فصلنامه پژوهش‌های حفاظتی ـ امنیتی دانشگاه جامع امام حسین(علیه‌السلام)
سال سوم، شماره‌ی ۱ (بهار ۱۳۹۳): صص ۱۱۵ – ۱۴۶

ارزیابی آسیب‌پذیری انرژی در ایران با استفاده از شاخص ترکیبی کمی آسیب‌پذیری انرژی

محمدصادق کریمی[۱]
علی علیدوستی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۲۵

چکیده

عرضه انرژی به بخشهای مختلف کشور، نیازمند عملکرد صحیح و کامل سیستم عرضه انرژی است. شناخت آسیب‌پذیری‌های سیستم عرضه انرژی و سیاستگذاری برای تداوم عرضه انرژی به بخشها و مناطق مختلف کشور نیازمند شاخص‌هایی برای ارزیابی وضعیت امنیت انرژی و آسیب‌پذیری انرژی سیستم عرضه انرژی کشور است. در اینجا شاخصی کمی و تجمیعی برای ارزیابی امنیت عرضه انرژی کشور طراحی شده است. این شاخص، ترکیبی از شاخص‌های ساده ارزیابی امنیت انرژی است که هر یک از این شاخص‌های ساده بعدی از ابعاد امنیت انرژی را مد نظر قرار می‌دهد. 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 چندان مناسبی ندارد و سیستم عرضه انرژی آن آسیب‌پذیرتر از بسیاری از کشورهای هم‌رده‌اش است.

کلید واژه‌ها: *امنیت انرژی، سیستم عرضه انرژی، شاخص‌های تجمیعی*

۱- دانشجوی دکترا مهندسی سیستمهای انرژی، دانشگاه صنعتی شریف، m_karimi@energy.sharif.edu
۲- پژوهشگر، پژوهشکده مدیریت‌بحران، مجتمع‌دانشگاهی آمایش و پدافندغیرعامل، دانشگاه صنعتی مالک‌اشتر alidousti@mut.ac.ir

۱- مقدمه

انرژی به عنوان یکی از عوامل تولید، نقش مهمی در رشد اقتصادی و توسعه جوامع داشته است. این نقش در دهه‌های اخیر و با افزایش قیمت حاملهای انرژی فسیلی به دلیل محدودیتهای حاکم بر عرضه آنها بسیار پررنگ‌تر شده است. علاوه بر اهمیت اقتصادی، به دلیل توزیع جغرافیایی نامتقارن عرضه و تقاضای انرژی‌های فسیلی (درخشان, ۱۳۸۱)، این حامل‌های انرژی اهمیت سیاسی و بین‌المللی نیز پیدا کرده‌اند. به طوری که بسیاری از تحولات جهان، تغییر نظامهای سیاسی و حکومتها و حتی جنگها در چارچوب تأمین عرضه انرژی برای نقاط اصلی تقاضا تحلیل می‌شوند. (یرگین, ۱۹۹۱)[۱]

بحران کمبود منابع انرژی و روشهای مقابله با آن موضوعی بود که کشورهای توسعه یافته در دهه ۱۹۷۰ و با شوک نفتی ناشی از تحریم اعراب دست به بررسی آن زدند. این کشورها با توجه به منابع فراوان نفت و گاز خاورمیانه و تقاضای روزافزون انرژی و همچنین مدلهای حکومتی کشورهای خاورمیانه و عدم پایداری سیاسی آنها (درخشان, ۱۳۸۱)، در صدد برآمدند که راهکاری برای کاهش وابستگی فعلی و آتی خود به خاورمیانه و در نهایت منابع انرژی فسیلی بیابند. یکی از نخستین اقدامات آنها در این زمینه تشکیل آژانس بین‌المللی انرژی در کنفرانس انرژی واشنگتن در سال ۱۹۷۴ بود. (یرگین, ۱۹۹۱) اقدامات دیگری مانند تشکیل ذخایر راهبردی نفت و فراورده‌های نفتی (یرگین, ۱۹۹۱)، متنوع کردن مناطق جغرافیایی تولیدکننده نفت (با وجود هزینه تولید بالاتر نسبت به خاورمیانه) و تدوین راهبردهای افزایش سهم انرژی‌های غیر فسیلی مانند انرژی هسته‌ای و انرژی‌های نو و زیستی در همین راستا انجام شد. (درخشان, ۱۳۸۱)

نیاز کشورهای توسعه یافته به جریان انرژی به صورت مطمئن و پایدار و تحولاتی که در بالا اشاره شد، به تولید مفهوم و در ادامه آن ادبیات «امنیت انرژی» منجر شد. بسیاری از دانشمندان و نظریه‌پردازان سعی کردند این مفهوم را تبیین و برای اندازه‌گیری آن معیارهایی را ارائه کنند تا به این ترتیب بتوانند سیاستهای لازم برای تأمین انرژی و رشد اقتصادی خود را با توجه به این مفهوم تدوین کنند.

لزوم طرح مفهوم امنیت و پایداری انرژی برای کشوری مانند ایران که خود به عنوان تولیدکننده انرژی در دنیا مطرح است، ممکن است در ابتدا چندان واضح نباشد و به نظر برسد مفهوم امنیت انرژی مفهومی است که بیشتر برای کشورهای مصرف‌کننده انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما طرح این موضوع برای کشوری مانند ایران که تولیدکننده انرژی فسیلی است و دارای نخستین ذخایر گاز طبیعی و چهارمین ذخایر نفت خام در دنیا است (بیپی, ۲۰۱۳)[۲]، دلایل خاص خود را دارد. به عنوان مقدمه باید گفت سیستم عرضه

۱. Daniel Yergin

۲. BP Statistical Review

انرژی عبارت است از رابطه اجزاء مختلفی مانند استخراج، فراورش، ذخیره‌سازی، تبدیل، انتقال و توزیع برای رساندن حاملهای انرژی از منابع اولیه به تقاضاهای انرژی نهایی. تفاوت سیستم عرضه انرژی برای کشورهای تولیدکننده انرژی و کشورهای مصرف‌کننده انرژی در این است که کشورهای تولیدکننده بیشتر انرژی خود را مستقیماً از منابع اولیه تأمین می‌کنند اما کشورهای مصرف‌کننده باید انرژی را از طریق واردات وارد سیستم انرژی خود کنند. بنابراین سیستم عرضه انرژی در این دو نوع از کشورها، جز در مورد منابع اولیه انرژی تفاوت دیگری ندارد. در ادامه به برخی دلایل بررسی مفهوم امنیت انرژی برای ایران پرداخته می‌شود.

بنابراین همه تهدیدهایی که متوجه سیستم عرضه انرژی است و ممکن است جریان پیوسته انرژی را در بخشهای مختلف آن مختل کند، در مورد هر دو نوع سیستم انرژی (مصرف‌کننده و تولیدکننده منابع اولیه) وجود دارد؛ مگر تهدیدهایی که متوجه واردات منابع و حاملهای انرژی است. این نوع تهدیدها تنها سیستمهای عرضه انرژی کشورهای واردکننده انرژی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اما کشورهای تولیدکننده در مورد منابع اولیه انرژی، با تهدید دیگری مواجه هستند. تأسیسات بهره‌برداری از منابع اولیه، به ویژه منابع فسیلی نفت و گاز در این کشورها در معرض تهدید هستند. اختلال در عملکرد آنها می‌تواند به اختلال در عملکرد سیستم انرژی و تأمین نشدن نیازهای انرژی بیانجامد. بنابراین سیستم عرضه انرژی کشور ایران نیز در معرض تهدیدهایی است که ممکن است عرضه پیوسته انرژی را مختل کند و به همین دلیل تحلیل این تهدیدها و ارزیابی میزان امنیت انرژی ایران موضوعیت می‌یابد.

از سوی دیگر اهمیت امنیتی و سیاسی منطقه خاورمیانه به عنوان تأمین‌کننده بیش از ۳۲٪ نفت و ۱۶٪ گاز دنیا (بیپی, ۲۰۱۳) و تحولات آن، به همراه عدم ثبات سیاسی در کشورهای این منطقه، نشان می‌دهد سیستم عرضه انرژی کشورهای این منطقه به جز تهدیدهای طبیعی، در معرض تهدیدها و حوادث مختلف دیگری نیز هست.

بنابراین ادامه روند فعلی تأمین انرژی کشور از طریق سیستم عرضه انرژی به دلایل مختلفی تهدید می‌شود و ممکن است به مخاطره بیفتد. بنابراین باید معیاری برای اندازه‌گیری این مخاطره وجود داشته باشد و به همین دلیل پرداختن به امنیت انرژی کشور مهم می‌شود. نکته مهم آنکه روند صنعتی شدن کشور و افزایش مصرف انرژی این موضوع را تشدید می‌کند.

به همین دلیل امنیت انرژی اگرچه تعاریف متعدد و متنوعی دارد و در چارچوبهای مختلفی به کار رفته است، اما باید برای کشور ایران نیز مفهوم‌پردازی و تعریف شود. در این تحقیق مفهوم امنیت انرژی برای ایران تبیین و شاخص‌هایی برای اندازه‌گیری آن تدوین می‌شود. چرا که سیاستگذاران به ویژه سیاستگذاران

بخش انرژی کشور به چنین شاخصی برای طراحی سیستم عرضه انرژی کشور در آینده نیاز دارند. به عبارت دیگر باید مشخص باشد که از میان انتخابهای مختلفی که کشور برای توسعه بخش انرژی و تأمین نیاز انرژی فعالیتهای گوناگون خود دارد، کدامیک علاوه بر اقتصادی بودن، امنیت انرژی و پایداری تأمین انرژی این فعالیتها را تضمین می‌کند و این موضوع تنها با در دست داشتن شاخص‌هایی که بتوان با آنها وضعیت امنیت انرژی کشور را بررسی کرد محقق می‌شود. در ادامه پس از مروری بر مفهوم امنیت انرژی و شاخص‌های ساده و تجمیعی ارائه شده برای آن، یکی از روشهای ساخت شاخص تجمیعی انتخاب شده است. سپس شاخص‌های ساده ارزیابی آسیب‌پذیری انرژی ایران استخراج و اولویت بندی شده و در نهایت با ترکیب این شاخص‌ها شاخص تجمیعی آسیب‌پذیری انرژی ایران طراحی شده است. در پایان با استفاده از اطلاعات موجود وضعیت آسیب‌پذیری انرژی ایران بر اساس این شاخص ارزیابی و نتیجه‌گیری پایانی ارائه شده است.

۱-۱- تعاریف امنیت انرژی

برای امنیت انرژی تعاریف مختلفی ارائه شده و تلاشهای زیادی برای تدوین معیارهایی برای کمی کردن آن انجام گرفته است. سوواکول در کتاب خود ۴۵ تعریف برای امنیت انرژی را ذکر می‌کند. البته وی توضیح می‌دهد که برخی از این تعاریف اشتراکات زیادی با یکدیگر دارند. (سوواکول, ۲۰۱۱)[۱] بوی و تومن (بوی, و غیره, ۱۹۹۶)[۲]، آژانس بین‌المللی انرژی (اولز, ۲۰۰۶)[۳]، شیپرز و سیبرگتس (شیپرز, و غیره, ۲۰۰۶)[۴]، مرکز تحقیقات انرژی آسیا اقیانوسیه (اپرک, ۲۰۰۷)[۵]، بارتون و همکارانش (بارتون, و غیره, ۲۰۰۴)[۶]، کسلس و همکارانش (کسلس, و غیره, ۲۰۰۸)[۷] و بسیاری دیگر تعاریفی برای امنیت انرژی ارائه داده‌اند.

