگاه برابر ۲/۲۱۶ (ریال بر کیلووات ساعت) برآورد گشته است.

واژه‌های کلیدی: هزینه امنیت انرژی، شاخص هیرشمن - هیرفندل، تنوع سوخت مصرفی، ایران

طبقه‌بندی JEL: 43Q, A1Q, 52C

* دانشجوی دکتری علوم اقتصادی گرایش انرژی و محیط زیست دانشگاه شیراز

mj_eslami63@yahoo.com

Sadeghi.h@modares.ac.ir

** استادیار گروه اقتصاد دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه

یکی از مهم‌ترین وجوه تمایز سال‌های اخیر زندگی بشر با قرون گذشته در زمینه دستاوردهای بشری، توسعه و پیشرفت سریع تکنولوژیکی و صنعتی و در نتیجه آن بالا رفتن سطح رفاه در زندگی مردم است. این پدیده باعث شده است که کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه به فراخور شرایط خاص خود برای پیاده‌سازی طرح‌ها و برنامه‌های آتی نیاز بیشتری به صورت‌های جاری حامل‌های انرژی داشته باشند. در این راستا کشورهای در حال توسعه دارای مشکلات بیشتری هستند؛ زیرا گسترش زندگی شهرنشینی و افزایش استانداردهای زندگی در جوامع در حال توسعه در دهه‌های اخیر باعث افزایش تقاضای حامل‌های انرژی برای دستیابی به امکانات و رفاه بیشتر را به دنبال داشته است.

عوامل و بخش‌های مختلفی در تعادل بین عرضه و تقاضای حامل‌های انرژی در سطح ملی مؤثر می‌باشند و عدم توجه به اثرات متقابل بین این بخش‌ها می‌تواند اثرات جبران‌ناپذیری به جامعه وارد سازد. به‌عنوان مثال عدم تأمین امنیت شبکه توزیع و بی‌توجهی به نقاط حساس شبکه توزیع برق کشور می‌تواند باعث قطع برق مناطق وسیعی از کشور شود. از کار افتادن موقت کارخانجات صنعتی (که از شبکه سراسری استفاده می‌کنند)، کاهش امنیت سرمایه‌گذاری در بخش صنعت و ایجاد اشکال در عملکرد وسایل الکتریکی بخش خانگی و تجاری، تنها گوشه‌ای از اثرات منفی قطع ناگهانی برق است. لازم به ذکر است که لزوم توسعه بخش‌های مختلف اقتصادی و صنعتی باعث شده است که وجود جریان انرژی در قسمت‌های مختلف کشور مانند جریان خون در قسمت‌های مختلف بدن انسان عمل نماید و فقدان این جریان باعث از کار افتادن بخش‌های مختلف و اثرات منفی بعدی گردد.

یکی از عوامل مؤثر بر عملکرد مثبت سیستم انرژی، ارتقای شاخص‌های ایمنی

این سیستم و حذف متغیرهای مؤثر بر افزایش ریسک و مخاطرات احتمالی می‌باشد. به عبارت دیگر یکی از راه‌های کاهش اثرات منفی سیستم انرژی بر بخش‌های دیگر، بالا بردن درجه امنیت در سیستم انرژی می‌باشد. وضعیت سیستم انرژی کشور و اثرات مختلف این سیستم بر سایر بخش‌های مختلف نیز نشان‌دهنده لزوم افزایش درجه امنیت انرژی کشور می‌باشد. دلایل گوناگونی بیان‌کننده ضرورت سرمایه‌گذاری برای بالا بردن درجه امنیت در سیستم انرژی کشور می‌باشند که از میان آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- آسودگی خاطر در تأمین تقاضای داخلی انرژی؛
- حفظ سهم ایران در بازارهای نفت؛
- حفظ و صیانت از منابع انرژی کشور و بهره‌برداری بهینه از آنها؛
- استفاده از نقش مؤثر بخش انرژی در بهره‌گیری از فناوری‌های جدید و انتقال آنها و آموزش نیروی انسانی؛
- استفاده از نقش مؤثر بخش انرژی کشور در ایجاد زمینه‌های لازم برای تقویت و رشد سایر صنایع.

بنابراین تأمین بدون دغدغه تقاضای روزافزون حامل‌های انرژی کشور از یک سو و وابستگی شدید اقتصاد کشور به فروش حامل‌های انرژی اولیه از سوی دیگر نیازمند ایجاد سطح مطلوب امنیت سیستم انرژی و سرمایه‌گذاری حداقل برای تأمین امنیت سیستم انرژی کشور به‌شمار می‌روند.

یکی از اساسی‌ترین حامل‌های انرژی مصرفی در کشور، انرژی الکتریکی می‌باشد. در سال ۱۳۹۰ کل فروش برق وزارت نیرو و صنایع بزرگ (با احتساب برق مصرفی پالایشگاه‌ها، واحدهای کک‌سازی و واحدهای کوره بلند) حدود ۱۹۱۴۵۵/۸ گیگاوات ساعت و یا معادل ۱۱۱/۵ میلیون بشکه نفت خام بوده که سهم ۰/۲ درصدی از مصرف نهایی حامل‌های انرژی را به خود اختصاص داده است. مصرف برق به بخش‌های خانگی، عمومی، تجاری، صنعتی، حمل‌ونقل، کشاورزی و سایر مصارف تقسیم شده است. با مقایسه آمار و ارقام ایران با کشورهای دیگر مشاهده می‌شود که منابع تأمین انرژی مورد تقاضای بخش‌های مختلف کشور از لحاظ تنوع در منابع تأمین انرژی دارای نقاط ضعف مشهودی می‌باشد. البته عدم تنوع در منابع تأمین انرژی در اکثر

کشورهای صادرکننده انرژی‌های فسیلی مشاهده می‌شود. به‌عنوان نمونه از کل حامل‌های انرژی اولیه عرضه‌شده در عربستان سعودی، ۵۷/۶ درصد از نفت خام و ۴۲/۴ درصد از گاز طبیعی تأمین می‌شود [ترازنامه انرژی، ۱۳۹۰].

همچنین، تولید ناویژه نیروگاه‌های وزارت نیرو در سال ۱۳۹۰ به ۲۰۸۴۱۴ گیگاوات ساعت بوده که از این مقدار سهم نیروگاه‌های بخاری ۴۴/۴ درصد، سیکل ترکیبی ۳۹/۴ درصد، گازی ۱۴/۶ درصد، آبی ۵/۸ درصد، تجدیدپذیر و اتمی ۰/۲۸ درصد و دیزلی ۰/۳ درصد بوده است. در این سال، کل صنعت برق کشور ۳۸۹۰۱/۱ میلیون مترمکعب گاز طبیعی، ۱۲۰۱۸/۹ میلیون لیتر نفت کوره، ۹۴۰۶/۳ میلیون لیتر گازوئیل و ۲۱۲۰/۲ میلیون مترمکعب گاز کوره بلند مورد استفاده قرار داده است. کل ارزش حرارتی سوخت‌های مصرف‌شده وزارت نیرو معادل ۴۴۵۹۷۰ میلیارد کیلوکالری بوده که با توجه به مقدار برق در نیروگاه‌های وزارت نیرو ملاحظه می‌شود که به‌ازای هر کیلووات ساعت تولید ناویژه برق حرارتی حدود ۲۲۷۷/۹ کیلوکالری سوخت مصرف شده است [ترازنامه انرژی، ۱۳۹۰].

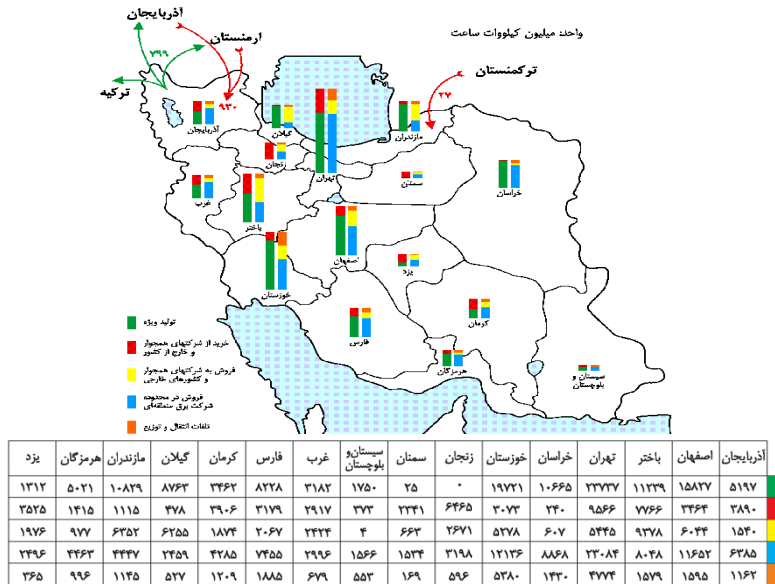
در مورد اهمیت محاسبه هزینه امنیت انرژی مصرفی در بخش تولید برق کشور باید گفت که ایران دارای منابع عظیم انرژی‌های فسیلی می‌باشد، اما از لحاظ امنیت انرژی در حوزه منابع در مقایسه با بسیاری از کشورهای جهان دارای مشکلات ویژه‌ای است. با توجه به اینکه نیروگاه‌های کشور برای تولید برق از سه حامل انرژی گازوئیل، نفت کوره و گاز طبیعی به‌عنوان سوخت مصرفی استفاده می‌کنند باید تلاش نمود تا هزینه امنیت این سه حامل انرژی مصرفی در تولید برق محاسبه شود تا در صورت بروز اختلالات عرضه و توقف تحویل (بروز جنگ) بتوان به‌طور آنی زیان ناشی از آن را جبران و نیاز مصرفی حامل‌های مورد استفاده در تولید برق را تأمین نمود؛ که یکی از این راهکارهای افزایش امنیت تولید برق در کشور، پرداخت درآمد ناشی از افزایش قیمت به‌منظور احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر است.

