

ارزیابی کارایی زیست‌محیطی صنایع انرژی بر: مدل غیرشعاعی برد تنظیم شده

پونه افتخاریان

دانشجو دکترا اقتصاد واحد بین‌الملل دانشگاه فردوسی مشهد

p.eftekharian@yahoo.com

مسعود همایونی فر

دانشیار گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد، دانشگاه فردوسی مشهد (نویسنده مسئول)

homayounifar@um.ac.ir

مهین دخت کاظمی

استادیار گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد، دانشگاه فردوسی مشهد

md-kazemi@um.ac.ir

محمود صبوچی صابونی

استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

sabouhi@um.ac.ir

انرژی از یک طرف به منزله عامل محرک توسعه اقتصادی، اجتماعی تلقی می‌شود و از سوی دیگر موجب تولید آلاینده‌ها می‌گردد. طی سه دهه اخیر احتراق سوخت‌های فسیلی بزرگ‌ترین عامل تولید انتشار گازهای گلخانه‌ای بوده است. در این میان، کشور ایران نیز از این قاعده مستثنی نبوده و آمار و ارقام بیانگر سیر صعودی مصرف انرژی در سال‌های اخیر و متعاقب آن میزان انتشار گازهای آلاینده می‌باشد. یکی از بخش‌های عمده مصرف کننده انرژی در ایران، صنایع انرژی بر است. لذا با توجه به میزان مصرف انرژی در بخش صنعت و انتشار آلاینده‌ها کارایی زیست‌محیطی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بر اساس اطلاعات آماری صنایع تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی (کد ۲۶ طبقه بندی ISIC)، تولید فلزات اساسی (کد ۲۷ طبقه بندی ISIC) و تولید محصولات شیمیایی (کد ۲۴ طبقه بندی ISIC) از انرژی برترین بخش‌های صنعتی کشور محسوب می‌شوند، لذا این مطالعه به بررسی کارایی زیست‌محیطی در این گروه از صنایع طی سال‌های ۹۲-۱۳۸۷ با استفاده از مدل غیرشعاعی برد تنظیم شده که از مدل‌های مبتنی بر اسلک‌ها از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها است و همچنین به تفکیک عوامل ناکارایی حاصل از ستانده مطلوب و نامطلوب می‌پردازد. نتایج نشان می‌دهد که صنایع تولید سیمان و آهک و گچ، آجر، سایر محصولات گلی و سرامیکی غیر نسوز ساختمانی و سایر محصولات کانی غیر فلزی طبقه‌بندی نشده از پایین‌ترین سطح کارایی برخوردارند. همچنین بیشترین میزان پتانسیل کاهش انتشار CO₂ به ترتیب در صنایع سیمان و آهک و گچ، آجر، مواد شیمیایی اساسی به‌جز کود و ترکیبات ازت کود شیمیایی و ترکیبات ازت و سپس سایر صنایع می‌باشد.

واژگان کلیدی: کارایی زیست‌محیطی، صنایع انرژی بر، مدل برد تنظیم شده، ستانده مطلوب و نامطلوب

۱. مقدمه

انرژی از جمله عواملی است که در اکثر فعالیت‌های اقتصادی مورد استفاده قرار می‌گیرد. امنیت ملی اکثر کشورها تا حدود زیادی در گرو دسترسی مطمئن به انرژی است، از این رو آینده تولید و مصرف حامل‌های انرژی و کاربرد بهینه آنها از اهمیتی خاص برخوردار است. انرژی از یک طرف به منزله عامل محرک توسعه اقتصادی، اجتماعی و بهبود کیفیت زندگی انسان تلقی می‌شود و از سوی دیگر موجب تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی می‌گردد. طی سه دهه اخیر احتراق سوخت‌های فسیلی بزرگ‌ترین عامل تولید کننده و انتشار گازهای گلخانه‌ای بوده است. در این میان، کشور ایران نیز طی این سال‌ها از این قاعده مستثنی نبوده و مطالعات و آمار و ارقام، بیانگر سیر صعودی و فزاینده مصرف انرژی در سال‌های اخیر و متعاقب آن میزان انتشار گازهای آلاینده ناشی از تولید و مصرف انرژی در کشور می‌باشد. آمار و ارقام بیانگر آن است که مقدار انتشار گاز CO₂ از حدود ۴۹۲ میلیون تن در سال ۱۳۸۶ به حدود ۶۰۲ میلیون تن در سال ۱۳۹۳ افزایش یافته است (ترازنامه انرژی، سال ۱۳۹۳).

آنچه که جای تامل است و محققان و کارشناسان اقتصادی را ترغیب به مطالعه بیشتر در این زمینه می‌نماید آن است که با وجود پیامدهای بحرانی ناشی از مصرف انرژی، وجود انرژی عامل اساسی نیل به رشد و توسعه اقتصادی می‌باشد و بنابراین در کشورهای در حال توسعه شدیداً مورد نیاز است.

یکی از مهمترین بخش‌های کشور در زمینه انتشار آلاینده‌ها، بخش صنعت با توجه به مصرف بالای انرژی می‌باشد. بر اساس آمار منتشر شده در ترازنامه انرژی در سال ۱۳۹۳، بخش صنعت با ۱۶/۶۷ درصد سهم انتشار CO₂ یکی از بخش‌های مهم در انتشار دی‌اکسید کربن بوده است. با توجه به آمار و ارقام در خصوص میزان مصرف انرژی در بخش صنعت و انتشار آلاینده‌ها نکته مهم و قابل توجه، بررسی میزان آلودگی زیست‌محیطی در کنار ارزش افزوده

ایجاد شده در بخش صنعت می باشد. از جمله شاخص هایی که می تواند این موضوع را مورد بررسی قرار دهد کارایی زیست محیطی است. در واقع پس از افزایش روزافزون تقاضا برای انرژی و به تبع آن انتشار آلودگی، کارایی فنی که در آن تنها به ستانده مطلوب توجه می شد گسترش یافت و با توجه به مسأله مهم آلودگی، انتشار آلاینده ها نیز به عنوان ستانده نامطلوب وارد مدل گردید و به این ترتیب نوع جدیدی از کارایی به نام کارایی زیست محیطی شکل گرفت. کارایی از بعد زیست محیطی در واقع به دنبال کاهش مصرف انرژی و به تبع آن کاهش انتشار آلاینده ها به عنوان ستانده نامطلوب می باشد.

بر اساس اطلاعات آماری صنایع تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی (کد ۲۶ طبقه بندی ISIC)، تولید فلزات اساسی (کد ۲۷ طبقه بندی ISIC) و تولید محصولات شیمیایی (کد ۲۴ طبقه بندی ISIC) به ترتیب با سهم مصرف انرژی ۳۰، ۲۴ و ۲۰ درصد از انرژی برترین بخش های صنعتی کشور محسوب می شوند و از طرف دیگر از زیربخش های مهم صنعت کشور بوده و از ارزش افزوده بالایی در صنعت برخوردارند. بنابراین با توجه به اهمیت بررسی و ارزیابی کارایی زیست محیطی در صنایع انرژی بر که از بخش های عمده در تولید آلاینده زیانبار CO₂ محسوب می شوند، در این مطالعه به ارزیابی و بررسی کارایی زیست محیطی این گروه از صنایع به تفکیک کدهای چهار رقمی با استفاده از مدل برد تنظیم شده^۱ (RAM) که از مدل های مبتنی بر اسلک ها از مدل های تحلیل پوششی داده ها^۲ (DEA) است طی سال های ۱۳۹۲-۱۳۸۷، پرداخته می شود. ضمن به دست آوردن مقادیر کارایی زیست محیطی برای گروه های صنایع مختلف، با توجه به امکان اندازه گیری ناکارایی حاصل از کمبود ستانده مطلوب و مازاد ستانده نامطلوب (انتشار CO₂) با استفاده از مدل غیرشعاعی RAM، به اندازه گیری پتانسیل بالقوه افزایش ستانده مطلوب و کاهش ستانده نامطلوب هر صنعت نیز پرداخته شده است. به نظر می رسد که لحاظ

-
1. Range Adjusted Measure
 2. Data Envelopment Analysis

نمودن انتشار CO2 به عنوان مقادیر ستانده نامطلوب در کنار ستانده مطلوب و تعیین کارایی زیست‌محیطی طی چندین سال متوالی در سطح صنایع انرژی بر و همچنین تعیین تفکیک عوامل ناکارایی حاصل از ستانده مطلوب و نامطلوب برای اولین بار در داخل کشور صورت می‌گیرد. برای این منظور بعد از مقدمه در بخش دوم و سوم به مبانی نظری و پیشینه تحقیق پرداخته خواهد شد. بخش چهارم به روش تحقیق اختصاص دارد. در بخش پنجم تحلیل نتایج بیان شده است و سرانجام در قسمت ششم نتیجه گیری ارائه می‌شود.

۲. مبانی نظری

کارایی^۱ با چگونگی عملکرد یک واحد اقتصادی در فرآیند تولید سرو کار دارد به عبارتی میانگین چگونگی عملکرد اجزاء فرآیند تولید و ترکیب بهینه آن در جریان رسیدن به حداکثر میزان تولید است. زمانی که صحبت از کارایی یک بنگاه به میان می‌آید معمولاً به معنای موفقیت آن بنگاه در رسیدن به حداکثر ستانده با سطح معینی از نهاده است (فارل^۲، ۱۹۵۷). کارایی در تولید از مباحث بسیار مهم بوده و بر این نکته تاکید دارد که آیا بنگاه توانسته است محصول خود را با استفاده از کمترین مقدار استفاده از نهاده و با کمترین هزینه تولید کند یا خیر. معیارهایی که برای اندازه‌گیری کارایی به کار می‌رود، به دو دسته کلی تحلیل نسبت و تحلیل مرز کارایی تقسیم می‌شوند. بر اساس این معیارها دو روش برای تعیین مرز کارایی معرفی شده است که یکی از این روش‌ها، روش‌های پارامتریک و روش دیگر روش‌های غیرپارامتریک است. در روش پارامتریک تابع تولید مشخصی با استفاده از روش‌های اقتصادسنجی تخمین زده شده و سپس با به کارگیری این تابع نسبت به تعیین کارایی اقدام می‌شود. روش رگرسیون از جمله روش‌های پارامتریک است روش‌های غیرپارامتریک نیازمند تخمین تابع تولید نیست. از جمله روش‌های

1. efficiency
2. Farrell

غیر پارامتریک روش تحلیل پوششی داده هاست (DEA) که کارایی نسبی واحدها را در مقایسه با یکدیگر ارزیابی می کند در این تکنیک به شناخت شکل تابع تولید نیازی نیست و محدودیتی در تعداد ورودی ها و خروجی ها وجود ندارد (مهرگان، ۱۳۹۱).