بررسی این تعاریف نشان می‌دهد بخشهای اصلی این تعاریف فراهم بودن و در دسترس بودن منابع مختلف انرژی، منطقی بودن قیمت و هزینه آنها و (نکته‌ای که در برخی تعاریف مورد تأکید قرار گرفته یعنی) تناسب آنها با توسعه پایدار و درازمدت است. بر این اساس ۴ ویژگی در ادبیات امنیت انرژی مطرح

۱. Benjamin Sovacool
۲. Bohi D. K.
۳. Olz
۴. Sheepers
۵. APERC
۶. Barton
۷. Kessels

هستند که به ۴ ای[۱] مشهور اند. (فراهم بودن[۲]، در دسترس بودن[۳]، قابل تحمل بودن[۴]، قابل قبول بودن[۵]) (سوواکول, ۲۰۱۱) و (هیوز, و غیره, ۲۰۱۱)[۶].

فراهم بودن: توانایی مصرف‌کننده‌ها برای تأمین انرژی مورد نیاز خود.

در دسترس بودن یا قابلیت اطمینان[۷]: میزان خدمات انرژی‌ای که به طور پیوسته و بدون قطع شدن می‌تواند ارائه شود. پیوسته بودن عرضه انرژی به دلیل نقش مهم آن در فعالیتهای اقتصادی، اهمیت این معیار را روشن خواهد کرد.

قابل تحمل بودن یا اقتصادی بودن: انرژی‌ای که اقتصادی نباشد، هرگز نمی‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. این تعریف تنها به پایین بودن قیمت حاملهای انرژی محدود نمی‌شود. بلکه نوسان قیمتها هم نقش بسزایی در اقتصادی بودن مصرف انرژی دارد.

قابل قبول بودن یا پایداری[۸]: در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی برای عرضه انرژی موضوعی است که از ابتدا در تعریف امنیت انرژی نبوده است اما امروزه به دلایلی مانند عمر طولانی زیرساختهای مصرف انرژی و در نتیجه آثار درازمدت آنها و اثرات متقابل تغییرات آب و هوایی بر سیستمهای عرضه انرژی، اهمیت یافته و از عوامل ۴ گانه تعریف امنیت انرژی است.

نکته مهم آنکه بسیاری از نویسندگان و محققان حوزه امنیت انرژی به این موضوع اذعان دارند که تعریف این مفهوم کار پیچیده‌ای است. (سوواکول, ۲۰۱۱) چرا که امنیت انرژی در ابعاد، زوایای نگاه و افقهای زمانی مختلفی قابل بررسی است و هر یک از دیدگاه‌ها می‌تواند منجر به تعریفی خاص از امنیت انرژی شود. به هر حال با همه تعریفهای متنوع موجود برای امنیت انرژی در این تحقیق بر ابعاد چهارگانه فراهم بودن، در دسترس بودن، قابل خرید بودن و قابل قبول بودن تأکید می‌شود.

۱. ۴As of energy security
۲. Availability
۳. Accessibility
۴. Affordability
۵. Acceptability
۶. Larry Hughes
۷. Reliability
۸. Sustainability

۱-۲- شاخص‌های ساده و تجمیعی امنیت انرژی

با ارائه تعاریف و اجزاء مختلف تعریف امنیت انرژی، مطالعات این حوزه به سمت تدوین معیارهایی برای ارزیابی امنیت انرژی سوق پیدا کرده است. روشها و معیارهای گوناگونی برای این ارزیابی پیشنهاد شده است. در ابتدا سعی شده تا از تک معیارهایی که ساده، ریاضی و قابل فهم و اندازه‌گیری باشند استفاده شود. معیارهایی مانند تخمینهای منابع[۱]، نسبت ذخایر به تولید، شاخص تنوع، وابستگی به واردات، ثبات سیاسی عرضه‌کنندگان، قیمتهای انرژی و سیالیت بازار[۲]. (کرویت, و غیره, ۲۰۱۱)[۳] تعریف و روش محاسبه این شاخص‌ها در ضمیمه ۱ آمده است.

مزیت این معیارها در آن است که قابل محاسبه‌اند و می‌توانند برای همه کشورها اعمال شوند. اما عیب اصلی چنین رویکردی به امنیت انرژی آن است که مفاهیمی که در تعاریف امنیت انرژی آورده می‌شود در این رویکردها ساده‌سازی می‌شود. این ساده‌سازی همه ابعاد امنیت انرژی را پوشش نمی‌دهد. مثلاً نسبت ذخایر به تولید تنها یک بعد از امنیت انرژی را (فراهم بودن) ارزیابی می‌کند. برت کرویت و همکارانش، با بررسی بسیاری از شاخص‌های ساده امنیت انرژی نشان داده‌اند هر کدام از آنها بیشتر ناظر به چه بعدی از امنیت انرژی هستند. (کرویت, و غیره, ۲۰۱۱).

با توجه به کاستی‌های شاخص‌های ساده لازم بود شاخص‌هایی ترکیبی تولید شوند که بتوانند همه ابعاد امنیت انرژی را مد نظر قرار دهند اما در عین حال سادگی و قابلیت محاسبه شاخص‌های ساده را داشته باشند. هر چند برخی از محققان امنیت انرژی اعتقاد دارند تلاش برای تولید یک شاخص واحد و ترکیبی، موجب فرضهای ساده‌کننده‌تری در مورد امنیت انرژی می‌شود و آن را از سطح جامع و چند بعدی خود فرومی‌کاهد. (سوواکول, و غیره, ۲۰۱۱) اما عده‌ای دیگر از دانشمندان و برخی مؤسسات ملی و جهانی برای تدوین چنین شاخص واحدی تلاش کرده‌اند. (کرویت, و غیره, ۲۰۱۱)

شاخص آسیب‌پذیری انرژی (گنانسونو, ۲۰۰۸)[۴]، شاخص میل به پرداخت[۵] (بولن, ۲۰۰۸)[۶]، شاخص نسبت عرضه به تقاضا (شیپرز, و غیره, ۲۰۰۷) و (کسلس, ۲۰۱۱)، شاخص آسیب‌پذیری نفت (گوپتا, ۲۰۰۸)[۷]، امنیت انرژی

۱. resource estimates
۲. market liquidity
۳. Kruyt
۴. Genansono
۵. Willingness to pay
۶. Bollen
۷. Gupta

بر پایه ۴ بعد آن[1] (هیوز, و غیره, ۲۰۱۱)، شاخص سنجش عملکرد امنیت انرژی کشورهای پیشرفته (سوواکول, و غیره, ۲۰۱۱) و مدل امنیت انرژی کوتاه‌مدت آژانس بین المللی انرژی (آژانس, ۲۰۱۱)[2] همگی شاخص‌هایی هستند که برای ارزیابی وضعیت امنیت انرژی با در نظر گرفتن ابعاد مختلف آن و به صورت تجمیعی طراحی شده‌اند. تعریف و روش محاسبه هر یک از این شاخص‌ها نیز در ضمیمه ۲ آمده است.

مطالعات انجام شده می‌دهد، نشان می‌دهد تلاشهای متعددی برای کمی کردن و ارزیابی امنیت انرژی در دنیا انجام شده است. این تلاشها منجر به تولید معیارهایی ساده و تجمیعی شده است. معیارهای تجمیعی نیز عموما به دو دسته ذهنی (با استفاده از وزن‌دهی‌های ذهنی و کارشناسی) و عینی (با استفاده از شاخص‌های کمی و معمولا بدون وزن‌دهی) تقسیم می‌شوند. عدم توافق جامع بر روی معیار سنجش امنیت انرژی نشان می‌دهد تعریف معیارهای جدید، به ویژه برای کشورهای تولیدکننده انرژی مانند ایران که تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته اند مهم و ضروری است.

با توجه به فهرست معیارهای مطالعات مختلف بررسی شده در حوزه امنیت انرژی و روشهای تجمیع ارائه شده در این مطالعات، گستره وسیعی برای طراحی معیارها و تجمیع آنها برای تولید شاخص‌هایی برای ارزیابی امنیت انرژی در ایران وجود دارد. بهره‌گیری از مطالعات انجام شده در کنار انجام مصاحبه‌های مفصل با کارشناسان انرژی و پدافند غیرعامل (ضمیمه ۳) منجر به تهیه فهرستی از معیارها شد.

پس از تدوین و مشخص کردن معیارهای ارزیابی باید روش مورد نظر برای ارزیابی انتخاب شود. از میان مطالعات انجام شده یکی از بهترین روشها که به طور کامل محاسباتی و کمی است روش شاخص آسیب‌پذیری انرژی است. (گنانسونو, ۲۰۰۸) این روش تعداد محدودی شاخص کمی را در نظر می‌گیرد و با استفاده از جذر میانگین مجذور این شاخص‌ها امکان مقایسه دسته‌کشورهای مختلف با یکدیگر را فراهم می‌آورد. استفاده از این شاخص برای ایران علاوه بر سادگی و کمی بودن، از این جهت که امکان مقایسه ایران با سایر کشورهایی که از نظر اقتصادی شبیه هم هستند را فراهم می‌آورد، مزیت دارد. در ادامه این روش مفصلا توضیح داده خواهد شد.

۲- تدوین شاخص آسیب‌پذیری انرژی ایران

برای تهیه شاخص آسیب‌پذیری انرژی کشور، ابتدا همان طور که در بخش قبل بیان شد، معیارهای ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری انرژی با توجه به مطالعات موجود و مصاحبه با خبرگان حوزه انرژی و پدافند

۱. 4As of Energy Security
۲. IEA

تدوین شد. سپس از میان این معیارها، معیارهایی که امکان استفاده از آنها برای ارائه ارزیابی کمی از آسیب‌پذیری انرژی کشور وجود داشت انتخاب شدند. با توجه به اینکه این شاخص، شاخصی نسبی است و باید در مقایسه ایران با سایر کشورها تعیین شود، در گام بعد دسته‌کشورهایی که از نظر اقتصادی به ایران شباهت دارند، انتخاب شد. برای این کار از دسته‌بندی ارائه شده توسط مجمع جهانی اقتصاد در گزارش رقابت‌پذیری دنیا استفاده شد.[1] سپس وضعیت آسیب‌پذیری کشورهای ۱۷ گانه‌ی انتخاب شده در هر یک از معیارها محاسبه شد و در نهایت با استفاده از جذر میانگین مربعات این شاخص‌ها، شاخص آسیب‌پذیری کلی به دست آمد. این فرآیند در ادامه توضیح داده شده است.

