فصلنامه نظریه‌های کاربردی اقتصاد/ سال دوم/ شماره ۱/ بهار ۱۳۹۴/ صفحات ۱۲۰-۹۹

محاسبه کارایی زیست‌محیطی در صنایع انرژی‌بر ایران با استفاده از رویکرد تابع فاصله جهت‌دار

محمد نبی شهیکی تاش
دانشیار گروه اقتصاد دانشگاه سیستان و بلوچستان، mohammad_tash@eco.usb.ac.ir
مصطفی خواجه حسنی
کارشناس ارشد اقتصاد کشاورزی دانشگاه سیستان و بلوچستان،
mostafa.kh.r@gmail.com
سعید جعفری*
کارشناس ارشد اقتصاد انرژی دانشگاه شهید با هنر کرمان، saeid904@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۱۰ تاریخ پذیرش ۹۴/۲/۲۷

چکیده

در چند دهه اخیر، آلودگی زیست‌محیطی بخصوص آلودگی هوا به یکی از مهم‌ترین نگرانی‌های مجامع بین‌المللی تبدیل شده و سلامتی موجودات زنده و اکوسیستم‌های طبیعی را تحت تاثیر قرار داده است. آلودگی زیست‌محیطی در ایران نیز طی سال‌های اخیر هزینه‌های جانی و مالی قابل توجهی را تحمیل کرده است. بخش صنعت و بخصوص صنایع انرژی‌بر یکی از مهم‌ترین بخش‌های آلاینده محسوب می‌شود. از این رو محاسبه کارایی زیست‌محیطی در این صنایع از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این مقاله با استفاده از دو رویکرد تابع فاصله جهت‌دار و اندازه‌گیری کارایی مبتنی بر اسلک‌ها (SBM) به ترتیب به بررسی کارایی زیست‌محیطی و فنی در صنایع تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی (کد ۲۶ طبقه‌بندی ISIC) و تولید فلزات اساسی (کد ۲۷ طبقه‌بندی ISIC) پرداخته است. نتایج نشان می‌دهد که صنایع کد ۲۶ علی رغم این که از لحاظ فنی کارتر هستند اما از کارایی زیست‌محیطی کمتری برخوردار بوده و صنایع تولید آجر، صنایع تولید سیمان، آهک و گچ و صنعت تولید آسفالت پایین‌ترین کارایی زیست‌محیطی را دارند.

واژه‌های کلیدی: صنایع انرژی‌بر، کارایی زیست‌محیطی، تابع فاصله جهت‌دار، کارایی فنی.
طبقه بندی JEL: L25، O13، O14، Q51، Q53، Q56

---

* نویسنده مسئول مکاتبات

۱- مقدمه

آلودگی‌های زیست‌محیطی در سال‌های اخیر به یکی از مهم‌ترین نگرانی‌های جهانی تبدیل شده است. تشکیل مجامع و همایش‌های بین‌المللی متعدد در خصوص محیط زیست و تدوین معاهده‌ها و قراردادهای مختلف زیست محیطی میان کشورها نشان دهنده رشد توجه جهانی به معضل آلودگی محیطی و تاکید بر رشد اقتصادی همراه با حفاظت از منابع زیست محیطی یا همان توسعه پایدار است. مسئله آلودگی زیست‌محیطی در ایران نیز به یکی از چالش‌های اساسی پیش روی سیاست‌گذاران، دولت‌مردان و مردم تبدیل شده است. به ویژه این که تعطیلی ادارات و سازمان‌های دولتی به خاطر حجم سنگین آلودگی هوا، هزینه‌های سنگینی را به جامعه تحمیل کرده است. در ایران نیز مانند اغلب کشورهای در حال توسعه، بسیاری از آلاینده‌های مضر، ناشی از احتراق ناقص سوخت‌های فسیلی است. مصرف سوخت‌ها و انرژی‌های ناکارا و آلاینده (همانند سوخت‌های فسیلی) و استفاده ناکارا از انرژی‌ها و منابع، موجب رشد فزاینده انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی در کشور شده است. بر اساس آمار منتشر شده در ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۹، استفاده از سوخت‌های فسیلی نظیر گازوئیل، نفت کوره و بنزین بیشترین میزان آلودگی را ایجاد می‌کنند. با این وجود استفاده از انرژی‌های سالم و کارا از جمله انرژی خورشیدی، باد و امواج دریا نیز نیازمند تجهیزات بوده و بسیار هزینه‌بر است. از این رو در کوتاه‌مدت کنترل آلودگی و سیاست‌های افزایش کارایی سوخت‌های فسیلی یک راه حل منطقی برای کاهش آلودگی است.

یکی از مهم‌ترین زمینه‌های آلودگی زیست‌محیطی، آلودگی هوا است که در این راستا شناسایی آلاینده‌ها از اهمیت بسیاری برخوردار است. چرا که این آلاینده‌ها تهدیدی جدی برای سلامتی انسان و سایر موجودات زنده در اکوسیستم‌های طبیعی است. یکی از مهم‌ترین بخش‌های کشور در زمینه انتشار آلودگی هوا، بخش صنعت است. بر اساس آمار منتشر شده در ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۹، بخش‌های حمل و نقل، نیروگاهی و صنعت با بیش از ۸۵ درصد، بیشترین سهم را در انتشار دی اکسید گوگرد (SO_2) و اکسیدهای ازت (NO_x) داشته‌اند. بخش صنعت در سال ۱۳۸۹ با تولید ۹/۳ درصد از کل انتشار NO_x، ۱۶/۶ درصد CO_2، ۲۲/۲ درصد SO_2 و ۳۲/۳ درصد SO_3، از مهم‌ترین بخش‌های آلاینده بوده است. با نگاهی به این آمار و ارقام این سوال ایجاد می‌شود که آیا بخش صنعت به میزانی که مسبب آلودگی زیست‌محیطی بوده است، ارزش افزوده ایجاد کرده است؟ یکی

از ابزارها و شاخص‌هایی که با محاسبه آن می‌توان به پاسخ این سوال دست یافت، کارایی محیطی[۱] است. عبارت کارایی زیست‌محیطی که به عنوان کارایی اکولوژیکی نیز شناخته می‌شود، مبین ترکیبی از کارایی‌های اقتصادی و اکولوژیکی است. به عبارت دیگر، کارایی زیست‌محیطی به معنی تولید کالاها و خدمات بیشتر به ازای مصرف انرژی و مواد طبیعی معین است. فعالیت‌های اقتصادی با کارایی زیست‌محیطی بالا، ضایعات و آلودگی آب و هوای کمتری را منتشر می‌کنند و بر این اساس به حداکثر سازی رشد اقتصادی با حداقل ضایعات زیست‌محیطی کمک می‌کنند. در واقع کارایی زیست‌محیطی بر روی استفاده کارا از منابع و ایجاد آلودگی کمتر تمرکز دارد. به عبارت دیگر کارایی زیست‌محیطی بیان کلی مفهوم کارایی منابع (حداقل کردن منابع برای تولید یک واحد ستاده) است. در واقع هدف اصلی کارایی زیست‌محیطی، توسعه پایدار است.

بر اساس اطلاعات آماری صنایع تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی (کد ۲۶ طبقه‌بندی ISIC) و تولید فلزات اساسی (کد ۲۷ طبقه‌بندی ISIC)، انرژی‌برترین بخش‌های صنعتی کشور محسوب شده و آلایندگی بالایی نیز داشته‌اند. در این مقاله با استفاده از رویکردهای تابع فاصله جهت‌دار[۲] و اندازه‌گیری کارایی مبتنی بر اسلک‌ها[۳] (SBM) به ترتیب کارایی زیست‌محیطی و فنی[۴] در این دو گروه از صنایع محاسبه می‌شود. برای این منظور در بخش دوم این مطالعه به بیان ادبیات موضوع پرداخته خواهد شد. بخش سوم به تشریح روش تحقیق و داده‌های تحقیق اختصاص دارد. در بخش چهارم نتایج تحلیل‌ها بیان خواهد شد و در قسمت ششم نتیجه‌گیری ارائه می‌شود.

