مستخرج از پایان نامه

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و چهارم، شماره دو، اردیبهشت ماه ۱۴۰۱(۳۰۰-۲۸۵)

مقایسه کارایی فنی و زیست‌محیطی صنایع انرژی‌بر استان اصفهان ـ رهیافت تحلیل پوششی تصادفی ناپارامتری داده

منصوره جلایری[۱]

محمدحسن وکیل‌پور[*۲]

vakilpoormh@modares.ac.ir

صادق خلیلیان[۳]

حامد نجفی علمدارلو[۴]

تاریخ دریافت: ۹۹/۵/۷ تاریخ پذیرش: ۹۹/۹/۲۳

چکیده

زمینه و هدف: انتظار می‌رود سیاست‌های توسعه پایدار به نحوی طراحی شوند که فرایندهای تولید و محصولات تولیدی سازگار با محیط زیست بوده و کمترین اثرات جانبی را به دنبال داشته باشند. دغدغه این روزهای کشورهای توسعه یافته دست یافتن به توسعه پایدار است و این مهم با راهکار کارایی زیست‌محیطی ارزیابی می‌شود. کارایی زیست‌محیطی شناخته‌ترین و پرکاربردترین شاخص ارزشگذاری در رابطه با توسعه زیست‌محیطی است.

روش بررسی: در این مطالعه با استفاده از رویکرد تحلیل پوششی داده و تحلیل پوششی تصادفی ناپارامتری داده‌ها (StoNED)، کارایی فنی و زیست‌محیطی صنایع انرژی‌بر استان اصفهان را تخمین زده و به مقایسه نتایج می‌پردازد. داده‌های مالی شامل فروش سالانه، نیروی کار، هزینه مواد اولیه اصلی، موجودی سرمایه از صورت‌های مالی حسابرسی شده شرکت‌ها برای سال منتهی به ۱۳۹۶ جمع آوری شده و میزان مصرف انرژی و انواع انرژی مصرفی و درصد هریک از آنها از بخش فنی کارخانه با استفاده از پرسشنامه جمع‌آوری و تکمیل گردیده است.

۱ـ دانشجوی دکتری گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.

۲- عضوگروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس. *(مسوول مکاتبات)

۳- دانشیارگروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.

۴- دانشیارگروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.

یافته ها: از فروض پژوهش پایین‌تر بودن میانگین کارایی زیست‌محیطی نسبت به میانگین کارایی فنی بود که نتایج بدست آمده نشان داد میانگین کارایی زیست محیطی به نسبت قابل توجهی پایین‌تر از میانگین کارایی فنی بنگاه‌هاست. همچنین نتایج نشان داد متوسط کارایی فنی در صنایع انرژی‌بر منتخب استان اصفهان، با استفاده از روش StoNED، ۷۵/۷ ٪ و متوسط کارایی زیست‌محیطی، ۵۲/۱٪ است. بدین ترتیب متوسط کارایی زیست‌محیطی صنایع مذکور، ۲۳/۶٪ پایین‌تر از میانگین کارایی فنی آنهاست. در میان سه گروه مورد بررسی، صنایع غیرفلزی مثل کارخانه‌های تولید سیمان و آجر نسوز متوسط کارایی فنی بالاتری با رقم ۸۷/۳۵٪ داشته درحالیکه متوسط کارایی زیست‌محیطی این گروه با عدد ۴۸/۷۹٪ پایین‌تر از دو گروه دیگر است. این موضوع با توجه به اینکه این صنایع از جمله آلاینده‌ترین صنایع کشور در انتشار CO_2 هستند کارایی پایین‌تر زیست‌محیطی آنها دور از انتظار نیست و در این مطالعه نیز تایید می‌شود. متوسط کارایی فنی صنایع فلزی۸۱/۲۳ ٪ و متوسط کارایی زیست‌محیطی این گروه ۵۵/۶۱٪ و متوسط کارایی فنی صنایع شیمیایی و پتروشیمی ۵۵/۹٪ و متوسط کارایی زیست‌محیطی این گروه ۴۹/۵۴ ٪ بوده است.

بحث و نتیجه گیری : با توجه به اختلاف میانگین کارایی زیست محیطی محاسبه شده، پیشنهاد می‌شود برای بالا بردن کارایی زیست‌محیطی ، استانداردهای زیست محیطی متناسب با هر صنعت تدوین گردد.

واژه‌های کلیدی: کارایی زیست محیطی ، صنایع انرژی‌بر، ستانده نامطلوب، روش StoNED.

J. Env. Sci. Tech., Vol 24, No. 2, May, 2022

Comparison of Technical and Environmental Efficiencies of Energy Industries in Isfahan Province - using Stochastic Envelopment of Data Approach Nonparametric

Mansoureh Jalayeri [1]
Mohammad hassan Vakilpoor [2 *]
vakilpoormh@modares.ac.ir
Sadegh Khalilian [3]
Hamed Najafi Alamdarloo[4]

Admission Date:December 13, 2020 Date Received: July 28, 2020

Abstract

Background and Objective: Sustainable development policies are expected to be designed in such a way that the production process and products are environmentally friendly and have the least negative side effects on the environment. The concern of developed countries these days is to achieve sustainable development, and this is measured by the tools of environmental efficiency. Environmental efficiency is the most well-known and widely used valuation indicator in relation to environmental development.

Material and Methods: this study evaluated the technical and environmental efficiencies of energy industries in Isfahan province and compared the results using the data envelopment analysis and non-parametric random envelopment analysis approach(StoNED). Financial data including annual sales, labor force, cost of raw materials and capital stock were collected from the audited financial statements of companies for the year ending 2017, and the amount of energy consumption and the type of energy consumed and the percentage of each one, collected and Completed using a questionnaire from the technical department of the factory.

Findings: One of the assumptions of this study was that the average environmental efficiency was lower than the average technical efficiency and expected a significant difference between environmental and technical efficiency in each group of industries. The results showed that the average environmental efficiency was significantly lower than the average technical efficiency of firms. The results also showed that the average technical efficiency in selected energy industries in Isfahan province, using DEA method, was calculated 67.4% and using StoNED method was 75.7% and the average environmental efficiency in StoNED method was 52.1%. Thus, the average environmental efficiency of energy industries in Isfahan province was 23.6% lower than their average technical efficiency. Among the three groups studied, non-metallic industries such as cement and

1- PhD student in Department of Agricultural Economics, Tarbiat Modares University .
2- Department of Agricultural Economics Member, Tarbiat Modares University. **(Corresponding Author)*
3- Associate Professor, Department of Agricultural Economics, Tarbiat Modares University.
4- Associate Professor, Department of Agricultural Economics, Tarbiat Modares University.

refractory brick factories had the highest average technical efficiency with 87.35%, while the average environmental efficiency of this group with 48.79% was lower than the other two groups. The average technical efficiency of metal industries was 81.23% and the average environmental efficiency of this group was 55.61% and the average technical efficiency of chemical and petrochemical industries was 55.9% and the average environmental efficiency of this group was 49.54%.

Discussion and Conclusion: Due to the difference in the average environmental efficiency calculated for selected industries, it is suggested that environmental standards appropriate to each industry be developed to have a greater impact on environmental efficiency.

Keywords: Eco Efficiency, Undesirable Output, StoNED Method.

مقدمه

مقایسه تاریخی کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه نشان می‌دهد وجه تمایز و نقطه قوت کشورهای توسعه یافته استفاده بهینه و کارا از منابع می‌باشد بنابراین در شرایط فعلی با توجه به اینکه امکان سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های نو، کمتر فراهم است، مطالعات مربوط به کارایی و شناسایی عوامل موثر بر آن، در هر صنعت از اهمیت ویژه‌ای برخودار است.

