

تحلیل مقایسه‌ای کارایی انرژی صنایع بزرگ استان‌های ایران با استفاده از روش تحلیل فراگیر داده‌ها در دوره ۱۳۸۷-۱۳۹۰

وحید شهابی نژاد^{۱*}

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۱۰

چکیده

دو شاخص شناخته شده راجع به اینکه نهاده‌های انرژی چگونه مصرف می‌شوند وجود دارد: یکی شدت انرژی که میزان مصرف انرژی برای تولید یک واحد محصول را اندازه می‌گیرد و دیگری کارایی انرژی (بهره‌وری انرژی)، که نسبت تولید ناخالص داخلی به انرژی مصرفی را اندازه می‌گیرد. اما این دو شاخص انرژی را به عنوان تنها نهاده در نظر می‌گیرند. در مقابل، شاخص TFEE علاوه بر انرژی سایر نهاده‌های کلیدی تولید، مثل نیروی کار و سرمایه را نیز در محاسبه‌ی کارایی انرژی لحاظ می‌کند. در این مطالعه کارایی انرژی صنایع بزرگ (ده نفر کارکن و بیشتر) استان‌های ایران در دوره ۱۳۸۷-۱۳۹۰ با استفاده از شاخص کارایی کل عامل انرژی (TFEE) در چارچوب کلیه‌ی عوامل تولید و بر پایه‌ی روش تحلیل فراگیر داده‌ها محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد که میانگین کارایی انرژی کل صنایع بزرگ استان‌های ایران در دوره‌ی موردنظر تقریباً ۰/۴ می‌باشد و بیشترین میزان متوسط کارایی انرژی به ترتیب مربوط به استان‌های هرمزگان، تهران، بوشهر، آذربایجان و کرمان و کمترین آن نیز مربوط به خراسان شمالی، چهارمحال بختیاری، سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی و لرستان می‌باشد. همچنین برآوردها در دوره‌ی مورد نظر نشان می‌دهد که متوسط کارایی انرژی استان‌ها تا سال ۱۳۸۹ در حال کاهش و پس از آن یعنی در سال ۱۳۹۰ با اصلاح قیمت حامل‌های انرژی افزایش یافته است.

کلیدواژه‌ها: کارایی کل عامل انرژی، تحلیل فراگیر داده‌ها، صنایع بزرگ استان‌های ایران

طبقه‌بندی JEL: Q41, C52, O40

۱. مقدمه

مصرف کارآمد انرژی اولین اولویت در زمینه محیط‌زیست از نظر حفاظت از منابع و مقابله با تغییرات آب و هوایی می‌باشد. به‌طور کلی پذیرش کاهش رشد اقتصادی با کاهش مصرف انرژی قابل قبول نیست. بنابراین بهبود کارایی انرژی بدون ایجاد خللی در رشد اقتصادی برای هر اقتصادی اهمیت دارد (هونما و هو^۱، ۲۰۱۴). در بسیاری از مطالعات صورت گرفته رابطه مثبت بین مصرف انرژی و رشد اقتصادی تأیید شده است (ابوصدرا^۲ و همکاران، ۲۰۰۹؛ نریان^۳ و همکاران، ۲۰۱۰ و هو و چانگ^۴، ۲۰۰۹)، اگر چه مصرف انرژی منبع عظیمی از گازهای گلخانه‌ای و مشکلات زیست‌محیطی می‌باشد (ساری و سوباتس^۵، ۲۰۰۹ و هرینگ^۶، ۱۹۹۹). با توجه به فشارهای وارده بر محیط‌زیست در روند رشد و توسعه اقتصادی، مطالعه در خصوص مصرف انرژی به شکل‌های کارایی انرژی، شدت انرژی و بهره‌وری انرژی در چند دهه اخیر افزایش یافته است (هو و وانگ^۷، ۲۰۰۶). این مسأله در اقتصاد ایران در مقایسه با سایر کشورهای جهان اهمیت ویژه‌ای دارد چرا که بر اساس آمار سال ۱۳۹۱ کشور ایران با ذخایر گاز طبیعی به میزان ۳۳/۸ تریلیون مترمکعب در رتبه اول جهان قرار دارد، همچنین ذخیره‌ی نفت خام این کشور ۹ درصد کل ذخایر نفت جهان بوده و در بین کشورهای عضو اپک نیز پس از ونزوئلا و عربستان سعودی با سهم ۱۳ درصدی در جایگاه سوم قرار دارد. (ترازنامه‌ی انرژی، ۱۳۹۱) از طرفی ویژگی منابع محور بودن اقتصاد ایران و ساختار تولید مبتنی بر مصرف انرژی موجب شده است که میزان مصرف انواع انرژی‌های فسیلی و غیر فسیلی در سطح بالایی قرار گرفته و روند رو به رشدی داشته باشد. از سوی دیگر ارتباط تنگاتنگ بین مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، به ویژه CO_2 گویای آن است که آثار زیان‌بار مصرف انرژی به‌ویژه انرژی‌های فسیلی در صورت عدم توجه به این بخش، بالا خواهد بود. آمار و اطلاعات موجود نشان می‌دهد که سرانه انتشار CO_2 در ایران از ۳/۶ تن در ۱۹۹۰ به ۶/۹ تن در سال ۲۰۰۸ افزایش یافته است. در حالی که طی این دوره انتشار CO_2 نسبت به تولید ناخالص داخلی در ایالات متحده و منطقه اروپا با کاهش مواجه شده است. (صادقی و همکاران، ۱۳۹۲) از این رو با توجه به گستردگی و ذخیره‌ی منابع انرژی، در صورتی که مصرف آن بدون برنامه باشد، علاوه بر اتلاف منابع، خطر آلودگی زیست‌محیطی را به دنبال خواهد داشت که با اهداف توسعه‌ی پایدار در تعارض است. در این خصوص می‌توان با شناسایی عمیق‌تری از مسائل مربوط به انرژی به‌ویژه کارایی و بهره‌وری انرژی به لحاظ سیاسی و اقتصادی، برنامه‌ریزی بهتری انجام داد. هرگونه اقدام و برنامه‌ریزی در جهت مصرف

1. Honma and Hu
2. Abosedra
3. Narayan
4. Hu and Chang
5. Sari R and Soyatas
6. Herring
7. Hu and Wang

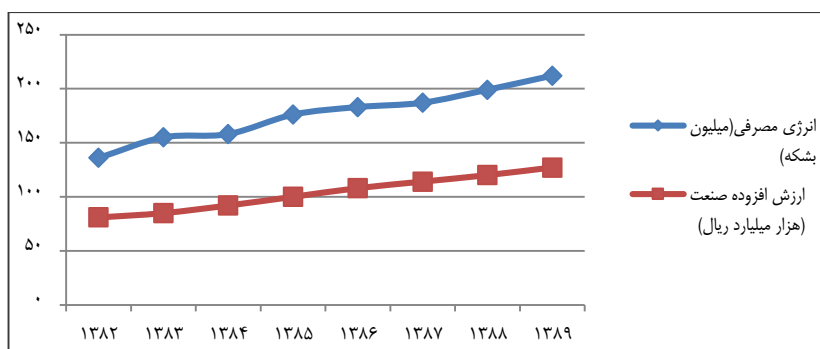
بهبود و افزایش بهره‌وری انرژی مستلزم شناخت وضع موجود است که این شناخت از طریق جمع‌آوری آمار، اطلاعات و محاسبه بهره‌وری انرژی حاصل می‌شود. دو شاخص شناخته‌شده راجع به این که نهاده‌های انرژی چگونه مصرف می‌شوند وجود دارد؛ شدت انرژی، که میزان مصرف انرژی برای تولید یک واحد محصول را اندازه می‌گیرد و دیگری کارایی انرژی (یا بهره‌وری انرژی) که به شکل نسبت تولید به نهاده انرژی تعریف می‌شود. در این شاخص‌ها از انرژی به عنوان تنها نهاده استفاده می‌شود و سایر عوامل تولید را نادیده می‌گیرند. (پترسون^۱، ۱۹۹۶؛ نل و ونزیل^۲، ۲۰۱۰ و هونما و هو، ۲۰۱۴) در ادامه این مقاله پس از اشاره به مطالعات صورت گرفته، شاخص کارایی کل عامل انرژی (TFEEI)^۳ (هو و وانگ، ۲۰۰۶ و هونما و هو، ۲۰۱۴) به عنوان جایگزینی مناسب معرفی و مبانی نظری مربوط به آن را تشریح خواهیم کرد و سپس با توضیح داده‌ها و متغیرهای تحقیق به محاسبه شاخص مذکور در صنایع ده نفر کارکن و بیشتر استان‌های ایران می‌پردازیم.