فارل (۱۹۵۷) برای نخستین بار روش اندازه گیری کارایی بر مبنای تئوری های اقتصادی را معرفی و کارایی بخش کشاورزی امریکا را به روش غیر پارامتریک محاسبه نمود. سپس چارنز، کوپر و رودرز^۱ در سال ۱۹۷۸ با توسعه دیدگاه فارل، مدلی را در اندازه گیری کارایی ارائه کردند که به تحلیل پوششی داده ها معروف گردید. مدل معرفی شده آنها CCR نام گرفت. این مدل، پایه ای برای ابداع مدل های متنوع دیگر مثل BCC، جمعی، و ... شد. برای آشنایی با این روش فرض می کنیم که هدف بررسی کارایی n واحد $j=(1,2,...,n)$ است که نهاده های $x_1, ..., x_m$ را برای تولید ستانده های $y_1, ..., y_s$ مصرف می کند. هر واحد دارای m ورودی و s خروجی می باشد. $i=(1,2,...,m)$ ، $r=(1,2,...,s)$ برای محاسبه کارایی و تعیین وزن های u_r و v_i مدل CCR به صورت ذیل می باشد (مهرگان، ۱۳۹۱):

$$\begin{aligned} \max Z_0 &= \sum_{r=1}^s u_r y_{r0} \\ \text{St: } \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} &= 1 \\ \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} &\leq 0 \\ u_r, v_i &\geq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

مدل فوق را فرم مضربی (اولیه) مدل CCR در ماهیت ورودی محور می نامند. این مدل را می توان از طریق دوگان آن که تعداد محدودیت کمتری داشته و بنابراین حل آن مستلزم حجم عملیات کمتری می باشد نیز حل نمود. بنکر، چارنز و کوپر^۲ (۱۹۸۴) با تغییر در مدل CCR، مدل جدیدی

-
1. Charnes, Cooper & Rhodes
 2. Banker, Charnes & Cooper

را ارائه نمودند که BCC نام گرفت. مدل BCC به ارزیابی کارایی نسبی واحدهایی با بازده متغیر نسبت به مقیاس می‌پردازد. مدل‌های DEA به دو دسته اصلی شعاعی^۱ و غیرشعاعی^۲ تقسیم می‌شوند. مدل‌های CCR و BCC به مدل‌های شعاعی معروف است.

از گذشته پژوهشگران DEA تنها تمایل به استفاده از مدل‌های شعاعی داشته‌اند، زیرا بنیان مدل‌های DEA بر اساس راهبرد شعاعی طرح ریزی شده است. اما استفاده از مدل‌های شعاعی در بسیاری از موارد امکان تورش نتایج را افزایش می‌دهد. از جمله رهیافت‌هایی که برای رفع این مشکل مطرح شده است مدل‌های کارایی غیرشعاعی است. در مدل‌های شعاعی از قبیل CCR حداکثر کاهش (حداکثر افزایش) ممکن برای ورودی‌ها (خروجی‌ها) برای رسیدن به مرز کارایی به ازاء تمام ورودی‌ها (خروجی‌ها) یکسان در نظر گرفته می‌شود. مدل‌های غیرشعاعی مدل‌هایی هستند که به طور غیرمتناسب میزان ورودیهای مثبت را کاهش و یا خروجی‌های مثبت را افزایش می‌دهد (مهرگان، ۱۳۹۱). در واقع در مدل‌های غیرشعاعی بر خلاف مدل‌های شعاعی نهاده‌ها و ستاده‌ها با هم تغییر نمی‌یابند. بنابراین با توجه به شرایط واقعی تولید مدل‌های غیرشعاعی قدرت تشخیص بالاتری دارند (ژو و همکاران^۳، ۲۰۰۸). اولین مدل غیرشعاعی مدل جمعی است که در سال ۱۹۸۵ توسط چارلز و همکاران پیشنهاد شد. این مدل تمام ناکارایی‌های ایجاد شده توسط متغیرهای کمکی را در محاسبه اندازه ناکارایی شرکت می‌دهد. شکل کلی این مدل به صورت ذیل است :

$$\begin{aligned} (ADD) \quad & \max \quad \sum_{i=1}^m S_{i0}^- + \sum_{r=1}^s S_{r0}^+ \\ \text{St:} \quad & \\ x_{i0} = & \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_{i0}^- \quad i = 1, \dots, m \\ y_{r0} = & \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_{r0}^+ \quad r = 1, \dots, s \end{aligned} \quad (2)$$

-
1. Radial
 2. Non Radial
 3. Zhu et al

که در آن:

S_{r0}^+ : متغیر کمکی مربوط به محدودیت x ام خروجی، S_{i0}^- : متغیر کمکی مربوط به محدودیت i ام ورودی، λ_j : نسبتی از ورودیها و خروجیهای تمامی واحدها را که با هم می آمیزند و واحد مجازی می سازند را نشان می دهد.

$$DMU_0 \text{ کارایی ADD است اگر و فقط اگر } S_r^+ = 0 \text{ و } S_i^- = 0$$

اساس مدل های رایج در تعیین کارایی در مدل های تحلیل پوششی داده ها همانند مدل های CCR و BCC بر این فرض استوار است که کاهش عوامل نهاده ها یا افزایش عوامل ستانده ها منجر به بهبود کارایی خواهد شد. اما باید توجه داشت که در عالم واقع در فرایند تولید، ستانده های نامطلوب نیز می تواند وجود داشته باشد. بنابراین واحدهای تصمیم گیرنده همیشه نمی توانند به دنبال حداکثر نمودن ستانده ها باشند. در فرایندهای تولیدی که دو نوع ستانده مطلوب و نامطلوب وجود دارد، ستانده مطلوب می بایستی افزایش و ستانده نامطلوب کاهش یابد. این رویکرد با مدل های عمومی تحلیل پوششی داده ها متفاوت است. برای رفع این مشکل، مدل های تحلیل پوششی داده هایی طراحی گردید که ستانده نامطلوب را نیز در بر می گرفت. نحوه برخورد با ستانده های نامطلوب و مدل سازی آن همواره یک مسأله چالش برانگیز در مسائل کارایی بوده است (سahoo و همکاران^۱، ۲۰۱۱). در ادبیات نظری ستانده نامطلوب به دو صورت کلی در مدل های ارزیابی کارایی وارد مدل می شود: به صورت غیرمستقیم، به صورت مستقیم و استفاده از فرم اصلی ستانده نامطلوب.

در حالت اول و استفاده از ستانده نامطلوب به صورت غیرمستقیم از توابع تبدیل متفاوتی استفاده می شود. ساده ترین روش این است که ستانده نامطلوب به عنوان یک نهاده در نظر گرفته شود (هیل و ویمن^۲، ۲۰۰۱). گرچه در این الگو به هدف مورد نظر یعنی کاهش هرچه بیشتر

1. Sahoo et al

2. Hailu and Veeman

ستانده نامطلوب دست می‌یابیم اما در نظر گرفتن ستانده نامطلوب به عنوان یک نهاد با تئوری تابع تولید نئوکلاسیک سازگار نیست. چون طبق تئوری نئوکلاسیک همه نهادها باید استفاده مولد داشته باشند اما از ستانده نامطلوب، استفاده مطلوبی وجود ندارد. از این رو در ادبیات اقتصادی، ستانده نامطلوب را کمتر به عنوان نهاد در فرایند تولید در نظر گرفته‌اند (ماندال^۱، ۲۰۱۰). روش دیگر هر دو ستانده مطلوب و نامطلوب به منظور بهبود عملکرد افزایش داده می‌شود. بدین جهت به منظور افزایش ستانده مطلوب و کاهش ستانده نامطلوب، ابتدا ستانده‌های نامطلوب را در (۱-) ضرب و سپس از تابع انتقال داده‌ها برای مثبت شدن تمامی مقادیر منفی استفاده می‌شود (سیفورد و ژو^۲، ۲۰۰۲). در روش دیگر از معکوس ستانده نامطلوب برای تبدیل به یک ستانده مطلوب در تعیین کارایی استفاده می‌شود در این حالت ستانده نامطلوب می‌تواند به عنوان یک ستانده مطلوب در نظر گرفته شود (شیل^۳، ۲۰۰۱). در حالت دوم از ستانده نامطلوب به صورت مستقیم در مدل به عنوان یک ستانده استفاده می‌شود. بدین منظور مدل‌های مختلفی بر مبنای الگوی ناپارامتریک DEA طراحی گردید. چمبرز^۴ (۱۹۹۶) برای اولین بار تابع فاصله جهت‌دار را برای لحاظ نمودن ستانده نامطلوب و بررسی اثرات مقررات زیست‌محیطی ارائه داد. تابع فاصله جهت‌دار همزمان ستانده مطلوب را افزایش و ستانده نامطلوب را کاهش می‌دهد. یکی از مشکلات این مدل صفر بودن تمام مازادها (ویژگی شعاعی^۵ بودن) و بیشتر نشان دادن نمرات کارایی است (فوکویاما و وبر^۶، ۲۰۱۰). مشکل دیگر در تعیین بهترین بردار جهت در راستای بیشینه کردن تابع فاصله جهت‌دار است. برای رفع این مشکل چانگ و همکاران^۷ (۱۹۹۷) با جایگزینی یک بردار از نهاده‌های انرژی و ستانده‌های مطلوب و نامطلوب به

