اندازه‌گیری کارایی انرژی با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها با خروجی‌های نامطلوب

سیدحسین سجادی‌فر | h.sajadifar@gmail.com
دکترای اقتصاد، عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهریار (نویسنده مسئول)

مهدی عسلی | mehd.asali@gmail.com
دکترای اقتصاد، عضو هیأت علمی مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی

بهرام فتحی | bahram125fathi@gmail.com
عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهریار

اعظم محمدباقری | amohamadbagheri@gmail.com
پژوهشگر ارشد مؤسسه مطالعات بین المللی انرژی

دریافت: ۱۳۹۴/۱/۲۳ | پذیرش: ۱۳۹۴/۹/۲۴

چکیده: بر مبنای سند چشم‌انداز ۱۴۰۴، یکی از راه‌های اساسی موفقیت کشور، افزایش توان رقابت با سایرکشورهای منطقه با لحاظ نوآوری، بهبود کارایی و بهره‌وری تولید داخلی است که رشد و توسعه اقتصادی کشور را با ملاحظات فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی ترکیب می‌کند. به همین منظور، در این مطالعه با درنظرگرفتن همزمان فعالیت‌های اقتصادی، انتشار دی‌اکسید کربن و مصرف انرژی در فرآیند تولید و با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌های دارای خروجی نامطلوب کارایی انرژی در ایران و کشورهای همجوار در دوره ۲۰۱۲-۲۰۰۷ اندازه‌گیری و میزان تحقق اهداف سند چشم‌انداز در زمینه کارایی انرژی بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که روند تغییرات کارایی هم برای ایران و هم برای متوسط کشورهای مورد بررسی دارای روند نزولی بوده و جایگاه ایران از نظر کارایی انرژی در مقایسه با سایر کشورها مطلوب نیست. از این‌رو ایران باید برای بهبود کارایی انرژی برنامه‌هایی را پیگیری کند تا ضمن حفظ منابع موجود و بدون آسیب‌رساندن به محیط زیست و سلامت انسان‌ها توانایی خود را برای توسعه اقتصادی افزایش دهد.

کلیدواژه‌ها: تحلیل پوششی داده‌ها، خروجی مطلوب و نامطلوب، انتشار دی‌اکسید کربن، مصرف انرژی، کارایی انرژی، سند چشم‌انداز.

طبقه‌بندی JEL: C61, E21, L71.

فصلنامه علمی - پژوهشی برنامه‌ریزی و بودجه
شاپا (چاپی) ۲۲۵۱-۹۰۹۲ | نمایه در ISC
سال بیستم | شماره ۴ | زمستان ۱۳۹۴ | ص ص ۶۹-۵۵

مقدمه

رشد و توسعه اقتصادی نیازمند استفاده از انرژی به عنوان یکی از مهم‌ترین نهاده‌های تولید است و عدم دسترسی به انرژی مقرون به‌صرفه و قابل اعتماد عامل ایجاد عقب‌ماندگی‌های اقتصادی و اجتماعی در بسیاری از نقاط جهان شده است. بالابردن سطح استانداردهای زندگی و افزایش رفاه جوامع را می‌توان وابسته به بهبود میزان دسترسی به خدمات انرژی دانست. از سوی دیگر، رشد اقتصادی یک عامل مهم و اثرگذار بر تخریب محیط زیست است. رشد اقتصادی از یک سو سبب استفاده بیشتر از منابع طبیعی شده و از سوی دیگر با تولید کالاهای با کیفیت پایین، آلودگی محیط‌زیست را افزایش می‌دهد. در این زمینه مطالعه‌های زیادی انجام گرفته است که از آن جمله می‌توان به فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس (EKC)[1] اشاره کرد. بر مبنای این فرضیه، تخریب محیط زیست در شروع مرحله رشد اقتصادی، امری غیرقابل اجتناب است و یک کشور که در مرحله اولیه توسعه قرار دارد، ناگزیر از تخریب محیط زیست به منظور توسعه است. اما پس از رسیدن به سطح کافی از توسعه اقتصادی، مباحث پایداری در رشد و مسائل زیست‌محیطی اهمیت پیدا کرده و با تلاش برای جلوگیری از تخریب محیط‌زیست، رشد اقتصادی همراه با آلودگی کمتر تحقق می‌یابد. بر این اساس یک رابطه U وارونه بین رشد اقتصادی و آلودگی محیط زیست وجود دارد و رشد اقتصادی مطلوب زمانی روی می‌دهد که همزمان با کاهش آلودگی همراه باشد. باید به این نکته توجه کرد که فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس مورد نقد قرار گرفته است. برخی از اقتصاددانان بر این باورند که فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس بر اساس تئوری‌های اقتصاد خرد بنا نشده و بیشتر بر قاعده‌های تجربی در مجموعه بزرگی از داده‌ها استوار است. از طرف دیگر، با گسترش فن‌های اقتصادسنجی و لزوم وجود مانایی در متغیرها و همجمعی رگرسیون برآوردی، این انتقادها شدت گرفته است. برخی از اقتصاددانان تئوری زیست‌محیطی کوزنتس را صرفاً یک رابطه آماری بین چندین متغیر می‌دانند. بر این اساس از جمله جدیدترین انتقادها به تئوری محیط زیست کوزنتس اطمینان نداشتن به آزمون‌های آماری است.