بررسی اجمالی صنایع بزرگ استان‌های کشور

امروزه موضوعات مرتبط با انرژی و میزان مصرف آن در بخش‌های مختلف، یکی از مهمترین مباحث در سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی کشورها است. انرژی به عنوان یکی از مهمترین عوامل تولید زیربنای اصلی توسعه به شمار می‌رود و مقدار مصرف حامل‌های انرژی نقش مهمی در فعالیت کارگاه‌های صنعتی ایفا می‌کند. در کشور ما به خصوص پس از طرح هدفمندی یارانه‌ها، به چگونگی مصرف انرژی در بخش‌های مختلف توجه ویژه‌ای شده است. از آنجاکه بخش صنعت یکی از مهمترین مصرف‌کنندگان انرژی کشور می‌باشد، گروه انرژی دفتر صنعت، معدن و زیربنایی، اقدام به جمع‌بندی و تهیه‌ی سری زمانی از مصرف انرژی در کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر نموده است. در سال ۱۳۸۹ مصرف کل انرژی کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیش‌تر ۲۱۲ میلیون بشکه معادل نفت خام بوده که نسبت به سال قبل رشد ۶/۷ درصدی داشته است. نمودار ۱ روند انرژی مصرفی کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیش‌تر را در سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۹ نشان می‌دهد که بیانگر روند صعودی مصرف انرژی در کارگاه‌های صنعتی است. بررسی مقدار مصرف انرژی کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیش‌تر به تفکیک استان‌های کشور در سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۹ نشان می‌دهد استان‌های اصفهان و خوزستان بیشترین و استان کهگیلویه و بویراحمد کمترین مصرف انرژی را در این بخش داشته‌اند. مقدار مصرف انرژی کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیش‌تر در سال ۱۳۸۹ برای استان‌های اصفهان و خوزستان به ترتیب ۵۰ و ۳۸ میلیون بشکه معادل نفت خام و برای استان کهگیلویه و بویراحمد به مقدار ۰/۲

1. Patterson
2. Nel and van Zyl
3. Total Factor Energy Efficiency Index

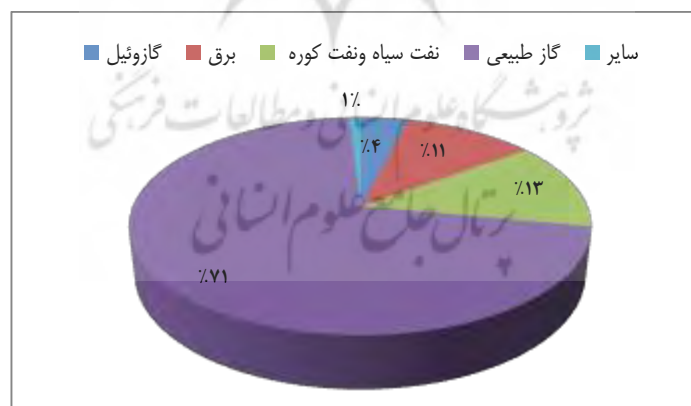
میلیون بشکه معادل نفت خام بوده است. در جدول ۱ آمار مربوط به سرانه مقدار مصرف انرژی آورده شده است (مرکز آمار ایران).



نمودار ۱: مقدار انرژی مصرفی کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر و ارزش افزوده بخش صنعت به قیمت ثابت ۱۳۷۶-۱۳۸۲-۱۳۸۹

منبع: مرکز آمار ایران، طرح آمارگیری از صنایع ده نفر کارکن و بیشتر

در سال‌های ۸۲ تا ۸۹، گاز طبیعی و پس از آن نفت سیاه و نفت کوره به ترتیب بیش از سایر حامل‌های انرژی در کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیش‌تر مصرف‌شده است. در سال ۱۳۸۹ سهم کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیش‌تر از مصرف گاز طبیعی ۷۱ درصد (۱۵۱ میلیون بشکه معادل نفت خام) و از نفت سیاه و نفت کوره ۱۳/۱ درصد (۲۸ میلیون بشکه معادل نفت خام) بوده که بیشترین سهم را نسبت به سایر حامل‌ها داشته است.



نمودار ۲: مقدار مصرف انرژی به تفکیک نوع حامل در کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیش‌تر ۱۳۸۹ (درصد)

منبع: مرکز آمار ایران، طرح آمارگیری از صنایع ده نفر کارکن و بیش‌تر

آمار مربوط به تعداد صنایع بالای ده نفر کارکن و بیش‌تر متعلق به هر استان، مقدار مصرف کل انرژی و نیز سرانه مصرف انرژی^۱ در سال ۱۳۹۰ در جدول ۱ آورده شده است، سرانه مصرف انرژی کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیش‌تر، در سال ۱۳۹۰ به ۱۵ هزار بشکه معادل نفت خام رسیده که نسبت به سال ۱۳۸۹ از رشدی به میزان ۸/۷ درصد برخوردار بوده است. هم‌چنین تعداد کارگاه‌های فعال صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیش‌تر در سال ۱۳۹۰ نسبت به سال قبل با کاهش ۲/۲ درصدی مواجه شده است که عمدتاً به کاهش تعداد در کارگاه‌های کم‌مصرف برمی‌گردد. این امر نیز موجب افزایش سرانه مصرف انرژی می‌گردد (مرکز آمار ایران).

جدول ۱: تعداد کارگاه‌های فعال، مقدار کل و سرانه مصرف انرژی کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیش‌تر به تفکیک استان: ۱۳۹۰ (بشکه معادل نفت خام)

ID	استان	تعداد کارگاه‌های فعال	مقدار کل مصرف انرژی	سرانه مصرف انرژی
۱	اردبیل	۱۸۶	۹۹۷۹۶۹	۵۳۶۵/۴
۲	آذربایجان غربی	۳۲۵	۵۰۰۲۶۳۱	۱۵۳۹۲/۷
۳	آذربایجان شرقی	۷۳۲	۹۱۵۱۴۱۸	۱۲۵۰۱/۹
۴	بوشهر	۱۰۴	۴۸۱۷۳۳۸	۴۶۳۲۰/۶
۵	چهارمحال بختیاری	۲۴۹	۱۰۹۱۴۰۵	۴۳۸۳/۲
۶	ایلام	۴۹	۹۹۱۸۶۴	۲۰۲۴۲/۱
۷	اصفهان	۱۸۳۲	۴۷۵۰۴۳۶۹	۲۵۹۳۰/۳
۸	فارس	۶۲۲	۱۱۰۰۴۱۲۷	۱۷۶۹۱/۵
۹	قزوین	۶۶۸	۶۵۸۹۳۲۸	۹۸۶۴/۳
۱۰	گیلان	۵۳۶	۲۵۸۵۵۴۰	۴۸۲۳/۸
۱۱	گلستان	۳۵۹	۲۰۰۲۰۲۴	۵۵۷۶/۷
۱۲	قم	۵۰۰	۲۷۰۶۰۳۱	۵۴۱۲/۱
۱۳	همدان	۳۷۷	۳۵۶۶۰۲۸	۹۴۵۹/۰
۱۴	هرمزگان	۱۸۰	۸۱۴۶۴۷۶	۴۵۲۵۸/۲
۱۵	کرمان	۱۳۷	۴۵۹۹۵۸۶	۳۳۵۷۳/۶
۱۶	کرمانشاه	۳۳۳	۴۵۰۵۵۰۱	۱۹۳۳۶/۹
۱۷	خراسان جنوبی	۱۰۳	۱۰۵۰۳۶۹	۱۰۱۹۷/۸
۱۸	خراسان رضوی	۱۰۱۲	۴۷۰۶۷۹۳	۴۶۵۱/۰
۱۹	خراسان شمالی	۸۰	۴۲۴۷۹۹۴	۵۳۰۹۹/۹
۲۰	خوزستان	۴۰۵	۴۶۳۲۶۰۵۷	۱۱۴۳۸۵/۳
۲۱	کهگیلویه و بویراحمد	۵۱	۳۴۳۰۱۶	۴۷۶۵/۰
۲۲	کردستان	۱۲۶	۸۱۵۶۲۱	۶۴۷۳/۲



۱. سرانه مقدار مصرف انرژی عبارت است از مقدار مصرف انرژی کارگاه‌های صنعتی به تعداد کارگاه‌های جامعه آماری.



۱۱۱۸۴/۶	۲۰۹۱۵۲۰	۱۸۷	لرستان	۲۳
۲۰۷۲۵/۷	۱۱۲۵۴۰۷۸	۵۴۳	مرکزی	۲۴
۶۶۱۷/۳	۴۵۸۵۸۰۵	۶۹۳	مازندران	۲۵
۳۷۶۳/۹	۲۸۴۱۷۵۱	۷۵۵	سمنان	۲۶
۱۳۳۶۰/۲	۱۲۵۵۸۶۱	۹۴	سیستان	۲۷
۶۶۶۲/۸	۲۱۵۴۷۴۴۵	۳۲۳۴	تهران ^۱	۲۸
۱۵۱۹۴/۷	۵۸۱۹۵۷۲	۳۸۳	یزد	۲۹
۱۲۰۲۳/۹	۲۵۲۵۰۱۵	۲۱۰	زنجان	۳۰
۱۵۰۰۶/۵	۲۲۴۵۷۲۵۲۲	۱۴۹۶۵	کل کشور	-

منبع: مرکز آمار ایران، طرح آمارگیری از صنایع ده نفر کارکن و بیشتر

۲. پیشینه‌ی تحقیق

به‌طور کلی دو رشته تحقیق در ادبیات کارایی کل عامل انرژی بر پایه‌ی تحلیل فراگیر داده‌ها وجود دارد. رشته‌ی اول تکیه بر اندازه‌گیری بهره‌وری کل عوامل بر پایه‌ی شاخص DEA-Malmquist دارد که اولین بار به‌وسیله‌ی کیوز^۲ و همکاران (۱۹۸۲) معرفی شد. به‌عنوان مثال، فورسوند و کیتلسن^۳ (۱۹۹۸) از تحلیل فراگیر داده‌ها برای محاسبه‌ی شاخص بهره‌وری مالم کوئیسیت در کمپانی‌های توزیع برق نروژ استفاده کردند. ادواردسن و فبرسوند^۴ (۲۰۰۳) مدل DEA نهاده‌گرا و شاخص بهره‌وری مالم کوئیسیت را برای تحلیل عملکرد ۱۲۲ توزیع‌کننده برق در کشورهای دانمارک، فنلاند، نروژ، سوئد و هلند به کار گرفتند. وی و همکاران^۵ (۲۰۰۷) همین روش را برای اندازه‌گیری تغییرات کارایی انرژی در صنایع استیل و آهن چین به کار گرفتند. شاخص بهره‌وری کل فقط تنظیمات شعاعی را شامل می‌شود و اسلک غیر-شعاعی را در نظر نمی‌گیرد، بنابراین قادر به اندازه‌گیری کارایی یک عامل در چارچوب کل عوامل نیست. (هونما و هو، ۲۰۰۹).

رشته‌ی دوم تحلیل‌های پیرامون کارایی انرژی، از شاخص کارایی کل عامل انرژی (TFEE)^۶ که اولین بار به‌وسیله‌ی هو و وانگ (۲۰۰۶) معرفی شد استفاده می‌کند. شاخص TFEE به شکل نسبت تارگت نهاده به میزان واقعی نهاده انرژی تعریف می‌شود. با به‌حساب آوردن میزان کمبود

۱. از آنجایی که داده‌های استان البرز قبل از سال ۱۳۹۰ به تفکیک وجود نداشته است، در کل این دوره‌ها محاسبات دو استان تهران و البرز یکجا و در استان تهران آورده شده است.

2. Caves
3. Forsund and Kittelsen
4. Edvardsen and Fbrsund
5. Wei *et al.*
6. Total Factor Energy Efficiency

غیر شعاعی شاخص کارایی کل عامل انرژی قابلیت محاسبه‌ی کارایی یک عامل در چارچوب کل عوامل را دارد. در زیر به تعدادی از مطالعاتی که در این زمینه آورده شده است اشاره می‌شود.

هونما و هو (۲۰۱۴) سطح کارایی کل عامل انرژی صنعت ۱۴ کشور توسعه‌یافته را در دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۵ با استفاده از روش DEA اندازه‌گیری کردند. آنها در مطالعه‌ی خود از چهار نهاد: نیروی کار، ذخیره سرمایه، انرژی و سایر نهاده‌های غیر انرژی واسطه‌ای و از ارزش افزوده به عنوان تنها ستاده استفاده کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که ژاپن می‌تواند در استفاده بهینه و نگذاشت انرژی موفق‌تر عمل کند، چرا که کارایی کل عامل انرژی در این کشور از ۰/۹۸۶ در سال ۱۹۹۵ به ۰/۹۲۷ در سال ۲۰۰۵ کاهش یافته است. در پایان نیز جهت بهبود وضعیت صنایع ناکارا در مصرف انرژی، استقرار تکنولوژی‌های نگهداری انرژی از کشورهای موفق نظیر آلمان، انگلیس و آمریکا را پیشنهاد کرده‌اند.

هونما و هو (۲۰۱۳) کارایی انرژی را برای ۱۷ بخش اقتصادی ژاپن در دوره ۲۰۰۵-۱۹۹۸ با استفاده از روش تحلیل فراگیر داده‌ها محاسبه کردند. در این مطالعه انرژی، نیروی کار و سرمایه به عنوان نهاده و ارزش افزوده هر بخش به عنوان تنها ستاده در نظر گرفته شده است. یافته‌های اصلی این تحقیق نشان می‌دهد که بخش قابل توجهی از ناکارآمدی انرژی در اقتصاد ژاپن، در بخش‌های انرژی بر نظیر صنایع کاغذ، شیمیایی، سیمان و سرامیک و فلزهای اصلی و همچنین بخش‌های کشاورزی، جنگلداری و شیلات، حمل‌ونقل و ارتباطات و تولیدات متفرقه وجود دارد. طبق نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق، ظرفیت زیادی جهت افزایش کارایی انرژی در بخش‌های صنعتی وجود دارد، همچنین برای ۸ بخش از صنایع انرژی بر، ناکارایی مصرف انرژی خیلی بدتر از استفاده سایر منابع است.

وانگ و همکاران (۲۰۱۲) شاخص TFE را برای مقایسه‌ی کارایی انرژی در صنایع ۳۰ استان چین در دوره‌ی ۲۰۰۹-۲۰۰۵ بکار گرفتند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که امکان افزایش کارایی انرژی به خصوص در استان‌های غربی چین که مقدار مصرف انرژی بالایی دارند، وجود دارد. همچنین دو عامل سرمایه‌گذاری ناکافی در فناوری و عدم دستیابی به بهترین مقیاس تولید مهمترین عوامل در عدم ارتقای کارایی انرژی این کشور شناخته شدند.

در مطالعه‌ای با عنوان «کارایی کل عامل انرژی نواحی چین» هو و وانگ (۲۰۰۶) کارایی انرژی را برای ۲۹ ناحیه در چین برای دوره ۲۰۰۲-۱۹۹۵ محاسبه کردند، آن‌ها با استفاده از تحلیل فراگیر داده‌ها تارگت^۱ نهاده انرژی برای هر کدام از این ناحیه‌ها و در هر یک از سال‌های مذکور محاسبه کردند، سپس شاخص کارایی کل عامل انرژی را به صورت نسبت تارگت نهاده انرژی به میزان واقعی نهاده انرژی محاسبه نمودند. در این مطالعه که از مدل DEA در آن استفاده شده است نهاده‌ها شامل؛ نیروی کار، ذخیره سرمایه، مصرف انرژی و سطح زیر کشت محصولات کشاورزی (به‌عنوان متغیری جایگزین

انرژی زیست توده) و تولید ناخالص داخلی واقعی تنها محصول بوده است. رتبه‌بندی شاخص TFEI نشان می‌دهد که ناحیه مرکزی چین بدترین رتبه را داشته در حالی که بیش‌تر از نیمی از مصرف انرژی در این ناحیه صورت گرفته است. همچنین نتایج حاصل از محاسبه این شاخص نشان می‌دهد که به جز ناحیه غرب در تمامی نواحی بهبود کارایی انرژی وجود داشته است. در پایان نیز نتایج مبین این است که با رشد اقتصادی کارایی انرژی افزایش می‌یابد. ژانگ^۱ و همکاران (۲۰۱۱) برای دوره‌ی ۲۰۰۵-۱۹۸۰ کارایی انرژی را در ۲۳ کشور در حال توسعه به دست آوردند. نتایج نشان می‌دهد کشورهای بوتسوانا^۲، مکزیک و پاناما بهترین عملکرد را در کارایی انرژی داشته‌اند، در حالی که کنیا، سریلانکا، سوریه و فیلیپین بدترین عملکرد را در دوره مذکور داشته‌اند. در بین کشورهای یادشده، هفت کشور تغییرات قابل توجهی نداشته‌اند، ۱۱ کشور کاهش مستمر کارایی کل عامل انرژی را تجربه کرده‌اند. همچنین در میان پنج کشور مشاهده شده که افزایش مستمر کارایی را تجربه کرده‌اند، چین رشد سریع‌تری را داشته است که با توجه به مطالعات صورت گرفته عامل اصلی آن سیاست‌های مؤثر به کار گرفته شده در سال‌های مورد مطالعه بوده است.

هونما و هو (۲۰۰۸) کارایی کل عامل انرژی را برای ۴۷ منطقه کشور ژاپن در دوره ۲۰۰۳-۱۹۹۳ محاسبه کردند. در این مطالعه که با روش تحلیل فراگیر داده‌ها انجام شده است از ۱۴ نهاد و تنها ستاده GDP استفاده شده است. برای تعداد کمی از استان‌ها شاخص TFEI کمتر از ۰/۷ شده است، نتایج نشان داده است بسیاری از مناطق داخل و نیز در طول دریای ژاپن در مصرف انرژی کارا بوده‌اند. در پایان نیز رابطه U شکل شبیه منحنی زیست محیطی کوزنتس میان درآمد سرانه و کارایی انرژی در مناطق ژاپن مشاهده شده است.

در مطالعه‌ی دیگری با عنوان رشد بهره‌وری کل عامل انرژی، پیشرفت تکنولوژیکی و تغییر کارایی، هو و چانگ^۳ (۲۰۰۹) نیز با محاسبه‌ی بهره‌وری انرژی در ایالت‌های چین در دوره ۲۰۰۴-۲۰۰۰ به این نتیجه رسیدند که بهره‌وری انرژی چین به‌طور کلی ۱/۴ درصد کاهش داشته است، متوسط کارایی کل عامل انرژی سالانه ۰/۶ درصد افزایش و متوسط تغییرات تکنولوژیکی ۲ درصد کاهش داشته است. همچنین فاکتورهای اثرگذار در TFEPI نیز شناسایی شدند. علاوه بر این منطقه شرق چین در مقایسه با منطقه غرب و مرکزی بهره‌وری انرژی بالاتری داشته است. با توسعه بیش‌تر مناطق و نیز افزایش سهم برق از انرژی مصرفی، رشد بهره‌وری بهبود یافته است، در حالی که افزایش نسبی از GDP که توسط صنایع ثانوی تولید می‌شود رابطه‌ی معکوسی با شاخص TFEPI هر منطقه دارد. با مطالعات صورت گرفته تحقیقی که با روش مذکور کارایی انرژی را در کشور ما اندازه‌گیری کرده باشد وجود

1. Zhang
2. Botswana
3. Chang

ندارد، از همین رو در مطالعه‌ی پیش رو ضمن معرفی شاخص مذکور و مبانی نظری مربوط به آن کارایی کل عامل انرژی را برای صنایع بزرگ استان‌های ایران محاسبه می‌کنیم.

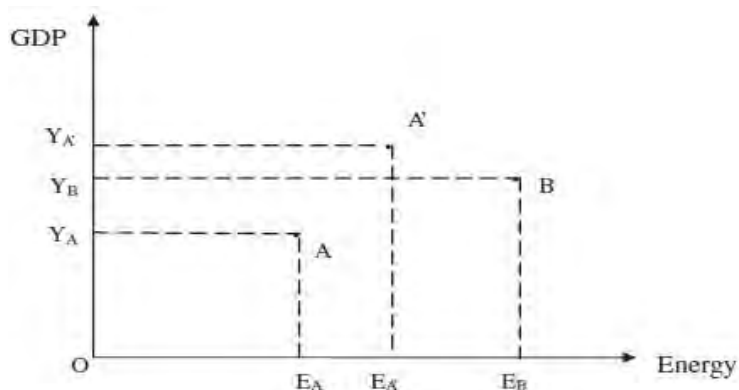
۳. شاخص‌های بهره‌وری رایج انرژی، کارایی کل عامل انرژی و بهره‌وری کل عامل

انرژی

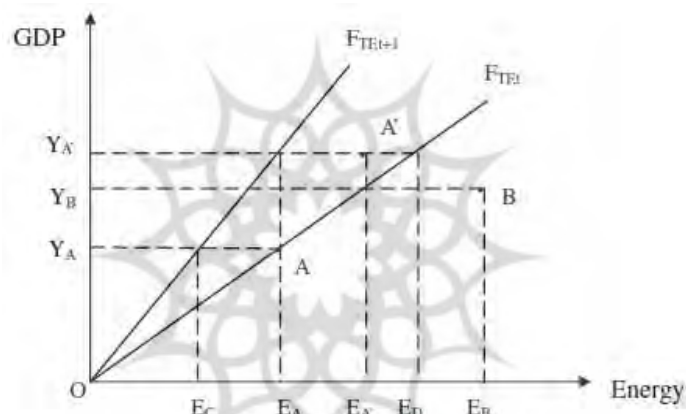
نسبت تولید ناخالص داخلی به انرژی مصرفی یکی از شاخص‌های رایج برای اندازه‌گیری کارایی انرژی می‌باشد که از آن به عنوان بهره‌وری انرژی یاد می‌شود. اما استفاده از این شاخص اشکالاتی دارد: اولاً شاخص بهره‌وری رایج، انرژی را به عنوان تنها نهاد در نظر می‌گیرد از این رو ممکن است به دلیل جایگزینی انرژی به جای سایر نهادها تغییر در بهره‌وری انرژی را بیش از حد نشان دهد. ثانیاً شاخص بهره‌وری رایج انرژی سطح تکنولوژی استفاده از انرژی را ثابت در نظر می‌گیرد، به عبارت دیگر این شاخص فرض می‌کند که سطح تکنولوژی از یک سال به سال دیگر ثابت و بدون تغییر است (هو و چانگ، ۲۰۰۹ و هونما و هو، ۲۰۱۴) اما می‌دانیم در حقیقت با پیشرفت فنی بهره‌وری نیز افزایش می‌یابد. (کوئلی و همکاران، ۱۹۹۸) هو و وانگ در سال ۲۰۰۶ جهت غلبه بر مشکل اول شاخص کارایی کل عامل انرژی^۱ (TFEE) را به صورت نسبت حداقل مورد نیاز (تارگت) سطح نهاد به مقدار واقعی آن در چارچوب چند عاملی معرفی کردند. از این روش جهت ارزیابی و مقایسه کارایی انرژی واحدهای تولیدی، صنایع و نیز کشورهای مختلف استفاده‌های زیادی شده است (هو و وانگ ۲۰۰۶؛ هو و چانگ ۲۰۰۹ و هونما و هو، ۲۰۱۴). بدین ترتیب شاخص TFEE در یک چارچوب چند عاملی از کلیه عوامل تولید استفاده نموده و کارایی انرژی را محاسبه می‌کند. اما مشکل دوم یعنی عدم در نظر گرفتن پیشرفت تکنولوژی در شاخص رایج بهره‌وری در این شاخص نیز به قوهی خود باقی است. از این رو شاخص بهره‌وری کل عامل انرژی^۲ (TFEPI) (چانگ و هو، ۲۰۱۰) معرفی شد که با در نظر گرفتن تکنولوژی امکان محاسبه میزان تغییرات تکنولوژیکی در بهره‌وری انرژی را به وجود آورد. با توجه به شکل‌های (۱) و (۲) مفاهیم بهره‌وری انرژی، کارایی کل عامل انرژی و بهره‌وری کل عامل انرژی از هم متمایز و توضیح داده شده‌اند.

1. Total Factor Energy Efficiency

2. Total Factor Energy Productivity Index



شکل ۱: مفهوم شاخص رایج بهره‌وری انرژی با استفاده از نمودار (چانگ و هو ۲۰۱۰)



شکل ۲: مفهوم شاخص رایج بهره‌وری انرژی با استفاده از نمودار (چانگ و هو ۲۰۱۰)

در شکل (۱) مفهوم شاخص رایج کارایی (بهره‌وری) انرژی به تصویر کشیده شده است. برای دو نقطه A و B شاخص بهره‌وری انرژی رایج به ترتیب Y_A/E_A و Y_B/E_B خواهد بود. در این مثال بهره‌وری انرژی در نقطه A بزرگ‌تر از B می‌باشد. وقتی بهره‌وری انرژی از یک نقطه به نقطه دیگر افزایش می‌یابد (مثلاً از نقطه A به نقطه A') میزان افزایش بهره‌وری برابر خواهد بود با: $(Y_{A'}/E_{A'} - Y_A/E_A)$. هو و وانگ (۲۰۰۶) شاخص $TFEE$ را در چارچوب چند عاملی جهت مقایسه کارایی نسبی انرژی در مناطق چین به کار گرفتند. با توجه به شکل (۲) با فرض مرز تولید خطی برای انرژی این ایده توضیح داده شده است. $TFEE$ یک شاخص نسبی می‌باشد که نسبت حداقل موردنیاز (تارگت) سطح نهاده به مقدار واقعی آن برای هر نقطه در هر سال مشخص محاسبه می‌کند. دو مرز تولید حداقل انرژی لازم برای تولید سطح مشخصی از محصول را در چارچوب چند

عامل برای دوره‌های t و $t+1$ نشان می‌دهند، از این جهت پیشرفت فنی در این مثال در نظر گرفته شده است. طبق تعریف TFEE برای نقاط A و B برابر خواهد بود با: $E_A/E_A (= 1)$ و $E_A/E_B (< 1)$ که در آن نقطه نزدیک‌تر به A کارایی بالاتر را نشان می‌دهد. اما شاخص TFEE نمی‌تواند بهبود بهره‌وری به علت تغییرات فنی را نشان دهد. با توجه به شکل (۲) اگر یک مورد بهره‌وری انرژی خود را از یک سال به سال دیگر افزایش دهد (مثلاً از نقطه A به نقطه A')، شاخص TFEE فقط تغییر کارایی انرژی کل عوامل را نشان می‌دهد $(E_{A'}/E_A - 1)$ و جابجایی مرز تولید را نمی‌تواند اندازه بگیرد. اما شاخص TFEE نمی‌تواند بهبود بهره‌وری به علت تغییرات فنی را نشان دهد و اگر یک مورد بهره‌وری انرژی خود را از یک سال به سال دیگر افزایش دهد شاخص TFEE فقط تغییر کارایی انرژی کل عوامل را نشان می‌دهد و جابجایی مرز تولید را نمی‌تواند اندازه بگیرد. بعدها شاخص بهره‌وری کل عوامل انرژی TFEPI بر اساس تابع مسافت مستقیم پیشنهاد شده به وسیله فار^۱ و گروسکوف^۲ (۲۰۱۰) معرفی شد که تغییرات تکنولوژی در محاسبه بهره‌وری انرژی را لحاظ می‌کند و در این جا از بیان جزئیات مربوط به آن خودداری می‌شود.

۴. متدولوژی روش تحلیل فراگیر داده‌ها (DEA)

روش DEA به عنوان یک فرآیند ریاضی که از تکنیک برنامه‌ریزی خطی جهت دستیابی به سطح کارایی واحدهای تصمیم‌ساز (DMU^۳) استفاده می‌کند شناخته شده است (کوئلی، ۱۹۹۶)، که همه‌ی این واحدهای تصمیم‌ساز از نهاده‌های یکسان اما تکنولوژی‌های مجزا جهت تولید ستاده‌های یکسان استفاده می‌کنند (راماناتان^۴، ۱۹۹۹). مرز ناپارامتری از واحدهای تصمیم‌گیری ساخته می‌شود که در مقایسه‌ی سایر واحدها دارای کارایی بهتری می‌باشند. این واحدهای تصمیم‌گیر که روی مرز کارایی قرار دارند دارای بیشترین سطح تولید با حداقل نهاده می‌باشند. در روش DEA نیازی به تعیین فرم خاصی از تابع تولید نیست. مرور جامعی از توسعه‌ی روش DEA را می‌توان در مطالعه‌ی لاول^۵ و اسمیت^۶ (۱۹۹۳) دید. فرض می‌شود K نهاده و M ستاده برای هر یک از N واحد تصمیم‌گیر وجود دارند. سطح کارایی واحد تصمیم‌گیر i ام با توجه به مساله برنامه‌ریزی خطی زیر قابل دستیابی است:

1. Fare
2. Grosskofft
3. decision-making units
4. Ramanathan
5. Lovell
6. Schmidt

$$\begin{aligned}
 & \text{Min}_{\theta, \lambda} \theta \\
 & \text{such that } -y_i + Y\lambda \geq 0, \\
 & \quad \theta x_i - X\lambda \geq 0, \\
 & \quad \lambda \geq 0
 \end{aligned} \tag{۱}$$

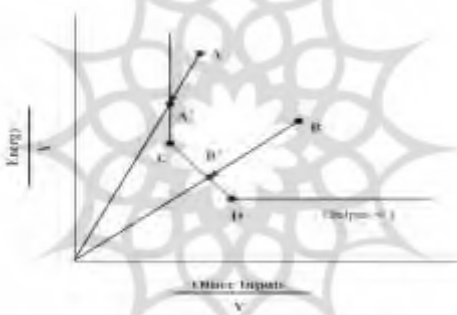
که در آن θ کمیتی نرده‌ای، λ برداری $1 \times N$ از مقادیر ثابت و مقادیر به‌دست‌آمده θ سطح کارایی به‌دست‌آمده برای هر یک از واحدهای تصمیم‌ساز می‌باشند. $\theta \leq 1$ بوده و میزان θ آن به معنای نقطه‌ی روی مرز و واحدی کارا می‌باشد (کوئلی و همکاران، ۱۹۹۸). تخمین کارایی در مسأله بالا با رویکرد نهاده‌گرا می‌باشد و وزن λ سبب می‌شود که ترکیب محدبی از نهاده‌ها و ستاده‌های مشاهده‌شده داشته باشیم. میزان کارایی θ حداکثر توسعه‌ی شعاعی ستاده‌ها را با سطح مشخصی از نهاده‌ها نشان می‌دهد. مدل شماره ۱ به مدل DEA با بازدهی نسبت به مقیاس (CRS^۱) مشهور است (چارنز و همکاران^۲، ۱۹۷۸). این مدل کارایی کل (OTE^۳) هر DMU را اندازه می‌گیرد. مدل DEA با بازدهی متغیر به مقیاس (VRS^۴) (بنکر و همکاران^۵، ۱۹۸۴) کارایی کل را به کارایی تکنیکی خالص (PTE^۶) و کارایی مقیاس (SE^۷) (OTE = PTE × SE) تجزیه می‌کند. هر دو مدل یادشده میزان کارایی، حداقل نهاده و ستاده‌ی یکسانی را به دست می‌دهند. هر چند نتایج مدل VRS DEA با تغییر از رویکرد ستاده‌گرا به نهاده‌گرا به شدت قابل تغییرند (هو و وانگ، ۲۰۰۶).

۵. تنظیمات اسلک^۸ و شعاعی نهاده انرژی

روش DEA با استفاده از دنباله‌ای از محاسبات برنامه‌ریزی خطی کاراترین نقطه روی مرز تولید را به عنوان هدف برای واحدهای ناکارآمد در نظر می‌گیرد. (کوئلی، ۱۹۹۶) برای واحد i ام فاصله از نقطه‌ی ناکارا که با تنظیم شعاعی سطح نهاده‌ها $(1 - \theta)x_i$ و تصویر بر روی مرز مشخص می‌شود را «تنظیمات شعاعی» گویند. همچنین فرم خطی شکسته‌ی مرز ناپارامتری، مرحله‌ی دوم انتقال نقطه‌ی تصویر شده به نقطه‌ای با حداقل سطح نهاده بر روی مرز را به دنبال خواهد داشت، که به این فاصله جابجایی در طول مرز را slack می‌گویند. این که چگونه یک نقطه با حداقل استفاده‌ی سطح نهاده‌ها در DEA قابل تشخیص است، در شکل ۱ نشان داده شده است. حداکثر سطح ستاده‌ی Y برای واحدهای تصمیم‌ساز بر روی مرز تولید به یک نرمال شده و از نهاده‌ی انرژی و سایر نهاده‌ها که با تقسیم بر سطح تولید نرمال شده‌اند به‌دست‌آمده است.

1. constant returns to scale
2. Charnes *et al.*
3. Overall technical efficiency
4. Variable Returns to Scale
5. Banker *et al.*
6. Pure Technical Efficiency
7. Scale Efficiency
8. Slack

نقطه B ترکیب نهاده واقعی و نقطه B' تصویر شده آن روی مرز به عنوان هدف واحد B جهت بهبود کارایی با کاهش تنظیم شعاعی BB' می‌باشد. هر چند همان‌طور که توضیح داده شد، مرز استفاده‌شده از نوع خطی شکسته می‌باشد که نیاز به مرحله‌ی دوم تنظیمات جهت تعیین نقطه‌ی حداقل نهاده‌ها دارد. در همین شکل نقطه‌ی A' تصویر نقطه‌ی A به عنوان هدف واحد تصمیم‌ساز A به منظور بهبود کارایی روی مرز تولید با تنظیم شعاعی AA' می‌باشد، اگرچه سطح ورودی در نقطه‌ی A' می‌تواند با کاهش بیش‌تر و حفظ همان سطح تولید به نقطه‌ی C برسد. به میزان CA' که برای سطح نهاده‌ی A بر روی مرز، بیشتر باید تنظیم شود را slack گویند. به مجموع میزان CA' slack و تنظیم شعاعی (AA') را تنظیمات کل (CA) می‌گویند و به معنای میزان تنظیمات کل نهاده‌های واحد تصمیم‌ساز جهت دستیابی به کارایی بهینه تولید خود می‌باشد. این تنظیمات هم شامل ارتقاء سطح تکنولوژی می‌شود و هم شامل بهبود فرایند تولید و نتیجه‌ی آن بهینه شدن کارایی کل می‌باشد. بنابراین میزان تنظیمات کل کاهش می‌یابد، سطح تولید افزایش می‌یابد و واحد تصمیم‌ساز بر روی مرز کارای تولید عمل می‌کند. حداقل سطح نهاده، سطح نهاده‌ی هدف برای واحد تصمیم‌ساز نامیده می‌شود (هو و وانگ، ۲۰۰۶).



شکل ۳: تنظیمات شعاعی و Slack در مدل نهاده‌گرای CRSDEA

۶. کارایی کل عامل انرژی بر پایه‌ی تحلیل فراگیر داده‌ها

هو و وانگ (۲۰۰۶) شاخص TFEE را به صورت نسبت تارگت به میزان واقعی نهاده‌ی انرژی تعریف و با فرض بازدهی ثابت به مقیاس (CRSDEA) از آن استفاده کردند. مدل DEA با فرض بازدهی ثابت به مقیاس برای تمامی واحدهای تصمیم‌گیری که در مقیاس بهینه عمل می‌کنند شناخته شده است. اگر چه فاکتورهایی نظیر رقابت ناقص و محدودیت‌های مالی باعث شوند واحد تصمیم‌گیری در مقیاس بهینه عمل نکند، اگر این احتمال برود که اندازه واحدهای مورد بررسی توانایی آنها را در ایجاد تولید کارا تحت تأثیر قرار دهد نیز فرض CRS فرضی نامناسب خواهد بود.

مدل مورد نظر در این تحقیق به شکل زیر است: برای هر یک از N واحد تصمیم‌گیر K نهاد و M ستاده وجود دارد. برای واحد تصمیم‌گیر i ام نهاده‌ها و ستاده‌ها به ترتیب با بردار ستونی y_i و x_i نشان داده شده‌اند. مدل VRS نهاد‌گرا مسأله برنامه‌ریزی خطی زیر را برای DMU_t^0 به شکل زیر حل می‌کند.

$$\begin{aligned} & \text{Min } \theta \\ & \text{s. t. } \sum_{j=1}^N \lambda_j y_j - s^+ = y^0 \\ & \sum_{j=1}^N \lambda_j x_j + s^- = \theta x^0 \\ & \sum_{j=1}^N \lambda_j = 1 \\ & \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, N \end{aligned} \quad (2)$$

که در آن θ مقداری عددی $0 \leq \theta \leq 1$ ، λ برداری $1 \times N$ از ثابت‌ها که مجموعه‌ای محدب از ستاده‌ها و نهاده‌های مشاهده شده را تشکیل می‌دهد و s اسلک غیرشعاعی را بیان می‌کند. مقدار θ کارایی فنی واحد i ام را نشان می‌دهد $x_i(1 - \theta)$ تنظیمات شعاعی می‌باشد. واحد i ام کارا ترین نقطه روی مرز می‌باشد و اسلک آن صفر است، اگر $\theta = 1$. اگر $\theta = 1$ و اسلک آن بزرگتر از صفر باشد، واحد کارایی ضعیف می‌باشد. $\theta < 1$ بیانگر این است که واحد ناکاراست.

تارگت نهاد انرژی (TEI) در این مطالعه مابه‌التفاوت میزان نهاد واقعی انرژی (AEI) و تنظیمات کل (TA^۳) می‌باشد و حداقل سطح نهاد انرژی جهت رسیدن به سطح کارایی انرژی به عنوان هدف می‌باشد. شاخص TFEE واحد i ام در دوره‌ی t به صورت زیر بدست می‌آید (هو و وانگ، ۲۰۰۶، ژانگ^۴ و همکاران ۲۰۱۱).

$$TFEE(i, t) = \frac{TEI(i, t)}{AEI(i, t)} = \frac{AEI(i, t) - TA(i, t)}{AEI(i, t)} \quad (3)$$

طبق مدل (۲) مقدار تنظیمات کل کمتر از صفر نمی‌باشد. تنظیمات کل صفر نشان می‌دهد که میزان واقعی نهاد انرژی درست میزان تارگت نهاد انرژی می‌باشد، بنابراین شاخص TFEE برابر ۱ بوده و مصرف انرژی بهینه می‌باشد. اگر میزان تنظیمات کل بزرگتر از صفر باشد شاخص مورد نظر کمتر از یک خواهد بود و دلالت بر نهاد انرژی اضافی دارد که می‌توان بدون کاهش سطح تولید آن را کاهش

1. Target Energy Input
2. Actual Energy Input
3. Total Adjustments
4. Zhang

داد. بنابراین شاخص TFEF معمولاً بین صفر و یک می‌باشد. شاخص TFEF بالاتر به معنای کارایی بالاتر انرژی می‌باشد. در این تحقیق ابتدا با استفاده از مدل‌های شماره ۲ و ۳ میزان کارایی کل عامل انرژی صنایع بزرگ هر یک از استان‌های کشور تخمین زده می‌شود. قابل ذکر است که داده‌های تحقیق شامل سه نهاد نیروی کار، سرمایه و مصرف انرژی بوده درحالی‌که تنها ستاده، ارزش افزوده ایجادشده توسط این صنایع در هر استان می‌باشد. داده‌های موردنیاز در این تحقیق، از نشریات آمارگیری از کارگاه‌های صنعتی (کارگاه‌های دارای ده نفر کارکن و بیش‌تر) که هر ساله به‌طور مستمر از سوی مرکز آمار ایران انجام می‌شود استخراج شده است (مرکز آمار ایران، سال‌های ۹۰-۱۳۸۷).

۷. نتایج

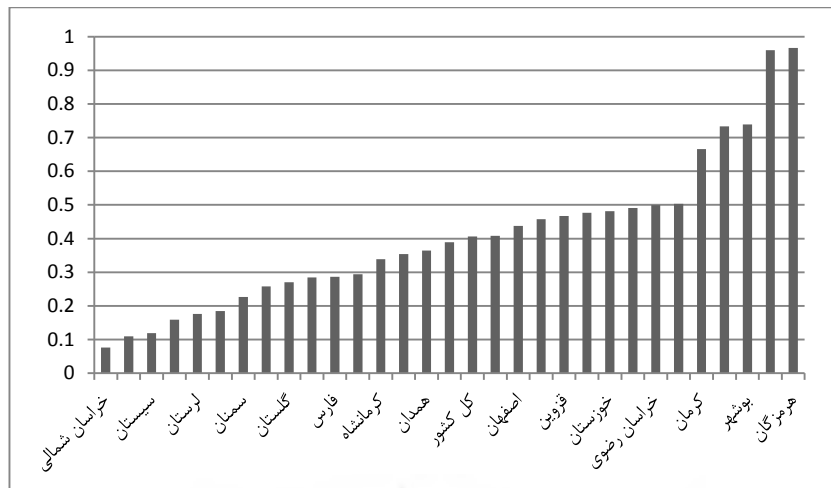
نتایج حاصل از اندازه‌گیری کارایی کل عامل انرژی در صنایع بزرگ هر یک از استان‌های کشور به تفکیک سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۸۷ در جدول ۲ آورده شده است. مقادیر بالاتر به معنای کارایی بیش‌تر و مقادیر پایین‌تر به معنای کارایی کمتر می‌باشند. به‌طور کلی متوسط کارایی انرژی صنایع بزرگ در دوره مورد مطالعه ۰/۴ می‌باشد که رقم پایینی است، در استان‌های محروم و توسعه‌نیافته اردبیل، لرستان، خراسان جنوبی، همدان، کرمانشاه، آذربایجان غربی، کردستان، گلستان، کهگیلویه و بویراحمد و سیستان و بلوچستان متوسط کارایی انرژی کمتر از میانگین کلیه استان‌ها بوده درحالی‌که استان‌های توسعه‌یافته‌تر صنعتی نظیر یزد، قزوین، مرکزی، بوشهر، اصفهان، زنجان، خوزستان، کرمان، قم، آذربایجان شرقی عملکرد بهتری داشته‌اند. حضور ۳ استان تقریباً محروم هرمزگان و بوشهر و کرمان که استان‌هایی غنی از مواد نفتی و معدنی می‌باشند ولی محروم به دلیل اقلیم و آب و هوای گرم و خشک در سطح بالاتر کارایی انرژی نسبت به استان‌های صنعتی کشور نیز از نکات جالب توجه در این تحقیق است. به‌طور مشخص این استان‌ها استفاده کارا از منابع انرژی خود دارند. روند متوسط کارایی انرژی کل صنایع ده نفر کارکن و بیش‌تر در حال کاهش بوده است و از سال‌های ۱۳۸۷ با ۲۸ درصد کاهش از ۰/۶۲ به ۰/۳۵ رسیده است. همچنین روند کاهنده کارایی انرژی از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹ مشاهده می‌شود ولی در سال ۱۳۸۹ با ۱۷ درصد افزایش از ۰/۱۸ به ۰/۳۵ در سال ۱۳۹۱ می‌رسد. البته این افزایش در کارایی را می‌توان در طرح هدفمندی یارانه‌ها و افزایش قیمت حامل‌های انرژی جستجو کرد، چرا که بین افزایش قیمت حامل‌های انرژی و افزایش کارایی انرژی رابطه‌ی مستقیم وجود دارد.

جدول ۲: میزان کارایی کل عامل انرژی و میانگین آن در صنایع بزرگ استان‌های کشور
در سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۹۰

رتبه	میانگین استان	۱۳۹۰	۱۳۸۹	۱۳۸۸	۱۳۸۷	استان	ID
۲۵	-/۱۸۴۳	-/۱۴۸۵	-/۱۰۱۸	-/۱۸۰۲	-/۳۰۶۸	اردبیل	۱
۱۳	-/۴۲۷۵	-/۳۵۶۳	-/۱۸۰۶	-/۳۹۷	-/۸۱۶۲	اصفهان	۲
۱۹	-/۲۹۴۳	-/۰۴۵۴	-/۱۵۵۳	-/۱۰۴	-/۸۷۲۵	ایلام	۳
۴	-/۷۳۳۷	-/۵۶۶۸	۱	-/۷۰۸۶	-/۶۵۹۲	آذربایجان شرقی	۴
۱۷	-/۳۵۴۳	-/۱۰۶۳	-/۱۳۱۱	-/۱۷۹۶	۱	آذربایجان غربی	۵
۳	-/۷۳۹۶	۱	-/۵۶۲۴	-/۳۹۶	۱	بوشهر	۶
۲	-/۹۵۹۸	۱	-/۸۳۹	۱	۱	تهران	۷
۲۹	-/۱۰۹۷	-/۱۷۰۲	-/۰۵۶۹	-/۱۸	-/۰۳۱۵	چهارمحال بختیاری	۸
۲۷	-/۱۵۹۱	-/۱۷۰۱	-/۰۳۹۱	-/۱۲۲۸	-/۳۰۴۴	خراسان جنوبی	۹
۷	-/۴۹۹۷	-/۵۸۱۵	-/۳۴۷۷	-/۴۹۱۲	-/۶۷۸۳	خراسان رضوی	۱۰
۳۰	-/۰۷۶۰	-/۰۷۸	-/۰۴۱۴	-/۰۶۴۵	-/۱۲	خراسان شمالی	۱۱
۹	-/۴۸۱۸	-/۳۸۶۴	-/۱۹۲۶	-/۳۴۸۳	۱	خوزستان	۱۲
۱۵	-/۳۸۸۹	-/۳۴۳۵	-/۲۵۲۸	-/۴۳۳۲	-/۵۲۵۹	زنجان	۱۳
۲۴	-/۲۲۶۶	-/۲۱۴۶	-/۱۴۵۹	-/۲۲۱۸	-/۳۲۳۹	سمنان	۱۴
۲۸	-/۱۱۸۶	-/۰۶۰۵	-/۰۰۷۳	-/۰۵۹۳	-/۳۴۷۴	سیستان	۱۵
۲۰	-/۲۸۶۴	-/۲۵۵۵	-/۱۸۵۲	-/۳۱۳۳	-/۳۹۱۶	فارس	۱۶
۱۱	-/۴۶۶۷	-/۴۳۷۷	-/۲۰۹۳	-/۴۹۴۱	-/۷۲۵۷	قزوین	۱۷
۱۰	-/۴۷۶۵	-/۲۴۳۲	-/۱۲۳۲	-/۵۳۹۶	۱	قم	۱۸
۲۳	-/۲۵۸۱	-/۱۷۳۸	-/۱۳۳۹	-/۲۶۵۹	-/۴۵۸۷	کردستان	۱۹
۵	-/۶۶۵۶	-/۴۹۲۳	-/۱۷۰۲	۱	۱	کرمان	۲۰
۱۸	-/۳۳۸۹	-/۲۸۳۸	-/۱۹۱۹	-/۳۴۱۶	-/۵۳۸۲	کرمانشاه	۲۱
۲۱	-/۲۸۴۵	-/۲۴۰۴	-/۵۷۲۲	-/۱۳۰۲	-/۱۹۵۱	کهگیلویه و بویراحمد	۲۲
۲۲	-/۲۷۰۲	-/۳۲۵۷	-/۱۵۷۸	-/۲۱۵۱	-/۴۸۲	گلستان	۲۳
۱۲	-/۴۵۷۷	-/۵۰۶۷	-/۱۷۹۹	-/۶۳۴۸	-/۵۰۹۳	گیلان	۲۴
۲۶	-/۱۷۵۸	-/۱۴۸۴	-/۰۴۸۴	-/۱۴۹۲	-/۳۵۷۲	لرستان	۲۵
۶	-/۵۰۳۵	-/۳۵۱	-/۲۰۶۵	-/۵۹۴۴	-/۸۶۲	مازندران	۲۶
۸	-/۴۹۰۵	-/۶۳۹۳	-/۲۲۸۳	-/۴۵۱۹	-/۶۴۲۳	مرکزی	۲۷
۱	-/۹۶۶۴	۱	۱	۱	-/۸۶۵۶	هرمزگان	۲۸
۱۶	-/۳۶۴۰	-/۱۴۸۵	-/۱۳۳۵	-/۱۷۳۹	۱	همدان	۲۹
۱۴	-/۴۰۸۵	-/۲۹۹۶	-/۲۴۸۳	-/۳۹۶۱	-/۶۸۹۹	یزد	۳۰
-	-/۴۰۵۹	-/۳۵۵۸	-/۲۵۸۱	-/۳۸۶۲	-/۶۲۳۵	کل کشور	-

منبع : محاسبات محقق

همچنین ترتیب صنایع بزرگ استان‌های کشور در کارایی مصرف انرژی در نمودار ۳ به خوبی نشان داده شده است.



نمودار ۳: میانگین کارایی کل عامل انرژی در صنایع بزرگ استان‌های کشور در دوره ۹۰-۸۷

با مشاهده نتایج توزیع کارایی صنایع در جدول شماره ۳ مشخص می‌شود که نوسانات و تفاوت‌های قابل توجه در اکثر استان‌ها به چشم می‌خورد. اختلاف بیشترین و کمترین میزان متوسط کارایی انرژی در دوره مورد نظر مقدار ۰/۸۹ می‌باشد که نشان از شرایط نامطلوب مصرف انرژی صنایع بزرگ کشور دارد. متوسط کارایی انرژی صنایع در دوره مذکور ۰/۴ می‌باشد که رقمی پایین است و برای بهبود آن باید برنامه‌ریزی اساسی شود. بیشترین و کمترین متوسط کارایی انرژی به ترتیب مربوط به استان هرمزگان و خراسان شمالی با مقادیر ۰/۹۶ و ۰/۰۷ می‌باشد. طبق نتایج بدست آمده تقریباً ۵۴ درصد استان‌ها متوسط کارایی کمتر از ۴۰ درصد را تجربه کرده‌اند در حالی که از ۳۰ استان فقط ۲ استان هرمزگان و تهران کارایی بالاتر از ۸۰ درصد را تجربه کرده‌اند، که کمتر از ۷ درصد کل استان‌ها می‌باشد، طبق جدول ۲ پیداست که صنایع بزرگ اکثر استان‌های کشور به لحاظ کارایی در مصرف انرژی شرایط مطلوبی ندارند. یک مقایسه کلی نشان می‌دهد که از مجموع ۳۰ استان کشور ۶ استان هرمزگان، تهران، بوشهر، آذربایجان شرقی، کرمان و مازندران به ترتیب با مقادیر ۰/۹۶، ۰/۹۵، ۰/۷۴، ۰/۷۳، ۰/۶۶ و ۰/۵ کارایی بالاتر از ۵۰ درصد را داشته‌اند. کمترین میزان متوسط کارایی انرژی متعلق به استان‌های خراسان شمالی، لرستان، اردبیل، خراسان جنوبی، سیستان و بلوچستان و چهارمحال بختیاری می‌باشد که تمامی این استان‌ها کارایی کمتر از ۲۰ درصد را داشته‌اند.

جدول ۳: توزیع میانگین کارایی انرژی صنایع بزرگ استان‌های کشور

استان‌های ایران			درصد کارایی انرژی
فراوانی نسبی	فراوانی نسبی	فراوانی	
-	۵۳/۳۴	۱۶	۴۰ ≤
۸۳/۳۴	۳۰	۹	۴۰ < و ۶۰
۹۳/۳۴	۱۰	۳	۶۰ < و ۸۰
۱۰۰	۶/۶۶	۲	۸۰ < و ۱۰۰
		۳۰	کل
حداکثر: ۰/۹۶			حداکثر: ۰/۰۷
دامنه: ۰/۸۹			میانگین: ۰/۴

منبع: محاسبات محقق

با توجه به جداول ۴ تا ۷ که میانگین توزیع کارایی انرژی صنایع بزرگ استان‌های کشور را به تفکیک سال‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد، روند نامطلوب کارایی انرژی صنایع کاملاً مشهود است، بین سال‌های ۸۷ تا ۸۹ تعداد استان‌هایی که کارایی کمتر از ۴۰ درصد را تجربه کرده‌اند از ۹ به ۲۱ (از ۳۰ درصد به ۷۰ درصد) افزایش یافته است، همچنین تعداد استان‌هایی که کارایی انرژی صنایع آن‌ها بین ۸۰ تا ۱۰۰ بوده است، از ۱۱ عدد در سال ۸۷ به ۳ عدد در سال ۹۰ رسیده است. اما این روند نامطلوب در سال ۱۳۸۹-۱۳۹۰ با اصلاح قیمت حامل‌های انرژی بهبود یافته است. همچنین از نکات قابل توجه اختلاف زیاد کارایی انرژی صنایع بزرگ بین استان‌ها می‌باشد که در تمامی دوره‌ها بالای ۹۵ درصد می‌باشد.

جدول ۴ تا ۷ توزیع میانگین کارایی انرژی صنایع بزرگ استان‌های کشور به تفکیک سال‌های ۹۰-۱۳۸۷ است.