۲-۱- تدوین معیارها

برای تهیه شاخص آسیب‌پذیری انرژی کشور، ابتدا به معیارهای ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری انرژی نیاز بود. مرور معیارهای کشورهای مختلف برای ارزیابی امنیت انرژی یا آسیب‌پذیری انرژی فهرستی از این شاخص‌ها را به دست داد. از سوی دیگر مصاحبه‌های مبسوط با کارشناسان مختلف حوزه انرژی و پدافند، منجر به تصحیح، تکمیل و مناسب‌سازی این معیارها برای استفاده در ایران شد. با توجه به هدف این مطالعه که ارزیابی وضعیت کلان امنیت انرژی در سطح ملی است معیارهای زیر برای ارزیابی آسیب‌پذیری انرژی ایران استخراج شد.

۱. سرانه مصرف و مصرف انرژی
۲. رشد مصرف انرژی
۳. سبد انرژی اولیه؛ سهم حاملهای مختلف در تأمین انرژی اولیه
۴. سبد انرژی نهایی؛ سهم حاملهای مختلف در تأمین انرژی نهایی
۵. سهم حاملهای انرژی بومی در تأمین انرژی نهایی
۶. سبد پتانسیل؛ سهم حاملهای مختلف انرژی در سبد پتانسیل انرژی اولیه
۷. انحراف از سبد پتانسیل
۸. سبد پتانسیل در صورت اعمال محدودیتهای زیست محیطی
۹. تعداد مناطق مهم و حساس کشور که نیاز به تأمین پیوسته انرژی دارند
۱۰. مجموع ظرفیت خالی تولید انرژی
۱۱. میزان انتشار گازهای گلخانه ای

۱. World competitiveness report – world economic forum

۱۲. بهره وری انرژی یا شدت مصرف انرژی
۱۳. سطح توسعه یافتگی نیروی انسانی حوزه انرژی
۱۴. میزان سرمایه گذاری خارجی در بخش انرژی
۱۵. تنوع سرمایه گذاران خارجی در بخش انرژی
۱۶. جذابیت بخش انرژی کشور برای سرمایه گذران خارجی
۱۷. میزان وابستگی نقاط اصلی و حیاتی مصرف انرژی به شبکه
۱۸. تنوع حاملهای انرژی در بخش حمل و نقل

برای تدوین شاخص تجمیعی آسیب‌پذیری انرژی لازم است از این ۱۸ معیار، معیارهایی که مناسب طراحی شاخص تجمیعی کمی هستند انتخاب شوند. چنین معیارهایی باید دارای ویژگی‌های زیر باشند:

۱. کمی و با اعداد ارقام مربوط به وضعیت اقتصادی و انرژی کشورها قابل محاسبه باشند

۲. اطلاعات لازم برای محاسبه آنها در دسترس باشند. چرا که همان طور که در ادامه خواهد آمد محاسبه این شاخص نیاز به در اختیار داشتن داده‌های مختلف از کشورهای متعدد است و در صورت نبود این داده‌ها محاسبه شاخص مزبور ممکن نخواهد بود.

۳. ترکیب آنها بتواند همه ابعاد امنیت انرژی را به خوبی نشان دهد و هیچ یک از ابعاد امنیت انرژی مورد غفلت واقع نشود.

جدول زیر هر یک از شاخص‌های ۱۸ گانه تدوین شده را بر اساس سه شرط یاد شده ارزیابی و هشت شاخص را که هر سه ویژگی را دارند انتخاب می‌کند. در این جدول ابعاد امنیت انرژی به صورت زیر نمایش داده شده اند. فراهم بودن «الف»، در دسترس بودن «ب»، قابل خرید بودن «ج»، قابل قبول بودن «د»

ردیف	معیار	قابل محاسبه بودن	در دسترس بودن اطلاعات	بعد امنیت انرژی
۱	سرانه مصرف و مصرف انرژی	✓	✓	ب و ج
۲	رشد مصرف انرژی	✓	✓	ب
۳	سبد انرژی اولیه؛ سهم حاملهای مختلف در تأمین انرژی اولیه	✓	✓	الف و ب
۴	سبد انرژی نهایی؛ سهم حاملهای مختلف در تأمین انرژی نهایی	✓	✓	ب
۵	سهم حاملهای انرژی بومی در تأمین انرژی نهایی	✓	✓	ب
۶	سبد پتانسیل؛ سهم حاملهای مختلف انرژی در سبد پتانسیل انرژی اولیه	✓	×	الف
۷	انحراف از سبد پتانسیل	✓	×	الف و ب
۸	سبد پتانسیل در صورت اعمال محدودیتهای زیست محیطی	×	×	د
۹	تعداد مناطق مهم و حساس کشور که نیاز به تأمین پیوسته انرژی دارند	✓	×	ب

۱۰	مجموع ظرفیت خالی تولید انرژی	✓	×	ب
۱۱	میزان انتشار گازهای گلخانه ای	✓	✓	د
۱۲	بهره وری انرژی یا شدت مصرف انرژی	✓	✓	ب و ج
۱۳	سطح توسعه یافتگی نیروی انسانی حوزه انرژی	×	×	ب
۱۴	میزان سرمایه گذاری خارجی در بخش انرژی	✓	×	ب و ج
۱۵	تنوع سرمایه گذاران خارجی در بخش انرژی	✓	×	ب و ج
۱۶	جذابیت بخش انرژی کشور برای سرمایه گذران خارجی	×	×	ب و ج
۱۷	میزان وابستگی نقاط اصلی و حیاتی مصرف انرژی به شبکه	✓	×	ب
۱۸	تنوع حاملهای انرژی در بخش حمل و نقل	✓	✓	ب

به این ترتیب ۸ شاخص زیر برای محاسبه شاخص تجمیعی آسیب‌پذیری انرژی ایران انتخاب شدند. این ۸ شاخص همان طور که در جدول مشخص شده است هر چهار بعد فراهم بودن، در دسترس بودن، قابل خرید بودن و قابل قبول بودن را پوشش می‌دهند و این نشان می‌دهد استفاده از این چهار شاخص اگر چه ممکن است به دلیل حذف برخی شاخص‌ها دقت شاخص آسیب‌پذیری انرژی را کاهش دهد اما می‌توان مطمئن بود که هیچ یک از ابعاد امنیت انرژی را نادیده نمی‌گیرد. این ۸ شاخص عبارتند از:

۱. شدت مصرف انرژی: این شاخص برابر است با نسبت مصرف انرژی اولیه به میزان تولید ناخالص داخلی.

$$X_1 = \frac{TPES}{GDP}$$

۲. تنوع سبد انرژی‌های اولیه: این شاخص با استفاده از شاخص شانون وینر محاسبه می‌شود. در عبارت زیر p_i سهم حامل انرژی iام در سبد تولید انرژی‌های اولیه و n تعداد حاملهای موجود در سبد انرژی‌های اولیه است.

$$X_2 = SWI = -\sum_{i=1}^{n}(p_i Ln(p_i))$$

۳. تنوع سبد انرژی‌های نهایی: این شاخص نیز با استفاده از شاخص شانون وینر محاسبه می‌شود. در عبارت زیر p_i سهم حامل انرژی iام در سبد مصرف انرژی‌های نهایی و n تعداد حاملهای موجود در سبد انرژی‌های نهایی است.

$$X_3 = SWI = -\sum_{i=1}^{n}(p_i Ln(p_i))$$

۴. تنوع حاملهای انرژی در بخش حمل و نقل: این شاخص نیز با استفاده از شاخص شانون وینر محاسبه می‌شود. در عبارت زیر p_i سهم حامل انرژی iام در سبد مصرف انرژی بخش حمل و نقل و n تعداد حاملهای موجود در سبد انرژی بخش حمل و نقل است.

$$X_۴ = SWI = -\sum_{i=۱}^{n}(p_i Ln(p_i))$$

۵. سهم منابع داخلی در تأمین انرژی‌های اولیه: این شاخص برابر است با نسبت تولید منابع انرژی اولیه داخلی به کل تولید انرژی اولیه. این شاخص نشان می‌دهد چه سهمی از حاملهای انرژی در یک کشور از طریق واردات تأمین می‌شود و یک کشور تا چه حد از نظر تولید انرژی اولیه مورد نیاز خود خودکفا است.

$$X_۵ = \frac{TPES_{domestic}}{TPES_{total}}$$

۶. رشد مصرف انرژی: در این شاخص میانگین رشد مصرف انرژی کشور طی ۵ سال گذشته را مورد محاسبه قرار می‌دهیم.

$X_۶ =$ میانگین ۵ ساله رشد مصرف انرژی

۷. سرانه مصرف انرژی: این شاخص برابر است با نسبت میزان مصرف انرژی نهایی به کل جمعیت کشور.

$$X_۷ = \frac{FEC}{\text{جمعیت}}$$

۸. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای: این شاخص برابر است با کل گازهای گلخانه‌ای تولید شده توسط کشور که به صورت معادل کربن دی اکسید تولید شده بیان می‌شود.

$X_۸ =$ کل گازهای گلخانه ای منتشر شده معادل CO۲

۲-۲- انتخاب دسته‌کشورها

از آنجایی که آسیب‌پذیری مفهومی نسبی است و در مقایسه با دیگر کشورها تعیین می‌شود، برای تعیین شاخص کلی آسیب‌پذیری انرژی دسته کشورهایی که باید با یکدیگر مقایسه شوند، مشخص گردید. طبیعی است که نمی‌توان ایران را با کشورهای واردکننده انرژی یا با کشورهای توسعه‌یافته مقایسه کرد. چرا که شرایط اقتصادی آنها با شرایط اقتصادی ایران متفاوت است و برای ارزیابی امنیت انرژی آن کشورها معیارهای متفاوتی مورد نیاز است.

به همین دلیل گزارش رقابت‌پذیری[1] مجمع جهانی اقتصاد[2] مبنای مقایسه ایران با دیگر کشورها قرار گرفت. (شواب، ۲۰۱۲)[3] معیار اصلی این گزارش برای دسته‌بندی کشورها درآمد سرانه اقتصاد آنها یعنی نسبت تولید ناخلص داخلی[4] آنها به جمعیتشان است. این گزارش کشورهای با درآمد سرانه بالاتر را از نظر اقتصادی رشدیافته‌تر ارزیابی می‌کند. مجمع جهانی اقتصاد معتقد است این قاعده یک استثناء هم دارد و آن کشورهایی هستند که با استفاده از صادرات منابع طبیعی ثروت زیادی به دست می‌آورند و در نتیجه درآمد سرانه بالایی به دست می‌آورند اما این لزوما به معنی پیشرفته بودن اقتصاد آنها نیست. به همین دلیل گزارش رقابت‌پذیری ابتدا کشورها را بر اساس درآمد سرانه رتبه‌بندی می‌کند و سپس با تعدیلهایی کشورهایی را که به دلیل صادرات منابع در رتبه‌های بالاتر قرار گرفته‌اند به رتبه‌های پایین‌تر منتقل می‌کند.

به این ترتیب مجمع جهانی اقتصاد برای دسته‌بندی کشورها در سه دسته اصلی اقتصادهای بر مبنای منابع، اقتصادهای بر مبنای بهبود عملکرد و بازدهی و اقتصادهای بر مبنای نوآوری، از معیار درآمد سرانه استفاده می‌کند و معتقد است هر چه این درآمد بیشتر باشد، اقتصاد مربوطه به حالت اقتصاد مبتنی بر نوآوری نزدیک‌تر و اصطلاحا پیشرفته‌تر است.