بسیاری از خدمات زیست‌محیطی و خسارات آن تحت تاثیر ، تولید، تبدیل و مصرف انرژی قرار می‌گیرند. عموما" هزینه‌ی اینگونه تبعات زیست‌محیطی در قیمتهای کالا و منابع انرژی وارد نمی‌شوند و عدم توجه به این عامل باعث استفاده‌ی بی رویه از انرژی می‌شود. توجه به اثرات جانبی تولید و مصرف انرژی، انگیزه قوی جهت مداخله در طراحی اقداماتی در خصوص کاهش مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌ها فراهم آورده است. توسعه پایدار که دغدغه این روزهای کشورهای توسعه یافته است با ابزار زیست کارایی سنجیده می‌شود. این شاخص شناخته‌ترین و پرکاربردترین شاخص ارزشگذاری در رابطه با توسعه زیست‌محیطی است. کارایی زیست‌محیطی شناخته‌ترین و پرکاربردترین شاخص ارزشگذاری در رابطه با توسعه زیست‌محیطی است. بر اساس آمار بانک جهانی روند انتشار گازهای گلخانه‌ای در سال‌های اخیر همواره در حال افزایش بوده این موضوع منجر به گرمایش زمین و کاهش کیفیت زندگی انسان و سایر موجودات هوازی به اشکال مختلف خواهد شد، بدین سبب پرداختن به موضوع مورد نظر و تلاش در جهت کاهش و کنترل انتشار آلاینده دی اکسید کربن که مهمترین گاز گلخانه‌ای جو زمین است حائز اهمیت بسیار می‌باشد.

روش‌های مختلفی برای تعیین میزان کارایی مورد استفاده محققان قرارگرفته که در بکارگیری مدل‌های مختلف نتایج متفاوتی هم گزارش شده است. بدین ترتیب انتخاب روش مناسب برای تعیین کارایی اثر قابل توجهی روی نتایج دارد. در عین حال امکان کاربرد هر روش با توجه به حجم نمونه مورد مطالعه و ماهیت اطلاعات متفاوت است. هدف اصلی این مطالعه محاسبه کارایی فنی و زیست‌محیطی واحدهای صنعتی انرژی‌بر استان اصفهان و مقایسه این واحدها از نظر کارایی فنی و کارایی زیست‌محیطی با یکدیگر می‌باشد. بدین منظور از روش تحلیل پوششی داده‌ها [1] (DEA) و روش تحلیل پوششی تصادفی ناپارامتریک داده‌ها (StoNED) برای محاسبه کارایی فنی و از روش StoNED برای محاسبه کارایی زیست‌محیطی استفاده می‌کنیم. در این مطالعه، ابتدا معرفی انواع کارایی‌ها را خواهیم داشت، سپس به بیان ادبیات موضوع پرداخته می‌شود. بخش سوم به تشریح روش تحقیق و داده‌های تحقیق اختصاص دارد و در بخش چهارم یافته‌های تحقیق و سپس جمع‌بندی نتایج و پیشنهادات ارائه خواهد شد.

در این مطالعه سه گروه از صنایع متوسط و بزرگ استان اصفهان که سهم زیادی در مصرف انرژی کشور و انتشار آلاینده‌ها و همچنین نقشی پررنگ در اقتصاد دارند انتخاب

1- Data Envelopment Analysis
2- Stochastic Nonparametric Envelopment of Data

شده‌اند، گروه صنایع فلزی، گروه تولیدات غیرفلزی و صنایع شیمیایی و پتروشیمی از جمله صنایع منتخب می‌باشند. با توجه به تعداد شرکت‌ها در جامعه مذکور، با استفاده از روش نمونه‌گیری طبقه‌ای تعداد ۴۲ کارخانه انتخاب و مورد سؤال قرار گرفت . بدلیل ناقص بودن داده‌های موجود و ارایه شده برای برخی از بنگاه‌ها (۱۱کارخانه) با نظر محققین حذف و در نهایت فقط داده‌های ۳۱ واحد برای مدل‌سازی استفاده گردید. بنابراین داده‌ها شرکتی و سالانه برای دوره زمانی ۱۳۹۶ می‌باشد. با توجه به اینکه صنایع انرژی‌بر منتخب در این مطالعه در سال‌های اخیر از تولیدکنندگان محصولات عمده صادراتی کشور بوده‌اند (مطابق با آمارنامه‌های گمرگ ج.ا.ا) تعیین کارایی این صنایع از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با این حال تحلیل کارایی واحدهای مذکور با محدودیت‌های زیادی از جمله عدم ارائه اطلاعات از سوی مدیران، بالا بودن هزینه جمع‌آوری اطلاعات و لزوم مقایسه جامع تمامی واحدهای موجود در بخش‌های مورد بررسی برای ارائه تحلیل‌های کاربردی مواجه بوده است مزیت استفاده از روش تحلیل پوششی تصادفی ناپارامتریک داده که کمتر در مطالعات داخلی برای برآورد کارایی فنی و زیست‌محیطی از آن استفاده شده در مقایسه با روش تحلیلی پوششی داده‌ها آن است که در این روش جزء خطاها برای تمامی واحدهای تولیدی به طور همزمان محاسبه شده و همچنین از جزء خطای ترکیبی استفاده می‌شود.

تعریف کارایی

کارایی مفهوم مهم و پیچیده‌ای دارد و در حوزه‌های مختلف با تعاریف متفاوت به‌کار گرفته می‌شود. در حوزه‌ی علم اقتصاد کارایی به صورت نسبت ستاده به نهاده تعریف شده است. همچنین نسبت هزینه‌ی واقعی به هزینه‌ی استاندارد برای محاسبه‌ی کارایی به‌کار رفته است. در این حالت بنگاهی کاراتر تلقی می‌شود که برای تولید محصولات خود از نهاده‌های کمتری استفاده نماید. به عبارت دیگر روی مرز تولید قرار گرفته باشد یعنی با حداقل نهاده، مقدار معینی ستاده تولید کند. در ادبیات اقتصادی کارایی انواع مختلف دارد کارایی فنی، تخصیصی و کارایی اقتصادی از آن جمله است.کارایی فنی منعکس کننده‌ی تصمیم یک بنگاه در بدست آوردن حداکثر خروجی از ورودی‌های بکار گرفته شده است. در واقع کارایی فنی، نشان‌دهنده‌ی حداکثر سازی تولید با توجه به مقدار مشخصی از عوامل تولید است(۱).

کارایی اقتصادی نیز عبارت است از میزان محصول قابل استفاده به نسبت میزان منابع تولیدی که برای تولید آن محصول به‌کار رفته است، قابل استفاده بودن محصول و یا ارزش آن در جامعه به وسیله‌ی پول تعیین می‌گردد. کارایی اقتصادی به ترکیب کارایی فنی و کارایی تخصیصی گفته می‌شود. یک واحد در صورتی از نظر اقتصادی کارا خواهد بود که از نظر فنی و تخصیصی نیز کارا باشد. کارایی اقتصادی از حاصلضرب کارایی فنی و تخصیصی به‌دست می‌آید. بنابراین باید توجه داشت که میزان کارایی اقتصادی از نظر روش محاسبه در واقع همان میزان کارایی فنی است، با این تفاوت که وزن‌های ورودی‌ها، قیمت خرید یا هزینه‌ی تهیه‌ی آنها بوده و وزن‌های خروجی‌ها قیمت فروش آنها است.

کارایی زیست‌محیطی و زیست کارایی[1]

تعریف زیست کارایی با توجه به کاربرد و روش اندازه‌گیری متفاوت است. مفهوم اولیه زیست کارایی به دهه‌ی ۱۹۷۰ میلادی بر می‌گردد. دردهه‌ی ۱۹۹۰ ، اسچاتجر و استورم[2] زیست کارایی را به عنوان "خط رابط بین کسب و کار و توسعه پایدار" معرفی کردند (۱).