برای این که نسل‌های امروز و آینده یک کشور بتوانند آگاهانه در مسیر توسعه پایدار قدم بردارند باید تصویری مطلوب از آینده داشته باشند که در سایه آن پیش‌بینی فرآیند توسعه اقتصادی-اجتماعی و تعامل با جریان‌های جهانی و منطقه‌ای میسر شود. در چشم‌انداز مطلوب، برنامه‌ریزی‌ها

1. Environmental Kuznets Curve Hypothesis

و حرکت‌های فردی و اجتماعی به سوی آینده‌ای آرمانی جهت خواهند یافت. در کشور ما نیز سند چشم‌انداز رهیافتی راهبردی در موضوع اقتصادی و برنامه‌ریزی کشور است که ایران ۱۴۰۴ را ایران توسعه‌یافته، فعال و تاثیرگذار در اقتصاد جهانی معرفی می‌کند. در سند چشم‌انداز ۱۴۰۴، موقعیت ایران در قیاس با کشورهای همجوار مورد بررسی قرار گرفته و هدف‌گذاری آینده برای کشور صورت گرفته است. تحقق هدف‌های سند چشم‌انداز نیازمند بهبود شرایط اقتصاد جهانی و اقتصاد داخلی است. اقتصاد ایران طی سال‌های گذشته، متاثر از شرایط گوناگون با رکود تورمی، نامناسب‌بودن فضای کسب‌وکار، کاهش سرمایه‌گذاری خارجی و تقلیل برخورداری از دانش فنی مناسب در تولیدات داخلی مواجه بوده است.

هر چند رشد و توسعه اقتصادی کشور، نیازمند استفاده از انرژی به عنوان یکی از مهم‌ترین نهاده‌های تولید است، اما در تعیین الگوهای تولید و مصرف انرژی، ملاحظات فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی را نیز باید لحاظ کرد. به بیان دیگر، موضوع‌های مرتبط با انرژی، اقتصاد و محیط زیست، حلقه‌های به‌هم‌تنیده در عرصه جهانی هستند و الگوهای تولید و استفاده از انرژی نیز اگر چه به بهبود رشد اقتصادی می‌انجامد، در عین حال تهدیدی برای ثبات و پایداری محیط‌زیست، بهداشت و رفاه نسل‌های فعلی و آینده به شمار می‌روند. از این رو فعالیت‌های تولیدی و صنعتی باید با بهره‌گیری از فناوری‌های سازگار با محیط زیست، افزون بر دستیابی به کارایی بالاتر، هزینه‌های تخریب محیط‌زیست را به حداقل برسانند. بنابراین توجه به آثار زیست‌محیطی در فعالیت‌های اقتصادی یک ضرورت است.

بر مبنای سند چشم‌انداز ۱۴۰۴، یکی از راه‌های اساسی موفقیت کشور، افزایش توان رقابت با سایر کشورهای منطقه با لحاظ نوآوری، بهبود کارایی و بهره‌وری تولید داخلی است. در این مطالعه قصد بر آن است که با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌های دارای خروجی نامطلوب کارایی انرژی در ایران و کشورهای همجوار اندازه‌گیری شده و میزان تحقق اهداف سند چشم‌انداز در زمینه کارایی انرژی مشخص شود. ساختار پژوهش به صورت زیر است: پس از مقدمه، ادبیات موضوع و مطالعات تجربی در زمینه اندازه‌گیری کارایی با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها به صورت مختصر مرور شده است. در بخش سوم مدل مورد استفاده پژوهش تشریح می‌شود. در بخش چهارم نتایج به دست‌آمده از حل مدل مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در انتها نتیجه‌گیری ارائه می‌شود.

مبانی نظری پژوهش

تحلیل پوششی داده‌ها[1] (DEA)

کارایی در اقتصاد، به عنوان تخصیص بهینه منابع تعریف می‌شود. از نظر اهداف کاربردی، تعاریف گوناگونی برای کارایی وجود دارد. به طور کلی کارایی، معرف نسبت ستانده‌ها به نهاده‌ها در مقایسه با یک استاندارد مشخص است. از این رو محاسبه کارایی منوط به تعریف و مقایسه با یک حد مطلوب استاندارد است. مبنای چنین حد مطلوبی می‌تواند با روش‌های گوناگونی تعیین و مشخص شود. روش تحلیل نسبت و روش تحلیل مرزی دو روش اصلی برای تعیین کارایی هستند.

در روش تحلیل مرزی ابتدا توابع تولید مرزی یا همان مرز کارایی برآورد شده و واحدهایی که در این مرز فعالیت می‌کنند به عنوان واحدهای کارا و واحدهایی که خارج از آن قرار دارند، به عنوان واحدهای ناکارا شناخته می‌شوند. تحلیل پوششی داده‌ها یکی از مهم‌ترین روش‌های تحلیل مرزی است. تحلیل پوششی داده‌ها یک روش غیرپارامتریک، مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی برای تعیین کارایی واحدهای تصمیم‌گیری یا بنگاه‌های اقتصادی همگن بر اساس داده‌ها و ستانده‌ها شبیه به هم است. در این روش، بهترین عملکرد در دسته مورد ارزیابی مشخص شده و عملکرد سایر واحدها نسبت به آن مقایسه می‌شود.

مدل‌های اساسی DEA بر اساس ماهیت (ورودی‌محور، خروجی‌محور و جمعی) یا بر اساس بازدهی نسبت به مقیاس (بازدهی ثابت به مقیاس CRS و بازدهی متغیر نسبت به مقیاس (VRS) طبقه‌بندی می‌شوند.