به این ترتیب کشورها را مطابق جدول زیر به ۵ دسته تقسیم می‌کند:

جدول ۱ – معیار دسته‌بندی کشورها بر اساس گزارش رقابت‌پذیری جهانی

نوع اقتصاد	مرحله ۱ بر مبنای منابع	در حال گذار از مرحله ۱ به ۲	مرحله ۲ بر مبنای بازدهی	در حال گذار از مرحله ۲ به ۳	مرحله ۳ بر مبنای نوآوری
سرانه تولید ناخالص داخلی[5] ($)	کمتر از ۲۰۰۰	۲۰۰۰–۲۹۹۹	۳۰۰۰–۸۹۹۹	۹۰۰۰–۱۷۰۰۰	بیش از ۱۷۰۰۰

با توجه به گزارش رقابت‌پذیری مجمع جهانی اقتصاد، اقتصاد ایران در دسته در حال گذار از «اقتصاد بر پایه منابع» به «اقتصاد بر پایه بهره‌وری» است. ایران در این دسته با کشورهای الجزایر، آذربایجان، بولیوی، بوتسوانا، برونئی، مصر، گابن، هندوراس، کویت، لیبی، مغولستان، فیلیپین، قطر، عربستان سعودی، سری لانکا و ونزوئلا هم‌رده است.

۱. World competitiveness report
۲. World Economic Forum
۳. Klaus Shwab
۴. GDP

۱- با نرخ ارز بازار آزاد

همان‌طور که مشاهده می‌شود اکثر این کشورها کشورهای صادرکننده منابع انرژی هستند و برخی دیگر از آنها کشورهایی هستند که به دلیل تولید ناخالص نسبتاً کم و یا جمعیت زیاد در این دسته قرار گرفته‌اند. این موضوع نشان می‌دهد که دسته‌بندی انتخاب شده دسته‌بندی مناسبی است و کشورهای موجود در این دسته از منظر درآمد ملی، صادرات انرژی و در نتیجه ساختار اقتصادی به ایران مشابهت دارند.

۲-۳- محاسبه شاخص‌ها

شاخص‌های ۸ گانه یاد شده برای کشورهای مختلف هم‌رده با ایران و ایران محاسبه شد. به‌روزترین داده‌های موجود برای این کشورها مربوط به سال ۲۰۰۹ بوده که همین داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه کمینه و بیشینه هر یک از معیارها مشخص شد. معیارهای ۸ گانه مطرح شده در بالا را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد. نخست معیارهایی که با افزایش آنها آسیب‌پذیری نیز افزایش می‌یابد و دوم معیارهایی که با افزایش آنها آسیب‌پذیری کاهش می‌یابد. معیارهای دسته اول عبارتند از: شدت مصرف انرژی، رشد مصرف انرژی، سرانه مصرف انرژی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای. معیارهای دسته دوم هم عبارتند از: تنوع سبد انرژی اولیه، نهایی و حاملهای بخش حمل و نقل و سهم منابع داخلی در تأمین انرژی.

در گام بعد باید شاخص بدون بعد و نسبی هر یک از معیارها محاسبه می‌شود. برای این کار در مورد معیارهای دسته اول (معیارهایی که با افزایش آنها آسیب‌پذیری افزایش می‌یابد) از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$I_{i,j} = \frac{X_{i,j} - Min_i}{Max_i - Min_i}$$

که در آن $I_{i,j}$ آسیب‌پذیری کشور j با توجه به معیار i ام و $X_{i,j}$ مقدار کمی معیار i برای کشور j و Mini و Maxi به ترتیب کمینه و بیشینه مقادیر کمی معیار i در بین همه کشورها هستند.

برای معیارهای دسته دوم (معیارهایی که با افزایش آنها آسیب‌پذیری کاهش می‌یابد) از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$I_{i,j} = \frac{Max_i - X_{i,j}}{Max_i - Min_i}$$

که در آن $I_{i,j}$ آسیب‌پذیری کشور j با توجه به معیار i ام و $X_{i,j}$ مقدار کمی معیار i برای کشور j و Mini و Maxi به ترتیب کمینه و بیشینه مقادیر کمی معیار i در بین همه کشورها هستند. با توجه به

تفکیک دو دسته معیار به روشی که در بالا اشاره شد، قاعدتاً هرچه شاخص I برای هر یک از معیارها بیشتر باشد، نشان می‌دهد آسیب‌پذیری کشور مربوطه در آن معیار بیشتر است.

در ادامه با استفاده از جذر میانگین مجذور شاخص‌های آسیب‌پذیری بدون بعد ۸ گانه (I_i ها) شاخص کلی آسیب‌پذیری انرژی هر کشور محاسبه می‌شود.

$$I = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{8} I_i^2}{8}}$$

به این ترتیب شاخص کلی آسیب‌پذیری انرژی ایران محاسبه می‌شود.

۴- نتایج و تحلیل

جدول زیر مقدار شاخص‌های هشت‌گانه را برای ۱۷ کشور یاد شده نشان می‌دهد.

جدول ۲ - مقدار شاخص‌های هشت گانه آسیب پذیری انرژی

معیار	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
واحد	بی تی یو[1] بر دلار سال ۲۰۰۵	درصد	درصد	درصد	درصد	درصد	میلیون بی‌تی‌یو بر نفر	میلیون تن
مرجع	آژانس بین‌المللی انرژی	آژانس بین‌المللی انرژی	آژانس بین‌المللی انرژی	آژانس بین‌المللی انرژی	آژانس بین‌المللی انرژی	آژانس بین‌المللی انرژی	آژانس بین‌المللی انرژی، سازمان ملل	آژانس بین‌المللی انرژی
الجزایر	۱۵۸۳۴	۰.۴۹	۰.۹۹	۰.۳۲	۹۵.۳	۵.۵۶	۵۳.۸	۱۱۲.۲
آذربایجان	۲۵۳۰۸	۰.۶۸	۱.۱۷	۰.۱۱	۹۹.۶	۱.۷۷	۸۲.۶	۳۴.۶
بولیوی	۲۲۱۲۰	۱.۲۷	۱.۲۲	۰.۴۱	۹۱.۲	۶.۲۴	۲۶	۱۳.۶
بوتسوانا	۵۸۰۲	۱.۳	۱.۲۲	۰	۴۵	۰.۶۱	۲۹.۹	۳.۸
برونئی	۱۲۸۹۷	۰.۵۳	۱.۰۲	۰	۹۶.۹	۶.۵۹	۳۲۴.۴	۷.۲
مصر	۲۸۳۸۵	۰.۹۵	۱.۱۶	۰.۱۲	۸۵.۵	۵.۹۶	۴۲.۹	۱۸۹.۵
گابن	۵۸۱۱	۱	۰.۷۹	۰	۹۱.۹	۵.۲	۲۹.۹	۴.۶
هندوراس	۱۲۱۰۸	۰.۹۳	۱.۰۵	۰	۴۱.۶	۴.۱۳	۱۷.۴	۸.۱
ایران	۴۳۰۱۰	۰.۷۴	۱.۱۵	۰.۲۹	۹۳	۵.۳۵	۱۱۸.۷	۵۴۸.۹
کویت	۱۳۴۲۲	۰.۵۵	۱.۰۳	۰	۹۷.۶	۱.۸۵	۴۶۲.۳	۸۳.۷

۱. BTU: British thermal unit

لیبی	۱۴۹۹۰	۰.۳۷	۱.۰۲	۰	۹۹.۸	۰.۱۹	۱۲۳.۴	۵۵
مغولستان	۳۱۳۹۹	۰.۷۱	۱.۴	۰.۲۴	۷۴.۹	۷.۰۶	۳۰.۹	۸
فیلیپین	۱۰۲۷۱	۱.۸۲	۱.۲۱	۰.۱۲	۵۱.۴	۰.۲–	۱۲.۲	۷۲.۹
قطر	۱۱۶۲۰	۰.۴	۰.۹۷	۰	۹۷	۴.۹۸	۱۲۲۹.۶	۶۳.۶
عربستان	۲۲۵۱۳	۰.۴	۱	۰	۹۳	۴.۹۴	۳۰۹.۳	۴۳۸.۲
سری‌لانکا	۷۱۴۳	۱.۱۶	۰.۹۱	۰	۵۳.۶	۰.۰۶	۱۰.۳	۱۲.۷
ونزوئلا	۱۸۱۸۲	۰.۶۳	۱.۰۲	۰.۰۲	۹۷.۴	۲.۵۳	۱۱۸.۷	۱۵۹
کمینه	۵۸۰۲	۰.۵۵	۰.۷۹	۰	۴۱.۶	۰.۶۱	۱۰.۳	۳.۸
بیشینه	۴۳۰۱۰	۱.۸۲	۱.۴	۰.۴۱	۹۹.۸	۷.۰۶	۱۲۲۹.۶	۵۴۸.۹

شاخص‌های ۸گانه بدون بعد آسیب‌پذیری انرژی نیز در جدول و نمودارهای زیر آمده است.

جدول ۳ – مقدار شاخص‌های بدون بعد آسیب پذیری انرژی

معیار	I۱	I۲	I۳	I۴	I۵	I۶	I۷	I۸
الجزایر	۰.۲۷	۰.۵۶۱	۰.۶۷۵	۰.۲۲۲	۰.۰۷۸	۰.۸۰۴	۰.۰۳۶	۰.۱۹۹
آذربایجان	۰.۵۲۴	۰.۴۷۹	۰.۳۸۳	۰.۷۲۶	۰.۰۰۴	۰.۳۱	۰.۰۵۹	۰.۰۵۷
بولیوی	۰.۴۳۹	۰.۲۳	۰.۳۰۲	۰	۰.۱۴۸	۰.۸۹۳	۰.۰۱۳	۰.۰۱۸
بوتسوانا	۰	۰.۲۲۱	۰.۲۹	۱	۰.۹۴۱	۰	۰.۰۱۶	۰
برونئی	۰.۱۹۱	۰.۵۴۴	۰.۶۱۹	۱	۰.۰۵۱	۰.۹۳۹	۰.۲۵۸	۰.۰۰۶
مصر	۰.۶۰۷	۰.۳۶۵	۰.۳۸۶	۰.۷۰۸	۰.۲۴۶	۰.۸۵۷	۰.۰۲۷	۰.۳۴۱
گابن	۰	۰.۳۴۵	۱	۱	۰.۱۳۷	۰.۷۵۷	۰.۰۱۶	۰.۰۰۱
هندوراس	۰.۱۶۹	۰.۳۷۵	۰.۵۷۶	۱	۱	۰.۶۱۸	۰.۰۰۶	۰.۰۰۸
ایران	۱	۰.۴۵۶	۰.۴۱۴	۰.۲۹۹	۰.۱۱۸	۰.۷۷۷	۰.۰۸۹	۱
کویت	۰.۲۰۵	۱	۰.۶۰۹	۱	۰.۰۳۸	۰.۳۲۱	۰.۳۷۱	۰.۱۴۶
لیبی	۰.۲۴۷	۰.۶۱۲	۰.۶۲۴	۱	۰	۰.۱۰۴	۰.۰۹۳	۰.۰۹۴
مغولستان	۰.۶۸۸	۰.۴۶۹	۰	۰.۴۳۳	۴۲۸.	۱	۰.۰۱۷	۰.۰۰۸
فیلیپین	۰.۱۲	۰	۰.۳۰۴	۰.۷۱	۰.۸۳۲	۰.۰۵۳	۰.۰۰۲	۰.۱۲۷
قطر	۰.۱۵۶	۰.۶۰۲	۰.۶۹۳	۱	۰.۰۴۸	۰.۷۲۹	۱	۰.۱۱
عربستان سعودی	۰.۴۴۹	۰.۵۹۹	۰.۶۵۲	۱	۰.۱۱۶	۰.۷۲۴	۰.۲۴۵	۰.۷۹۷
سری‌لانکا	۰.۰۳۶	۰.۲۷۶	۰.۷۹۹	۱	۰.۷۹۳	۰.۰۸۷	۰	۰.۰۱۶
ونزوئلا	۰.۳۳۳	۰.۵۰۱	۰.۶۱۲	۰.۹۶۳	۰.۰۴۲	۰.۴۰۹	۰.۰۸۹	۰.۲۸۵

