پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران
سال هشتم، شماره ۳۰، بهار۱۳۹۸ صفحات ۱۲۲-۹۳

تعیین یک شاخص ترکیبی برای اندازه‌گیری میزان امنیت عرضه برق در ایران

حشمت اله عسگری[۱]

عباس بهنود[۲]

تاریخ دریافت:۱۳۹۸/۰۷/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۱۱

چکیده:

با توجه به وابستگی صنایع و بنگاه‌های تولیدی و در کل اقتصاد یک کشور به عرضه مداوم انرژی و نیز از طرفی ارائه یک شاخص و سنجه کلی برای ارزیابی از مداومت و پایداری عرضه انرژی دارای اهمیت بالایی می‌باشد. بررسی امنیت عرضه انرژی برق با استفاده از انواع شاخص ها مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته که با توجه به انتخاب نوع شاخص و نیز نحوه ترکیب این شاخص‌ها دارای تفاسیر متنوع و متفاوتی میباشد همچنین یک ارزیابی از میزان پایداری و امنیت تأمین آن هشداری برای تصمیم‌گیران و سیاست گذاران در راستای تعدیل نوسانات به وجود آمده خواهد بود. در این تحقیق با استفاده از شاخص ترکیبی تلاش شده است تا اندازه امنیت عرضه انرژی برق در سطح کشور مورد ارزیابی و برآورد بگیرد. در این مطالعه با استفاده از شاخصهای؛ وابستگی به واردات انرژی، شدت مصرف انرژی، مصرف ناخالص سرانه درون مرزی، وابستگی اقتصاد ملی به انرژی برق، شاخص هرفیندال-هیرشمن و شاخص شانن وینر و نیز با استفاده از روش میانگین وزنی، شاخص ترکیبی امنیت عرضه انرژی برق اندازه‌گیری شده است. نتایج بدست آمده برای بازه زمانی ۱۳۸۰الی ۱۳۹۵ نشان می‌دهد که در مجموع امنیت عرضه برق در ایران در حد متوسط بوده ولیکن در طی ۱۶ سال با شیب ملایمی اندازه امنیت عرضه برق کاهش یافته است.

طبقه‌بندی JEL: C63, Q41, Q48

کلیدواژه‌ها: امنیت عرضه برق، میانگین وزنی، شاخص‌های اندازه‌گیری امنیت عرضه برق

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۱. دانشیار اقتصاد دانشگاه سمنان (نویسنده مسئول) hasgari@mail.ilam.ac.ir
۲. دانشجوی دکتری اقتصاد دانشگاه سمنان a_behnood@semnan.ac.ir

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر تأمین انرژی و به‌خصوص تأمین امنیت و پایداری آن به جزء لاینفکی در اقتصاد هرکشوری چه از نظر جذب سرمایه گذاری و چه از نظر تولیدکنندگان و بنگاه-داران تبدیل شده است. چرا که عرضه مداوم انرژی برای رشد و توسعه اقتصادی ضروری بوده و در این راستا تلاش‌هایی برای تعریف و مفهوم سازی از امنیت انرژی[1] انجام شده است (الحاجی۲۰۰۷). براساس مطالعات انجام شده در راستای ارائه مفاهیم مربوط به مباحث امنیت عرضه انرژی و نیز تعریف و ارائه شاخص‌های مربوط به آن، امنیت انرژی در چهار بعد مورد بحث قرار می گیرد که در بعد اول قابلیت موجود بودن و یا وجود داشتن[2] است که همان براساس امکانات فیزیکی و منابع موجود انرژی برق تولید گردد، دوم در دسترس بودن انرژی برق[3] که براساس تعاریف وقتی مکان تولید انرژی برق و محل مصرف آن یکی نباشد مباحث در دسترس بودن انرژی برق مطرح خواهد شد. سوم مقرون به صرفه بودن[4] برق یعنی انرژی تولید شده برق بایستی از نظر اقتصادی و براساس هزینه‌های تولید و در دسترس قرار دادن آن توجیه اقتصادی داشته باشد در غیر این صورت بایستی سراغ جانشین‌های آن انرژی رفت. چهار مربوط به مقبولیت و پایداری[5] در عرضه انرژی برق می‌باشد که به این مفهوم می‌باشد که انرژی تولید شده نبایستی هزینه‌های زیستی(و یا هزینه غیراقتصادی زیستی) چه برای تولیدکننده و چه برای مصرف کننده داشته باشد و از طرفی بایستی از حیث پایداری در عرضه انرژی همخوانی وجود داشته باشد(چوالیر[6]۲۰۰۶).امنیت انرژی از دید مصرف‌کنندگان (تقاضا کنندگان) یعنی انرژی در قیمت مناسب و در هر زمان بصورت مداوم و بدون وقفه قابل دسترس بودن و از دید عرضه کنندگان یعنی وجود تقاضای مکفی برای مقدار عرضه آنها(مزرعتی ۱۳۸۶). همچنین بر

---

1. Energy security
2. Availability
3. Accessiblity
4. Affordability
5. Acceptability& sustainability
6. Chevalier (2006)

اساس تعاریف و بررسی‌های انجام گرفته از ابعاد و شاخص‌های امنیت انرژی به این موضوع اشاره می‌کنند برای مقدار عرضه آنها(مزرعتی ۱۳۸۶). همچنین بر اساس تعاریف و بررسی‌های انجام گرفته از ابعاد و شاخص‌های امنیت انرژی به این موضوع اشاره می‌کنند

که تعریف امنیت انرژی وابسته به قراین محیطی و پویا بوده و با توجه به شرایط و اقتضائات و سیاست‌های مد نظر تعریف‌های متفاوتی می‌تواند داشته باشد. بر این اساس تفاوت‌های قابل توجهی در روش‌هایی که شاخص‌های امنیتی انرژی در آن شکل گرفته و ساخته‌می‌شوند وجود دارد که با این تفاسیر امنیت انرژی در تعاریف خود دارای مفهوم چند بعدی[۱] خواهد بود که اندازه‌گیری شاخصهای آن بسته به شرایط و اقتضائات محیطی متفاوت و پویا خواهد بود (آنگ، چونگ و انجی [۲] ۲۰۱۵).

در همین راستا کنعانی ممان(۱۳۹۷)، با رویکرد کمی‌سازی امنیت انرژی، شاخص وابستگی به واردات[۳] را که یکی از مهم‌ترین شاخص های امنیت انرژی است به عنوان ابزار اندازه‌گیری امنیت انرژی در مدل بهینه‌سازی عرضه انرژی وارد کرده است. همچنین کریمی و علیدوستی(۱۳۹۳)، با طراحی شاخص کمی و تجمیعی برای ارزیابی امنیت انرژی کشور طراحی کرده‌اند که ترکیبی از شاخص‌هایی مانند شدت مصرف انرژی[۴]، تنوع سبد انرژی‌های اولیه، تنوع سبد انرژی‌های نهایی، تنوع حاملهای انرژی در بخش حمل و نقل، سهم منابع داخلی در تامین انرژی های اولیه، رشد مصرف انرژی، سرانه مصرف انرژی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بوده است. در ادامه نیز در پژوهشهایی با بیان مفهوم امنیت انرژی در حوزه تبادلات انرژی دو شاخص مهم هرفیندال هریشمن[۵](HHI) و شاخص تنوع‌پذیری تجمعی [۶](CDI) که در زمینه بررسی امنیت انرژی در حوزه تبادلات انرژی پرکاربرد می‌باشند را معرفی می‌شود(امیرفخریان و همکاران ۱۳۹۵). اما استفاده و تعریف

---

۱. چند بعدی به این مفهوم است که می‌توان با استفاده از شاخص‌های متفاوت و نیز اهداف خاص به تعریف و بررسی امنیت انرژی پرداخت.

2. Ang, B. W., et al. (2015).

3 .Import dependency index

4. Energy intensity index.

5. Herifndah□Hirschman Index

6- Cumulative Diversification Index.

یک شاخص ترکیبی به یکی از اهداف در برخی مطالعات شده است. در مطالعات مربوط به داکپوگان و اسمیت[1] (۲۰۱۸) اقدام به اندازه‌گیری ریسک امنیتی برق و آن هم به صورت یک شاخص ترکیبی(کامپوزیتی) شده است. در این تحقیق با ارائه مجموعه‌ای از شش شاخص متفاوت (رجوع به پیشینه تحقیق) و با استفاده از روش میانگین هندسی شاخص ترکیبی امنیت برق را برآورد کرده است.