مدل‌های ورودی‌محور، مدل‌هایی هستند که با ثابت نگه‌داشتن خروجی‌ها، ورودی‌ها را به حداقل می‌رسانند. اما در مدل‌های خروجی‌محور، هدف حداکثرساختن مقادیر خروجی‌ها مشروط به ثابت نگه‌داشتن مقادیر ورودی‌هاست.

تحلیل پوششی داده‌ها و خروجی‌های نامطلوب

مبنای مدل‌های رایج تحلیل پوششی داده‌ها مانند مدل‌های CCR[2] و BCC[3] بر اساس این فرض استوار است که کاهش میزان ورودی‌ها یا افزایش خروجی‌ها، بهبود کارایی را به همراه خواهد

1. Data Envelopment Analysis Approach
2. Charnes–Cooper–Rhodes
3. Bankere Charnese Cooper

داشت. اما باید به این نکته توجه کرد که در دنیای واقعی، عامل‌های نامطلوب (بد) نیز می‌توانند در فرآیند تولید وجود داشته باشند. بنابراین، واحدهای تصمیم‌گیرنده، همیشه به دنبال حداکثرساختن خروجی‌ها و یا به حداقل‌رساندن ورودی‌ها نیستند. فرآیند تولیدی که همراه با محصول نهایی، آلودگی تولید می‌کند، دو نوع خروجی مطلوب و نامطلوب دارد. خروجی مطلوب باید افزایش و خروجی نامطلوب کاهش یابد. این رویکرد با مدل‌های عمومی تحلیل پوششی داده‌ها متفاوت است. مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های با ورودی‌ها یا خروجی‌های نامطلوب برای در نظرگرفتن این شرایط طراحی شده‌اند.

مطالعات تجربی

در سال‌های اخیر، پژوهش‌هایی در زمینه اندازه‌گیری عملکرد زیست‌محیطی و کارایی انرژی با رویکرد تحلیل پوششی داده‌های دارای خروجی‌های نامطلوب گسترش یافته است. وانگ و همکاران[1] (۲۰۱۳) با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌های اصلاح‌شده حاوی خروجی نامطلوب، کارایی زیست‌محیطی و کارایی انرژی را برای ۲۹ منطقه چین در دوره ۲۰۰۸-۲۰۰۰ بررسی کردند. دو و همکاران[2] (۲۰۱۴) متوسط میزان کاهش بالقوه انتشار دی‌اکسید کربن را در دوره ۲۰۱۰-۲۰۰۶ برای ۳۰ منطقه چین محاسبه کردند. نتایج نشان می‌دهد که به دلیل اختلاف در نوع فناوری‌های مورد استفاده، میزان کاهش بالقوه در انتشار دی‌اکسید کربن در مناطق مختلف از پراکندگی به نسبت زیادی برخوردار است.

فاره و همکاران[3] (۲۰۰۵) به منظور بررسی تاثیر مرحله نخست اجرای برنامه مقابله با باران اسیدی، کارایی زیست‌محیطی نیروگاه‌های تولید برق ایالات متحده را محاسبه کردند. در این پژوهش؛ از تابع تولید ترانسلوگ و روش تحلیل مرز تصادفی استفاده شده است. نتیجه به دست‌آمده از این مطالعه نشان می‌دهد که عدم کارایی زیست‌محیطی و فنی برای نمونه مورد بررسی ۱۰ درصد است.

کولی[4] (۲۰۰۶) کارایی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی واحدهای دامداری در کشور بلژیک را اندازه‌گیری کرد. نتایج حاصل از این مطالعه تجربی، میانگین کارایی فنی، کارایی زیست‌محیطی، کارایی تخصیصی و کارایی هزینه را به ترتیب ۰/۸۹۷، ۰/۸۴۳، ۰/۹۸۵ و ۰/۸۸۳ نشان می‌دهد.

1. Wang *et al*.
2. Du *et al*.
3. Fare *et al*.
4. Coelli

کاستا و زوفیو[1] (۲۰۰۹) کارایی زیست‌محیطی صنعت برق برای نیروگاه‌های حرارتی ایالات متحده را اندازه‌گیری کردند. نتایج مطالعه که با استفاده از دو روش پارامتریک و ناپارامتریک انجام شده است، نشان می‌دهد که اگر چه نتایج کارایی حاصل از دو روش، از نظر آماری متفاوتند اما از نظر رتبه‌بندی نیروگاه‌ها پاسخ یکسانی دارند.

آماده و رضایی (۱۳۹۰) کارایی زیست‌محیطی شرکت‌های برق منطقه‌ای ایران را با رویکرد مدل‌های ستانده مطلوب و نامطلوب تفکیک‌ناپذیر ارزیابی کردند. یافته‌های آنها نشان داد که میزان انتشار دی‌اکسید کربن بر امتیاز کارایی تاثیرگذار است.

ناصرزاده (۱۳۸۹) کارایی زیست‌محیطی نیروگاه‌های کشور طی سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۶ را بررسی کرد. ستانده‌های تولید برق و انتشار دی‌اکسید کربن، به عنوان ستانده مطلوب و نامطلوب و نیروی کار، سوخت مصرفی و ظرفیت اسمی نیروگاه، به عنوان نهاده مورد استفاده قرار گرفته‌اند. نتیجه‌های حاصل از روش DEA نشان می‌دهد که کارایی زیست‌محیطی، ۴۰ نیروگاه مورد بررسی طی دوره مورد نظر در حال کاهش است.