-
1. Mandal
 2. Seiford and Zhou
 3. Scheel
 4. Chambers
 5. Radial
 6. Fukuyama and Weber
 7. Chung et al

جای بردارهای جهت مدل دیگری را معرفی نمودند. با توجه به نقص مدل‌های قبلی مبنی بر در نظر نگرفتن متغیرهای کمبود و مازاد (مدل‌های شعاعی) نتایج این مدل‌ها معتبر و قابل استناد نبود. در واقع در مدل‌های DEA اخیر تنها به ارزیابی شعاعی محدود شده و در آنها اثرات متغیرهای کمبود لحاظ نشده است. به همین دلیل تن^۱ (۲۰۰۴) مدل غیرشعاعی^۲ مازاد مبنا^۳ (SBM) خود را که با تکیه بر اسلک‌ها^۴ به تعیین کارایی فنی می‌پرداخت، اصلاح نمود و با وارد کردن ستانده نامطلوب اقدام به تعیین کارایی همراه با ستانده مطلوب نمود. در این نگرش متغیرهای کمکی مستقیماً در تابع هدف وارد می‌شود. ویژگی اصلی مدل SBM با توجه به اندازه‌گیری مقادیر اسلک‌ها، غیرشعاعی بودن آن است که سبب می‌شود نسبت به مدل‌های شعاعی قدرت بیشتری در تعیین کارایی داشته باشد. ایراد این گونه مدل‌ها در مواردی است که بعضی از نهاده‌ها و ستانده‌ها متناسب با هم و بعضی نامتناسب با هم تغییر یابند. مدل‌های SBM حالت مذکور را در نظر نمی‌گیرند (کوپر و همکاران^۵، ۲۰۰۷). سویوشی و گوتو^۶ (۲۰۱۰) با بسط مدل RAM کوپر کارایی را با تفکیک ستانده‌های مطلوب و نامطلوب اندازه‌گیری نمودند. این مدل در واقع بسط مدل جمعی است که در آن از برد متغیرها به عنوان وزن مازادها در تابع هدف استفاده می‌شود یکی از مشکلات مدل آنها عدم تفکیک نهاده‌ها به نهاده‌های انرژی و غیرانرژی می‌باشد. در واقع تفکیک نهاده برای ارزیابی عملکرد بنگاه‌های فعال در حوزه انرژی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. برای حل این موضوع بعد از آن سویوشی و گوتو (۲۰۱۱) مدل RAM را با تفکیک نهاده‌ها به انرژی و غیرانرژی اصلاح نمودند.

-
1. Tone
 2. Non-Radial
 3. Slack based measure
 4. Slackness
 5. Cooper et al
 6. Sueyoshi and Goto

۳. مروری بر مطالعات انجام شده

در این بخش با توجه به مطالعات محدودی که در مورد بررسی کارایی زیست‌محیطی در صنایع انرژی وجود دارد، مطالعات تجربی خارجی و داخلی در ارتباط با چگونگی محاسبه کارایی زیست‌محیطی و باتاکید بر روش‌های شعاعی و غیرشعاعی تحلیل پوششی داده‌ها در بخش‌های مختلف ارائه می‌شود.

ماندال و مدھسوران^۱ (۲۰۱۰) به ارزیابی کارایی زیست‌محیطی صنایع سیمان استان‌های هند در بازه زمانی ۲۰۰۵-۲۰۰۰ و با استفاده از تابع فاصله جهت‌دار پرداختند. آنان سه مدل BCC و تابع فاصله جهت‌دار در دو حالت کارایی قوی و ضعیف را برآورد نمودند. نتایج نشان می‌دهد که در هر استان امکان بهبود کارایی وجود دارد و در صورت وضع قوانین زیست‌محیطی همزمان امکان افزایش ستانده مطلوب و کاهش ستانده نامطلوب در سطح معینی از نهاده‌ها وجود دارد.

سویوشی و گوتی^۲ (۲۰۱۱) به ارزیابی نیروگاه‌های حرارتی ژاپن در سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۰۴ با استفاده از مدل RAM و مقایسه آن با انواع مدل‌های شعاعی پرداختند. بر اساس نتایج به دست آمده تفاوت معناداری بین نمرات کارایی مدل‌های غیرشعاعی با مدل‌های شعاعی وجود دارد.

سویوشی و گوتی^۲ (۲۰۱۲) به ارزیابی ۱۳۶ نیروگاه سوخت ذغال سنگ آمریکا در سال ۲۰۰۷ با استفاده از سه مدل RAM و سه مدل شعاعی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مدل‌های غیرشعاعی نسبت به مدل‌های شعاعی به دلیل واقعی‌تر بودن نتایج از برتری بالاتری برخوردار است.

ژو و همکاران^۳ (۲۰۱۲) با استفاده از رویکرد تابع فاصله جهت‌دار غیرشعاعی و داده‌های ۱۰۰ کشور جهان، به مدل‌سازی کارایی زیست‌محیطی انتشار دی اکسید کربن در تولید برق پرداخته‌اند. براساس نتایج به دست آمده، کارایی زیست‌محیطی در کشورهای عضو سازمان همکاری‌های اقتصادی و توسعه (OECD) بیشتر از کشورهای غیرعضو است.

1. Mandal and Madheswaran

2. Sueyoshi and Goto

3. Zhou et al.

بی و همکاران^۱ (۲۰۱۴) به وسیله مدل مازاد مینا (SBM) به ارزیابی کارایی زیست محیطی نیروگاه‌های حرارتی بین سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۰۹ پرداخته‌اند. بر اساس نتایج به دست آمده تفاوت زیادی در کارایی زیست محیطی وجود دارد و دخالت دولت و سیاست‌گذاری منطقه‌ای برای کاهش ناکارایی را لازم دانستند.

زائوی و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه خود به ارزیابی کارایی صنعت حمل و نقل چین با در نظر گرفتن انتشار دی‌اکسید کربن به عنوان ستانده نامطلوب با استفاده از مدل مازاد مینا (SBM) طی سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۳ پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد که میانگین کارایی زیست محیطی از میزان بسیار پایینی (۰/۴۵) برخوردار بوده است.

اورتوسکا و همکاران^۲ (۲۰۱۶) به بررسی کارایی زیست محیطی صنایع برق ۲۷ کشور اروپایی در سال ۲۰۱۳ با استفاده از مدل شعاعی CCR و ارائه راهکارهایی جهت کارا شدن نهاده‌ها و ستانده‌ها پرداختند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که سه کشور نروژ، ایرلند و رومانی از کارایی بالاتری برخوردار هستند.

آماده و رضایی (۱۳۹۰) در مطالعه خود به اندازه‌گیری کارایی زیست محیطی با استفاده از مدل کارایی ستانده مطلوب و نامطلوب تفکیک ناپذیر سراسری در بخش تولید شرکت‌های برق منطقه‌ای طی دوره ۱۳۸۸-۱۳۸۳ پرداخته‌اند. نتایج مطالعه آنها نشان داد در بین شرکت‌های برق منطقه‌ای، شرکت برق منطقه‌ای آذربایجان و خراسان، هم از نظر کارایی معمولی و هم از نظر کارایی زیست محیطی عملکرد ضعیفی دارند.

رضایی و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه خود به وسیله رویکرد تابع فاصله جهت‌دار به بررسی کارایی زیست محیطی کشورهای منتخب وارد کننده و صادر کننده منابع انرژی فسیلی طی

1. Bi et al.

2. Ewertowska et al.

سال‌های ۲۰۰۷-۱۹۹۷ پرداخته و به این نتیجه رسیده‌اند که میانگین کارایی زیست‌محیطی در کشورهای مورد بررسی دارای روندی صعودی بوده است.

نصرالهی و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از روش شعاعی تحلیل پوششی داده‌ها به اندازه‌گیری کارایی صنایع تولیدی ایران با تأکید بر ستانده‌های نامطلوب طی سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۷۹ پرداختند. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که در تمامی سال‌های مورد بررسی تنها تولید رادیو و تلویزیون و دستگاه‌ها و وسایل ارتباطی کارا بوده است. همچنین در تمام سال‌های برنامه و از میان ۲۱ صنعت مورد بررسی همواره بیش از هفده صنعت ناکارا بوده است.

امامی میبدی و جایدری (۱۳۹۳) به اندازه‌گیری زیست‌کارایی پالایشگاه‌های نفت ایران با استفاده از روش DEA ستانده محورو با در نظر گرفتن خروجی نامطلوب طی دوره ۸۸-۱۳۸۲ پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که پالایشگاه بندرعباس کاراترین پالایشگاه بوده و نرخ رشد زیست‌کارایی پالایشگاه‌ها طی دوره مورد مطالعه مثبت است.

شهیکی تاش و همکاران (۱۳۹۴) به محاسبه کارایی زیست‌محیطی در صنایع انرژی بر ایران با استفاده از مدل شعاعی تابع فاصله جهت‌دار جهت سال ۱۳۸۷ پرداختند نتایج مطالعه آنها نشان داد که صنایع تولید آجر، سیمان و سایر محصولات کانی غیرفلزی طبقه بندی نشده پایین‌ترین کارایی زیست‌محیطی را دارند.

ممی پور و نجف زاده (۱۳۹۵) در مطالعه خود به ارزیابی کارایی زیست‌محیطی شرکت‌های برق منطقه ایران با بهره‌گیری از الگوی ناپارامتریک DEA و مقایسه و معرفی مدل‌های شعاعی و غیرشعاعی طی دوره ۱۳۸۹-۱۳۹۳ پرداختند. ستانده‌ها به دو گروه مطلوب (تولید برق) و نامطلوب (انتشار CO₂) تفکیک شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که در بین شرکت‌های برق منطقه‌ای، شرکت‌های برق کرمان و خوزستان بالاترین کارایی و فارس و سیستان و بلوچستان پایین‌ترین کارایی را دارند.