۲. مبانی نظری

با توجه به توضیحاتی که در مقدمه تحقیق داده شده می¬توان ادعا کرد یک تعریف منحصربه-فرد برای تعریف امنیت عرضه انرژی وجود ندارد. در همین راستا مطالعات و تحقیقاتی نیز ارائه شده است که اقدام به تعریف شاخصها و اندازه¬گیری و ارائه یک شاخص ترکیبی از امنیت عرضه انرژی گاز انجام گرفته است(دارکو، ارالدو و نیکولا ۲۰۱۸). با توجه به مطالعات انجام گرفته و شرایط حاکم در هر کشور توافق بر این نکته وجود دارد که تأمین انرژی و مخصوصاً تأمین انرژی برق نقش حیاتی در اقتصاد ملی داشته و ارزیابی از میزان پایداری و امنیت عرضه برق می¬تواند مقیاسی را برای تصمیم¬گیرندگان و سیاست گذاران صنعت برق در راستای تعدیل نوسانات به وجود آمده را به¬وجود آورد. همچنین انتخاب و کاربرد نوع شاخص¬های مد نظر با توجه به مطالعات پیشین در حوزه امنیت انرژی (و مخصوصاً انرژی برق) دارای تنوع و گستردگی خاص خود می¬باشد که براساس نوع سیاست و هدف مد نظر دارای خروجی¬های متفاوتی خواهد بود. همچنین شاخص¬های موجود که بعدی از امنیت عرضه انرژی را اندازه¬گیری می¬کنند کاربرد محدودی برای کشورها (مخصوصاً کشورهای در حال توسعه) دارد. در بحث و ارزیابی امنیت انرژی هایی از قبیل برق و نفت که دارای ساختار پیچیده مخصوص به خود میباشند، نیاز به طراحی استراتژیک از ماندگاری و مداومت انرژی خواهد بود. در تحقیقات انجام شده توسط پاولوویک، بانوواک و ویستیکا[2] (۲۰۱۸)

---

1 .Arnaud Dakpogan and Eon Smit.(2018).
2 .Darko Pavlovic,Eraldo Banovac & Nikola Vistica.(2018)

سعی شده تا یک شاخص ترکیبی(کامپوزیتی) با استفاده از شاخص‌هایی چون شاخص وابستگی به واردات انرژی، شدت انرژی، مصرف ناخالص داخلی، شاخص وابستگی ملی به گاز طبیعی، شاخص هرفیندل-هیرشمن و شاخص شانون وینر برای اندازه¬گیری امنیت عرضه گاز طبیعی ارائه دهند .

در این مقاله با نگاهی به تحقیقات پاولوویک، بانوواک و ویستیکا[1] (۲۰۱۸) و نیز امکان‌سنجی استفاده این شاخصها برای اندازه‌گیری میزان امنیت عرضه انرژی برق اقدام به محاسبه عددی از میزان امنیت عرضه برق در کشور ایران شده است. در این تحقیق براسال مدل موجود در پیشنیه تحقیق و نیز با استفاده از روش‌های موجود در مباحث ریاضیات اقدام به بی‌مقیاس کردن شاخص‌ها نموده و سپس با استفاده از روش‌های وزن‌دهی متداول، به عددی خاص (عدد شاخص ترکیبی) دست یافته شده است. براین اساس در این تحقیق سوال اصلی بر این امر استوار است که چگونه می‌توان به یک شاخص کلی از امنیت در حوزه عرضه انرژی برق دست یافت و نحوه تفسیر این شاخص به چه شکلی خواهد بود؟ در آخر هم این سوال مطرح می‌شود که آیا این شاخص بدست آمده در حوزه انرژی برق کشور در طی سالهای ۱۳۸۰ الی ۱۳۹۵ چه مسیری را طی کرده است، و روند این مسیر (براساس این شاخص بدست آمده) در حال افزایش بوده، کاهش یافته و یا اینکه نه، یک مسیر با ثباتی را طی نموده است؟

۳. پیشینه پژوهش

با توجه به بررسی‌های انجام گرفته در ارتباط با اندازه‌گیری امنیت عرضه انرژی برق و نیز تحقیقات سایرین می‌توان بر اهمیت موضوع مهر تأیید گذاشت. براین اساس تحقیقات انجام شده مرتبط با موضوع در سال‌های اخیر به صورت زیر می‌باشد بدر این بخش مطالعات انجام شده به دوبخش داخلی و خارجی تقسیم می‌شود که از جمله پژوهش‌های داخلی عبارتنداز:

1. Pavlovic, et al. (2018)

مزرعتی (۱۳۸۶) با بررسی امنیت عرضه و تقاضای انرژی نفت و گاز به این دست یافته که از دید مصرف کنندگان امنیت چیزی جز تضمین انرژی در قیمت مناسب و در هر زمان مورد نظر و بصورت مداوم و بدون وقفه قابل دسترس می‌باشد و از دید عرضه‌کنندگان یعنی تقاضای مکفی وجود داشته باشد. همچنین این مقاله نشان می‌دهد که امنیت انرژی یک مفهوم چند بعدی است. همچنین کریمی و علیدوستی(۱۳۹۳) یک شاخص کمی و تجمیعی برای ارزیابی امنیت انرژی کشور طراحی کرده‌اند که ترکیبی از شاخص‌های ساده ارزیابی امنیت انرژی است که هر یک از این شاخص‌های ساده بعدی از امنیت انرژی را مد نظر قرار می دهد و با استفاده از این شاخص وضعیت ایران با کشورهایی که از نظر اقتصادی مشابه ایران هستند مقایسه شده است. این مقایسه نشان می‌دهد ایران در میان کشورهای مشابه خود وضعیت امنیت انرژی مناسبی ندارد و سیستم عرضه انرژی آن آسیب پذیرتر از کشورهای هم‌رده خود است. انتظار المهدی(۱۳۹۳)، با هدف ارائه شاخص‌هایی درصدد تعیین جایگاه کشورهای عمده تولیدکننده جهان اسلام در زنجیره امنیت انرژی برآمده است . همچنین برای نیل به این هدف با توجه به مفهوم نظری امنیت انرژی با مفهوم توانایی اطمینان از دسترسی آسان، مطمئن، مقرون به صرفه و بدون خطر را در نظر گرفته است.

واهبی و همکاران(۱۳۹۴) به معرفی تعدادی از شاخص‌های امنیت انرژی در ایران پرداخته‌اند که نقش قابل توجهی در ارزیابی وضعیت کنونی امنیت انرژی ایران و تحلیل تاثیرات سیاست‌های جاری انرژی کشور دارند. متغییرهای ارائه شده در این پژوهش به سه دسته تقسیم بندی شده‌اند که عبارتنداز: متغیرهای دورن زا (مانند نرخ تولید نفت خام، نرخ اکتشاف نفت خام ،...)[1] متغیرهایی هستند که مقادیر عددی به خود می‌گیرند، و متغیرهای برون زا(مانند قیمت جهانی گاز طبیعی ، منابع کشف نشده گاز طبیعی ،.....)[2] متغیرهای خواهند بود که مقادیر و تغییراتشان خارج از مدل تعیین شده و متغییرهای مستثنی(مانند

---

۱. در این مقاله ۴۴ شاخص درون‌زا معرفی شده است که برای مطالعات بیشتر به مقاله ایشان رجوع گردد.

۲. در این مقاله ۱۶ شاخص برونزا معرفی شده است که برای مطالعات بیشتر به مقاله ایشان رجوع گردد.

تحریم های بین المللی) متغییرهایی که به دلیل نبود داده ها و ... از مدل حذف شده اند که براساس نوع تحقیقات می‌توانند در بررسی امنیت انرژی کشور تحت سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار گیرد. توفیق و همکاران(۱۳۹۴) نیز در مقاله خود ضمن بررسی تعاریف و شاخص‌های امنیت انرژی در کشورهای وارد کننده و صادرکننده انرژی به نحوه ارتباط و تعامل سیاستگذاری‌ها در این دوبخش پرداخته‌اند. همچنین به جایگاه توجه به تعامل این دو بعد از امنیت انرژی در سیاستگذاری و برنامه‌ریزی در حوزه تقویت امنیت صادرات ایران اشاره می‌کند.

امیرفخریان و همکاران (۱۳۹۵) در مقاله به بیان مفهوم امنیت انرژی در حوزه تبادلات انرژی پرداخته و سپس اذعان می‌دارند که امنیت انرژی امروزه یک موضوع مهم در تعیین سیاست‌ها و برنامه‌ریزی‌ها جهت عرضه و یا تامین انرژی برای هر کشور محسوب می شود و می تواند به ایجاد یک برنامه‌ریزی مناسب در حوزه تبادلات انرژی منجر شود. در این تحقیق دو شاخص مهم هرفیندال هریشمن[1](HHI) و شاخص تنوع‌پذیری تجمعی[2](CDI) که در زمینه بررسی امنیت انرژی در بخش جابجایی‌های انرژی استفاده می‌شوند را معرفی می‌کند. رسول نژاد و همکاران(۱۳۹۵) نیز اثرات شاخص امنیت انرژی در بخش گاز و همچنین مصرف و تجارت گاز بر روی رشد اقتصادی ایران را بررسی کرده‌اند. نتایج نشان‌دهنده این موضوع است که تاثیر متغییرهای نیروی شاغل، سرمایه گذاری، مبادلات تجاری صنعت گاز، مصرف گاز و شاخص امنیت انرژی در بخش گاز بر رشد اقتصادی موثر می‌باشد. صفاری و همکاران(۱۳۹۵) هم به بررسی تداوم عرضه انرژی، امکان دسترسی بلندمدت به منابع و کاهش آلایندگی‌ها از بعد محلی پرداخته‌اند. در این مقاله مدل برنامه‌ریزی آرمانی پیشنهادی براساس پیش‌بینی تقاضای مصرفی توان جایگزینی انرژی‌های نو هزینه‌های سرمایه‌ای و حداقل‌کردن انتشار آلاینده‌های ناشی از تولید سبد بهینه‌ای را برای تولید انرژی الکتریکی

1. Herifndah-Hirschman Index
2. Cumulative Diversification Index.

پیشنهادکرده‌اند. کنعانی ممان(۱۳۹۷) با رویکرد کمی‌سازی امنیت انرژی، شاخص وابستگی به واردات را به عنوان یکی از شاخص های امنیت انرژی است و ابزار اندازه‌گیری امنیت انرژی در مدل بهینه‌سازی عرضه انرژی واردکرده است. نتایج این مقاله نشان می‌دهد که در دوره‌ای که تهدیدات واردات انرژی وجود دارد ذخیره‌سازی انرژی روش کم‌هزینه و مطمئنی برای جبران خسارات ناشی از تهدیدات است.