عباسی‌نژاد و وافی‌نجار (۱۳۸۳) در مقاله‌ای به بررسی وضعیت این شاخص‌ها در مصرف انرژی بخش‌های مختلف اقتصادی کشور، طی دوره ۱۳۷۹-۱۳۵۰ پرداختند. آنها نشان دادند که روند کلی شاخص شدت مصرف انرژی در سه بخش مورد بررسی (صنعت، کشاورزی، حمل‌ونقل) صعودی است و کارایی انرژی کاهش یافته است. همچنین شاخص کشش نقطه‌ای انرژی که درصد تغییر در رشد سالانه انرژی را به ازای درصد تغییر در ارزش افزوده بخش نشان می‌دهد، برای بیشتر سال‌ها، بزرگ‌تر از یک بوده است و در مجموع حاکی از نزولی‌بودن بهره‌وری انرژی در بخش‌های مختلف اقتصادی در سه دهه مورد بررسی است.

حیدری و صادقی (۱۳۸۴) در تخمین کارایی انرژی در بخش صنعت ایران در قالب تابع تقاضای تعدیل جزیی به این نتیجه رسیدند که ضریب سرمایه‌بری در دو حالت برق و فرآورده‌های نفتی، بر روی کارایی اثر مثبت داشته در حالی‌که بر کارایی مصرف گاز طبیعی اثر عکس نشان می‌دهد.

دریجانی و همکاران (۱۳۸۴) با جمع‌آوری اطلاعات تولیدی سال ۱۳۸۲ کشتارگاه‌های دام فعال استان تهران، نمونه‌برداری از پساب مبادی ورودی و خروجی سامانه‌های تصفیه فاضلاب آنها و همچنین سنجش بار آلی و شیمیایی و میکروبی، و به‌کارگیری رهیافت اقتصادسنجی و تحلیل مرز تصادفی، از طریق برازش تابع مرز تصادفی فاصله ستانده نرمال شده، مقادیر کارایی به‌کارگیری

1. Cuesta & Zofio

منابع و کارایی زیست‌محیطی را ارزیابی و در گروه‌های مختلف کشتارگاهی مقایسه و تحلیل کردند. نتیجه‌های مطالعه آنها نشان داد بیشتر کشتارگاه‌ها به لحاظ زیست‌محیطی کارا نیستند.

روش پژوهش

در مدل‌های رایج DEA که کارایی انرژی را محاسبه می‌کنند، نهاده‌های انرژی و غیرانرژی خروجی‌های مطلوب تولید می‌کنند. با توجه به این که مصرف انرژی با انتشار آلاینده‌ها همراه است، اندازه‌گیری کارایی انرژی بدون در نظرگرفتن خروجی‌های نامطلوب از اعتبار کافی برخوردار نیست. بسیار مهم است که برای اندازه‌گیری کارایی انرژی، خروجی‌های مطلوب و نامطلوب همزمان در مدل لحاظ شوند. در این پژوهش با استفاده از مدل ژو و آنگ[1] (۲۰۰۸)، کارایی انرژی ایران و ۱۸ کشور همجوار در دوره ۲۰۱۲-۲۰۰۷ ارزیابی می‌شود.

یک فرآیند تولید را که در آن خروجی‌های مطلوب و نامطلوب به طور همزمان از طریق هر دو نوع ورودی انرژی و غیرانرژی تولید شده است، در نظر بگیرند. فرض کنید که x، e و y و u به ترتیب بردارهای ورودی‌های غیرانرژی، ورودی‌های انرژی، خروجی‌های مطلوب و خروجی‌های نامطلوب باشند. از نظر مفهومی، فناوری تولید برای مدل‌سازی فرآیندهای تولید مشترک در رابطه (۱) آمده است:

$$T = (x, e, y, u): (x, e) \Rightarrow (y, u) \qquad (۱)$$

در تئوری تولید، T یک مجموعه بسته و کراندار است. این فرض‌ها تضمین می‌کند که با مقادیر محدودی از ورودی‌ها، تنها مقادیر محدودی از خروجی را می‌توان تولید کرد. همچنین فرض شده است که اصل دسترس‌پذیری قوی برای ورودی‌ها و خروجی‌های نامطلوب برقرار است.

$$(x', e') \geq (x, e) \text{ یا } (y' \leq y) \Rightarrow (x', e', y, u) \in T \text{ یا } (x, e, y', u) \in T \qquad (۲)$$

به منظور واردساختن همزمان خروجی‌های مطلوب و نامطلوب در مدل و بر اساس مطالعه فاره و همکاران (۲۰۰۵) دو شرط ۳ و ۴ بر T اعمال می‌شود.

خروجی‌ها دسترسی‌پذیری ضعیف دارند، اگر کاهش یکنواخت خروجی‌های شدنی کماکان شدنی باشند، یعنی:

$$if\ (x, e, y, u) \in T \text{ و } 0 \leq \theta \leq 1, \Rightarrow\ (x, e, , \theta y, \theta u) \epsilon T \qquad (۳)$$

1. Zhou & Ang

تعریف بالا دلالت بر این دارد که با ثابت نگه‌داشتن ورودی‌ها، برای کاهش سه درصدی خروجی نامطلوب باید خروجی مطلوب سه درصد کاهش یابد.