ممی پور و نجف زاده (۱۳۹۷) با تفکیک ستانده به دو گروه ستانده مطلوب (فروش برق) و نامطلوب (انتشار CO₂) به ارزیابی سه بخشی کارایی زیست‌محیطی صنعت برق ایران با در نظر گرفتن ساختار درونی یا پیوندهای میان بخش‌های مختلف یک سازمان با استفاده از ترکیب مدل غیرشعاعی

SBM و ساختار شبکه سه بخشی با توجه به تشکیل شرکت برق از سه بخش تولید، انتقال و توزیع طی سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۹۳ با پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که بخش تولید بیشتر از دو بخش دیگر بر کارایی کل اثر می‌گذارد و نمرات کارایی را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد.

۴. روش تحقیق

مدل برد تنظیم شده (RAM) درواقع یک نسخه وزنی از مدل جمعی است که اولین بار توسط کوپر و همکاران^۱ (۱۹۹۹) ارائه شد این مدل از دو ویژگی مهم تغییرناپذیری واحد^۲ و تغییرناپذیری تبدیل^۳ برخوردار می‌باشد. تغییرناپذیری واحد به این معنی است که اندازه‌گیری کارایی مستقل از واحدهای نهاده و ستانده‌ها می‌باشد به عبارتی دیگر در صورت تغییر در واحدهای نهاده‌ها و ستانده‌ها تغییری در مقدار کارایی ایجاد نمی‌شود و تغییرناپذیری تبدیل به این معنی است که اندازه‌گیری کارایی، مستقل از تبدیل اختصاص یافته به نهاده‌ها و ستانده‌ها می‌باشد و در واقع استفاده از یک تبدیل مقدار کارایی را تغییر نمی‌دهد. مدل RAM به صورت ذیل ارائه گردید (کوپر و همکاران، ۱۹۹۹):

$$\begin{aligned} \text{Max } & \frac{1}{m+s} \left(\sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{R_i^-} + \sum_{r=1}^s \frac{s_r^+}{R_r^+} \right) \\ \text{St: } & x_{i0} = \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_{i0}^- , \quad i = 1, \dots, m \\ & y_{r0} = \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_{r0}^+ , \quad r = 1, \dots, s \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \end{aligned} \quad (3)$$

1. Cooper et al
2. Unit invariance
3. Translation invariance

R_i^+ و R_i^- به ترتیب دامنه مقادیر مشاهده شده خروجی r و ورودی i در تمام داده‌های مشاهده شده می‌باشد.

$$R_i^- = \bar{x}_i - x_i \quad R_r^+ = \bar{y}_r - y_r$$

و

$$\bar{x}_i = \max_j \{x_{ij}\}, \quad x_i = \min_j \{x_{ij}\} \quad \bar{y}_r = \max_j \{y_{rj}\}, \quad y_r = \min_j \{y_{rj}\}$$

شاخص کارایی به شکل ذیل می‌باشد:

$$0 \leq 1 - \frac{1}{m+s} \left(\sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{R_i^-} + \sum_{r=1}^s \frac{s_r^+}{R_r^+} \right) \leq 1$$

سپس سوییچی و گوتو (۲۰۱۱) با بسط مدل RAM کوپر کارایی را با تفکیک ستانده‌های مطلوب و نامطلوب و همچنین با تفکیک نهاده‌ها به انرژی و غیرانرژی به شکل اندازه‌گیری نمودند:

$$RAM = \max \frac{\sum_{n=1}^N \frac{s_n^{x*}}{R_n^e} + \sum_{i=1}^I \frac{s_i^{e+} + s_i^{e-}}{R_i^e} + \sum_{m=1}^M \frac{s_m^{y*}}{R_m^y} + \sum_{j=1}^J \frac{s_j^{u*}}{R_j^u}}{N+M+I+J}$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{k=1}^k \lambda_k x_{nk} + s_n^x = x_{nl}, & n = 1, 2, \dots, N \\ \sum_{k=1}^k \lambda_k e_{ik} - s_i^{e+} + s_i^{e-} = e_{il}, & i = 1, 2, \dots, I \\ \sum_{k=1}^k \lambda_k y_{mk} - s_m^y = y_{ml}, & m = 1, 2, \dots, M \\ \sum_{k=1}^k \lambda_k u_{jk} + s_j^u = u_{jl}, & j = 1, 2, \dots, J \\ \sum_{k=1}^k \lambda_k = 1 \\ \lambda_k \geq 0 & K = 1, 2, \dots, k \\ s_n^x, s_m^y \geq 0; \quad s_i^{e+}, s_i^{e-} \geq 0 \quad s_i^{e+} \cdot s_i^{e-} = 0 \\ s_j^u \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

نشان دهنده $R_n^x (n=1, 2, \dots, N)$, $R_i^e (i=1, 2, \dots, I)$, $R_m^y (m=1, 2, \dots, M)$, $R_j^u (j=1, 2, \dots, J)$

بردهای متغیرهای تحقیق است. این متغیرها با استفاده از کران‌های بالا و پایین به شکل زیر برآورد می‌شود:

$$R_n^x = (X_{nk})_{\max} - (X_{nk})_{\min} \quad (n = 1, 2, \dots, N)$$

$$R_i^e = (e_{ik})_{\max} - (e_{ik})_{\min} \quad (i = 1, 2, \dots, I)$$

$$R_j^u = (u_{jk})_{\max} - (u_{jk})_{\min}, \quad (j = 1, 2, \dots, J)$$

$$R_m^y = (y_{mk})_{\max} - (y_{mk})_{\min} \quad (m = 1, 2, \dots, M)$$

سپس کارایی زیست محیطی هر واحد تصمیم گیری را می توان به شکل ذیل تعریف نمود:

$$\theta = 1 - \text{RAM}$$

مدل RAM بر متغیرهای کمکی که نشانگر سطح ناکارایی است مبتنی می باشد. بنابراین

مطابق پژوهش کوپر، ناکارایی ستانده مطلوب و نامطلوب را می توان به شکل ذیل تفکیک

نمود (کوپر و همکاران، ۱۹۹۹):

$$NE_y = \frac{1}{1-\theta} \times \frac{\sum_{m=1}^M s_m^y / R_m^y}{(N+M+I+J)} \quad (5)$$

$$NE_u = \frac{1}{1-\theta} \times \frac{\sum_{j=1}^J s_j^u / R_j^u}{(N+M+I+J)} \quad (6)$$

بر مبنای تعریف ناکارایی مبتنی بر متغیر ارائه شده در معادلات فوق، پتانسیل بالقوه افزایش

ستانده و کاهش انتشار دی اکسید کربن هر صنعت به شکل ذیل می باشد:

$$yp_k = (NE_y)_k \times y_k \quad (7)$$

$$up_k = (NE_u)_k \times u_k \quad (8)$$

۵. نتایج و بحث

واحدهای تصمیم گیری در این مطالعه صنایع انرژی بر ایران شامل زیرگروه های مختلف صنایع

تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی (کد ۲۶ طبقه بندی ISIC)، تولید فلزات اساسی (کد ۲۷

طبقه بندی ISIC) و تولید محصولات شیمیایی (کد ۲۴ طبقه بندی ISIC) است که در جدول یک

درج شده اند. نهاده ها به دو گروه غیرانرژی و انرژی تقسیم شده اند. نهاده های غیرانرژی شامل

ارزش سرمایه گذاری با واحد میلیون ریال، نیروی کار با واحد نفر و نهاده های انرژی شامل

سوخت‌های مختلف نفت سفید، گازوئیل، بنزین، نفت کوره، با واحد هزار لیتر، گاز طبیعی و گازمایع به ترتیب با واحد هزار متر مکعب و هزار کیلوگرم هستند. ستانده‌ها نیز شامل ارزش تولید با واحد میلیون ریال به عنوان ستانده مطلوب و انتشار گاز دی اکسید کربن با واحد کیلو گرم به عنوان ستانده نامطلوب می‌باشند. اطلاعات مربوط به داده‌های نهاده‌ها و ستانده‌های صنایع از مرکز آمار ایران و ترازنامه انرژی سال‌های مختلف (۹۲-۱۳۸۷) استخراج شده است. تمامی ارزش‌های مربوط به ستانده مطلوب و سرمایه‌گذاری بر حسب شاخص‌های قیمتی (سال پایه ۱۳۹۰) مربوط به خود تعدیل شده‌اند. برای محاسبه مقدار انتشار CO₂ هر صنعت، با استفاده از آمارهای موجود در ترازنامه انرژی، مقدار انواع سوخت مصرفی هر صنعت در ضریب آلاینده‌گی^۱ مربوط به آن سوخت ضرب شده تا مقدار انتشار آلاینده به دست آید و در نهایت با جمع این مقادیر برای سوخت‌های مختلف مقدار انتشار CO₂ هر صنعت محاسبه خواهد شد.

جدول ۱. صنایع زیرگروه کدهای ۲۶،۲۷ و ۲۴ به تفکیک کدهای چهار رقمی

صنعت	کد ISIC	نام زیرصنعت
صنایع تولید مواد و محصولات شیمیایی (کد ۲۴)	۲۴۱۱	تولید مواد شیمیایی اساسی به‌جز کود و ترکیبات ازت
	۲۴۱۲	تولید کود شیمیایی و ترکیبات ازت
	۲۴۱۳	تولید مواد پلاستیکی به شکل اولیه و ساخت لاستیک مصنوعی
	۲۴۲۱	تولید سموم دفع آفات و سایر فراورده‌های شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی
	۲۴۲۲	تولید انواع رنگ و روغن جلا و پوشش‌های مشابه و بنانه
	۲۴۲۳	تولید دارو و مواد شیمیایی مورد استفاده در پزشکی و محصولات دارویی گیاهی

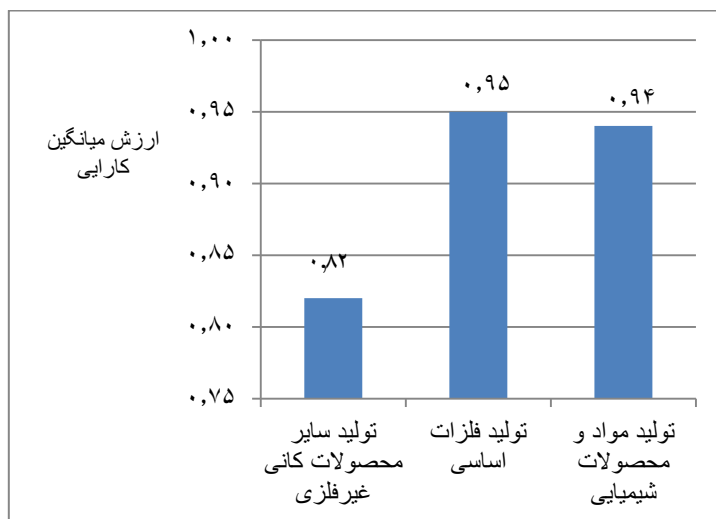
۱. با توجه به این که ضرایب انتشار آلاینده‌های ناشی از مصرف هر سوخت موجود نمی‌باشد این ضرایب مورد محاسبه قرار گرفته است.