همچنین در بخش مطالعات خارجی پژوهش‌هایی انجام گرفته که چند مورد اشاره می‌گردد. الحاجی[1](۲۰۰۷) در تحقیقات خود طی مقاله‌ای به تعریف و بسط امنیت انرژی کشورها اقدام نموده و به این نکته اشاره می‌کند که برای بسیاری از کشورها امنیت انرژی تبدیل به یک ستون مهم در میان اهداف سیاست ملی شده است چرا که عرضه مداوم انرژی برای رشد اقتصاد ضروری است. از این رو، تلاش‌های زیادی برای مفهوم سازی، تعریف و تعیین امنیت انرژی صورت گرفته که با این تفاسیر این نتیجه‌گیری می‌شود که ارائه یک تعریف جامع و واحد از امنیت انرژی غیرممکن بوده چرا که هر تعریف به مردم کشورها و شرایط حاکم آن، انواع تهدیدات امنیتی انرژی، پاسخ اجتماعی و اقتصادی کشورها و دوره زمانی و... بستگی دارد. کابالو[2] (۲۰۱۰) هم در مقاله خود به بررسی شاخص های امنیت عرضه گاز طبیعی در آسیا پرداخته که به یک منبع فزاینده و یک کالای جهانی تبدیل شده است. وقفه در گازرسانی ، قیمت بی ثبات گاز ، تنگناهای حمل و نقل و توزیع و افزایش اتکا به واردات در مسافت های طولانی تر ، باعث افزایش توجه به امنیت گاز در آسیا شده است. در این مقاله به بررسی آسیب پذیری نسبی در مورد اختلال در تأمین گاز طبیعی هفت کشور واردکننده گاز در آسیا پرداخته شده است. نتایج نشان می دهد که در مقدار شاخص کلی میزان آسیب پذیری گاز برای کشورها اختلافاتی وجود دارد. همچنین موراکامی و

1. Alhajji, A. F. (2007)
2. Cabalu, (2010).

همکاران[1](۲۰۱۱) در مقاله خود مفهوم امنیت انرژی را به هفت عنصر تقسیم کرده‌اند: (۱) میزان خودکفایی انرژی اولیه، (۲) میزان تنوع کشورهای وارد کننده منابع انرژی، (۳) میزان تنوع منابع انرژی، (۴) درجه مدیریت ریسک حمل و نقل، (۵) درجه مدیریت ریسک داخلی، (۶) درجه حفظ تقاضا و (۷)درجه مدیریت ریسک وقفه در تأمین کالا. تغییرات سیاست امنیتی‌انرژی و موقعیت‌های انرژی در هفت‌کشور اصلی[2]مورد بررسی قرارگرفته است.

در مطالعات دیگری که توسط آنگ،چونگ و انجی[3](۲۰۱۵) انجام شده تعاریف، ابعاد و شاخص‌های امنیت انرژی مورد بررسی قرار گرفته و در آن به این موضوع اشاره می‌کنند که تعریف امنیت انرژی وابسته به قراین محیطی و پویا بوده و با توجه به شرایط و اقتضائات و سیاست‌های مد نظر تعریف‌های متفاوتی می‌تواند داشته باشد. همچنین این مطالعه روشن می-کند که تفاوت‌های قابل توجهی در میان مطالعات در روش‌هایی که شاخص‌های امنیتی انرژی در آن شکل گرفته و ساخته می‌شوند وجود دارد. همچنین نارولا و ریدی[4](۲۰۱۶) در راستای اندازه‌گیری امنیت انرژی پایدار[5](SES) بوده و بر این نکته تأکید می‌کنند که شاخص‌های موجود که ادعای اندازه‌گیری امنیت انرژی را دارند کاربرد محدودی برای کشورهای در حال توسعه داشته است. همچنین پایداری انرژی نیز به طور فزاینده‌ای اهمیت می‌یابد و کشورها تمایل دارند تا آن را برای تنظیم سیاست‌های انرژی خود تنظیم کنند. در این مقاله چارچوبی تحلیلی برای ارزیابی SES یک سیستم انرژی و روشی برای ساختن شاخص SES ارائه می‌شود. در همین راستا سیستم ترتیبی پیشنهاد شده است که این سیستم ترتیبی انرژی به زیرسیستم‌هایی تقسیم می‌شود که به ترتیب عبارتنداز:۱- زیرسیستم عرضه ،

---

1. Tomoko et al. (2011).

۲. ایالات متحده، انگلستان، آلمان، فرانسه، چین، کره جنوبی و ژاپن

3. Ang, et al. (2015).
4. Kapil Narula B & Sudhakara Reddy.
5. Sustainable Energy Security.

۲- زیرسیستم تبدیل و توزیع و ۳- زیرسیستم تقاضا. حالهر زیر سیستم به بخش‌های دیگری تقسیم می شود که بر این اساس چهار بعد SES که عبارتنداز : در دسترس بودن ، قابلیت دسترسی ، کارآیی و قابل قبول بودن[1] می‌باشند که با استفاده از معیارهای کمی ارزیابی می شوند. همچنین برای به دست آوردن شاخص کلی SES برای یک کشور، شاخص های انرژی را با استفاده از امتیازات ساخته شده و وزنها جمع می‌کنند. در پایان نیز بر این تأکید می‌شود که شاخص SES پیشنهاد شده: دارای ابعاد متعدد ، کمی سازی شده، دارای اندازه و مقیاس، سیستمیک و انعطاف پذیر می‌باشد. کاسترو[2] (۲۰۱۷) به ارزیابی مشخصات ریسک برای تامین امنیت در بازار برق بریتانیا پرداخته که در این مقاله چارچوبی را برای ارزیابی مشخصات ریسک به منظور تامین امنیت از طریق یک سری معیارهای احتمالی ارائه می‌دهد که میزان مورد انتظار (قدرت و انرژی)، احتمال، فرکانس و مدت مواجه با کمبود عرضه را تعیین می‌کند. این ویژگی دقیق از مشخصات ریسک، خطرات را به طور کامل شناسایی، ارزیابی و اولویت بندی می کند تا تسهیل مدیریت ریسک موثر را ایجاد کند. پینو، رزنده و سووارز [3](۲۰۱۸) در مقاله خود با تهیه یک مدل نظریه بازی به این بحث کمک کرده‌اند تا در چارچوب آن، بتوان تجزیه و تحلیل کرد که چگونه گنجاندن منابع انرژی تجدیدپذیر بر نتایج تعادل بازار عمده فروشی برق تحت شرایط عدم اطمینان طرف تقاضا و طرف عرضه تأثیر می‌گذارد. یو،شی و اندروز[4] (۲۰۱۸) نیز پژوهشی با عنوان مفهوم‌سازی امنیت انرژی در اقتصادهای فقیر منابع: نقش ماهیت اقتصادی داشته‌اند. در این مقاله چگونگی مفهوم سازی امنیت انرژی در چهار کشور[5] بررسی شده که بر این اساس مشخص می‌کند که مفهوم سازی امنیت انرژی در چهار اقتصاد مذکور به یک منبع اصلی و معمولی باز می‌گردد و آن تأمین

---

1. Availability, Affordability, Efifciency and Acceptabilit .
2. Castro (2017)
3. Pinho, et al. (2018)
4. Yao et al. (2018)

۵. سنگاپور، کره جنوبی، ژاپن و تایوان

انرژی پایدار و قابل اعتماد است. این مقاله نشان می‌دهد که با وجود مفاهیم بیشمار امنیت انرژی در ادبیات، اقتصادهای فقیر از نظر منابع هنوز به منابع اصلی و معمول تأمین انرژی عادت دارند. این یافته‌ها حاکی از آن است که امنیت عرضه انرژی ارزیابی مهمی برای کشورهای فقیر از نظر منابع میباشد.

در تحقیقات انجام شده توسط پاولوویک، بانوواک و ویستیکا (۲۰۱۸) سعی بر این شده تا شاخص ترکیبی(کامپوزیتی) قوی با هدف اندازه گیری امنیت عرضه گاز طبیعی را ارائه شود. شاخص کامپوزیتی تعریف شده شامل زیر شاخص‌هایی برای تامین امنیت گاز طبیعی می‌باشد که عبارتنداز شاخص وابستگی به واردات انرژی[۱]، شدت انرژی[۲]، مصرف ناخالص داخلی[۳]، شاخص وابستگی ملی به گاز طبیعی[۴]، شاخص هرفیندل-هیرشمن[۵] و شاخص شانون وینر[۶]. بر این اساس حاصل جمع شده شامل ارزش‌های نرمال شده از شاخص‌های فوق و عوامل وزن آنها می‌باشد. مقدار بالاتری از شاخص نشان دهنده سطح پایین‌تر امنیت عرضه گاز طبیعی و بالعکس تعریف می‌شود، که در این تحقیق براساس این روش کار خواهد شد. همچنین در مطالعات مربوط به داکپوگان و اسمیت[۷] (۲۰۱۸) اختصاصاً سعی در ارائه و اندازه‌گیری ریسک امنیتی برق و آن هم به صورت یک شاخص ترکیبی (کامپوزیتی) کرده-اند. در این بررسی‌ها با استفاده از مجموعه‌ای از هشت شاخص متفاوت که عبارتنداز: شاخص حکومتداری[۸]، نرخ بهره وری[۹]، نرخ خودکفایی[۱۰]، نسبت دسترسی شهری به نرخ شهری[۱۱]، نرخ دسترسی[۱]، تولید ناخالص داخلی سرانه[۲] به عنوان درصد متوسط تولید ناخالص

1. Energy Import Dependency Index.
2. Energy Intensity.
3. Gross domestic consumption.
4. Index of National Economy Dependence on Natural Gas
5. Herfindel-Hirschman Index.
6. Shannon-Wiener Index.
7. Dakpogan and Smit (2018)
8. Governance indicator.
9. Productivity rate.
10. Self-sufficiency rate.
11. growth of the urbanization rate.