خروجی‌های مطلوب و نامطلوب در فرآیند تولید تفکیک‌ناپذیرند، هرگاه:

$$if\ (x,e,y,u) \in T \text{ و } u = 0, \Rightarrow y = O \qquad (۴)$$

نخستین شرط نشان می‌دهد که کاهش خروجی‌های نامطلوب رایگان نیست، اما کاهش متناسب در هر دو خروجی‌های مطلوب و نامطلوب امکان‌پذیر است. شرط دوم نشان می‌دهد که تنها راه از بین‌بردن تمام خروجی‌های نامطلوب، توقف فرآیند تولید است. اگرچه فناوری تولید T برای مدل‌سازی مشترک خروجی‌های مطلوب و نامطلوب به خوبی تعریف شده است اما در مطالعه‌های تجربی نمی‌توان از این فناوری به طور مستقیم استفاده کرد. در عمل برای فرموله‌کردن فناوری تولید از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها استفاده می‌شود. بنابراین، با لحاظ‌کردن انتشار دی‌اکسید کربن به عنوان یک خروجی نامطلوب در مدل‌های DEA انرژی، فناوری DEA زیست‌محیطی ساخته می‌شود.

در موردی که K تعداد واحدهایی باشد که عملکرد کارایی انرژی آنها اندازه‌گیری می‌شود و بردار مشاهده‌ها برای ورودی‌های غیرانرژی (x_k) و انرژی (e_k) و خروجی‌های مطلوب (y_k) و نامطلوب (u_k) به شرح رابطه (۵) باشند:

$$x_k = (x_{1k}, \dots, x_{Nk}) \text{ و } e_k = (e_{1k}, \dots, e_{Lk}),\ y_k = (y_{1k}, \dots, y_{Mk}) \text{ و } u_k = (u_{1k}, \dots, u_{Jk}) \qquad (۵)$$

فناوری DEA زیست‌محیطی دارای بازدهی ثابت نسبت به مقیاس، به شکل رابطه (۶) تعریف می‌شود:

$$\begin{aligned} T = \{(x,e,y,u):& \\ &\textstyle\sum_{k=1}^{K} z_k x_{nk} \le x_{n,} \quad n = 1, \dots, N \\ &\textstyle\sum_{k=1}^{K} z_k\, e_{lk} \le e_{L,} \quad l = 1, \dots, L \\ &\textstyle\sum_{k=1}^{K} z_k\, y_{mk} \ge y_{m,} \quad m = 1, \dots, M \\ &\textstyle\sum_{k=1}^{K} u_{jk} = u_j, \quad j = 1, \dots, J \\ &z_k \ge 0, \quad k = 1, 2, \dots, K\} \end{aligned} \qquad (۶)$$

به راحتی می‌توان تایید کرد که فناوری DEA زیست‌محیطی تمام شرایط ذکرشده بالا را داراست. براساس رابطه (۶) یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای محاسبه شاخص عملکرد کارایی انرژی به شرح رابطه (۷) معرفی می‌شود:

$$
\begin{aligned}
&EEPI_1 = (x_{0,} e_{0,} y_{0,} u_0) = min\theta \\
&s.t. \sum_{k=1}^{k} z_k x_{nk} \leq x_{n0}\ , n = 1, \dots, N \\
&\sum_{k=1}^{K} z_k e_{lk} \leq \theta e_{l0},\ l = 1, \dots, L \\
&\sum_{k=1}^{K} z_k y_{mk} \geq y_{m0,}\ m = 1, \dots, M \\
&\sum_{k=1}^{K} z_k u_{jk} = u_{j0,}\ j = 1, \dots, J \\
&z_k \geq o, \quad k = 1,2,3, \dots., K
\end{aligned}
\qquad (۷)
$$

به طوری که اندیس o واحد تحت ارزیابی را نشان می‌دهد. رابطه (۷) یک شاخص یکپارچه و استاندارد [بدون بُعد و در فاصله (۱ و ۰)] برای اندازه‌گیری عملکرد کارایی انرژی را فراهم می‌کند. اگر واحدی، $EEPI_1$ بالاتری داشته باشد، آن واحد از نظر مصرف انرژی بهتر عمل می‌کند، بنابراین کارایی انرژی آن واحد، در مقایسه با سایر واحدها بیشتر است. برابر یک بودن $EEPI_1$ به این مفهوم است که آن واحد بر مرز کارایی قرار داشته و کاهش مصرف انرژی برای آن واحد امکان‌پذیر نیست.

تجزیه و تحلیل داده‌ها و اطلاعات

متغیرهای مورد استفاده در این پژوهش شامل تولید ناخالص داخلی (دلار آمریکا به قیمت ثابت سال ۲۰۰۵) به عنوان خروجی مطلوب، تولید گاز دی‌اکسید کربن سرانه (کیلوتن) به عنوان خروجی نامطلوب، مصرف انرژی (کیلوتن معادل نفت خام)، موجودی سرمایه (دلار آمریکا به قیمت ثابت سال ۲۰۰۵) و نیروی کار (جمعیت ۱۵ سال به بالا) به عنوان ورودی‌های سیستم برای ایران و ۱۷ کشور همجوار در نظر گرفته شده‌اند. دوره مورد بررسی با توجه به محدودیت داده‌های در دسترس، سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲ است و تمامی داده‌های مورد نیاز از شاخص‌های توسعه بانک جهانی (WDI 2013) استخراج شده‌اند. لازم به ذکر است به دلیل این که اطلاعات موجودی سرمایه ثابت برای کشورهای مورد بررسی در دسترس نبوده است، همانند مطالعه‌های ژو و آنگ (۲۰۰۸) و دو و همکاران (۲۰۱۴) از متغیر تشکیل سرمایه ثابت به عنوان جانشین موجودی سرمایه استفاده شده است.

تجزیه و تحلیل یافته‌ها

پس از برنامه‌نویسی رابطه (۷) در نرم‌افزار GAMS، نتیجه‌های خروجی مدل در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱ :کارایی انرژی کشورها از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲

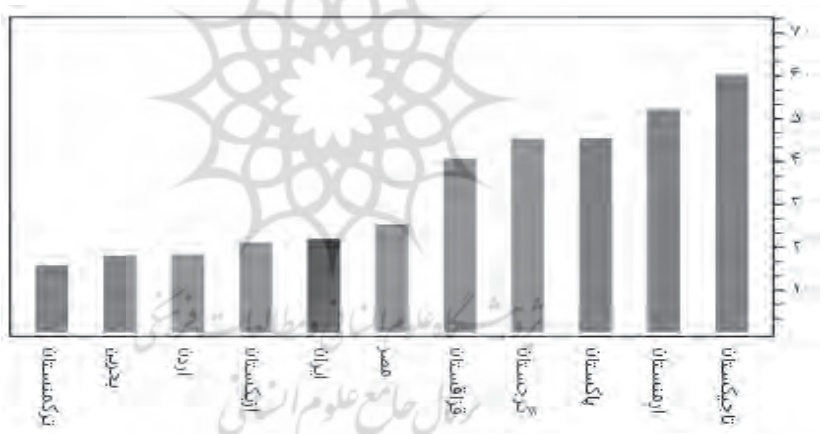
کشورها	۲۰۰۷	۲۰۰۸	۲۰۰۹	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	میانگین
آذربایجان	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
کویت	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
قطر	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
ترکیه	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
یمن	۱	۰/۹۶	۰/۹۴	۰/۸۸	۰/۹۵	۱	۰/۹۵
امارات	۱	۱	۰/۹۶	۰/۹۴	۰/۹۱	۰/۹۰	۰/۹۵
لبنان	۱	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۲	۰/۹۰	۰/۸۸	۰/۹۳
عربستان	۱	۱	۰/۸۱	۰/۸۲	۰/۹۰	۰/۹۸	۰/۹۲
ترکمنستان	۱	۱	۰/۷۵	۰/۷۷	۰/۷۶	۰/۷۵	۰/۸۴
بحرین	۰/۸۳	۰/۹۶	۰/۸۹	۰/۸۲	۰/۷۳	۰/۶۷	۰/۸۲
اردن	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۸۳	۰/۸۰	۰/۷۶	۰/۷۵	۰/۸۲
ازبکستان	۱	۱	۰/۸۰	۰/۷۹	۰/۶۴	۰/۵۰	۰/۷۹
ایران	۰/۸۶	۰/۸۵	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۷۲	۰/۶۵	۰/۷۸
مصر	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۷۸	۰/۷۱	۰/۷۰	۰/۶۹	۰/۷۴
قزاقستان	۰/۶۶	۰/۵۸	۰/۷۴	۰/۵۹	۰/۵۲	۰/۴۶	۰/۵۹
گرجستان	۰/۵۲	۰/۶۳	۰/۵۸	۰/۵۷	۰/۵۱	۰/۴۶	۰/۵۴
پاکستان	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۵۴	۰/۵۰	۰/۵۴	۰/۵۵	۰/۵۴
ارمنستان	۰/۵۰	۰/۵۶	۰/۴۹	۰/۴۹	۰/۴۳	۰/۳۸	۰/۴۸
تاجیکستان	۰/۴۰	۰/۳۹	۰/۴۰	۰/۴۱	۰/۴۰	۰/۳۸	۰/۴۰
میانگین	۰/۸۴	۰/۸۵	۰/۸۰	۰/۷۸	۰/۷۶	۰/۷۴	۰/۷۹

منبع: یافته‌های پژوهش

به منظور طولانی‌نشدن بحث ارائه نتیجه‌ها، در این بخش تنها به متوسط کارایی انرژی از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲ بسنده می‌شود. همانگونه که جدول (۱) نشان می‌دهد، عملکرد کشورهای آذربایجان،

کویت، قطر و ترکیه در مصرف انرژی کاملاً کارا است. در گروه بعدی کشورهای یمن، امارات متحده عربی، لبنان و عربستان قرار دارند که کارایی انرژی آنها از ۹۰ درصد بیشتر و از ۱۰۰ درصد کمتر است. درگروه سوم، کشورهای ترکمنستان، بحرین و اردن قرار دارند که کارایی انرژی آنها بیشتر از ۸۰ درصد و کمتر از ۹۰ درصد است. کارایی انرژی ایران و مصر در دامنه ۷۰ تا ۸۰ درصد قرار دارد. کارایی انرژی سایر کشورها زیر ۶۰ درصد است.

میانگین درصد کل صرفه‌جویی بالقوه انرژی برای کشورهای غیرکارا در دوره ۲۰۱۲-۲۰۰۷ در نمودار (۱) نشان داده شده است. کشور تاجیکستان که کمترین کارایی انرژی را داراست، می‌تواند بدون افزایش سایر نهاده‌های غیرانرژی و انتشار دی‌اکسید کربن و همچنین بدون کاهش تولید ناخالص داخلی، بیشترین کاهش مصرف انرژی را داشته باشد. باید به این نکته اشاره کرد که میزان صرفه‌جویی بالقوه ۲۲ درصدی مصرف انرژی ایران بسیار قابل توجه است.