صنعت	کد ISIC	نام زیر صنعت
	۲۴۲۴	تولید صابون و مواد پاک کننده و لوازم بهداشت و نظافت و عطرها و لوازم آرایش
	۲۴۲۹	تولید سایر محصولات شیمیایی طبقه بندی نشده در جای دیگر
	۲۴۳۰	تولید الیاف مصنوعی
صنایع تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی (کد ۲۶)	۲۶۱۱	تولید شیشه جام
	۲۶۱۲	تولید محصولات شیشه ای به جز شیشه جام
	۲۶۹۱	تولید کالاهای سرامیکی غیر نسوز غیر ساختمانی
	۲۶۹۲	تولید محصولات سرامیکی نسوز- عایق حرارت
	۲۶۹۴	تولید سیمان و آهک و گچ
	۲۶۹۵	تولید محصولات ساخته شده از بتون و سیمان و گچ
	۲۶۹۶	بریدن و شکل دادن و تکمیل سنگ
	۲۶۹۷	تولید آجر
	۲۶۹۸	تولید سایر محصولات گلی و سرامیکی غیر نسوز ساختمانی
	۲۶۹۹	تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی طبقه بندی نشده در جای دیگر
صنایع تولید فلزات اساسی (کد ۲۷)	۲۷۱۰	تولید محصولات اولیه آهن و فولاد
	۲۷۲۱	تولید محصولات اساسی مسی
	۲۷۲۲	تولید محصولات اساسی آلومینیومی
	۲۷۲۳	تولید فلزات گران بها و سایر محصولات اساسی- به جز آهن، فولاد، مس و آلومینیوم
	۲۷۳۱	ریخته گری آهن و فولاد
	۲۷۳۲	ریخته گری فلزات غیر آهنی

مأخذ: نتایج تحقیق

اندازه‌گیری کارایی زیست‌محیطی صنایع انرژی بر ایران

برای اندازه‌گیری کارایی زیست‌محیطی صنایع انرژی بر ایران از مدل برد تنظیم شده (RAM) استفاده شده است.^۱ میانگین ارزش کارایی سه گروه از صنایع مختلف انرژی بر طی سال‌های ۹۲-۱۳۸۷ در نمودار شماره یک نشان داده شده است. به طور کلی صنایع تولید فلزات اساسی از بالاترین سطح کارایی برخوردار بوده است (۰/۹۵). زیرگروه‌های این کد از صنعت دارای بالاترین ارزش کارایی در میان صنایع مورد بررسی بوده‌اند. بعد از آن، گروه صنایع تولید مواد و محصولات شیمیایی با میانگین ارزش کارایی ۰/۹۴ رتبه دوم را دارا می‌باشد. پایین‌ترین سطح کارایی نیز مربوط به گروه تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی با ارزش ۰/۸۲ می‌باشد. ده صنعت در این گروه وجود دارد که دارای پایین‌ترین سطح کارایی می‌باشند.



نمودار ۱. میانگین ارزش کارایی سه گروه صنایع انرژی بر ایران

۱. برای اندازه‌گیری مقدار کارایی از نرم افزار GAMS استفاده شده است.

نتایج اندازه‌گیری کارایی زیست‌محیطی در ۲۵ زیرگروه از سه صنایع انرژی بر تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی (کد ۲۶)، تولید فلزات اساسی (کد ۲۷) تولید مواد و محصولات شیمیایی (کد ۲۴) طی سال‌های ۹۲-۱۳۸۷ در جدول دو و نموداردو نشان داده شده است. چهار صنعت تولید محصولات اولیه آهن و فولاد، تولید محصولات اساسی مسی، تولید مواد پلاستیکی به شکل اولیه و ساخت لاستیک مصنوعی، تولید سموم دفع آفات و سایر فراورده‌های شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی و سپس صنعت ریخته‌گری فلزات غیر آهنی به طور تقریبی در تمامی سال‌ها از روندی یکسان واز بالاترین میزان کارایی برخوردار بوده‌اند. صنایع تولید سیمان و آهک و گچ، تولید محصولات ساخته شده از بتن و سیمان و گچ، تولید فلزات گران‌بها و سایر محصولات اساسی به‌جز آهن و فولاد و مس و آلومینیوم و صنعت تولید صابون و مواد پاک‌کننده و لوازم بهداشت و نظافت و عطرها از روند نزولی برخوردار بوده‌اند و صنایع بریدن و شکل‌دادن و تکمیل سنگ، ریخته‌گری آهن و فولاد، تولید انواع رنگ و روغن جلا و پوشش‌های مشابه و بتانه و تولید الیاف مصنوعی از روند کاهشی و سپس ثابتی از سال ۱۳۹۰ به بعد برخوردار هستند. صنعت تولید اجر دارای روند صعودی بوده اما از ارزش کارایی پایینی برخوردار است و دو صنعت تولید سایر محصولات گلی و سرامیکی غیر نسوز ساختمانی و تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی طبقه‌بندی نشده در جای دیگر از روند صعودی و سپس ثابتی از سال ۱۳۹۰ برخوردارند. در بین صنایع مورد بررسی، صنعت تولید مواد شیمیایی اساسی به‌جز کود و ترکیبات ازت به طور نسبی از تغییرات بیشتری در روند کارایی برخوردار است به طوری که کارایی طی سال‌های مختلف دچار نوسانات بیشتری بوده است. سایر صنایع روند غالبی ندارند. نمودار شماره دو میانگین کارایی زیست‌محیطی صنایع مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود چهار صنعت از میانگین کارایی یک برخوردارند و ارزش کارایی تعدادی از صنایع نیز بالای ۹۰ درصد می‌باشد. اما گروه‌هایی از صنایع نیز هستند که از کارایی زیست‌محیطی پایینی برخوردارند. نظیر تولید شیشه جام، تولید محصولات شیشه‌ای به جز شیشه جام، تولید محصولات ساخته شده از بتن و سیمان و گچ و تولید کود شیمیایی و ترکیبات ازت

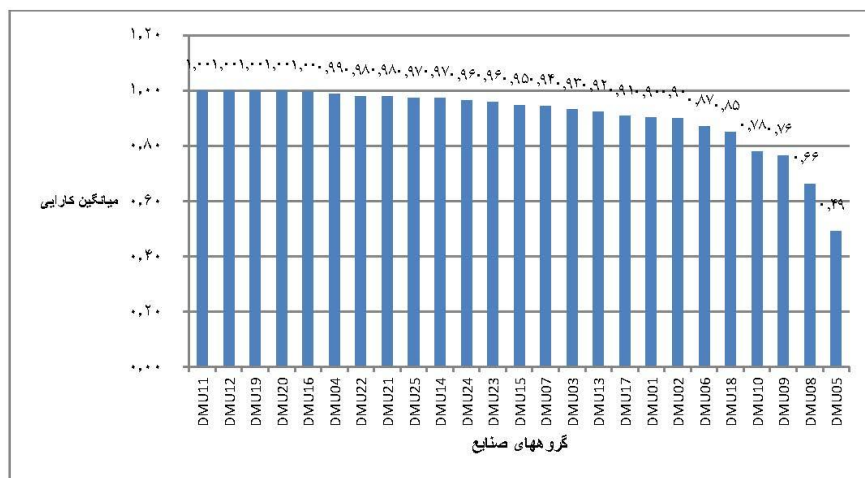
که به ترتیب از میانگین ارزش کارایی ۰/۹۰، ۰/۸۹، ۰/۸۷، ۰/۸۴ برخوردار بوده‌اند. میانگین کارایی زیست‌محیطی تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی طبقه بندی نشده در جای دیگر و تولید سایر محصولات گلی و سرامیکی غیر نسوز ساختمانی، ۰/۷۷ و ۰/۷۶ و دو صنعت تولید آجر و تولید سیمان و آهک و گچ از پایین‌ترین مقدار کارایی در بین صنایع مختلف به ترتیب با ارزش ۰/۶۶ و ۰/۴۹ می‌باشند. با توجه به پایین بودن نسبی کارایی زیست‌محیطی، این صنایع می‌بایستی تلاش بیشتری در جهت بهبود کارایی خود از طریق افزایش ستانده مطلوب و کاهش ستانده نامطلوب با حفظ همان سطح از نهاده‌ها بنمایند.