سرانه در سرتاسر جهان، سهم تولید ناخالص داخلی اختصاص نیافته به هزینه‌های برق[3]، سهم برق تجدیدپذیر به کل عرضه برق[4].

۳. روش‌شناسی پژوهش

در این تحقیق با استفاده از مقالات اشاره شده و نیز و با توجه به شاخص‌های مد نظر در صنعت برق براساس اهداف استراتژیک تعریف شده در صنعت برق و نیز با توجه به شرایط حاکم بر آن، ۶ شاخص به عنوان شاخص‌های مد نظر برای اندازه‌گیری ریسک امنیتی عرضه برق در ایران در نظر گرفته شده است که به ترتیب هرکدام را توضیح داده می‌شود. این تحقیق با استفاده از مطالعات انجام شده توسط پاولوویک، بانوواک و ویستیکا (۲۰۱۸) که سعی شده شاخص ترکیبی(کامپوزیتی) قوی برای اندازه گیری امنیت عرضه گاز طبیعی ارائه دهند اقدام به اندازه¬گیری امنیت عرضه انرژی برق شده است. براساس مطالعات انجام شده شاخص کامپوزیتی تعریف شده شامل زیر شاخص¬هایی برای تامین امنیت گاز طبیعی می‌باشد که عبارتند از شاخص وابستگی به واردات انرژی، شدت انرژی، مصرف ناخالص داخلی، شاخص وابستگی ملی به گاز طبیعی، شاخص هرفیندل-هیرشمن و شاخص شانون وینر. همچنین شاخص ترکیبی شامل ارزش های نرمال شده از شاخص‌های فوق و عوامل وزن آنها خواهد بود. بر این اساس مقدار بالاتری از شاخص قیمت نشان دهنده سطح پایین تر امنیت عرضه گاز طبیعی و بالعکس تعریف می¬شود. براین اساس و براساس انچه از مطالعات پیشین بدست آمده اقدام به تعریف و تعیین شاخص¬های مد نظر جهت ارزیابی و اندازه‌گیری شاخص ترکیبی امنیت انرژی برق شده است که به صورت زیر توضیح داده می¬شود.

---

1. Access rate.
2. Gross domestic product per capita.
3. The share of GDP not devoted to electricity costs.
4 .The share of renewable electricity to the total electricity supply.

۴-۱. شاخص وابستگی به واردات انرژی[1] (EIDI) :

با توجه به اینکه در این تحقیق اقدام به محاسبه امنیت انرژی برق در بخش عرضه برق شده است و نیز باتوجه به اینکه واردات برق از کشور دیگری انجام می‌شود و ممکن است عرضه برق را با چالشهایی مواجه نماید. بر این اساس شاخص مذکور نشان خواهد داد که چه میزان از کل برق عرضه شده یک کشور را واردات تشکیل می‌دهد و تا چه میزان به واردات نیازمند و وابسته است تا بر اساس آن نیازهای انرژی برق خود را تأمین نماید. براین اساس میتوان از نسبت کل واردات برق به کل برق مصرفی به عنوان یکی از شاخصها مد نظر برای بخش عرضه برق استفاده کرد. با توجه به داده‌های موجود در بخش صنعت برق و نیز وجود زیر ساخت‌های مربوط به صنایع تبدیلی در ایران می‌توان به صراحت گفت که وابستگی ایران به واردات برق نسبت به سایر کشورهای جهان بسیار پایین می‌باشد. باز با این تفاسیر چون واردات برق بخشی از عرضه برق برق کشور را تأمین می‌کند که بایستی در شاص ترکیبی مد نظر مورد استفاده قرار گیرد. بر این اساس نحوه اندازه‌گیری شاخص EIDI به صورت معادله زیر خواهد بود:

$$EIDI = \frac{TNI}{\text{TEC}} \qquad (۱)$$

که TNI کل واردات انرژی برق[2] و TEC کل مصرف انرژی برق[3] را نشان میدهد. مقدار عددی بالا برای شاخص EIDI نشان دهنده این است که کشور دچار وابستگی زیادی به واردات برق دارد. همچنین با توجه به یکسان بودن جنس اعداد صورت و مخرج کسر مشکلی برای واحد سنجش این شاخص وجود نداشته و نیز میتوان گفت که این شاخص را می‌توان برای هر نوع انرژی (روغن، ذغال سنگ، گاز طبیعی، برق) محاسبه کرد.

۴-۲- شاخص شدت مصرف انرژی[4] (EI):

---

1. Energy Import Dependency Index.
2. Total net imports of energy.
3. Total energy consumption.
4. Energy Intensity.

شاخص شدت مصرف انرژی به عنوان شاخصی از اندازه مصرف انرژی و توانایی یک اقتصاد ملی در مصرف انرژی برای تولید کالا و خدمات می‌باشد که هرقدر این شدت مصرف انرژی بالا باشد نشان دهنده این خواهد بود که اقتصاد آن کشور از مصرف بهینه انرژی دورتر می‌باشد. حال این دور شدن از مصرف بهینه انرژی یعنی به چالش کشیده شدن اقتصاد کشور در بعد مصرف و عرضه انرژی، که هر قدر شدت مصرف انرژی بالا باشد بایستی انرژی برق بیشتری را آماده عرضه نمود. حال براساس تعاریف، شدت مصرف انرژی (EI) عبارت است از نسبت کل مصرف انرژی (کل انرژی اولیه تامین شده)[1] (TICE) بر تولید ناخالص داخلی[2](GDP) است. براین اساس شاخص (EI) به صورت زیر تعرف خواهد شد:

$$EI = \frac{TICE}{\text{GDP}} \qquad (۲)$$

جایی که TICE کل مصرف داخلی از انرژی برق بوده و GDP هم تولید ناخالص داخلی خواهد بود. به طور کلی معادله(۲) نشان می‌دهد که یک کشور باید به مقدار کمتری از کل مصرف انرژی که به شدت انرژی کم منجر می‌شود، تمایل داشته باشد. بنابراین، شدت مصرف انرژی می‌تواند به عنوان میزان انرژی مصرف شده برای تحقق ارزش محصول به اندازه ۱ میلیون ریال عنوان گردد. در اینجا برای محاسبه شدت مصرف انرژی برق از میزان برق مصرفی برحسب میلیون کیلووات ساعت و از تولید ناخالص داخلی برحسب میلیون ریال برای آن استفاده شده است.

۴-۳. مصرف ناخالص سرانه درون مرزی[3] (GIC) :

همچنین یکی از چالش‌هایی که برای عرضه انرژی برق مطرح است مصرف سرانه افراد یک کشور از انرژی برق مد نظر است. با توجه به این که اگر میزان مصرف سرانه برق یک

1. Total inland consumption of energy.
2. Gross Domestic Product
3. Gross Inland Consumption.

کشور بالا باشد به عنوان چالشی برای عرضه پایدار و ایمن انرژی محسوب شده و این بحث را می‌طلبد که اگر خواهان امنیت پایدار عرضه انرژی برق هستیم بایستی مصرف سرانه برق را بایستی کاهش داد. بر این اساس شاخص مد نظر به عنوان نشان دهنده‌کارایی انرژی خواهد بود که به صورت نسبت زیر تعریف میگردد:

$$GIC = \frac{TPES}{\mathrm{P}} \qquad (۳)$$

جایی که TPES مجموع کل انرژی اولیه عرضه شده[1] وP نیز کل جمعیت[2] کشور را مشخص می‌کند. به طور کلی، اگر GIC افزایش یابد، کارایی انرژی یک کشور کاهش می‌یابد و برعکس. در محاسبه این شاخص نیز صورت کسر برحسب واحد میلیون کیلووات ساعت و مخرج نیز برحسب میلیون نفر محاسبه شده است.

۴-۴. شاخص وابستگی اقتصاد ملی به انرژی برق[3](INED) :

با توجه به اینکه در بحث واردات انرژی برق و حساسیت موجود در آن به واسطه اینکه این بخش از عرضه انرژی برق در بیرون از کشور و خارج از مرزها تولید و عرضه میگردد، باعث ایجاد حساسیت بالا در امر امنیت عرضه انرژی برق می‌شود. در همین راستا می‌توان از بعد دیگری نیز به اثرگذاری واردات برق برمیزان تولیدناخالص داخلی یک کشور مورد بررسی قرار داده و این سوال را مطرح کرد که چه میزان از نیاز انرژی برق تولیدات یک کشور را واردات انرژی برق تشکیل می‌دهد. براین اساس هر قدر این نسبت بالا باشد یعنی تولید ناخالص داخلی یک کشور در تولید خود دارای ریسک بالای امنیتی در بدست آوردن یکی از مواد اولیه تولیدات خود می‌باشدکه بسیار حائز اهمیت است.

---

1. Total primary energy supply.
2. Total population.
3. Index of National Economy Dependence on Natural Gas.

براین اساس نحوه محاسبه شاخص وابستگی اقتصاد ملی به انرژی برق (INED) به شرح زیر است:

$$INED = \frac{IME}{\text{GDP}} \qquad (۴)$$

که در آن IME کل واردات انرژی برق[1] در یک سال تقویمی و برحسب واحد میلیون کیلووات ساعت تولید ناخالص داخلی نیز برحسب میلیون ریال تعریف شده است. بر این اساس نسبت بالای این شاخص نشان دهنده وابستگی زیاد اقتصاد کشور به انرژی برق خواهد بود و برعکس.