۲- ادبیات موضوع

در این بخش ابتدا مطالعات تجربی خارجی و سپس مطالعات داخلی در ارتباط با محاسبه کارایی زیست محیطی در صنعت ارائه می‌شود. در یکی از مطالعات اولیه در زمینه محاسبه کارایی زیست‌محیطی، کوان و یان[۵] (۱۹۹۹)، به وسیله تابع فاصله ستاده و با استفاده از دوگان آن، طی دوره زمانی ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۵، کارایی زیست محیطی و هزینه‌های نهایی کاهش آلایندگی نیروگاه‌های برق سوخت سنگین(روغن‌های بازیافتی) و زغال‌سنگ کشور

---

۱ Environmental Efficiency

۲ Directional distance function

۳ Slacks- Based Measure

۴ Technical efficiency

۵ Kwon and Yun

کره جنوبی را تخمین زده و نشان داده‌اند که این نیروگاه‌ها بطور متوسط با کارایی زیست محیطی ۹۳/۴ درصد فعالیت می‌کنند. بنابراین در صورتی که تولیدکنندگان روی مرز امکانات تولید فعالیت نمایند، می‌توانند با ثبات تولید، سطح تولید آلایندگی خود را به میزان ۶/۶ درصد کاهش دهند.

مورتی و همکاران[۱] (۲۰۰۶)، تابع فاصله نهاده را تحت فرض جایگزینی قوی و ضعیف ستاده‌های نامطلوب برای صنعت قند و شکر کشور هند تخمین زده و به وسیله آن قیمت های سایه‌ای انواع آلاینده‌های آب و میزان مالیات مناسب و استاندارد برای کاهش تولید این آلاینده‌ها و همچنین میزان کارایی و بهره‌وری سبز تولید را به وسیله شاخص مالم کوئیست محاسبه نموده‌اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که ۳۰/۵۶ درصد بنگاه‌های تولید کننده با کارایی زیست محیطی کمتر از ۹۰ درصد فعالیت می‌کنند.

مورتی و همکاران[۲] (۲۰۰۷)، به وسیله رویکرد تابع فاصله ستاده جهت‌دار[۳]، کارایی فنی و زیست‌محیطی نیروگاه‌های تولید کننده برق هند را طی سال‌های ۲۰۰۴-۱۹۹۶ مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج این مطالعه حاکی از آن است که به طور میانگین، ناکارآمدی فنی و زیست‌محیطی نیروگاه‌های ایالت آندرا پرداش برابر با ۰/۰۶۱ است و این رقم نشان می‌دهد که این ایالت می‌تواند به طور میانگین همراه با ثبات تولید، حدود ۶ درصد آلایندگی خود را کاهش دهد.

ماندال و مادهسواران[۴] (۲۰۱۰) با استفاده از رویکرد تابع فاصله جهت‌دار به اندازه‌گیری کارایی زیست‌محیطی صنعت سیمان هند پرداخته‌اند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در اغلب ایالت‌های هند، عدم کارایی زیست‌محیطی وجود دارد و صنعت سیمان هند می‌تواند با استفاده از مقررات زیست‌محیطی، با مقدار معینی از نهاده‌ها، علاوه بر افزایش ستاده مطلوب، ستاده نامطلوب خود را کاهش دهد.

ژو و همکاران[۵] (۲۰۱۲) با استفاده از رویکرد تابع فاصله جهت دار غیر شعاعی و داده‌های ۱۰۰ کشور جهان، به مدل‌سازی کارایی زیست‌محیطی انتشار دی اکسید کربن در تولید برق پرداخته‌اند. بر اساس نتایج به دست آمده، کارایی زیست‌محیطی انتشار کربن در

---

[۱] Murty et al

[۲] Murty et al

[۳] Directional Distance Output Function

[۴] Mandal and Madheswaran

[۵] Zhou et al

کشورهای عضو سازمان همکاری‌های اقتصادی و توسعه[۱] (OECD) بیشتر از کشورهای غیر عضو است. پیسازو-تادئو و همکاران[۲] (۲۰۱۴) با استفاده از رویکرد تابع فاصله جهت دار، به ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی ۲۸ کشور اتحادیه اروپا طی سال‌های ۲۰۱۱-۱۹۹۰ پرداخته‌اند. بر اساس نتایج به دست آمده، کارایی زیست محیطی با تغییرات فنی زیست محیطی[۳] (ارتقای نوآوری‌های زیست‌محیطی) بالا می‌رود نه با کارایی اقتصادی[۴](توانایی تولید کالاها و خدمات بیشتر با اثرات محیطی کمتر و مصرف کمتر منابع طبیعی).

از میان مطالعات داخلی دریجانی و همکاران (۱۳۸۴) در مطالعه خود با استفاده از تابع فاصله نرمال شده به برآورد کارایی زیست‌محیطی کشتارگاه‌های استان تهران در سال ۱۳۸۲ پرداخته‌اند. نتایج این مطالعه نشان داده است که اکثر کشتارگاه‌ها به لحاظ زیست-محیطی کارا نیستند و متوسط کارایی زیست‌محیطی و بکارگیری منابع به ترتیب ۵۷/۷۴ و ۵۲/۷۵ درصد بوده و ارتقای عملکرد زیست‌محیطی با فناوری‌های موجود امکان‌پذیر است. آماده و رضایی (۱۳۹۰) در مطالعه خود به اندازه‌گیری کارایی زیست‌محیطی با استفاده از مدل کارایی سراسری ستاده مطلوب و نامطلوب تفکیک ناپذیر سراسری در بخش تولید شرکت‌های برق منطقه‌ای طی دوره زمانی ۱۳۸۸-۱۳۸۳ پرداخته‌اند. نتایج حاصل از این مطالعه حاکی از آن است که در بین شرکت‌های برق منطقه‌ای، شرکت برق منطقه‌ای آذربایجان و خراسان، هم از نظر کارایی فنی و هم از نظر کارایی زیست‌محیطی عملکرد ضعیفی دارند. همچنین شرکت برق منطقه‌ای خوزستان برخلاف کارایی فنی بالا، از کارایی زیست‌محیطی اندکی برخوردار است. رضایی و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهش خود به وسیله رویکرد تابع فاصله ستاده جهت‌دار به مطالعه و تحلیل بهره‌وری و کارایی زیست‌محیطی کشورهای منتخب واردکننده و صادرکننده منابع انرژی فسیلی طی سال-های ۲۰۰۷-۱۹۹۷ پرداخته و نشان داده‌اند که میانگین کارایی زیست‌محیطی در کشور-های مورد بررسی دارای روندی صعودی است. کشورهای هر دو گروه در دوره زمانی ذکر شده به طور متوسط به اندازه ۰/۷ درصد رشد کارایی زیست‌محیطی را تجربه نموده‌اند.

۳- روش تحقیق

---

[۱] Organisation for Economic Co-operation and Development

[۲] Picazo-Tadeo et al

[۳] Environmental technical change

[۴] Economic efficiency

۳-۱- اندازه‌گیری کارایی فنی به روش SBM

تا قبل از سال ۱۹۷۸ تحقیقات فراوانی برای محاسبه کارایی واحدهای تصمیم گیرنده یک سیستم صورت گرفته بود. عمده این تحقیقات منجر به ایجاد روش‌های پارامتریک گردیدند. این روش‌ها اگرچه در برخی حالات خاص کارساز بودند ولی در حالت کلی دو مشکل زیر، استفاده از آنها در سطح گسترده را غیرممکن می‌ساخت.

الف- روش‌های پارامتریک برای حالت یک یا چند ورودی و یک خروجی مناسب است.

ب- محاسبه پارامترها و تعیین تابع پارامتریک نیاز به تصریح فرم تبعی خاص دارد.