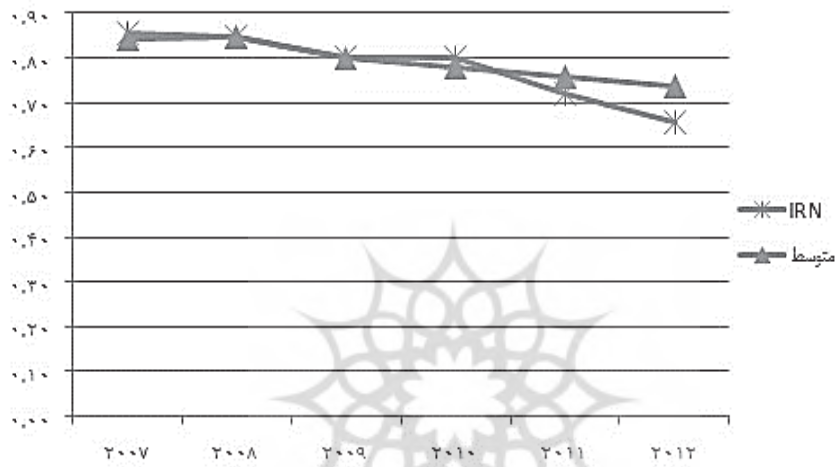


نمودار ۱: درصد کل صرفه‌جویی بالقوه انرژی کشورهای غیرکارا، دوره ۲۰۱۲-۲۰۰۷

منبع: یافته‌های پژوهش

تغییرات کارایی انرژی در دوره ۲۰۱۲-۲۰۰۷ برای ایران و کشورهای مورد بررسی در نمودار (۲) آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود روند تغییرات کارایی هم در ایران و هم در کشورهای مورد بررسی روند نزولی دارد. کارایی انرژی ایران بسیار به میانگین کارایی انرژی کشورهای مورد بررسی نزدیک است و از سال ۲۰۰۷ تا سال ۲۰۱۰ کارایی انرژی ایران در مقایسه با میانگین سایر کشورها

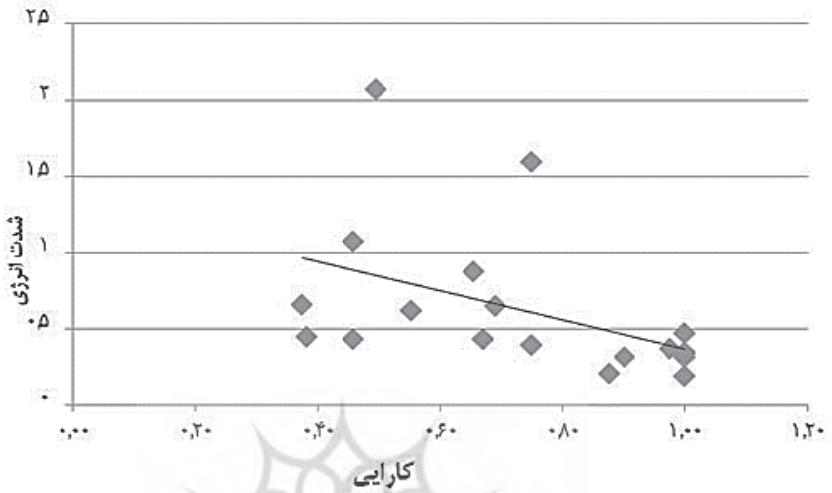
کمی بیشتر بوده است. در سال‌های ۲۰۱۱ و به ویژه در سال ۲۰۱۲ کارایی انرژی ایران در مقایسه با سایر کشورها کاهش داشته است. به‌طورکلی می‌توان گفت که کارایی انرژی ایران در سال ۲۰۱۲ نسبت به سال ۲۰۰۷ حدود ۹ درصد و برای سایر کشورها حدود شش درصد با کاهش همراه بوده است.



نمودار ۲: تغییرات کارایی انرژی ایران و میانگین کشورهای مورد بررسی

منبع: یافته‌های پژوهش

در سطح کلان، شدت انرژی از تقسیم میزان مصرف انرژی به تولید ناخالص داخلی به دست می‌آید و کارایی انرژی، معکوس شدت انرژی تعریف می‌شود. در نمودار (۳) پراکندگی کارایی انرژی در مقابل شدت انرژی برای سال ۲۰۱۲ ترسیم شده است و از همبستگی منفی بین دو شاخص حکایت دارد. باید به این نکته توجه داشت که تفاوت‌های اساسی بین این دو شاخص وجود دارد. به‌عنوان مثال، در محاسبه شدت انرژی فقط یک نهاده و یک ستانده در نظر گرفته می‌شود و قیمت نفت هم بر میزان این شاخص تاثیرگذار است، در حالی که در محاسبه کارایی با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها چندین نهاده و چندین ستانده در قالب تئوری تابع تولید مورد استفاده قرار گرفته و جانشینی بین نهاده‌ها امکان‌پذیر است.