۴-۵. شاخص هرفیندال-هیرشمن[2] (HHI):

شاخص هرفیندال-هیرشمن (HHI) اغلب برای اندازه‌گیری تمرکز بازار مورد استفاده قرار می‌گیرد، که براساس تعریف به صورت زیر خواهد بود:

$$HHI=10.000(S^2_1 +S^2_2 + S^2_3 + \ldots + S^2_n)=\sum^n_{i=1}(100s_i)^2 \qquad (۵)$$

جایی که s_i سهم بازار از عنصر i ام آن گروه است و n تعداد عناصر در گروه مشاهده شده خواهد بود (برای مثال تعدادی از تامین کنندگان انرژی برق).براساس شاخص هرفیندال- هیرشمن اگر HHI =۱۰,۰۰۰ باشد در این صورت این شاخص نشان دهنده یک انحصارکامل در بازار است بوده و اگر این شاخص برابر با HHI =۰ شود، آن‌وقت می‌توان گفت که این بازار یک بازار با رقابت کامل است. براساس توضیحاتی که برای محاسبه این شاخص عنوان شده می‌توان گفت که چون به دنبال بررسی و اندازه‌گیری میزان امنیت عرضه انرژی برق می‌باشیم و از طرفی هر قدر بازار عرضع برق رقابتی‌تر باشد بازار دارای امنیت بالاتر و هر قدر از شرایط رقابتی فاصله گرفته می‌شود بازار دارای امنیت

1- Total import of electricity.

2- Herifndah-Hirschman Index.

پایین عرضه خواهد بود. چرا که در بازار رقابتی تعداد تولیدکنندگان برق زیاد بوده و خروج یک یا چند نیر.گاه تولید برق تأثیر چندانی در بحث عرضه برق نخواهد داشت. حال آنکه شرایط انحصاری شرایط عرضه برق را خطرناک‌تر کرده و شرایط پرریسکی را ترسیم می‌کند. براین اساس یکی از ابعاد بسیار مهم بخش عرضه انرژی برقف بررسی این است که بازار به سمت بازار انحصاری است یا بیشتر دارای فضای رقابتی می‌باشد.

۴-۶. شاخص شانن وینر[1] (SWI):

با استفاده از شاخص شانن- وینر می‌توان اندازه تنوع عرضه انرژی برق را تعیین کردکه براساس فرمول زیر خواهد بود:

$$SWI = -\sum^{n}_{i=1} P_i \ln(P_i) \qquad (۶)$$

براساس این شاخص P_i ارزش عنصر i -ام یک گروه بوده و n تعداد عناصر در گروه مشاهده می‌باشد. با توجه به ویژگی لگاریتم طبیعی، علامت منفی در معادله بالا ارزش مثبت این شاخص را تضمین می کند. با توجه به عرضه انرژی، مقدار عددی پایین این نشان دهنده وابستگی بالا به انرژی برق خواهد بود. بر این اساس اگر یک کشور به یک منبع واردات وابسته باشد، شاخص شانون-وینر برابر با صفر می‌شود. در توجیه استفاده از این شاخص نیز باید گفت که در بخش عرضه انرژی برق تولید به روش‌های گوناگون اتفاق می‌افتد از جمله تولید برق به وسیله گاز(یا همان حرارتی)، سیکل ترکیبی، برق آبی، اتمی، بادی و ... که در این بعد تولید و عرضه انرژی برق نیز هر قدر این تنوع و نسبت تولیدات بالا باشد، کشور دارای امنیت بالای عرضه انرژی برق خواهد بود. بر همین اساس هم شاخص محاسبه کننده این بعد از بازار نیز شاخص شانون وینر می‌باشد که مورد استفاده قرار گرفته است.

---

1. Index Shannon-Wiener.

۷-۴- شاخص ترکیب شده[1] (CI)

براساس مطالعات و تحقیقات انجام گرفته در راستای اندازه‌گیری مقدار امنیت عرضه برق، شاخص ترکیب شده‌ای از این شش شاخص به صورت معادله زیر تعریف شده است:

$$CI= \sum^{n}_{i=1} Z_i \ . \ W_i \qquad (۷)$$

براساس این معادله:

- n تعداد شاخص‌ها (شش شاخص محاسبه شده براساس تعاریف)
- Z_i مقدار نرمال شده شاخص i–ام
- W_i ضریب وزنی شاخصi–ام

وزن‌های داده شده برای شاخص‌های محاسبه شده در فرمول شاخص ترکیبی CI براساس روش‌محاسباتی کلاسیک و از روش حداقل مربعات معمولی بوده که براین اساس وزن‌های بدست آمده برای هریک از شاخص‌ها در جدول (۱) ذکر شده است. همچنین براساس نسبتهای محاسبه شده در جدول (۱) اقدام به نرمال سازی شاخصها و ضرایب بدست آمده شده است. همچنین به دلیل اینکه شاخص‌های مد نظر در این تحقیق دارای مقیاس و واحد محاسباتی مختلف هستند (میلیون ریال، میلیون‌کیلووات ساعت و . . .) و مقایسه و یا ترکیب شاخص ها در این شرایط دشوار و یا نشدنی است و چون در این مقاله به دنبال تعریف و اندازه‌گیری یک شاخص ترکیبی از چند شاخص مد نظر می‌باشد، به همین دلیل لازم است شاخص ها بی مقیاس شوند (همگی در یک فاصله قرار گیرند و جنبه مثبت پیدا کنند.). از همین رو روش های متفاوتی برای بی مقیاس کردن وجود دارد که از جمله می‌توان به: ۱- بی مقیاس کردن با استفاده از روش نورم ۲- بی مقیاس کردن خطی ۳- بی مقیاس کردن فازی و. . . اشاره کرد که در مباحث ریاضی و محاسبات مقیاسی کاربردهای فراوانی دارد. در این مقاله (به واسطه اهمیت بی مقیاس سازی شاخص‌ها جهت ترکیب) با استفاده از

---

1. the Composite index .

روش بی مقیاس سازی فازی اقدام به نرمال کردن شاخص‌ها شده است. باید دقت کرد که در این روش بدترین گزینه در هر شاخص مقدار صفر و بهترین گزینه مقدار یک در خروجی خود نشان خواهد داد. با توجه به اینکه شاخصهای مد نظر در این مقاله مثبت هستند، بنابراین معادله بی مقیاس کننده به صورت زیر تعریف خواهد شد:

$$Z_i = \frac{a_i - a_i^{Min}}{a_i^{Max} - a_i^{Min}} \qquad (۸)$$

به عبارتی a_i همان مقدار شاخص مد نظر در سال iام بوده و نیز مقدار حداکثری(a_i^{Max}) و حداقلی (a_i^{Min}) در این شاخص را پیدا کرده و در معادله جاگذاری می‌گردد. براین اساس با استفاده از روش فازی شاخص‌های بدست آمده بی‌مقیاس شده و به حالت نرمال تبدیل می‌شوند که می‌توان از شاخص‌ها برای اندازه‌گیری شاخص ترکیبی استفاده کرد.همچنین در این تحقیق دوره زمانی ۱۳۸۰-۱۳۹۵ برای محاسبات استفاده شده است که براساس دسترسی به این اطلاعات امکان افزایش بازه زمانی نبوده است.

در ادامه برای محاسبه کردن شاخص ترکیبی تعریف شده در معادله ۷ آگاهی از اهمیت نسبی شاخص ها و معیارهای تصمیم گیری، فرایند تصمیم گیری و اولویت بندی آنها را ساده می سازد. اهمیت نسبی شاخص ها، با مشخص کردن وزن نسبی آن ها بدست می آید. روش های مختلفی برای تعیین وزن شاخص ها وجود دارد از جمله می‌توان به روشهایی از جمله: ۱- روش آنتروپی ۲- روش مقایسه زوجی ۳- روش LINMAP و . . . اشاره کرد. در این مقاله نیز با استفاده از روش مقایسه زوجی اقدام[1] به تعیین اوزان

---

[1]. در این روش شاخص‌ها دو به دو با یکدیگر مقایسه شده و وزن نسبی آنها (نسبت به هدف اصلی در تصمیم گیری) مشخص می شود و سپس نتیجه مقایسات در یک ماتریس (ماتریس مقایسات زوجی) خلاصه می شود . (جهت اطلاعات بیشتر به مباحث ریاضی آن رجوع گردد.)

شاخص‌ها شده است که خروجی این برای هریک از شاخص به صورت جدول (۱) بدست آمده است.

جدول (۱): وزن شاخص‌ها

شاخص	وابستگی به واردات	شدت مصرف برق	مصرف نا خالص داخلی برق	شاخص میزان وابستگی اقتصاد به برق	شاخص هرفیندال- هیرشمن	شاخص شانون- وینر
وزن شاخص	W1	W2	W3	W4	W5	W6
	0/12	0/20	0/17	0/23	0/17	0/11

منبع : یافته‌های پژوهش

با توجه به محاسبات و وزن‌های داده شده برای هر یک از شاخص‌ها دامنه تغییرات شاخص ترکیبی تعریف شده بایستی در محدوده [۰، ۱] نوسان داشته باشد. حال با توجه به ویژگی ریاضی این شاخص، مقدار عددی بالاتر از شاخص ترکیبی CI نشان دهنده پایین بودن امنیت عرضه انرژی برق بوده که براین اساس هرقدر مقدار عددی شاخص CI به یک نزدیک شود به عنوان سطح پایین امنیت شناخته می‌شود و با نزدیک شدن به عدد صفر این سطح امنیت در عرضه انرژی برق بالا خواهد رفت.