در سال ۱۹۵۷ فارل[۱] روش اندازه‌گیری کارایی را بر مبنای تئوری‌های اقتصادی معرفی و کارایی بخش کشاورزی آمریکا را به روش غیرپارامتریک محاسبه نمود. فارل با استناد بر اصول پنج‌گانه، مجموعه‌ای به نام « مجموعه امکان تولید » ساخت و قسمتی از مرز آن را به عنوان تخمینی از تابع تولید در نظر گرفت. در روش فارل هر واحد تصمیم گیرنده‌ای که روی این مرز قرار گیرد کارا و در غیر این صورت ناکارا تلقی می‌گردد. به دلیل مشکلات علمی در اندازه‌گیری و محدودیت‌هایی که در روش فارل (بازده ثابت نسبت به مقیاس) مطرح بود، این روش کاربرد عملی چندانی نیافت و سال‌ها مسکوت ماند، تا اینکه در سال ۱۹۷۸ چارنز، کوپر، و رودس[۲] (*CCR*) با جامعیت بخشیدن به روش فارل، به گونه‌ای که خصوصیت فرآیند تولید با چند عامل تولید و محصول را در برگیرد، روش تحلیل پوششی داده‌ها[۳] (*DEA*) را معرفی نمودند. در این روش برای تخمین تابع تولید به پیش‌فرض خاصی در مورد شکل تابع نیاز نبوده و کارایی یک بنگاه نسبت به کارایی سایر بنگاه‌ها اندازه‌گیری می‌شود. برای آشنایی با این روش، فرض کنید سیستم تحت ارزیابی شامل n واحد تصمیم گیری[۴] (DMU) باشد که هر DMU_j، m ورودی $X=\left(x_{1j},x_{2j},...,x_{mj}\right)$ را برای تولید s خروجی $Y=\left(y_{1j},y_{2j},...,y_{sj}\right)$ مصرف می‌نماید. ورودی‌ها و خروجی‌های هر *DMU* یا بنگاه، همگی نامنفی و هر *DMU* حداقل یک ورودی مثبت و یک خروجی مثبت دارد. یعنی $Y\neq 0$، $Y\geq 0$ و $X\neq 0$، $X\geq 0$. با در نظر گرفتن این فروض، چارنز و همکاران (۱۹۷۸) برای محاسبه کارایی

---

[۱] Farrel

[۲] Charnes, Cooper and Rhodes

[۳] Data Envelopment Analisis

[۴] Decision Making Units

ســـتاده‌گرا (با قید نهاده‌های معین، میزان تولید حداکثر می‌شـــود) در بنگاه o از الگوی برنامه‌ریزی خطی زیر استفاده نمودند:

$$E = \max \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro}$$

$$s.t.$$

$$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{io} = 1$$

$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \le 0 \qquad (۱)$$

$$u_r, v_i \ge 0$$

$$r = 1, 2, ..., s.$$

$$j = 1, 2, ..., n.$$

$$i = 1, 2, ..., m.$$

در معادله فوق u و v وزن‌های محصـولات و عوامل تولید است. مسئله فوق را می‌توان از طریق دوگـان، که نیاز به قیود کمتری دارد، حل نمود. این مدل که به نام مدل نهاده‌گرا با بازده ثابت به مقیاس شناخته می‌شود، در رابطه (۲) ارائه شده است (کوئلی، ۱۳۸۹).

$$\min \theta$$

$$s.t.$$

$$\theta x_{io} - \sum_{j=1}^{n} x_{ij} \lambda_j \ge 0$$

$$y_{ro} - \sum_{j=1}^{n} y_{rj} \lambda_j \le 0 \qquad (۲)$$

$$\lambda_j \ge 0$$

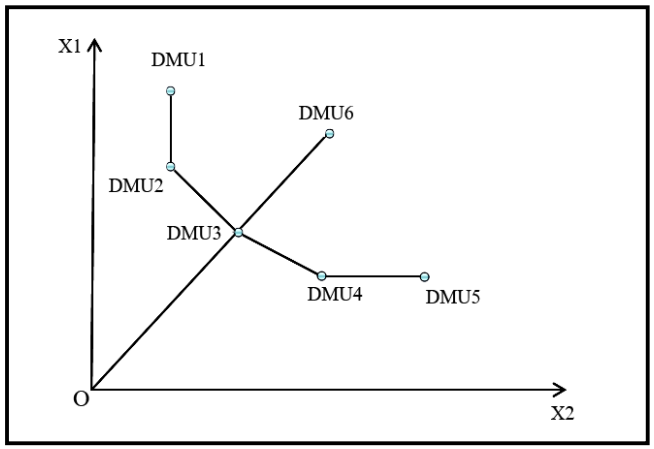
$$r = 1, 2, ..., s.$$

$$j = 1, 2, ..., n.$$

$$i = 1, 2, ..., m.$$

در این مدل θ، کارایی واحد تصـمیم گیرنده o را نسـبت به سـایر واحدها نشـان داده و مقدار آن $\theta \le 1$ اسـت. مقادیر θ برابر با یک نشـان‌دهنده نقطه‌ای روی مرز کارا اسـت و نشـان می‌دهد که بنگاه به صورت کارا عمل می‌کند. مقادیر کمتر از یک نیز نشان‌دهنده نقاط خارج و بالاتر از مرز کارا بوده و نشـــان از فعالیت ناکارآمد بنگاه دارند. λ نیز مقادیر

عـددی غیر منفی بوده کـه وزن‌هـای مجموعـه مرجع را نشـــان می‌دهند. شـــکل (۱) نشـان‌دهنده نحوه سـنجش میزان کارایی مدل نهاده‌گرا به وسـیله سـنجش فاصله است. همان‌طور که مشـاهده می‌شود، واحدهای تصمیم گیری ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ روی مرز کارایی قرار داشـته و دارای شـاخص کارایی برابر با یک هسـتند. ممکن است یک واحد تولیدی مانند DMU5 روی مرز کارا قرار داشـته باشـد، ولی باز هم امکان کاهش نهاده (در اینجا x_2) و یا افزایش سـتاده وجود داشـته باشـد (درحالت ستاده محور). در این صورت بنگاه شـماره ۵ به صورت ضعیف کارا است. بنابراین تشخیص واحد کارا با روش DEA چندان دقیق نیسـت. برای حل این مشـکل و رتبه‌بندی بنگاه‌هایی که دارای کارایی ۱ هسـتند، چارنز و همکاران[۱] (۱۹۸۵) مدل‌های جمعی را معرفی نمودند که در آن محاســبه کارایی در دو مرحله صـورت می‌گیرد. در ابتدا میزان کارایی θ مورد بررسـی قرار گرفته و سپس در واحدهای کارا بر اساس رابطه شماره (۳)، مازاد نهاده[۲] و کمبود ستاده[۳] مورد محاسبه و ارزیابی قرار می‌گیرند. بنابراین واحد تولیدی o به طور قوی کارا اســـت اگر و فقط اگر $\theta^* = 1$ و بـه ازای تمـامی نهـاده‌هـا و ســـتاده‌های آن واحد، میزان مازاد نهاده (s_i^-) و کمبود سـتاده (s_r^+) برابر صفر باشد. همچنین واحد o کارای ضعیف است اگر و فقط اگر $\theta^* = 1$ اما میزان مازاد نهاده و کمبود ستاده غیر صفر موجود باشد (صبوحی، ۱۳۹۱).



شکل(۱): مدل DEA نهاده‌گرا

منبع: امامی میبدی، ۱۳۹۰

[۱] Charnes et al

[۲] Input Surplus

[۳] Output slack

$$\max \sum_{i=1}^{m} s_i^- + \sum_{r=1}^{s} s_r^+$$

$$s.t.$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij}\lambda_j + s_i^- \geq \theta^* x_{io}$$

$$\sum_{j=1}^{n} y_{rj}\lambda_j - s_r^+ \leq y_{ro} \qquad (۳)$$

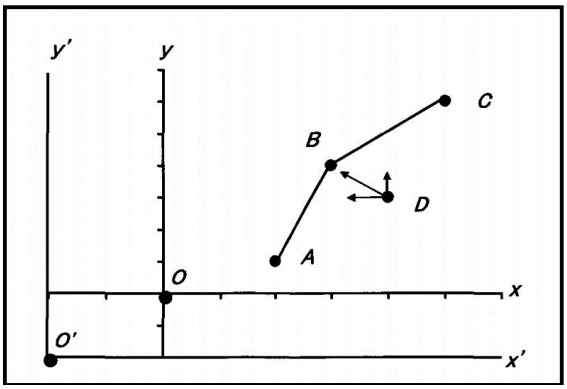
$$\lambda_j \geq 0$$

$$r = 1, 2, ..., s.$$

$$j = 1, 2, ..., n.$$

$$i = 1, 2, ..., m.$$

ایراد بارز مدل‌های فوق این است که مجموع مازاد نهاده‌ها و کمبود ستاده‌ها را به جای حداقل نمودن، حداکثر می‌کنند. بنابراین به جای نزدیک‌ترین نقطه کارا به دورترین نقطه کارا خواهند رسید. برای توضیح این ایراد، در شکل (۲) واحدهای تصمیم گیرنده (بنگاه‌ها) A, B, C, D با یک ورودی و یک خروجی به تصویر کشیده شده‌اند.