آژانس محیط زیست اروپا، زیست کارایی را به عنوان "رفاه بیشتر از منابع طبیعی کمتر"معرفی می‌کند و افزایش آن را در جداسازی آلودگی و کاربرد منابع از رفاه و توسعه اقتصادی می‌داند. سازمان همکاری اقتصادی و توسعه، زیست کارایی را "کارایی منابع اکولوژیکی که برای برآورده ساختن نیازهای بشر به کار رفته‌اند" می‌داند. زیست کارایی به معنای تولید کالاها و خدمات بیشتر به ازای مصرف انرژی و مواد طبیعی معین است. در واقع این مفهوم، خط مشی برای رسیدن به سه هدف افزایش ارزش تولیدات و خدمات، استفاده بهینه از منابع و کاهش اثرات زیست‌محیطی است. کارایی زیست‌محیطی ترکیب کارایی

1- Eco-Efficiency
2- Schaltegger and Sturm

اکولوژیکی و کارایی اقتصادی است. هر چه‌قدر یک بنگاه دارای کارایی اکولوژی بالاتری باشد، آلودگی زیست‌محیطی کمتری را با توجه به ارزش اقتصادی که تولید می‌کند، ایجاد می‌کند و هرچه‌قدر کارایی اقتصادی بالاتری داشته باشد، طبیعتاً کالاها و خدمات بیشتری را با توجه به منابع موجودش تولید می‌کند.

پیشینه تحقیق

از گذشته تاکنون مطالعات متنوعی برای محاسبه کارایی در بخش‌های مختلف انجام شده و روش‌های مختلفی برای محاسبه کارایی پیشنهاد شده است. روش‌های غیرپارامتریک، استفاده از انواع مدل سازی‌ها در برنامه‌ریزی ریاضی از جمله کاربرد مدل‌های مختلف DEA برای محاسبه کارایی فنی بوده و از روش‌های پارامتریک نیز استفاده از رویکرد تخمین تابع فاصله در اقتصادسنجی بوده است. برخی از مطالعات نیز به مقایسه مزیت‌ها و معایب روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک با یکدیگر و ارائه دلیل برای انتخاب هر یک از این روش‌ها در تحلیل شاخص‌های کارایی پرداخته‌اند. در این راستا کارایی زیست محیطی تولید برخی از محصولات کشاورزی ، تولیدات کارخانه‌ای و شرکت توزیع برق منطقه‌ای و نیروگاه‌ها محاسبه و در برخی از موارد با کارایی فنی مقایسه شده است.آماده و رضایی(۱۳۹۰) با استفاده از مدل ستاده مطلوب و نامطلوب تفکیک ناپذیر مبتنی بر روش تحلیل پوششی داده‌ها، کارایی فنی و زیست‌محیطی شرکت‌های برق منطقه‌ای در بخش تولید انرژی الکتریکی مورد ارزیابی قراردادند و از روش تحلیل پنجره‌ای برای حل مشکل کمی داده استفاده نمودند نتایج نشان داده در بین شرکت‌های برق منطقه‌ای آذربایجان و خراسان نتایج ضعیفی از نظر کارایی فنی و زیست‌محیطی دارند(۲).

سیفی و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی موردی نیروگاه‌های حرارتی خراسان شمالی، رضوی و جنوبی کارایی زیست‌محیطی این نیروگاه‌ها را با اطلاعات سال‌های ۸۴ تا ۸۷ مربوط به ۶ نیروگاه حرارتی نسبت به آلاینده اکسیدهای نیتروژن محاسبه نمودند در این مقاله با استفاده از توابع فاصله هایپربولیک[1] با در نظرگرفتن ستاده‌های مطلوب و نامطلوب به صورت نامتقارن و رهیافت اقتصاد سنجی الگوی مرز تصادفی با بهره‌گیری از شکل تابع ترانسلوگ به روش حداکثر راست‌نمایی در قالب داده‌های تابلویی تخمین زده شده طبق محاسبات انجام شده کارایی زیست‌محیطی نیروگاه‌های نمونه به طور متوسط ۹۳,۸۱ درصد بوده است(۳). شهیکی و خواجه حسنی (۱۳۹۴) در مطالعه‌ای به بررسی کارایی زیست‌محیطی صنایع انرژی‌بر با استفاده از رویکرد تابع فاصله جهت‌دار پرداخته‌اند نتایج نشان داده اگر چه صنایع غیرفلزی از نظر فنی کاراتر از صنایع فلزی هستند اما از نظر زیست‌محیطی از کارایی کمتری برخوردار هستند(۴). در مطالعه‌ای دیگر کارایی فنی و زیست‌محیطی تولید برنج در شهرستان بابلسر استان مازندران را برآورد شده برای این منظور از روش تابع مرزی تصادفی استفاده شده و میانگین کارایی فنی و زیست‌محیطی به‌ترتیب برابر با٪ ۷۸ و ٪۸۸ بدست آمده است(۵).

مطالعات بین‌المللی فراوانی با استفاده از روش‌های مختلف برای محاسبه کارایی فنی و زیست محیطی و مقایسه آنها انجام شده که نشان می‌دهد اهمیت موضوع کارایی زیست محیطی برای اکثر کشورها نمایان شده است در این راستا تعداد معدودی از این مطالعات مورد بررسی قرارمی‌گیرد. مائو و همکاران[2](۲۰۱۱) زیست کارایی و کارایی انرژی زیربخش‌های صنعت چین را در سال ۲۰۰۷ مورد ارزیابی قرار دادند. آنها در مطالعه خود مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای را برای زیر بخش‌های صنعت چین به دست آوردند. در مقایسه با سایر کارهای انجام شده برای اندازه‌گیری زیست کارایی به‌کار می‌رود، مطالعه مائو این امکان را به وجود آورد که زیر بخش‌های صنعت مورد ارزیابی قرار گیرد(۶). در مطالعه دیگری در سال ۲۰۱۴ با استفاده از رویکرد تابع فاصله جهت دار(DDF[3])، به ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی ۲۸ کشور اتحادیه اروپا طی سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۱۱ پرداخته و نتایج حاصل از مدل‌سازی نشان داده، کارایی زیست‌محیطی با تغییرات زیست فناوری (ارتقای نوآوری‌های زیست‌محیطی) بالا می‌رود نه با کارایی اقتصادی

1- Hyperbolic Distance Functions

2- Mao et al

3- Directional Distance Function

(۷). لانتزوس و همکاران[1] در سال ۲۰۱۴ با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها به ارزیابی کارایی زیست‌محیطی و انرژی بخش کشاورزی در کشورهای عضو اتحادیه اروپا برای دوره‌ی‌زمانی ۲۰۰۱- ۲۰۰۸ میلادی پرداختند نتایج نشان داد، کشورهای شرق اروپا، رتبه کارایی کمی دارند؛ این مسئله می‌تواند به علت سطح پایین تکنولوژی در فرآیند اصلی تولید باشد. همچنین کشورهایی نظیر آلمان، سوئد و اتریش با استانداردهای قوی حفاظت از محیط زیست، کارایی زیست‌محیطی بالاتر و مصرف انرژی کمتری در مقایسه با کشورهایی همچون دانمارک، بلژیک، اسپانیا، فرانسه و ایرلند دارند(۸). در سال ۲۰۱۶ در مطالعه‌ای پایداری سیاست‌های برنامه تجارت انشار آلاینده را در کره جنوبی بررسی می‌شود این مقاله برای داده‌های شرکتی مربوط به برنامه تجارت انتشار آلاینده کره در صنعت پتروشیمی متمرکز شده است. مطالعه با استفاده از تابع فاصله جهت‌دار (DDF)، به ارزیابی فاکتورهای حکومتی مربوط به سیاست‌های برنامه تجارت انشار آلاینده (ETS[2]) و عملکرد پایدار از نظر کارایی فنی کربن (CTE[3])، قیمت سایه‌ای انتشار کربن، و کشش موریشیما بین ورودی و ستانده نامطلوب انتشار کربن می پردازد(۹).

