فصلنامه پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی
سال چهارم/ شماره ۱۰/ بهار ۱۳۹۷/ صفحات ۶۶-۴۱

تحلیل مقایسه‌ای روند بهره‌وری انرژی در استان‌های کشور

عباس عرب مازار
دانشیار گروه اقتصاد دانشگاه شهید بهشتی
ab_arabmazar@sbu.ac.ir

عاطفه خسروی
کارشناس ارشد دانشگاه شهید بهشتی
(نویسنده مسئول)
atefehkhosravi90@yahoo.com

در فرایند تولید، انرژی از اصلی‌ترین نهاده‌های تولید می‌باشد. بنابراین، توجه به کارایی انرژی برای دست‌یابی به سطح بالاتر رشد ضروری است. این پژوهش، بهره‌وری انرژی مصرفی بخش تولیدی استان‌ها را با استفاده از یک مدل ناپارامتریک در چارچوب ستانده مطلوب و نامطلوب و داده‌های استانی سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۸۵ در مناطق همگن صنعتی بررسی می‌کند. مقاله حاضر در پی اندازه‌گیری بهره‌وری انرژی استان‌های کشور از طریق اندازه‌گیری کارایی انرژی است به گونه‌ای که کارایی انرژی به عنوان نماینده‌ای از بهره‌وری انرژی اندازه‌گیری می‌شود. نتایج برآوردهای صورت‌گرفته این بود که نحوه استفاده از نهاده انرژی در بخش‌های تولیدی استان‌ها در سطح مطلوب نیست. در بین استان‌های تهران، اصفهان و خوزستان، استان خوزستان کمترین و استان اصفهان بیشترین بهره‌وری انرژی را دارد. در بین استان‌هایی که از نظر صنعتی بودن در خوشه چهارم قرار می‌گیرند، استان خراسان رضوی کمترین بهره‌وری انرژی را دارد. در بین استان‌هایی که در خوشه پنجم قرار دارند، استان هرمزگان پایین‌ترین بهره‌وری انرژی را دارد.

واژه‌های کلیدی: کارایی انرژی، بهره‌وری، تحلیل پوششی داده‌ها، استان‌های ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۲/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۹/۲۳

۱. مقدمه

با توجه به محدودیت امکانات و منابع، تمام جوامع با این مساله مهم اقتصادی روبرو هستند که چگونه این منابع کمیاب را برای برآورده کردن هر چه بیشتر نیازها و خوا سته‌های نامحدود و رقیب یکدیگر به کار گیرند به طوری که حداکثر آن خواسته‌ها برآورده شود. کوشش‌های اقتصادی انسان در این را ستا به مفهوم تلاش برای د ست‌یابی به بهره‌وری بالاتر می‌با شد. امروزه تلاش برای بهبود و ارتقای بهره‌وری از یک انتخاب فراتر رفته و به یک ضرورت تبدیل شده است. به عبارت دیگر، بهره‌وری تنها به عنوان یک معیار یا شاخص اقتصادی مطرح نیست، بلکه یک فرهنگ و نگرش به کل زندگی است که جنبه های مختلفی را در برگرفته و منشا بسیاری از تغییرات و تحولات اساسی است.

تمام سازمان‌های دولتی و خصوصی برای توسعه، رشد و پایداری در عرصه رقابتی امروز به نوعی سیستم ارزیابی عملکرد نیاز دارند. بدین منظور، اقتصاددانان و ریاضی‌دانان روش‌های پارامتری و ناپارامتری متعددی را ارائه داده‌اند. این روش‌ها با تمرکز بر اطلاعات و داده‌ها که شامل عوامل و محصولات تولیدی می‌باشد، به محاسبه مقدار بهره‌وری می‌پردازند.

قیمت بالای انرژی و همچنین نگرانی در مورد گرم شدن کره زمین بر اثر تولید گاز های گلخانه‌ای باعث شده بهره‌وری انرژی از اجزای مهم تصمیمات در زمینه انرژی باشد که نه تنها موجب کاهش کربن‌دی‌اکسید می‌شود، بلکه باعث افزایش امنیت عرضه انرژی و بهبود رقابت صنعتی نیز می گردد. مقاله حاضر، کارایی انرژی را به عنوان تقریبی از بهره‌وری انرژی استان‌های کشور در نظر گرفته و از این طریق به اندازه‌گیری بهره‌وری انرژی پرداخته است. بدین سبب، در بخش‌های آتی مقاله پس از تعریف مفاهیم اولیه به توضیح روش اندازه‌گیری کارایی انرژی موردنظر

با روش تحلیل پو ش شی داده‌ها پرداخته شده و کارایی انرژی به عنوان نماینده‌ای از بهره‌وری انرژی اندازه‌گیری می‌شود.

۲. مفهوم و نحوه محاسبه بهره‌وری انرژی

بهره‌وری انرژی یک اصطلاح عمومی در اقتصاد است و دارای تعریف و شاخص‌هایی برای اندازه‌گیری می‌با شد. به طور کلی، بهره‌وری‌انرژی را می‌توان به عنوان نسبت خروجی مفید به میزان انرژی ورودی تعریف کرد. بنابراین، افزایش بهره‌وری به معنای استفاده از انرژی کمتر برای همان سطح تولید قبلی است . (پترسون، ۱۹۹۶)[1]

روش‌های اندازه‌گیری بهره‌وری انرژی را می توان به دو دسته تقسیم کرد:

الف)پترسون(۱۹۹۶) و آنگ[2] (۲۰۰۶) بیان‌کردند که بهره‌وری انرژی را می‌توان به صورت شاخص‌های ترمودینامیکی (نسبت ساده‌ای که بهره‌وری انرژی را در یک فرایند آرمانی اندازه‌گیری می‌کند)، شاخص فیزیکی(شاخص ترکیبی، ورودی آن به صورت واحد ترمودینامیکی اما خروجی آن به صورت واحد فیزیکی)، شاخص اقتصادی ترمودینامیکی (نهاده به صورت واحدهای ترمودینامیکی، اما ستانده به صورت ارزش بازاری) و شاخص اقتصادی (بهره‌وری انرژی که در زیرمجموعه بهره‌وری کل عوامل قرار دارد) اندازه‌گیری کرد. بنابراین، در ابتدا شاخص بهره‌وری جزیی عوامل معرفی می‌گردد (لو هو، ۲۰۱۲ [3]). بهره‌وری جزیی عبارت است از:

$$\text{بهره‌وری جزیی} = \frac{\text{ارزش محصول تولید شده}}{\text{ارزش عامل مورد استفاده}}$$

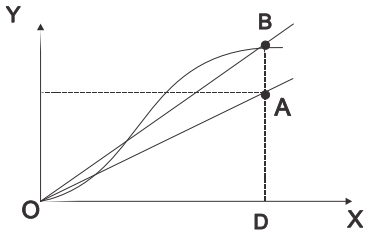
1. Patterson
2. Ang
3. LU Hu

طبق تعریف، بهره‌وری انرژی جزیی عبارت از نسبت ارزش بر ارزش مقدار انرژی مصرفی در فرایند تولید است. این شاخص که عکس شدت مصرف انرژی می‌باشد، در واقع، نسبت ساده‌ای بین ستانده و نهاده و به عبارتی، یک متوسط ارزش ریالی این دو جزء است .

