

دوازدهمین همایش بین المللی انرژی

پیشنهاد شاخص‌های جدید برای تبادلات انرژی الکتریکی ایران با کشورهای منطقه به منظور تبدیل ایران به هاب انرژی الکتریکی

مونا رنجبر*، همایون برهمندپور، وحید گوهری صدر*، امید غلامی*

پژوهشگاه نیرو، پژوهشگاه نیرو، شرکت توانیر، شرکت توانیر

*کارگروه C1.35 سیگره ایران

mranjbar@nri.ac.ir, hberahmandpour@nri.ac.ir, gohari@tavanir.org.ir, o.gholami@tavanir.org.ir

چکیده

ایران کشوری است که با داشتن پیشینه نسبتاً طولانی در تبادلات انرژی الکتریکی و نیز ظرفیت بالای تولید و انتقال برق در منطقه از یک سو و همچنین موقعیت ممتاز ژئوپلیتیکی در منطقه از سوی دیگر، می‌تواند نقش‌آفرینی قابل توجهی در تجارت انرژی الکتریکی داشته باشد. تبدیل ایران به قطب تجارت و تبادلات برق منطقه، از سیاست‌های کلان کشور است که دستیابی به آن نیازمند برنامه‌ریزی مطلوب و همچنین شاخص‌هایی برای ارزیابی وضعیت کشور در دستیابی به این هدف راهبردی است. در تازه‌ترین تحولات در این مسیر و در نشست‌های شورای راهبری مدیریت استراتژیک صنعت برق، شاخص‌های جدیدی برای توسعه تجارت برق کشور پیشنهاد شده که خود نگرش مناسبی را در این زمینه نشان می‌دهد. در این مقاله ضمن مرور سیاست‌های کلان کشور در تجارت خارجی برق، شاخص‌های کمی‌ساز و ارزیابی‌کننده تجارت برق ایران مورد بررسی قرار گرفته و در این راستا علاوه بر شاخص‌های مصوب شورای راهبری مدیریت استراتژیک صنعت برق، شاخص‌های جدیدی پیشنهاد و مقادیر عددی آنها با استفاده از اطلاعات موجود برای تبادلات برق ایران در سال‌های گذشته محاسبه و تحلیل گردیده است. انتظار می‌رود با برقراری روش مناسب کمی‌سازی و ارزیابی وضعیت تجارت برق ایران در منطقه و در ادامه، برنامه‌ریزی در جهت تقویت و بهبود شاخص‌های مورد نظر، بتوان مسیر حرکت به سمت توسعه تجارت خارجی برق ایران و ارتقاء وضعیت کشور به هاب انرژی الکتریکی منطقه را ترسیم و حرکت در این مسیر را تسریع نمود.

کلید واژه

تجارت خارجی برق - شاخص‌های تجارت برق - تبادل و ترانزیت برق - امنیت انرژی - هاب انرژی الکتریکی

دوازدهمین همایش بین‌المللی انرژی

مقدمه

حجم صادرات و یا واردات (تبادلات) برق برای ارزیابی نقش کشور در عرصه تبادلات منطقه تغییر کرده و سیاست‌هایی در جهت تاثیرگذاری ایران در تبادلات و تجارت برق منطقه مورد توجه قرار گرفته است [۱-۳]. همچنین شاخص‌هایی برای نیل به این سیاست‌ها و ارزیابی عملکرد در جهت دستیابی به اهداف کلان در زمینه توسعه تجارت خارجی برق از سوی دفتر تجارت خارجی برق شرکت توانیر پیشنهاد گردیده است. در این مقاله در نظر است با بررسی کلی در خصوص شاخص‌های اولیه پیشنهادی برای رشد تجارت برق کشور در منطقه و دستیابی به هدف راهبردی هاب انرژی الکتریکی، شاخص‌های دیگری برای تحقق این هدف پیشنهاد و تحلیل و بررسی گردند تا بدین‌وسیله افق‌های جدیدی برای توسعه تجارت خارجی برق و گذر از رویکرد صرفاً تبادل برق دو طرفه با کشورهای همسایه به رویکرد تجارت برق و ارائه برق به عنوان یک کالای اقتصادی در منطقه گشوده شود.

۱. سیاست‌گذاری کلان تجارت خارجی برق

کشور ایران از نزدیک به سه دهه پیش تبادل برق را با کشورهای همسایه آغاز نموده است. در سال ۱۳۷۱ ایران مبادله برون‌مرزی برق را با جمهوری آذربایجان آغاز نمود. از آن تاریخ تاکنون همواره تبادلات انرژی الکتریکی ایران با کشورهای همسایه روند افزایشی داشته و هم‌اینک ایران با تمامی همسایگان دارای مرز خشکی، تبادل انرژی الکتریکی دارد. در طی این مدت و با توسعه زیرساخت‌های تبادل برق با کشورهای همسایه از یک سو و رشد کمی میزان تبادلات برق از سوی دیگر، میزان تبادل برق با کشورهای همسایه همواره به عنوان یک شاخص عملکردی مهم برای ارزیابی بخش تبادلات خارجی برق ایران مورد نظر بوده است.

لکن در ادبیات جدید بین‌المللی، برق و انرژی الکتریکی به مثابه یک کالای تجاری دارای ساز و کار اقتصادی خاص خود بوده و در این مسیر مشابه سایر کالاهای اقتصادی، بازار ویژه خود را برای داد و ستد و تعاملات بین‌المللی یافته است. بنابراین می‌توان گفت اهداف ایجاد ارتباطات الکتریکی بین کشورها به منظور تبادلات برق در ابتدا و ایجاد بازار منطقه‌ای برق در حالت بلوغ یافته آن، به شرح ذیل است:

یکی از سیاست‌ها و راهبردهای کلان کشور در حوزه صنعت برق، رشد تجارت خارجی برق^۱ و تعیین نقش تاثیرگذار و راهبردی کشور در این حوزه است. تحقق سیاست کلان ایفای نقش هاب انرژی الکتریکی^۲ منطقه و نیز مرکز راهبری برق منطقه^۳ برای کشور نیز در همین راستا قابل ارزیابی است. تجربه سه دهه تبادلات برق ایران با کشورهای همسایه، هم‌اینک بستر بسیار مطلوبی را برای ارتقای نقش ایران از صرفاً صادرکننده و یا واردکننده انرژی الکتریکی به شکل دو طرفه با کشورهای همسایه، به مرکز تبادل انرژی الکتریکی منطقه و نیز محوریت ارتباط شبکه‌های مختلف برق در منطقه ایجاد کرده است که بدین‌شکل موجب ارتقاء نقش تبادلات برق برای ایران از صرف صادرات یا واردات برق به تجارت خارجی برق و محل امن و مطمئنی برای عرضه این کالای مهم و استراتژیک در منطقه می‌گردد.