جدول ۲. مقادیر کارایی زیست‌محیطی ۲۵ زیرگروه صنایع انرژی بر طی سال‌های ۹۲-۱۳۸۷

DMU	نام DMU	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	میانگین
۱	تولید شیشه جام	۰/۸۸۴	۰/۸۷۲	۰/۹۱	۰/۹۱۳	۰/۹۰۹	۰/۹۱۶	۰/۹۰۱
۲	تولید محصولات شیشه ای به‌جز شیشه جام	۰/۸۸۸	۰/۸۸۶	۰/۹۱۲	۰/۸۹۹	۰/۹۱۵	۰/۸۹۳	۰/۸۹۹
۳	تولید کالاهای سرامیکی غیر نسوز غیر ساختمانی	۰/۸۷۹	۰/۹۲	۰/۹۵۶	۰/۹۴۶	۰/۹۳۳	۰/۹۴۷	۰/۹۳۰
۴	تولید محصولات سرامیکی نسوز- عایق حرارت	۰/۹۵۸	۰/۹۸۷	۱	۱	۱	۰/۹۸	۰/۹۸۷
۵	تولید سیمان و آهک و گچ	۰/۵۹۴	۰/۴۷۴	۰/۴۸	۰/۶۱۴	۰/۳۹۶	۰/۳۸۸	۰/۴۹۱
۶	تولید محصولات ساخته شده از بتن و سیمان و گچ	۰/۸۴۱	۰/۸۹۱	۰/۸۸۶	۰/۸۸۴	۰/۸۷۲	۰/۸۵	۰/۸۷۱
۷	بریدن و شکل دادن و تکمیل سنگ	۰/۹۱۲	۰/۹۵۴	۰/۹۴۶	۰/۹۵۶	۰/۹۴۱	۰/۹۴۹	۰/۹۴۳
۸	تولید اجر	۰/۵۹	۰/۶۵۱	۰/۵۹۶	۰/۷۰۱	۰/۷۱۵	۰/۷۲۳	۰/۶۶۳
۹	تولید سایر محصولات گلی و سرامیکی غیر نسوز ساختمانی	۰/۷۵	۰/۷۲۱	۰/۸۰۷	۰/۷۱۴	۰/۷۹۸	۰/۷۹۴	۰/۷۶۴
۱۰	تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی طبقه بندی نشده در جای دیگر	۰/۷۸۶	۰/۷۴۶	۰/۸۱۹	۰/۷۵۹	۰/۷۸	۰/۷۸۶	۰/۷۷۹

DMU	نام DMU	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	میانگین
۱۱	تولید محصولات اولیه آهن و فولاد	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۲	تولید محصولات اساسی مسی	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۳	تولید محصولات اساسی آلومینیومی	۰/۸۹۳	۰/۸۷۱	۱	۰/۹۲۲	۰/۸۹۵	۰/۹۵۳	۰/۹۲۲
۱۴	تولید فلزات گران بها و سایر محصولات اساسی - به جز آهن و فولاد و مس و آلومینیوم	۱	۰/۹۷۶	۰/۹۷۱	۰/۹۷	۰/۹۵۸	۰/۹۵۵	۰/۹۷۲
۱۵	ریخته گری آهن و فولاد	۰/۹۰۷	۰/۹۶۱	۰/۹۴۸	۰/۹۷۵	۰/۹۴	۰/۹۴۳	۰/۹۴۶
۱۶	ریخته گری فلزات غیر آهنی	۰/۹۹۱	۱	۰/۹۹۳	۱	۰/۹۹۳	۱	۰/۹۹۶
۱۷	تولید مواد شیمیایی اساسی به جز کود و ترکیبات ازت	۱	۰/۷۵۴	۰/۸۶۱	۱	۱	۰/۸۲۵	۰/۹۰۶
۱۸	تولید کود شیمیایی و ترکیبات ازت	۰/۸۵۸	۰/۸۳۸	۰/۸۵۸	۰/۷۴۷	۰/۹۰۴	۰/۸۹۶	۰/۸۴۹
۱۹	تولید مواد پلاستیکی به شکل اولیه و ساخت لاستیک مصنوعی	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲۰	تولید سموم دفع آفات و سایر فراورده های شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱

DMU	نام DMU	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	میانگین
۲۱	تولید انواع رنگ و روغن جلا و پوشش‌های مشابه و پتانه	۱	۰/۹۶	۱	۰/۹۷۴	۰/۹۶۳	۰/۹۶۹	۰/۹۷۷
۲۲	تولید دارو و مواد شیمیایی مورد استفاده در پزشکی و محصولات دارویی گیاهی	۱	۰/۹۵۷	۱	۱	۰/۹۲۱	۱	۰/۹۷۹
۲۳	تولید صابون و مواد پاک کننده و لوازم بهداشت و نظافت و عطرها و لوازم آرایش	۰/۹۶۳	۰/۹۶۲	۱	۰/۹۶۴	۰/۹۳۴	۰/۹۲۹	۰/۹۵۸
۲۴	تولید سایر محصولات شیمیایی طبقه بندی نشده در جای دیگر	۰/۸۸۷	۰/۹۸۸	۰/۹۷۷	۱	/۹۴۷	۰/۹۷۷	۰/۹۶۲
۲۵	تولید الیاف مصنوعی	۰/۹۸۱	۰/۹۶۹	۰/۹۸۹	۰/۹۷۱	۰/۹۶۶	۰/۹۶۶	۰/۹۷۳



نمودار ۲. میانگین کارایی زیست‌محیطی صنایع انرژی بر طی سال‌های ۹۲-۱۳۸۷

پتانسیل بالقوه افزایش ستانده مطلوب و کاهش انتشار ستانده نامطلوب

با توجه به روابط (۵) و (۶) و همچنین (۷) و (۸) با استفاده از مدل RAM می‌توان ناکارایی حاصل از کمبود ستانده مطلوب و مازاد ستانده نامطلوب (انتشار CO₂) هر صنعت را مشخص نموده و با توجه به آن پتانسیل بالقوه افزایش ستانده مطلوب یا کاهش ستانده نامطلوب هر صنعت را اندازه‌گیری نمود. درواقع با توجه به مشخص شدن عامل ناکارایی حاصل از کمبود ستانده مطلوب یا مازاد ستانده نامطلوب می‌توان میزان تمرکز و تلاش لازم بیشتر هر صنعت بر روی هر یک از این عوامل به جهت افزایش کارایی را مشخص نمود. میانگین پتانسیل بالقوه افزایش ستانده مطلوب و کاهش انتشار ستانده نامطلوب (CO₂) هر صنعت طی سال‌های ۹۲-۱۳۸۷ در جدول سه و نمودارهای شماره چهار و پنج نشان داده شده است. صنایع تولید محصولات اولیه آهن و فولاد، تولید محصولات اساسی مسی، تولید محصولات اساسی آلومینیومی، تولید مواد پلاستیکی به شکل اولیه و ساخت لاستیک مصنوعی، تولید سموم دفع آفات و سایر فرآورده‌های شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی از جمله صنایعی هستند که ناکارایی در ستانده مطلوب و

نامطلوب آنها صفر بوده، بنابراین مقادیری نیز برای افزایش ستانده مطلوب یا کاهش ستانده نامطلوب آنها مشاهده نمی گردد. همچنان که در جدول شماره دو نیز مشاهده می گردد کارایی این صنایع به جز صنعت تولید محصولات آلومینیومی همگی یک می باشد. بنابراین دلیل وجود عدم کارایی این صنعت به جز دو عامل کمبود ستانده مطلوب یا مازاد ستانده نامطلوب می باشد.

همچنین تولید سایر محصولات گلی و سرامیکی غیر نسوز ساختمانی و تولید مواد شیمیایی اساسی به جز کود و ترکیبات ازت از ناکارایی در مورد ستانده مطلوب برخوردار نبوده و به همین دلیل مقادیر مربوط به پتانسیل بالقوه افزایش ستانده مطلوب این صنایع صفر است. سایر صنایع به دلیل مثبت بودن متغیر اسلک مربوط به ستانده ها (مطلوب و نامطلوب) از ناکارایی در تولید ستانده مطلوب و انتشار CO₂ به عنوان ستانده نامطلوب برخوردارند. همان طور که در نمودار چهار مشاهده می شود بیشترین میزان پتانسیل کاهش انتشار CO₂ به ترتیب در صنایع تولید سیمان و آهک و گچ، تولید اجر، تولید مواد شیمیایی اساسی به جز کود و ترکیبات ازت و تولید کود شیمیایی و ترکیبات ازت و سپس سایر صنایع می باشد. همان طور که از نتایج کارایی زیست محیطی و میزان انتشار آلاینده های این صنایع نیز انتظار می رفت این صنایع می بایستی به جهت افزایش کارایی خود تلاش بیشتری در جهت کاهش انتشار آلاینده ها نمایند. بیشترین پتانسیل افزایش ستانده مطلوب به جهت افزایش کارایی زیست محیطی نیز همان طور که در نمودار پنج مشاهده می شود به ترتیب مربوط به صنایع تولید سیمان و آهک و گچ، تولید صابون و مواد پاک کننده و لوازم بهداشت و نظافت و عطرها و لوازم آرایش، تولید فلزات گرانبها و سایر محصولات اساسی - به جز آهن و فولاد و مس و آلومینیوم و سپس سایر صنایع می باشد.

جدول ۳. میانگین مقادیر پتانسیل بالقوه افزایش ستانده مطلوب و کاهش ستانده نامطلوب طی سال‌های ۹۲-۱۳۸۷