۵. محاسبه و تجزیه و تحلیل

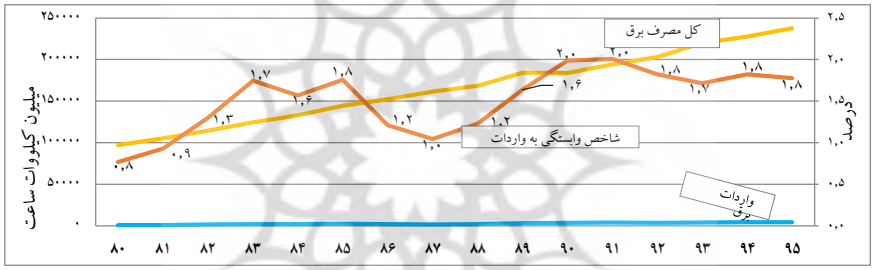
۵-۱- شاخص‌ها

در این بخش از تحقیقات بایستی توضیح داد که اطلاعات مد نظر برای محاسبات، از گزارشهای سالانه وزارت نیرو[۱] و نیز بخش دیگری از آن هم از اطلاعات موجود در بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران و نیز مرکز آمار ایران بدست آمده است. با توجه به محاسبات انجام گرفته برای وابستگی به واردات برق (EIDI) برای کشور ایران همانطور

---

[۱]. آمار و گزاراشات سالانه عملکرد صنعت برق ایران- شرکت مادر تخصصی توانیر(۱۳۸۰-۱۳۹۶)

که در نمودار (۱) نیز مشاهد می‌شود مقدار واردات برق به کشور در بازه زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ بسیار پایین بوده و یک روند صعودی بسیار ملایمی را از مقدار ۷۴۴ در سال ۱۳۸۰به مقدار ۴۲۲۱ (MKWH)[۱] در سال ۱۳۹۵ رسیده است. همچنین با توجه به روند صعودی میزان مصرف انرژی برق در کشور که مقدار ان از ۹۰۳۶۳ در سال ۱۳۸۰به مقدار ۲۳۷۵۶۰ (MKWH) در سال ۱۳۹۵ رسیده است. همچنین ارقام مربوط به شاخص وابستگی به واردات انرژی برق (EIDI) کشورکه در سمت راست نمودار مشاهده می‌شود درصد بسیار پایینی تا حداکثر ۲ درصد را نشان می‌دهد که رقم بسیار پایینی بود که حاکی از وابستگی بسیار پایین کشور به واردات برق میباشد، که براین اساس میتوان ادعا کرد که امنیت برق کشور از جهت واردات برق دارای امنیت قابل قبولی میباشد.



نمودار ۱. شاخص وابستگی به واردات

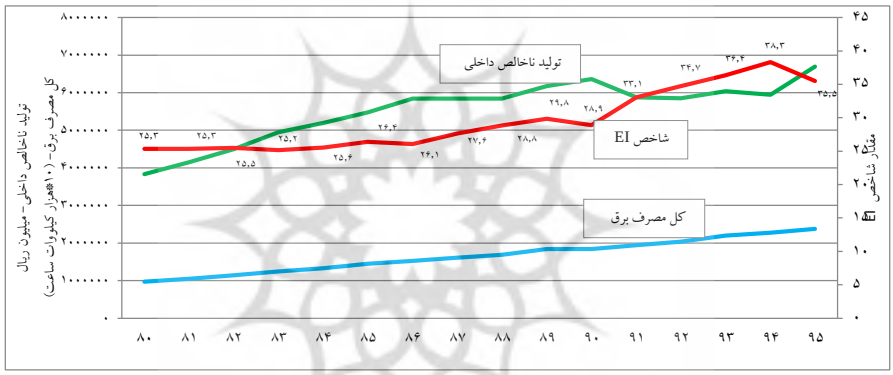
منبع: یافته‌های پژوهش

همچنین شاخص بعدی که شاخص شدت مصرف انرژی برق می‌باشد و از اهمیت بالایی نیز برخوردار است که با توجه به نمودار (۲) مشاهده می‌شود که با افزایش تولید ناخالص داخلی مقدار مصرف انرژی برق نیز به صورت کلی دارای افزایش بوده است. گرچه در سالهای ۹ و ۹۰ با دلیل هدفمندسازی یارانه‌ها و افزایش قیمت برق مصرفی این روند افزایشی به روند کاهشی تبدیل شده است ولی در سالهای بعد به دلیل عدم اجرای این

---

۱. به مفهوم میلیون کیلووات ساعت میباشد.

سیاست به دلیل تغییر سیاستهای اجرای هدفمند سازی یارانه ها و تکلیفی‌شدن نرخ فروش برق به مصرف کنندگان، قیمت های برق کاهش یافته که این سیاست باعث صعودی شدن مصرف برق شده است. همچنین باتوجه به نمودار(۲) مشاهد می‌شود که علیرغم افزایشی بودن تولید ناخالص داخلی(که براساس قیمتهای ثابت سال ۱۳۸۳ استفاده شده) که متعاقب آن مصرف برق نیز افزایش یافته ولیکن این افزایش داری روند تصاعدی بوده که در مقایسه با شاخص شدت مصرف سایر کشورها این شاخص در ایران دارای روند افزایشی است.



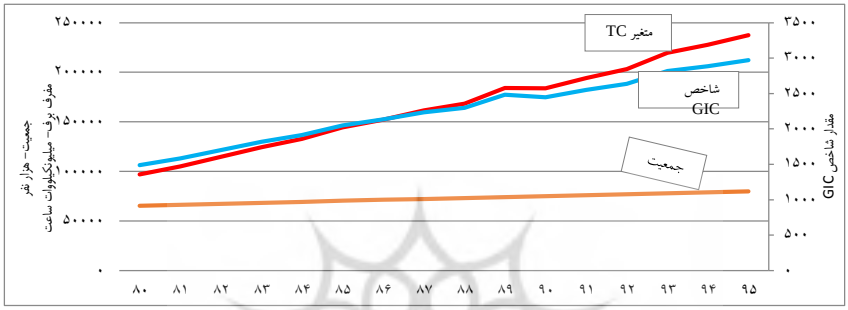
نمودار ۲. شاخص شدت مصرف انرژی

منبع: یافته‌های پژوهش

بر همین اساس بایستی گفت که مصرف انرژی برق در ایران بیشتر به سمت ناکارامدی سوق پیدا کرده است. براین اساس باید گفت که با افزایش این نسبت کشور دچار امنیت پایین در عرضه برق شده و بایستی سیاستهای جدی‌تری در این بخش باید انجام داد.

شاخص بعدی شاخص مصرف ناخالص سرانه درون مرزی (GIC) است که براساس نمودار (۳) مشاهده می‌شود که براساس ارقام موجود این شاخص از مقدار ۱۴۸۸ میلیون کیلووات ساعت به ازای هر هزار نفر در سال ۱۳۸۰ به مقدار ۲۹۷۲ میلیون کیلووات ساعت

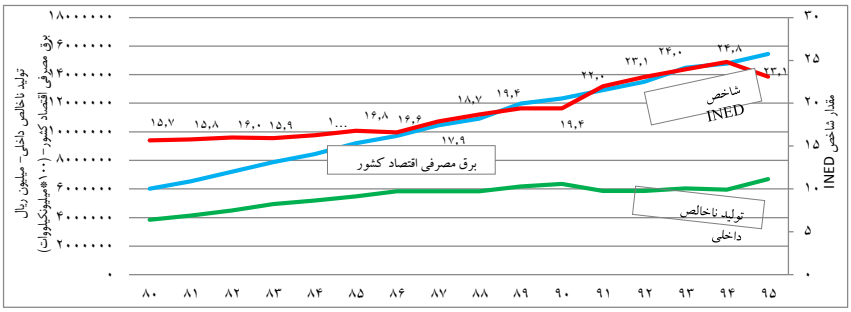
به ازای هر هزار نفر در سال ۱۳۹۵ رسیده است که براین اساس مشخص می‌شود که مقدار مصرف سرانه برق دارای روند صعودی بوده‌است. روند صعودی این شاخص به معنای افزایش کارایی انرژی برق می‌باشد که در بحث امنیت انرژی برق دارای اهمیت به سزایی می‌باشد. بنابراین افزایش کارایی انرژی برق باعث افزایش امنیت عرضه برق خواهد شد که با توجه به نمودار بالا این امر محقق شده است.



نمودار ۳. شاخص مصرف ناخالص سرانه درون مرزی (GIC)

منبع: یافته‌های پژوهش

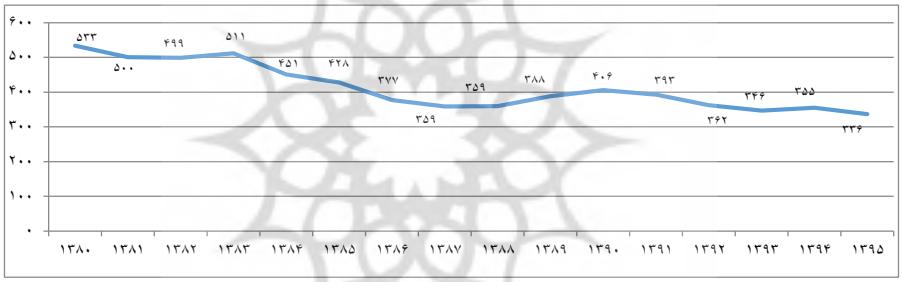
در نمودار (۴) که مربوط به شاخص وابستگی اقتصاد ملی به انرژی برق (INED) است نیز شاهد روند افزایشی این شاخص از سال ۱۳۸۰ لغایت ۱۳۹۵ می‌باشد. همچنین خروجی محاسبات این نشان می‌دهد که رقم این شاخص از ۱۵,۷ سال ۱۳۸۰ به رقم ۲۴ در سال ۱۳۹۵ رسیده است. براساس توضیحات داده شده در مورد این شاخص میتوان گفت که براساس روند صعودی این شاخص میزان وابستگی اقتصاد کشور به انرژی برق بالا است و افزایش آن بر امنیت عرضه برق تأثیر منفی می گذارد.