شکل (۲): انتقال در مدل جمعی

منبع: کوپر و سیفورد[۱] (۲۰۰۷)

در این شکل پیکان عمودی رو به بالا از نقطه D، با ثابت در نظر گرفتن مقدار نهاده و افزایش مقدار ستاده، نمایش تصویری روش ستاده‌گرا است. همچنین پیکان افقی به سمت

[۱] Cooper and Seiford

چپ از نقطه D، با ثابت در نظر گرفتن مقدار ستاده و کاهش مقدار نهاده، گویای روش نهاده‌گرا برای محاسبه عدم کارایی است. پیکانی که از وسط دو پیکان دیگر و از نقطه D به سمت نقطه B کشیده شده است، نشان دهنده کوتاه‌ترین مسیر تا مرز بهینه تولید است. واضح است که این مدل، مازاد نهاده و کمبود ستاده را بطور هم‌زمان در رسیدن به مرز کارا، در نقطه‌ای که کم‌ترین فاصله تا D دارد، لحاظ می‌کند. این پیکان گویای مدل جمعی SBM است. مشکل اصلی دیگر در روش نهاده‌گرا و ستاده‌گرا این است که با تغییر واحد اندازه‌گیری، جواب‌های متفاوتی بدست خواهد آمد. به عنوان مثال با تغییر واحد از کیلوگرم به تن برای مقادیر مازاد نهاده و کمبود ستاده، دو جواب مختلف خواهیم داشت (امامی میبدی، ۱۳۹۰). برای حل این مشکل نیز از مدل SBM جمعی استفاده می‌شود. مدل SBM، که توسط تون[۱] (۱۹۹۷، ۲۰۰۷) معرفی شده است نوعی مدل ترکیبی برای اندازه‌گیری کارایی پایا به تغییر واحد اندازه‌گیری است و با نام‌های اندازه آزاد[۲]و واحدهای ثابت[۳] نیز شناخته می‌شود. در این مدل دو فرض وجود دارد، فرض واحدهای ثابت: که بر اساس آن مقادیر نهاده (x) و ستاده (y) نسبت به تغییر واحدها ثابت است. و فرض یکنواختی[۴] که مطابق آن مقادیر دارای کاهش یکنواخت برای هر مازاد نهاده‌ها (s_i^-) و کمبود ستاده‌ها (s_r^+) می‌باشد. این مقادیر (اسلک‌ها)، مقادیری هستند که باید برای رسیدن به مرز کارا از اطلاعات آن‌ها استفاده کرد. به منظور اندازه‌گیری کارایی بنگاه‌ها با رویکرد SBM مدل کسری و غیر خطی رابطه (۴) ارایه شده است.

$$Min \rightarrow \rho = \frac{1-\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\frac{s_i^-}{x_{io}}}{1+\frac{1}{s}\sum_{r}^{s}\frac{s_r^+}{y_{ro}}} \qquad (۴)$$

$$s.t.$$

$$x_o = X\lambda + s^-$$

$$y_o = Y\lambda + s^+$$

$$\lambda \geq 0, s^- \geq 0, s^+ \geq 0$$

---

[۱] Tune

[۲] Dimension Free

[۳] Units Invariant

[۴] Monotone

در مدل فوق λ، s^- و s^+ متغیر و $X \geq 0$ است. در صورتی که $x_{io} = 0$ شود، آنگاه ما $\frac{S_i^-}{x_{io}}$ را از تابع هدف خارج خواهیم نمود. در صورتی که $y_{ro} \leq 0$ شود، آنگاه ما آن را با یک عدد مثبت بسیار کوچک جایگزین خواهیم نمود، و در نتیجه $\frac{S_i^+}{y_{ro}}$ در تابع هدف نقش جریمه خواهد داشت. (کوپر و همکاران[۱]، ۲۰۰۷). در این مدل بنگاهی کارا است که مقدار تابع هدف آن برابر با یک ($\rho = 1$) و متغیرهای مازاد و کمبود نهاده‌ها و ستاده‌ها برابر صفر باشد.

۳-۲- اندازه‌گیری کارایی زیست‌محیطی با رویکرد تابع فاصله تولید جهت‌دار

آلودگی زیست محیطی از دید تولیدکنندگان نوعی ستاده نامطلوب است. برای نخستین بار ستاده نامطلوب به وسیله پیت‌من[۲] (۱۹۸۳) مورد توجه قرار گرفت. پس از آن مدل‌ها و مطالعات پیچیده و گسترده‌ای در جهت محاسبه میزان ناکارآمدی تولید ناشی از ستاده نامطلوب و تخمین قیمت سایه‌ای آن توسط اقتصاددانان محیط زیست صورت پذیرفت. یکی از راهکارهای ابتدایی برای محاسبه ناکارآمدی زیست‌محیطی که از نخستین گام‌ها مورد توجه قرار گرفت رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها است. اما برای محاسبه ناکارآمدی با این روش چالش‌های زیادی وجود داشت و دلیل آن به نحوه رفتار آلاینده در تابع تولید، مربوط می‌شد. (هاکوس و تزرمس[۳]، ۲۰۱۳). فار[۴] و همکاران (۱۹۸۹) تبادل بین کیفیت زیست‌محیطی و توسعه اقتصادی را به وسیله رویکرد توابع فاصله‌ای ناپارامتریک ترسیم نمودند. چونگ[۵] (۱۹۹۶)، در رساله دکترای خود با عنوان " تابع فاصله جهت‌دار و ستاده نامطلوب " از این تابع برای محاسبه کارایی فنی زیست‌محیطی استفاده نمود. سپس چمبرز و همکاران[۶] (۱۹۹۸)، با الهام گرفتن از تابع فایده در تئوری مصرف‌کننده و تابع کمبود در تئوری تولیدکننده، یک تکنیک محاسبه کارایی فنی جمع‌پذیر[۷] را ارائه دادند. این تکنیک که بعنوان مدل DDOF یا تابع فاصله ستاده جهت‌دار شناخته می‌شود، بر

---

۱ Cooper et al

۲ Pittman

۳ Halkos and Tzeremes

۴ Fare et al

۵ Chung

۶ Chambers et al

۷ Additive

خلاف مدل‌های تحلیل پوششی نهاده‌گرا و یا ستاده‌گرا، برای محاسبه کارایی زیست‌محیطی اجازه می‌دهد که بطور هم‌زمان به مقادیر ستاده مطلوب اضافه و از مقادیر ستاده نامطلوب کاسته شود. برای آشنایی با این روش فرض می‌شود که مجموعه تولید برابر $[P(x)]$ برای نهاده x با دامنه $x \in R_+^N$ است. همچنین نهاده x تولید کننده ستاده نامطلوب[۱] u با برد $u \in R_+^J$ و ستاده مطلوب v با برد $v \in R_+^M$ است. برای محاسبه مقدار کارایی زیست‌محیطی به وسیله تابع فاصله[۲] که در سال ۱۹۷۰ توسط شفارد[۳] معرفی شد، باید فروض زیر را در نظر گرفت (فار و گروسکپف[۴]، ۲۰۰۴):

۱- فرض امکان دست‌یابی ضعیف[۵]:

اگر $(u,v) \in P(x)$: در صورتی که $0 \le \theta \le 1$ آنگاه $(\theta v, \theta u) \in P(x)$

یعنی کاهش ستاده نامطلوب با کاهش ستاده مطلوب همراه بوده و هزینه‌بر است.

۲- بردارهای ستاده مطلوب و نامطلوب در مبدأ به صورت پیوسته هستند و ستاده نامطلوب محصول جانبی ستاده مطلوب در روند تولید است:

اگر $(u,v) \in P(x)$- در صورتی که $u = 0$ آنگاه $v = 0$

۳- شرط امکان دسترسی قوی:

$$v' \le v \Rightarrow (v',u) \in P(x) \ and \ (v,u) \in P(x)$$

با توجه به این رابطه اگر بردار امکان‌پذیری از ستاده در اختیار باشد، هر بردار امکان‌پذیر دیگر که کوچک‌تر از آن است، نیز امکان‌پذیر خواهد بود. به تعبیری دیگر افزایش ستاده مطلوب در این حالت هزینه جانبی در بر نخواهد داشت. بر اساس این فرض این امکان وجود دارد که با افزایش ستاده مطلوب در سطح نهاده‌های معین، در میزان تولید ستاده نامطلوب ثابت بماند.

با توجه به فروض فوق و در صورتی که واحدهای تصمیم گیرنده[۶] $k = 1,2,...,K$ در نظر گرفته شوند،، مجموعه محصول به صورت رابطه (۵) خواهد بود.

---

[۱] Undesirable Outputs
[۲] Distance Function
[۳] Shephard
[۴] Färe and Grosskopf
[۵] Weakly disposable
[۶] Decision making units

$$P(x)=\Big\{(v,u):\sum_{k=1}^{K}\omega_k v_{km}\geq v_m, m=1,2,...,M,$$
$$\sum_{k=1}^{K}\omega_k u_{kj}=u_j, j=1,...,J, \qquad (۵)$$
$$\sum_{k=1}^{K}\omega_k x_{kn}\leq x_n, n=1,...,N,$$
$$\omega_k\geq 0, k=1,...,K\Big\}$$

در این روابط $\omega_k, k=1,...,K$ وزن‌های ستاده مطلوب و نامطلوب و نهاده‌ها است. همان‌طور که رابطه فوق نشان می‌دهد این وزن‌ها گویای مقادیر نامنفی و بازده ثابت نسبت به مقیاس است. همچنین قیدهای نابرابری ستاده‌های مطلوب و برابری ستاده‌های نا-مطلوب در رابطه فوق، به ما در اعمال فروض ذکر شده کمک می‌کنند. برای تحقق فرض پیوستگی در مبدا باید قیود زیر، بر ستاده نامطلوب اعمال شود (فار و همکاران، ۲۰۰۱).

$$\sum_{k=1}^{K} u_{kj},\ j=1,...,J\ ;\ \sum_{j=1}^{J} u_{kj},\ k=1,...,K$$

با توجه به فروض مذکور و تکنولوژی تولید، هدف کاهش ستاده نامطلوب، همراه با افزایش ستاده مطلوب است. بنابراین عدم کارایی زیست‌محیطی برابر فاصله مقدار محصول مطلوب با حداکثر مقدار محصول مطلوبی است که بدون افزایش در ستاده نامطلوب قابل دسترسی است. برای محاسبه این عدم کارایی چونگ و همکاران[۱] (۱۹۹۷)، تابع فاصله ستاده جهت-دار را ارائه نمودند. برای آشنایی با این روش بردار جهت‌دار $g=(g_v,-g_u)$ معرفی شده که در آن g_v و g_v مقادیر ۰ و ۱ را اختیار نموده و نشان دهنده جهت حرکت تا مرز کارای تولید هستند. برای مثال بردار (۱- و۰) نشان دهنده فاصله تا مرز کارا، با ثبات سطح محصول مطلوب و کاهش محصول نامطلوب است. کوتاه‌ترین مسیر زمانی است که g_v و g_v برابر ۱ باشند. با استفاده از این بردار میزان عدم کارایی زیست‌محیطی بنگاه k' به صورت رابطه (۶) است.

$$D(x^{k'},v^{k'},u^{k'};g)=\max\beta \quad s.t.\ (v^{k'}+\beta g_v, u^{k'}-\beta g_u)\in P(x) \qquad (۶)$$

رابطه (۶) به وسیله یک مدل برنامه‌ریزی خطی به صورت رابطه (۷) قابل حل خواهد بود.

---

[۱] Chung et al

$$
\begin{aligned}
&D(x^{k'}, v^{k'}, u^{k'}; g) = \max \beta \\
&s.t. \\
&\sum_{k=1}^{K} \omega_k v_{km} \geq v_{k'm} + \beta g_{vm}, m = 1, ..., M \\
&\sum_{k=1}^{K} \omega_k u_{kj} = u_{k'j} - \beta g_{uj}, j = 1, ..., J \\
&\sum_{k=1}^{K} \omega_k x_{kn} \leq x_{k'n}, n = 1, ..., N \\
&\sum_{k=1}^{K} \omega_k = 1 \\
&\omega_k \geq 0, k = 1, ..., K
\end{aligned}
\qquad (۷)
$$

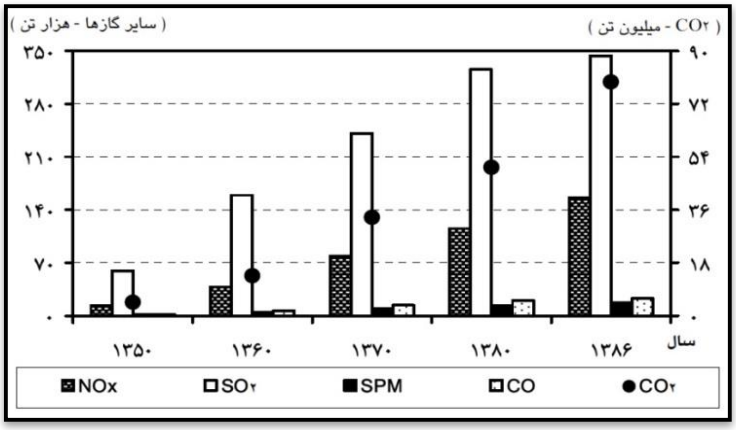
در صورتی که $D(x^{k'}, v^{k'}, u^{k'}; g) = 0$ شود، بنگاه به صورت کارا فعالیت کرده و در غیر این صورت ($D(x^{k'}, v^{k'}, u^{k'}; g) \succ 0$) بنگاه از لحاظ زیست‌محیطی ناکارا عمل می‌کند. کارایی زیست‌محیطی از تابع فاصله ستاده شفارد به دست آمده بود، اما همان‌طور که چونگ و همکاران (۱۹۹۷) عنوان نمودند، تابع فاصله ستاده شفارد یک شکل خاص از تابع فاصله ستاده جهت‌دار است و مقدار عددی استاندارد شده کارایی زیست‌محیطی به صورت رابطه (۸) بدست می‌آید.

$$
D(x, v, u) = \frac{1}{\left(1 + D(x^{k'}, v^{k'}, u^{k'}; g)\right)} \qquad (۸)
$$

۳-۲- داده‌های تحقیق

آلودگی زیست‌محیطی و پدیده تغییر اقلیم و همچنین تجدید ناپذیری حامل‌های انرژی فسیلی، از چالش‌های اصلی استفاده از این منابع کمیاب و ارزشمند به شمار رفته که در اثر توسعه ناپایدار و الگوهای نادرست مصرف انرژی و افزایش جمعیت و غیره به وجود آمده و با شدت بیشتری ادامه داشته و اثرات جانبی منفی بسیاری را به جامعه متحمل ساخته است. همان‌طور که نمودار (۱) نشان می‌دهد، روند تغییرات انتشار آلاینده‌های گلخانه‌ای بخش صنعت در سال‌های اخیر بسیار پر شتاب بوده و این مهم ضرورت برنامه-ریزی مناسب و تقلیل آثار سوء ناشی از مصرف انواع حامل‌های انرژی و توجه به میزان انتشار انواع آلودگی‌ها را در این بخش ضروری می‌سازد. بررسی مقدار انرژی مصرفی کارگاه‌های صنعتی بر اساس نوع فعالیت، به تفکیک کدهای دو رقمی ISIC در سال‌های ۱۳۸۲-۱۳۸۹ نشان می‌دهد که گروه‌های تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی و تولید

فلزات اساسی بیشترین مقدار انرژی را در میان سایر کارگاه‌های صنعتی به خود اختصاص داده‌اند؛ بطوری که در سال ۱۳۸۹ مقدار مصرف انرژی صنایع تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی ۶۰/۵ میلیون بشکه نفت خام و تولید فلزات اساسی ۴۸/۴ میلیون بشکه نفت خام بوده است، و این مقادیر به ترتیب معادل ۲۸/۵ درصد و ۲۲/۸ درصد از کل انرژی مصرفی در بخش صنعت را شامل می‌شوند (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۱). بنابراین ضرورت تولید کارآمد در این دو زیربخش صنعت از لحاظ شاخص‌های فنی و زیست‌محیطی، باید بیش از سایر صنایع مورد توجه قرار گیرد. در این راستا این مطالعه با استفاده از ضرایب موجود در ترازنامه انرژی، ارزش آلاینده‌های منتشره صنایع انرژی‌بر کشور را برآورد کرده و با استفاده از اطلاعات ارزش تولید، مواد اولیه، انرژی، موجودی سرمایه و نیروی کار به بررسی کارایی فنی و زیست‌محیطی، در این صنایع می‌پردازد. برای این منظور از اطلاعات مرکز آمار ایران که در سال ۱۳۸۷ منتشر شده است، استفاده می‌شود. صنایع انرژی‌بر کشور که شامل صنایع تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی (کد ۲۶) و تولید فلزات اساسی (کد ۲۷) هستند، به تفکیک در جداول (۱) و (۲) درج شده‌اند.



نمودار (۱): روند تغییرات انتشار گازهای آلاینده گلخانه‌ای در بخش صنعت کشور

منبع : ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۶ وزارت نیرو

جدول (۱): صنایع زیر گروه کدهای ۲۶، به تفکیک کدهای چهار رقمی *ISIC*

کد ISIC	نام صنعت
۲۶	تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی
۲۶۹۱	تولید کالای سرامیکی غیر نسوز غیر ساختمانی
۲۶۹۲	تولید کالای سرامیکی نسوز-عایق حرارت
۲۶۹۴	تولید سیمان آهک گچ
۲۶۹۵	تولید محصولات ساخته شده از بتن و سیمان و گچ
۲۶۹۶	بریدن و شکل دادن و تکمیل سنگ
۲۶۹۷	تولید آجر
۲۶۹۸	تولید محصولات گلی و سرامیکی غیر نسوز ساختمانی
۲۶۹۹	تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی طبقه بندی نشده (تولید آسفالت)

منبع: نتایج آمارگیری از کارگاه‌های ۱۰ نفر کارکن و بیشتر.

جدول (۲): صنایع زیر گروه کدهای ۲۷، به تفکیک کدهای چهار رقمی *ISIC*

ISIC	نام صنعت
۲۷	تولید فلزات اساسی
۲۷۱۰	تولید محصولات اولیه آهن و فولاد
۲۷۲۱	تولید محصولات اساسی مس
۲۷۲۲	تولید محصولات اساسی آلومینیومی
۲۷۲۳	تولید فلزات گران‌بها و سایر محصولات اساسی بجز آهن، فولاد، مس و آلومینیوم
۲۷۳۱	ریخته گری آهن و فولاد
۲۷۳۲	ریخته گری فلزات غیر آهنی

منبع: نتایج آمارگیری از کارگاه‌های ۱۰ نفر کارکن و بیشتر.

۴- یافته‌های تحقیق

در این بخش قبل از محاسبه کارایی، مقادیر محاسبه شده انتشار آلاینده‌های مختلف و هزینه‌های اجتماعی مربوطه ارائه شده است. برای محاسبه مقادیر انتشار هر کدام از آلاینده‌ها در صنایع مختلف، مقادیر انواع سوخت مصرفی[۱] در هر کدام از صنایع در ضریب آلایندگی[۲] مربوط به آن سوخت ضرب شده و به مقادیر آلایندگی تبدیل شده و سپس

[۱] آلاینده‌ها شامل NO_x، SO_2، CO_2، CO، CH_4، و SMP و سوخت‌ها شامل بنزین، نفت سفید، نفت گاز، نفت کوره، گاز مایع و گاز طبیعی است..

[۲] این ضریب در ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۷ ارئه شده است.

این مقادیر برای سوخت‌های مختلف جمع زده می‌شوند تا مقادیر آلاینده‌های هر صنعت، به تفکیک نوع آلاینده بدست آید. این مقادیر در جدول (۳) ارایه شده است. همان طور که مشاده می‌شود بیشترین آلایندگی CO_2 مربوط به صنایع تولید محصولات اولیه آهن و فولاد و تولید سیمان، آهک و گچ می‌باشد. صنعت سیمان از لحاظ انتشار NO_x، SO_2،SPM و CH_4 نیز در ردیف اول قرار داشته و از آلاینده‌ترین صنایع می‌باشد. پس از بدست آوردن مقادیر انتشار صنایع انرژی‌بر به تفکیک نوع آلاینده، با استفاده از آمار ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۷، مقادیر انواع آلاینده‌ها را برای صنایع مختلف، در میزان هزینه اجتماعی ناشی از هر کدام از انواع آلاینده‌ها[1] ضرب نموده و نهایتا میزان هزینه‌های اجتماعی انواع آلاینده‌ها به صورت جدول (۴) بدست می‌آید.

پس از بررسی وضعیت آلایندگی صنایع کد ۲۶ و ۲۷ بخش صنعت، در این قسمت کارایی فنی و سپس کارایی زیست‌محیطی صنایع کد ۲۶ و ۲۷ بر اساس طبقه‌بندی چهار رقمی ISIC در سال ۱۳۸۷ مورد محاسبه قرار می‌گیرد. برای ارزیابی کارایی فنی، از رویکرد SBM استفاده شده است. نتایج حاصل شده از محاسبه کارایی فنی در جدول (۵) بیان شده است. برای اندازه‌گیری کارایی زیست‌محیطی نیز از رویکرد تابع فاصله تولید جهت‌دار استفاده شده و مقادیر محاسبه شده در جدول (۶) ارائه شده است. همانطور که در جدول (۵) مشاهده می‌شود، تولید کالای سرامیکی نسوز-عایق حرارت، ریخته‌گری آهن و فولاد و ریخته‌گری فلزات کمترین مقدار کارایی فنی را دارا هستند. جدول (۶) نشان می‌دهد که صنعت تولید سیمان، آهک و گچ با مقدار کارایی زیست‌محیطی ۰/۵۲، پس از صنعت تولید آجر با مقدار کارایی زیست‌محیطی ۰/۵۱ پایین‌ترین کارایی زیست‌محیطی را به خود اختصاص داده است. بطور کلی از جداول (۵) و (۶) نتیجه می‌شود که بسیاری از صنایع مانند تولید سیمان، گچ و آهک و تولید آجر که از لحاظ فنی کارا می‌باشند، از لحاظ زیست‌محیطی کارآمد نبوده و این صنعت می‌تواند با همین مقدار نهاده مصرفی و ستاده مطلوب اقدام به کاهش تولید آلاینده‌ها نموده و میزان کارایی زیست‌محیطی خود را ارتقاء بخشند. برخی صنایع نیز مانند تولید کالای سرامیکی نسوز-عایق حرارت، تولید محصولات گلی و سرامیکی غیر نسوز ساختمانی و ریخته‌گری آهن و فولاد به طور همزمان از کارایی فنی و زیست‌محیطی پایینی برخوردارندکه این صنایع با ثبات نهاده‌ها می‌توانند از یک سو سطح محصول مطلوب را افزایش و از سوی دیگر سطح محصول نامطلوب را

[1] . آمار مربوط به هزینه اجتماعی انواع آلاینده‌ها از ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۷ استخراج شده است.

کاهش دهند. مقایسه کارایی فنی و زیست‌محیطی در دو کد مورد بررسی نشان می‌دهد که صنایع مربوط به کد ۲۶ اگر چه از لحاظ کارایی فنی بهتر از صنایع کد ۲۷ عمل نموده‌اند لیکن میزان کارایی زیست‌محیطی در آنها بسیار پایین‌تر از صنایع کد ۲۷ است.

جدول (۳): انتشارآلاینده‌های مختلف از صنایع انرژی‌بر سال ۱۳۸۷ (کیلوگرم)

CH_4	CO_2	SPM	CO	SO_2	NO_x	ISIC
۱۰۲۳۸/۷۲	۵۲۳۹۹۰۴۹۴/۶	۸۱۰۹۴/۴۳	۳۶۸۷۰۷/۶	۳۲۰۰۵۹/۳۴	۸۳۶۲۶۱/۴۲	۲۶۹۱
۲۳۰۵/۴	۱۰۲۶۵۹۰۰۸/۹	۲۰۲۹۶/۶۴	۸۴۰۴۷/۷۸	۱۸۹۰۶۲/۱۸	۱۷۸۲۲۲/۳۶	۲۶۹۲
۳۶۶۱۵۵/۳	۱۳۴۲۱۰۴۱۷۸۲	۲۸۸۸۷۳۷/۹۳	۲۰۹۹۱۷۴/۱۸	۸۶۰۴۵۹۰۱/۶	۳۰۱۲۷۴۵۳/۸	۲۶۹۴
۱۱۵۸۱/۴۷	۳۲۷۸۹۳۶۴۵/۴	۱۳۸۴۷۴/۳۹	۱۵۶۶۳۰۳/۰۱	۱۵۳۹۰۷۵/۳۵	۶۲۶۲۱۳/۲۶	۲۶۹۵
۳۱۳۴/۶۶	۱۰۵۰۰۵۵۵۲/۵	۲۹۹۶۲/۰۷	۱۴۸۴۶۸۸/۹۹	۲۳۲۵۰۰/۵۳	۱۹۵۶۵۲/۷۶	۲۶۹۶
۱۸۸۳۵۸/۳۲	۵۸۷۹۴۴۳۷۷۴	۱۵۶۳۱۹۱/۵۳	۲۲۳۰۵۷۲/۰۴	۵۳۸۷۹۶۹۴/۸	۱۴۷۸۹۰۸۳/۹	۲۶۹۷
۲۷۴۲۳/۰۲	۱۴۲۸۶۸۵۱۶۸	۱۷۱۳۰۱/۱۸	۱۱۴۹۶۹۰/۳۹	۱۱۲۹۵۱۷/۷۴	۱۹۹۹۹۱۳/۶	۲۶۹۸
۳۴۴۰۳/۴	۹۲۷۴۱۴۰۹۰/۶	۳۷۴۰۳۵/۷	۱۳۲۷۳۱۵/۴	۷۳۵۳۷۹۷/۶۷	۲۰۷۱۵۸۸/۴۹	۲۶۹۹
۲۶۶۸۰۳/۶۵	۱۴۴۴۴۳۸۶۹۹۸	۲۰۳۴۵۰۷/۹۲	۳۵۸۱۸۴۰/۴۵	۳۰۸۷۱۲۳/۲۷	۲۳۰۵۸۶۶۷	۲۷۱۰
۱۹۷۳۸/۰۸	۷۱۶۱۵۵۲۸۳/۹	۱۷۴۰۴۱/۶۲	۶۸۰۷۰۸/۷۵	۳۸۵۳۷۱۲/۰۱	۱۵۱۶۹۰۷/۸۳	۲۷۲۱
۹۱۷۰/۱۹	۴۳۱۴۸۴۶۲۰/۴	۷۹۱۲۱/۵۴	۷۰۲۲۱۲/۲۵	۳۳۵۷۵۷/۴۹	۶۹۲۷۲۷/۹۷	۲۷۲۲
۵۹۱۷/۱۲	۱۶۵۳۳۰۴۳۵/۹	۶۲۰۷۴/۰۸	۴۶۲۵۷۵/۹۴	۱۲۷۴۲۲۸/۷۸	۳۷۶۵۶۴	۲۷۲۳
۵۰۵۴	۱۸۴۵۰۶۷۷۳/۴	۴۷۲۲۷/۳۷	۶۱۱۰۰۳/۱۷	۷۹۲۸۶۹/۷۷	۳۷۲۲۶۷/۱۵	۲۷۳۱
۸۷۰/۵۷	۳۳۸۰۰۴۵۰/۴۱	۸۶۴۴/۸۸	۱۰۱۵۰۰/۴۸	۸۴۰۵۷/۸۶	۶۰۲۵۹/۹۴	۲۷۳۲

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول (۴): هزینه‌های اجتماعی صنایع انرژی‌بر به تفکیک نوع آلاینده (ریال/کیلو)

CH_4	CO_2	SPM	CO	SO_2	NO_x	ISIC
۲۹۴۴۸	۷۱۷۶۵۷۳۸	۴۷۷۵۸۷۸	۹۴۶۸۴۱	۷۹۹۹۹۴۷	۶۸۷۲۰۶۲	۲۶۹۱
۶۶۳۱	۱۴۰۶۰۱۷۸	۱۱۹۵۳۲۶	۲۱۵۸۳۵	۴۷۲۵۶۴۷	۱۴۶۴۵۶۰	۲۶۹۲
۱۰۵۳۱۲۱	۱۸۳۸۱۴۵۸۸۳	۱۷۰۱۲۵۸۶۵	۵۳۹۰۶۷۹	۲۱۵۰۷۳۴۵۲۱	۲۴۷۵۷۵۳۶۵	۲۶۹۴
۳۳۳۱۰	۴۴۹۰۸۳۱۴	۸۱۵۵۱۴۵	۴۰۲۲۲۶۶	۳۸۴۶۹۴۹۶	۵۱۴۵۹۷۰	۲۶۹۵
۹۰۱۶	۱۴۳۸۱۵۶۰	۱۷۶۴۵۵۱	۳۸۱۲۶۸۱	۵۸۱۱۳۹۷	۱۶۰۷۷۹۶	۲۶۹۶
۵۴۱۷۴۹	۸۰۵۲۴۸۶۱۹	۹۲۰۶۰۷۲۶	۵۷۲۸۱۰۹	۱۳۴۶۷۳۳۷۴۷	۱۲۱۵۳۰۷۷۶	۲۶۹۷
۷۸۸۷۳	۱۹۵۶۷۲۷۲۱	۱۰۰۸۸۴۰۶	۲۹۵۲۴۰۵	۲۸۲۳۲۵۲۲	۱۶۴۳۴۴۹۰	۲۶۹۸
۹۸۹۵۰	۱۲۷۰۱۸۶۳۴	۲۲۰۲۸۰۱۰	۳۴۰۸۵۴۶	۱۸۳۸۰۹۶۴۴	۱۷۰۲۳۴۸۶	۲۶۹۹
۷۶۷۳۷۰	۱۹۷۸۳۰۳۲۴۳	۱۱۹۸۱۷۸۶۸	۹۱۹۸۱۶۶	۷۷۱۶۳۲۶۴	۱۸۹۴۸۶۹۰۲	۲۷۱۰
۵۶۷۷۰	۹۸۰۸۴۶۲۸	۱۰۲۴۹۷۹۹	۱۷۴۸۰۶۰	۹۶۳۲۴۳۰۳	۱۲۴۶۵۳۴۲	۲۷۲۱
۲۶۳۷۵	۵۹۰۹۶۱۳۴	۴۶۵۹۶۸۹	۱۸۰۳۲۸۱	۸۳۹۲۳۲۶	۵۶۹۲۵۶۱	۲۷۲۲
۱۷۰۱۹	۲۲۶۴۳۶۵۷	۳۶۵۵۷۱۷	۱۱۸۷۸۹۵	۳۱۸۴۹۶۰۳	۳۰۹۴۴۵۲	۲۷۲۳
۱۴۵۳۶	۲۵۲۷۰۰۴۸	۲۷۸۱۳۵۲	۱۵۶۹۰۵۶	۱۹۸۱۷۹۳۸	۳۰۵۹۱۴۳	۲۷۳۱
۲۵۰۴	۴۶۲۹۳۱۰	۵۰۹۱۲۲	۲۶۰۶۵۳	۲۱۰۱۰۴۳	۴۹۵۱۹۲	۲۷۳۲

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول (۵): مقادیر کارایی فنی صنایع انرژی‌بر کشور

ISIC	نام صنعت	کارایی
۲۶۹۱	تولید کالای سرامیکی غیر نسوز غیر ساختمانی	۱
۲۶۹۲	تولید کالای سرامیکی نسوز-عایق حرارت	۰/۷۱
۲۶۹۴	تولید سیمان، آهک و گچ	۱
۲۶۹۵	تولید محصولات ساخته شده از بتن و سیمان و گچ	۱
۲۶۹۶	بریدن و شکل دادن و تکمیل سنگ	۱
۲۶۹۷	تولید آجر	۱
۲۶۹۸	تولید محصولات گلی و سرامیکی غیر نسوز ساختمانی	۰/۸۸
۲۶۹۹	سایر محصولات کانی غیر فلزی طبقه بندی نشده (تولید آسفالت)	۰/۹۹
میانگین		۰/۹۵
۲۷۱۰	تولید محصولات اولیه آهن و فولاد	۱
۲۷۲۱	تولید محصولات اساسی مس	۱
۲۷۲۲	تولید محصولات اساسی آلومینیومی	۱
۲۷۲۳	تولید فلزات گران‌بها و سایر محصولات اساسی- بجز آهن و فولاد و مس و آلومینیوم	۱
۲۷۳۱	ریخته‌گری آهن و فولاد	۰/۷۵
۲۷۳۲	ریخته‌گری فلزات غیر آهنی	۰/۷۵
میانگین		۰/۹۲

منبع:یافته‌های تحقیق

جدول (۶): مقادیر کارایی زیست‌محیطی صنایع انرژی‌بر کشور

ISIC	نام صنعت	کارایی
۲۶۹۱	تولید کالای سرامیکی غیر نسوز غیر ساختمانی	۰/۵۹
۲۶۹۲	تولید کالای سرامیکی نسوز-عایق حرارت	۰/۷۲
۲۶۹۴	تولید سیمان آهک گچ	۰/۵۲
۲۶۹۵	تولید محصولات ساخته شده از بتن و سیمان و گچ	۰/۸۷
۲۶۹۶	بریدن و شکل دادن و تکمیل سنگ	۰/۸۲
۲۶۹۷	تولید آجر	۰/۵۱
۲۶۹۸	تولید محصولات گلی و سرامیکی غیر نسوز ساختمانی	۰/۶۴
۲۶۹۹	سایر محصولات کانی غیر فلزی طبقه بندی نشده (تولید آسفالت)	۰/۵۷
میانگین		۰/۶۶
۲۷۱۰	تولید محصولات اولیه آهن و فولاد	۰/۷۵
۲۷۲۱	تولید محصولات اساسی مس	۱
۲۷۲۲	تولید محصولات اساسی آلومینیومی	۱
۲۷۲۳	تولید فلزات گران‌بها و سایر محصولات اساسی- بجز آهن و فولاد و مس و آلومینیوم	۰/۸۴
۲۷۳۱	ریخته‌گری آهن و فولاد	۰/۸۷
۲۷۳۲	ریخته‌گری فلزات غیر آهنی	۱
میانگین		۰/۹۱

منبع: یافته‌های تحقیق

۵- نتیجه گیری

این مقاله با استفاده از دو رویکرد تابع فاصله جهت‌دار و SBM به ترتیب به بررسی کارایی زیست‌محیطی و کارایی فنی در صنایع انرژی بر کشور که شامل صنایع تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی (کد ۲۶) و تولید فلزات اساسی (کد ۲۷) هستند، پرداخته است. بر اساس نتایج اغلب این صنایع به‌رغم کارایی فنی، از کارایی زیست‌محیطی پایینی برخوردار می‌باشند. بر همین اساس می‌توان گفت این صنایع با تغییر شیوه تولید می‌توانند بدون کاهش در محصول و یا افزایش نهاده، میزان آلایندگی خود را کم نمایند. با توجه به میزان مصرف بالای انرژی در صنایعی که کارایی زیست‌محیطی کمتری دارند از جمله راهکارهایی که برای کاهش مصرف انرژی و آلاینده‌های زیست‌محیطی در این صنایع پیشنهاد می‌شود، می‌توان به جایگزینی سوخت‌های سبک کم کربنه به جای سوخت‌های سنگین (مثلا گاز طبیعی به جای زغال سنگ)، استفاده از سوخت‌های غیر متداول دارای کربن اندک مانند مواد زاید، سوخت‌های ضایعاتی و زیست توده‌ها (بیومس) و استفاده از تکنولوژی فیلترهای هیبریدی جهت کاهش آلاینده‌ها (به خصوص انتشار گرد و غبار) اشاره نمود. البته پیاده‌سازی تمامی این برنامه‌ها نیازمند تنظیم مقررات زیست‌محیطی برای تولیدکنندگان است. برقراری مالیات بر محصول نامطلوب یکی از متداول‌ترین راه‌ها برای افزایش انگیزه تولیدکنندگان در جهت بکارگیری روش‌ها و فن‌آوری سازگار با محیط-زیست است. بنابراین توصیه می‌شود تا قوانین و مقررات زیست‌محیطی مربوط به تولیدکنندگان این صنایع مورد بازبینی قرار گرفته و با سخت‌گیری بیشتری تنظیم شود تا تولیدکنندگان برای افزایش کارایی زیست‌محیطی خود تلاش نمایند.

فهرست منابع

۱. آماده،، حمید، و رضایی، علی (۱۳۹۰). اندازه‌گیری کارایی زیست‌محیطی با استفاده از مدل کارایی سراسری ستاده مطلوب و نامطلوب تفکیک ناپذیری سراسری در بخش تولید انرژی الکتریکی شرکت‌های برق منطقه‌ای. *مطالعات اقتصاد انرژی*، ۳۰، ۱۵۴-۱۲۵.

۲. امامی میبدی، علی (۱۳۹۰). *کارایی و بهره‌وری از دیدگاه اقتصادی*، انتشارات دانشگاه علامه طباطبایی، تهران.

۳. دریجانی، علی، شرزه‌ای، غلامعلی، پیکانی غلامرضا، صدرالاشرافی، سیدمهریار، و یزدانی سعید (۱۳۸۴). برآورد کارایی زیست‌محیطی با استفاده از تحلیل مرز تصادفی (مطالعه موردی کشتارگاه‌های دام استان تهران). *اقتصاد کشاورزی و توسعه*، ۵۱، ۱۴۵-۱۱۳.

۴. رضایی، علی.، آماده، حمید، و محمدی، تیمور (۱۳۹۰). تحلیل بهره‌وری و کارایی زیست-محیطی در کشورهای منتخب وارد کننده و صادر کننده منابع انرژی فصیلی: رویکرد تابع مسافت جهت‌دار. *اقتصاد محیط‌زیست و انرژی*، سال اول، ۲، ۹۳-۱۲۶.

۵. صبوحی، محمود (۱۳۹۱). *کاربرد برنامه ریزی ریاضی در اقتصاد کشاورزی با تاکید بر استفاده از نرم‌افزار اکسل*. انتشارات دانشگاه زابل و نورالعلم، چاپ اول، تهران.

۶. کوئلی تی. جی. (۱۳۸۹). *مقدمه‌ای بر تجزیه و تحلیل کارایی و بهره‌وری*. ترجمه: م. ابراهیمی مهر، تهران: انتشارات مؤسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی.

۷. مرکز آمار ایران (۱۳۹۱). نتایج آمارگیری از مقدار مصرف انرژی در کارگاه های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر سال ۱۳۸۹، انتشارات مرکز آمار ایران.

1. Chambers, R. G., Chung, Y., and Färe, R. (1998). Profit, directional distance functions, and Nerlovian efficiency. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 98(2), 351-364.
2. Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operation Research*, 2, 429-444.
3. Charnes, A., Cooper, W. W., Golany, B., Seiford, L., and Stutz, J. (1985). Foundations of data envelopment analysis for Pareto-Koopmans efficient empirical production functions. *Journal of Econometrics*, 30, 91-107.
4. Chung, Y. (1996). *Directional distance functions and undesirable outputs*. Ph.D. Dissertation, Southern Illinois University at Carbondale.
5. Chung, Y. H., Färe, R., and Grosskopf, S. (1997). Productivity and undesirable outputs: a directional distance function approach. *Journal of Environmental Management*, 51(3), 229-240.
6. Cooper, W. W., and Seiford, L. M. (2007). Data envelopment analysis: A comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software. *Springer*. ISBN 387452818: 490.
7. Färe, R., and Grosskopf, S. (2004). Modeling undesirable factors in efficiency evaluation: comment. *European Journal of Operational Research*, 157, 242-245.
8. Färe, R., Grosskopf, S., and Lee, W-F. (2001). Productivity and technical change: the case of Taiwan. *Applied Economics*, 33(15), 1911-1925.
9. Färe, R, Grosskopf, S., Lovell, C. A. K., and Pasurka C. (1989). Multilateral productivity comparisons when some outputs are undesirable: a nonparametric approach. *The Review of Economics and Statistics*, 71(1), 90-98.
10. Halkos, G. E. and Tzeremes, N. G. (2013). A conditional directional distance function approach for measuring regional environmental efficiency: evidence from UK regions. *European Journal of Operational Research*, 227(1), 182-189.

11. Kwon, Oh Sang, Yun, Won-Cheol and Dong H. An (2005). Market value for thermal energy of cogeneration: using shadow price estimation applied to cogeneration systems in Korea. *Energy Policy*, 33(14), 1789-1795.
12. Mandal, Kumar S., & Madheswaran, S. (2010). Environmental efficiency of the Indian cement industry: an interstate analysis. *Energy Policy*, *38*(2), 1108-1118.
13. Murty, MN., Kumar, S., & Dhavala, K. (2007). Measuring environmental efficiency of industry: a case study of thermal power generation in India. *Environmental and Resource Economics*, 38(1), 31-50.
14. Murty, MN, Kumar S,, and Paul, M. (2006). Environmental regulation, productive efficiency and cost of pollution abatement: a case study of sugar industry in India. *Journal of Environmental Management*, 79(1), 1-9.
15. 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.
16. Pittman, R. (1983). Multilateral productivity comparisons with undesirable outputs. *The Economic Journal*, 93, 883-891.
17. Tone, K. (1997). Several algorithms to determine multipliers for use in cone-ratio envelopment approaches to efficiency evaluations in DEA. computational approaches to economic problems, *Springer*, 91-109.
18. Zhou, P., Ang, B., & Wang, H. (2012). Energy and CO2 emission performance in electricity generation: a non-radial directional distance function approach. European Journal of Operational Research, 221(3), 625-635.