ب) شدت انرژی در فعالیت‌های گوناگون متفاوت است. انرژی به تنهایی ستانده تولید نمی‌کند، بنابراین، بهتر است بهره‌وری آن را با در نظر گرفتن تاثیر سایر عوامل تولید سنجید. به طور خلاصه، در محاسبه بهره‌وری انرژی، نیروی کار و سرمایه به عنوان نهاده‌های دیگر که بر بهره‌وری انرژی تاثیر خواهند گذاشت نیز باید در نظر گرفته شود. (زو و آنگ، ۲۰۰۸) [1]

با توجه به جامعیت روش دوم، در این مطالعه از آن روش استفاده خواهد شد.

همچنین افزایش کارایی می‌تواند منجر به افزایش بهره‌وری گردد. با توجه به شکل (۱) ، برای اندازه‌گیری بهره‌وری در نقطه موردنظر از تابع تولید با نهاده متغیر X، خطی را از مبدا مختصات به نقاط موردنظر از تابع تولید رسم نموده که شیب آن خط، بهره‌وری در آن نقطه را مشخص می‌کند. اگر بنگاهی که در نقطه A فعالیت می‌کند، به نقطه کارای B انتقال یابد، شیب خط مورد نظر افزایش خواهد یافت که نشاندهنده بهره‌وری بالاتر نهاده X در نقطه B می‌باشد که این امر ارتباط بین افزایش کارایی را با افزایش بهره‌وری نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، بنگاه‌های تولیدی می‌توانند با افزایش کارایی، بهره‌وری خود را افزایش دهند.



شکل ۱. بهره‌وری، کارایی فنی و مقیاس اقتصادی

1. Zhou, P and Ang, B.W

تغییرات بهره‌وری شـــامل دو جزء تغییرات کارایی و تغییرات فناوری اســـت. بنابراین، افزایش کارایی می‌تواند منجر به افزایش بهره‌وری گردد. از آنجا که این مقاله یک دوره هفت ساله را مورد بررســی قرار می‌دهد و در این بازه زمانی انتظار نمی‌رود که فناوری تغییرات قابل‌توجهی در ســاختار استفاده از انرژی بخش تولیدی استان‌ها ایجاد کرده باشد، بنابراین می توان تغییرات کارایی را تقریب مناسبی برای بهره‌وری انرژی بخش تولیدی استان‌ها در نظر گرفت.

توجه به این نکته حائز اهمیت ا ست که در فرایند تولید علاوه بر محصول که هدف ا صلی تولید بوده ا ست و به عنوان ستانده مطلوب در نظر گرفته می شود، ستانده نامطلوبی نیز تولید می شود. در نتیجه، واحدهای تصمیم‌گیرنده به دنبال افزایش خروجی مطلوب و کاهش خروجی نامطلوب هستند و اندازه‌گیری بهره‌وری انرژی بدون در نظر گرفتن ستانده نامطلوب کار منطقی نیست.

با توجه به مطالب ذکرشده، در این مطالعه سعی شده است تاثیر تولید گازهای گلخانه‌ای به عنوان ستانده نامطلوب در نظر گرفته شـود، همچنین تاثیر سـایر عوامل تولید مانند نیروی کار و سـرمایه بر بهره‌وری انرژی نیز لحاظ شـــود که برای این امر از روش تحلیل پوشـــشـــی داده‌ها (DEA) [1] در چارچوب مدل ستانده مطلوب و نامطلوب استفاده می‌شود.

۳. مطالعات انجام‌شده

هو و وانگ [2] (۲۰۰۶) در مقاله خود به تجزیه و تحلیل کارایی انرژی ۲۹ منطقه اداری در چین برای دوره ۲۰۰۲-۱۹۹۵ با ا ستفاده از تحلیل پو ششی داده‌ها برای محا سبه بهره‌وری انرژی هر منطقه در چین در هر ســـال خاص می‌پردازند. در مدل DEA از چهار ورودی نیروی‌کار، ســـرمایه، انرژی مصرفی و کا شت محصولات کشاورزی به عنوان نهاده و تولید ناخالص داخلی واقعی به عنوان تنها ستانده ا ستفاده شده ا ست. با توجه به رتبه‌بندی شاخص بهره‌وری انرژی به روش تحلیل پو ششی

1. Data Envelopment Analysis Approach
2. Hu and Wang

داده ها، منطقه مرکزی چین بدترین بهره‌وری انرژی را دارد. بهره‌وری انرژی منطقه ها در چین(جز منطقه غربی) به طور کلی در طول دوره تحقیق بهبود یافته است. رابطه U شکل بین بهره‌وری انرژی منطقه‌ای به عنوان متغیر مستقل و درآمد سرانه به عنوان متغیر وابسته در مناطق چین ملاحظه می شود که تایید سناریویی است که بهبود بهره‌وری انرژی در نهایت رشد اقتصادی را بهبود می‌بخشد.

هو و کو[1] (۲۰۰۷) از روش تحلیل پوششی داده‌ها برای برآورد صرفه‌جویی انرژی در اقتصاد چین در مقایسه با سایر کشورها طی سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۹۱ بدون کاهش تولید ناخالص داخلی بالقوه در هر سال ا ستفاده کردند و در آن، متغیرهای ا سمی به متغیرهای واقعی در سطح قیمت‌های ۱۹۹۵ تبدیل شده است. انرژی، نیروی کار و سرمایه سه نهاده هستند در حالی که تولید ناخالص داخلی تنها ستانده مدل است. یافته‌های اصلی مقاله بدین شرح است: چین بیشترین صرفه‌جویی انرژی را در بین کشورهای APEC دارد؛ هنگ کنگ، فیلیپین و آمریکا دارای بالاترین بهره‌وری انرژی هستند؛ بهره‌وری انرژی به طور کلی برای اقتصاد APEC جز کانادا و نیوزیلند افزایش یافته است؛ شیلی، مکزیک و تایوان به طور قابل‌توجهی صرفه‌جویی در انرژی خود را در ۵ سال گذشته بهبود داده‌اند؛ رابطه U شکل معکوس بین سرانه انرژی اندونزی و سرانه تولید ناخالص داخلی وجود دارد وکاهش انرژی‌بری یک رابطه مثبت با ارزش افزوده تولید ناخالص داخلی بخش صنعت و یک رابطه منفی با بخش خدمات دارد .

شی و همکاران[2] (۲۰۱۰) بهره‌وری انرژی را به روش تحلیل پوششی داده‌ها و با در نظر گرفتن خروجی مطلوب و نامطلوب برای ۲۸ منطقه اداری چین بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که صنایع موجود در مناطق شرقی چین دارای متوسط بهره‌وری انرژی بالاتری نسبت به مناطق مرکزی چین برای دوره ۲۰۰۶-۲۰۰۰ بوده‌اند.

1. Hu and Kao
2. Shi, Bi and Wang

هه و همکاران[1] (۲۰۱۳) بهره‌وری انرژی ۵۰ شرکت را در صنعت آهن و فولاد چین با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها طی دوره ۲۰۰۸-۲۰۰۱ مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که متوسط بهره‌وری انرژی در این صنعت ۶۱ درصد و نرخ رشد سالانه آن ۷/۹۶ درصد بوده است.