نمودار ۴. شاخص وابستگی اقتصاد ملی به انرژی برق (INED)

منبع: یافته‌های پژوهش

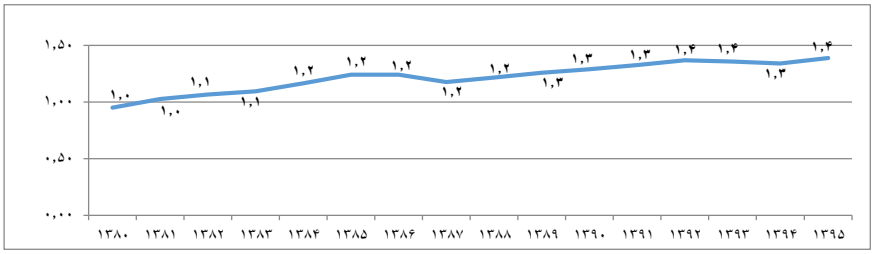
در شاخص هرفیندال-هیرشمن (HHI) که ۱۴۴واحد نیروگاهی و نیز واردات برق را شامل می‌شود همان طور که در نمودار (۵) مشاهده می‌شود در کل بازار عرضه انرژی برق دارای شرایط رقابتی بوده است. بر این اساس شاخص از رقم ۵۳۳ در سال ۱۳۸۰ به رقم ۳۳۶ در سال ۱۳۹۵ رسیده که با روند افزایشی برای رسیدن به شرایط رقابتی صعودی بوده است. همچنین این روند نشان از بهبود شرایط حاکم بر بازار برق بوده و میتوان گفت که سیاستهای سرمایه‌گذاری در حوزه تولید انرژی برق به درستی اجرا و عملیاتی شده است.



نمودار ۵. شاخص هرفیندال-هیرشمن

منبع: یافته‌های پژوهش

با توجه به نمودار (۶) شاخص شانن وینر (SWI) بر اساس تنوع تولید برق که شامل تولید برق توسط نیروگاههای بخاری، گازی، چرخه ترکیبی، برقآبی، اتمی و تجدید پذیر و نیز واردات برق را شامل می‌شود که براساس محاسبات انجام گرفته و خروجی نشان داده شده در این نمودار این شاخص دارای روند صعودی بوده که براساس تعاریف این شاخص نشان از امنیت بالای عرضه برق خواهد بود. بنابراین مشاهده می‌شود که رقم این شاخص از مقدار ۰,۹۵ در سال ۱۳۸۰ به رقم ۱,۳۹ در سال ۱۳۹۵رسیده است.



نمودار ۶. شاخص شانن وینر (SWI)

منبع: یافته‌های پژوهش

۵-۲. شاخص ترکیبی

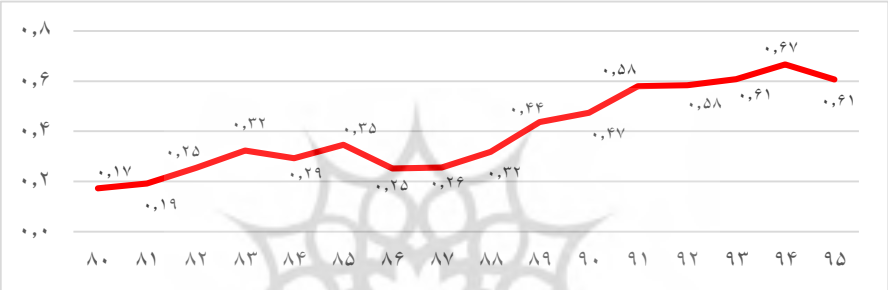
براساس محاسبات انجام شده نتایج بدست آمده در جدول (۲) و نمودار (۷) قابل مشاهده است.

جدول (۲): خروجی شاخص های نرمال شده و شاخص ترکیبی CI

سال /شاخص	Z۱(EIDI)	Z۲(EI)	Z۳(GIC)	Z۴(INED)	Z۵(HHI)	Z۶(SWI)	CI
۱۳۸۰	۰	۰.۰۱	۰	۰	۱	۰	۰.۱۷
۱۳۸۱	۰.۱۳	۰.۰۱	۰.۰۷	۰.۰۱	۰.۸۳	۰.۱۷	۰.۱۹
۱۳۸۲	۰.۴۳	۰.۰۲	۰.۱۴	۰.۰۲	۰.۸۲	۰.۲۶	۰.۲۵
۱۳۸۳	۰.۷۹	۰	۰.۲۲	۰.۰۱	۰.۸۹	۰.۳۳	۰.۳۲
۱۳۸۴	۰.۶۵	۰.۰۳	۰.۲۹	۰.۰۴	۰.۵۸	۰.۴۹	۰.۲۹
۱۳۸۵	۰.۸	۰.۰۹	۰.۳۸	۰.۰۷	۰.۴۶	۰.۶۶	۰.۳۵
۱۳۸۶	۰.۳۶	۰.۰۷	۰.۴۴	۰.۰۶	۰.۲۱	۰.۶۶	۰.۲۵
۱۳۸۷	۰.۲۲	۰.۱۹	۰.۵	۰.۱۳	۰.۱۱	۰.۵۱	۰.۲۶
۱۳۸۸	۰.۳۷	۰.۲۸	۰.۵۵	۰.۱۷	۰.۱۲	۰.۶	۰.۳۲
۱۳۸۹	۰.۷	۰.۳۵	۰.۶۷	۰.۲	۰.۲۶	۰.۷	۰.۴۴
۱۳۹۰	۰.۹۸	۰.۲۸	۰.۶۵	۰.۱۹	۰.۳۵	۰.۷۷	۰.۴۷
۱۳۹۱	۱	۰.۶	۰.۷۲	۰.۳۳	۰.۲۹	۰.۸۵	۰.۵۸
۱۳۹۲	۰.۸۵	۰.۷۳	۰.۷۷	۰.۳۴	۰.۱۳	۰.۹۵	۰.۵۸
۱۳۹۳	۰.۷۷	۰.۸۵	۰.۹	۰.۳۶	۰.۰۵	۰.۹۳	۰.۶۱
۱۳۹۴	۰.۸۵	۱	۰.۹۴	۰.۴	۰.۰۹	۰.۸۸	۰.۶۷

منبع: یافته‌های پژوهش

در جدول (۲) تمامی شاخص‌ها برای بازه زمانی ۱۳۸۰ الی ۱۳۹۵ محاسبه شده است. همچنین شاخص ترکیبی CI براساس معادله (۷) و با توجه به رقم‌های بدست آمده شش شاخص و نیز وزنهایی که در جدول (۱) برای شاخص‌ها در نظر گرفته شده‌اند محاسبه شده است. همانطور که در جدول (۱) و نیز در نمودار (۷) قابل مشاهده است، شاخص ترکیبی CI در سال ۱۳۸۰در بالاترین سطح امنیت عرضه انرژی برق بوده و عددی در حدود ۰,۱۷ را دارا است.



نمودار ۷. شاخص ترکیبی CI

منبع: یافته‌های پژوهش

همچنین به صورت تقریبی از سال ۱۳۸۰ به بعد اندازه امنیت انرژی برق دچار روند کاهشی شده و در سال ۱۳۹۴ به کمترین سطح امنیت یعنی در حدود ۰,۶۷ رسیده است. همچنین خروجی‌ها نشان می‌دهد که با وجود روند کاهشی در اندازه امنیت انرژی برق طی سال‌های ۱۳۸۰ الی ۱۳۹۵ این روند طی سالهای ۱۳۸۶ الی ۱۳۸۸ با افزایشی در حدود ۰,۱۰را تجربه کرده و پس از آن به روند کاهشی خود ادامه است. با توجه به نتایج موجود در جدول (۲) و نیز روند قابل مشاهده در نمودار (۷) می‌توان این نتیجه کلی را گرفت که در کل اندازه امنیت انرژی برق در ایران با کاهش محسوسی همراه شده چرا که طی سالهای مورد بررسی شاخص ترکیبی امنیت انرژی برق از عدد ۰,۱۷ به عدد ۰,۶۷ رسیده که به عبارتی این فاصله ۰,۵ (با توجه به این که کل بازه تغییرات از ۰ تا ۱ است) واحد میباشد که به جرات