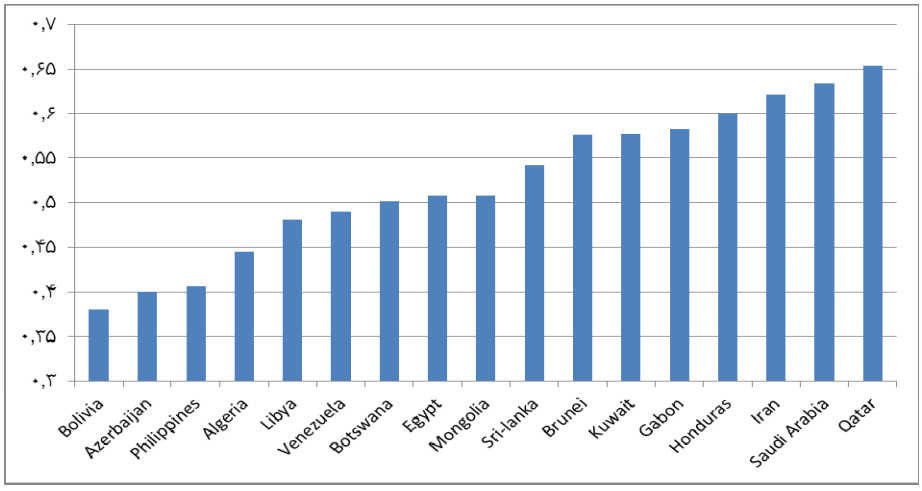
مقدار شاخص تجمیعی با توجه به مقادیر بالا به دست می‌آید.

جدول ۴ – میزان نهایی شاخص ترکیبی آسیب‌پذیری انرژی برای ۱۷ کشور انتخاب شده

شاخص آسیب‌پذیری انرژی	I
الجزایر	۰.۴۴۵
آذربایجان	۰.۴۰۰
بولیوی	۰.۳۸۰
بوتسوانا	۰.۵۰۲
برونئی	۰.۵۷۷
مصر	۰.۵۰۸
گابن	۰.۵۸۲
هندوراس	۰.۶۰۰
ایران	۰.۶۲۲

شاخص آسیب‌پذیری انرژی	I
کویت	۰.۵۷۸
لیبی	۰.۴۸۱
مغولستان	۰.۵۰۸
فیلیپین	۰.۴۰۶
قطر	۰.۶۵۳
عربستان سعودی	۰.۶۳۴
سری لانکا	۰.۵۴۲
ونزوئلا	۰.۴۹۰

نمودار زیر مقادیر این شاخص تجمیعی را برای کشورهای مختلف نشان می‌دهد.



نمودار ۱ – میزان نهایی شاخص ترکیبی آسیب پذیری انرژی برای ۱۷ کشور انتخاب شده

یکی از نکاتی که ممکن است در مورد شاخص ترکیبی ارائه شده مطرح شود، نقش شاخص میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای است. چنین شاخصی بیشتر از اینکه در میان کشورهای در حال گذار از اقتصادی بر پایه منابع به اقتصادی بر پایه بهره‌وری مطرح و مورد توجه باشد، در کشورهای پیشرفته مورد بررسی قرار می‌گیرد. این شاخص برای کشورهای اروپایی و آمریکایی می‌تواند مهم و معنی‌دار باشد اما برای کشورهایی

مانند کشورهای مورد بررسی در این دسته، به ویژه کشورهای صادرکننده و تولیدکننده انرژی، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای اهمیت چندانی ندارد و این کشورها در مقایسه با کشورهای پیشرفته‌ای مانند چین و آمریکا و کشورهای اتحادیه اروپایی، میزان دی اکسید کربن بسیار کمتری تولید می‌کنند و در صورت اعمال محدودیتهایی برای انتشار گازهای گلخانه‌ای، این محدودیتها پیش و بیش از همه بر کشورهای صنعتی و آسیب‌پذیری آنها اثر می‌گذارد.

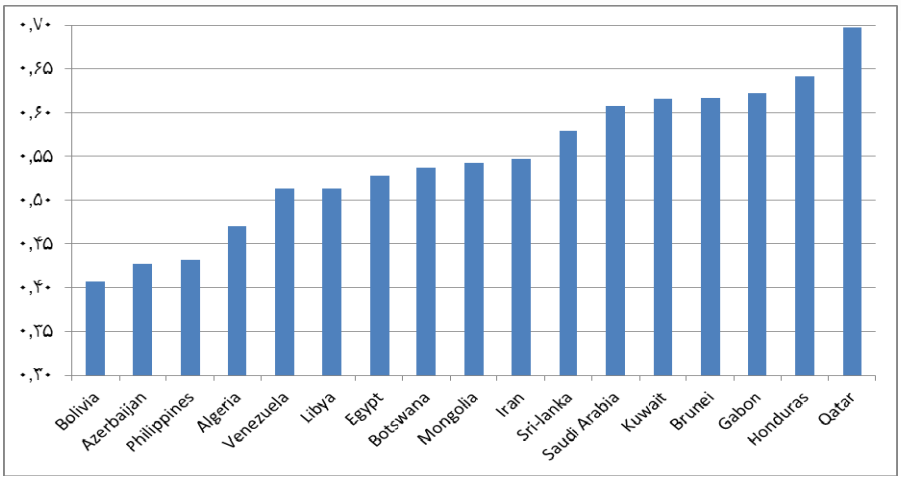
به همین دلیل سعی شد شاخص ترکیبی آسیب‌پذیری انرژی با کنار گذاشتن شاخص میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز محاسبه شود و جذر میانگین مجذور ۷ شاخص باقیمانده به عنوان شاخص ترکیبی آسیب‌پذیری انرژی معرفی شود. نتایج این محاسبات در جدول زیر آمده است.

جدول ۵ – میزان نهایی شاخص ترکیبی آسیب پذیری انرژی برای ۱۷ کشور انتخاب شده بدون در نظر گرفتن معیار انتشار دی اکسید کربن

شاخص آسیب‌پذیری انرژی	I
الجزایر	۰.۴۷۰
آذربایجان	۰.۴۲۷
بولیوی	۰.۴۰۶
بوتسوانا	۰.۵۳۷
برونئی	۰.۶۱۷
مصر	۰.۵۲۷
گابن	۰.۶۲۲
هندوراس	۰.۶۴۲
ایران	۰.۵۴۷

شاخص آسیب‌پذیری انرژی	I
کویت	۰.۶۱۶
لیبی	۰.۵۱۳
مغولستان	۰.۵۴۳
فیلیپین	۰.۴۳۲
قطر	۰.۶۹۷
عربستان سعودی	۰.۶۰۷
سری لانکا	۰.۵۸۰
ونزوئلا	۰.۵۱۳

نمودار زیر مقادیر این شاخص تجمیعی (بدون در نظر گرفتن شاخص میزان انتشار دی اکسید کربن) را برای کشورهای مختلف نشان می‌دهد.



نمودار ۲ – میزان نهایی شاخص ترکیبی آسیب پذیری انرژی برای ۱۷ کشور انتخاب شده بدون در نظر گرفتن معیار انتشار دی اکسید کربن

۵- یافته‌ها

شاخص ترکیبی آسیب‌پذیری انرژی ایران نشان می‌دهد ایران در مجموع از منظر آسیب‌پذیری انرژی جایگاه مناسبی ندارد و تنها دو کشور قطر و عربستان سعودی آسیب‌پذیرتر از ایران هستند. همان طور که قبلا بیان شد، ایران بالاترین مقادیر را در دو معیار میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و شدت انرژی دارد و همین دو عامل باعث شده اند که مقدار شاخص کلی آسیب‌پذیری انرژی ایران افزایش یابد. این در حالی است که در برخی معیارها مانند تنوع حاملهای انرژی در بخش حمل و نقل، انرژی نهایی و انرژی اولیه و نرخ رشد مصرف انرژی ایران وضعیت مناسبی دارد و چندان آسیب‌پذیر نیست اما مقدار بالای شاخص آسیب‌پذیری در دو معیار انتشار گازهای گلخانه‌ای و شدت انرژی نقش مهمی در افزایش میانگین آسیب‌پذیری انرژی ایران داشته است. بنابراین کاهش میزان گازهای گلخانه‌ای و افزایش بهره‌وری انرژی دو راهبرد اصلی ایران برای کاهش آسیب‌پذیری انرژی خواهد بود. با کنار گذاشتن شاخص میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، ایران هشتمین کشور از نظر آسیب‌پذیری انرژی است. نکته جالب توجه آنکه کشور قطر با وجود حذف عامل انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز همچنان آسیب‌پذیرترین کشور از نظر انرژی است.

بررسی کشورهایی که بهترین عملکرد را در شاخص آسیب‌پذیری انرژی داشته‌اند مفید خواهد بود. کشورهای بولیوی، آذربایجان، فیلیپین و الجزایر در هر دو نوع شاخص بهترین عملکرد را دارند و آسیب‌پذیری انرژی در آنها کمتر از سایر کشورها است.