روش بررسی

این پژوهش به لحاظ چارچوب نظری تحقیق در گروه پژوهش‌های اقتصاد محیط زیست و اقتصاد آلودگی قرارگرفته و برای برآورد مدل از فرضیات تئوری تولید اقتصاد خرد استفاده شده است. برآورد تابع با استفاده از برنامه‌ریزی خطی به روش (StoNED) در نرم افزار گمز (GAMS) نسخه ۲۵،۲،۲ انجام شده است.

پژوهش‌های سال‌های اخیر نشان می‌دهد محققان تلاش کرده‌اند با معرفی روش‌های شبه پارمتریک مزیت روش‌های پارامتریک و ناپارامتریک را یکجا جمع کنند یکی از روش‌های شبه پارامتریک که در سال‌های اخیرمعرفی و در مطالعات تجربی از آن استقبال شده روش تحلیل پوششی تصادفی غیرپارامتریک داده(StoNED) است.

مدل‌های ناپارامتریک هیچ محدودیتی بر مفروضات توزیعی تحمیل نمی‌کند به همین دلیل نسبت به مدل‌های پارامتریک که توزیع تمامی داده‌ها را به طور غیرواقعی نرمال فرض می‌کند و تنها اطلاعات موجود در توزیع نرمال را بکار می‌گیرند تمامی اطلاعات حتی اطلاعات موجود در خطاهای استاندارد نیز بکار گرفته می‌شود (۱۰). تحلیل پوششی تصادفی ناپارامتری داده‌ها (StoNED) که اولین بار توسط کاسمانن و کورتلینین (۲۰۰۶ و ۲۰۰۷) ارائه شد، از جمله روش‌های پل ارتباطی بین مدل‌های پارامتری و ناپارامتری ارزیابی کارایی و تعیین قیمت سایه‌ای محسوب می‌شود و محاسن هر دو روش را در یک چارچوب واحد و یکپارچه ارائه می‌کند. مزیت روش پیشنهادی وابستگی شدید آن بر مفاهیم و اصول DEA و SFA[4] بدون معرفی مفاهیم یا ابزارهای جدید است(۱۱)و . ضمنا این روش بر اساس بدیهیات استاندارد و مفروضاتی که استفاده کنندگان از SFA و DEA با آن راحت هستند، بنا نهاده شده است. لذا StoNED حلقه مفقوده ارتباط مفهومی بین روش های پارامتری و ناپارامتری است که در سایر روش‌های مشابه از دست رفته است(۱۵).

در این روش می‌توان تابع هدف را با توجه به نهاده‌های مشخص حداکثر کرده و یا این که با استفاده از دوگان آن یعنی با توجه ستانده معین، هزینه نهاده‌ها را حداقل کرد. نکته قابل ذکر این است که در این روش بنگاه‌هایی که کارا شناخته می‌شوند ممکن است در عمل دارای کارایی نباشند. لیکن در میان بنگاه‌های موجود صنعت، بهترین عملکرد را دارند. برای این منظور به معرفی مجموعه امکانات تولیدی پرداخته می‌شود. برای هر صنعت i=1, …, n فرض می‌شود که بردار نهاده‌های تولیدی به صورت $x \in R_+^M$ می‌باشد. بردار محصولات خوب به صورت $y \in R_+^S$ و بردار محصولات بد به صورت $b \in R_+^J$ است. تکنولوژی تولیدی مورد استفاده به صورت T می‌باشد که با استفاده از ترکیب در دسترس نهاده – محصول به تولید

1- Vlontzos et al
2- Emission Trading Scheme
3- CarbonTechnical Efficiency
4- Stochastic Frontier Analysis

کالای خوب و بد به صورت $T=((x,y,b):x\in(y,b))$ است. T یک مجموعه محدب بوده و نسبت به بازدهی به مقیاس متغیر می‌باشد.

در این شرایط بر اساس مطالعه(۱۶) و (۱۷) فروض زیر در نظر گرفته شده است:

- آزاد بودن جابجایی بین نهاده ها

$$if\ (x,y,b)\in T, x^{\wedge\prime}\geq x\ then\ (x^{\wedge\prime},y,b)\in T$$

- آزاد بودن ترکیب تولید محصولات:

$$if\ (x,y,b)\in T, y^{0}\leq y\ then\ (x,y^{0},b)\in T$$

- جابجایی ضعیف بین تولید کالاهای خوب و بد: آزاد بودن استفاده از نهاده ها:

$$if\ (x,y,b)\in T, 0\leq\theta\leq 1\ then\ (x,\theta\ y,\theta b)\in T$$

بر این اساس با توجه به متغیر بودن بازدهی نسبت به مقیاس مجموعه تولیدی در دسترس را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$T=\left\{\left((x,y,b)\in R_{+}^{M+s+J}\middle| x\geq\sum_{i=1}^{n}(\lambda_i+\mu_i)x_i\,;y\leq\sum_{i=1}^{n}\lambda_i y_i;\ \ b\geq\sum_{i=1}^{n}\lambda_i b_i;\ \sum_{i=1}^{n}(\lambda_i+\mu_i)=1\right)\right\}$$
$$,\lambda_i,\mu_i\geq 0$$

بطوریکه در این معادله λ_i ترکیب فعالیت صنایع، μ_i امکان کاهش مقیاس کالای خوب و کالای بد با حفظ سطح تولید می‌باشد. نابرابری لحاظ شده برای تولید کالای بد دلالت بر این دارد که قیمت سایه‌ای منفی بر آلودگی اضافی تولید شده جهت تامین شرایط نهادهای اقتصادی برای پوشش دادن هزینه‌های تولید می‌باشد.

به منظور برآورد این شرایط از روش حداقل مربعات معمولی شرطی ناپارامتریک استفاده شده که در آن تابع تولید و جمله اخلال به‌شرح زیر است(۱۸).

$$y_i=f(x_i,b_i)\exp(\varepsilon_i),\qquad i=1,\dots,n$$

در این معادله $f(x_i,b_i)$ تابعی پیوسته می‌باشد. ε_i جملات اخلال مربوط به محصول بد بوده که در ارتباط با متغیر وابسته می‌باشد. با استفاده از لگاریتم گیری معادله فوق به منظور اندازه گیری تولید محصول بد به صورت زیر می‌باشد:

$$\varepsilon_i=\ln(y_i)-\ln\big(f(x_i,b_i)\big)$$

با اتکا به مدل نگارش شده توسط مکارونینگ و جوهانسون (۲۰۱۲) جمله اخلال را می‌توان به دو جزء زیر تفکیک کرد:

$$\varepsilon_i=\mathrm{v_i}-u_i,\quad i=1,\dots,n$$

بطوریکه $\mathrm{v_i}$ جزء تصادفی اخلال می‌باشد. با توجه به توزیع جمله اخلال فوق $E(\varepsilon_i)=E(-u_i)=-\mu<0$ می‌توان تابع تولید را به صورت زیر نوشت:

$$\ln(y_i)=(\ln(f(x_i,b_i)-\mu]+\delta z_i+[\varepsilon_i+\mu]=\ln\big(g(x_i,b_i)\big)+v_i,\qquad i=1,\dots,n$$

بطوریکه $\varepsilon_i+\mu$ جمله اخلال تعدیل شده است و $E(v_i)=E(\varepsilon_i+\mu)=0$ برقرار است. شرایط روش حداقل مربعات شرطی ناپارامتریک به صورت زیر می‌باشد:

$$\min_{a,w,c,v}\sum_{i=1}^{n}v_i^2$$

s.t

$$v_i=\ln(y_i)-\ln(a_i+w_i'x_i-c_i'b_i),\quad i=1,\dots,n$$
$$a_i+w_i'x_i-c_i'b_i\leq a_h+w_h'x_i-c_h'b_i\ ,\qquad h=1,\dots,n$$
$$a_i+w_i'x_i-c_i'b_i\geq 0 w_i,c_i\geq 0$$

بطوریکه w_i,c_i تولید نهائی کالای خوب و کالای بد می‌باشند. با محاسبه جزء اخلال مدل فوق با در نظر گرفتن توزیع نیم نرمال برای آن گشتاورهای آن به صورت زیر می‌باشد:

$$\hat{\sigma}_u = \sqrt[3]{\frac{\widehat{M_3}}{(\frac{2}{\pi})(1-\frac{4}{\pi})}}$$

$$\hat{\sigma}_v = \sqrt[2]{\widehat{M_2} - \left(\frac{\pi-2}{\pi}\right)\hat{\sigma}_u^2}$$

بطوریکه $\widehat{M_2}$ و $\widehat{M_3}$ به شرح ذیل خواهد بود:

$$\widehat{M_2} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{v}_i - \hat{E}(v_i)\right)^2$$

$$\widehat{M_3} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\hat{v}_i - \hat{E}(v_i)\right)^3$$ و

جاندرو (Jondorow) و همکاران نشان دادند که توزیع شرطی ناکارایی u_i به ازای $\hat{\varepsilon}_i$ معلوم، یک توزیع نرمال محدود شده با میانگین $-\frac{\hat{\varepsilon}_i\hat{\sigma}_u^2}{\hat{\sigma}_u^2+\hat{\sigma}_u^2}$ و واریانس $\frac{\hat{\sigma}_u^2\hat{\sigma}_u^2}{\hat{\sigma}_u^2+\hat{\sigma}_u^2}$ است و میانگین شرطی u_i بصورت زیر می‌باشد:

$$\hat{E}(u_i|\hat{\varepsilon}_i) = -\frac{\hat{\varepsilon}_i\hat{\sigma}_u^2}{\hat{\sigma}_u^2+\hat{\sigma}_u^2} + \frac{\hat{\sigma}_u^2\hat{\sigma}_u^2}{\hat{\sigma}_u^2+\hat{\sigma}_u^2}\left[\frac{\varphi(\frac{\hat{\varepsilon}_i}{\hat{\sigma}_u^2})}{1-\theta(\frac{\hat{\varepsilon}_i}{\hat{\sigma}_u^2})}\right]$$

که φ تابع چگالی نرمال استاندارد و θ تابع توزیع جمعی نرمال استاندارد است(۱۹).

روش تحلیل پوششی داده‌ها-DEA

با توجه به اینکه روش اصلی مورد استفاده در این مطالعه روشStoNED است و از روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) به عنوان یک روش مقایسه‌ای در برآورد کارایی فنی استفاده شده است و از آنجا که هدف در این پژوهش معرفی مدل‌های نسبت جدیدتر بوده و ادبیات مدل‌های DEA به وفور در مقالات مختلف محاسبه کارایی یافت می‌شود در اینجا از ذکر آن خودداری و فقط به این بسنده می‌کنیم که مدل DEA مورد استفاده در این پژوهش از فرض بازده نسبت مقیاس متغیر، استفاده نموده است.

آمارهٔ M_3 که فقط به انحراف معیار جزء ناکارا یی وابسته است ، شاخصی برای نشان دادن چولگی توزیع است. با توجه به اینکه فرض شده جزء ناکارا یی دارای توزیع نیمه نرمال است و چولگی مثبت دارد، بنابراین گشتاور سوم، M_3 بایستی منفی باشد(۱۰) . با برآورد میانگین تابع تولید $g(x_i,b_i)$ و لحاظ کردن مقدار میانگین انتظاری آن می‌توان کارایی تابع تولید را به صورت زیر برآورد کرد:

$$\ln(\hat{g}(x_i,b_i)) = \left[\ln\left(\hat{f}(x_i,b_i)\right) - \hat{\mu}\right] = \ln(\hat{f}(x_i,b_i) - \exp(-\hat{\mu}))$$

$$\hat{f}(x_i,b_i) = \hat{f}(x_i,b_i)\exp(\hat{\mu})$$

$$\hat{\mu} = \hat{\sigma}_u\sqrt{\frac{2}{\pi}}$$

داده‌های تحقیق

در این مطالعه سه گروه از صنایع متوسط و بزرگ استان اصفهان که سهم زیادی در مصرف انرژی کشور و انتشار آلاینده‌ها انتخاب شده‌اند، گروه صنایع فلزی، گروه تولیدات غیرفلزی و صنایع شیمیایی و پتروشیمی از جمله صنایع منتخب می‌باشند. با توجه به تعداد شرکت‌ها در جامعه مذکور، با استفاده از روش نمونه‌گیری طبقه‌ای تعداد ۴۲ کارخانه انتخاب و مورد بررسی قرار گرفت . بدلیل ناقص بودن داده‌های ارایه شده توسط برخی از بنگاه‌ها (۱۱کارخانه) با نظر محققین حذف و در نهایت فقط داده‌های ۳۱ واحد برای مدل‌سازی استفاده شد. بنابراین داده‌ها شرکتی و سالانه برای دوره زمانی ۱۳۹۶ می‌باشد. متغیرهای مورد استفاده در این مطالعه شامل فروش سالانه، میزان مصرف انرژی در بخش تولید ، نیروی کار تولیدی، هزینه نهاده‌های تولیدی (مواد اولیه اصلی)، موجودی سرمایه (داراییهای ثابت) و متغیرهای کیفی طول عمر کارخانه، شدت آلودگی می‌باشد. داده‌های مالی از صورت‌های مالی حسابرسی شده سالانه شرکت‌ها برای سال مالی منتهی به ۱۳۹۶ اخذ شده و نوع انرژی مصرفی و درصد هریک و میزان مصرف انرژی از بخش فنی کارخانه مورد پرسش قرار گرفته و در نهایت براساس ارزش حرارتی هر سوخت با استفاده از فرمول‌های محاسباتی، همه سوخت‌ها به واحد گیگا ژول تبدیل

شده است. برای برآورد دی اکسید کربنی که هر کارخانه تولید می‌کند ابتدا ارزش حرارتی مصرف برق و انواع مختلف سوخت‌های فسیلی به گیگاژول محاسبه شده و سپس با اعمال ضرایب انتشار گاز دی اکسید کربن ، میزان انتشار این گاز تخمین زده می‌شود. میزان انتشار گاز گلخانه‌ای CO_2 از منابع احتراقی از حاصلضرب مقدار مصرف هر یک از سوخت‌های مصرفی در ارزش حرارتی و ضرایب انتشار آن سوخت بدست می‌آید(۱۹).

$$Ecij=Qi*LHVi*EFij$$

Ecij میزان انتشار سالانه گاز گلخانه‌ای

Qi مقدار کل مصرف سالانه سوخت بر حسب استاندارد متر مکعب (SM3) برای سوخت‌های گازی و لیتر (L) برای سوخت‌های مایع.

LHVi ارزش حرارتی خالص سوخت i بر حسب GJ/M3 برای سوخت‌های گازی و GJ/L برای سوخت‌های مایع.