ژانگ و همکاران [2] (۲۰۱۶) بهره‌وری انرژی را به روش تحلیل پوششی داده‌ها و با در نظر گرفتن خروجی مطلوب و نامطلوب برای صنعت سوئد طی دوره ۲۰۰۸-۲۰۰۱ بررسی کردند. نتایج بررسی نشان داد که ناکارآمدی زیادی در صنایع انرژی‌بر وجود دارد. همچنین نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل رگرسیون در این دوره نشان داد که مالیات بر انتشار CO_2 تاثیر قابل‌توجهی بر بهره‌وری انرژی در دوره مورد مطالعه نداشته است، اما مالیات بر انرژی رابطه مثبت با بهره‌وری انرژی دارد.

ماکریدو و همکاران[3] (۲۰۱۶) روند بهره‌وری انرژی در پنج صنعت انرژی‌بر در ۲۳ کشور اتحادیه اروپا را با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها در طول دوره ۲۰۰۹-۲۰۰۰ مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، به طور کلی، بهره‌وری در این دوره افزایش یافته است. تجزیه و تحلیل شاخص مالم‌کوییست نشان می‌دهد که تغییر فناوری سهم بسیاری در بهبود بهره‌وری داشته است. همچنین قیمت بالای برق، مالیات بر انرژی و سهم زیاد بزرگترین ژنراتور تولیدکننده برق از بازار برق، اثر منفی در بهره‌وری انرژی این صنایع داشته است.

آماده و همکاران (۱۳۸۸) استان‌های کشور را از لحاظ کارایی فنی بخش صنعت با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها و از روش اندرسون- پترسون رتبه‌بندی کردند. نتایج تحقیق نشان داد که استان‌های بوشهر، خوزستان، هرمزگان و کرمان بالاترین کارایی فنی را دارا می‌باشند.

1. He, Zhang, Lei, Fu and Xu
2. Zhang, Lundgren and Zhou
3. Makridou, Andriosopoulos, Doumpos and Zopounidis

پیکارجو(۱۳۷۷) در مقاله خود به بررسی اثرات راهکارهای افزایش بهره‌وری انرژی و نظریه توسعه پایدار در بهره‌برداری از منابع انرژی کشور می‌پردازد و در این تحقیق بیان می‌کند که برای دست‌یابی به توسعه پایدار اقتصادی می‌بایست با برنامه‌ریزی استراتژیک انرژی، استراتژی‌های صحیح را انتخاب نمود. همچنین کاهش هزینه‌های زیست‌محیطی ناشی از استفاده از سوخت‌های فسیلی می‌تواند زمینه را برای استقرار توسعه پایدار در کشور مهیا کند و با اتکا بر نظریه توسعه پایدار و بهبود شاخص‌های بهره‌وری انرژی می‌توان به توسعه پایدار دست یافت.

تقی زاده و پوررہی(۱۳۹۲) کارایی انرژی ۲۳ شرکت صنعت سیمان پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران را طی دوره ۱۳۸۸-۱۳۸۱ با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها و اطلاعات موجود در بورس برر سی کردند. نتایج نشان داد که شرکت‌ها به طور میانگین در روش تحلیل پو ششی داده‌ها برای ر سیدن به کارایی حداکثر، نیازمند افزایش کارایی به میزان ۱۳/۱ در صد در روش بازده متغیر و در روش بازده ثابت نسبت به مقیاس، نیازمند افزایش کارایی به میزان ۱۹/۲ درصد می‌باشند.

امامی و همکاران (۱۳۹۴) کارایی فنی، تخصیصی، اقتصادی و بهره‌وری پالایشگاه‌های گاز طبیعی کشور را با روش ناپارامتری تحلیل پوششی داده‌ها و شاخص مالم‌کوییست طی سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۸۳ بررسی کردند. نتایج نشان داد که متوسط کارایی فنی، تخصیصی و اقتصادی پالایشگاه‌های گاز طبیعی کشور طی این دوره به ترتیب ۹۵، ۹۸/۱ و ۹۳ درصد بوده است. از میان پالایشگاه‌های گاز طبیعی در محاسبه بهره‌وری، دو پالایشگاه به طور متوسط رشد مثبت و چهار پالایشگاه دیگر رشد منفی بهره‌وری را داشته‌اند و بهره‌وری کل عوامل تولید پالایشگاه‌ها به طور متو سط ۸,۲ در صد ر شد منفی دا شته ا ست که دلیل ا صلی آن، ر شد منفی ۸ در صدی در کارایی فناوری می‌باشد.

عرب مازار و همکاران (۱۳۹۴) با ا ستفاده از تحلیل پو ش شی داده‌ها و مدل‌های مبتنی برمتغیرهای کمی، کارایی فنی و کارایی زیست‌محیطی در صنایع سیمان، مس، آهن ، فولاد و شیشه را طی

دوره ۱۳۹۰-۱۳۷۴ بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که صنعت مس دارای ثبات کارایی فنی و زیست‌محیطی است. روند کارایی فنی و زیست‌محیطی صنعت شیشه، U شکل است. لذا در صنعت آلمینیوم کارایی فنی و زیست‌محیطی کاهش یافته است.

ورهرامی و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از مدل خودرگرسیون برداری، تاثیر نوسان قیمت حامل‌های انرژی بر تقاضای سرمایه و نیروی کار کارگاه‌های صنعتی طی سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۷۴ را مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد که تاثیر افزایش و کاهش قیمت حامل‌های انرژی بر تقاضای نیروی کار و سرمایه کارگاه‌های صنعتی نامتقارن است. همچنین تاثیر افزایش قیمت حامل‌های انرژی بر تقاضای سرمایه بیشتر از تقاضای نیروی کار است

متفکر آزاد و همکاران (۱۳۹۶) تعامل بین مصرف انرژی بخش صنعت و ارزش افزوده بخش صنعت را در طول ادوار تجاری صنعت طی دوره ۱۳۹۴-۱۳۵۲ بررسی کردند. نتایج آزمون علیت نشاندهنده وجود رابطه علیت یک‌طرفه از سمت تولید صنعتی به مصرف انرژی بخش صنعت است و بخش روندی و سیکلی سری‌های مصرف انرژی و تولید صنعتی را تجزیه شده نوسانات تولید صنعتی می‌تواند موجب نوسانات مصرف انرژی شود.

۴.تشریح الگو

برای محاسبه کارایی انرژی در بخش صنعت استان‌های کشور از مدل ستانده مطلوب و نامطلوب استفاده شده است.(پی زو و همکاران ۲۰۰۸)[1] که در آن سرمایه (K)، نیروی کار (L) و انرژی (E) به عنوان نهاده و تولید ناخالص داخلی(Y) به عنوان ستانده یا خروجی در نظر گرفته شده‌اند.

بنابراین، داریم:

$$T=\{ (K,L,E,Y) : (K,L,E) \text{ can produce } Y\} \quad (1)$$

1.Zhou and Ang

T شامل همه بردارهای داده و ستانده است. در نظریه تولید، T اغلب یک مجموعه محدود و بسته فرض می‌شود، بنابراین، داریم:

$$(K', L', E', Y') \in T \quad if \quad (K', L', E') \geq (K, L, E) \ and \ Y' \geq Y \qquad (۲)$$

از تابع مسافت[1] برای اندازه‌گیری کارایی انرژی به شرح زیر استفاده می‌شود:

$$D_E(\mathrm{K, L, E, Y}) = \mathrm{SUP}\{\alpha: \left(\mathrm{K, L, }{E}/{\alpha}, Y\right) \in T\} \qquad (۳)$$

تابع مسافت انرژی در معادله (۳) یک تابع همگن خطی از مقدار نهاده E است. اگر E به یک نسبت معین افزایش یابد، تابع مسافت نیز به همان نسبت افزایش می‌یابد. این نسبت، تابع مسافت نهاده انرژی را با شدت انرژی در سطح کلان مرتبط می سازد. شدت انرژی اغلب به صورت انرژی مصرفی هر واحد تولید تعریف می‌شود. معادله (۳) بیان می‌کند که میزان کاهش انرژی مصرفی باید به گونه‌ای باشد که فناوری تولید در رابطه (۱) اجازه می‌دهد و همچنین ترکیب داده- ستانده عوض نشود.