می‌توان گفت که یک اتفاق بسیار بدی در حوزه برق و مخصوصا بخش در حوزه امنیت عرضه آن اتفاق افتاده است. همچنین با طور میانگین مقدار امنیت عرضه انرزی برق در ایران ۰,۴۰ می‌باشد که با یک مقایسه سر انگشتی از تجربه میزان بالای امنیت در سال ۱۳۸۰ با عدد ۰,۱۷ میتوان ادعا کرد که به طور متوسط اندازه امنیت عرضه برق به نصب کاهش یافته است. گرچه در پایان دوره مورد بررسی اندازه امنیت مورد نظر تا حدی افزایش یافته و در سال ۱۳۹۵ به عدد ۰,۶۱ رسیده ولی با توجه به روند قابل مشاهده میتوان گفت که این مقدار افزایش قابل اعتماد نبوده و احتمال کاهش آن می‌رود. بنابراین با توجه به شرایط موجود می‌توان کفت که سیاست‌مداران و تصمیم‌سازان صنعت برق بایستی مراقبت‌های لازم و اقدامات مقتضی در جهت افزایش و نه کاهش امنیت عرضه انرژی برق انجام دهند. بایستی دقت نمود که چون تقریبا تمامی اقتصاد کشور به برق وابستگی دارد بایستی در راستای افزایش امنیت عرضه آن نیز اقدامات اساسی انجام دهند. همچنین با توجه به شرایط خاص بین‌المللی ایران و نیز شرایط تحریمی کشور که توسط کشورهای اروپایی و امریکا صورت گرفته و اینکه تمامی بخش های کشور توسط کشورهای خارجی رصد شده و تمامی نقص های اقتصاد کشور ما مد نظر آنها قرار می‌گیرد بایستی گفت که برای کشور ایران شاید این اندازه از امنیت عرضه انرژی برق بسیار بسیار خطرناک بوده و به عبارتی می‌توان گفت که در وضعیت هشدار قرار داریم که ممکن است مشکل آفرین باشد . با این تفاسیر می‌توان این هشدار را به سیاست مداران و تصمیم‌گیران صنعت برق کشور داد که وضعیت امنیت برق کشور به سمت خیلی بدی در حال حرکت می‌باشد که بایستی در جهت رفع مشکل و مرتفع سازی آن فکر اساسی کرد.

۶. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از شاخص‌های موجود در بخش انرژی برق اقدام به ارائه یک شاخص ترکیبی در بخش امنیت عرضه برق شده که این محاسبات با توجه به شاخص‌های

موجود و ارائه شده در بخش پیشنیه تحقیق و نیز تعاریف و مفاهیم مربوطه در بخش انرژی برق می‌باشد. براین اساس با توجه به محاسبات انجام گرفته و نتایج بدست آمده از این تحقیق برای میزان امنیت عرضه برق کشور، می‌توان یک نتیجه کلیرا به این صورت عنوان کردکه به صورت متوسط ضریب امنیت عرضه انرژی برق کشور در حدود ۰,۴۰ بوده که این عدد نشان‌دهنده امنیت پایین‌تر از حد متوسط شاخص ترکیبی بدست آمده است. همچنین بایستی این نکته را اعلام نمود که طی روند ۱۶ ساله به صورت کلی اندازه امنیت عرضه برق کشور در حال کاهش بوده است. براین اساس در این تحقیق کار مهمی که ارائه شد این است که با استفاده از چندین شاخص با واحدها و مقیاس‌های متفاوت را باهم ترکیب نموده و فقط یک شاخص را با عنوان خروجی ارائه نماید که این نحوه ارائه از شاخص‌ها در سرعت تصمیم‌گیری و تصمیم‌سازی، صرف انرژی و زمان و یا سردرگمی را از بین ببرد. براین اساس یک متخصص بخش انرژی برق و یا مخاطب عام به راحتی توان تفسیر از افزایش و یا کاهش امنیت انرژی برق را دارا بوده، که به صراحت می‌توان این بخش از تحقیق را به عنوان روشی برای ترکیب شاخص‌های مالی، فنی، سیاسی و... در کنار هم دیده و خروجی مد نظر برای ارائه برای یک مطالعه را داشته باشد. با توجه به این توضیحات سیاست مداران و تصمیم سازان صنعت برق به جای رویت چندین شاخص ناهمگن در کنار هم (که توانایی تفسیر و نتیجه‌گیری از خیل عظیمی از چندین شاخص) را ندارد به راحتی توان درک عمق مسئله از امنیت انرژی برق و حتی ردیابی علت کاهش و یا افزایش مقدار امنیت انرژی برق را خواهند داشت که متعاقب آن نیز تصمیم‌گیران حوزه انرژی برق توانایی تصمیم‌گیری و در نتیجه توانایی ارائه اقدامات اصلاحی مد نظر را خواهند داشت.

۷. منابع:

الف)فارسی

امیرفخریان، عباسعلی، رنجبر، مونا و برهمندپور، همایون (۱۳۹۵)، اندازه‌گیری

شاخص‌های امنیت انرژی در حوزه تبادلات گاز: مطالعه موردی کشور ترکیه، یازدهمین همایش بین‌المللی انرژی، تهران، ایران.

انتظارالمهدی، مصطفی(۱۳۹۳)، اندازه‌گیری شاخص های امنیت انرژی:بهره‌وری داشتن؛ با تاکید بر کشورهای عمده تولیدکننده جهان اسلام، *فصلنامه مطالعات سیاسی جهان اسلام*، سال سوم، شماره ۱۰، صص ۵۱-۳۱.

آمار تفصیلی صنعت برق ایران – ویژه مدیران – سال ۱۳۹۵

آمار تفصیلی صنعت برق ایران- توزیع نیروی برق- سال ۱۳۹۵

آمار تفصیلی صنعت برق ایران- تولید نیروی برق- سال ۱۳۹۵

توفیق، علی اصغر، معظمی، منصور و عابدیان، مریم(۱۳۹۴)، راهبردهای سیاستگذاری در حوزه امنیت صادرات انرژی در ایران، *فصلنامه علمی-پژوهشی سیاستگذاری عمومی*، دوره ۱، شماره۴، صص ۸۰-۶۱.

درگاه ملی آمار- حساب‌های ملی و منطقه‌ای- حساب‌های منطقه‌ای ۱۳۹۰-۱۳۹۴ و ۱۳۷۹-۱۳۹۳

رسول نژاد، علیرضا، دهقانی، علی و غیاثی، مجتبی(۱۳۹۵)، اثر شاخص امنیت انرژی بر رشد اقتصادی ایران؛مطالعه موردی صنعت گاز، ماهنامه نفت ،گاز و انرژی، شماره ۳۶، ص ۷-۱.

روند ده ساله صنعت برق ایران – برق منطقه‌ای، توزیع و استانی –سال ۱۳۹۴

صفاری، بابک، نصراصفهانی، رضا و منصوری، نسیم(۱۳۹۵)، برنامه ریزی عرضه بهینه انرژی پایدار با استفاده از مدل برنامه ریزی آرمانی (مطالعه موردی : شهرستان اصفهان)، *تحقیقات اقتصادی*، دوره ۵۱، شماره ۲، صص ۴۳۵-۴۱۳.

کریمی، محمدصادق و علیدوستی، علی(۱۳۹۳)، ارزیابی آسیب پذیری انرژی در ایران با استفاده از شاخص ترکیبی کمی آسیب پذیری انرژی، *فصلنامه پژوهش‌های حفاظتی – امنیتی دانشگاه جامع امام حسین(ع)*، سال سوم، شماره ۱، صص ۱۴۶-۱۱۵.

کنعانی ممان، یاسر(۱۳۹۷)، چارچوب تاثیر مولفه های امنیت انرژی بر مدل های عرضه بهینه انرژی با تکیه بر روش تلفیقی سناریو و مدل های تصادفی، *فصلنامه مطالعات راهبردی سیاستگذاری عمومی*، دوره ۸، شماره ۲۷، صص ۶۶-۴۹.

مزرعتی، محمد(۱۳۸۶)، امنیت انرژی، دو روی یک سکه: امنیت عرضه و امنیت تقاضای انرژی، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، سال چهارم، شماره ۱۳، صص ۸۷-۷۱.

واهبی، مسعود، توسلی حجتی، زهرا و قادری، سید فرید(۱۳۹۴)، معرفی برخی از شاخص های امنیت انرژی در ایران، کنفرانس بین المللی مدیریت، اقتصاد و مهندسی صنایع، تهران، ایران.

ب)انگلیسی

Pinho, J., Resende J. and Soares, I. (2018), Capacity investment in electricity markets under supply and demand uncertainty, *Energy*, Vol. 150, pp. 1006-1017.

Castro, M. (2017), assessing the risk profile to security of supply in the electricity market of Great Britain. *Energy Policy*, Vol. 111, pp. 148-156.

Yao, L, Shi, X. and Andrews-Speed, Ph. (2018), Conceptualization of energy security in resource-poor economies: The role of the nature of economy. *Energy Policy*, Vol.114, pp. 394-402.

Tomoko, M., Mitsuru, M. and Ichiro, K. (2011), an analysis of Countries Energy Security Policies and Conditions, *IEEJ*, pp.1-36.

Cabalu, H. (2010), Indicators of security of natural gas supply in Asia, *Energy Policy*, Vol. 38, Issue 1, pp. 218-225

Alhajji, A. F. (2007). What is energy security? Definitions and concepts. Middle East Economic Survey, p. 455.

Ang, B. W., Choong, W. L., & Ng, T. S. (2015). Energy security: Definitions, dimensions and indexes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 42, pp.1077–1093.

Kapil N. B. and Reddy, S. (2016). A SES (sustainable energy security) index for developing countries. *Energy* .Vol.94, pp. 326-343.

Pavlovic, D., Banovac, E. and Vistica, N. (2018). Defining a composite index for measuring natural gas supply security - The Croatian gas market case. *Energy Policy*, Vol. 114, pp. 30-38.

Dakpogan, A. and Smit, E.(2018). Measuring electricity security risk. MPRA Paper No. 89295.