بر همین اساس و با توجه به نقش حاکمیتی دفتر تجارت خارجی برق شرکت توانیر در تبیین و تثبیت نقش ایران در تجارت خارجی برق در منطقه و تحقق سیاست کلان هاب انرژی الکتریکی برای ایران، نیاز به نقشه‌راه و هدف‌گذاری‌های کلانی است تا بر اساس آن برنامه‌ریزی‌های اجرایی و عملیاتی صورت گرفته و مسیر دستیابی به اهداف کلان و راهبردی هموار گردد. در کنار این هدف‌گذاری‌ها، شاخص‌ها و معیارهایی به عنوان سنجه‌های ارزیابی وضعیت تجارت خارجی برق و نحوه نیل به اهداف کلان، مورد نیاز است تا توسط آنها بتوان میزان نزدیکی و دستیابی به اهداف را مشخص نمود و برنامه‌ریزی‌های لازم را جهت تسریع در دستیابی به اهداف، مدنظر قرار داد.

تا چندی پیش تنها شاخص ارزیابی وضعیت تجارت خارجی برق ایران و به تعبیر ساده‌تر، تبادل برق ایران با کشورهای همسایه، حجم تبادل برق بود که بر اساس واحد انرژی الکتریکی سنجیده می‌شود. لکن با توجه به مطالب فوق و به منظور تنوع‌بخشی به شاخص‌ها و معیارهای ارزیابی تجارت خارجی برق، در حال حاضر رویکرد صرفاً

¹ Cross-Border Electricity Trade (CBET)

² Electricity Hub

³ Regional Electricity Dispatching Center

دوازدهمین همایش بین‌المللی انرژی

اینکه در شرایطی که مبادلات کشورها صرفاً محدود به صادرات برق شود، همواره امکان از دست دادن بازارهای هدف وجود دارد و کشور خریدار ممکن است نیازهای مصرفی خود را از داخل کشور و یا کشور فروشنده دیگری تأمین کند. اما با گسترش بازار منطقه‌ای بین کشورها به دلیل اینکه کشورها و مشترکین بدنبال برق مطمئن و ارزان‌تر هستند، مبادلاتشان همانند بازارهای داخلی از اصول اقتصادی تبعیت می‌کند و هیچ زمان مبادلات متوقف نخواهد شد. به عنوان مثال در مبادلات برق کشورهای اروپایی به وضوح مشاهده می‌شود که کشورها عمدتاً به تبادل برق براساس ساز و کار بازار اقدام می‌کنند و ارتباطات الکتریکی بین کشورها همواره تداوم داشته است.

ز) از منظر سیاسی و امنیتی، صادرات و تبادل برق می‌تواند موجبات ثبات وابستگی بیشتر کشورهای منطقه و همسایه به ایران را فراهم آورد. بر مبنای اقتضائات جهانی و رویه‌های حاکم بر سیاست‌های بخش انرژی جهانی، یکی از مهم‌ترین الزامات مبادلات انرژی می‌تواند مبتنی بر پیوند دادن سیاسی و اقتصادی کشورهای همسایه و منطقه به یکدیگر برای کسب منافع متقابل باشد. با اتصال شبکه برق کشور به دیگر مناطق جهان، نظیر خطوط انتقال به سمت روسیه، اروپا، شمال آفریقا و تعبیه خطوط دریایی به کشورهای حاشیه خلیج فارس و در نتیجه شکل‌گیری مستمر تبادل انرژی الکتریکی و صادرات، می‌توان شرایط سیاسی و امنیتی پایدار و به دور از تنش‌های حاد سیاسی را برای ایران و دیگر همسایگان ایجاد نمود.

به همین خاطر در دیدگاه تجارت خارجی برق ایران، لزوم ایجاد تحول جدیدی احساس شده که بر اساس آن ارزیابی مبادلات برق صرفاً بر مبنای تک‌شاخص میزان انرژی تبدالی، جای خود را به رویه‌ای چندشاخصه دهد که در آن هر شاخص یکی از ابعاد و مزیت‌های نسبی تجارت خارجی برق را نشان می‌دهد. در این صورت می‌توان انتظار داشت که با تحقق تمامی شاخص‌های موثر در تجارت خارجی برق ایران، بتوان نقش هاب انرژی الکتریکی را برای ایران به نحو احسن ایجاد و تثبیت نمود.

۲. شاخص‌های اقتصادی تبادل برق بین کشورها

اصلی‌ترین انگیزه و محرک در شکل‌گیری تجارت برق در نواحی مختلف دنیا، شاخص‌های اقتصادی و مزیت‌های

الف) در تبادل برق به جای اختصاص بخش قابل توجهی از ظرفیت نصب شده به عنوان ظرفیت ذخیره، از سایر کشورهای طرف مبادله و قرارداد در جهت تأمین این ظرفیت استفاده می‌شود. بدین ترتیب از سرمایه‌گذاری برای ایجاد ظرفیت ذخیره اضافی در شبکه برق اجتناب به عمل می‌آید. در حال حاضر در محاسبات برنامه‌ریزی تولید برق، ذخیره تولید برق بین ۱۰ تا ۲۰ درصد نیاز مصرف شبکه در نظر گرفته می‌شود که با افزایش مبادلات برق به خصوص در شرایط گسترش بازار منطقه‌ای به میزان قابل توجهی قابل تقلیل است.