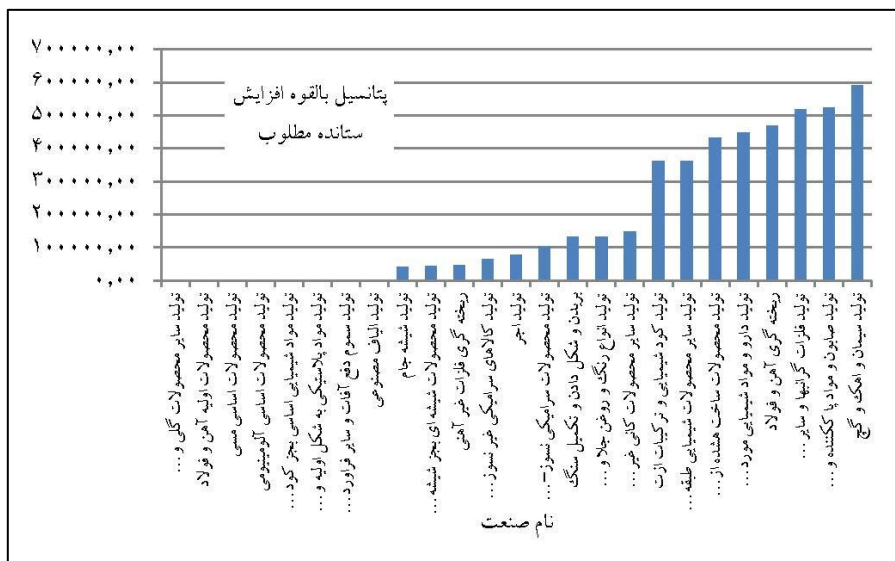
DMU	نام واحد	Neu	Ney	UPk	YPk
۱	تولید شیشه جام	۰/۰۱۳	۰/۰۰۸	۱۳۲۵۳۹۱۳/۸۴	۴۱۱۹۹/۶۱
۲	تولید محصولات شیشه ای به جز شیشه جام	۰/۰۰۳	۰/۰۰۹	۲۲۳۱۲۵۷/۸۳	۴۴۸۹۵/۶۳
۳	تولید کالاهای سرامیکی غیر نسوز غیر ساختمانی	۰/۰۰۱	۰/۰۲۲	۵۵۰۸۵۰/۱۸	۶۵۰۱۶/۱۹۶
۴	تولید محصولات سرامیکی نسوز- عایق حرارت	۰/۰۲۰	۰/۰۲۶	۳۸۲۳۸۶۶/۲۸۴	۱۰۰۱۷۸/۵۳
۵	تولید سیمان و آهک و گچ	۰/۱۶۶	۰/۰۱۴	۲۵۷۵۸۱۲۶۷۶	۵۹۰۰۸۳/۹۵
۶	تولید محصولات ساخته شده از بتن و سیمان و گچ	۰/۰۰۶	۰/۰۲۸	۲۷۵۹۵۵۰/۸۲۲	۴۳۲۶۵۹/۳۲۵
۷	بریدن و شکل دادن و تکمیل سنگ	۰/۰۰۲	۰/۰۲۸	۲۸۷۴۷۹/۲۷	۱۳۲۷۱۵/۵۰۳
۸	تولید اجر	۰/۱۱۱	۰/۰۰۹	۷۵۸۷۵۴۰۲۴/۲	۷۷۱۵۸/۰۹۴
۹	تولید سایر محصولات گلی و سرامیکی غیر نسوز ساختمانی	۰/۰۱۰	۰/۰۰۰	۳۰۸۸۳۵۷۱/۰۷	۰
۱۰	تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی طبقه بندی نشده در جای دیگر	۰/۰۲۲	۰/۰۱۱	۲۷۶۲۷۴۲۷/۳	۱۴۷۸۵۹/۲۳
۱۱	تولید محصولات اولیه آهن و فولاد	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰	۰
۱۲	تولید محصولات اساسی مسی	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰	۰
۱۳	تولید محصولات اساسی آلومینیومی	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰	۰
۱۴	تولید فلزات گران بها و سایر محصولات اساسی- به جز آهن و فولاد و مس و آلومینیوم	۰/۰۰۴۶	۰/۰۷۴	۱۳۶۹۰۳۹/۳۷۱	۵۱۶۲۰۳/۱۴۶

DMU	نام واحد	Neu	Ney	UPk	YPk
۱۵	ریخته گری آهن و فولاد	۰/۰۰۱	۰/۰۶۸	۲۳۳۰۹۰/۱۵۵	۴۶۹۶۸۵/۲۲۶
۱۶	ریخته گری فلزات غیر آهنی	۰/۰۰۳	۰/۰۳۸	۱۳۳۹۸۴/۹۶	۴۶۷۵۱/۶۵۹
۱۷	تولید مواد شیمیایی اساسی به جز کود و ترکیبات ازت	۰/۰۸۵	۰/۰۰۰	۶۷۹۱۱۷۸۶۳/۹	۰
۱۸	تولید کود شیمیایی و ترکیبات ازت	۰/۱۱۵	۰/۰۲۰	۴۱۸۶۲۱۰۳۵/۶	۳۶۱۷۱۸/۱۱۵
۱۹	تولید مواد پلاستیکی به شکل اولیه و ساخت لاستیک مصنوعی	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰	۰
۲۰	تولید سموم دفع آفات و سایر فراورده‌های شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰	۰
۲۱	تولید انواع رنگ و روغن جلا و پوشش‌های مشابه و بتانه	۰/۰۰۰۷	۰/۰۱۶	۱۹۳۹۲۴/۲۶۶	۱۳۳۰۸۹/۵۲
۲۲	تولید دارو و مواد شیمیایی مورد استفاده در پزشکی و محصولات دارویی گیاهی	۰/۰۰۱	۰/۰۱۹	۲۸۸۵۰۹/۵۶۶	۴۴۷۳۳۶/۷۳۶
۲۳	تولید صابون و مواد پاک کننده و لوازم بهداشت و نظافت و عطرها و لوازم آرایش	۰/۰۰۰۹	۰/۰۲۹	۲۱۹۸۴۸/۴۹۰	۵۲۳۴۸۳/۷۱۹
۲۴	تولید سایر محصولات شیمیایی طبقه بندی نشده در جای دیگر	۰/۰۰۰۷	۰/۰۵۰	۹۳۰۷۸/۳۰۵	۳۶۲۳۴۳/۹۶
۲۵	تولید الیاف مصنوعی	۰/۰۴۵	۰/۰۰۰۱	۱۸۱۷۹۱۹۴/۳۸	۴۴۱/۳۸

ماخذ: نتایج تحقیق



نمودار ۳. میانگین مقادیر پتانسیل بالقوه کاهش استاندارد نامطلوب طی سال‌های ۹۲-۱۳۸۷



نمودار ۴. میانگین مقادیر پتانسیل بالقوه افزایش استاندارد مطلوب طی سال‌های ۹۲-۱۳۸۷

در گروه صنایع سایر محصولات کانی غیرفلزی، صنایع تولید سیمان و آهک و گچ، تولید اجر، تولید سایر محصولات گلی و سرامیکی غیر نسوز ساختمانی و تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی طبقه بندی نشده در جای دیگر بیشترین میزان پتانسیل کاهش انتشار CO₂ به عنوان ستانده نامطلوب به جهت افزایش سطح کارایی را دارا می باشند. همچنین صنایع تولید سیمان و آهک و گچ، تولید محصولات ساخته شده از بتن و سیمان و گچ و تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی طبقه بندی نشده در جای دیگر به ترتیب بیشترین پتانسیل بالقوه افزایش ستانده مطلوب به جهت افزایش سطح کارایی خود را در این گروه دارند. همان طور که انتظار نیز می رفت با توجه به پایین بودن سطح کارایی زیست محیطی صنعت تولید سیمان و آهک و گچ در میان تمامی صنایع مورد بررسی دیگر، این صنعت از بیشترین میزان ناکارایی هر دو عامل تولید ستانده مطلوب و نامطلوب برخوردار است که بنابراین می بایستی توجه ویژه ای به این گروه از صنایع به جهت افزایش سطح کارایی شود.

در گروه صنایع تولید فلزات اساسی، تولید محصولات اولیه آهن و فولاد، تولید محصولات اساسی مسی و تولید محصولات اساسی آلومینیومی که از کارایی یک برخوردارند. بیشترین سطح میانگین پتانسیل کاهش انتشار CO₂ و بیشترین پتانسیل افزایش ستانده مطلوب به ترتیب مربوط به صنایع تولید فلزات گران بها و سایر محصولات اساسی - به جز آهن و فولاد و مس و آلومینیوم، ریخته گری آهن و فولاد و ریخته گری فلزات غیر آهنی می باشد.

در گروه صنایع تولید مواد و محصولات شیمیایی، تولید مواد شیمیایی اساسی به جز کود و ترکیبات ازت، تولید کود شیمیایی و ترکیبات ازت و تولید الیاف مصنوعی از بیشترین پتانسیل کاهش انتشار CO₂ برخوردارند. همچنین بیشترین پتانسیل مربوط به افزایش ستانده مطلوب به ترتیب مربوط به تولید صابون و مواد پاک کننده و لوازم بهداشت و نظافت و عطرها و لوازم آرایش، تولید دارو و مواد شیمیایی مورد استفاده در پزشکی و محصولات دارویی گیاهی و تولید سایر محصولات شیمیایی طبقه بندی نشده در جای دیگر می باشد.

۶. نتیجه گیری

در این مطالعه با استفاده از مدل غیرشعاعی برد تنظیم شده (RAM) بر پایه مدل تحلیل پوششی داده‌ها به ارزیابی کارایی زیست‌محیطی در میان ۲۵ زیرگروه از صنایع مختلف انرژی برآیران شامل صنایع تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی، تولید فلزات اساسی و تولید مواد و محصولات شیمیایی طی سال‌های ۹۲-۱۳۸۷ پرداخته شده است. برای محاسبه کارایی علاوه بر تفکیک ستانده‌ها به دو گروه مطلوب و نامطلوب، نهاده‌ها نیز به دو گروه انرژی و غیرانرژی تقسیم شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که صنایع تولید محصولات اولیه آهن و فولاد، تولید محصولات اساسی مسی، تولید مواد پلاستیکی به شکل اولیه و ساخت لاستیک مصنوعی و تولید سموم دفع آفات و سایر فرآورده‌های شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی بهترین عملکرد را در میان صنایع مورد بررسی داشته و از بالاترین سطح میانگین کارایی برخوردارند. در مقابل صنایع تولید سیمان و آهک و گچ، تولید اجر، تولید سایر محصولات گلی و سرامیکی غیر نسوز ساختمانی و تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی طبقه بندی نشده در جای دیگر بدترین عملکرد را داشته و از پایین‌ترین سطح کارایی در میان صنایع مختلف انرژی برخوردار بوده‌اند. بنابراین تلاش بیشتری در این گروه از صنایع چه از طریق ایجاد قوانین و مقررات زیست‌محیطی جهت تولید کنندگان و چه از طریق تغییر در شیوه تولید می‌بایستی انجام گیرد که این صنایع بتوانند بدون کاهش در تولید ستانده مطلوب خود، میزان مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌ها را کاهش دهند. همچنین محاسبه میزان ناکارایی حاصل از مازاد ستانده نامطلوب (انتشار CO₂) و کمبود ستانده مطلوب هر صنعت با استفاده از مدل برد تنظیم شده (RAM) نشان داد که بیشترین متوسط میزان پتانسیل کاهش انتشار CO₂ به ترتیب در صنایع تولید سیمان و آهک و گچ، تولید اجر، تولید مواد شیمیایی اساسی به جز کود و ترکیبات ازت و تولید کود شیمیایی و ترکیبات ازت و سپس سایر صنایع می‌باشد. این صنایع از میزان انتشار بالایی برخوردارند لذا می‌بایستی در کنار دو صنعت سایر محصولات گلی و سرامیکی غیر نسوز ساختمانی و تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی

طبقه بندی نشده در جای دیگر که در رتبه های بعدی قرار دارند به مسائل زیست محیطی و انتشار آلاینده ها توجه بیشتری نمایند.

بیشترین پتانسیل متوسط افزایش ستانده مطلوب به جهت افزایش کارایی نیز به ترتیب مربوط به صنایع تولید سیمان و آهک و گچ، تولید صابون و مواد پاک کننده، تولید فلزات گران بها و سایر محصولات اساسی - به جز آهن و فولاد و مس و آلومینیوم و سپس سایر صنایع می باشد. درواقع این صنایع از کمبود بیشتری در تولید ستانده مطلوب به نسبت صنایع دیگر برخوردار بوده اند که منجر به کاهش میزان کارایی آن شده است و بنابراین می بایستی علاوه بر کاهش انتشار CO₂، استراتژی خاصی نیز جهت افزایش تولید محصول خود داشته باشند. دراین میان صنعت تولید سیمان و آهک و گچ با توجه به بالاترین میزان در هر دو مورد توان بالقوه افزایش ستانده مطلوب و کاهش ستانده نامطلوب نیاز به تغییرات اساسی در تکنولوژی تولید خود دارد.

نتایج واحدهایی با کارایی زیست محیطی پایین می تواند برای سیاست گذار انرژی از این حیث مفید باشد که حتماً با توجه به میزان بالای انتشار آلاینده ها می بایستی توجه ویژه ای به کاهش انتشار آلاینده های این صنایع از قبیل جایگزینی سوخت هایی که از ضریب آلاینده گی پایین تری برخوردارند نظیر گاز طبیعی به جای سوخت هایی با ضریب آلاینده گی بالاتر نظیر نفت کوره و گازوئیل و تغییر سطح تکنولوژی به جهت کاهش مصرف انرژی از طرق مختلف برقراری و مقررات زیست محیطی سختگیرانه نظیر تغییر اجباری نوع مصرف سوخت هایی با ضریب آلاینده گی بالا، مالیات بر مصرف سوخت هایی با ضریب آلاینده گی بالا، مالیات بر تولید ستانده نامطلوب، افزایش نرخ فروش سوخت هایی با درجه ضریب آلاینده گی بالاتر نسبت به سوخت هایی با ضریب آلاینده گی پایین تر نمود.

منابع

- آماده، ا. و ع. رضایی (۱۳۹۰)، "اندازه‌گیری کارایی زیست‌محیطی با استفاده از مدل کارایی سراسری در بخش تولید انرژی الکتریکی شرکت‌های برق منطقه‌ای"، *فصلنامه مطالعات انرژی*، ۸ (۳۰)، صص ۱۵۴-۱۲۵.
- امامی‌میبی، ع. و ف. جایدی (۱۳۹۳)، "اندازه‌گیری زیست‌کارایی پالایشگاه‌های نفت ایران با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها"، *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی*، رشد و توسعه پایدار، سال چهاردهم، شماره ۴، صص ۷۹-۹۶.
- رضایی، ع.؛ آماده، ح. و ت. محمدی (۱۳۹۱)، "تحلیل بهره‌وری و کارایی زیست‌محیطی در کشورهای منتخب واردکننده و صادرکننده منابع انرژی فسیلی: رویکرد تابع مسافرت جهت‌دار"، *فصلنامه اقتصاد محیط زیست و انرژی*، ۱ (۲).
- نصرالهی، ز؛ صادقی، ز و م. غفاری گولک (۱۳۹۱)، "اندازه‌گیری کارایی صنایع تولیدی ایران با رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها و با تأکید بر ستاده‌های نامطلوب"، *سیاست‌های اقتصادی*، ۸ (۱۸)، صص ۸۷-۱۱۰.
- شهیکی تاش، م.؛ خواجه حسنی، م. و سعید جعفری (۱۳۹۴)، "محاسبه کارایی زیست‌محیطی در صنایع انرژی بر ایران با استفاده از رویکرد تابع فاصله جهت‌دار"، *نظریه‌های کاربردی اقتصاد*، ۲ (۱)، صص ۹۹-۱۲۰.
- نجف زاده، ب و س. ممی‌پور (۱۳۹۵) "ارزیابی کارایی زیست‌محیطی شرکت‌های برق منطقه‌ای: مقایسه مدل‌های شعاعی و غیرشعاعی"، *مجله نظریه‌های کاربردی اقتصاد*، سال سوم، شماره ۳، صص ۱۷۸-۱۵۳.
- نجف زاده، ب و س. ممی‌پور (۱۳۹۷) "ارزیابی سه بخشی کارایی زیست‌محیطی صنعت برق ایران: رهیافت تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای"، *مجله تحقیقات اقتصادی*، دوره ۵۳، شماره ۲، صص ۴۶۳-۴۳۷.
- مهرگان، نادر (۱۳۹۱)، *تحلیل پوششی داده‌ها، مدل‌های کمی در ارزیابی عملکرد سازمان‌ها*، تهران: نشر کتاب دانشگاهی.

- Bi. Song., W. Zhou. & Liang L.** (2014), "Does Environmental Regulation Affect Energy Efficiency in China's Thermal Power Generation? Empirical Evidence from a Slacks-based DEA model", *Energy Policy*, No. 66, pp. 537-546.
- Chambers R.G., Chung Y. and R. Fare** (1996), Benefit and distance functions, *Journal of Economic Theory*, 70, 407-419.
- Chung Y.H., Fare. And S. Grosskopf** (1997), "Productivity and Undesirable Outputs: a Directional Distance Function Approach", *Journal of Environmental Management*, No. 51, pp. 229-240.
- Cooper W., Park K.S. and J.T. Pastor** (1999), "RAM: A Range Adjusted Measure of Inefficiency for use with Additive Models and Relations to other Models and Measures in DEA", *Journal of Productivity Analysis*, 11(1), pp. 5-42.
- Cooper W., Seiford L.M. and K. Tone** (2007), *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Model, Applications, References and DEA-solver Software* (2nd Ed.), Springer US.
- Ewertowska A., Martin A.G., Gosalbez G., Gavalda J. and L. Jimenez** (2016), "Assessment of the Environmental Efficiency of the Electricity Mix of the top European Economies via data Envelopment Analysis". *Journal of Cleaner Production*, No.116, pp.13-22.
- Farrell, M.** (1957), "The Measurement of Productive Efficiency", *J.R.Statis Sos*, Series, No. 120, pp. 253-281.
- Fukuyama H. and W.L. Weber** (2010), "A slacks-based inefficiency measure for a two-stage system with bad outputs", *Omega*, No. 38, pp. 398-409.
- Hailu A. and T.S. Veeman** (2001), Non-parametric Productivity Analysis with Undesirable Outputs: An Application to the Canadian pulp and Paper Industry", *American Journal of Agricultural Economics*, 83(3), pp. 805-816.
- Kumar Mandal S.** (2010), "Measuring Environmental Efficiency and Cost of Pollution Abatement: An Application of Directional Distance Function to Indian Cement Industry", *South Asian Journal of Management*, Vol. 17, No. 3, pp.24-37.
- Mandal Kumar S. and S. Madheswaran** (2010), "Environmental Efficiency of the Indian Cement industry: an Interstate Analysis", *Energy Policy*, 38(2), 1108-1118.
- Sahoo B.K., Luptacik M. and B. Mahlberg** (2011), "Alternative Measures of Environmental Technology Structure in DEA: An Application", *European Journal of Operational Research*, No. 215, pp. 750-762.
- Scheel H.** (2001), "Undesirable Outputs in Efficiency Valuations". *European Journal of Operational Research*, No. 132, pp. 400-410.
- Seiford L.M. and J. Zhu** (2002), "Modeling Undesirable Factors in Efficiency Evaluation", *European Journal of Operational Research*, No. 142, pp. 16-20.
- Sueyoshi T. and M. Goto** (2010b), Should the US Clean Air act Include CO2 Emission Control?: Examination by data Envelopment Analysis", *Energy Policy*, No. 38, pp. 5902-5911.
- Sueyoshi T. and M. Goto** (2011a), "DEA Approach for Unified Efficiency Measurement: Assessment of Japanese Fossil Fuel Power Generation", *Energy Economics*, No. 33, pp. 195-208.

- Sueyoshi T. and M. Goto** (2012j), "DEA Environmental Assessment of Coal Fired Power Plants: Methodological Comparison between Radial and Non-radial Models", *Energy Economics*, No. 34, pp. 1854-1863.
- Tone K.** (2004), *Dealing with Undesirable Outputs in DEA: a Slacksbased Measure (SBM) Approach*, Toronto: Presentation at NAPW III.
- Xiaowei Song, Yongpei Hao and Xiaodong Zhu** (2015), "Analysis of the Environmental Efficiency of the Chinese Transportation Sector Using an Undesirable Output Slacks-Based Measure Data Envelopment Analysis Model", *Sustainability, MDPI, Open Access Journal*, vol. 7(7), pp. 1-20.
- Zhou P., Ang B.W. and K.L. Poh** (2008), "Slacks-based Efficiency Measures for Modeling Environmental Performance", *Ecological Economics*, No. 60, pp. 111-118.
- Zhou P., Ang B. and H. Wang** (2012), "Energy and CO2 Emission Performance in Electricity Generation: a Non-radial Directional Distance Function Approach", *European Journal of Operational Research*, 221(3), pp. 625-635.