EFij ضریب انتشار گاز گلخانه‌ای j برای سوخت i بر حسب TON/GJ

جدول ۱- ارزش حرارتی خالص و ضریب انتشار گاز گلخانه‌ای CO_2 برای برخی از سوختهای فسیلی

Table 1. Net calorific value and CO2 greenhouse gas emission coefficient for some fossil fuels

نوع سوخت فسیلی	ارزش حرارتی خالص سوخت i ، GJ/M^3 (GJ/L)	ضریب انتشار گاز گلخانه‌ای CO_2 برای سوخت i بر حسب TON/GJ
گاز طبیعی	۳۴,۲۰*۱۰$^{-۳}$	۵۶,۱*۱۰$^{-۳}$
نفت گاز	۳۶,۷۰*۱۰$^{-۳}$	۷۴,۱*۱۰$^{-۳}$
نفت کوره	۳۷,۶۰*۱۰$^{-۳}$	۷۷,۴*۱۰$^{-۳}$

منطقه مورد مطالعه استان اصفهان انتخاب شده است زیرا از نظرمصرف انرژی بخش صنعت و انتشارات آلاینده‌ها در این بخش، اولین استان و از نظر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای دومین استان کشور بعد از تهران[۱] می‌باشد (۲۰).

۱- مصرف انرژی فسیلی و انتشارات استان تهران بیشتر در بخش حمل و نقل و خانگی و تجاری می‌باشد(ترازنامه انرژی، ۱۳۹۶)

جدول ۲- اطلاعات مربوط به متغیرهای پژوهش درصنایع انرژی‌بر منتخب استان اصفهان

Table 2. Information on research variables in the energy industry on selected Isfahan province

متغیر	واحد اندازه‌گیری	حداقل	میانگین	حداکثر	انحراف معیار
سرمایه(داراییهای ثابت)	میلیارد ریال	۱۱/۷	۱۱/۳۳۲	۲۴۷/۶۴۸	۱۸/۴۷
فروش سالانه	میلیارد ریال	۱۲۷	۱۴/۵۸۷	۲۲۶/۶۴۰	۴۲/۹۵
هزینه مواد اولیه	میلیارد ریال	۳۸	۱۱/۳۳۲	۲۴۷/۶۴۸	۴۳/۷۹
تعداد نیروی کار تولیدی	تعداد نفر	۲۰	۱/۴۳۵	۱۷/۰۸۳	۳/۶۴
انرژی مصرفی	گیگا ژول	۱۸	۸/۷۰۱	۵۷/۵۲۳	۱۳/۷۱
انتشار CO2	هزار تن	۴۹۶	۵۵/۰۲۴	۶۹۰/۴۵۱	۱۱۶/۲۷

منبع:یافته‌های تحقیق

یافته‌های تحقیق و مقایسه نتایج

در صورت توجه به تبعات زیست‌محیطی آلاینده‌ها، این سوال مطرح می‌شود که آیا بخش یا صنعت مورد بررسی به میزانی که مسبب آلودگی زیست‌محیطی و ایجاد اثرات جانبی بوده‌اند، ارزش افزوده ایجاد می‌کنند؟ یکی از ابزارها و شاخص‌هایی که با محاسبه آن می‌توان به پاسخ این سوال دست یافت، کارایی زیست‌محیطی است. کارایی زیست‌محیطی مبین ترکیبی از کارایی‌های اقتصادی و اکولوژیکی است.

در مرحله اول برای محاسبه کارایی فنی با استفاده از مدل DEA با ورود داده‌های تولید (فروش)، سرمایه، انرژی مصرفی، مواد اولیه و نیروی کار، کارایی فنی محاسبه و نتایج در ستون ۱ جداول ۲، ۳، ۴ گزارش شده است. در مرحله بعد با استفاده از مدل StoNED و ورود داده‌های مذکور کارایی فنی برآورد گردید و نتایج در ستون ۲ جداول ۲، ۳، ۴ گزارش شد. مجددا" با ورود داده تولید نامطلوب (انتشارCO2) کارایی زیست‌محیطی برآورد گردید (نتایج ستون ۳ جداول مذکور). با توجه به اینکه بنگاه‌های مورد بررسی در سه گروه اصلی مختلف فعالیت داشتند نتایج بدست آمده از مدل در جداول مجزا گزارش شده و متوسط کارایی فنی و زیست‌محیطی برای هر گروه بطور جداگانه محاسبه شده است. در بین ۳۱ بنگاه مورد بررسی تنها یکی از بنگاه‌ها کارایی زیست‌محیطی بالاتر از کارایی فنی داشته این مورد مربوط به واحدی از گروه صنایع فلزی است که طول عمر کمتری نسبت به سایر بنگاه‌ها در این گروه دارد. اگر کارایی زیست‌محیطی واحدی برابر یک باشد بنگاه نمی‌تواند محصول خوب را افزایش داده و در عین حال محصول نامطلوب یا نهاده را کاهش دهد به این دلیل از لحاظ زیست‌محیطی کاملا" کاراست به عبارت دیگر مقررات زیست‌محیطی روی تکنولوژی تولیدش تاثیرگذار نخواهد بود یا اینکه در مقایسه با سایر بنگاه‌ها از بالاترین تکنولوژی بهره‌مند است.

مطالعات نشان داده در روشStoNED ممکن است نمرات کارایی بیشتر از ۱۰۰ باشند (با توجه به نویز کم در Yi) با استفاده از اصطلاحات مندرج در ادبیات موضوع این نوع محاسبه کارایی ، کارایی فوق‌العاده را برای ما ممکن می‌سازد(۱۲). خروجی مدل StoNED برای داده‌های مورد بررسی در این مطالعه، برای پنج بنگاه عدد کارایی بالای ۱۰۰٪ را نشان داد که در جداول۲ ،۳و۴ عدد کارایی ۱۰۰ گزارش شده و با علامت ** مشخص شده است. اما در محاسبه میانگین کارایی همان عدد اصلی مبنای محاسبه بوده است.

جدول۳- کارایی فنی/زیست‌محیطی بنگاه‌های گروه صنایع فلزی

Table 3. Technical Efficiency/Eco Efficiency of Metal Industry Group Enterprises

بنگاه‌ها	کارایی فنی		کارایی زیست‌محیطی	بنگاه‌ها	کارایی فنی		کارایی زیست‌محیطی
	DEA	StoNED			DEA	StoNED	
*DMU_1	۸۵/۵	۵۳/۱	۴۹/۸	DMU_8	۷۶/۶	۶۳/۹	۵۰/۵
DMU_2	۱۰۰	۶۳/۷	۳۶/۹	DMU_9	۸۳/۳	۶۰/۶	۴۸/۹
DMU_3	۸۸/۳	۵۹	۴۸/۲	DMU_{10}	۷۲/۸	**۱۰۰	۵۵/۵
DMU_4	۸۱/۲	۵۱/۴	۴۶/۹	DMU_{11}	۳۹/۶	۷۲/۶	۴۹/۱
DMU_5	۷۱/۲	۴۴/۶	۴۶/۱	DMU_{12}	۷۲/۵	۶۴/۷	۲۱/۹
DMU_6	۵۶/۵	۶۴/۷	*۱۰۰	DMU_{13}	۸۸	۵۵/۹	۴۸/۸
DMU_7	۴۹/۷	۶۳	۴۶/۴	DMU_{14}	۲۹/۳	۲۶/۷	۴۹/۱

منبع:یافته‌های تحقیق

* Decision Making Unit

** امکان محاسبه کارایی بیش از ۱۰۰ در روشStoNED درصورتی که نویز Yiها کم باشد، وجود دارد که در این صورت، عدد کارایی ۱۰۰ گزارش می‌شود.