ب) تفاوت زمان اوج مصرف سالانه در زمستان و تابستان، اختلاف افق، تفاوت شرایط آب و هوایی و اقلیمی با کشورهای همجوار می‌تواند بازار مناسبی برای صدور و تبادل برق ایجاد کند. با توجه به اینکه زمان اوج مصرف برق در ایران در تابستان و در کشورهای همسایه شمالی در فصل زمستان است، این امکان وجود دارد که ظرفیت‌های مازاد برق کشورها در فصول تابستان و زمستان مبادله گردد.

ج) پشتیبانی از شبکه‌های برق به هم پیوسته در مواقع اضطراری، افزایش ضریب اطمینان شبکه سراسری و کاهش خاموشی‌های برق سیستم انتقال به هم پیوسته فراهم می‌گردد.

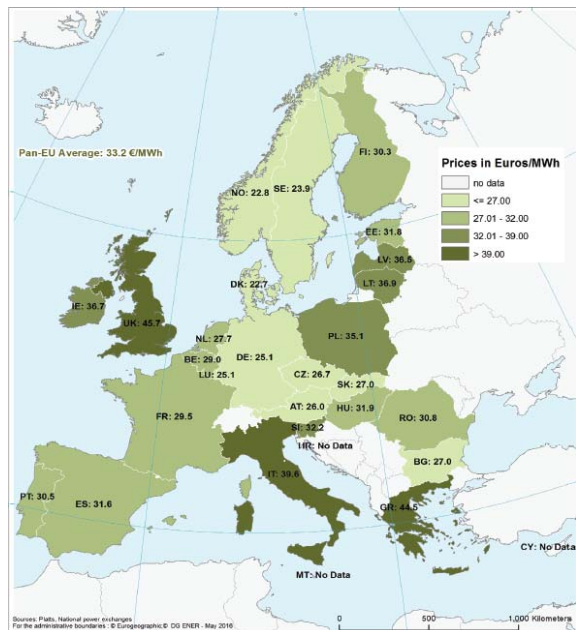
د) ایجاد اشتغال بیشتر، صدور خدمات فنی و مهندسی و صدور کالا و تجهیزات برقی به کشورهای مختلف در کنار تجارت برق با کشورهای منطقه فراهم می‌شود. در واقع افزایش مبادلات در بخش برق می‌تواند پایه و اساس صدور خدمات فنی و مهندسی با کشورهای طرف قرارداد باشد.

ه) وجود منابع عظیم سوخت‌های فسیلی به ویژه گاز طبیعی، همراه با شرایط اقلیمی و اختلاف افق با کشورهای همسایه، مزیت نسبی در تولید برق را در کشور فراهم کرده است. این امر در کنار ایجاد بازار برق در کشور، بستر مناسبی را برای تبادل برق ایجاد کرده و نهایتاً موجب کاهش هزینه تولید و افزایش کارایی در شبکه برق کشور خواهد شد.

و) کلیه مزایایی که در گسترش بازار برق داخلی مورد نظر است، که اهم آن دسترسی به برق ارزان و مطمئن می‌باشد، می‌تواند برای بازار منطقه‌ای برق نیز در نظر گرفت. ضمن

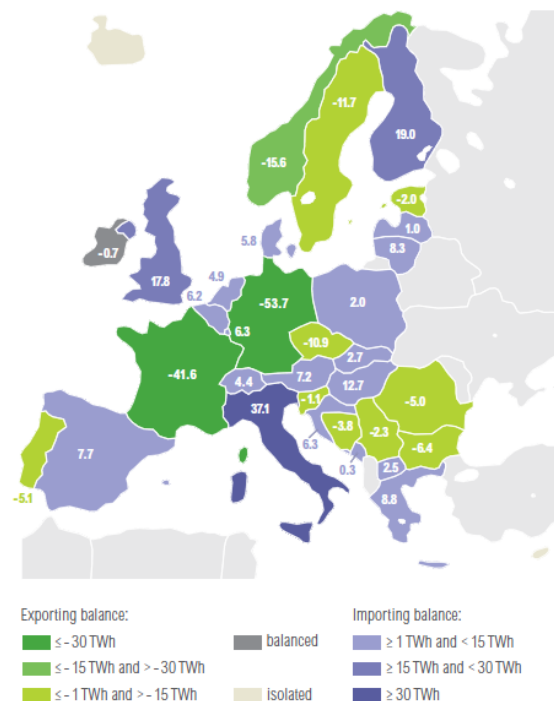
دوازدهمین همایش بین‌المللی انرژی

البته همانگونه که ذکر شد، پهنه‌بندی قیمت می‌تواند ثابت نبوده و با توجه به تغییرات مزیت‌نسبی تولید و همچنین میزان مصرف در طول سال، به شکل فصلی و یا روزانه تغییر کند.



شکل (۱): پهنه‌بندی قیمت برق در کشورهای اروپایی

EXCHANGE BALANCES IN 2016



شکل (۲): پهنه‌بندی تبادلات برق در کشورهای اروپایی

نسبی تولید در نقاط مختلف است. از آنجا که برق نیز همانند هر کالای اقتصادی دیگر دارای قیمت تمام‌شده‌ای است که بستگی به حامل اولیه آن و نیز فناوری تبدیل انرژی دارد، بنابراین قیمت تمام شده برق در مناطق مختلف متفاوت خواهد بود. بطور طبیعی جریان تجارت برق از قطب‌های تولید به سمت قطب‌های مصرف و به تعبیر دیگر از مناطق با قیمت تمام‌شده کمتر برای برق به مناطق با قیمت بیشتر (در حالت خاص نبود تولید، قیمت بی‌نهایت) برقرار می‌گردد. بنابراین شکل‌گیری تجارت و بازار برق بر اساس همین مزیت‌های نسبی خواهد بود. البته اختلاف در قیمت تمام شده برق در مناطق مختلف می‌تواند دائمی، فصلی و یا روزانه باشد. همچنین فزونی مصرف به تولید و نیاز به تولید اضافه نیز می‌تواند دائمی، فصلی و یا روزانه باشد. بر اساس این مزیت‌های نسبی است که انتقال انرژی الکتریکی توجیه پیدا کرده و باعث تجارت برق بین کشورها می‌گردد.

بر اساس مطالعات روز دنیا، در حال حاضر متداول‌ترین روش برآورد هزینه تمام شده برق در نیروگاه‌ها، روش هزینه یکنواخت برق یا هزینه هم‌تراز شده (LCOE^۴) می‌باشد [۴]. بر اساس این رویه، می‌توان به قیمت تمام‌شده برق بر دو پایه حامل اولیه تولید برق و فناوری بکار رفته در تبدیل انرژی دست یافت. همچنین روش‌های مختلفی وجود دارد که توسط آن می‌توان به قیمت تمام شده برق در نقاط مورد تبادل دست یافت که یکی از آنها روش هزینه حدی^۵ است. در [۵] مدلی اقتصادی پیشنهاد شده است که در آن تجارت برق بر اساس هزینه حدی مدلسازی می‌گردد. همچنین در [۶-۹] مراجع دیگری در خصوص مطالعات تجارت خارجی برق ارائه شده است.

شکل (۱) پهنه‌بندی قیمت برق در قاره اروپا را در سال ۲۰۱۶ نشان می‌دهد [۱۰]. همچنین در شکل (۲) پهنه‌بندی تراز صادرات و واردات برق در کشورهای اروپایی در سال ۲۰۱۶ نشان داده شده است [۱۱]. به سادگی قابل توجیه است که جریان انرژی الکتریکی در تجارت برون‌مرزی، از مناطق با قیمت پایین‌تر به مناطق با قیمت بالاتر می‌باشد.

^۴ Levelized Cost Of Electricity

^۵ Local Marginal Price (LMP)

دوازدهمین همایش بین‌المللی انرژی

۳. شاخص‌های معرفی‌شده برای تجارت خارجی برق کشور

در مدت چندماهه اخیر، دیدگاه‌های نوین و تازه‌ای در عرصه سیاست‌گذاری‌های کلان تبادلات برق ایران در منطقه و همچنین ارزیابی‌های لازم برای دستیابی به اهداف کلان این سیاست‌ها ایجاد گردیده است که دورنمای مناسبی را از تحولات جدید در این عرصه نشان می‌دهد.

در پانزدهمین نشست شورای راهبری مدیریت استراتژیک صنعت برق، دو شاخص مهم با هدف مرکزیت تبادل برق ایران در منطقه از سوی دفتر تجارت خارجی برق شرکت توانیر مطرح و مصوب شد. این دو شاخص شامل "سهم ایران از تبادلات برق منطقه" و "نرخ رشد حجم تبادل برق نسبت به سال گذشته" می‌باشد. این برای نخستین بار است که ارزیابی شاخص‌های تبادلات نه بطور مطلق و مجرد و فقط نسبت به تبادلات سال‌های قبل کشور، بلکه بطور نسبی و در قیاس با تبادلات منطقه صورت می‌گیرد. بدین ترتیب چشم‌انداز روشنی را برای مفهوم هاب انرژی الکتریکی منطقه برای ایران ایجاد می‌کند که در آن نه صرفاً افزایش تولید برق در داخل کشور و صادرات مازاد بر نیاز داخل به کشورهای منطقه، بلکه سهم تبادلات برق از مسیر ایران و سهم ایران در تجارت منطقه‌ای برق را در تحقق نقش هاب انرژی موثر می‌داند [۱].

در ادامه و در شانزدهمین نشست شورا نیز شاخص‌های جدید دیگری ارائه گردید [۲]. این شاخص‌ها شامل "تعداد اتصالات شبکه برق کشور به کشورهای فرامنطقه‌ای"، "تعداد کشورهای حاضر در بازار برق منطقه‌ای با محوریت ایران"، "ظرفیت تبادل همزمان برق"، "تعداد ارتباطات سنکرون با کشورهای همجوار"، "تعداد ارتباطات غیرسنکرون" و "میزان برق صادرشده از انرژی‌های تجدیدپذیر" می‌باشد. همچنان دیده می‌شود که رویکرد از تک‌شاخص میزان تبادلات برق، به چندشاخص نشان‌دهنده نقش و اثرگذاری ایران در تجارت برق منطقه تغییر کرده است.

بالاخره در هفدهمین نشست شورا که در پایان سال ۱۳۹۶ برگزار گردید، چهار شاخص با عنوان "کل برق تبادل شده سالیانه"، "رشد تبادل برق سالیانه"، "میزان بهره‌برداری از ظرفیت تبادل برق با کشورهای همسایه" و "وضعیت

تجارت برق ایران در منطقه" از سوی دفتر تجارت خارجی برق پیشنهاد گردید. در این راستا مقرر گردید که نحوه ارزیابی این شاخص‌ها بر اساس روابط کمی‌شده آنها نیز ارائه گردد [۳].

روابط (۱) تا (۴) رویه محاسباتی پیشنهادی جهت ارزیابی کمی شاخص‌های پیش‌گفته را به ترتیب معرفی‌شده در بالا نشان می‌دهند.

$$\text{Index1} = \text{Total of Electricity Exchange (kwh)} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، مجموع تبادلات برق، اعم از واردات، صادرات، سواپ، ترانزیت و یا تبادل دوطرفه با کشورهای طرف قرارداد مورد محاسبه قرار می‌گیرد.

$$\text{Index2} = \frac{\text{Index1}(n) - \text{Index1}(n-1)}{\text{Index1}(n-1)} (\%) \quad (2)$$

پارامتر n ، مقدار شاخص در سال n را نشان می‌دهد.

$$\text{Index3} = \frac{\text{Index1}(n)}{8760 * \text{Exchange Capacity}(n)} (\%) \quad (3)$$

در رابطه (۳) Exchange Capacity ظرفیت ارتباط الکتریکی با همسایگان را نشان می‌دهد.

$$\text{Index4} = \frac{\text{Index1}(n)}{\text{Total Electricity Trade}(n)} (\%) \quad (4)$$

در این رابطه نیز Total Electricity Trade کل حجم برق تبادلی کشورهای منطقه می‌باشد.

۴. پیشنهاد شاخص‌های ارزیابی برای رشد تجارت خارجی برق کشور

همانگونه که ذکر شد با تغییر دیدگاه در تبادلات برق کشور و گذر از معیار تک شاخص به چند شاخصه برای ارزیابی نقش ایران در تبادلات برق منطقه، افق جدیدی در توسعه تبادلات و به مفهوم بهتر، تجارت برق ایران با کشورهای همسایه و منطقه باز شده است. با تغییر مفهوم هاب انرژی الکتریکی برای ایران از صرفاً نقش صادرکننده برق برای این کشور به نقش‌آفرینی در حوزه تجارت برق در منطقه و ایجاد شاهراه تبادلاتی در اتصال کشورهای منطقه به یکدیگر برای تبادل و داد و ستد این کالای استراتژیک، هم‌اکنون بستر توسعه سیاست‌ها و راهبردها در تحقق این دیدگاه کاملاً آماده است. در این میسر می‌توان با در نظر داشتن سیاست‌های راهبردی کشور در تبدیل ایران به

دوازدهمین همایش بین‌المللی انرژی

از خطوط انتقال شبکه توسط توان‌های ترانزیتی یافت و در صورت نیاز تخصیص هزینه ترانزیت را با توجه به نسبت ظرفیت اشغال شده خطوط انتقال برای ترانزیت انجام داد.

۴-۲- نسبت ظرفیت تبادل برق به ظرفیت تولید

این شاخص میزان توسعه ظرفیت تبادلات را نسبت به توسعه ظرفیت تولید برق کشور نشان می‌دهد. بدین شکل مشخص می‌شود که در کنار توسعه تولید برق برای برآورد نیاز تقاضا در داخل کشور، چه میزان به رشد زیرساخت‌ها برای توسعه تبادلات برق توجه شده است.

$$\text{Index6} = \frac{\text{Electricity Exchange Capacity}}{\text{Total Generation Capacity}} (\%) \quad (6)$$

۴-۳- نقش شبکه انتقال برق کشور در جابجایی

اقتصادی انرژی الکتریکی

با الهام از انگیزه‌های اقتصادی و مزیت‌های نسبی برای تبادل برق بین کشورهای همسایه و هم‌منطقه، می‌توان شاخصی برای تبادل تجاری برق از مسیر ایران متصور بود. همانگونه که پهنه‌بندی قیمت برق در اروپا نشان می‌دهد، کشورهای مختلف این قاره از نظر قیمت تمام‌شده برق و به عبارت بهتر، قیمت تجاری برق بسیار متنوع می‌باشند و همین امر باعث ایجاد گردش انرژی الکتریکی از مناطق با قیمت پایین‌تر به مناطق با قیمت بالاتر می‌گردد. در این مسیر ممکن است حتی کشورهایی که خود رده بالایی در تولید و مصرف برق ندارند، تنها به دلیل قرار گرفتن در این مسیر ترانزیت، نقش و اهمیت بالایی را در تجارت برق پیدا کنند.

محاسبه شاخص اقتصادی شامل دو بخش است. یکی میزان سود خالص برای تبادلات برق به شکل صادرات و واردات برق با قراردادهای جداگانه می‌باشد که به شکل تفاضل بین درآمد ناشی از فروش برق و هزینه خرید برق در طی سال تعریف می‌گردد. دوم شامل قراردادهای ترانزیت برق است که تمامی درآمدهای ناشی از آن در زمره سود می‌باشد. بنابراین مجموع سود ناشی از صادرات و واردات برق و همچنین درآمد ناشی از ترانزیت برق، در قالب شاخص اقتصادی تجارت برق ایران معرفی می‌شود.

قطب انرژی الکتریکی منطقه و نیز استفاده از تجربیات سایر کشورهای دنیا در خصوص تجارت برق، شاخص‌هایی را برای تبادل و تجارت برق ایران با کشورهای همسایه و منطقه پیشنهاد نمود که موجب هدایت روند تبادلات برق کشور در مسیر حرکت به این هدف راهبردی گردند.

بر این اساس شاخص‌های دیگری که در مسیر پررنگ کردن نقش ایران در اتصال شبکه‌های برق منطقه و انتقال انرژی الکتریکی بین مناطق گوناگون و در نتیجه تبدیل ایران به هاب انرژی منطقه می‌توانند موثر باشند، به شرح زیر پیشنهاد و تشریح می‌گردند.

الف - میزان سهم شبکه انتقال کشور که برای ترانزیت توان اختصاص دارد.

ب - نسبت ظرفیت تبادل برق به ظرفیت تولید کشور

ج - نقش شبکه انتقال برق کشور در جابجایی اقتصادی انرژی الکتریکی از مناطق با مزیت نسبی تولید بالا (پتانسیل تولید بیشتر و یا قیمت تمام شده کمتر) به مناطق با مزیت نسبی پایین‌تر (پتانسیل تولید کمتر و یا قیمت تمام شده بالاتر)

د - پیشینه‌سازی امنیت انرژی الکتریکی کشور

۴-۱- میزان سهم شبکه انتقال کشور برای ترانزیت

یکی از شاخص‌هایی که می‌تواند نقش محوری ایران در ترانزیت انرژی الکتریکی منطقه را نشان دهد، سهم ظرفیت اشغال شده شبکه انتقال برای ترانزیت است. چنین شاخصی، پیش‌نیاز دیدگاه تجاری برای کالای اقتصادی برق است و توسط آن می‌توان در آینده قیمت‌گذاری هزینه انتقال و یا هزینه ترانزیت برق توسط ایران را انجام داد.

$$\text{Index5} = \frac{\text{Electricity Transit Capacity}}{\text{Total Transmission Capacity}} (\%) \quad (5)$$

روش‌های محاسباتی متعددی برای تعیین ظرفیت اشغال شده شبکه برق برای ترانزیت توان موجود است، لکن در این بین می‌توان از روش ردیابی توان^۶ به عنوان یکی از ساده‌ترین و قابل درک‌ترین روش‌ها برای این منظور نام برد [۱۲]. به کمک این روش می‌توان میزان سهم اشغال شده

⁶ Electricity Power Tracing

دوازدهمین همایش بین‌المللی انرژی

۴-۴- پیشینه‌سازی امنیت انرژی الکتریکی کشور

یکی از مهمترین مفاهیم در تجارت حامل‌های انرژی، امنیت انرژی است. امنیت انرژی برای عرضه‌کنندگان به عرضه مداوم، دسترسی به بازارهای مطمئن و با قیمت‌های معقول در حامل‌های انرژی مربوط است. از سوی دیگر کشورهای نیازمند به انرژی، امنیت انرژی را در دسترسی به منابع متنوع انرژی و جلوگیری از انحصار و وابستگی به یک منبع مشخص می‌دانند و سعی می‌نمایند تهدیدات ژئوپلیتیک، اقتصادی، تکنیکی، و زیست‌محیطی ناظر بر بازارهای انرژی را کاهش دهند [۱۳]. امنیت انرژی خود دارای شاخص‌هایی است که هر یک از دیدگاه مشخصی، ارزیابی امنیت انرژی را انجام می‌دهند. در زیر به تعدادی از شاخص‌های مهم امنیت انرژی که در خصوص موضوع این مقاله مرتبط می‌باشند، اشاره می‌شود:

الف - شاخص تنوع کشورهای واردکننده (S1) - هرچه تعداد کشورهایی که ایران به آنها برق صادر می‌کند بیشتر باشد، شاخص امنیت انرژی الکتریکی بالاتر است.

برای این منظور از شاخص هرفیندال - هرشمن (HHI) برای ارزیابی امنیت انرژی استفاده می‌گردد [۱۳]. این شاخص مربوط به تنوع جغرافیایی می‌باشد. بی‌آنکه وارد جزئیات محاسبه این شاخص شویم، بطور ساده از دیدگاه یک کشور صادرکننده حامل‌های انرژی، هر چه مقدار شاخص HHI کمتر باشد، احتمال مصون ماندن در برابر مخاطرات تقاضا بیشتر خواهد بود و امنیت انرژی، سطح بالاتری خواهد داشت. جدول (۱)، صادرات برق ایران به کشورهای همسایه در طی سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۵ را نشان می‌دهد. در ادامه از این اطلاعات برای محاسبه شاخص HHI استفاده می‌شود.

جدول (۱): میزان صادرات برق ایران به کشورهای همجوار به تفکیک هر کشور (میلیارد کیلووات ساعت)

	پاکستان	افغانستان	ترکیه	عراق	مجموع
۱۳۹۱	۰/۳۷	۰/۶۴	۱/۹۱	۸/۰۳	۱۳/۰۹
۱۳۹۲	۰/۴۱	۰/۸۰	۲/۳۹	۷/۸۳	۱۷/۴۹
۱۳۹۳	۰/۴۴	۰/۸۲	۲/۲۳	۶/۳۴	۱۹/۱۹
۱۳۹۴	۰/۴۶	۰/۷۸	۱/۷۲	۶/۸۲	۲۲/۳۹
۱۳۹۵	۰/۴۸	۰/۷۳	۰/۳۰	۵/۰۲	۲۲/۳۹

ب - شاخص تنوع کشورهای صادرکننده (S2) - مشابه قبل با افزایش تعداد کشورهای صادرکننده برق به ایران، شاخص امنیت انرژی الکتریکی ایران بالا می‌رود.

در اینجا نیز شاخص هرفیندال - هرشمن (HHI) برای ارزیابی سطح امنیت انرژی بکار گرفته می‌شود [۱۳]. مجدداً از دیدگاه یک کشور واردکننده حامل‌های انرژی، هر چه مقدار این شاخص کمتر باشد، احتمال مصون ماندن در برابر مخاطرات عرضه بیشتر بوده و امنیت انرژی بالاتری بدست خواهد آمد. جدول (۲)، میزان واردات برق ایران از کشورهای همسایه در طی سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۵ را نشان می‌دهد. در ادامه از این اطلاعات برای محاسبه شاخص HHI استفاده می‌شود.

جدول (۲): میزان واردات برق ایران از کشورهای همجوار به تفکیک هر کشور (میلیارد کیلووات ساعت)

	آذربایجان	ارمنستان	ترکمنستان	مجموع
۱۳۹۱	۰	۱/۵۸	۲/۲۵	۳/۸۲
۱۳۹۲	۰/۰۱	۱/۰۲	۲/۵۳	۳/۵۶
۱۳۹۳	۰	۱/۰۱	۲/۵۳	۳/۵۴
۱۳۹۴	۰	۱/۳۰	۲/۷۵	۴/۰۵
۱۳۹۵	۰/۰۱	۱/۰۳	۳/۰۳	۴/۰۷

ج - شاخص وابستگی به واردات (S3) - هر چه کشور واردکننده برق از ایران، وابستگی بیشتری به واردات برق از ایران داشته باشد، شاخص امنیت انرژی الکتریکی ایران بالا می‌رود.

د - شاخص وابستگی به صادرات (S4) - در اینجا نیز هر چه کشور صادرکننده برق به ایران، وابستگی بیشتری به صادرات برق به ایران داشته باشد، شاخص امنیت انرژی الکتریکی ایران بالا می‌رود.

شاخص ارزیابی‌کننده هر دو مفهوم فوق، شاخص (CDI) است [۱۳]. این شاخص میزان وابستگی یک کشور به واردات/صادرات یک حامل مشخص را نشان می‌دهد. یکی از مفاهیم مهمی که در محاسبه و ارزیابی این شاخص باید در نظر گرفته شود، "حجم بحرانی" است. حجم بحرانی میزانی از واردات یا صادرات حامل انرژی است که کشور متقاضی به آن وابسته است. می‌توان گفت حجم بحرانی صادرات برق، کمینه‌ای است که کشور واردکننده نمی‌تواند آن حجم

دوازدهمین همایش بین‌المللی انرژی

پاکستان در رتبه‌های اول تا چهارم وابستگی به واردات برق از ایران قرار دارند.

جدول (۴): محاسبه عددی شاخص‌های اول تا چهارم

	۱۳۹۵	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۲	۱۳۹۱	
index1	۲۶/۴۶	۲۶/۴۴	۲۲/۷۴	۲۱/۰۵	۱۶/۹۱	
index2	۰/۰۵	۱۶/۳۱	۸/۰۱	۲۴/۴۸	-	
index3	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۲	۰/۳۰	۰/۲۴	
index4	-	۰/۶۵	۰/۵۰	۰/۴۴	۰/۴۲	
index6	۰/۱۰۷۳	۰/۱۱۰۳	-	-	-	

جدول (۵): محاسبه عددی شاخص‌های S1 و S2

	۱۳۹۵	۱۳۹۴	۱۳۹۳	۱۳۹۲	۱۳۹۱	
S1	۰/۰۵۲۰۴۴	۰/۱۰۰۴۰۲	۰/۱۲۴۹۱۷	۰/۲۲۱۷۶۲	۰/۴۰۱۴۴۰	
S2	۰/۶۲۰۰۴۱	۰/۵۶۳۱۶۲	۰/۵۹۱۳۵۴	۰/۵۸۸۴۶۹	۰/۵۱۴۷۴۹	

جدول (۶): محاسبه عددی شاخص‌های S3

	عراق	ترکیه	افغانستان	پاکستان	
۱۳۹۰	۳/۷۸۶۷	۰/۰۶۱۲	۵۳/۷۷۷۸	۰/۰۰۱۶	
۱۳۹۱	۸/۶۵۰۵	۰/۰۸۸۵	۶۳/۱۸۲۱	۰/۰۰۲۷	
۱۳۹۲	۷/۴۳۸۰	۰/۱۴۱۱	۶۱/۲۴۷۶	۰/۰۰۲۳	
۱۳۹۳	۸/۱۶۳۳	۰/۱۵۰۸	۶۵/۳۶۸۹	۰/۰۰۲۳	
۱۳۹۴	۶/۳۵۰۰	۰/۱۰۸۰	۶۵/۳۶۸۹	۰/۰۰۲۲	

جدول (۷) نیز مقادیر شاخص S4 را به تفکیک کشورهای مختلف نشان می‌دهد. در اینجا نیز، کشورهای ارمنستان، ترکمنستان و آذربایجان در رتبه‌های اول تا سوم قرار دارند.

جدول (۷): محاسبه عددی شاخص‌های S4

	ترکمنستان	ارمنستان	آذربایجان	
۱۳۹۰	۲/۶۴۰۶	۳/۸۸۸۱	۰/۱۷۷۳	
۱۳۹۱	۲/۵۲۲۵	۳/۸۹۵۴	۰/۰۵۱۷	
۱۳۹۲	۲/۵۹۵۷	۵/۴۲۳۲	۰/۰۵۱۷	
۱۳۹۳	۲/۸۳۶۶	۳/۱۷۱۳	۰/۰۴۷۳	
۱۳۹۴	۲/۳۲۲۰	۵/۵۷۹۳	۰/۰۱۷۰	

۶. شاخص ترکیبی برای تجارت خارجی برق

در بخش‌های قبل، شاخص‌هایی برای ارزیابی وضعیت تجارت خارجی برق ایران ارائه شد. از آنجا که احیاناً

از برق را از کشور دیگری به جز ایران تهیه نماید و منظور از حجم بحرانی واردات برق، کمینه‌ای است که کشوری که ایران برق را از آن وارد می‌نماید، نمی‌تواند آن حجم از برق را به کشور دیگری به جز ایران صادر کند. در جدول (۳)، میزان وابستگی کشورهای همجوار ایران به واردات سالانه برق از ایران و صادرات سالانه برق به ایران (حجم بحرانی واردات یا صادرات) آورده شده است. لازم به ذکر است اطلاعات این جدول از مطالعات انجام شده پیشین و نیز بر اساس نظر خبرگان گردآوری شده است. [۱۴]

جدول (۳): احجام بحرانی تبادلات برق ایران و کشورهای همسایه

ردیف	نام کشور	حجم بحرانی صادرات (TWh) برق	حجم بحرانی واردات (TWh) برق
۱	ارمنستان	۰/۰۰۰۱	۱
۲	آذربایجان	۰/۰۶	۰/۰۰۰۱
۳	ترکمنستان	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱
۴	افغانستان	۰/۸	۰/۰۰۰۱
۵	پاکستان	۰/۵	۰/۰۰۰۰۱
۶	عراق	۶/۵	۰/۰۰۰۱
۷	ترکیه	۱	۰/۰۰۰۱

هر یک از این شاخص‌ها اصول محاسباتی خاص خود را دارند که خواننده علاقمند برای جزئیات بیشتر، به [۱۳] و [۱۴] معرفی می‌گردد.

۵. بررسی عددی شاخص‌های پیشنهادی طی سال‌های گذشته

شاخص‌های معرفی شده در بخش‌های ۳ و ۴، بر اساس اطلاعات سال‌های گذشته که در پیوست ۱ و ۲ آورده شده است، محاسبه شده است. از آنجا که محاسبه شاخص index5 مربوط به شبکه انتقال ایران می‌باشد و برای انجام محاسبات اطلاعات شبکه انتقال مورد نیاز است، در مقاله حاضر از محاسبه این شاخص صرف‌نظر شده و تنها شاخص‌هایی که بطور مستقیم با میزان تبادلات برق مرتبطند، محاسبه شده‌اند. جدول (۴) مقادیر شاخص‌های چهارگانه حاصل از روابط (۱) تا (۴) و جدول (۵) نیز مقادیر شاخص‌های S1 و S2 را نشان می‌دهند.

جدول (۶) مقادیر شاخص S3 را به تفکیک کشورهای مختلف نشان می‌دهد. همانطور که از این جدول مشخص است، به ترتیب، کشورهای افغانستان، عراق، ترکیه و

دوازدهمین همایش بین‌المللی انرژی

شده و پایش وضعیت تجارت برق بر اساس سنجه‌های مناسبی صورت پذیرد تا به هدف مطلوب نائل شد. در این مقاله با پایه‌گذاری مفاهیم سنجه‌های ارزیابی تجارت برق ایران، سنجه‌هایی پیشنهاد و مقادیر آنها برای سال‌های مختلف محاسبه گردید. با مقایسه روند تغییرات این سنجه‌ها در سال‌های مختلف و تحلیل آنها، می‌توان ارزیابی مناسبی از وضعیت تجارت برق ایران طی سال‌های مختلف و تصمیم‌سازی برای بهبود این وضعیت داشت.

۸. مراجع

- [۱] - "گزارش پانزدهمین نشست شورای راهبری مدیریت استراتژیک صنعت برق" - پیک برق شماره ۱۱۱۳
- [۲] - "گزارش شانزدهمین نشست شورای راهبری مدیریت استراتژیک صنعت برق" - پیک برق شماره ۱۱۱۴
- [۳] - "گزارش هفدهمین نشست شورای راهبری مدیریت استراتژیک صنعت برق" - پیک برق شماره ۱۱۱۶
- [۴] - س. محمودی، ه. برهمندپور، ک. حیدری، "تعیین قیمت تمام شده برق بر اساس الگوریتم پیشنهادی LCOE منطبق با تکنولوژی‌های مختلف و مطالعه موردی آن در کشور ایران" سی‌امین کنفرانس بین‌المللی برق، تهران، ایران، ۱۳۹۴
- [5] - W. Antweiler, "Cross-border trade in electricity", Elsevier, Journal of International Economics 101 (2016)
- [6] - F. Alam, Q. Alam, S. Reza, S. Khurshid-ul-Alam, K. Saleque, H. Chowdhury, "Regional power trading and energy exchange platforms", 1st International Conference on Energy and Power, ICEP2016
- [7] - Parfomak, Paul W. Campbell, Richard J., Pirog Robert, "Cross-Border Energy Trade in North America: Present and Potential January", Congressional Research Service Reports, 2017
- [8] - C. Morris, "Switzerland and Denmark: two hubs of power trading", <https://energytransition.org/2015/08/switzerland-and-denmark-hubs-of-power-trading/>
- [9] - M. Wittenstein, J. Scott, N. M. M. Razali, "Case Studies on Cross-Border Electricity Security in Europe", International Energy Agency, IEA 2016
- [10] - European commission, "Quarterly Report on European Electricity Markets", Volume 9, Issue 1, fourth quarter of 2015 and first quarter of 2016
- [11] - "Electricity in Europe 2016", European Network of Transmission System operators for Electricity, entso-e, 2017
- [12] - J. Bialek, "Tracing of Flow of Electricity", IEE Proc. Gen. Trans. Dist., 143, 1996
- [۱۳] - م. ص. کریمی، م. رنجبر، ع. ملکی، "معرفی شاخصی برای ارزیابی امنیت انرژی در تبادلات انرژی ایران با همسایگان" - یازدهمین همایش بین‌المللی انرژی - ۱۳۹۵
- [۱۴] - پژوهشگاه نیرو - "ارزیابی تاثیر تبادلات مختلف حامل‌های انرژی از نظر امنیت انرژی"، گزارش پروژه، ۱۳۹۴
- [۱۵] - آمار تفصیلی صنعت برق ایران، انتقال نیروی برق، به تفکیک مربوط به سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۹۵

[16] - <https://www.eia.gov/beta>

تعدادی از این شاخص‌ها ممکن است در تقابل با یکدیگر بوده و افزایش تمامی آنها بطور همزمان میسر نباشد (به خصوص شاخص‌های امنیت انرژی که افزایش آنها ممکن است بعضاً به کاهش حجم تبادلات منجر شود)، بنابراین نیاز به تعیین رویه‌ای برای در نظر گرفتن تمامی شاخص‌ها بطور همزمان می‌باشد. اولین قدم در مسیر تعیین شاخص ترکیبی، هم‌جنس کردن و اصطلاحاً یک‌سازی^۷ شاخص‌های مورد ارزیابی است. در این میان شاخص‌هایی که به صورت درصد بیان شده‌اند، می‌توانند بین صفر تا یک بیان شده و بنابراین خود به خود یک‌ساز شده‌اند. لکن سایر شاخص‌هایی که در بازه صفر تا یک قرار نمی‌گیرند، لازم است یک‌سازی شده تا با سایر شاخص‌ها قابل ترکیب باشند. قدم بعد، تعیین ضرایب وزنی مناسب برای ترکیب شاخص‌های وزنی است. هر چه ضریب وزنی شاخص مورد نظر بالاتر اختیار شود، نقش آن در شاخص نهایی با اهمیت‌تر می‌گردد. بالاخره نحوه ترکیب شاخص‌ها خود موضوع مهم دیگری است. شاخص‌ها می‌توانند به دو شکل جمع وزنی با یکدیگر و یا ضرب در یکدیگر ترکیب شوند. در حالت جمع صرفاً شاخصی که ضریب وزنی بالاتری دارد، نقش مهمتری خواهد داشت. لکن در حالت ضرب، شاخص ضرب‌شونده مستقل از ضریب وزنی (که در این حالت موردی ندارد) بر کل شاخص نهایی اثرگذار است. بنابراین با اتخاذ سیاست‌گذاری مناسب برای هدایت تجارت خارجی برق به سمت هدف مطلوب، می‌توان ترکیبی از شاخص‌های پیشنهادی را ایجاد نمود که کمی‌سازی مطلوبی از وضعیت مورد نظر تجارت خارجی برق را ایجاد نماید.

۷. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

ایران دارای سابقه‌ای طولانی در تبادل انرژی الکتریکی با کشورهای همسایه است و از نظر بزرگی و ظرفیت تولید و شبکه انتقال، در منطقه رتبه اول را دارد. در کنار این مزیت مهم، وضعیت ژئوپلیتیک ایران و قرار گرفتن در مسیر تبادل برق منطقه، موقعیت ممتازی را برای نقش‌آفرینی ایران در تجارت برق منطقه ایجاد نموده است. برای دستیابی به هدف راهبردی هاب انرژی الکتریکی منطقه و توسعه تجارت برق، لازم است برنامه‌ریزی‌های مطلوبی انجام

⁷ Normalization

دوازدهمین همایش بین‌المللی انرژی

کشور	سال	تولید Twh	مصرف Twh	صادرات Twh	واردات Twh	ظرفیت نصب شده Gw	تلفات توزیع Twh	مجموع تبادلات Twh
				/			/	/
				/			/	/
				/				/
				/				/
				/				/
				/				/
				/				/
		/		/	/	/	*	/
		/	/		/			/
			/		/	/	*	/
			/		/	/	*	/
			/	/		/	*	/
				/	/		/	*
				/	/			
				/				/
				/	/			/
				/	/			/
ایران				/	/			/
				/				/
				/				/
				/	/			/
				/	/			/