- کشور بولیوی تنها در عامل رشد مصرف انرژی عملکرد مناسبی نداشته است و همین عامل تنها شاخصی است که باعث می‌شود شاخص کلی آسیب‌پذیری آن بالاتر از ۰.۳۵ باشد. چرا که مقدار شاخص بدون بعد رشد مصرف انرژی برای بولیوی ۰.۸۹است و در صورتی که این کشور بتواند میزان این شاخص را کاهش دهد، شاخص ترکیبی آسیب‌پذیری آن به خوبی کاهش می‌یابد.
- آذربایجان نیز، به دلیل بالا بودن شاخص بدون بعد تنوع حاملهای بخش حمل و نقل، به آسیب‌پذیری انرژی‌ای در حدود ۰.۴ رسیده است. این کشور نیز اگر بتواند بخش حمل و نقل خود را از مزیت انواع حاملهای انرژی، به ویژه گاز و برق برخوردار کند و سهم این دو حامل را در سبد حمل و نقل خود افزایش دهد، به خوبی می‌تواند میزان شاخص آسیب‌پذیری انرژی‌اش را کاهش دهد.
- در مورد فیلیپین دو عامل وابستگی این کشور به واردات و عدم تنوع کافی در بخش حمل و نقل مانع از بهتر شدن و ارتقا بیشتر وضعیت نسبتا مناسب این کشور شده است. فیلیپین به دلیل عدم برخورداری از منابع انرژی داخلی به سختی می‌تواند شاخص وابستگی به واردات را کاهش دهد اما با ایجاد تنوع در بخش حمل و نقل می‌تواند بهبود چشمگیری در شاخص کلی آسیب‌پذیری انرژی خود ایجاد کند.
- الجزایر نیز می‌تواند با بهبود تنوع در سبد انرژی‌های اولیه و نهایی خود، افزایش تعداد حاملهای انرژی این سبد و توازن سهم هر یک از آنها شاخص ترکیبی آسیب‌پذیری انرژی خود را بهبود بخشد. رشد مصرف انرژی در این کشور نیز عاملی است که مانع از کسب جایگاه بهتر برای این کشور شده است. اگر چه وضعیت فعلی این کشور وضعیت مناسبی ارزیابی می‌شود و چه با در نظر گرفتن انتشار گازهای گلخانه‌ای و چه بدون آن این کشور رتبه چهارم را از نظر امنیت انرژی در بین کشورهای مورد بررسی دارد اما کنترل رشد مصرف انرژی و تنوع‌بخشی به سبد انرژی اولیه و نهایی می‌تواند به هر چه بهتر شدن شاخص آسیب‌پذیری این کشور کمک کند.

۶- جمع‌بندی

در این مقاله پس از بیان اهمیت پرداختن به امنیت انرژی در ایران، مروری کوتاه بر تعاریف مختلف امنیت انرژی و شاخص‌های ساده و تجمیعی ارائه شده برای ارزیابی امنیت انرژی انجام شد. در ادامه برای تهیه شاخص آسیب‌پذیری انرژی کشور، معیارهای ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری انرژی با توجه به مطالعات موجود و مصاحبه با خبرگان حوزه انرژی و پدافند تدوین شد. سپس از میان این معیارها، معیارهایی که با داشتن سه ویژگی کمی بودن، در دسترس بودن اطلاعات و جامع بودن، امکان استفاده از آنها برای ارائه ارزیابی کمی از آسیب‌پذیری انرژی کشور وجود داشت انتخاب شدند. با توجه به اینکه این شاخص، شاخصی

نسبی است و باید در مقایسه ایران با سایر کشورها تعیین شود، در گام بعد دسته‌کشورهایی که از نظر اقتصادی به ایران شباهت دارند، انتخاب شد. برای این کار از دسته‌بندی ارائه شده توسط مجمع جهانی اقتصاد در گزارش رقابت‌پذیری دنیا استفاده شد. سپس وضعیت آسیب‌پذیری کشورهای ۱۷ گانه‌ی انتخاب شده در هر یک از معیارها محاسبه شد. در نهایت با استفاده از جذر میانگین مربعات این شاخص‌ها، شاخص آسیب‌پذیری کلی انرژی ایران و سایر کشورهای هم‌رده به دست آمد.

نتیجه بررسی این شاخص نشان داد ایران در مجموع از منظر آسیب‌پذیری انرژی جایگاه مناسبی ندارد و تنها دو کشور قطر و عربستان سعودی آسیب‌پذیرتر از ایران هستند. ایران بالاترین مقادیر را در دو معیار میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و شدت انرژی دارد و همین دو عامل باعث شده اند که مقدار شاخص کلی آسیب‌پذیری انرژی ایران افزایش یابد. این در حالی است که در برخی معیارها مانند تنوع حاملهای انرژی در بخش حمل و نقل، انرژی نهایی و انرژی اولیه و نرخ رشد مصرف انرژی ایران وضعیت مناسبی دارد و چندان آسیب‌پذیر نیست اما مقدار بالای شاخص آسیب‌پذیری در دو معیار انتشار گازهای گلخانه‌ای و شدت انرژی نقش مهمی در افزایش میانگین آسیب‌پذیری انرژی ایران داشته است.

به این ترتیب کاهش میزان گازهای گلخانه‌ای و افزایش بهره‌وری انرژی دو راهبرد اصلی ایران برای کاهش آسیب‌پذیری انرژی خواهد بود.

کتابنامه

درخشان، مسعود (۱۳۸۱) ***اوپک و منافع ملی***، در مجلس و پژوهش، جلد ۳۴، ص. ۱۸۹–۲۳۵.

ملکی، عباس (۱۳۹۲) ***سیاستگذاری انرژی***، تهران : دانشگاه صنعتی شریف

APERC A quest for energy security in the ۲۱st century: resources and constraints [Report]. - Tokyo : Asia Pacific Energy Research Center, ۲۰۰۷.

Barton [et al.] Energy security: managing risk in a dynamic legal and regulatory environment [Book]. - Oxford : Oxford University Press, ۲۰۰۴.

Bohi D. K. and Toman M. A. the economics of energy supply security [Book]. - Norwell : Kluwer, ۱۹۹۶.

Bollen Johannes Energy security, air pollution, and climate change: an integrated cost-benefit approach [Report]. - Netherlands : Bilthoven, ۲۰۰۸.

BP BP Statistical Review of World Energy ۲۰۱۳ [Online] // British Petroleum. - BP, ۲۰۱۳. - ۲۰۱۳. - bp.org.

Gnansounou Edgard Assessing the energy vulnerability: Case of industrialised countries [Journal]. - Switzerland : Energy Policy, ۲۰۰۸. - ۱۰ : Vol. ۳۶.

Gupta Eshita Oil vulnerability index of oil-importing countries [Journal]. - India : Energy Policy, ۲۰۰۸. - ۳ : Vol. ۳۶.

Hughes Larry and Shupe Darren Applying the four 'A's of energy security as criteria in an energy security ranking method [Book Section] // The Routledge Handbook of Energy Security / book auth. Sovacool Benjamin K.. - New York : Taylor & Francis, ۲۰۱۱.

IEA Energy security and climate change policy interactions [Report]. - Paris : IEA, ۲۰۰۷.

IEA The IEA Model of Short-term Energy Security [Report]. - Paris : IEA, ۲۰۱۱.

Kessels John Measuring security of energy supply with two diversity indexes [Book Section] // The Routledge Handbook of Energy Security / book auth. Sovacool Benjamin K.. - New York : Taylor & Francis, ۲۰۱۱.

Kessels John, Bakker Stefan and Weztelaer Bas Energy Security and the role of coal [Book]. - London : IEA Clean Coal Center, ۲۰۰۸.

Kruyt Bert [et al.] Indicators for energy security [Book Section] // The Routledge Handbook of Energy Security / book auth. Sovacool Benjamin K.. - New York : Taylor & Francis, ۲۰۱۱.

Olz Contributions of renewables to energy security [Report]. - Paris : IEA: Energy technology perspectives: scenarios and strategies to ۲۰۵۰, ۲۰۰۶.

Schwab Klaus The Global Competitiveness Report ۲۰۱۲-۲۰۱۳ [Report]. - Geneva : World Economic Forum, ۲۰۱۲.

Sheepers [et al.] EU standards for energy security of supply [Report]. - Netherlands : ECN, ۲۰۰۶.

Sheepers [et al.] EU Standards for Energy Security of Supply; Updates on the Crisis Capability Index and the Supply/Demand Index Quantifi cation for EU-۲۷ [Report]. - Netherlands : ECN, ۲۰۰۷.

Sovacool Benjamin K. and Brown Marylin A. Measuring energy security performance in the OECD [Book Section] // The Routledge Handbook of Energy Security / book auth. Sovacool Benjamin K.. - New York : Taylor & Francis, ۲۰۱۱.

Sovacool Benjamin K. Introduction: Defining, measuring, and exploring energy security [Book Section] // The Routledge Handbook of Energy Security. - New York : Taylor & Francis, ۲۰۱۱.

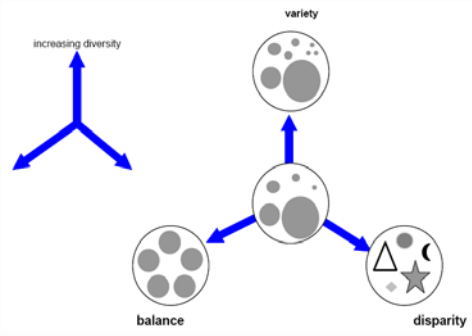
Sovacool Benjamin K. the routledge handbook of energy security [Book]. - New York : Taylor & Francis, ۲۰۱۱. - ۰۲۰۳۸۳۴۶۰۷.

Yergin Daniel The Prize, the epic quest for oil money and power [Book]. - New York : Simon & Schuster, ۱۹۹۱. - ۰-۶۷۱-۵۰۲۴۸-۴.

ضمیمه ۱

شاخص‌های ساده ارزیابی امنیت انرژی

- **تخمین‌های منبع:** مقدار واقعی موجودی و یا قابلیت دستیابی داشتن به منابع انرژی و همچنین ذخائر باقیمانده برای امنیت انرژی از اهمیت فراوانی برخوردار است. در عین حال عدم قطعیت، نااطمینانی و ریسک از موارد ذاتی انرژی های پایان پذیر است.
- **نسبت ذخیره به تولید:** این شاخص نشان دهنده مقدار زمان و یا سالهایی است که یک منبع با حفظ تولید فعلی می تواند عرضه ای مطمئن را ارائه نماید. اما روشن است که هم مقدار ذخائر در طول زمان متغیر است و هم مقدار تولید، بنابراین شاخص نسبت این دو نیز با تغییر زمان دینامیک خواهد بود.
- **شاخص‌های تنوع:** تنوع در نوع انرژی و موقعیت جغرافیایی یکی از ابزارهای مقابله با ریسک‌های عرضه است. آندرو استرلینگ در مقالات خود ۳ صفت را در مورد شاخص تنوع در نظر می گیرد: گوناگونی[۱]، توازن[۲] و ناهمسانی[۳]. گوناگونی تعداد اقلام و انواع را در نظر می‌گیرد. توازن به الگوی تقسیم مقدار کل به گروه‌های مختلف اختصاص دارد. مانند اینکه هر حامل انرژی چه سهمی از سبد انرژی اولیه را در اختیار دارد. ناهمسانی اختلاف میان گروه‌ها را که به طبیعت و درجه تفاوت مابین آنها بستگی دارد نشان می‌دهد. اختلاف ذاتا یک پدیده کیفی، ذهنی و مفهومی است. به همین دلیل اندازه گیری آن سخت و بلکه ناممکن است. اما برای دو سیستم با مقدار مساوی تعداد (گوناگونی) و توازن اقلام، آنکه اختلاف بیشتری داشته باشد، می توان گفت که تنوع بیشتری دارد. ارتباط مابین این سه متغیر در شکل زیر نشان داده شده است.



۱. variety
۲. balance
۳. disparity

شکل ۱ - ابعاد مفهومی تنوع (ملکی, ۱۳۹۲)

- **وابستگی به واردات:** شاخص شانون برای اندازه گیری وابستگی اقتصادی خالص به واردات[۱] و تنوع سوخت به شرح زیر است:

$$NEID = \frac{\sum_i m_i P_i \, LnP_i}{\sum_i P_i \, LnP_i}$$

که در آن m_i سهم واردات خالص از حامل انرژی i و P_i سهم حامل انرژی i از کل انرژی کشور و یا بنگاه است. هرچه مقدار این شاخص بزرگتر باشد، به معنای کمتر بودن امنیت انرژی است. این شاخص نشان دهنده وابستگی کشور و یا بنگاه به واردات هم از لحاظ مواد خام و هم محصولات پالایش شده است.

- **ثبات سیاسی:** ریسک های متعددی در زمینه عرضه، تقاضا و همچنین بازار انرژی همراه با جریان تولید، انتقال و مصرف است. همچنین موقعیت سیاسی در کشورهای تولید کننده نفت و گاز از اهمیت خاصی برخوردار است. همچنان تولید عمده نفت و گاز جهانی در اختیار شرکت های دولتی تولید و عرضه کننده انرژی قرار دارد و ثبات سیاسی در کشورها می تواند شاخص مناسبی برای امنیت درازمدت عرضه باشد. برخی از مراکز تحقیقاتی و شرکت های مشاوره‌ای سعی در عددی نمودن موقعیت سیاسی کشورها و ارائه چشم‌انداز به کشورهای دیگر و بنگاه‌ها برای سرمایه‌گذاری نموده‌اند. روش کار این گونه مراکز متفاوت است. راهنمای بین المللی ریسک کشورها (ICRG) یکی از این نمونه‌هاست. برخی دیگر از مطالعات مربوط به توسعه انسانی و گزارش برنامه عمران ملل متحد در مورد شاخص توسعه انسانی سود می برند.

- **قیمت انرژی:** قیمت می تواند شاخصی از امنیت عرضه و یا تقاضا باشد. در منابع پایان پذیر قیمت بیان کننده کمیابی و پایان پذیری مخزن نیز می تواند باشد. در این میان قیمت نفت نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کند و یکی از شاخص‌های امنیت انرژی است.

- **سهم سوختهای بی‌کربن:** مرکز پژوهشهای انرژی آسیا –اقیانوس آرام[۲] تلاشهایی را که یک اقتصاد برای دور شدن از سوختهای کربنی یا فسیلی به عمل می‌آورد شاخصی برای قابل قبول بودن آن سیستم انرژی در چارچوب امنیت انرژی در نظر می‌گیرد.[۳] این شاخص می‌تواند با استفاده از سهم

۱. NEID: Net economy’s import dependency

۲. APERC: Asia-Pacific Energy Research Center

۳. APERC, A quest for energy security in the ۲۱st century

انرژی‌های تجدیدپذیر یا هسته‌ای در سبد انرژی اولیه هر کشور محاسبه شود. محتوای کربن سوخت یا به عبارت دیگر نسبت کربن به انرژی آزاد شده نیز می‌تواند شاخصی در این زمینه باشد.[۱]

- **سیالیت یا نقدشوندگی بازار:** سیالیت بازار یعنی توانایی بازار برای غلبه بر نوسانات عرضه و تقاضا و به همین دلیل برای امنیت انرژی موضوع مهمی است. آژانس بین‌المللی انرژی در گزارش خود (آژانس, ۲۰۰۷) از این شاخص به صورت تابعی نمایی از نسبت مصرف یک سوخت به کل موجودی آن در بازار تعریف می‌کند. این مفهوم با کشش قیمت[۲] در ارتباط است و گاهی نیز به صورت نسبت تغییر حجم تجارت یک بازار به تغییر قیمت در آن تعریف می‌شود. (کرویت, و غیره, ۲۰۱۱) اگر این ضریب کوچکتر از یک باشد یعنی کشش‌ناپذیری قیمت، ثبات بالا و سیالیت بالای آن است و اگر این ضریب بزرگتر از یک باشد قیمت کشش‌پذیر و سیالیت بازار کم است.

۴- برت کرویت، دتلف ون وورن ، شاخصهایی برای امنیت انرژی

۲. Price elasticity

ضمیمه ۲

شاخص‌ها تجمیعی مورد اشاره در متن در ادامه توضیح داده شده اند:

شاخص آسیب‌پذیری انرژی

مطالعه آزمایشگاه سیستمهای انرژی سوییس که توسط آقای گنانسونو انجام شده ابتدا ۵ معیار برای آسیب‌پذیری انرژی تعریف می‌کند و سپس دسته‌کشورهای صنعتی را به عنوان دسته اصلی مورد بحث انتخاب می‌کند و با مقایسه نسبی کشورهای این دسته با در نظر گرفتن هر یک از معیارهای ۵ گانه، اعدادی بدون بعد و بین ۰ و ۱ را به هر معیار نسبت می‌دهد. سپس با استفاده از جذر میانگین مجذور این معیارها، معیار واحد را برای آسیب‌پذیری انرژی این کشورها ارائه می‌دهد. شورای جهانی انرژی نیز از چنین روشی برای ارزیابی امنیت انرژی کشورهای مختلف استفاده کرده است. (گنانسونو, ۲۰۰۸)

میل به پرداخت

بولن شاخص تجمیعی دیگری برای امنیت انرژی ارائه می‌دهد. این شاخص که میل به پرداخت[۱] نام دارد، بیانگر آن است که یک کشور حاضر است چه درصدی از تولید ناخالص داخلی خود را صرف کاهش مخاطرات امنیت انرژی بکند. فرض بر آن است که کشورها برای کاهش مخاطرات امنیت انرژی بیشتر تمایل دارند که درآمد خود را صرف بهبود این سه شاخص کنند: سهم واردات در سبد انرژی، نسبت نفت و گاز در کل مصرف انرژی و شدت انرژی. بر همین اساس شاخص زیر تعریف می‌شود.

$$IMP_{t,r} = A \times i_{t,r}^{\alpha} \times c_{t,r}^{\beta} \times E_{t,r}^{\gamma}$$

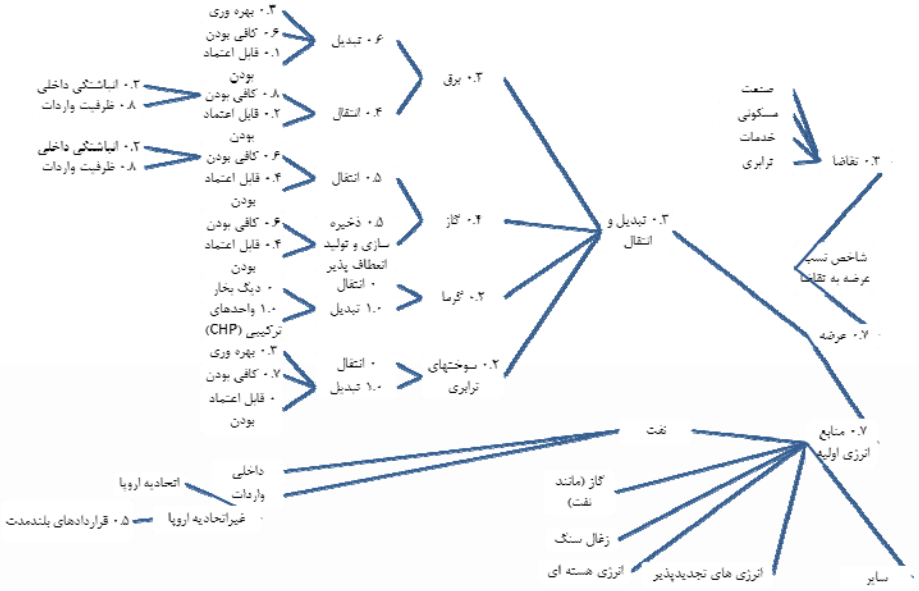
که در آن i نسبت واردات سوخت، c سهم آن سوخت در عرضه کل انرژی اولیه، E شدت انرژی، A ثابت درجه‌بندی هر منطقه از منظر امنیت انرژی در زمان $t=۰$ و سرانجام α، β و γ نماهایی به ترتیب برابر با ۱.۱، ۱.۲ و ۱.۳ هستند. (بولن, ۲۰۰۸)

شاخص نسبت عرضه به تقاضا

در این شاخص عوامل مختلف اثرگذار بر امنیت بلندمدت انرژی با نظرات کارشناسان وزن‌دهی می‌شوند و شاخص تجمیعی نه‌چندان پیچده‌ای به دست می‌آید. این عوامل مواردی چون سهم سوختها، مبادی

۱. Willingness to pay

عرضه، بهره‌وری، ذخیره‌سازی، ظرفیت شبکه و ظرفیت پالایش هستند. (شیپرز, و غیره, ۲۰۰۷) این شاخص بر اساس نمودار زیر به داده‌های عینی مورد اشاره وزنهایی ذهنی می‌دهد و در نتیجه شاخصی برای امنیت انرژی ایجاد می‌کند. هر چه میزان این شاخص بیشتر باشد نشان‌دهنده وضعیت بهتر امنیت انرژی است. (کسلس, ۲۰۱۱) بر این اساس وزن ۰.۳ برای تقاضا و وزن ۰.۷ برای عرضه در نظر گرفته شده است. بخش عرضه خود به دو بخش تبدیل و انتقال و منابع انرژی اولیه، به ترتیب با وزنهای ۰.۳ و ۰.۷ تقسیم می‌شود.



شکل ۲ – وزن‌ها و سهم‌های مورد استفاده در شاخص نسبت عرضه به تقاضا (شیپرز, و غیره, ۲۰۰۷)

شاخص آسیب‌پذیری نفت

گوپتا بر اساس هفت شاخص اصلی زیر شاخصی تجمیعی برای آسیب‌پذیری نفت ارائه می‌کند. (گوپتا, ۲۰۰۸) این شاخص‌های عبارتند از:

- نسبت ارزش واردات نفت به تولید ناخالص داخلی
- نفت مصرفی به ازای هر واحد تولید ناخالص داخلی
- سرانه تولید ناخالص داخلی
- سهم نفت در عرضه کل انرژی
- نسبت ذخایر داخلی به مصرف نفت

- قرار داشتن در معرض مخاطرات ژئوپلتیک منابع نفت که در قالب وابستگی به واردات خالص نفت، تنوع منابع عرضه و مخاطره سیاسی در کشورهای عرضه کننده سنجیده می‌شود.
- سیالیت بازار

این عناصر در قالب شاخصی کلی تلفیق می‌شوند که وزن هر عنصر در آن بر اساس روشی آمار به نام تحلیل مؤلفه اصلی[1] تعیین می‌شود. در این روش به جای اتکا به قضاوتهای ذهنی کارشناسان از کوواریانس شاخص‌های فوق برای نسبت دادن وزن به آنها استفاده می‌شود.

امنیت انرژی بر پایه ۴ بعد آن[2]

هیوز در مطالعه خود (هیوز, و غیره, ۲۰۱۱) ابتدا ۴ بعد امنیت انرژی یعنی فراهم بودن، در دسترس بودن، قابل خرید بودن و قابل قبول بودن را به عنوان معیارهایی برای ارزیابی امنیت انرژی در نظر می‌گیرد. این مطالعه با استفاده از روش تحلیل تصمیم چندمعیاره[3] سعی می‌کند ماتریس تصمیمی شکل دهد که در آن a سطر (یک سطر به ازاء هر مدل یا گزینه پیشنهادی برای تأمین انرژی) و c ستون (یک ستون به ازاء هر شرط که در اینجا ۴ شرط می‌باشد) وجود دارد. هر درایه این ماتریس $r_{i,j}$ برابر است با رتبه گزینه i ام با توجه به معیار j ام. به این ترتیب هر ستون این ماتریس رتبه‌بندی‌ای از گزینه‌ها با توجه به یکی از معیارها را نشان می‌دهد.

این مطالعه سپس با بیان اینکه برای وزن‌دهی به معیارها از روش مقایسه دودویی و استفاده از نظر کارشناسان بهره می‌برد، وزن پیشنهادی‌ای برای هر یک از ۴ معیار ارائه داده است. ضمنا برای ارزیابی معیارها، شاخص‌هایی کمی را تولید و آنها را نرمال کرده است. به عنوان نمونه برای ارزیابی فراهم بودن هر منبع انرژی، سهم آن را در کل عرضه کنونی به عنوان شاخصی کمی ارزیابی در نظر گرفته است.

شاخص سنجش عملکرد امنیت انرژی کشورهای پیشرفته

سوواکول در مطالعه خود (سوواکول, و غیره, ۲۰۱۱)، معیارهایی برای ارزیابی ۴ بعد امنیت انرژی پیشنهاد می‌دهد. این معیارها و توضیح آنها در جدول زیر آمده است. وی سپس با استفاده از اطلاعات موجود برای

۱. Principal component analysis (PCA)

۲. ۴As of Energy Security

۳. Multi-criteria decisison analysis

کشورهای صنعتی عضور سازمان همکاری اقتصادی و توسعه[1]، هر یک از معیارهایی که در ستون انتهایی جدول زیر دیده می‌شود محاسبه کرده است.

جدول ۶ – تعریف و سنجش امنیت انرژی با روش سوواکول (سوواکول, و غیره, ۲۰۱۱)

معیارها	ارزشهای اساسی	توضیح	شاخص‌ها
فراهم بودن	استقلال تنوع قابل اعتماد بودن	تنوع سوختهای مصرفی برای تأمین خدمات انرژی و نیز محل تأسیساتی که این سوختها را مصرف می کنند، ترویج نظامهای انرژی که بتوانند پس از حمله یا بروز اختلال به سرعت به حال عادی خود بازگردند و به حداقل رساندن وابستگی به عرضه کنندگان خارجی	وابستگی به واردات نفت
			وابستگی به واردات گاز
			وابستگی به فراورده های نفتی حمل و نقل
قابل خرید بودن	برابری	تأمین خدمات انرژی که برای مصرف کنندگان قابل خرید باشد و به حداقل رساندن ناپایداری قیمت	قیمتهای خرده فروشی برق
			قیمتهای خرده فروشی بنزین
بهره‌وری انرژی	نوآوری مراقبت از منابع به حداقل رساندن اتلاف انرژی	بهبود عملکرد تجهیزات انرژی و تغییر نگرش مصرف کنندگان	شدت انرژی
			سرانه مصرف برق
			مصرف سوخت خودروها در جاده
اداره محیط زیست	پایداری زیست محیطی	حفاظت از محیط زیست و نسلهای آینده	میزان انتشار دی اکسید گوگرد
			میزان انتشار دی اکسید کربن

سوواکول در ادامه با استفاده از رابطه زیر نمره z [2] هر یک از کشورها را محاسبه کرده است.

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

که در آن x مقدار داده (مثلا میزان وابستگی به واردات نفت)، μ میانگین داده‌های موجود برای کشورهای پیشرفته و σ انحراف معیار این داده‌ها است. به این ترتیب سوواکول توانسته است مقایسه‌ای نسبی بین کشورهای پیشرفته صنعتی انجام دهد. نکته مهم آنکه در چنین روشی هیچ یک از معیارهای ۱۰گانه ارائه شده ارجحیتی نسبت به دیگری ندارد و وزن همه آنها در ارزیابی امنیت انرژی یکسان فرض شده است.

۱. Organization for economic cooperartion and development (OECD)

۲. Z-score

مدل امنیت انرژی کوتاه‌مدت آژانس بین المللی انرژی

آژانس بین‌المللی انرژی مدلی برای ارزیابی کوتاه‌مدت امنیت انرژی کشورها ارائه کرده است. (آژانس, ۲۰۱۱) این مؤسسه با تدوین این مدل قصد دارد برای پاسخ به مخاطرات امنیت انرژی، مدلی برای ارزیابی و مقایسه امنیت انرژی کشورها توسعه دهد. این مدل کشورها را از بالا به پایین مرتب نمی‌کند بلکه آنها را در گروه‌های مشابه دسته‌بندی می‌کند. گروه‌هایی که از نظر عوامل ریسک۱ و مقاومت و انعطاف‌پذیری۲ در برابر آن عوامل، شبیه به یکدیگر هستند. این مدل برای ارزیابی امنیت عرضه، ۷ حامل اولیه انرژی شامل نفت خام، گاز طبیعی، زغال‌سنگ، انرژی زیست‌توده و دورریز، انرژی برق‌آبی، انرژی زمین‌گرمایی و انرژی هسته‌ای و ۲ حامل ثانویه شامل فروارده‌های نفتی و سوختهای زیستی را بررسی می‌کند.

تهیه‌کنندگان این مدل معتقدند اگر چه بحث امنیت انرژی از امنیت تأمین نفت شروع شده‌است اما به آن ختم نمی‌شود و در مورد سایر حاملهای انرژی نیز مطرح است. مدل امنیت انرژی کوتاه‌مدت آژانس به آسیب‌پذیری‌های سیستم انرژی در برابر اختلالات فیزیکی‌ای که چند روز یا چند هفته طول می‌کشند می‌پردازد. این مدل ریسکهای داخلی و خارجی و توانایی مقابله کشورها را مورد بررسی قرار می‌دهد و رویکرد آن سیستم عرضه انرژی است و طی آن نشان داده می‌شود آسیب‌پذیری بخشهای مختلف چه اثری بر خدمات انرژی دارد.

در این مدل ابعاد مختلف امنیت انرژی با دو معیار سنجیده می‌شود. نخست؛ خارجی و داخلی بودن و دوم؛ ریسک و توانایی مقابله. به این ترتیب ریسکهای داخلی، ریسکهای خارجی، توانایی‌های مقابله با منشاء داخلی و توانایی‌های مقابله با منشاء خارجی چهار دسته معیار برای ارزیابی ابعاد امنیت انرژی خواهند بود.این دسته‌بندی چهارتایی در جدول زیر بیان شده است:

جدول ۷ـ ریسک‌ها و توانایی‌های مقابله داخلی و خارجی در مدل امنیت انرژی کوتاه مدت IEA (آژانس, ۲۰۱۱)

	ریسک	توانایی مقابله
خارجی	ریسکهای خارجی: ریسکهای مرتبط با اختلال در واردات انرژی	توانایی مقابله خارجی: توانایی مقابله با اختلالات واردات با استفاده از جایگزین کردن سایر عرضه‌کننده‌ها
داخلی	ریسکهای داخلی: ریسکهای موجود در تولید داخلی انرژی و انتقال انرژی	توانایی مقابله داخلی: توانایی داخلی برای مقابله با اختلالات عرضه انرژی مانند ذخایر سوخت

۱. Risk

۲. Resilience

این مدل هر یک از حاملها و منابع انرژی را از این ۴ منظر بررسی می‌کند. این بررسی با استفاده از معیارهایی انجام می‌شود که دست‌کم به یکی از این ۴ جنبه مرتبط است. این مدل در مجموع ۳۵ معیار برای ۸ حامل یا منبع انرژی ارائه می‌کند.

در گام بعدی برای هر معیار محدوده‌ای مشخص می‌شود که بر اساس آن سیستم عرضه انرژی کشور مورد نظر به دسته‌های با آسیب‌پذیری کم، زیاد و متوسط تقسیم می‌شود. برای نمونه برای نفت خام، معیارهای یاد شده مطابق جدول زیر دسته‌بندی می‌شود. در آخر هم این ارزیابی‌ها با یکدیگر ترکیب می‌شوند و سطح امنیت انرژی هر کشور در مورد هر حامل انرژی یا منبعی معلوم می‌گردد.

جدول ۸ – بازه شاخص‌های ارزیابی بخش نفت در مدل امنیت انرژی کوتاه مدت IEA (آژانس، ۲۰۱۱)

ابعاد	معیارها		واحد	کم		متوسط		زیاد
ریسک‌های خارجی	وابستگی خالص به واردات		٪	کمتر از ۱۵		۴۰-۶۵		بیشتر از ۸۰
	پایداری سیاسی عرضه‌کننده‌ها		OECD	کمتر از ۲.۵		بیشتر از ۲.۹		
ریسک‌های داخلی	نسبت تولید فراساحل		٪	کمتر از ۱۵		بیشتر از ۹۰		
	ناپایداری تولید داخل		٪	کمتر از ۲۰		بیشتر از ۲۰		
توانایی‌های خارجی	تنوع عرضه‌کننده‌ها		اندیس هرفیندل هیرشمن[1]	بیشتر از ۰.۸		۰.۳ تا ۰.۸		کمتر از ۰.۳
	مبادی ورودی	بنادر	تعداد	–	۱	۲	۳ تا ۴	بیشتر از ۵
		خطوط لوله	تعداد	۱	۲	۳ تا ۴	۵ تا ۸	بیشتر از ۹
توانایی‌های داخلی	سطح ذخیره‌سازی متوسط		روز	کمتر از ۱۵		۲۰ تا ۵۰		بیشتر از ۵۵

۱- تنوع عرضه‌کننده‌ها با استفاده از شاخص هرفیندل-هیرشمن محاسبه می‌شود. $D = \sum_i P_i^2$ که در آن Pi سهم بازار عرضه-کننده i ام است.کاهش D به معنی افزایش تنوع است.

ضمیمه ۳

مصاحبه‌های مورد اشاره در متن، با کارشناسان مختلف خبره در سازمانهای مختلف انجام شد که برخی از آنها عبارتند از:

- سازمان پدافند غیرعامل
- مرکز پژوهشهای مجلس شورای اسلامی
- پژوهشکده مدیریت بحران مجتمع دانشگاه آمایش و پدافند غیرعامل دانشگاه صنعتی مالک اشتر
- اساتید و دانشجویان دکترای دانشکده سیستم‌های انرژی دانشگاه صنعتی شریف
- کارمندان سابق وزارت نفت به ویژه کارشناس سابق سازمان کشورهای صادرکننده نفت
- مسئولین HSE شرکت ملی نفت
- مسئولین HSE وزارت نفت
- مدیران و کارشناسان مؤسسه بین‌المللی مطالعات انرژی
- کارشناسان شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت
- کمیسیون انرژی شورای عالی علوم تحقیقات و فناوری