جدول۴- مقایسه کارایی فنی و زیست‌محیطی محاسبه شده در بنگاه‌های گروه صنایع فلزی

Table 4. Comparison of Technical Efficiency &Eco Efficiency Calculated in Metal Industry Group Enterprises

کارایی فنی/زیست‌محیطی	فنی		زیست‌محیطی
	DEA	StoNED	StoNED
میانگین کارایی فنی/ زیست‌محیطی گروه صنایع فلزی	۷۱	۸۱/۲۳	۵۵/۶۱
بیشترین کارایی فنی/زیست‌محیطی درگروه صنایع فلزی	۱۰۰	۱۰۰	۶۴/۷
کمترین کارایی فنی/زیست‌محیطی در گروه صنایع فلزی	۲۹/۳	۲۶/۷	۲۱/۹

منبع:یافته‌های تحقیق

جدول۵- کارایی فنی/زیست‌محیطی بنگاه‌های گروه صنایع غیرفلزی

Table 5. Technical Efficiency/Eco Efficiency of Non-Metallic Industry Group Enterprises

بنگاه‌ها	کارایی فنی		کارایی زیست‌محیطی	بنگاه‌ها	کارایی فنی		کارایی زیست‌محیطی
	DEA	StoNED			DEA	StoNED	
DMU_{15}	۳۳/۶	۵۲/۵	۴۹/۱	DMU_{19}	۳۳/۱	۱۰۰	۴۹/۱
DMU_{16}	۸۸/۹	۵۶	۴۷/۸	DMU_{20}	۸۴/۶	۶۴/۷	۴۸/۵
DMU_{17}	۵۷/۱	۶۱/۷	۴۸/۹	DMU_{21}	۸۵/۳	*۱۰۰	۵۱/۴
DMU_{18}	۱۰۰	۵۰/۱	۴۶/۷				

منبع:یافته‌های تحقیق

جدول۶- مقایسه کارایی فنی و زیست‌محیطی محاسبه شده در بنگاه‌های گروه صنایع فلزی

Table 6. Comparison of Technical Efficiency &Eco Efficiency Calculated in Non-Metallic Industry Group Enterprises

کارایی فنی/زیست‌محیطی	فنی		زیست‌محیطی
	DEA	StoNED	StoNED
میانگین کارایی فنی/زیست‌محیطی گروه صنایع غیرفلزی	۶۸/۹	۸۷/۳۵	۴۸/۷۹
بیشترین کارایی فنی/زیست‌محیطی درگروه صنایع غیرفلزی	۱۰۰	۱۰۰	۵۱/۴
کمترین کارایی فنی/زیست‌محیطی گروه صنایع غیرفلزی	۳۳/۱	۵۰/۱	۴۶/۷

همانگونه که از جداول مشخص است با ورود CO_2 به مدل کارایی محاسبه شده بصورت قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت. بطورکلی متوسط کارایی فنی در صنایع انرژی‌بر منتخب استان اصفهان با بکارگیری روشDEA ، ۶۷/۴ ٪و با استفاده از متد StoNED ، ۷۵٪/۷ و متوسط کارایی زیست‌محیطی ۵۲/۱٪ محاسبه شده است با عنایت به اینکه مطالعات (۱۳) و (۱۸) تایید نموده روش StoNED در مقایسه با DEA جواب‌های نزدیک به واقعیت بیشتری دارد، بنابراین مبنای مقایسه کارایی فنی با کارایی زیست‌محیطی را جواب‌های این مدل درنظر می‌گیریم. بدین ترتیب متوسط کارایی زیست‌محیطی صنایع انرژی‌بر استان اصفهان ۲۳/۶٪ پایین‌تر از میانگین کارایی فنی است. در میان سه گروه مورد بررسی، صنایع غیرفلزی مثل کارخانه‌های تولید سیمان و آجر نسوز متوسط کارایی فنی بالاتری داشته درحالیکه متوسط کارایی زیست‌محیطی این گروه پایین‌تر از دو گروه دیگر است. این موضوع با توجه به اینکه صنایع غیرفلزی از جمله آلاینده‌ترین صنایع کشور در انتشار CO_2 هستند.کارایی پایین‌تر زیست‌محیطی آنها دور از انتظار نیست و در این مطالعه نیز تایید می‌شود.

جدول۷- کارایی فنی/زیست‌محیطی بنگاه‌های گروه صنایع شیمیایی و پتروشیمی استان اصفهان

Table 7. Technical Efficiency/Eco Efficiency Group Enterprises Chemical and Petrochemical Industries in Isfahan

بنگاه‌ها	کارایی فنی		کارایی زیست‌محیطی	بنگاه‌ها	کارایی فنی		کارایی زیست‌محیطی
	DEA	StoNED			DEA	StoNED	
DMU۲۲	۶۶/۱	۶۴/۷	۴۶/۵	DMU۲۷	۱۰۰	۶۹/۷	۴۵/۲
DMU۲۳	۸۲/۶	۶۴/۳	۴۷/۶	DMU۲۸	۷۵/۶	۶۴/۵	۴۹/۱
DMU۲۴	۸۹/۸	۵۳/۳	۳۷/۸	DMU۲۹	۸۷	۶۳	۵۰/۱
DMU۲۵	۸۷/۴	۶۴/۷	۴۹/۱	DMU۳۰	۶۹	۷۷/۶	۵۵/۲
DMU۲۶	۷۶/۴	۶۴/۵	۶۶/۳	DMU۳۱	۲۱/۵	۳۹/۶	۴۸/۵

منبع:یافته‌های تحقیق

جدول۸- مقایسه کارایی فنی و زیست‌محیطی محاسبه شده در بنگاه‌های گروه صنایع شیمیایی و پتروشیمی استان اصفهان

Table 8. Comparison Technical Efficiency & Eco Efficiency Calculated in Group Enterprises Chemical and Petrochemical Industries in Isfahan

کارایی فنی/زیست‌محیطی	فنی		زیست‌محیطی
	DEA	StoNED	StoNED
میانگین کارایی فنی/زیست‌محیطی در گروه صنایع شیمیایی و پتروشیمی	۶۱/۵	۵۵/۹	۴۹/۵۴
بیشترین کارایی فنی/زیست‌محیطی در گروه صنایع صنایع شیمیایی و پتروشیمی	۱۰۰	۷۷/۶	۶۶/۳
کمترین کارایی فنی/زیست‌محیطی در گروه صنایع شیمیایی و پتروشیمی	۲۱/۵	۳۹/۶	۳۷/۸

صنایع فلزی، متوسط کارایی زیست‌محیطی ۵۵،۶۱ ٪ داشته و متوسط کارایی زیست‌محیطی صنایع شیمیایی و پتروشیمی ۵۴٪/۴۵ محاسبه شده است نتایج بدست آمده برای این دو گروه نیز دور از واقعیت نیست این دو گروه از صنایع کشور از نظر مصرف انرژی پرمصرف و از منظر انتشار گاز گلخانه‌ای CO_2 از جمله بزرگترین انتشار دهنده‌ها در بخش صنعت کشور هستند.

بحث و نتیجه‌گیری

متوسط کارایی زیست‌محیطی در صنایع انرژی‌بر منتخب استان اصفهان ۵۲/۱٪ بوده است. براین اساس می‌توان استدلال کرد که با فناوری‌های موجود امکان کاهش ۴۷/۹ درصدی در مصرف نهاده‌ها وجود دارد یا برای تولید همان میزان محصول امکان صرفه جویی تا ۴۷/۹درصد در مصرف نهاده‌ها فراهم خواهد بود. اگر کارایی زیست‌محیطی برابر یک باشد واحدهای تولیدی نمی‌توانند محصول خوب را افزایش داده و در عین حال محصول نامطلوب یا نهاده را کاهش دهند به این دلیل از لحاظ زیست‌محیطی کاملا" کارا هستند به عبارت دیگر مقررات زیست‌محیطی روی تکنولوژی تولید تاثیرگذار نخواهد بود و کمتر از یک بودن کارایی زیست‌محیطی واحدهای تولیدی بیانگر وجود هزینه‌های فرصت برای تبدیل فوق می‌باشد این هزینه فرصت یا بصورت درصدی از محصول خوب که باید از دست داد تعریف می‌شود یا به اینصورت که چه میزان نهاده برای حذف نمودن محصول نامطلوب باید مورد استفاده قرار گیرد تعریف می‌شود که این مقدار برابر با 1-EE[1] خواهد بود (۱۹).

ارزیابی عملکرد با روش DEA بواسطه عدم تفکیک پذیری واحدهای کارا و در نظر نگرفتن رفتار تصادفی درون داده‌های ورودی و خروجی و همچنین عدم لحاظ کردن تفاوت محیط‌های عملیاتی شرکت‌ها در ارزیابی کارایی دقت کافی ندارد برخی از این اشکالات در مدل تحلیل مرز تصادفی(SFA) مانند لحاظ کردن تغییرات تصادفی درون داده‌ها مرتفع شده است. اما با توجه به اینکه این روش نیاز به تعیین فرم تابع تولید دارد که در اکثر مواقع نامشخص است برای رفع اشکالات دو روش و استفاده از مزایای هر دو، رویکرد تحلیل پوششی تصادفی ناپارامتری داده معرفی و بکار گرفته شد. با توجه به میانگین کارایی زیست محیطی محاسبه شده برای صنایع مختلف، پیشنهاد می‌شود برای اثرگذاری بیشتر بر کارایی زیست محیطی (ارتقاء زیست کارایی) استانداردهای زیست‌محیطی متناسب با هر صنعت تدوین گردد. با در نظر گرفتن هزینه جانبی انتشار دی‌اکسید کربن باید بنگاه‌ها قسمتی از این هزینه‌ها را جبران کنند که مالیات بر انتشار دی‌اکسیدکربن و ایجاد بازار مجوزهای انتشار از آن جمله است (روش‌های بازار محور کاهش انتشار). همچنین آگاهی بخشیدن و ایجاد تغییر در نگرش برنامه‌ریزان برای توسعه صنایع انرژی‌بر، متناسب با اثرات زیست‌محیطی فرایندهای تولیدی و نیز درنظر داشتن قیمت واقعی انرژی در توسعه صنایع نه صرفا" مزیت‌های داشتن منابع فسیلی ارزان قیمت، از پیشنهادهای این پژوهش است. برای سایر پژوهشگران علاقمند به این حوزه نیز پیشنهاد

1- Eco Efficiency

می‌گردد کارایی زیست‌محیطی با داده‌های شرکتی و استفاده از روش‌های پارامتریک از جمله SFA و روش‌های ناپارامتریک مانندStoNED محاسبه و نتایج با هم مقایسه شود.

References

1. Emami Meybodi, A., KHoshkalam-kh, M., mahdavi, R., (2013). " Efficiency and productivity from an economic point of view ", Allameh Tabatabai University Publication. (In Persian)
2. Amadhe,H, Rezaei,A (2011). " Environmental efficiency measurement using the efficiency model The universal is the desired and undesired result of the universal inseparable In the electric energy production department of regional electricity companies ", Quarterly Journal of Energy Economics Studies,1,125-154. (In Persian)
3. Seifi ,A, Salimifar M, Fanudi ,H., 2012. Environmental Performance Measurement: A Case Study of Thermal Power Plants in South Khorasan, Razavi and North Khorasan Provinces. Iranian Energy Economics Quarterly.7,17-41. (In Persian)
4. Shahiki Tash, M., Khajeh Hasani, M., Jafari, S., 2015. Assessment of the Environmental Performance in Energy Intensive Industries of Iran by Using Directional Distance Function Approach. Quarterly Journal of Applied Theories of Economics, 1, 99-120. (In Persian)
5. Molaei, M. Hesari, N. Javanbakht, A, 2017 "Estimation of environmental efficiency of input-oriented agricultural products (case study environmental efficiency of rice production) " , Agricultural Economics Journal, 2, 157-172
6. Mao j, Du Y, Xu L, Zeng Y,(2011), " Quantification of energy related industrial eco-effciency of China". Frontiers of Environmental & Science & Engineering in China, vol 5, Issue 4, 585-596.
7. Picazo-Tadeo, A. J., Castillo-Giménez, J., & Beltrán-Esteve, M. (2014). An intertemporal approach to measuring environmental performance with directional distance functions: greenhouse gas emissions in the European Union. Ecological Economics, 100, 173-18.
8. Vlontzos, G, Niavis, S, Manos, B (2014)." A DEA approach for estimating the agricultural energy and environmental efficiency of EU countries",Renewable and Sustainable Energy Reviews 40, 91–96.
9. Guide for calculating and reporting greenhouse gas emissions, .(2017) Oil Ministry
10. Choi, Y and Lee H. S., 2016. Are Emissions Trading Policies Sustainable? A Study of the Petrochemical Industry in Korea. Global E-Governance Program, Inha University. www.mdpi.com/journal/sustainability
11. Motafakker Azad, M., Pourebadollahan Covich, M., Fallahi, F., Ranj Pour, R., Sojoodi, S.,, 2014. Measuring the Technical Efficiency of Iranian Thermal Power Plants and Analysis of its Determinants: Application of Stochastic Nonparametric Data Envelopment Method. *Journal of Economic Research (Tahghighat- E- Eghtesadi)*, 1, 93-113. (In Persian)
12. Kuosmanen, T., & Kortelainen, M., 2012. Stochastic non-smooth envelopment of data: semi-parametric

frontier estimation subject to shape constraints. Journal of Productivity Analysis, 1, 11–28.

13. Kuosmanen, T., & Johnson, A., 2008. Data Envelopment Analysis as Nonparametric Least Squares Regression. SSRN Electronic Journal, 1–30. doi:10.2139/ssrn.1158252
14. Kuosmanen, T. and Johnson,A.L., 2010. Data envelopment analysis as nonparametric least squares regression, Operations Research.1, 149-160.
15. Kuosmanen T., 2016. Stochastic Nonparametric Envelopment of Panel Data: Frontier Estimation with Fixed and Random Effects Approaches. EWEPA X.
16. Baradaran V, yaghoubi N., 2016 . Valuate the Efficiency of Iranian Electric Power Distribution Companies by Stochastic Nonparametric Envelopment of Data (StoNED) Approach. Iranian Electric Industry Journal of Quality and Productivity. 2,15-26 . (In Persian)
17. Mekaroonreung, M., & Johnson,A. L., 2012. Estimating the shadow prices of SO2 and NOx for U.S. coal power plants: A convex nonparametric least squares approach. Energy Economics. 3,723–732.
18. Shephard, R. W. (1970). Theory of Cost and Production Functions. Princeton: Princeton University Press. Retrieved from http://www.jstor.org/stable/2230285
19. Rečka, L., & Ščasný, M., 2012. Emission Shadow Price Estimation Based on Distance Function: a Case of the Czech Energy Industry. In INTERNATIONAL DAYS OF STATISTICS AND ECONOMICS. 1,543–554.
20. Jondrow, J. C., Lovell, A. K., Materoy, I. S., & Schmidt, P., 1982 . On the estimation of technical inefficiency in the stochastic frontier production function model. Journal of Econometrics, 19, 233 – 238.
21. Guide for calculating and reporting greenhouse gas emissions, (2017) .Oil Ministry. (In Persian)
22. Iran's energy balance sheet ., 2010 . Ministry of Energy . Power and Energy Affairs (In Persian with English abstract).
23. Iran's energy balance sheet ., 2016 . Ministry of Energy . Power and Energy Affairs (In Persian with English abstract).
24. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories