

## ارزیابی کارایی انرژی در صنعت پتروشیمی کشور

سهراب گراوند\*

نادر مهرگان<sup>۱</sup>

حسین صادقی<sup>۲</sup>

مجتبی ملکشاهی<sup>۳</sup>

### چکیده

در تحقیق حاضر کارایی فنی و کارایی انرژی (به عنوان یک نهاد خاص) صنعت پتروشیمی کشور طی سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۷۳، با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفته است. در این مطالعه هر سال به عنوان یک واحد تصمیم گیرنده (DMU) در نظر گرفته شده است که در آن کارایی فنی و کارایی انرژی صنعت پتروشیمی در سال‌های مختلف با هم مقایسه شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که طی دوره مذکور، کارایی فنی صنعت پتروشیمی ۰/۷۱۷ و کارایی انرژی این صنعت ۰/۶۸۸ بوده است و در نتیجه در این صنعت به طور نسبی ۳۱ درصد در زمینه مصرف انرژی طی سال‌های مورد مطالعه اتلاف انرژی صورت گرفته است. همچنین نتایج نشان داد که طی سنوات مورد مطالعه، صنعت پتروشیمی در سال‌های ۱۳۷۳، ۱۳۷۸ و ۱۳۷۹ با داشتن کارایی نسبی واحد، در مقایسه با دیگر سال‌ها از بالاترین کارایی فنی و همچنین کارایی انرژی برخوردار بوده است و در مقابل در سال‌های ۱۳۷۵، ۱۳۸۱ و ۱۳۸۷ پایین‌ترین کارایی فنی و کارایی انرژی را طی دوره داشته است.

**واژگان کلیدی:** تحلیل پوششی داده‌ها، کارایی انرژی، صنعت پتروشیمی.

**Keywords:** Data Envelopment Analysis, energy efficiency, petrochemical industry.

**JEL Classification:** C02, Q49.

S.garavand.151@gmail.com

mehregannader@yahoo.com

dr.h.sadeqi@gmail.com

malek5633@yahoo.com

\*. کارشناس ارشد اقتصاد انرژی، دانشگاه صنعت آب و برق تهران (شهید عباسپور)

۱. دانشیار دانشگاه بوعلی سینا همدان

۲. استادیار دانشگاه تربیت مدرس تهران

۳. کارشناس ارشد علوم اقتصادی، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی تهران

## ۱- مقدمه

انرژی یکی از گران‌ترین نهاده‌های قابل دسترس برای صنایع در سطح جهان می‌باشد. اما قیمت انرژی در ایران به علت پرداخت یارانه انرژی توسط دولت تا سال ۱۳۸۸ به نسبت بسیار پایین بوده است. حال با توجه به اجرای هدفمند کردن یارانه‌ها و آزادسازی قیمت‌ها توسط دولت، پیش‌بینی می‌شود که قیمت انرژی بشدت افزایش یابد. که این افزایش در قیمت، سبب افزایش هزینه‌های تولید در صنایع، خصوصاً صنایع انرژی‌بری مانند فولاد، خودروسازی، سیمان، پتروشیمی و ... خواهد شد و به نسبت سهمی که انرژی در قیمت تمام شده کالاها دارد قیمت کالاهای تولید شده افزایش می‌یابد.

حال این سوال پیش می‌آید که آیا در هنگام پرداخت یارانه انرژی توسط دولت این نهاده به طور کارا در صنعت ایران (بوژه صنایع انرژی‌بری مانند پتروشیمی) مورد استفاده قرار گرفته است. کارایی به معنای ایجاد کمترین مقدار ضایعات و صرف کمترین میزان هزینه یا تلاش، ضمن حفظ کمیت و کیفیت می‌باشد (خاکی، ۱۳۷۷) و کارایی انرژی مربوط است به استفاده کمتر از انرژی برای تولید یک میزان مشخص کالا یا سرویس نسبت به قبل (شکیبایی، ۱۳۸۱). اندازه‌گیری کارایی به دو روش پارامتریک و غیر پارامتریک صورت می‌پذیرد. روش پارامتریک مبتنی بر مدل‌های اقتصادسنجی می‌باشد، در این حالت تابع تولید به کمک چند متغیر مستقل تعریف می‌شود و سپس با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای، ضرایب تابع تولید و خود تابع تولید تخمین زده می‌شود، و در نتیجه با به کارگیری این تابع تولید نسبت به تعیین کارایی اقدام می‌گردد. از جمله مشکلات این روش، حدس تابع تولید و ضرایب آن و همچنین مبهم بودن صحت این حدس می‌باشد. در مقابل این روش، روش ناپارامتریک وجود دارد که بر پایه بهینه‌سازی ریاضی استوار است. در روش ناپارامتریک از ابتدا شکل خاصی برای تابع تولید در نظر گرفته نمی‌شود و مستقیماً با داده‌های مشاهده شده سر و کار دارد. در این روش، هدف شناخت تابع تولید نیست و محدودیتی در تعداد ورودی‌ها و خروجی‌ها نمی‌باشد. در این تکنیک مرز کارایی توسط داده‌های مشاهده‌ای تعیین می‌شود، و کارایی واحدها با آن مقایسه می‌شود.

محصولات صنعت پتروشیمی نقش عمده‌ای را در صادرات کشور ایفا می‌کند بنابراین افزایش قیمت انرژی پس از هدفمندسازی یارانه‌ها، می‌تواند تا حدود زیادی قیمت محصولات این صنعت را تحت تأثیر قرار دهد و در نتیجه صادرات این صنعت را با کاهش مواجه کند. با توجه به اینکه در صنعت پتروشیمی از انرژی هم به صورت خوراک و هم به صورت سوخت استفاده می‌شود، اثر

افزایش قیمت انرژی در هزینه تولید این صنعت نسبت به بقیه صنایع محسوس تر خواهد بود. بنابراین با توجه به احتمال هدرروی بیشتر انرژی در این صنعت نسبت به سایر صنایع، دانستن اینکه در سال‌هایی که یارانه انرژی به این صنعت پرداخت شده، کارایی سوخت انرژی به چه صورت بوده است می‌تواند امری مهم تلقی شود. منظور از کارایی انرژی در این تحقیق کارایی مصرف نهایی انرژی می‌باشد. کارایی مصرف نهایی انرژی میزان محصولی (واحد فعالیت) است که به ازای هر واحد انرژی مصرفی در یک سیستم تولیدی یا خدماتی حاصل می‌شود (حیدری و صادقی، ۱۳۸۴). در این مطالعه محقق به دنبال ارزیابی کارایی انرژی در صنعت پتروشیمی ایران به عنوان یکی از صنایع انرژی‌بر طی دوره (۱۳۸۷-۱۳۷۳) با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها<sup>۱</sup> (DEA) می‌باشد.

در ادامه مقاله در بخش دوم به صنعت پتروشیمی و جایگاه آن در اقتصاد کشور پرداخته می‌شود. در بخش سوم وضعیت مصرف انرژی در صنعت پتروشیمی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش چهارم به روش تحقیق پرداخته می‌شود. بخش پنجم به پیشینه تحقیق اختصاص دارد. در بخش ششم داده‌ها و جامعه آماری معرفی خواهد شد. بخش هفتم به تجزیه و تحلیل داده‌ها اختصاص دارد. و در آخر در بخش هشتم نتایج تحقیق ارائه خواهد شد.

## ۲- ادبیات موضوع

### ۲-۱- صنعت پتروشیمی و جایگاه آن در اقتصاد کشور

پتروشیمی یکی از بخش‌های اصلی صنعت نفت و از صنایع مهم و مادر کشور است. این صنعت در ایران با احداث مجتمع پتروشیمی شیراز در مردشت فارس در سال ۱۳۴۲ شروع شد و در طی سال ۱۳۴۹ سه مجتمع پتروشیمی دیگر به نام‌های خارک، آبادان و رازی به بهره‌برداری رسیدند. مجتمع کربن ایران در سال ۱۳۵۴ و مجتمع پتروشیمی فارابی در سال ۱۳۵۶ به بهره‌برداری رسیدند. دیگر مجتمع‌های پتروشیمی مانند اصفهان، بندر امام، اراک، تبریز، ارومیه و خراسان بعد از انقلاب و اکثراً بعد از جنگ تحمیلی به تولید رسیدند (دفتر پژوهش‌های زیربنایی مجلس شورای اسلامی، ۱۳۸۳). در سال ۱۳۷۷، منطقه ویژه اقتصادی پارس جنوبی بر اساس مصوبه هیأت وزیران و به منظور استفاده از گاز حوزه پارس جنوبی و انجام فعالیت در زمینه‌های نفت، گاز، پتروشیمی و

<sup>۱</sup>. Data Envelopment Analysis

صنایع پایین‌دست تاسیس گردید. میدان پارس جنوبی، یکی از بزرگترین منابع گازی جهان است و یکی از اصلی‌ترین منابع انرژی کشور به شمار می‌رود (روابط عمومی شرکت ملی صنایع پتروشیمی، ۱۳۸۶).

صنعت پتروشیمی امروزه یکی از صنایع شاخص در پیشرفت و توسعه‌ی مناطق مختلف جهان به شمار می‌رود. مهم‌ترین عامل مؤثر در رشد تقاضای مواد پتروشیمی، رشد اقتصادی و بزرگی بازار مصرف ناشی از رشد جمعیت است. صنایع پتروشیمی به صنایعی اطلاق می‌شود که در آنها هیدروکربن‌های موجود در نفت خام و یا موجود در گاز طبیعی به انواع محصولات پتروشیمیایی تبدیل شود. این محصولات که از هیدروکربن‌های موجود در نفت خام و یا موجود در گاز طبیعی طی یک سری عملیات شیمیایی به وجود می‌آیند، اصطلاحاً به نام محصولات پتروشیمی معروفند (احمدوند و دیگران، ۱۳۸۶).

کاربرد محصولات صنایع پتروشیمی از ابتدایی‌ترین نیازها، از قبیل ساخت انواع لوازم پلاستیکی تا پیچیده‌ترین آنها، حتی در ساخت نوعی الیاف جهت رگ‌ها و ماهیچه‌های مصنوعی قلب استفاده می‌شود. نیاز جهانی به این صنایع در زندگی مدرن امروز در حال افزایش است. از سوی دیگر آمارها نشان می‌دهد که نیاز به تولیدات پتروشیمی در جهان افزایش پیدا کرده است. در بازار، این صنایع در سطح جهان مازاد بر نیاز، تولید نمی‌شود. صنعت پتروشیمی را می‌توان حلقه‌ی ارتباط میان مواد خام با تولیدات دارای ارزش افزوده دانست. از این رو صنایع پتروشیمی نقش تعیین‌کننده‌ای در رشد اقتصاد ملی دارد. این مسئله در کشور ما به لحاظ برخورداری از منابع هیدروکربوری به ویژه گاز برای استفاده از این مزیت نسبی جهت افزایش سرمایه‌گذاری در این بخش در جایگاه ممتازی قرار دارد (پورکاظمی، ۱۳۸۵).

طرح‌های بلند پروازانه‌ی ایران برای بخش پتروشیمی در پنج مرحله تدارک دیده شده و قرار است تا سال ۱۳۹۳ به پایان برسد. بدین ترتیب با پایان یافتن این طرح‌ها قرار است مجموع تولید سالیانه‌ی فرآورده‌های پتروشیمی با دو برابر افزایش به ۳۰ میلیون تن افزایش یابد. همچنین کسب ۴/۵ درصد از تولید ناخالص داخلی از طرح‌های شرکت ملی پتروشیمی است. چشم‌انداز صنعت پتروشیمی تا سال ۱۳۹۴ به شرح زیر است (احمدوند و دیگران، ۱۳۸۶):

- تولید سالانه ۱۲ میلیون تن اتیلن
- ۱۰ میلیون تن انواع پلیمر
- ۸/۵ میلیون تن اوره

- ۷/۵ میلیون تن اوره
- ۴ میلیون تن انواع آروماتیک

## ۲-۲- وضعیت مصرف انرژی در صنعت پتروشیمی

در صنعت پتروشیمی انرژی هم به عنوان خوراک یا ماده اولیه و هم به عنوان سوخت به مصرف می‌رسد. در اروپا صنعت پتروشیمی با مصرف ۵/۳ درصد پس از صنعت فولاد (۵/۷ درصد) بالاترین میزان مصرف انرژی را دارا می‌باشد. در کشور ما آمار و اطلاعات مربوط به مصرف انرژی در بخش‌های انرژی بر حاکی از آن است که صنعت انرژی بر پتروشیمی با اختصاص نزدیک به ۱۰٪ از کل مصرف انرژی در بخش صنایع، معادن و ساختمان از نظر مصرف انرژی پس از صنایع انرژی بر آهن و فولاد و سیمان رتبه سوم را دارا می‌باشد. در این صنعت در مراحل مختلف تولید مقادیر معتدبهی از انواع حامل‌های انرژی به مصرف می‌رسد (سهیلی، ۱۳۸۶).

طبق بررسی که مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی در زمینه پتانسیل‌های بهینه سازی مصرف سوخت در بخش‌های مختلف کشور و راهکارهای مربوط به آن، در رابطه با صنعت پتروشیمی انجام داده است، در صنعت پتروشیمی در سال ۱۳۸۶ به ازای هر تن محصول تولید شده ۶/۸۳ گیگاژول انرژی به صورت سوخت و معادل ۳۴/۴۲ گیگاژول از حامل‌های انرژی به صورت خوراک مصرف شده و در مجموع به ازای هر تن محصول تولیدی ۴۱/۲۵ گیگاژول حامل‌های انرژی به مصرف رسیده است. با توجه به مصرف قابل توجه حامل‌های انرژی در این صنعت لازم است راهکارهایی برای بهبود مصرف انرژی در آن مد نظر قرار گیرد (مجله اقتصاد انرژی، آذر ماه ۱۳۸۸: ۴۷).

## ۳- پیشینه تحقیق

در سطح دنیا مطالعات زیادی در زمینه ارزیابی کارایی انرژی با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها صورت گرفته است. فیلیپس و گروهش (۹۸-۱۹۹۷)، این معیار را برای صنعت سیمان اروپا به کار گرفتند، نتایج آنها نیز عدم کارایی انرژی در بخش صنعت سیمان را برای اروپا نشان داد. موخرجی<sup>۱</sup> (۲۰۰۸)، روش تحلیل پوششی داده‌ها (معیار شعاعی کارایی تکنیکی<sup>۲</sup>) را برای محاسبه

<sup>۱</sup> Mukherjee

<sup>۲</sup> Radial Measures of Technical Efficiency

کارایی انرژی در بخش تولیدی کشور آمریکا به کار گرفت. مورخجی نتیجه گرفت که بخش محصولات همگن نسبت به سایر بخش‌های تولید دارای کارایی انرژی بالاتری است. گروک<sup>۱</sup> (۲۰۰۸)، روش DEA را برای سنجش بهبود کارایی انرژی در مناطق مسکونی ایالت متحده طی دوره زمانی ۲۰۰۱-۱۹۹۷ به کار گرفت. نتایج حاصل از این مطالعه، یک بهبود اندک اما معنی‌دار را در فاصله زمانی مطالعه شده نشان داد که اساس این بهبود در زمینه مصرف گازهای طبیعی و سوخت‌های نفتی صورت گرفته بود. مارتینز<sup>۲</sup> (۲۰۰۹) پیشرفت کارایی انرژی برای بخش‌های دارای شدت انرژی پایین دو کشور آلمان و کلمبیا (برای دوره زمانی ۲۰۰۵-۱۹۹۸) را با استفاده از روش DEA، مورد بررسی قرار داد. نتایج این بررسی نشان داد که تغییر قابل توجهی در عملکرد کارایی انرژی در این بخش‌ها برای هر دو کشور صورت گرفته است. مقایسه نتایج کلی مدل نشان داد که معیار کارایی انرژی در این بخش‌ها، برای هر دو کشور شبیه به هم می‌باشد. و همچنین نتایج نشان داد که برای بهبود کارایی انرژی، اختصاص دادن ترکیبی از تکنیک کارایی و مینیم‌سازی هزینه لازم است.

پورکاظمی و حیدری (۱۳۸۱) کارایی نیروگاه‌های حرارتی تولید برق کشور را با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها مورد ارزیابی قرار دادند. آنها سوخت، نیروی انسانی و سرمایه را به منزله نهاده و تولید برق را به منزله ستانده در نظر گرفتند. نتایج نشان داد که تحت هر دو سناریوی بازده ثابت و متغیر نسبت به مقیاس، کارایی نیروگاه‌های سیکل ترکیبی از سایر نیروگاه‌های حرارتی بالاتر است. لطفعلی پور و رزم‌آرا در سال ۱۳۸۵ روش تحلیل پوششی داده‌ها را برای ارزیابی کارایی تکنیکی صنایع ایران با در نظر گرفتن دو فرض بازدهی ثابت نسبت به مقیاس و بازدهی متغیر نسبت به مقیاس به کار گرفتند و به این نتیجه رسیدند که طبق فرض بازدهی ثابت نسبت به مقیاس تنها صنایع تولید زغال کک کارا می‌باشد و بقیه صنایع ناکارا هستند. و طبق فرض بازدهی متغیر نسبت به مقیاس صنایع تولید پوشاک، صنایع تولید زغال کک، صنایع تولید مواد و محصولات شیمیایی، صنایع تولید ماشین‌آلات اداری و حسابگری و صنایع تولید وسایل نقلیه موتوری و تریلی کارایی نسبی صد در صد دارند. بقیه صنایع یا از دیدگاه تخصیص بهینه منابع و یا از نظر عدم فعالیت در مقیاس بهینه کارایی قرار ندارند. پورکاظمی (۱۳۸۶) کارایی فنی مجتمع‌های صنایع پتروشیمی ایران را با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها طی سال‌های ۱۳۷۹-۱۳۸۲ مورد

<sup>۱</sup>. Grösche

<sup>۲</sup>. Martinez

ارزیابی قرار داد و به این نتیجه رسید که مجتمع‌های پتروشیمی ایران طی دوره مذکور در مجموع کارایی بالغ بر ۸۴ درصد داشته‌اند و مجتمع‌های پتروشیمی بندر امام خمینی و خارک به صورت کارا عمل کرده‌اند. در اینجا لازم است بیان شود که جنبه نوآوری تحقیق حاضر نسبت به تحقیق پورکاظمی این است که علاوه بر ارزیابی کارایی فنی، کارایی انرژی سوخت به عنوان یک نهاد خاص ارزیابی می‌شود و مشخص خواهد شد که طی دوره مورد مطالعه در این صنعت به چه میزان اتلاف انرژی سوخت صورت گرفته است.

#### ۴- روش تحلیل پوششی داده‌ها یک روش مناسب جهت ارزیابی کارایی انرژی

حجم وسیعی از مطالعات در زمینه کارایی و بهره‌وری ابتدا توسط دی‌ریو<sup>۱</sup> (۱۹۵۱)، فارل<sup>۲</sup> (۱۹۵۷) و کوپمنس<sup>۳</sup> (۱۹۵۱) ارائه شده است. دو معیار کارایی و بهره‌وری به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. بهره‌وری یک معیار توصیفی از عملکرد است و به صورت نسبتی از خروجی قابل مشاهده به ورودی قابل مشاهده تعریف شده است. زمانی که چند نهاد و یا چند ستانده مورد بحث است باید برای بدست آوردن یک معیار چند عاملی برای بهره‌وری، شاخص‌های مقداری ستانده را به شاخص‌های مقداری نهاد تقسیم نمود. معیار تک عاملی بهره‌وری مثل نسبت ستانده به نیروی کار، برای ارزیابی عملکرد یک نهاد خاص به کار می‌رود. در سمت دیگر کارایی یک معیار اساسی است و به صورت نسبتی از سبد نهاد به سبد ستانده واقعی تعریف شده است. البته مفهوم بهینه به واحد تصمیم گیرنده (DMU) بستگی دارد. برای مثال هدف DMU می‌تواند مینیمم‌سازی استفاده از نهاد یا ماکزیمم کردن ستانده و یا حداقل کردن هزینه باشد. در اینجا ذکر این نکته ارزنده است که معیار سنتی کارایی انرژی که مبتنی بر شدت انرژی است یک معیار تک عاملی بهره‌وری است و از این رو این معیار به سادگی توسط ستانده به نهاد انرژی قابل محاسبه است.

فرم معیار نهاد یا ستانده بهینه الزاماً توسط تابع فرونتیر (مرزی) مشخص می‌شود. در مطالعاتی که تابع مرزی را مورد ارزیابی قرار می‌دهند به طور معمول از دو روش پارامتریک و ناپارامتریک استفاده می‌کنند. یکی از روش‌های ناپارامتریک روش DEA می‌باشد که ابتدا توسط چارنز<sup>۴</sup>،

<sup>۱</sup>. Debreau

<sup>۲</sup>. Farrell

<sup>۳</sup>. Koopmans

<sup>۴</sup>. Charnes

کوپر<sup>۱</sup> و رودز<sup>۲</sup> (۱۹۷۸، CCR) برای سنجش کارایی واحدهای اتخاذ کننده تصمیمی که دارای چند عامل نهاد و ستانده بودند ابداع شده است (موخرجی، ۲۰۰۸). روش تحلیل پوششی داده‌ها یک روش برنامه‌ریزی ریاضی جهت ارزیابی عملکرد واحدهای تصمیم گیرنده می‌باشد. این روش با نگرش نهاده‌ای - ستانده‌ای به واحدهای تصمیم گیرنده، آنها را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. در این روش واحدهای تصمیم‌گیری به دو گروه واحدهای کارا و غیر کارا تقسیم می‌شود (واحدهای کارا واحدهایی هستند که امتیاز کارایی آنها به طور نسبی برابر با یک است). سالیانه مقالات بسیار زیادی که مرتبط با این روش هستند در نشریات و مجلات علمی جهان به چاپ می‌رسد. امروزه به طور گسترده‌ای از روش DEA برای ارزیابی کارایی در صنایع، بیمارستان‌ها، بانک‌ها، دانشگاه‌ها، مدارس، شرکت‌های بیمه و ... استفاده می‌شود. روش DEA همچنین روش مناسبی برای ارزیابی کارایی انرژی می‌باشد (رای، ۲۰۰۴).

در روش تحلیل پوششی داده‌ها کارایی تکنیکی (فنی) به دو صورت اندازه‌گیری می‌شود:

(۱) روش نهاده محور<sup>۳</sup>

(۲) روش ستانده محور<sup>۴</sup>

در روش اول با فرض ثابت بودن ستانده (ستانده‌ها) از حداقل کردن نهاده‌ها برای رسیدن به کارایی بالاتر استفاده می‌شود و در روش دوم فرض می‌شود که نهاده‌ها ثابت هستند و برای رسیدن به کارایی بالاتر از افزایش ستانده (ستانده‌ها) استفاده می‌شود.

مدل CCR تحلیل پوششی داده‌ها برای محاسبه کارایی تکنیکی نهاده - محور یک DMU با سبب نهاده - ستانده  $(x_0, y_0)$ ، می‌تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$\theta^* = \min \theta$$

سپس

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j \leq \theta x_{i0} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n y_j \lambda_j \geq y_0 \quad \lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

1. Cooper

2. Rhodes

3. Input-Oriented

4. Output-Oriented



برای یک DMU کارا،  $\theta = 1$ \* خواهد بود و در نتیجه برای یک DMU ناکارا  $\theta < 1$ \* خواهد بود. تحت فرض بازده ثابت نسبت به مقیاس، معیار کارایی تکنیکی نهاده - محور با معیار کارایی تکنیکی ستانده - محور برابر است (لاول<sup>۱</sup>، ۱۹۹۳). بنابراین، حداکثر ستانده تولیدی توسط یک شرکت نسبت به نهاده‌هایش بیشتر نیست و این بطور معمول با استفاده از رابطه  $\varphi^* = y_0/y_0^*$  که در اینجا  $\varphi^* = \frac{1}{\theta}$  قابل تشخیص است.

در مدل CCR فرض بر این است که بازده نسبت به مقیاس ثابت است. اگر بازده نسبت به مقیاس ثابت فرض شود، می‌توان هر بسط شعاعی و همچنین کاهش عملی در ترکیبات سبد نهاده - ستانده را نیز امکان پذیر در نظر گرفت (موخرجی، ۲۰۰۸).

از مدل (۱) در بالا، مقدار بهینه  $\theta$  توسط کاهش شعاعی در نهاده‌هایی که برای یک صنعت امکان‌پذیر است در حالیکه ستانده ثابت است، معلوم می‌شود. این مفهوم کارایی تکنیکی شعاعی برای یک صنعت از نظر دیریو - فارل است. اگر قید وابستگی به یک نهاده خاص در مدل (۱) غیر الزامی باشد، راه حل برنامه ریزی خطی امکان کاهش در مازاد را برای آن نهاده ارائه می‌دهد. این می‌تواند نتیجه دهد که کاهش این نهاده بدون هیچگونه کاهش در ستانده و بدون نیاز به افزایش اضافی در دیگر نهاده‌ها امکان‌پذیر است. به عنوان مثال، اگر  $\theta = 0.98$ \* برای یک DMU خاص بدست آید، این دلالت می‌کند که شرکت می‌تواند از ۰/۹۸ ظرفیت نهاده‌هایش برای تولید ستانده مشاهده شده استفاده کند. در مورد یک نهاده خاص، به راحتی ممکن است که پس از کاهش همه نهاده‌ها از سطح جاری به سطح ۰/۹۸، کاهش بیشتر آن نهاده خاص امکان‌پذیر باشد (مثلاً به سطح ۰/۹۶ از مصرف نهاده). در این مورد، ممکن است بیان کنیم که کارایی استفاده از این نهاده ۰/۹۶ درصد است. از طرف دیگر اگر در راه‌حل بهینه مدل (۱) امکان کاهش مازاد برای این نهاده وجود نداشته باشد پس کارایی استفاده از این نهاده به سادگی می‌تواند ۰/۹۸ باشد (موخرجی؛ ۲۰۰۸).

معیار کارایی بدست آمده از مدل (۱) هنگامی مناسب‌ترین معیار است که یک دلیل اولیه به منظور اعتقاد به اینکه نهاده انرژی مکمل قوی برای دیگر نهاده‌ها است وجود داشته باشد. در طرف دیگر اگر چنین فرضی را در مورد کارایی استفاده از نهاده انرژی نداشته باشیم، ممکن است مایل باشیم بدانیم که حداکثر کاهش ممکن در نهاده انرژی برای تولید سطح ستانده مشاهده شده بدون نیاز به

<sup>۱</sup>. Lovell

بکارگیری میزان اضافی از نهاده‌های دیگر چقدر است. در این مورد مدل مناسب CCR تحلیل پوششی داده‌ها به منظور اندازه‌گیری کارایی انرژی برای یک DMU با سبد نهاده - ستانده  $(X_0, Y_0)$  می‌تواند به صورت مدل (۲) در زیر بسط داده شود. برای روشن‌تر شدن موضوع، بردار نهاده  $X_0$  به صورت مؤلفه‌های جداگانه سرمایه، نیروی کار، انرژی و مواد اولیه در نظر گرفته شده است.

$$\beta^* = \min \beta$$

سپس

$$\sum_{j=1}^n K_j \lambda_j \leq K_0$$

$$\sum_{j=1}^n L_j \lambda_j \leq L_0$$

$$\sum_{j=1}^n E_j \lambda_j \leq \beta E_0$$

$$\sum_{j=1}^n M_j \lambda_j \leq M_0 \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n y_j \lambda_j \geq y_0 \quad \lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

برای مثال مقدار  $\beta^* = 0.94$ ، می‌تواند دلالت کند که این امکان وجود دارد نهاده انرژی حداکثر تا ۰/۹۴ از سطح کنونی کاهش یابد، در حالی که سطح معینی از یک ستانده (یا بیشتر) بدون نیاز به افزایش اضافی در دیگر نهاده‌ها تولید می‌شود. در این مدل از آنجایی که هیچ فرضی را در مورد مکمل‌پذیری قوی بین انرژی و دیگر نهاده‌ها در نظر نمی‌گیریم در نتیجه نیازی به کاهش دیگر ورودی‌ها نداریم. در زمانی که هدف اساسی صرفه‌جویی در انرژی و حفظ منابع طبیعی باشد دو مدل بالا برای اندازه‌گیری کارایی بسیار مفید هستند.

روش تحلیل پوششی داده‌ها روشی جهت ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده همگن می‌باشد. واحدهایی که در آنها از ورودی‌های همسان برای رسیدن به خروجی‌های همسان استفاده می‌شود در این روش می‌توان کارایی یک واحد تصمیم‌گیرنده را طی زمان با خودش مقایسه نمود، به همین علت می‌توان واحد تصمیم‌گیرنده را زمان در نظر گرفت و وضعیت رشد آن را

طی دوره‌های زمانی مختلف مشخص نمود آنگاه با بررسی رشد، کارایی واحد تصمیم گیرنده را طی زمان‌های مختلف با هم مقایسه نمود (فتحی هفشجانی، ۱۳۸۳). بنابراین در این مطالعه جهت ارزیابی کارایی فنی و انرژی در صنعت پتروشیمی هر سال به عنوان یک واحد تصمیم گیرنده در نظر گرفته می شود.

## ۵- داده‌ها و جامعه آماری

در روش تحلیل پوششی داده‌ها اولین گام در ارزشیابی کارایی واحدها مشخص نمودن متغیرهای ورودی و خروجی است. متغیری به عنوان ورودی در نظر گرفته می‌شود که اگر یک واحد کاهش یابد با ثابت نگه داشتن سایر متغیرهای ورودی و خروجی، میزان کارایی واحد صنعتی افزایش یابد. و متغیری به عنوان خروجی قلمداد می‌شود که با افزایش یک واحد در آن با ثابت در نظر گرفتن سایر متغیرهای ورودی و خروجی، میزان کارایی افزایش یابد. در این مطالعه به منظور بررسی کارایی سوخت انرژی در صنعت پتروشیمی از چهار متغیر ورودی و یک متغیر خروجی استفاده شده است و جهت حذف اثر افزایش قیمت‌ها هر یک از متغیرهای ورودی و خروجی بر شاخص قیمتی (سال پایه ۱۳۷۶) مربوط به خود تقسیم شده است. لازم به ذکر است که داده‌های مورد استفاده در این مطالعه از مرکز آمار ایران (سالنامه‌های آماری ۵۰ نفر کارکن و بیشتر و ۱۰ نفر کارکن و بیشتر سال ۱۳۸۶) گردآوری شده است.

## ورودی‌های مدل

- ۱- سوخت انرژی: ارزش انرژی خریداری شده توسط صنعت پتروشیمی می‌باشد.
- ۲- ارزش سرمایه‌گذاری: سرمایه‌گذاری عبارت است از تغییرات ایجاد شده در ارزش اموال سرمایه‌ای (ارزش خرید یا تحصیل و هزینه تعمیرات اساسی منهای ارزش فروش یا انتقال اموال سرمایه‌ای) طی دوره آماری.
- ۳- ارزش مواد خام و اولیه: مواد خام و اولیه، موادی است که به منظور تغییر شکل فیزیکی یا شیمیایی به صنعت پتروشیمی وارد و به مصرف می‌رسد.

## ۴- نیروی کار

## خروجی مدل

۱- ارزش ستانده: با توجه به تعریف مرکز آمار از ارزش ستانده بخش صنعت؛ ارزش ستانده صنعت پتروشیمی عبارت است از مجموع ارزش کالاهای تولید شده، دریافتی بابت خدمات صنعتی، تغییرات ارزش موجودی کالاهای در جریان ساخت، تفاوت ارزش فروش از ارزش خرید کالاهایی که بدون تغییر شکل به فروش رسیده‌اند، ارزش اموال سرمایه‌ای ساخته شده توسط این صنعت می‌باشد.

## ۶- نتایج حاصل از تحلیل پوششی داده‌ها

در این تحقیق با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها کارایی فنی و کارایی انرژی (به عنوان یک نهاد خاص)، صنعت پتروشیمی طی سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۷۳ با فرض بازدهی ثابت نسبت به مقیاس مورد ارزیابی قرار گرفته است. هر سال بعنوان یک واحد تصمیم گیرنده (DMU) برای این صنعت در نظر گرفته شده است و در نتیجه کارایی صنعت پتروشیمی در طی سال‌های مورد مطالعه با یکدیگر مقایسه شده است.

جدول (۱) نتایج حاصل از ارزیابی کارایی فنی و کارایی انرژی صنعت پتروشیمی با استفاده از مدل‌های (۱) و (۲) را طی سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۷۳ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود متوسط کارایی فنی صنعت پتروشیمی طی دوره ۰/۷۱۷ به دست آمده است که این نشان از پایین بودن سطح کارایی فنی در این صنعت می‌باشد و دلالت می‌کند که صنایع پتروشیمی می‌توانند همین سطح ستانده را با کاهش ۲۹ درصدی در تمامی نهاده‌ها (شامل انرژی) تولید نمایند. طی سال‌های ۱۳۷۳، ۱۳۷۸ و ۱۳۷۹ این صنعت با داشتن کارایی واحد نسبت به دیگر سال‌ها، از بالاترین میزان کارایی فنی برخوردار بوده است و این سال‌ها را می‌توان به عنوان واحد مرجع معرفی نمود، بدین منظور که سیاست‌های تولیدی که در این سال‌ها استفاده شده است را برای افزایش کارایی در صنعت پتروشیمی در آینده بکارگیری نمود؛ و در مقابل طی سال‌های ۱۳۸۱ با میانگین کارایی فنی ۰/۴۸۳ و ۱۳۸۷ با میانگین کارایی فنی ۰/۴۹۷ پایین‌ترین سطح کارایی فنی را نسبت به دیگر سال‌ها داشته است. همچنین با توجه به نتایج جدول (۱) روند کارایی فنی در این

صنعت تقریباً نزولی بوده است که این نشانگر تغییرات تکنولوژیکی نامناسب در سطح این صنعت طی دوره می باشد بدین معنا که از ترکیب نهاده‌ها برای تولید ستانده به شکل مناسب استفاده نشده است.

جدول (۱): کارایی فنی و کارایی انرژی صنعت پتروشیمی طی دوره ۱۳۸۷-۱۳۷۳

سال	کارایی فنی	کارایی انرژی
۱۳۷۳	۱	۱
۱۳۷۴	۰/۷۰۸	۰/۵۰۱
۱۳۷۵	۰/۵۱۵	۰/۴۲۳
۱۳۷۶	۰/۸۶۳	۰/۷۳۶
۱۳۷۷	۰/۹۰۲	۰/۹۰۲
۱۳۷۸	۱	۱
۱۳۷۹	۱	۱
۱۳۸۰	۰/۶۳۹	۰/۶۳۹
۱۳۸۱	۰/۴۸۴	۰/۴۸۴
۱۳۸۲	۰/۶۶۹	۰/۶۶۸
۱۳۸۳	۰/۶۳۱	۰/۶۳
۱۳۸۴	۰/۶۱۵	۰/۶۱۵
۱۳۸۵	۰/۶۵۷	۰/۶۵۶
۱۳۸۶	۰/۵۶۹	۰/۵۶۹
۱۳۸۷	۰/۴۹۷	۰/۴۹۶
میانگین	۰/۷۱۷	۰/۶۸۸

منبع: محاسبات تحقیق

مطابق با کارایی شعاعی، با بررسی مازاد مصرف انرژی به عنوان یک قید برای نهاده انرژی در مدل (۱)، می‌توانیم کارایی انرژی را با استفاده از مدل (۲) ارزیابی کنیم. مقدار کارایی انرژی صنعت پتروشیمی در جدول (۱) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود متوسط کارایی انرژی برای صنعت پتروشیمی با فرض بازدهی ثابت نسبت به مقیاس طی دوره ۱۳۸۷-۱۳۷۳، ۰/۶۸۸ می‌باشد. در رابطه با مقدار میانگین ۰/۶۸۸ دلالت می‌شود که برای صنایع پتروشیمی اگر مصرف انرژی خریداری شده به اندازه ۳۱ درصد کاهش پیدا کند، می‌توان همان سطح ستانده مشاهده شده را بدون نیاز به افزایش در دیگر نهاده‌ها تولید نمود. این معیار کارایی انرژی نشان می‌دهد که در زمان پرداخت یارانه انرژی توسط دولت (در دوره مذکور)، انرژی خریداری شده توسط صنایع پتروشیمی به صورت کارا استفاده نشده است و به میزان بسیار بالایی اتلاف صورت گرفته است. ضمناً همان‌طور که مشاهده می‌شود میانگین کارایی انرژی نسبت به متوسط کارایی تکنیکی صنعت پتروشیمی پایین تر بوده است و نسبت به مجموع نهاده‌ها اتلاف بیشتری (حدود ۳ درصد) صورت گرفته است. بنابراین صنایع می‌توانند پس از کاهش همه نهاده‌ها از سطح جاری به سطح

۰/۷۱۷، کاهش بیشتری در مصرف انرژی خود (از سطح جاری به سطح ۰/۶۸۸) اعمال نمایند و از این طریق از هزینه‌های ناشی از آزادسازی قیمت انرژی در تولید خود بکاهند. صنعت پتروشیمی طی سال‌های ۱۳۷۵، ۱۳۷۸ و ۱۳۷۹ با دارا بودن کارایی انرژی واحد نسبت به دیگر سال‌ها بالاترین کارایی انرژی را طی دوره داشته است و می‌توان سال‌های مذکور را به عنوان واحد مرجع کارایی انرژی در صنعت پتروشیمی معرفی نمود، بدین معنا که سیاست‌های مصرف انرژی در این سال‌ها را می‌توان برای افزایش کارایی انرژی در آینده این صنعت بکار گرفت. در مقابل در سال‌های ۱۳۷۵ با میزان کارایی انرژی ۰/۴۲۳، ۱۳۸۱ با میزان کارایی انرژی ۰/۴۸۴ و ۱۳۸۷ با میزان کارایی انرژی ۰/۴۹۶ این صنعت از پایین‌ترین سطح کارایی انرژی طی دوره برخوردار بوده است. البته این نکته قابل ذکر است که یکی از دلایل اصلی واحد بودن ضریب کارایی در سال ۱۳۷۸ کاهش شدید متغیر نیروی کار در این سال می‌باشد و در بقیه سال‌های مورد مطالعه تغییرات چشمگیری در متغیرها رخ نداده است، بنابراین در سال‌هایی که کارایی این صنعت بالا بوده می‌توان گفت که به صورت بهینه از منابع جهت تولید استفاده شده است.

علاوه بر این نتایج جدول (۱) نشان‌دهنده روندی تقریباً نزولی برای کارایی انرژی طی دوره در صنعت پتروشیمی است. در اینجا این نکته قابل توجه است با این که بخش صنعت در سراسر جهان هر روز مدرن‌تر می‌شود و همواره شاهد بکارگیری روش‌ها و تکنولوژی‌های جدید جهت افزایش سطح تولید و بهینه کردن سطح نهاده می‌باشیم اما همان‌طور که از نتایج پیداست تغییرات تکنولوژیکی در این صنعت نزولی بوده که می‌تواند بیانگر عدم استفاده از تکنولوژی‌های جدید در صنعت پتروشیمی کشور باشد.

## ۷- نتیجه‌گیری

در این مطالعه کارایی فنی و کارایی انرژی (به عنوان یک نهاد خاص) صنعت پتروشیمی کشور با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها طی سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۷۳ مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. برای این منظور از روش تحلیل پوششی داده‌های نهاد محور با فرض بازدهی ثابت نسبت به مقیاس استفاده شد.

نتایج نشان داد که صنعت پتروشیمی در سال‌های مورد مطالعه از متوسط کارایی فنی و کارایی انرژی پایینی برخوردار بوده و به میزان بسیار زیادی در زمینه مصرف نهاده‌ها به ویژه نهاد انرژی در این صنعت اتلاف صورت گرفته است.

کارایی فنی صنعت پتروشیمی طی دوره مورد مطالعه ۰/۷۱۷ بوده است که نشان دهنده عدم استفاده بهینه از نهاده‌ها در صنعت پتروشیمی می‌باشد. یافته‌های این تحقیق تا حدودی نتایج پژوهش پورکاظمی (۱۳۸۶) را تأیید می‌کند. نتایج تحقیق پورکاظمی نشان داد که در صنعت پتروشیمی از نهاده‌های مورد استفاده به صورت بهینه استفاده نشده و اتلاف منابع صورت گرفته است که این یافته‌ها با نتایج این تحقیق همخوانی دارد.

در بررسی کارایی انرژی در صنعت پتروشیمی، داده‌ها نشان داد که میانگین کارایی انرژی این صنعت طی دوره زمانی ۱۳۸۷-۱۳۷۳، ۰/۶۸۸ بوده است و انرژی به طور کاملاً کارا مورد استفاده قرار نگرفته و حدود ۳۱ درصد اتلاف انرژی صورت گرفته است. دلیل اصلی این ناکارایی انرژی را می‌توان ناکارایی فنی این صنعت طی دوره عنوان کرد، چون با توجه به این که طی دوره قیمت نهاده انرژی به علت پرداخت یارانه انرژی توسط دولت پایین بوده است، سرمایه‌گذاری در جهت تعویض دستگاه‌های مستعمل و مستهلک مصرف‌کننده انرژی در سطح کارخانجات این صنعت دارای توجیه اقتصادی نبوده است و در نتیجه منجر به اتلاف انرژی شده است. حال با توجه به این که با اجرای طرح هدفمند سازی یارانه‌ها و آزادسازی قیمت‌ها، قیمت انرژی به نسبت بالایی افزایش یافته و در نتیجه منجر به افزایش هزینه‌های اولیه این صنعت شده است می‌توان گفت که سرمایه‌گذاری در تعویض دستگاه‌های مستهلک در بلندمدت برای این صنعت دارای توجیه اقتصادی خواهد بود. بنابراین کارخانجات پتروشیمی می‌توانند با به کار گرفتن تکنولوژی‌های جدید کارایی انرژی را در سطح کارخانجات افزایش دهند و در بلندمدت از صرفه اقتصادی حاصل از این کار بهره ببرند. لذا با توجه به اینکه صنایع پتروشیمی عمدتاً دولتی می‌باشند پیشنهاد می‌شود که دولت جهت تشویق صنایع برای استفاده از تکنولوژی‌های جدید در سطح کارخانجات سیاست‌های حمایتی اعمال نماید.

## منابع و مأخذ

## الف: منابع و مأخذ فارسی

۱. احمدوند، محمد. میرمظاهری، مهدی. و ادیبی، کمال (۱۳۸۶). "فرصت‌ها و تهدیدهای صنعت پتروشیمی ایران". فصلنامه اقتصاد و تجارت نوین ۱۰: ۱۱۱-۸۶.
۲. امامی مبدی، علی (۱۳۸۴). اصول اندازه‌گیری کارایی و بهره‌وری، تهران، انتشارات موسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی، چاپ دوم.
۳. امامی مبدی، علی (۱۳۸۷). "اندازه‌گیری کارایی فنی و بهره‌وری پالایشگاه‌های نفت ایران". فصل‌نامه‌ی مطالعات اقتصاد انرژی ۵(۱۷): ۵۶-۳۱.
۴. پورکاظمی، محمد حسین. (۱۳۸۵) "ارزیابی کارایی مجتمع‌های صنایع پتروشیمی ایران با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها". فصلنامه پیک نور ۴(۲): ۴۵-۳۵.
۵. حقیقت پژوه، حمیدرضا (آذر ماه ۱۳۹۰). "سهم ایران از صنعت پتروشیمی جهان تا سال ۲۰۲۵". مجله دانش نفت.  
[www.daneshnaft.ir/cvid/225/content/5671/default.aspx](http://www.daneshnaft.ir/cvid/225/content/5671/default.aspx)
۶. حیدری، ابراهیم. و صادقی، حسین (۱۳۸۴). "نخمن کارایی انرژی در بخش صنعت ایران در قالب تابع تقاضای تعدیل جزئی". مجله تحقیقات اقتصادی ۶۸: ۲۰۰-۱۷۹.
۷. رزم آرا، عالیبه. و لطفی‌پور، محمدرضا (۱۳۸۵). "ارزیابی کارایی تکنیکی و روند بهره‌وری در صنایع ایران". مجله دانش و توسعه ۱۸: ۷۸-۵۵.
۸. روابط عمومی شرکت ملی صنایع پتروشیمی (نیمه دوم ۱۳۸۶). "عصر نوین پتروشیمی". نشریه پیام پتروشیمی.  
[www.nipna.ir/nipna\\_content/fa/payamepetroshimi/862.pdf](http://www.nipna.ir/nipna_content/fa/payamepetroshimi/862.pdf)
۹. دفتر مرکز پژوهش‌های زیربنایی مجلس شورای اسلامی (۱۳۸۳). "نقش فناوری در تولید و عرضه محصولات پتروشیمی".  
[www.rc.majlis.ir/m/report/download/731080](http://www.rc.majlis.ir/m/report/download/731080)
۱۰. سهیلی، کیومرث (۱۳۸۶). "بررسی تقاضای بلندمدت انرژی در صنعت انرژی بر پتروشیمی". ششمین همایش ملی انرژی.
۱۱. شکیبایی، علیرضا (۱۳۸۱). اقتصاد انرژی، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، چاپ اول.
۱۲. فتحی هفشجانی، کیامرث (۱۳۸۳). "توسعه مدل پویای تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی واحدهای تصمیم‌گیری". دومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت.



۱۳. فلاح، محمد حسین (پاییز ۱۳۸۹). *بررسی اجزای کارایی در صنعت نساجی*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده اقتصاد و علوم اجتماعی، دانشگاه بوعلی سینا همدان.
۱۴. فقیه نصیری، مرجان. و دیگران (۱۳۸۹). "مقایسه کارایی سرپرستی‌های پست بانک ایران با استفاده از دو روش پارامتری و ناپارامتری". *پژوهشنامه علوم اقتصادی دانشگاه مازندران* ۲: ۱۷۴-۱۵۱.
۱۵. مجله علمی - پژوهشی اقتصاد انرژی (آذر ماه ۱۳۸۸). "راهکارهای کاهش مصرف سوخت در صنعت پتروشیمی". ۵۱: ۴۷-۵۱.
۱۶. مرکز آمار ایران، سالنامه آماری ده نفر کارکن و بیشتر، سال های ۱۳۷۱ تا ۱۳۸۶.
۱۷. مهرگان، نادر و عباسیان، عزت الله (۱۳۸۶). "اندازه‌گیری بهره‌وری عوامل تولید بخش‌های اقتصادی کشور به روش تحلیل پوششی داده‌ها". *مجله تحقیقات اقتصادی* ۷۸: ۱۷۶-۱۵۳.
۱۸. میرزایی، سید محمدعلی. و نادریان، محمد امین (۱۳۸۵). "آسیب شناسی برنامه‌های صرفه‌جویی در مصرف انرژی در ایران". *فصلنامه بررسی‌های اقتصاد انرژی* ۶: ۴۴-۲۲.
۱۹. یاور، کاظم. و فیروزان سرنقی، توحید (۱۳۸۹). "ارزیابی هزینه‌های قیمت انرژی در صنایع بزرگ نساجی کشور". *مجله سیاست‌گذاری اقتصادی* ۲: ۵۸-۳۷.

### ب: منابع و مأخذ لاتین

1. A. O. Aderemi, M. O. Ilori, H. O. Aderemi and J. F. K. Akinbami, (2009). "Assessment of Electrical Energy Use Efficiency in Nigeria Food Industry". *African Journal of Food Science* 3: 206-216.
2. Ang, B.W., Zhang, F.Q., (2000). "A Survey of Index Decomposition Analysis in Energy and Environmental Studies". *The Energy Journal* 25: 1149-1176.
3. Boyd, G.A., Pang, J.X., (2000). "Estimating the Linkage between Energy Efficiency and Productivity". *Journal of Energy Policy* 28: 289-296.
4. Boyd, G.A., Roop, J.M., 2004. "A Note on the Fisher Ideal Index Decomposition for Structural Change in Energy Intensity". *The Energy Journal* 25: 87-101.
5. Boyd, G.A., Hanson, D.A., Sterner, T. (1988). "Decomposition of Changes in Energy Intensity—a Comparison of the Divisia Index and other Methods". *Journal of Energy Economics* 10: 309-312.
6. C.L.P.Martinez, P. (2011). "Energy Efficiency Development in German and Colombia Non-Energy-Intensive Sectors: a Non-Parametric Analysis". *Journal of Energy Efficiency* 4: 115-131.

7. K.Mukherje (2008). "Energy Use Efficiency in U.S Manufacturing: A Nonparametric Analysis". Journal of Energy Economics 30: 76-96.
8. Sabuj, K .M, s. Madheswaran (2009). "Measuring Energy Use Efficiency in Presence of Undesirable Output: An Application of Data Envelopment Analysis (DEA) to Indian Cement Industry". Bangalore Institute for Social and Economic Change 2010, Bangalore.
9. P.Grosch (2008). "Measuring Residential Energy Efficiency Improvements with DEA". Ruhr Economic Papers 60: 3-24.
10. Ray, S.C., (2004). *Data Envelopment Analysis: Theory and Techniques for Economics and Operations Research*, Cambridge University Press, US.
11. Thiry, B., Tulkens, H. (1992). "Allowing for Technical Inefficiency in Parametric Estimates of Production Functions". Journal of Productivity Analysis 3: 45-66.
12. Thompson, H. (2006). "The Applied Theory of Energy Substitution in Production". Journal of Energy Economics 28: 410-425.
13. Tulkens, H. VandenEeckaut, P. (1995). "Non-Parametric Efficiency, Progress, and Regress Measures for Panel Data: Methodological Aspects". European Journal of Operational Research 80: 474-479.
14. Walton, A.L. (1981). "Variations in the Substitutability of Energy and Nonenergy Inputs: the Case of the Middle Atlantic Region". Journal of Regional Science 21: 411-420.
15. Z. Chang, (2007). "DEA-Based Analysis of Energy Utilization Efficiency -Shanghai for Example". Journal of Shanghai Finance University 3: 258-279.