جدول ۴: توزیع میانگین کارایی انرژی صنایع بزرگ استان‌های کشور در سال ۱۳۸۷

استان‌های ایران در سال ۸۷			درصد کارایی انرژی
فراوانی نسبی	فراوانی نسبی	فراوانی	
-	۳۰	۹	۴۰ ≤
۴۶/۶۷	۱۶/۶۷	۵	۴۰ < و ۶۰
۶۳/۳۳	۱۶/۶۷	۵	۶۰ < و ۸۰
۱۰۰	۳۶/۶۷	۱۱	۸۰ < و ۱۰۰
		۳۰	کل
حداکثر: ۱			حداکثر: ۰/۰۳
دامنه: ۰/۹۷			میانگین: ۰/۶۲

منبع: محاسبات محقق

جدول ۵: توزیع میانگین کارایی انرژی صنایع بزرگ استان‌های کشور در سال ۱۳۸۸

استان‌های ایران در سال ۸۸			درصد کارایی انرژی
فراوانی نسبی	فراوانی نسبی	فراوانی	
-	۶۴	۱۹	۴۰ ≤
۸۴	۲۰	۶	۴۰ > و ≤ ۶۰
۹۰	۶	۲	۶۰ > و ≤ ۸۰
۱۰۰	۱۰	۳	۸۰ > و ≤ ۱۰۰
		۳۰	کل
حداکثر: ۱			حداقل: ۰/۰۶
دامنه: ۰/۹۴			میانگین: ۰/۳۸

منبع: محاسبات محقق

جدول ۶: توزیع میانگین کارایی انرژی صنایع بزرگ استان‌های کشور در سال ۱۳۸۹

استان‌های ایران در سال ۸۹			درصد کارایی انرژی
فراوانی نسبی	فراوانی نسبی	فراوانی	
-	۸۳/۳۳	۲۵	۴۰ ≤
۸۹/۹۹	۶/۶۶	۲	۴۰ > و ≤ ۶۰
۹۳/۳۴	۳/۳۴	۱	۶۰ > و ≤ ۸۰
۱۰۰	۶/۶۶	۲	۸۰ > و ≤ ۱۰۰
		۳۰	کل
حداکثر: ۱			حداقل: ۰/۰۰۷۲
دامنه: ۰/۹۹۲۸			میانگین: ۰/۲۵

منبع: محاسبات محقق

جدول ۷: توزیع میانگین کارایی انرژی صنایع بزرگ استان‌های کشور در سال ۱۳۹۰

استان‌های ایران در سال ۹۰			درصد کارایی انرژی
فراوانی نسبی	فراوانی نسبی	فراوانی	
-	۷۰	۲۱	۴۰ ≤
۸۶/۶	۱۶/۶	۵	۴۰ > و ≤ ۶۰
۹۰	۳/۴	۱	۶۰ > و ≤ ۸۰
۱۰۰	۱۰	۳	۸۰ > و ≤ ۱۰۰
		۳۰	کل
حداکثر: ۱			حداقل: ۰/۰۵
دامنه: ۰/۹۵			میانگین: ۰/۳۶

منبع: محاسبات محقق

نتیجه‌گیری

انرژی یکی از عوامل اصلی تولید و یکی از مؤلفه‌های رشد و توسعه‌ی اقتصادی کشورها است. کمیابی منابع انرژی کشورهای جهان را به فکر استفاده بهتر از ذخایر انرژی موجود و نیز کشف منابع انرژی جدید انداخته است. اهمیت این مسأله در کشور ما به دلیل ذخایر بالا و مصرف بالای انرژی اهمیتی ویژه دارد. در همین راستا در این مطالعه کارایی انرژی صنایع بزرگ استان‌های ایران در دوره ۱۳۸۷-۱۳۹۰ با استفاده از شاخص کارایی کل عامل انرژی (TFEE) محاسبه شده است که در مقایسه با شاخص بهره‌وری انرژی رایج، در یک چارچوب چند-عاملی، سایر عوامل کلیدی تولید نظیر نیروی کار و سرمایه را در نظر می‌گیرد. نتایج حاصل از برآورد با روش تحلیل فراگیر داده‌ها نشان می‌دهد که میانگین کارایی انرژی کل استان‌های ایران در دوره‌ی موردنظر تقریباً ۰/۴ می‌باشد و کارایی انرژی اکثر استان‌ها نیز پایین است. بیشترین میزان متوسط کارایی انرژی مربوط به استان‌های هرمزگان، تهران، بوشهر، آذربایجان و کرمان و کمترین آن نیز مربوط به خراسان شمالی، چهارمحال بختیاری، سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی و لرستان می‌باشد. همچنین برآوردها در دوره‌ی مورد نظر نشان می‌دهد که متوسط کارایی انرژی استان‌ها در دوره‌ی مذکور تا سال ۱۳۸۹ در حال کاهش بوده به طوری که تعداد استان‌هایی که کارایی انرژی بالاتر از ۸۰ درصد داشته‌اند از ۱۱ عدد در سال ۸۷ به ۲ عدد در سال ۸۹ کاهش یافته است ولی پس از آن یعنی در سال ۱۳۹۰ با اصلاح قیمت حامل‌های انرژی این روند بهتر شده است. با توجه به نتایج اشاره شده در این تحقیق بهینه‌سازی مصرف انرژی در صنایع بزرگ کشور از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد و ارائه راهکارها جهت بهبود وضعیت موجود در گرو شناسایی عوامل ناکارایی مصرف انرژی در این صنایع می‌باشد که بایستی در تحقیقات آینده صورت بگیرد.

منابع

- وزارت نیرو، معاونت انرژی (۱۳۹۱)؛ ترازنامه‌ی انرژی.
- صادقی، زین‌العابدین؛ گلستانی، شهرام و پوربافرانی، احسان (۱۳۹۲)؛ بررسی اثر القایی قیمت انرژی بر روی تغییرات فناوری کارگاه‌های صنعتی ایران و ارزیابی آثار محیط زیستی، فصلنامه علمی پژوهشی مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، سال دوم، شماره ۵.
- مرکز آمار ایران (۹۰-۱۳۸۷)؛ نتایج آمارگیری از کارگاه‌های بزرگ صنعتی کشور، نشریات.
- Abosedra, S.; Dah, A. and Ghosh, S. (2009); Electricity consumption and economic growth, the case of Lebanon. *Appl. Energy*; 86: 429-432.
- Banker, R. D.; Charnes, A. and Cooper, W. W. (1984); some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science* 30, 1078-1092.
- Caves, D. W.; Christensen, L. R. and Diewert, W. E. (1982); The economic theory of index numbers and the measurement of input, output, and productivity. *Econometrical*, 92: 73-86.
- Charnes, A.; Cooper, W. W. and Rhodes, E. (1978); Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research* 2, 429-444.
- Coelli, T. J. (1996); A Guide to Deap Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program. Department of Econometrics, University of New England, Armidale, Australia.
- Coelli, T; Rao, DSP. and Battese, GE. (1998); An introduction to efficiency and productivity analysis. London: Kluwer Academic Publishers.
- Edvardsen, D. F. and Fbrsund, F. R. (2003); International benchmarking of electricity distribution utilities. *Resource and Energy Economics* 25, 353-371.
- Forsund, F. R. and SAC Kittelsen (1998); Productivity Development of Norwegian Electricity Distribution Utilities. *Resource and Energy Economics* 20(3): 207-224.
- Herring, H. (1999); Does energy efficiency save energy? The debate and its consequences. *Appl. Energy*; 63: 209-26.
- Honma, S and Hu, JL. (2008); Total-factor energy efficiency of regions in Japan, *Energy Policy* 37: 3941-3950.
- Honma, S. and Hu, JL. (2013); Total-factor Energy Efficiency for Sectors in Japan. *Energy Sources, Part B*, 8: 130-136.
- Honma, S. and Hu, JL. (2014); Industry-level total-factor energy efficiency in developed countries: A Japan-centered analysis. *Applied energy* 119 (2014): 67-78.
- Hu, J. L. and Chang, T. P. (2009); Total-factor Energy Productivity Growth of Regions in China. National Chiao Tung University, Taipei, Working paper.
- Hu, J. L. and Wang, SC. (2006); Total-factor energy efficiency of regions in China. *Energy Policy*; 34: 3206-3217.
- Lovell, A. K. and Schmidt, S. S. (1993); *Production Frontiers and Productive Efficiency, the Measurement of Productive Efficiency: Techniques and Applications*. Oxford University Press, New York.
- Narayan, PK.; Narayan S. and Popp, S. (2010); A note on the long-run elasticities from the energy consumption-GDP relationship. *Appl. Energy*; 87: 1054-1057.

- Nel, WP. and Van Zyl, G. (2010); Defining limits: energy constrained economic growth. *Appl. Energy*; 87: 168-77.
- Patterson, MG. (1996); What is energy efficiency? Concepts, indicators, and methodological issues. *Energy Policy*; 24: 377-390.
- Ramanathan, R. (1999); A holistic approach to compare energy efficiencies of different transport modes. *Energy Policy* 28, 743-747.
- Sari, R. and Soytas U. (2009); Are global warming and economic growth compatible? Evidence from five OPEC countries? *Appl. Energy*; 86: 1887-93.
- Wang Z. H.; Zeng H. L.; Wei Y. M. and Zhang Y. X. (2012); Regional total factor energy efficiency: An empirical analysis of industrial sector in China. *Appl Energy*. 97:115-123.
- Wei, YM.; Jiao, H. and Fan, Y. (2007); An empirical analysis of energy efficiency in China's iron and steel sector. *Energy*; 32: 2262-2270
- Zhang, X. P.; Cheng, X. M.; Yuan, J. H. and Gao, X. J. (2011); Total-factor energy efficiency in developing countries. *Energy Policy* 38: 6172-6179.