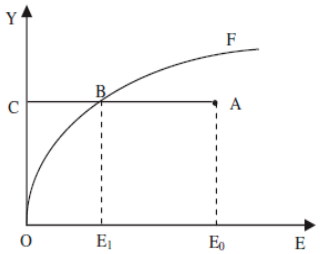
در نتیجه، $\frac{E}{D_E(K,L,E,Y)}$ نشاندهنده انرژی مصرفی فرضی است در صورتی که بنگاه‌ها به صورت کارا عمل کنند. بنابراین، نسبت انرژی استفاده شده فرضی به انرژی مصرفی واقعی که معادل تابع مسافت است می‌تواند به عنوان شاخصی برای کارایی انرژی تعریف شود.

$$EEI = \frac{1}{D_E(K,L,E,Y)} \qquad (۴)$$

اگر EEI[2] برابر یک باشد، یعنی بنگاه به صورت کارا عمل می‌کند، اما اگر بنگاه به صورت کارا عمل نکند، مقدار این شاخص، کمتر از یک است. شکل(۲) EEI را بر روی منحنی تابع تولید E و Y، هنگامی که K و L ثابت باشند، نشان می‌دهد. اگر فرض کنیم بنگاه در نقطه A قرار دارد، برای اینکه بر روی منحنی تابع تولید قرار گیرد باید انرژی مصرفی را از E0 به E1 کاهش دهد.

1.Distance Function
2.Energy Efficiency Index

بنابراین، تابع مسافت انرژی برابر با نسبت CA/CB تعریف می شود که معکوس این نسبت با ارزش شاخص EEI در نقطه A برابر است[1].



$$EEI = \frac{CB}{CA}$$

شکل۲. تابع تولید و شاخص EEI

ماخذ: زو و همکاران(۲۰۱۲)

تابع مسافت می‌تواند در چارچوب مدل‌های پارامتری و ناپارامتری محاسبه شود. در چارچوب مدل‌های ناپارامتری، تابع مسافت انرژی با حل یک مدل DEA محاسبه می شود. تابع مسافت انرژی $D_E(K,L,E,Y)$ در چارچوب مدل ناپارامتری می‌تواند با فرض بازده ثابت نسبت به مقیاس به صورت زیر بیان شود:

$$EEI_i = \frac{1}{(K_i,L_i,E_i,Y_i)} = min\theta \qquad (۵)$$

$s.t$

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{n} \lambda_j K_j \\ \sum_{j=1}^{n} \lambda E_j \le \theta E_j \\ \sum_{j=1}^{n} \lambda_j L_j \le L_j \\ \sum_{j=1}^{n} \lambda_j Y_j \ge Y_j \\ \lambda \ge 0, j = 1,2,3,..,n \end{cases}$$

1.Zhou , Ang, Zhou(2012)

یا با فرض بازده متغیر نسبت به مقیاس خواهیم داشت:(زو و همکاران ۲۰۱۲)[1]

$$EEI_i = \frac{1}{(K_i,L_i,E_i,Y_i)} = min\theta \quad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j K_j \qquad (۶)$$

$$s.t$$

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{n} \lambda E_j \leq \theta E_j \\ \sum_{j=1}^{n} \lambda_j L_j \leq L_j \\ \sum_{j=1}^{n} \lambda_j Y_j \geq Y_j \\ \sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1 \\ \lambda \geq 0, j = 1,2,3,..,n \end{cases}$$

اندازه‌گیری کارایی انرژی با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها در چارچوب مدل ستانده مطلوب و نامطلوب توسط زو و آنگ[2](۲۰۰۸) صورت گرفته است که انرژی مصرفی را به عنوان یک نهاده یا ورودی برای تولید ستانده‌های مطلوب در نظر می‌گیرد در حالی که استفاده از انرژی برای تولید، ستانده نامطلوبی از جمله گازهای گلخانه‌ای مانند CO_2نیز تولید می‌کند. لذا اندازه‌گیری کارایی انرژی بدون در نظر گرفتن ستانده های نامطلوب روش منطقی برای تعیین بهره‌وری انرژی نمی‌باشد. علاوه بر این، در محاسبه بهره‌وری انرژی باید تاثیر سایر عوامل تولید مانند نیروی کار و

1. P .Zhou , BW. Ang, D.Q.Zhou
2. Zhou and Ang

سـرمایه را نیز لحاظ کرد. بنابراین برای محاسـبه بهره‌وری انرژی از مدل سـتانده مطلوب و نامطلوب استفاده می‌شود. (زو و همکار، ۲۰۰۸) بنابراین، داریم:

T={(x,e,y,u): x و e می‌تواند y و u را تولید کند}

که در آن، T مجموعه‌ای محدود در نظر گرفته می‌شـود که با مقدار محدودی نهاده، مقدار محدودی ستانده به دست می‌آید[1] (فار و پیرمونت ۱۹۹۵) نهاده‌ها و ستانده‌های موجود در T قابلیت عرضه دارند: (زو و همکاران ۲۰۰۸)

$$(x,e,y,u) \in T \; and \; (x',e') \geq (x,e) \; or \; (y' \leq y) \; then (x',e',y,u) \in T, or (x,e,y',u) \in T$$

دو قید زیر به منظور منطقی کردن مدل تولید مشترک با هر دو ستانده مطلوب و نا مطلوب به آن اعمال می‌شود. (فار و گروسکف[2]۱۹۹۵)

الف) خروجی‌ها باید قابل‌عرضه باشند. به عنوان مثال،

$$if \;\; (x,e,y,u) \in T \;\; and \;\; 0 \leq \theta \leq 1 \;\;\; then \;\; (x,e,\theta y,\theta u) \in T$$

ب) ستانده مطلوب و نامطلوب اشتراکشان تهی است.

$$if \;\; (x,e,\theta y,\theta u) \in T \;\; and \;\; u = 0, then \; y = 0$$

شـرط اول بیان می‌کند که کاهش سـتانده نامطلوب رایگان نیسـت، اما کاهش متناسـب در هر دو سـتانده مطلوب و نامطلوب امکان‌پذیر اسـت. شـرط دوم بیان می‌کند که تنها راه برای از بین بردن

1.Fare and Primont
2.Fare and Grosskopf

ســـتانده نامطلوب توقف فرایند تولید اســـت. در شـــرایطی که تعداد بنگاه‌ها زیاد باشـــد، اطلاعات امین بنگاه برای نهاده‌های انرژی، نهاده‌های غیرانرژی، ستانده مطلوب و ستانده نامطلوب به شرح k زیر می‌باشد. (زو و همکار، ۲۰۰۸)

$$X_k = (X_{1k}, \dots, X_{Nk}) \qquad (۷)$$

$$e_k = (e_{1k}, \dots, e_{Nk})$$
$$y_k = (y_{1k}, \dots, y_{Nk})$$
$$u_k = (u_{1k}, \dots, u_{Nk})$$

مدل فوق را با شرط بازده ثابت نسبت به مقیاس می توان به شرح زیر نوشت: (زو و همکار، ۲۰۰۸)

$$T = \{(x, e, y, u): \sum_{k=1}^{k} Z_k X_{nk} \le X_n \quad n = 1, \dots, N \qquad (۸)$$
$$\sum_{k=1}^{k} Z_k e_{lk} \le e_l \qquad l = 1, \dots, L$$
$$\sum_{k=1}^{k} Z_k y_{mk} \le y_m \quad m = 1, \dots, M$$
$$\sum_{k=1}^{k} Z_k u_{jk} \le u_j \qquad j = 1, \dots, J$$
$$Z_k \ge 0, k = 1,2,3, \dots, K\}$$

بر اســـاس آنچه در قســـمت قبل گفته شـــد، مدل زیر معرف یک مدل برنامه‌ریزی ریاضـــی برای محاسبه کارایی انرژی می‌باشد. (زو و آنگ ، ۲۰۰۸)[1]

$$EEPI_2(x_0, e_0, y_0, u_0) = min \frac{1}{L} \sum_1^L \theta \qquad (۹)$$

1. Zhou and Ang

$$s.t:$$
$$\begin{cases} \sum_1^k Z_k X_{nk} \le X_n & n = 1, \dots, N \\ \sum_1^K Z_k\, e_{lk} \le \theta e_l & l = 1, \dots, L \\ \sum_1^K Z_k Y_{mk} \le Y_m & m = 1, .., M \\ \sum_1^K Z_k\, U_{jk} \le U_j & j = 1, \dots, J \\ Z_k \ge 0, k = 1,2,3, \dots, K \end{cases}$$

EEPI[1] شاخصی برای اندازه‌گیری عملکرد کارایی انرژی است که در بازه $[0,1]$ قرار دارد. $EEPI_2$ دوگان تابع مسافت بر اساس حداکثرسازی محصول (ستانده محور) است[2]. اگر این شاخص برابر با یک باشد، بنگاه از نظر مصرف انرژی بهینه عمل کرده است. بنابراین، $EEPI_2$ این امکان را فراهم می‌کند که بنگاه برخی از نهاده‌های انرژی را افزایش دهد، اما ورودی‌های دیگر انرژی را کاهش ندهد یا تغییر ندهد تا به نقطه ایده‌آل برسد. بنابراین، در این مدل، نهاده انرژی به صورت نامتناسب برای ارزیابی کارایی انرژی وارد مدل می‌شود. واحد اندازه‌گیری نهاده‌های مختلف انرژی متفاوت است، اما $EEPI_2$ فاقد واحد اندازه‌گیری است و این ویژگی مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها در اندازه‌گیری بهره‌وری انرژی است. دو شاخص دیگر برای اندازه‌گیری کارایی انرژی شاخص‌های $EEPI_1$ و $EEPI_3$ هستند. شاخص $EEPI_3$ بر اساس میزان ذخیره انرژی ساخته می‌شود.[3] با توجه به داده‌های در دسترس، شاخص انتخابی در این مقاله برای محاسبه کارایی انرژی هر استان شاخص $EEPI_2$ است.

1. Energy Efficiency Performance Index

۲. برای مطالعه بیشتر به مطالعات فارل و و همکاران (۱۹۹۴) و فار و پریمونت (۱۹۹۵) مراجعه شود.

۳. برای مطالعه بیشتر به مقاله پی. زو و همکاران (۲۰۰۸) مراجعه شود.

۵. تجزیه و تحلیل داده‌ها

اطلاعات مورد نیاز از سالنامه آماری هر استان و ترازنامه انرژی برای سال های ۱۳۸۵-۱۳۹۳ جمع‌آوری شده است. در محاسبه کارایی از متغیرهای کار، سرمایه و همچنین نهاده انرژی مصرفی بخش‌های تولیدی (شامل نفت‌کوره، نفت سفید، نفت گاز، برق، گاز طبیعی و بنزین) هر استان، به عنوان داده، استفاده شده است. استفاده از نهاده انرژی دارای دو ستانده مطلوب (تولید) و نامطلوب (گازهای گلخانه‌ای) است که با استفاده از ظرفیت گرمایی گازهای تشکیل‌دهنده آن به دی اکسیدکربن تبدیل شده‌اند. ارزش افزوده بدون نفت بخش صنعت هر استان به عنوان ستانده یا خروجی مطلوب در نظر گرفته شده و برای محاسبه از نرم افزار Win4DEAP استفاده شده است.

از آنجایی که استان‌های کشور از وزن و رتبه متفاوتی با توجه به متغیرهای بخش صنعت برخوردارند و نیز استان‌های با رتبه صنعتی بالا استان‌هایی هستند که به لحاظ شاخص‌های فرهنگی، پزشکی، بهداشتی، آموزشی، ارتباطی و حمل و نقل نیز در اولویت قرار دارند. رتبه‌بندی استان‌های ایران از نظر صنعتی بودن متفاوت خواهد بود که در این زمینه تولایی (۱۳۸۶) با استفاده از روش تاکسونومی، به رتبه‌بندی استان‌های کشور بر اساس متغیرهای گوناگون صنعتی پرداخته است که نتایج یافته‌های این تحقیق در جدول (۱) خلاصه شده است.

جدول ۱. خوشه بندی استان‌ها بر مبنای متغیرهای بخش صنعت

خوشه اول	تهران
خوشه دوم	اصفهان
خوشه سوم	خوزستان
خوشه چهارم	مرکزی، آذربایجان‌شرقی و خراسان (شمالی و جنوبی و رضوی)
خوشه پنجم	آذربایجان‌غربی، اردبیل، ایلام، بوشهر، چهارمحال و بختیاری، زنجان، سمنان، سیستان و بلوچستان، فارس، قزوین، قم، کردستان، کرمان، کرمانشاه، کهگیلویه و بویراحمد، گلستان، گیلان، لرستان، مازندران، هرمزگان، همدان و یزد

مأخذ: تولایی ۱۳۸۶

نتایج برآورد کارایی انرژی به روش تحلیل پوششی داده‌ها در جدول (۲) آمده است.

جدول ۲. متوسط کارایی انرژی هر استان با استفاده از شاخص $EEPI_2$

خوشه	استان	کارایی انرژی
خوشه‌های اول، دوم ، سوم	اصفهان	۰/۰۳۵
	تهران	۰/۰۲۵
	خوزستان	۰/۰۲۴۳
خوشه چهارم	خراسان جنوبی	۰/۸۰۳
	خراسان شمالی	۰/۷۲۸
	آذربایجان‌شرقی	۰/۱۸۷
	مرکزی	۰/۰۶
	خراسان رضوی	۰/۰۰۹
خوشه پنجم	بوشهر	۱
	اردبیل	۰/۳۲۱
	آذربایجان‌غربی	۰/۱۷
	یزد	۰/۱۷
	ایلام	۰/۱۶
	کردستان	۰/۱۳۸
	سیستان و بلوچستان	۰/۱۳۳
	قزوین	۰/۱۳۳
	چهارمحال و بختیاری	۰/۱۲۴
	گیلان	۰/۰۹۶
	کهگیلویه و بویراحمد	۰/۰۸۴
	سمنان	۰/۰۷۷
	مازندران	۰/۰۷۶
	قم	۰/۰۷۳
	گلستان	۰/۰۶۴
	لرستان	۰/۰۶۴
	زنجان	۰/۰۵۶
	کرمانشاه	۰/۰۵۱
	کرمان	۰/۰۵
	فارس	۰/۰۴۶
	همدان	۰/۰۳۸
	هرمزگان	۰/۰۳۷

مأخذ: محاسبات تحقیق

در جدول (۲) شاخص $EEPI_2$ برای ۳۰ استان کشور محاسبه شده است. گرچه استان بوشهر در نگاه اجمالی بیشترین کارایی انرژی و استان خراسان شمالی در مقام دوم قرار دارد و همچنین استان خراسان رضوی پایین‌ترین کارایی انرژی را دارد، اما به طور کلی، مقدار عددی این شاخص در استان‌ها بسیار پایین است به طوری که در بیش از نیمی از استان‌ها این شاخص کمتر از ۰/۱ می‌باشد که نشاندهنده عملکرد ضعیف استان‌ها در استفاده از نهاده انرژی در بخش تولید است که به طور کلی، استان بوشهر بیشترین کارایی انرژی را در بین استان‌ها دارا می‌باشد. البته باید به این نکته توجه کرد که روش DEA نیازمند یک حداقل داده ورودی و خروجی برای محاسبات است. لذا امکان بررسی استان‌ها در هریک از خوشه‌ها وجود نداشته و همه استان‌ها با هم مقایسه می شوند. همچنین روش DEA کارایی نسبی را بیان می کند. به عبارت دیگر، کارایی هر واحد تصمیم‌گیرنده را در مقایسه با بهترین واحد مشابه بیان می دارد.

با توجه به اینکه استان‌های ایران از نظر معیار صنعتی بودن همگن نیستند، در مقایسه کارایی انرژی در استان‌ها باید به ناهمگنی آنها توجه کرد. نتایج مقایسه کارایی انرژی استان‌ها بر اساس معیار صنعتی بودن به این شرح است که در بین استان‌های واقع در خوشه‌های اول، دوم و سوم، استان اصفهان بیشترین و استان خوزستان کمترین کارایی انرژی را دارد. در خوشه چهارم، استان خراسان جنوبی بیشترین و استان خراسان رضوی کمترین کارایی انرژی را داشته‌اند و در بین استان‌های موجود در خوشه پنجم، استان بوشهر بیشترین و استان فارس کمترین کارایی انرژی را دارد.

از آنجایی که افزایش بهره‌وری سایر عوامل می‌تواند بهره‌وری انرژی را افزایش دهد، در این تحقیق، متوسط بهره‌وری کل عوامل تولید طی دوره ۱۳۹۳-۱۳۸۵ با استفاده از شاخص مالم‌کوییست محاسبه شده که نتایج حاصل از آن در جدول(۳) ارائه می‌گردد.

جدول ۳. متوسط بهره‌وری کل عوامل تولید هر استان
با استفاده از شاخص مالم‌کوییست(۹۳-۱۳۸۵)

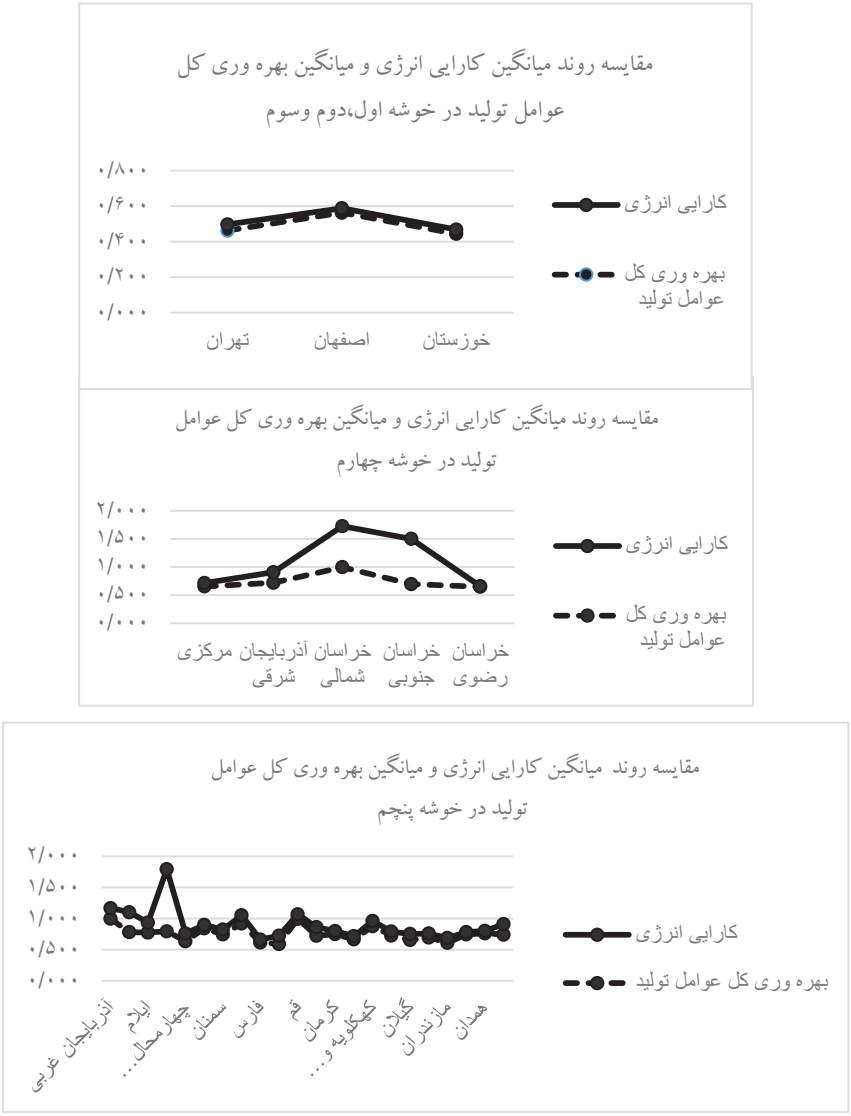
خوشه	استان	بهره‌وری کل عوامل تولید
خوشه‌های اول، دوم ، سوم	اصفهان	۰/۵۶۳
	تهران	۰/۴۶۲
	خوزستان	۰/۴۴۴
خوشه چهارم	خراسان جنوبی	۰/۷۴۲
	آذربایجان‌شرقی	۰/۷۰۲
	خراسان شمالی	۰/۶۹۶
	مرکزی	۰/۶۵۵
	خراسان رضوی	۰/۶۴۹
خوشه پنجم	آذربایجان‌غربی	۰/۹۹۷
	قم	۰/۹۹۵
	سیستان و بلوچستان	۰/۹۱۹
	کهگیلویه و بویراحمد	۰/۸۷۷
	زنجان	۰/۸۴۲
	بوشهر	۰/۷۹۴
	اردبیل	۰/۷۸۱
	ایلام	۰/۷۷۵
	همدان	۰/۷۶۳
	کرمان	۰/۷۵
	سمنان	۰/۷۴۶
	هرمزگان	۰/۷۴۵
	یزد	۰/۷۴۱
	گلستان	۰/۷۲۷
	کردستان	۰/۷۲۳
	کرمانشاه	۰/۶۶۵
	لرستان	۰/۶۹۶
	گیلان	۰/۶۵۶
	چهارمحال و بختیاری	۰/۶۳۵
	فارس	۰/۶۱۶
	مازندران	۰/۶۱۱
	قزوین	۰/۵۹۱

مأخذ: محاسبات تحقیق

بررسی روند بهره‌وری کل عوامل تولید در استان‌های ایران نشان می‌دهد که این شاخص در بازه [0/4,1] می‌باشد. استان آذربایجان‌غربی بیشترین بهره‌وری را در بین ۳۰ استان مورد مطالعه دارد. استان قم دومین مقام و استان خوزستان کمترین بهره‌وری را در بین استان‌های ایران دارد. شاخص مالم‌کوییست در بیش از نیمی از استان‌ها بالاتر از ۰/۵ است که نشاندهنده عملکرد بهتر استان‌ها در زمینه این شاخص می‌باشد. به عبارت دیگر، گرچه بیشتر از نیمی از استان‌ها توجه چندانی به بهره‌وری انرژی نداشتند، اما در زمینه بهره‌وری کل عوامل تولید، عملکرد استان‌ها بهتر بوده است. اگر بهره‌وری کل عوامل تولید و کارایی انرژی روندی همسو داشته باشند، افزایش بهره‌وری کل عوامل تولید می‌تواند منجر به افزایش بهره‌وری گردد.

۶. مقایسه روند کارایی انرژی و بهره‌وری کل عوامل تولید با توجه به خوشه‌بندی صنعتی

همانطور که در نمودار(۱) مشخص است، در بین استان‌هایی که در خوشه‌های اول، دوم و سوم قرار دارند، استان اصفهان بیشترین کارایی انرژی و بهره‌وری کل عوامل تولید را دارد و در این خوشه‌ها، ضریب همبستگی بین بهره‌وری کل و کارایی انرژی برابر ۰/۹۹ است ($\rho = .99$)، پس بهره‌وری کل عوامل تولید و کارایی انرژی روندی همسو و هماهنگ دارند. در بین استان‌هایی که در خوشه چهارم قرار گرفته اند، استان خراسان جنوبی بیشترین کارایی انرژی را دارد در حالی که استان خراسان شمالی بیشترین بهره‌وری کل عوامل تولید را دارد و در این خوشه، ضریب همبستگی بین بهره‌وری کل عوامل تولید و کارایی انرژی برابر ۰/۸ است ($\rho = .8$)، پس کارایی انرژی و بهره‌وری کل عوامل تولید روندی کاملا همسو با هم دارند. در بین استان‌هایی که در خوشه پنجم قرار دارند، استان بوشهر بیشترین کارایی انرژی و استان آذربایجان‌غربی بیشترین بهره‌وری کل عوامل تولید را دارد و در این خوشه، ضریب همبستگی بین بهره‌وری کل و کارایی انرژی برابر ۰/۱۲۳ است ($\rho = .123$). بنابراین، در مورد همسویی روند بین بهره‌وری کل عوامل تولید و کارایی انرژی، همسویی به طور کامل وجود ندارد.



نمودار ۱. مقایسه روند میانگین کارایی انرژی و میانگین بهره‌وری کل عوامل تولید طی دوره ۱۳۹۳-۱۳۸۵

۷. نتیجه‌گیری

در این تحقیق، به منظور ارزیابی عملکرد کارایی انرژی و بهره‌وری کل عوامل تولید استان‌های کشور طی دوره ۷ ساله ۱۳۹۳-۱۳۸۵ از مدل ناپارامتریک تحلیل پوششی داده‌ها با ستانده مطلوب و نامطلوب و شاخص مالم‌کوییست استفاده شد. از مدل اول که یک مدل ناپارامتری با شرط بازده ثابت نسبت به مقیاس بود، این نتیجه حاصل شد که نحوه استفاده از نهاده انرژی در بخش‌های تولیدی استان‌ها به گونه‌ای نبوده است که نتیجه مناسبی از سطح کارایی انرژی استان‌ها ملاحظه می‌شود.

بر اساس نتایج بدست‌آمده از مدل ستانده مطلوب و نامطلوب و همچنین نحوه خوشه‌بندی که هر یک از استان‌های تهران، اصفهان و خوزستان را یک خوشه در نظر می‌گیرد، استان خوزستان کمترین بهره‌وری انرژی و استان اصفهان بیشترین بهره‌وری انرژی را داشته‌اند. این در حالی است که در بین سه استان ذکرشده، بهره‌وری کل عوامل تولید در استان اصفهان بالاتر بوده است. پس می‌توان گفت که در استان اصفهان افزایش بهره‌وری انرژی با افزایش بهره‌وری در نیروی کار و سرمایه همراه بوده است و این امر منجر به بهبود عملکرد کلی استان اصفهان نسبت به دو استان تهران و خوزستان شده است.

در بین استان‌هایی که از نظر صنعتی بودن در خوشه چهارم قرار می‌گیرند، استان خراسان رضوی کمترین بهره‌وری انرژی و استان خراسان جنوبی بیشترین بهره‌وری انرژی را دارا می‌باشند. این در حالی است که بیشترین میزان بهره‌وری کل عوامل تولید مربوط به استان خراسان جنوبی می‌باشد. بنابراین، اقدامات صورت‌گرفته در زمینه افزایش بهره‌وری کل و بهره‌وری انرژی در استان‌های این خوشه در یک راستا قرار ندارد.

در بین استان‌های باقیمانده که خوشه پنجم را تشکیل می دهند، استان هرمزگان پایین‌ترین بهره‌وری انرژی را دارد. همچنین محاسبه بهره‌وری کل عوامل تولید استان‌های ایران با استفاده از

شاخص مالم‌کوییست نشان داد که در بین ۳۰ استان مورد مطالعه، استان آذربایجان‌غربی بیشترین بهره‌وری و استان خوزستان کمترین بهره‌وری را در بین استان‌های ایران دارد. پس به طور کلی، افزایش بهره‌وری کل عوامل تولید با بهره‌وری انرژی در استان‌های کشور در یک راستا نیست.

با توجه به شاخص‌های فوق، پیشنهاد می‌شود در استان‌های کشور توسعه فناوری و افزایش بهره‌وری نیروی انسانی با افزایش بهره‌وری کل عوامل تولید برای دست‌یابی به توسعه پایدار همسو گردد.

همچنین لازم است نهادهای مسئول با تدوین سیاست‌های تشویقی و دادن انگیزه‌های مختلف بودجه‌ای، استان‌ها را به ارتقای بیشتر کارایی انرژی در بخش تولید تشویق و هدایت کند.

علاوه بر این، سیاست‌های تقویت تولید ملی(در راستای اجرای اقتصاد مقاومتی) و همچنین استراتژی‌های توسعه فناوری کشور باید افزایش کارایی انرژی در بخش‌های تولیدی کشور را مد نظر قرار دهند.

منابع

آماده، حمید و علی ر ضایی (۱۳۹۰)، "اندازه‌گیری کارایی زی ستمحیطی با ا ستفاده از مدل کارایی سرا سری منطقه‌ای"، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، سال هشتم، شماره ۳.

ابطحی، حسین و بابک کاظمی (۱۳۷۹)، *بهره‌وری*، تهران: موسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی، چاپ دوم.

ا مامی می بدی، علی (۱۳۸۹)، *اصـــول ا ندازه‌گیری کارایی و بهره‌وری*، تهران: موســـســـه م طال عات و پژوهش‌های بازرگانی.

امامی میبدی، علی؛ محمدی، تیمور و علی و عارف بهروز (۱۳۹۴)، "اندازه‌گیری کارایی و بهره‌وری در پالایشگاه‌های گاز طبیعی ایران"، *فصلنامه علوم اقتصادی*، دوره ۹، شماره ۳۰.

پیکارجو، کاظم (۱۳۷۶)، "راهکارهای بهره‌وری انرژی و نقش آن در جهت توسعه و شکوفایی اقتصادی و اجتماعی کشور"، نخستین همایش ملی انرژی، تهران.

پیکارجو، کاظم (۱۳۷۷)، " بررسی اثرات راهکارهای بهره‌وری انرژی و تئوری توسعه پایدار در بهره‌برداری از منابع انرژی کشور"، *مجله اطلاعات – اقتصادی*، شماره ۱۶۶-۱۶۵.

ترازنامه انرژی، وزارت نیرو، ۱۳۹۰-۱۳۸۵

تقی‌زاده، هوشـــنگ و میر وحید پوروربی (۱۳۹۲)، "ارزیابی کارایی انرژی شـــرکت‌های پذیرفته‌شـــده در بورس اوراق بهادار تهران(مطالعه موردی صنعت سیمان) "، *مجله اقتصاد پولی*، زمستان ۱۳۹۲، سال بیستم، شماره ۶.

تولایی، سیمین (۱۳۸۶)، "نقش د سترسی به زیر ساخت‌ها در رتبه‌بندی صنعتی ا ستان‌های کشور"، *نشریه علوم جغرافیایی*، جلد ۶، شماره‌های ۸،۹.

سالنامه آماری استان‌ها، مرکز آمار ایران،۱۳۹۰-۱۳۸۵.

عباسیان، عزت‌اله و نادر مهرگان (۱۳۸۶)، "اندازه‌گیری بهره‌وری بخش‌های اقتصادی کشور به روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) "، *مجله اقتصادی*، شماره ۷۸.

عرب مازار، عباس؛ امامی میبدی، علی و ح سین ح سنی (۱۳۹۴)، "تحلیل کارایی زی ستمحیطی در پنج صنعت انرژی‌بر منتخب (۹۰-۱۳۷۴) "، *فصلنامه علوم محیطی*، دانشگاه شهید بهشتی، زیر چاپ.

ورهرامی، وید و زهرا ســـجادی (۱۳۹۶)، "اثرات نامتقارن شـــوک قیمت حامل‌های انرژی بر توابع تقاضـــای نیروی کار و سرمایه کارگاه‌های صنعتی"، دوره۳، شماره ۶.

متفکر آزاد، محمد علی و زانا مظفری (۱۳۹۶)، " م صرف انرژی در افق سیکل‌های تجاری صنعت ایران"، دوره ۲، شماره ۵.

Aigner, D. J. and S. F. Chu (1968), "On Estimate of The Industry Production Function", *American Economic Review*, Vol.58, PP. 826-832.

Ang, B.W. (2006), "Monitoring Changes in Economy-wide Energy Efficiency: from Energy-GDP Ratio to Composite Efficiency Index", *Energy policy*, Vol.34, pp.574-582.

Charens, W; W. Cooper and E. Rhodes (1978), "A Data Envelopment Analysis Approch to Evaluation of the Program Fllow Trough Experiment in U.S Public School Education", *Management Science Research Report*, No.432, Carnegie-Mellon University, School of Urban and Public Affairs, Pittsburgh, PA.

Boyd, G. A. and J. X. Pang (2000), "Estimating the Linkage between Energy Efficiency and Productivity", *Energy Policy*,Vol. 28, pp.289-296.

Coelli, T. (1996), Aguide to DEA Version 2.1, A Data Envelopment Analysis (Computer) Program.

Erye, N. A. (1998), "Golden Age for a False Dawn? Energy Efficiency in UK Competitive Energy Market", *Energy Policy*, Vol. 26(12), pp. 963-972.

Fare, R; Grosskop f. s; Norris, M. and Z. Zhang (1994), "Productivity Growth, Technical Progress and Efficiency Change in Industrial Countries", *American Economic Review* , Vol. 84(1), pp.66-83.

Fare, R. and D. Primont (1995), "Multi-output Production and Duality: Theory and Applications", Kluwer Academic Publishers, Boston.

Fare, R. and S. Grosskopf (2004), "Modeling Undesirable Factors in Efficiency Evaluation: Comment", *European Journal of Operational Research*,Vol.157, pp.242-245.

Feng, He; Qingzhi, Zhang; Jiasu, Lei; Weihui, Fu and Xu Xiaoning (2013), "Energy Efficiency and Productivity Change of China's Iron and Steel Industry: Accounting for Undesirable Outputs", *Energy Policy* ,Vol.54, pp. 204-213.

Gaves, d. w; Christensen, L. R and W. E. Diwert (1982), "The Economic Theory of Indext Number and Measurement of Input, Output and Productivity, Economica", Vol.50, pp. 1393-1414.

Hu, J. L. and S. C. Wang (2006), "Total-factor Energy Efficiency of Regions in China", *Energy Policy* ,Vol.34, pp. 3206-3217.

Hu, J. L. and C. H. Kao (2007), "Efficient Energy-savings Targets for APEC Economies", *Energy Policy*, Vol. 35, pp.373-382.

Lee, L. F. and M. M. Pitt (1981), "The Measurement and Sources of Technical Ineffiency in the Indonesian Weaving Industry, *Journal of Development Economics*", Vol.9, pp.43-64.

Makridou,G, K; Andriosopoulos, M. Doumpos and C. Zopounidis (2016), "Measuring the Efficiency of Energy-intensive Industries Cross European Countries"**,** *Energy Policy*,Vol. 88, pp. 573-583.

Morrison, c. and W. E. Diewert (1990), "New Techniques in the Measurment of Multifactor Productivity" , *Journal of Productivity Analysis* ,Vol .14, pp. 267-280.

Ramanathan, R. (2000), "A Holistic Approach to Compare Energy Efficiencies of Different Transport Modes", *Energy Policy*, Vol.28, pp.743-747.

Renyu, Miao and Jin Yifeng (2014), "The Measurement and Analysis of Regional Energy Efficiency in China", *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, Vol.6(3), pp.729-734.

Schleich, J. (2004), "Do Energy Audits Help Reduce Barriers to Energy Efficiency", *International Journal of Energy Technology and Policy*,Vol. 2(3), pp. 226-239.

Shi, Guang-Ming; Jun, Bi and Jin-Nan Wang (2010)," Chinese Regional Industrial Energy Efficiency Evaluation Based on a DEA Model of Fixing Non-energy Inputs", *Energy Policy*, pp. 6172-6179.

Zhou, P. and B. W. Ang (2008)," Linear Programming Models for Measuring Economy-wide Energy Efficiency Performance", *Energy Policy*, Vol. 36(8), pp. 2911-2916.

Zou, Gaofeng; Longmei Chen; Wei Liu; , Xiaoxin Hong; Guijun Zhang and Ziyi Zhang (2013), "Measurement and Evaluation of Chinese Regional Energy Efficiency Based on Provincial Panel Data , Mathematical and Computer Modelling", pp.1000-1009.

Zhang, Shanshan; Tommy Lundgren and Zhou Wenchao (2016), "Energy Efficiency in Swedish Industry: A firm-level Data Envelopment Analysis Energy Economics",Vol. 55, pp. 42-51.