در دوران جنگ تحمیلی موقعیت جغرافیایی نامناسب میدان‌های نفتی کشور از جمله میدان نفتی نوروز باعث تشویق دشمنان به بمباران این مناطق شد که در اثر تخریب این میادین نفتی نرخ تولید انرژی اولیه در کشور کاهش شدیدی پیدا کرد به‌طوری‌که در سال ۱۳۶۰ صادرات نفت ایران به ۱۵ درصد سطح صادرات سال

۱۳۵۲ رسید. این مسئله در جنگ اخیر دولت امریکا علیه عراق نیز نمود کامل پیدا کرده است. در این جنگ، چاه‌های نفت عراق یکی از نخستین نقاط و اهداف مورد حمله بود. بنابراین توسعه منابع انرژی منطقه‌ای و پراکنده که عمدتاً از نوع انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد، می‌تواند باعث افزایش درجه امنیت انرژی و تأمین حداقل بخشی از انرژی کشور مورد استفاده قرار گیرد.

سهم بالای فرآورده‌های نفتی در تأمین انرژی موردنیاز بخش‌های مختلف به‌ویژه بخش‌های حمل‌ونقل و خانگی و عدم توزیع بهینه جغرافیایی پالایشگاه‌های نفت‌خام در کشور سالیانه علاوه بر اینکه باعث صرف هزینه‌های زیادی برای انتقال فرآورده‌های نفتی از پالایشگاه‌ها به مراکز مصرف می‌شود، خطر و ریسک انتقال فرآورده‌های نفتی را افزایش می‌دهد. همچنین عدم استفاده از مولدهای برق خانگی و کوچک در نقاط دور دست و فاصله زیاد بین مراکز تولید و مصرف انرژی الکتریکی در کشور باعث اتلاف کسر قابل توجهی از این انرژی و کاهش ضریب امنیت انرژی الکتریکی برای مناطق دورافتاده کشور که بعضاً جزء مناطق حساس نیز می‌باشند، می‌گردد.

شکل شماره (۳). وضعیت تولید، مصرف و تبادل برق در شرکت‌های برق منطقه‌ای کشور



مأخذ: ترازنامه انرژی، ۱۳۹۰

در این مطالعه تلاش می‌شود تا ضمن بررسی مفهوم امنیت انرژی و مطالعات انجام‌شده در این حوزه، به بررسی شاخص‌های مختلف کمی و نحوه محاسبه آنها در مورد تعیین هزینه امنیت حامل‌های انرژی مصرفی در تولید برق از نیروگاه‌های سیکل ترکیبی، گازی، بخاری و دیزلی، یعنی حامل‌های گاز طبیعی، گازوئیل و نفت کوره در سال ۱۳۹۰ پرداخته شود. در پایان نیز تلاش شده تا ضمن جمع‌بندی مطالب بیان‌شده به ارائه پیشنهادات به‌منظور افزایش امنیت انرژی در حوزه تولید برق کشور پرداخته شود.

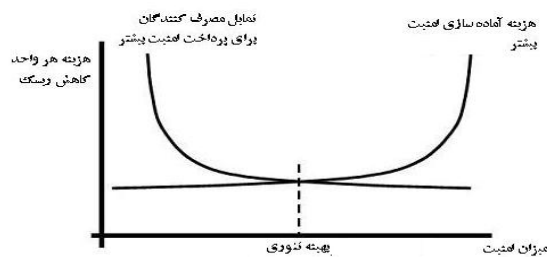
۱. امنیت انرژی

تغییرات در وضعیت سیستم انرژی دارای اثر قابل‌توجهی بر وضعیت اقتصادی و سیاسی هر کشور می‌باشد. به‌عبارت دیگر، مهم‌ترین شاخص‌های فعالیت در سطح ملی متأثر از تغییرات وضعیت سیستم انرژی می‌باشد. یکی از مؤلفه‌های مؤثر بر فعالیت سیستم انرژی، امنیت انرژی است. این مؤلفه از دیدگاه‌های مختلفی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و عوامل مختلفی بر آن اثر می‌گذارند. از آنجاکه امنیت انرژی تابع متغیرهای مختلف کمی و کیفی می‌باشد، لذا میزان امنیت انرژی به‌صورت یک پارامتر کمی قابل اندازه‌گیری نیست و فقط می‌توان آن را به‌صورت کیفی مورد ارزیابی قرار داد. از متغیرهای کمی مؤثر بر امنیت انرژی می‌توان به میزان ذخایر طبیعی انرژی و از متغیرهای کیفی می‌توان به وضعیت سیاسی کشورهای تأمین‌کننده انرژی و روابط دیپلماتیک مناسب به‌عنوان یکی از اهرم‌های مؤثر برای ایجاد اطمینان از ادامه تبادلات برای تأمین انرژی مورد نیاز اشاره نمود. باین‌حال به‌طور خلاصه می‌توان گفت که امنیت انرژی تابعی از کلیه متغیرهای مؤثر بر میزان ریسک و مخاطرات احتمالی در سیستم انرژی می‌باشد.

میزان مطلوب امنیت انرژی از دیدگاه‌های مختلفی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. به‌عنوان مثال میزان مطلوب امنیت انرژی از دیدگاه مصرف‌کننده، دستیابی به انرژی پایدار و ایمن با کمترین هزینه است. به‌عبارت دیگر حتی اگر مصرف‌کننده بتواند با صرف هزینه نسبتاً بالا، به سطح بالاتری از امنیت انرژی دست یابد و از سوی دیگر نیازی به این سطح از امنیت نیز نداشته باشد، در این زمینه اقدامی نخواهد کرد. زیرا

امنیت انرژی از سطح مطلوب و بهینه آن فراتر رفته است و اصولاً مناسب نیست. در شکل شماره (۱)، نموداری از مقدار بهینه امنیت انرژی با توجه به هزینه صرف شده نشان داده شده است.

شکل شماره (۱). میزان بهینه نظری امنیت براساس هزینه مورد نیاز



همچنان‌که در شکل فوق مشخص است، افزایش سطح امنیت انرژی از میزان بهینه آن در تمامی سیستم‌ها از جمله سیستم تأمین برق هزینه بالاتری را تحمیل می‌کند. به بیان دیگر با افزایش سطح امنیت، نرخ افزایش هزینه مورد نیاز برای ایجاد امنیت مطلوب به شدت افزایش می‌یابد. لازم به ذکر است تعیین میزان امنیت مطلوب در سیستم انرژی نیز فرایند ساده‌ای نیست، زیرا مخاطرات مختلف سیستم انرژی به سادگی قابل محاسبه نیست.

۲. مروری بر مطالعات انجام‌شده در حوزه امنیت انرژی

به واسطه اینکه امنیت انرژی بیشتر مفاهیم کیفی را دربر دارد، عمده مطالعات انجام‌شده در این مورد در رتبه‌بندی منابع و حامل‌های مختلف به لحاظ این شاخص می‌باشد. معمولاً فرایند خلق یک شاخص کمی امنیت انرژی نیازمند معیارها و متریک‌هایی است تا آلترناتیوهای مختلف موردنظر را تشخیص و رتبه‌بندی نموده و روش‌های منعکس‌کننده چگونگی کاربرد این معیارها و متریک‌ها را تعریف کند؛ مثال‌هایی از طرح‌های موجود شامل (براوون^۱ و همکاران ۲۰۰۷،

کلینگندال^۱، شورای جهانی انرژی (WEC)^۲ (۲۰۰۷)، هاگس^۳ و همکاران (۲۰۰۹). اگر شاخص‌های مورد استفاده به‌منظور رتبه‌بندی، انتظارات کاربران را برآورده نماید، در این صورت، توجیه‌پذیر، قابل درک و تغییرپذیر خواهد بود.

در مطالعه هاگس و همکاران (۲۰۰۹) نیز به‌منظور تدوین یک شاخص کمی امنیت انرژی در مورد منطقه نوا اسکویا در شرق استرالیا از فرایند تحلیل سلسله‌مراتب^۴ (AHP) با استفاده از سه معیار عرضه، زیرساختار و قیمت استفاده شده است. در این مطالعه، تلاش شده تا با استفاده از رتبه‌بندی کمی داده‌های واقعی و ماتریس تصمیم قابل دستیابی در مقایسه با تکنیک مقایسه زوجی AHP (روش کیفی)، بر چالش اختیاری بودن و عدم توجیه‌پذیری آسان آن برای کاربران فائق آیند. معیارهای کمی مطرح در این مطالعه براساس چهار معیار "A"^۵ ارائه شده از سوی مرکز تحقیقات انرژی آسیا - اقیانوسیه^۶ (APERC, 2007) شامل مهیا بودن، قابلیت دسترسی، قدرت خرید مالی و مقبولیت می‌باشند (APERC, 2007). نتایج حاصل حاکی از این است که شاخص امنیت انرژی در سطح مطلوبی در مقایسه با استانداردهای جهانی نبوده و به لحاظ دو شاخص مهیا بودن و قابلیت دسترسی نیازمند ایجاد زیرساخت‌های لازم می‌باشد.

مطالعه دیگر، مطالعه‌ای است که توسط مرکز انرژی ایالات جنوبی امریکا (SSEB)^۷ در خصوص محاسبه هزینه امنیت و وابستگی واردات نفتی در سال ۲۰۰۶ صورت گرفته است. در این مطالعه هزینه امنیت انرژی و وابستگی بالای نفتی امریکا در چهار قالب محاسبه شده است. این چهار قالب عبارتند از:

1. Clingendale
2. World Energy Council
3. Hughes
4. Analytic Hierarchy Process
5. این چهار معیار شامل، معیار امکان‌پذیری (Availability)، معیار قابلیت دسترسی (Accessibility)، معیار قدرت خرید مالی (Affordability) و معیار مقبولیت (Acceptability) می‌باشند.
6. The Asia-Pacific Energy Research Council
7. the Southern States Energy Board

۱. هزینه‌های نظامی حمل و حمایت از محموله نفتی تا مرز امریکا است که به میزان ۵۰ میلیارد دلار به صورت سالانه برآورد شده است.

۲. زیان‌ها و خسارات مستقیم و غیرمستقیم وارده به اقتصاد امریکا به صورت خروج سرمایه‌های مالی و از بین رفتن فرصت‌های اشتغال. میزان زیان‌های مستقیم سالانه به میزان ۴۰ میلیارد ریال و خسارات سالانه غیرمستقیم نیز به میزان ۱۲۵ میلیارد ریال برآورد شده و همچنین میزان فرصت شغلی ازدست‌رفته حاصل از این وابستگی نفتی برابر ۸۳۰ هزار شغل گزارش شده است.

۳. هزینه‌های وارده حاصل از شوک نفتی سه دهه اخیر بر اقتصاد امریکا برابر ۴ تریلیون دلار و یا به عبارتی به میزان سالیانه ۸۵ میلیارد دلار برآورد شده است.

۴. میزان استهلاک و فرسودگی وارده از این واردات بر صنایع بزرگ امریکا نیز مدنظر قرار گرفته که میزان تأثیر این عامل بر هریک از صنایع به صورت منفک محاسبه شده است. در پایان این مطالعه نیز ضمن بررسی «پیک نفتی»^۱ در این کشور، به تشریح طرح ابتکاری و اتخاذ سیاست‌های مناسب در قالب ابتکارات امنیت انرژی امریکا^۲ به منظور حذف واردات نفتی امریکا تا سال ۲۰۳۰ و تأثیرات اقتصادی این ابتکارات بر این کشور، پرداخته شده است.

دیوید کارلسن^۳ (۲۰۱۰) نیز در پایان‌نامه‌اش با استفاده از شاخص شانون - وینر^۴، شاخص هرفیندل - هیرشمن^۵ و شاخص‌های امنیت انرژی معرفی شده توسط (APERC) (۲۰۰۷) (هریک از این شاخص‌ها در قسمت مبانی نظری این مطالعه توضیح داده شده است) به بررسی و رتبه‌بندی منابع مختلف انرژی وارداتی برای اقتصاد سوئد پرداخته است. نتایج محاسبات حاکی از آن است که با سیستم عرضه فعلی انرژی، شاخص تنوع تقاضای انرژی اولیه^۶ (ESI_I) برابر با ۰/۷۲، شاخص

-
1. Oil Peak
 2. American Energy Security (AES) Initiatives
 3. David Karlsson, (2010)
 4. Shannon- Wiener Index
 5. Herfindahl-Hirschman Index (HHI)
 6. Diversification of Primary Energy Demand



خالص وابستگی واردات به انرژی^۱ (ESI_{II}) برابر ۰/۶۷ و شاخص برای سوئیچ از سبد انرژی تولیدکننده کربن^۲ (ESI_{III}) برابر ۰/۶۳ محاسبه شده است. در مورد شاخص اول، نتایج در نهایت به عدد یک نزدیک می‌شود. نتیجه ۰/۷۲ سوئد، متوسط به بالاتر در مقایسه با سایر کشورها است؛ در حالی که در مورد دومین شاخص، ارزش کمتری محاسبه شده است (وابستگی کمتر به واردات). در این محاسبه، تمامی انرژی تولیدی از منبع انرژی هسته‌ای به‌عنوان انرژی وارداتی، مشتق شده است. نتیجه ۰/۶۷، و بسیار بالاتر از سایر کشورهاست.

گراب و همکاران (۲۰۰۶) امنیت عرضه انرژی را با استفاده از شاخص‌های گوناگونی به پیروی از مفاهیم پیشنهاد شده توسط **استرلینگ** (۱۹۹۸) محاسبه نموده‌اند. آنها، شاخص‌های شانون - وینر و هرفایندل - هیرشمن مرتبط با تکنولوژی‌های متنوع به‌صورت گروهی از طریق حوزه‌ای از سناریوها آینده منابع انرژی که در تلفیق سوخت در سیستم برق انگلستان شرح داده شده است را پیشنهاد نمودند. **کونستانتین** و همکاران (۲۰۰۷) نیز از شاخص شانون - وینر به‌منظور تجزیه و تحلیل وابستگی و آسیب‌پذیری سیستم انرژی اروپا در میان مقایسه سناریوهای انرژی خلق شده توسط آژانس بین‌المللی انرژی^۳ (IEA) استفاده نموده‌اند. در ادامه باید گفت که اکثر مطالعات جهانی صورت‌گرفته در خصوص امنیت انرژی بیشتر در حوزه نفت و گاز بوده و مطالعه‌ای در مورد محاسبه هزینه امنیت سوخت‌های مصرفی در بخش تولید برق انجام نشده است. تنها مطالعه انجام شده در این حوزه، مطالعه **اینجو جان** و همکاران (Eunju Jun. et al., 2008) برای کره جنوبی است. در این مطالعه با تعریف شاخص هیرشمن - هیرفندل (HHI)، نرمالیزه نمودن^۴ این شاخص و واریانس یا نوسانات قیمتی منابع مختلف انرژی در معادله محاسبه هزینه اقتصادی امنیت در سه مقطع زمانی اختلالات عرضه (۶ ماهه، یک‌ساله و ۲ ساله) تلاش شده تا هزینه اقتصادی و اختلالات عرضه امنیت چهار منبع اولیه انرژی

1. Net energy Import Dependency
2. Efforts to Switch away from Carbon Intensive Fuel Portfolio
3. Energy Information Administration (EIA)
4. Normalized

مصرفی در صنعت تولید برق کشور کره جنوبی یعنی نفت، زغال‌سنگ، گاز مایع و انرژی هسته‌ای محاسبه شود. نتایج حاصل حاکی از این است که در تمامی این مقاطع بیشترین میزان هزینه امنیت انرژی مربوط به منبع اولیه انرژی گاز مایع به میزان ۱/۶۶۵ سنت دلار/کیلووات ساعت (Cent \$/KWh) در دوره زمانی ۶ ماهه (و یا به میزان ۴۶۶/۷۰۹ میلیون دلار در سال و با در نظر گرفتن هزینه تغییر آب‌وهوایی)، ۱/۶۷۴ (Cent \$/KWh) در دوره زمانی یک‌ساله (البته با در نظر گرفته هزینه‌های تغییر آب‌وهوایی، منبع زغال‌سنگ با میزان هزینه ۲/۵۵۱ (Cent \$/KWh) در مکان اول بیشترین هزینه امنیت قرار می‌گیرد) و در مدت زمانی دو ساله نیز با میزان هزینه ۱/۶۷۸ (Cent \$/KWh) در رتبه اول هزینه برترین منبع انرژی به لحاظ معیار امنیت قرار دارد.

۳. مبانی نظری

همان‌گونه که اشاره شد، امنیت انرژی بیشتر مفاهیم کیفی را دربر می‌گیرد. در این خصوص، تنوع انرژی یکی از عوامل اصلی قابل اندازه‌گیری است که به‌عنوان عاملی برای تأکید بر اهمیت امنیت انرژی ذکر می‌شود. دو شاخص کاملاً ساده و معمول که برای اندازه‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرند، شاخص شانون - وینر و شاخص هرفیندل - هیرشمن^۱ می‌باشند (Roques & Bazilian, 2008):

(۱)

$$\text{Shannon- Wiener index: } H = \sum_{i=1}^I (P_i \ln P_i)$$

(۲)

$$\text{Herfindahl-Hirschman index: } D = \sum_{i=1}^I P_i^2$$

که در آن P_i ، بیانگر سهم سوخت i در ترکیب سبد انرژی، یا سهم بازار از منبع اولیه i است. این شاخص‌ها در واقع درجه تمرکز را نشان می‌دهند. هرچه تمرکز یا سهم یک سوخت بالاتر باشد، تمرکز بالاتر و تنوع پایین‌تر است که به‌منزله بالا بودن درجه ریسک تلقی می‌شود.

این روش در واقع، پایه و اساس بسیاری از روش‌های دیگر سنجش

معرفی شده، می باشد. به عنوان مثال، شاخص بهبود یافته شانون را می توان به عنوان سهم منابع وارداتی، به حساب آورد (Jansen et al, 2009):

$$I = - \sum C_i P_i \ln P_i \quad (3)$$

که در آن:

$$C_i = 1 - m_i (1 - s_i^m / s_i^{m, \max}), \quad s_i^m = - \sum h_j m_{ij} \ln m_{ij}$$

M، تعداد منابع اولیه انرژی، و m_i ، سهم واردات خالص از منبع انرژی i ، s_i^m ، شاخص شانون از جریان واردات منابع i ، که در آن m_{ij} ، نشان دهنده سهم واردات از منطقه j به کل واردات منبع اول i (Kruyt et al, 2009).

با اقتباس از فرمول مذکور، شاخص های دیگری از امنیت انرژی توسط APERC (۲۰۰۷) معرفی شده اند. نخستین شاخص اندازه گیری تنوع تقاضای انرژی اولیه^۱، DoPED است:

$$D = - \sum_{i=1}^T (P_i \ln P_i) \implies DoPED = \frac{D}{\ln T} \quad (5)$$

که در آن؛ D ، از شاخص شانون حاصل شده و T ، تعداد منابع انرژی مورد استفاده، می باشد. بالاترین نتیجه حاصل به معنای ترکیبات گوناگون سبد انرژی است. DoPED نیز نرمال سازی شده تا حداکثر ارزش معادله یعنی عدد یک را نشان دهد.

شاخص شانون نیز برای اندازه گیری تغییرات وابستگی اقتصادی واردات خالص انرژی (NEID) مورد استفاده قرار می گیرد تا منعکس کننده تأثیر تنوع و واردات بر امنیت عرضه انرژی باشد. NEID یک اقتصاد براساس شدت مصرف هر منبع اولیه انرژی وزن داده شده و بدین صورت بیان می شود:

$$D = - \sum_{i=1}^T (C_i P_i \ln P_i) \implies DoPED_{import-reflect} = \frac{D}{\ln T} \implies \quad (6)$$

$$NEID = 1 - \frac{DoPED_{import-reflect}}{DoPED}$$

$c_i = (1 - m_i)$ ، نشان دهنده ضریب تصحیح P_i ، که در آن m_i ، سهم واردات خالص در عرضه انرژی اولیه از منبع i ، نتیجه نزدیک به عدد ۱، نشان می دهد که اقتصاد برای

1. Diversity of Primary Energy Demand.

پاسخ‌گویی به تقاضای انرژی خود به‌شدت به واردات وابسته است. شاخص سومی که توسط APERC استفاده شده، کوشش در جهت اندازه‌گیری جایگزینی در سبد سوخت‌های تولیدکننده کربن (NCFP) است. بنابراین سهم انرژی برق آبی، هسته‌ای و انرژی تجدیدپذیر به‌صورت زیر محاسبه شده است:

$$NCFP = \frac{(HydroPED) + (NuclearPED) + (NRE_PED)}{Total_PED}$$

سبد انرژی متشکل از تنها انرژی تجدیدپذیر و انرژی هسته‌ای است که نتایج به عدد ۱ نزدیک می‌باشد.

همچنین وابستگی واردات خالص نفت را می‌توان با فرمول‌های مشابه محاسبه کرد (APERC, 2007). این شاخص‌های امنیت انرژی که بخشی از نمونه‌های اولیه هستند، بسیاری از عوامل اصلی مهم که شامل مطالعه امنیت انرژی، تنوع، وابستگی به واردات و سهم منابع انرژی فسیلی / تجدیدپذیر تا تأمین تقاضای انرژی را نمایان نمی‌سازند. در گزارشی با عنوان «تلاش برای امنیت انرژی در قرن ۲۱» از سوی مرکز تحقیقات انرژی آسیا و اقیانوسیه، این شاخص برای ۲۱ کشور مختلف ارائه و محاسبه شده است.

به‌منظور محاسبه هزینه امنیت حامل‌های انرژی مصرفی در بخش نیروگاهی تولید برق در کشور از دو شاخص استفاده شده است. این دو شاخص، شاخص محاسبه هزینه امنیت عرضه انرژی^۲ و هزینه اقتصادی امنیت انرژی^۳ است که در ادامه به بررسی هریک از این شاخص‌ها پرداخته خواهد شد.

۳-۱. هزینه امنیت عرضه انرژی

ابتدا هزینه عرضه امنیت انرژی منابع مختلف انرژی محاسبه می‌شود. محاسبات هزینه امنیت به مورد اختلالات فیزیکی تولید برق با در نظر گرفتن موردی که بتوان نتایج حاصل از اطلاعات معتبر موجود را به‌طور واضح و روشن کمی نمود، محدود

1. A Quest for Energy Security in the 21st Century (2007).

2. Cost of Supply Security

3. Cost of Economic Security

شده است؛ بنابراین، هزینه امنیت عرضه انرژی، هزینه فرصتی است که یک کشور یا یک منطقه جغرافیایی به منظور تولید برق با توجه به احتمال اختلالات عرضه در طول مدت زمانی مشخص باید پرداخت کند. همان‌گونه که در بالا بیان شد، اختلالات فیزیکی عرضه یک منبع به صورت فرسودگی یا تعطیلی تولید انرژی، تعریف می‌شود. با استناد به این مطالب، اختلالات عرضه یک منبع انرژی موجب ایجاد هزینه‌های تخریب و خسارت به سیستم اقتصادی یک کشور در قالب زیان‌های تولید ناخالص داخلی (GDP) می‌شود. در این موارد، حقیقت این است که تعدیل مصرف انرژی سیستم‌های اقتصادی پس از اختلالات عرضه آن، زمان‌بر است. از آنجا که ذخیره و موجودی انرژی در یک کشور هزینه‌های اختلالات عرضه را کاهش خواهد داد، بنابراین، در این گزارش این کاهش در هزینه اختلالات عرضه ناشی از ذخیره هر منبع در کشور در نظر گرفته شده است.

در نهایت، دو عامل در محاسبه هزینه امنیت عرضه در نظر گرفته شده است: اول، هزینه احتمال اختلال عرضه سوخت، و دیگری میزان موجودی یا ذخیره انرژی در یک کشور. بنابراین، هزینه امنیت انرژی در قالب میزان زیان‌های GDP محاسبه شده که برابر میزان زیان وارده به GDP از سوی هریک از منابع در تولید برق و میزان جبران زیان‌های آن با بهره‌گیری از میزان ذخایر آن منبع است. در واقع، این میزان هزینه محاسباتی، حداقل هزینه‌ای است که یک کشور تحت شرایط اختلالات عرضه بدون محاسبه دیگر هزینه‌ها مانند زیان‌های رفاهی، هزینه تعدیل سیستم جدید مصرف انرژی، هزینه‌های زیست‌محیطی و ...، باید پرداخت کند. مجدداً باید تأکید نمود که هزینه محاسبه‌شده در این گزارش، حداقل هزینه‌ای است که یک کشور به منظور اختلالات عرضه محدودشده به تولید انرژی الکتریکی باید پرداخت نماید. البته، در بحث هزینه اختلالات عرضه، مدت‌زمان مورد مطالعه نیز به دلیل میزان نوسانات قیمتی هر منبع انرژی در تعیین میزان هزینه بسیار حائز اهمیت است؛ بنابراین، هزینه امنیت عرضه انرژی (C_{Si}) را می‌توان به صورت زیر بیان نمود (Eunju et al, 2009):

(۸)

$$C_{Si} = \pi_i \cdot (G_i - R_i)$$



که در آن: G_i ، میزان کل زیان تولید ناخالص داخلی وارده توسط اختلالات عرضه انرژی هر منبع در تولید برق. R_i ، بیانگر مقدار جبران زیان تولید ناخالص داخلی از ذخیره انرژی منبع i ، (هنگامی که عرضه انرژی i از منظر تولید برق دچار اختلال (تعطیلی) شود). منبع بزرگ‌تر انرژی با وجود ذخایر بیشتر می‌تواند اقتصاد را تحت شرایط اختلالات عرضه، حمایت نماید و هزینه‌های تأمین امنیت کشور را کاهش دهد. π_i ، احتمال اختلالات عرضه انرژی حامل « i » است که به‌عنوان اختلال ناشی از عرضه به سبب کاستی و بی‌ثباتی ژئوپلیتیکی، در نظر گرفته می‌شود. در مورد محاسبه اختلال عرضه (π_i) دو عامل در نظر گرفته شده است: اولاً، معکوس دوره زمانی که یک منبع انرژی می‌تواند تحت شرایط فعلی سیستم اقتصادی، مورد بهره‌برداری قرار گیرد (طول عمر مفید و مورد استفاده حامل مربوطه). ثانیاً، بی‌ثباتی ژئوپلیتیکی کشور، که از معکوس شاخص صلح جهانی^۱ (GPI) ارائه شده توسط واحد اطلاعات اکونومیست^۲ (EIU) برای ۱۶۷ کشور جهان و براساس ۲۴ شاخص مختلف محاسبه شده، استفاده شده است. در نهایت، به‌منظور محاسبه اختلالات عرضه حامل‌های انرژی، میزان عددی این دو شاخص محاسبه و در یکدیگر ضرب شده است.

۲-۳. هزینه اقتصادی امنیت انرژی

با وجود اینکه، تلاش فراوانی به‌منظور محاسبه امنیت عرضه با استفاده از شاخص‌های متنوع همانند شاخص شانون - وینر، صورت گرفته است، اما اثرات شوک‌های قیمتی بر سیستم‌های اقتصادی در تجزیه و تحلیل امنیت انرژی در نظر گرفته نشده است. با وجود، تعدد مطالعات انجام شده در زمینه محاسبه توسعه اقتصادی، تمامی آنها نوسانات قیمتی به‌منظور محاسبه اقتصادی امنیت انرژی را در نظر نگرفته‌اند؛ بنابراین در مقاله حاضر هزینه امنیت انرژی به‌صورت زیر پیشنهاد شده است:

(۹)

$$C_{Ei} = \omega_i \cdot \varphi_{pi} \cdot v_{pi} \cdot C_i = H_i^* \cdot \varphi_{pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{\tau(n-1)} \sum_{t=1}^T (v_t - \bar{v})^2}$$

1. the Global Peace Index (GPI)

2. The Economist Intelligence Unit (EIU)

جایی که:

(۱۰)

$$V_t = P_t - P_{t-1}, \quad H_i^* = \frac{(H_i - \frac{1}{n})}{(1 - \frac{1}{n})}$$

که در آن: ω_i ؛ درجه تمرکز عرضه و تقاضا منبع i در کشور، \mathcal{P}^{pi} ؛ سهم قیمت سوخت برای هر منبع i که در تولید برق استفاده شده است، V_{pi} ، نوسانات قیمت منبع انرژی i در کشور، و C_i ؛ هزینه هر واحد تولید برق از هر منبع انرژی است. در این مطالعه، از شاخص نرمال شده هیرچمن - هرفیندال (H_i^*) به منظور محاسبه تمرکز عرضه و تقاضا (ω_i) جایی که (H_i) بیانگر شاخص هیرچمن - هرفیندال برای عرضه و تقاضای هر منبع i و n تعداد منابع انرژی در کشور است. در مورد نوسانات قیمت، از انحراف استاندارد قیمت‌های مختلف در طول مدت زمانی مشخص شده استفاده شده است و \bar{V} ، میانگین V_t ، و T طول دوره زمانی را نشان می‌دهد (اینجو جان و همکاران، ۲۰۰۸). بنابراین C_{Ei} ؛ بیانگر هزینه فرصت هر کشور است که به منظور امنیت انرژی منبع i هنگام نوسانات قیمتی با متوسط قیمت انرژی که در تولید هر واحد برق (kWh)، استفاده می‌شود.

در معادله (۱۰)، انحراف استاندارد قیمت‌های مختلف به عنوان نوسانات قیمت در نظر گرفته شده است. همچنین، لگاریتم قیمت‌ها که به صورت V_t تعریف شده، برگرفته از شاخص وینر است که به منظور تفسیر تغییرات راندمی و براونی، استفاده شده است. با این وجود، تعریف شکل لگاریتمی در وضعیتی که قیمت‌ها به صورت صفر و یا منفی مورد انتظار باشند، دچار اختلال خواهد شد. بنابراین، فرایند شاخص وینر به همراه توزیع نرمال قیمت‌های مختلف آورده شده است.

شاخص هیرشمن - هرفیندال به عنوان معیار درجه رقابت در یک صنعت توسط سهم بنگاه‌ها در بازار و کاربرد گسترده‌شان در تجزیه و تحلیل رقابت برای قوانین ضدتراست و مقررات صنعتی استفاده شده است. در این گزارش سهم بازار یک منبع انرژی i در عوض یک بنگاه در نظر گرفته شده است. H ، به طور روشن به دو

بعد مرتبط می‌شود؛ این دو بعد شامل تعداد منابع انرژی و سهم بازاری هریک از آنهاست. بنابراین، H ، یک شاخص تعبیرپذیر از تمرکز می‌باشد. برای تعداد مشخصی از منابع H با افزایش سهم بازار، افزایش می‌یابد.

در میان انواع مختلف شاخص‌های هرفیندال، از شاخص نرمالایز شده (با ارزش عددی بین ۰ تا ۱) در محاسبه شاخص هیرشمن - هرفیندال (H^*) استفاده شده است. در صورتی که تعداد منابع انرژی ثابت باشند، واریانس بیشتر منجر به ایجاد سطح بالاتری از عدم تقارن در بین عرضه و تقاضای منابع مختلف خواهد شد. عدم تغییر این محدودیت‌ها یکی از ویژگی‌های H^* است که به منظور اندازه‌گیری تنوع (معکوس آن به عنوان درجه تمرکز) استفاده می‌شود.

مفهوم امنیت انرژی به طور واضح و روشن تعریف نشده و البته به سختی قابل اندازه‌گیری است. اهمیت و علاقه روبه‌رشد به این واژه موجب طرح سؤالاتی مرتبط با نیازهای مختلف شده است. اغلب، تنوع، یکی از عوامل اصلی قابل اندازه‌گیری است که به عنوان عاملی برای افزایش اهمیت امنیت انرژی ذکر می‌شود. در مورد محاسبه هزینه امنیت حامل‌های انرژی دو مفهوم بسیار مهم مطرح می‌شود که در ادامه این قسمت به آنها پرداخته خواهد شد.

۴. محاسبه هزینه امنیت انرژی حامل‌های مختلف مصرفی در تولید برق از نیروگاه‌های حرارتی کشور

۴-۱. هزینه امنیت عرضه حامل‌های مختلف انرژی در تولید برق

نتایج حاصل از انجام محاسبات تعیین هزینه‌های امنیت عرضه حامل‌های انرژی مصرفی (گاز طبیعی، گازوئیل و نفت کوره) در تولید برق ایران در جدول شماره (۲) ذکر شده است. ستون اول جدول شماره (۲) احتمال زیان‌های حاصل از اختلالات عرضه (π_i) بر GDP را نشان می‌دهد. به منظور محاسبه این احتمال از دو معیار معکوس مدت‌زمان مورد بهره‌برداری هریک از حامل‌های انرژی مصرفی در بخش نیروگاهی کشور و شاخص بی‌ثباتی سیاسی و ژئوپلیتیکی در سطح کشور استفاده شده است. در مورد نحوه محاسبه این دو معیار باید گفت که به منظور محاسبه مدت‌زمان بهره‌برداری برای منبع گاز طبیعی، میزان ذخیره این منبع را بر

میزان تولید در سیستم فعلی اقتصادی کشور تقسیم نموده که حاصل این محاسبات برابر ۲۲۵ سال برآورد شده است (معکوس این مدت زمان برابر ۰/۰۰۴۴ است). به منظور محاسبه مدت زمان بهره‌برداری از سایر حامل‌های مصرفی در نیروگاه‌های کشور (گازوئیل و نفت کوره) از مدت زمان بهره‌برداری از منبع انرژی نفت خام استفاده شده است. با انجام محاسبات مشابه فوق برای دو حامل (گازوئیل و نفت کوره)، نتایج حاکی از مدت زمان ۸۹ سال بهره‌برداری از این دو منبع انرژی است (معکوس این مدت زمان برابر ۰/۰۱۱ است). همچنین، به منظور محاسبه شاخص بی‌ثباتی سیاسی و ژئوپلیتیکی در سطح کشور از معکوس شاخص صلح جهانی^۱ (GPI) ارائه شده توسط واحد اطلاعات اکونومیست^۲ (EIU) برای ایران در سال ۲۰۱۰ استفاده شده است. براساس اطلاعات این گزارش، شاخص صلح جهانی (GPI) برای ایران برابر با ۰/۵۱۵۵ بوده که معکوس آن (به عنوان تهدیدات سیاسی و ژئوپلیتیکی) برابر ۱/۹۴ می‌باشد.

با توجه به مطالب بیان شده در پاراگراف فوق و با ضرب این دو شاخص برای حامل‌های مصرفی در بخش نیروگاهی کشور اختلالات عرضه برای سوخت‌های گاز طبیعی، گازوئیل و نفت کوره مورد استفاده در نیروگاه‌های حرارتی به ترتیب برابر $۱۰^۳ \times ۲/۲۹۱$ ، $۱۰^۳ \times ۵/۷۶۶$ و $۱۰^۳ \times ۵/۷۶۶$ می‌باشد، که با توجه به طول عمر مفید (مدت زمان بهره‌برداری) بیشتر برای گاز طبیعی ضریب اختلالات عرضه این حامل به نسبت سایر حامل‌های مصرفی (گازوئیل و نفت کوره) کمتر است.

ستون دوم جدول شماره (۲)، میزان زیان‌های وارده به واسطه اختلالات عرضه هریک از این حامل‌های انرژی مصرفی (گاز طبیعی، گازوئیل و نفت کوره) مورد استفاده در تولید برق کشور بر GDP را نشان می‌دهد. نحوه محاسبه میزان این زیان به صورت زیر است:

$$\text{نسبت ارزش افزوده هریک از حامل‌های انرژی در تولید برق} \times \text{GDP} = \text{زیان‌های وارده به GDP از اختلالات عرضه در تولید برق}$$

در رابطه فوق، نسبت ارزش افزوده هریک از حامل‌های انرژی مصرفی در

1. the Global Peace Index (GPI)
2. The Economist Intelligence Unit (EIU)

تولید برق نیز به صورت زیر برآورد شده است:

نسبت ارزش افزوده هریک از حامل های انرژی در تولید برق = (شدت مصرف حامل های مختلف در کشور) × (مصرف هریک از حامل های انرژی در نیروگاه / برق تولیدی نیروگاه های حرارتی)

در مورد نحوه محاسبه نسبت ارزش افزوده هریک از حامل های انرژی مصرفی در تولید برق در رابطه بالا باید گفت که در ابتدا شدت انرژی حامل های مصرفی در سطح کشور محاسبه شده (شدت انرژی حامل های مختلف = مصرف هریک از حامل ها / تولید ناخالص داخلی) محاسبه شده، سپس سهم مصرف این حامل ها در بخش تولید برق نسبت به مصرف کل در اقتصاد برآورد شده و در نهایت این دو عدد در یکدیگر ضرب شده است. در نهایت، نسبت ارزش افزوده هریک از حامل های انرژی مصرفی در نیروگاه های کشور را در تولید ناخالص داخلی (GDP) کشور در سال ۱۳۹۰ ضرب و نتایج در جدول شماره (۱) بیان شده است. با توجه به اطلاعات جدول بالا میزان زیان حاصل از اختلالات عرضه حامل های گاز طبیعی، نفت گاز و نفت کوره بر اقتصاد کشور به ترتیب برابر ۲۰۶/۹۶۶، ۱۶۸/۱۹۱ و ۱۰۹/۳۳۹ میلیارد ریال می باشد. (به منظور ساده سازی انجام محاسبات، واحد مصرف و تولید تمامی حامل ها (گاز طبیعی، نفت گاز، نفت کوره و برق) بر اساس کیلووات ساعت می باشد).

ستون سوم جدول شماره (۲) جبران زیان وارده از سوی ذخیره حامل های مصرفی گازوئیل و نفت کوره بر GDP را نشان می دهد. در توضیح محاسبه این جبران باید گفت که در بازار برق ایران، شرکت توانیر مسئول تأمین سوخت نیروگاه های فسیلی است. این شرکت با پرداخت مبلغی به عنوان پیش پرداخت خرید سوخت مصرفی نیروگاه ها به شرکت ملی پخش و پالایش فراورده های نفتی، از این شرکت می خواهد تا حامل های انرژی گازوئیل و نفت کوره را در مخازن ذخیره کند. برنامه ریزی و اقدام لازم برای ساخت مخازن ذخیره سازی در نیروگاه ها، با هماهنگی وزارت نفت صورت می پذیرد؛ به نحوی که ظرفیت ذخیره سازی نیروگاه ها به طور متوسط برای ۴۵ روز کفایت کند تا در مواقع قطع گاز طبیعی مشکلی در زمینه تأمین سوخت نیروگاه ها پیش نیاید. همچنین در این راستا وزارت نیرو بهینه یابی محل احداث نیروگاه ها با توجه به امکان تأمین سوخت مورد نیاز آنها را در زمره

اهداف خویش در بخش برق قرار داده است. ظرفیت مخازن سوخت نیروگاه‌ها حدود ۴۵۰ میلیون لیتر افزایش یافته و از ۵۰۰۲ میلیون لیتر در سال ۱۳۸۹ به ۵۴۵۲ میلیون لیتر در سال ۱۳۹۰ رسیده است که از این میزان ۳۰۳۰ میلیون لیتر (۵۵/۶ درصد) مربوط به مخازن گازی و ۲۴۲۲ میلیون لیتر (۴۴/۴ درصد) مربوط به مخازن نفت کوره می‌باشد [ترازنامه انرژی، ۱۳۹۰]. در نتیجه، اگر میزان تأثیر ذخایر حامل‌های مصرفی گازی و نفت کوره را با توجه به روابط فوق بر GDP محاسبه کرده و عدد حاصل را از میزان زیان کل وارده از اختلالات عرضه این دو حامل کم کنیم، نتیجه نهایی میزان خالص زیان وارده بر GDP ناشی از اختلالات عرضه هریک از حامل‌های انرژی مورد استفاده در تولید برق از نیروگاه‌های فسیلی (CSI) در ایران را نشان می‌دهد. با توجه به اطلاعات ترازنامه انرژی، میزان ذخیره هریک از حامل‌های انرژی در سال ۱۳۹۰ به صورت جدول شماره (۱) آمده است.

جدول شماره (۱). میزان ذخیره هریک از حامل‌های انرژی در سال ۱۳۹۰

نفت کوره	گازوئیل	گاز طبیعی	هزار متر مکعب
۲۵۰۴۰۵۰	۳۱۲۹۶۵۲	-	
۱۵۰۲۵	۱۹۰۰۶	-	معادل میلیون بشکه نفت خام

منبع: ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۰.

در نهایت با توجه به معادله (۹)، با ضرب خالص زیان GDP (میلیارد ریال) در ضریب اختلالات عرضه هریک از سوخت‌های نیروگاهی و تقسیم آن بر میزان برق تولیدی نیروگاه‌های حرارتی در سال ۱۳۹۰ (که برابر ۲۱۳۸۸۳ گیگاوات ساعت)، میزان هزینه امنیت عرضه حامل‌ها به ازای هر کیلووات ساعت (kWh) محاسبه و در آخرین ستون جدول شماره (۲) آورده شده است.

جدول شماره (۲). هزینه‌های امنیت عرضه حامل‌های انرژی در تولید برق ایران

هزینه امنیت عرضه (kWh/ریال)	خالص زیان GDP (میلیارد ریال)	GDP حاصل از ذخیره (میلیارد ریال)	زیان‌های GDP (میلیارد ریال)	احتمال اختلالات عرضه (P)	حامل‌های انرژی
۲/۲۱۶	۲۰۶/۹۶۶	-	۲۰۶/۹۶۶	$2/291 \times 10^{-3}$	گاز طبیعی
۴/۵۲۵	۱۶۷/۸۵۵	۰/۳۳۶	۱۶۸/۱۹۱	$5/766 \times 10^{-3}$	نفت گاز
۲/۸۸۹	۱۰۷/۱۵۲	۲/۱۸۷	۱۰۹/۳۳۹	$5/766 \times 10^{-3}$	نفت کوره

منبع: محاسبات تحقیق

همان‌گونه که جدول شماره (۲) نشان می‌دهد، ستون آخر سمت چپ در واقع هزینه فرصت امنیت عرضه انرژی در ایران است. در تفسیر این هزینه باید گفت که

در صورت بروز اختلالات عرضه و توقف تحویل (بروز جنگ) حامل گاز طبیعی مصرفی در بخش تولید برق کشور به ازای هر کیلووات ساعت باید به میزان ۲/۲۱۶ ریال به قیمت برق (قیمت فروش برق به مشترکین) افزوده شود تا در صورت بروز چنین حوادثی، بتوان به طور آنی زیان ناشی از آن را جبران و نیاز مصرفی حامل‌های مورد استفاده در تولید برق را تأمین نمود؛ که یکی از این راهکارهای افزایش امنیت تولید برق در کشور، پرداخت این افزایش قیمت به منظور احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر است. این تفسیر در مورد امنیت تأمین تضمینی عرضه سایر حامل‌های مصرفی نیز صادق است. میزان هزینه امنیت عرضه دو حامل انرژی مصرفی دیگر یعنی گازوئیل و نفت کوره به ترتیب برابر ۴/۵۲۵ و ۲/۸۸۹ (ریال/kWh) محاسبه شده است. ذکر این نکته حائز اهمیت است که ارزش عددی این هزینه، **حداقل هزینه‌ای** است که بدون در نظر گرفتن زیان‌هایی دائمی ناشی از خدمات شبکه انتقال و توزیع برق تولیدی همانند هزینه‌های رفاه، تخریب سیستم‌های تولیدی، هزینه‌های بازسازی، هزینه‌های باربری برق و غیره، محاسبه شده است.

۲-۴. هزینه اقتصادی امنیت حامل‌های مختلف انرژی در تولید برق

جدول شماره (۳) هزینه اقتصادی امنیت انرژی (C_{Ei}) هر حامل انرژی و عوامل تأثیرگذار بر ارزش آن - نوسانات قیمتی منابع مختلف انرژی، شاخص هیرشمن - هرفیندال عرضه و تقاضا و سهم هزینه‌های قیمتی سوخت مورد استفاده هریک از حامل‌های انرژی در تولید برق در ایران را نشان می‌دهد.

جدول شماره (۳). هزینه اقتصادی امنیت انرژی (C_{Ei}) هر حامل انرژی در تولید برق

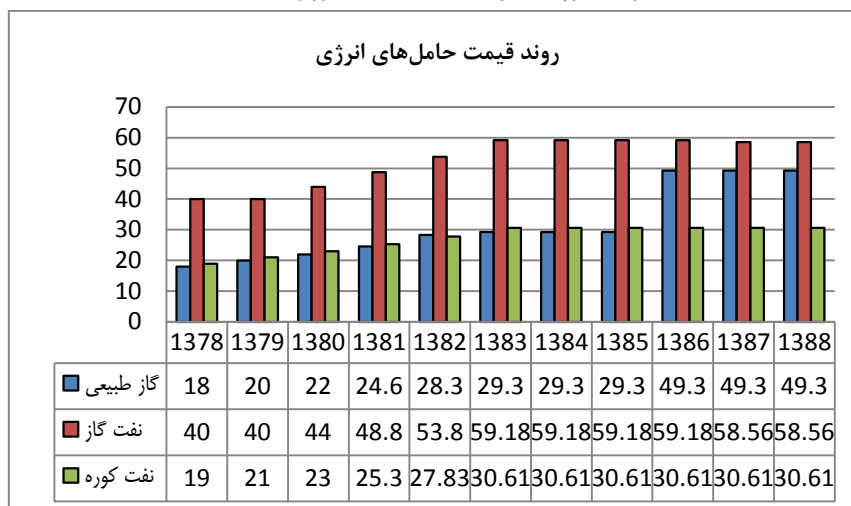
نوسانات قیمت (V_{Pi})	سهم از هزینه‌های سوخت ($Pi(Q)$)	شاخص نرمالایز شده هیرشمن (H)	هزینه اقتصادی امنیت (ریال/kWh)
۱۱/۹۴۷	۰/۷۹۸	۰/۵۶۹	۰/۳۳۵
۸/۰۷۱	۰/۰۸۶	۰/۰۴۶	۰/۰۰۰۲۴
۴/۴۴۰	۰/۱۱۷	۰/۰۲۱	۰/۰۰۰۱۶

منبع: محاسبات تحقیق

به منظور محاسبه نوسانات قیمت حامل‌های مختلف مصرفی در تولید برق کشور در ستون اول از جدول فوق از واریانس قیمت آنها طی مدت زمان ۱۱ سال، یعنی از سال ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۸ استفاده شده است. شکل شماره (۲) روند تغییرات قیمت

هریک از این سه حامل انرژی را طی سال‌های ۱۳۷۸-۱۳۸۸ نشان می‌دهد.

شکل شماره (۲). روند تغییرات قیمت سه حامل انرژی (۱۳۷۸-۱۳۸۸)



ستون سوم جدول شماره (۳) یعنی سهم هر یک از حامل‌های مصرفی از هزینه‌های سوخت نیروگاه‌ها نیز بدین‌گونه محاسبه شده که در ابتدا واحدها بر حسب بشکه نفت خام یکسان‌سازی شده (تبدیل مترمکعب به بشکه نفت خام) و سپس با تقسیم آن بر کل هزینه‌های سوخت مصرفی در سال ۱۳۹۰ محاسبه شده است. در مورد نحوه محاسبه ستون چهارم جدول شماره (۳) نیز باید گفت که در ابتدا از رابطه (۲) به منظور محاسبه شاخص هیرشمن استفاده شده و در نهایت با استفاده از رابطه (۱۱) این شاخص نرمالایز شده است که نتایج آن در جدول فوق آمده است.

با توجه به نتایج بیان‌شده در جدول شماره (۳)، بیشترین میزان هزینه اقتصادی امنیت حامل‌های مختلف سوخت در نیروگاه‌های حرارتی مربوط به گاز طبیعی به میزان ۰/۳۳۵ ریال بر کیلووات ساعت (kWh/ریال) و رتبه‌های بعدی به لحاظ میزان این هزینه مربوط به نفت کوره و نفت گاز به ترتیب با ۰/۰۰۱۶ و ۰/۰۰۰۲۴ (ریال/kWh) است. در مورد مفهوم امنیت اقتصادی باید اذعان داشت که با توجه به تغییر قیمت حامل‌های مصرفی در بخش نیروگاهی کشور طی ۱۱ سال اخیر در سطح داخلی و جهانی که موجب ایجاد ریسکی در تأمین آنها می‌شود، در نتیجه هزینه قدرت خرید مالی نیروگاه‌ها در خرید حامل‌های مصرفی در تولید برق به تغییرات قیمت آنها ارتباط داده شده که

باید از سوی مصرف‌کنندگان نهایی حامل برق اخذ شود. به‌عنوان مثال، هزینه اقتصادی امنیت گاز طبیعی با وجود تغییرات قیمت آن طی سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۸ (دامنه ریسک)، باید به‌ازای هر کیلووات ساعت حداقل ۰/۳۳۵ ریال به قیمت برق اضافه شود تا بتوان ریسک قیمتی این حامل را مدیریت و بیمه کرد.

مجدداً بیان این نکته حائز اهمیت است که میزان هزینه امنیت انرژی محاسبه‌شده در این مطالعه حداقل هزینه‌ای است که کشور به‌منظور اختلالات عرضه و نوسانات قیمتی حامل‌های انرژی مصرفی در نیروگاه‌های فسیلی باید پرداخت کند، جدول شماره (۴)، کل میزان هزینه امنیت انرژی که برابر با مجموع هزینه امنیت عرضه و هزینه اقتصادی می‌باشد را نشان می‌دهد:

جدول شماره (۴). هزینه کل امنیت انرژی حامل‌های مصرفی در تولید برق نیروگاه‌های فسیلی در کشور

نفت کوره	نفت گاز	گاز طبیعی	
۲/۸۸۹	۴/۵۲۵	۲/۲۱۶	هزینه امنیت عرضه (kWh/ریال)
۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۰۲۴	۰/۳۳۵	هزینه اقتصادی (kWh/ریال)
۲/۸۹۱	۴/۵۲۵	۲/۵۵۱	جمع هزینه امنیت انرژی (kWh/ریال)

منبع: محاسبات تحقیقی

همان‌گونه که جدول شماره (۴) نشان می‌دهد، بیشترین میزان هزینه امنیت حامل‌های انرژی مصرفی نیروگاه‌های حرارتی در تولید برق مربوط به نفت گاز به میزان ۴/۵۲۵ (kWh/ریال) است. دلیل این امر با توجه به نحوه محاسبه امنیت انرژی در این گزارش قابل توجیه است. با توجه به طول عمر کمتر منبع انرژی نفت نسبت به گاز طبیعی، انتظار می‌رود که اختلالات عرضه این منبع و فراورده‌های آن بیشتر و هزینه بیشتری بابت تأمین امنیت عرضه آن (هزینه فرصت) پرداخت شود. همین تفاسیر در مورد دیگر فراورده نفتی مورد استفاده در نیروگاه، یعنی نفت کوره نیز صادق است و همان‌گونه که ملاحظه شد، میزان هزینه کل امنیت انرژی این حامل در تولید برق کشور برابر ۲/۸۹۱ (kWh/ریال) محاسبه شده است. حامل انرژی گاز طبیعی به علت وجود ذخیره فراوان نسبت به تولید آن از طول عمر بیشتری به‌منظور بهره‌برداری با توجه به شرایط فعلی سیستم اقتصادی برخوردار بوده و میزان اختلالات عرضه آن در مقایسه با منبع انرژی نفت کمتر است، به‌واسطه همین عوامل، میزان هزینه امنیت انرژی این حامل کمتر از فراورده‌های مختلف نفتی

مصرفی در نیروگاه محاسبه شده است. میزان هزینه امنیت برای این حامل انرژی مصرفی در نیروگاه برابر ۲/۲۱۶ (kWh/ریال) برآورد شده است.

نتیجه گیری

امنیت انرژی به یک مسئله مهم سیاسی در حوزه‌های قضاوتی به دلیل آسیب‌پذیری بازارهای انرژی و چالش‌های تولیدی پیشروی عرضه‌کنندگان، تبدیل شده است. در نتیجه، سیاست‌گذاران و سیاستمداران به دنبال روش‌هایی هستند که بتوانند آنها را رتبه‌بندی و سپس شاخص امنیت انرژی را برای عرضه‌کنندگان منابع مختلف انرژی با استفاده از حوزه‌های قضاوتی‌شان، تعیین نمایند.

بسیاری از تکنیک‌های رتبه‌بندی از یک ماتریس تصمیم به‌منظور اعمال مجموعه‌ای از ملاک‌ها و متریک‌ها و وزن‌هایشان بهره می‌برند تا تعداد آلترناتیوها را رتبه‌بندی کنند. متریک‌ها به‌منظور رتبه‌بندی آلترناتیوها درون هر ملاک استفاده شده و سپس بردار رتبه‌بندی توسط جمع وزن و رتبه محصولات، ایجاد می‌شود. هر عنصر از بردار رتبه‌بندی، شاخص امنیت انرژی مرتبط با آلترناتیوها است.

متریک‌ها به‌منظور رتبه‌بندی آلترناتیوها می‌تواند کمی و یا کیفی باشد. معیارهای کیفی در اغلب موارد نیازمند استفاده از یک گروه پاسخ‌دهندگان آگاه به احتیاجات حوزه قضاوتی انرژی است. از پاسخ‌دهندگان انتظار می‌رود تا به اجماعی در رتبه‌بندی هر آلترناتیو و تعیین وزن معیارها دست یابند. در صورتی‌که این روش عملی شود، نتایج براساس تفکر و تخیل هر گروه حاصل شده و در صورتی‌که از گروه دوم پاسخ‌دهندگان خواسته شده تا آلترناتیوها را رتبه‌بندی نمایند، نتایج یکسان نخواهد بود.

مسائل مرتبط با معیارهای کیفی را می‌توان با معیارهایی که به اطلاعات کمی سروکار دارند، مرتبط ساخت. در صورتی‌که اطلاعات در دسترس باشد، نتایج حاصل قابل تجدید بوده و می‌تواند با نتایج حاصل از منابع اطلاعاتی مشابه در دیگر حوزه‌های قضاوتی مقایسه شود. انتخاب متریک‌ها باید برای کسانی که تنها با نتایج سروکار دارند، قابل توجیه و قابل فهم باشد.

امروزه، از روشی برای بررسی تأثیر تغییرات در شاخص امنیت انرژی بر

خدمات مختلف انرژی، استفاده می‌شود. همچنین نرم‌افزارهای درحال پیشرفتی در راستای بررسی دینامیک اثرات تغییر ملاک‌های وزنی، وجود دارند.

درنهایت، باید توجه داشت که روش شاخص‌سازی امنیت انرژی، همان‌گونه که در این مطالعه شرح داده شده، تنها یکی از ابزارهای مورد نیاز برای بهبود امنیت انرژی در حوزه قضاوتی است. شاخص امنیت انرژی باید برای تأثیر تصمیمات سیاسی انرژی، از جمله انتخاب انرژی و زیرساخت‌هایی برای تمامی خدمات انرژی، استفاده شود. همچنین برای تعیین وضعیت جدید امنیت انرژی در حوزه قضاوتی، به‌طور منظم باید بازنگری شود.

همان‌گونه که از تعریف امنیت انرژی نمایان است، امنیت انرژی به دو مقوله قیمت و کیفیت دسترسی و تأمین انرژی بستگی دارد. با بررسی شاخص‌های مهم در عرضه و تقاضای انرژی این نکته که تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان هر دو به امنیت انرژی نیازمندند و در تأمین آن نقش دارند به‌خوبی آشکار است، لذا تنها با رویکردهای و راهکارهای بین‌المللی می‌توان این مهم را برآورد.

• **بهبود امنیت انرژی از طریق رویکرد بین‌المللی ذخیره انرژی:** این رویکرد به سرمایه‌گذاری زیادی نیاز دارد ولی می‌توان با بررسی مشخصه‌های مؤثر در عرضه و تقاضای انرژی به مدلی برای پیش‌بینی میزان انحرافات و نابرابری‌های عرضه و تقاضا رسید و برای حل این معضل میزان اختلاف را در فواصل زمانی میان‌مدت و بلندمدت ذخیره نمود. این راهکار از سویی این اطمینان را برای تولیدکنندگان فراهم می‌آورد که همواره بازار امنی در اختیار دارند و از سوی دیگر مصرف‌کنندگان را نسبت به تأمین نیازهایشان مطمئن می‌سازد.

• **پرداخت قیمت بالاتر از قیمت تعادلی:** این امر در جهت تأمین انرژی و موظف نمودن تولیدکنندگان نسبت به هزینه این مابه‌التفاوت به‌منظور سرمایه‌گذاری در حوزه‌های تأمین انرژی زیر نظر آژانس بین‌المللی انرژی بسیار مفید خواهد بود.

• **تغییر الگوی مصرف انرژی:** به دلیل افزایش روزافزون مصرف نهاده‌های انرژی و به تبع آن نیاز به احداث واحدهای پالایشگاهی و نیروگاهی بیشتر از یک سو و استفاده نامساعد از منابع جنگل برای برآورد تقاضای انرژی در بخش روستایی از سوی دیگر، آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی، رودخانه‌ها و

سواحل، آلودگی هوا و تخریب جنگل را به دنبال داشته است؛ به طوری که مشکل آلودگی هوا هم‌اکنون در شهرهای بزرگ کشور از مسائل مهمی است که هزینه‌های مستقیم آن، خود مبالغ هنگفتی از بودجه کشور را به خود اختصاص داده است. لذا با توجه به موارد مذکور و فشار کنوانسیون‌های جهانی زیست‌محیطی نظیر کنوانسیون تغییر آب‌وهوا که بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تأکید دارد، به دلیل محدودیت منابع انرژی و حفظ آن برای نسل‌های آتی و نیز شدت بالای مصرف حامل‌های انرژی در کشور و رشد روزافزون آن و مشکلات زیست‌محیطی ناشی از آن، تغییر الگوی مصرف و کاهش مصرف انرژی در بخش‌های خانگی و افزایش آن در بخش صنعت، می‌تواند باعث استفاده بهینه انرژی برای توسعه اقتصادی و اجتماعی کشور شود.

• **افزایش بهره‌وری انرژی؛** یکی از راه‌های بهبود وضعیت انرژی، استفاده بهینه از این عنصر کمیاب است. همان‌گونه که جهان صنعتی در برخورد با کمبود منابع انرژی این روش را در پیش گرفته است؛ زیرا اگر مصرف انرژی براساس روال فعلی خود پیش رود، مطمئناً طی چند سال آینده کشور با کمبود انرژی مواجه خواهد شد. بنابراین چاره‌ای جز افزایش استفاده از انرژی حاصل از منابع کمیاب وجود ندارد و بایستی حتی‌المقدور به سوی افزایش بهره‌وری انرژی حرکت کرد. البته در کشور ما بیشتر از مشکل کمبود ذخایر، مشکل استخراج و بهره‌برداری از منابع وجود دارد، چون سقف تولید ما تقریباً مشخص است؛ درحالی‌که با افزایش جمعیت مصرف افزایش می‌یابد. بنابراین بایستی از انرژی موجود بهترین استفاده به عمل آید.

• **استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و نو؛** انرژی‌های تجدیدپذیر یک منبع انرژی تمام‌نشدنی، رایگان و قابل دسترس، دوست‌دار محیط‌زیست و قابل دسترس در اغلب نقاط است. به‌عنوان مثال خورشید به‌تنهایی هر روز ۲۰ برابر کل انرژی مصرفی جهان، به کره زمین انرژی می‌دهد، و از این همه انرژی فقط یک درصد آن به‌وسیله گیاهان جذب و استفاده می‌شود. در این میان وضع جغرافیایی و تابش ۲۳۶۰ تا ۳۳۳۰ ساعت آفتاب در طول سال، کشور ما را تبدیل به یکی از پرافتاب‌ترین کشورها نموده است. به طوری که خورشید در هر

سال ۲۵۰ روز به کشورمان انرژی می‌بخشد. این مقدار معادل ۴/۸ میلیارد بشکه نفت خام و در واقع برابر با ۶ میلیون بشکه نفت در روز است؛ یعنی معادل حداکثر توان تولید نفت که کشورمان تاکنون داشته است.

منابع

- APEREC. 2007. **A Quest for Energy Security in the 21st Century**, Institute of Energy Economics .Tokyo :Asia Pacific Energy Research Centre, 2007. www.ieej.or.jp/aperc. ISBN. 7-35-931482-4-978.
- Bazilian, Morgan; Roques, Fabien. 2008. **Analytical Methods for Energy Diversity & Security**, Oxford.
- BP. 2010. **BP Statistical Review of World Energy**, London: BP plc, 2010.
- Brown, Marilyn A. and Sovacool, Benjamin K. 2007. "Developing an Energy Sustainability Index to Evaluate Energy Policy", **Interdisciplinary Science Reviews**, Vol. 32, 4.
- Clingendale. 2004. "Study on Energy Supply Security and Geopolitics. The Hague", **the Netherlands: Clingendale International Energy Programme**.
- Constantini, Valeri. 2007. "Security of Energy Supply: Comparing Scenarios from a European Perspective", **Energy Policy**, Vol. 35, pp. 210-226.
- David Karlsson. 2010. **Is Energy in Sweden Secure? The Use of Quantitative Indicators for Analyzing Energy Security**, UPTec STS10 029 .Examensarbete 30 hp Juni 2010
- EIA. 2010. **World Crude Oil Prices (Dollars per Barrel) Period: Weekly. Energy Information Administration – Petroleum Navigator**, [Online] October 28, 2009. [Cited: October 31, 2009 [.http://tonto.eia.doe.gov/dnav/pet/pet_pri_wco_k_w.htm.
- EIUCM. 2010. **Country Risk Ratings. s.l Economist Intelligence Unit - Country Monitor**.
- Energy Information Administration. International energy outlook 2010, Washington, DC; 2010.
- Eunju Jun. Wonjoon Kim. Soon Heung Chang. 2009. **the Analysis of Security Cost for Different Energy Sources**, Applied Energy 1886-1894 (1901-

- 2009).
- Grubb, Michael, Butler, Lucy and Twomey, Paul. 2006. "Diversity and Security in UK Electricity Generation: The Influence of Low-carbon Objectives", **Energy Policy**, Vol. 34, pp. 4062-4050.
- Hughes, Larry and Ron, Dave. 2009a. **Energy Security in the Residential Sector: Rapid Responses to Heating Emergencies - Part 2: Nova Scotia**, Canadian Centre for Policy Alternatives. [Online] March 2009a.
- Hughes, Larry and Sheth, Nikita. 2009b. **A Graphical Technique for Explaining the Relationship between Energy Security and Greenhouse Gas Emissions**.
- Hughes, Larry. 2010. "Eastern Canadian Crude Oil Supply and its Implications for Regional Energy Security", **Energy Policy**, 2010, doi:10.1016/j.enpol.2010.01.015.
- Hughes, Larry. 2009. **Energy Security in the Residential Sector: Rapid Responses to Heating Emergencies -Part 1: Fundamentals**, Canadian Centre for Policy Alternatives. [Online] March 2009d.
- International Energy Agency. World energy outlook 2010, Paris: 2010.
- Jansen, Jaap C; Seebregts, Ad J. 2009. "Long-term Energy Services Security: What is it and how can it be Measured and valued?", **Energy Research Centre of the Netherlands**, The Netherlands, Energy Policy 38 (2010), pp.1654-1664
- Kruyt, Bert, et al. 2009. "Indicators for Energy Security", **Energy Policy**, June 2009, Vol. 37, pp.1281-2166.
- Mathiesen, Brian Vad. 2009. **Renewable Energy Systems in Project Future Climate - the Case of Denmark**, [Book auth.] Zvonimir Guzovic. Dubrovnik Conference on Sustainable Development of Energy, Water, and Environment Systems. Dubrovnik, Croatia: s.n., 2009.
- Mortished, Carl. 2004. "How Shell blew a Hole in a 100-Year Reputation", **Times on Line**: [Online] [January. 2004, 10 <http://business.timesonline.co.uk/tol/business/article991863.ece>].
- Sezgen Osman, Goldman CA, Karishnarao P. 2007. "Option Value of Electricity Demand Response", **Energy**, 32:108-19.
- Security in Gas and Electricity Markets, Final Report for the Department of Trade and Industry, 21 October 2003, London.
- Social, "Environmental and Security of Supply Policies in a Competitive Energy Market", **A Review of Delivery Mechanisms in the United Kingdom**,

- DEPARTMENT OF TRADE AND INDUSTRY UNITED KINGDOM ,May 2001.
- Statistics Canada. 2009e. Table 134-0001-Refinery Supply of Crude Oil and Equivalent (Monthly) cubic metres). CANSIM (database), Using E-STAT (distributor). [Online] June 2009, 15e. [Cited: October 25, 2009]. http://estat.statcan.gc.ca/cgi-win/cnsmcgi.exe?Lang=E&EST-Fi=EStat/English/CII_1-eng.htm.
- Valeria Costantini, Francesco Gracceva, Anil Markandya, Giorgio Vicinia. 2007. "Security of Energy Supply: Comparing Scenarios from a European Perspective", *Energy Policy*, 35:210-26.
- Warren-Boulton, Frederick R. 1990. "Implications of U.S. Experience with Horizontal Mergers and Takeovers for Canadian Competition Policy", *The Law and Economics of Competition Policy*.
- WEC. 2010. *Deciding the Future: Energy Policy Scenarios to 2050*, London: World Energy Council, 2007. ISBN: 0 946121 29 X.
- Zvonimir Guzovic b. 2009. *Dubrovnik Conference on Sustainable Development of Energy, Water, and Environment Systems*.