نمودار ۳: همبستگی کارایی انرژی و شدت انرژی در سال ۲۰۱۲

منبع: یافته‌های پژوهش

نتیجه‌گیری

سند چشم‌انداز ۱۴۰۴، ایران را توسعه‌یافته، فعال و تاثیرگذار در اقتصاد جهانی معرفی می‌کند. ایران برای تحقق اهداف تعیین‌شده در سند چشم‌انداز باید رشد اقتصادی بالا را تجربه کند. رشد و توسعه اقتصادی در هر کشور نیازمند استفاده از انرژی به عنوان یکی از مهم‌ترین نهاده‌های تولید است. با وجود این مصرف انرژی و رشد اقتصادی اثرات ناگوار زیست‌محیطی دارند. بنابراین، در تعیین الگوهای تولید و مصرف انرژی باید ملاحظات فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی لحاظ شود. در این مطالعه با در نظرگرفتن همزمان فعالیت‌های اقتصادی، انتشار دی‌اکسید کربن و مصرف انرژی در فرآیند تولید و با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌های دارای خروجی نامطلوب کارایی انرژی در ایران و کشورهای منطقه در دوره ۲۰۱۲-۲۰۰۷ اندازه‌گیری و میزان تحقق اهداف سند چشم‌انداز در زمینه کارایی انرژی بررسی شد. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که وضعیت کارایی انرژی در ایران مطلوب نیست و ایران باید برای بهبود کارایی انرژی برنامه‌هایی را پیگیری کند تا ضمن حفظ منابع موجود و بدون آسیب‌رساندن به محیط زیست و سلامت انسان‌ها توانایی خود را برای توسعه اقتصادی افزایش دهد. با توجه به این که تحلیل پوششی داده‌ها یک روش مقایسه‌ای است، پیشنهاد می‌شود

که در بررسی‌های آتی، ایران با کشورهای توسعه‌یافته مقایسه شود تا جایگاه کارایی انرژی بهتر و واقعی‌تر مشخص شود. در مطالعه حاضر انواع مختلف انرژی به عنوان یک نهاده واحد در نظر گرفته شده است، بنابراین پیشنهاد می‌شود برای در نظرگرفتن اثرات ترکیبی انرژی، انواع مختلف انرژی به عنوان نهاده‌های مجزا در مدل لحاظ شوند.

منابع:

الف) فارسی

آماده، ابراهیم و رضایی، علی (۱۳۹۰). اندازه‌گیری کارایی زیست‌محیطی با استفاده از مدل کارایی سراسری در بخش تولید انرژی الکتریکی شرکت‌های برق منطقه‌ای، *فصلنامه مطالعات انرژی*، سال هشتم، شماره ۳۰، صص ۱۵۴-۱۲۵.

امامی‌میبدی، علی (۱۳۷۹). *اصول اندازه‌گیری کارایی و بهره‌وری*، تهران، موسسه مطالعات پژوهش‌های بازرگانی.

حیدری، ابراهیم و صادقی، حسین (۱۳۸۴). تخمین کارایی انرژی در بخش صنعت ایران در قالب تابع تقاضای تعدیل جزیی، *تحقیقات اقتصادی*، شماره ۶۸، بهار، صص ۲۰۰-۱۷۹.

دریجانی، علی؛ شرزه‌ای، غلامعلی؛ پیکانی، غلامرضا؛ صدرالاشرافی، سیدمهریار و یزدانی، سعید (۱۳۸۴). برآورد کارایی زیست محیطی با استفاده از تحلیل مرز تصادفی (مطالعه موردی کشتارگاه‌های دام استان تهران)، *اقتصاد کشاورزی و توسعه*، دوره ۱۳، شماره ۵۱ ، صص ۱۳۴-۱۱۳.

عباسی‌نژاد، حسین و وافی‌نجار، داریوش (۱۳۸۳). بررسی کارایی و بهره‌وری انرژی در بخش‌های مختلف اقتصادی و تخمین کشش نهاده‌ای و قیمتی انرژی در بخش صنعت و حمل‌ونقل با روش TSLS در (۱۳۷۹-۱۳۵۰)، *تحقیقات اقتصادی*، شماره ۶۶، پاییز ، صص ۱۳۷-۱۱۳.

ناصرزاده، سمیه (۱۳۸۹). *ارزیابی زیست کارایی نیروگاه‌های حرارتی کشور با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علامه طباطبایی، تابستان ۱۳۸۹.

ب) انگلیسی

Coelli, T. J. (2006). *Formulation of Technical, Economic and Environmental Efficiency Measures That is Consistent with the Materials Balance Condition.* Institute for Agricultural and Fisheries Research Social Sciences Unit, Merelbeke, Belgium.

Cuesta, R. A. & Zofio J. L. (2009). Environmental Efficiency Measurement with Tran Slog Distance Function: A Parametric Approach, *Ecological Economic*s, 68, pp. 2232-2242.

Du, Kerui; Lu, Huang & Yu, Kun (2014). Sources of the Potential CO2 Emission Reduction

in China: A Nonparametric Met Frontier Approach. *Applied Energy*, 115, pp.491-501.
Fare, R.; Grosskopf, S.; Noh, D. W. & Weber, W. (2005). Characteristics of a Polluting Technology: Theory & Practice, *Journal of Econometrics*, 126, pp. 469-492.
Wang, Ke; Yu, Shiwei & Zhang, Wei. (2013). China's Regional Energy and Environmental Efficiency: a DEA Window Analysis Based Dynamic Evaluation. *Mathematical and Computer Modelling*, 58(5-6), pp.1117-1127.
Zhou, P. & Ang, B. W. (2008). Linear Programming Models for Measuring Economy-Wide Energy Efficiency Performance, *Energy Policy*, 36, pp.2911-2916.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی