نشریه علمی(فصلنامه) پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی
سال پنجم/ شماره ۱۶/ پاییز ۱۳۹۸/ صفحات ۳۳ - ۶۶

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، دانشکده فردوسی مشهد
md-kazemi@um.ac.ir
محمود صبوحی صابونی
استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
sabouhi@um.ac.ir

انرژی از یک طرف به منزلهٔ 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 وارقام 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 بندیISIC)، تولید فلزات اساسی(کد ۲۷ طبقه بندیISIC) وتولید محصولات شیمیایی(کد۲۴ طبقه بندیISIC) 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 نا مطلوب 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 انتشارco2 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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸ /۳/ ۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۷/۱

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

۱. مقدمه

انرژی از جمله عواملی است که در اکثر فعالیت های اقتصادی مورد استفاده قرار می گیرد. 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 منزلهٔ عامل محرک توسعه اقتصادی، اجتماعی و بهبود کیفیت زندگی انسان تلقی می‌شود و از سوی دیگر موجب تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی می گردد. 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 سال ها از این قاعده مستثنی نبوده و مطالعات و آمار و ارقام، بیانگر سیر صعودی و فزاینده مصرف انرژی در سال های اخیرو متعاقب آن میزان انتشار گازهای آلاینده ناشی از تولید و مصرف انرژی در کشور می‌باشد. آماروارقام بیانگر آن‌است که مقدار انتشار گاز co2 از حدود ۴۹۲ میلیون تن در سال ۱۳۸۶ به حدود ۶۰۲ میلیون تن در سال۱۳۹۳ 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 می نماید آن‌است 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 شدیدا مورد نیاز است.

یکی از مهمترین بخش‌های کشور در زمینه انتشار آلاینده ها، بخش صنعت با توجه به مصرف بالای انرژی می‌باشد. بر اساس آمار منتشر شده در ترازنامه انرژی در سال ۱۳۹۳، بخش صنعت با۱۶/۶۷ درصد سهم انتشار co2 یکی از بخش‌های مهم در انتشار دی اکسید 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

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

ایجاد شده دربخش صنعت می‌باشد. از جمله شاخص‌هایی که می‌تواند این موضوع را مورد بررسی قرار دهد کارایی زیست‌محیطی 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 می‌شد گسترش یافت و با توجه به مسأله مهم آلودگی، انتشار الاینده‌ها نیز به عنوان ستانده نامطلوب وارد مدل گردید و به این ترتیب نوع جدیدی از کارایی به نام کارایی زیست‌محیطی شکل گرفت.کارایی از بعد زیست‌محیطی در واقع به دنبال کاهش مصرف انرژی و به تبع آن کاهش انتشار آلاینده‌ها به عنوان ستانده نامطلوب می‌باشد.

بر اساس اطلاعات آماری صنایع تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی(کد ۲۶ طبقه بندیISIC)، تولید فلزات اساسی (کد ۲۷ طبقه بندیISIC) وتولید محصولات شیمیایی(کد۲۴ طبقه بندیISIC) به ترتیب با سهم مصرف انرژی ۳۰، ۲۴و ۲۰ درصد از انرژی برترین بخش‌های صنعتی کشور محسوب می‌شوند واز طرف دیگر از زیربخش‌های مهم صنعت کشور بوده و از ارزش‌افزوده بالایی در صنعت برخوردارند. بنابراین با توجه به اهمیت بررسی و ارزیابی کارایی زیست‌محیطی در صنایع انرژی بر که از بخش‌های عمده در تولید آلاینده زیانبار CO_2 محسوب می‌شوند، دراین مطالعه به ارزیابی و بررسی کارایی زیست‌محیطی این گروه از صنایع به تفکیک کدهای چهار رقمی با استفاده از مدل برد تنظیم شده[1] (RAM) که از مدل‌های مبتنی بر اسلک‌ها از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها[2] (DEA) است طی سال‌های۱۳۹۲-۱۳۸۷، پرداخته می‌شود. ضمن به‌دست آوردن مقادیر کارایی زیست‌محیطی برای گروه‌های صنایع مختلف، با توجه به امکان اندازه‌گیری ناکارایی حاصل ازکمبود ستانده مطلوب و مازاد ستانده نامطلوب (انتشارCO_2) با استفاده از مدل غیرشعاعی RAM، به اندازه‌گیری پتانسیل بالقوه افزایش ستانده مطلوب وکاهش ستانده نامطلوب هر صنعت نیز پرداخته شده است. به نظر می‌رسد که لحاظ

1. Range Adjusted Measure
2. Data Envelopment Analysis

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

نمودن انتشارCO_2 به عنوان مقادیر ستانده نامطلوب درکنار ستانده مطلوب وتعیین کارایی زیست‌محیطی طی چندین سال متوالی درسطح 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[1] 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[2]، 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. درروش پارامتریک تابع تولید مشخصی با استفاده از روش‌های اقتصاد سنجی 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. Farell

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

غیرپارامتریک روش تحلیل پوششی داده هاست (*DEA*)که کارایی نسبی واحدها رادر مقایسه با یکدیگر ارزیابی می کند در این تکنیک به شناخت شکل تابع تولید نیازی نیست و محدودیتی در تعداد ورودی‌ها و خروجی‌ها وجود ندارد (مهرگان،۱۳۹۱).

فارل(۱۹۵۷) برای نخستن بار روش اندازه‌گیری کارایی بر مبنای تئوری‌های اقتصادی را معرفی و کارایی بخش کشاورزی امریکا را به روش غیرپارامتریک محاسبه نمود. سپس چارنز، کوپر و رودرز[1] در سال ۱۹۷۸ با توسعه دیدگاه فارل، مدلی را در اندازه‌گیری کارایی ارائه کردند که به تحلیل پوششی داده‌ها معروف گردید. مدل معرفی شده آنها CCR نام گرفت. این مدل، پایه‌ای برای ابداع مدل‌های 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 نهاده‌های x_m.....x_1 ,را برای تولید ستانده‌های y_s ..... ,y_1 مصرف می کند. هر واحد دارای m ورودی وs خروجی می‌باشد. (i=(1,2,….,m) ، (r=(1,2,…,s برای محاسبه کارایی و تعیین وزن‌های u_r و v_i مدل CCR به صورت ذیل می‌باشد (مهرگان، ۱۳۹۱):

$$\begin{aligned} &\max Z_0 = \sum_{r=1}^{s} u_r\, y_{r0} \\ &\text{St:}\quad \sum_{i=1}^{m} v_i x_{i0} = 1 \\ &\qquad \sum_{r=1}^{s} u_r\, y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i\, x_{ij} \le 0 \\ &\qquad\quad u_r, v_i \ge 0 \end{aligned} \qquad (۱)$$

مدل فوق را فرم مضربی(اولیه) مدل CCR در ماهیت ورودی محور می‌نامند. این مدل را می‌توان از طریق دوگان آن که تعداد محدودیت کمتری داشته و بنابراین حل آن مستلزم حجم عملیات کمتری می‌باشد نیز حل نمود. بنکر، چارنز و کوپر[2](۱۹۸۴) با تغییر در مدل CCR ، مدل جدیدی

1. Charnes, Cooper &Rohdes
2. Banker, Charnes &Cooper

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

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[1] و غیرشعاعی[2] 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. درمدل‌های شعاعی ازقبیلCCR 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[3]، ۲۰۰۸). اولین مدل غیرشعاعی مدل جمعی است که در سال ۱۹۸۵ توسط چارنز 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 :

$$(ADD) \quad max \quad \sum_{i=1}^{m} S_{i0}^{-} + \sum_{r=1}^{s} S_{r0}^{+}$$

St:

$$x_{i0} = \sum_{j=1}^{n} x_{ij}\lambda_j + s_{i0}^{-} \qquad i = 1, \ldots, m \qquad (۲)$$

$$y_{r0} = \sum_{j=1}^{n} y_{rj}\lambda_j - s_{r0}^{+} \qquad r = 1, \ldots, s$$

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

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

که در آن:

S_{r0}^{+} :متغیر کمکی مربوط به محدودیت rام خروجی ، S_{i0}^{-} : متغیر کمکی مربوط به محدودیت iام ورودی ، λ_j :نسبتی از ورودیها و خروجی‌های تمامی واحدها را که با هم می‌آمیزند و واحد مجازی می‌سازند را نشان می‌دهد.

DMU_0 کارای ADD است اگر و فقط اگر $S_i^- = 0$ و $S_r^+ = 0$

اساس مدل‌های رایج درتعیین کارایی در مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها همانند مدل‌های CCRو BCC بر این فرض استوار است که کاهش عوامل نهاده‌ها یا افزایش عوامل ستانده‌ها منجر به بهبود کارایی خواهد شد. اما باید توجه داشت که در عالم واقع در فرایند تولید، ستانده‌های نامطلوب نیز می‌تواند وجود داشته باشد. بنابراین واحدهای تصمیم گیرنده همیشه نمی‌توانند به دنبال حداکثر نمودن ستانده‌ها باشند. در فرایندهای تولیدی که دو نوع ستانده مطلوب و نامطلوب وجود دارد، ستانده مطلوب می‌بایستی افزایش و ستانده نامطلوب کاهش یابد. این رویکرد با مدل‌های عمومی تحلیل پوششی داده‌ها متفاوت است. برای رفع این مشکل، مدل‌های تحلیل پوششی داده‌هایی طراحی گردید که ستانده نامطلوب را نیز در بر می‌گرفت. نحوه برخورد با ستانده‌های نامطلوب و مدل‌سازی آن همواره یک مسأله چالش برانگیز در مسائل کارایی بوده است (ساهو و همکاران[1]،۲۰۱۱). در ادبیات نظری ستانده نامطلوب به دو صورت کلی در مدل‌های ارزیابی کارایی وارد مدل می‌شود: به صورت غیرمستقیم، به صورت مستقیم و استفاده از فرم اصلی ستانده نامطلوب.

در حالت اول و استفاده ازستانده نامطلوب به صورت غیرمستقیم از توابع تبدیل متفاوتی استفاده می‌شود. ساده‌ترین روش این است که ستانده نامطلوب به عنوان یک نهاده در نظر گرفته شود(هیل و ویمن[2]، ۲۰۰۱). گرچه در این الگو به هدف مورد نظر یعنی کاهش هرچه بیشتر

1. Sahoo et al
2. Hailu and Veeman

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

ستانده نامطلوب دست می‌یابیم اما در نظر گرفتن ستانده نامطلوب به عنوان یک نهاده با تئوری تابع تولید نئوکلاسیک سازگار نیست. چون طبق تئوری نئوکلاسیک همه نهاده‌ها 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 نهاده در فرایند تولید در نظر گرفته‌اند (ماندال[1]،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[2]،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[3]،۲۰۰۱). در حالت دوم از ستانده نامطلوب به صورت مستقیم در مدل به عنوان یک ستانده استفاده می‌شود. بدین منظور مدل‌های مختلفی برمبنای الگوی ناپارامتریک DEA طراحی گردید. چمبرز[4](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[5] بودن) و بیشتر نشان دادن نمرات کارایی است (فوکویوما ووبر[6]،۲۰۱۰). مشکل دیگر در تعیین بهترین بردار جهت در راستای بیشینه کردن تابع فاصله جهت‌دار است. برای رفع این مشکل چانگ و همکاران[7](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

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

جای بردارهای جهت مدل دیگری را معرفی نمودند. باتوجه 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[1] (۲۰۰۴) مدل غیرشعاعی[2] مازاد مبنا[3](SBM) خودرا که با تکیه بر اسلک‌ها[4] 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 مدلSBM با توجه به اندازه‌گیری مقادیر اسلک ها، 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[5]، ۲۰۰۷). سویوشی و گوتو[6] (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

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

۳. مروری بر مطالعات انجام شده

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

ماندال و مدهسوران[1] (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 براورد 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[2] (۲۰۱۱) به ارزیابی نیروگاه‌های حرارتی ژاپن در سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۰۴ با استفاده از مدل RAM ومقایسه ان 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(۲۰۱۲) به ارزیابی ۱۳۶ نیروگاه سوخت ذغال سنگ امریکا 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[3] (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 به‌دست 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.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

بی و همکاران[1] (۲۰۱۴) به وسیله مدل مازاد مبنا(SBM) به ارزیابی کارایی زیست‌محیطی نیروگاه‌های حرارتی بین سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۰۹ پرداخته‌اند. بر اساس نتایج به دست آمده تفاوت زیادی در کارایی زیست‌محیطی وجود دارد ودخالت 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 دی‌اکسیدکربن به عنوان ستانده نامطلوب با استفاده از مدل مازاد مبنا(SBM) طی سال‌های ۲۰۱۲-۲۰۰۳ پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد که میانگین کارایی زیست‌محیطی ازمیزان بسیار پایینی(۰/۴۵) برخوردار بوده است.

اورتوسکا و همکاران[2](۲۰۱۶) به بررسی کارایی زیست‌محیطی 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 زیست‌محیطی 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 شرکت‌ها ی برق منطقه‌ای، شرکت برق منطقه‌ای آذربایجان و خراسان، هم از نظر کارایی معمولی و هم از نظر کارایی زیست‌محیطی عملکرد ضعیفی دارند.

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

1. Bi et al.
2. Ewertowska et al.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

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 ۱۳۸۵-۱۳۷۹پرداختند. 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 وجایدری(۱۳۹۳) به اندازه‌گیری زیست کارایی پالایشگاه‌های نفت ایران با استفاده ازروش DEA ستانده محورو با در نظرگرفتن خروجی نا مطلوب طی دوره ۸۸-۱۳۸۲ پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که پالایشگاه بندرعباس کاراترین پالایشگاه بوده و نرخ رشد زیست کارایی 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 بهره گیری ازالگوی ناپارامتریک DEA ومقایسه و معرفی مدل‌های شعاعی و غیرشعاعی طی دوره ۱۳۸۹-۱۳۹۳ پرداختند. ستانده‌ها به دو گروه مطلوب(تولید برق) و نامطلوب(انتشارCO_2) تفکیک شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که در بین شرکت‌های برق منطقه‌ای، شرکت‌های برق کرمان وخوزستان 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 (انتشارCO_2) به ارزیابی سه بخشی کارایی زیست‌محیطی صنعت برق ایران با در نظر گرفتن ساختاردرونی یا پیوندهای میان بخش‌های مختلف یک سازمان با استفاده از ترکیب مدل غیرشعاعی

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

SBM و ساختار شبکه سه بخشی با توجه به تشکیل شرکت برق از سه بخش تولید، انتقال و توزیع طی سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۸۹ 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[1] (۱۹۹۹) ارائه شد این مدل از دو ویژگی مهم تغییرناپذیری واحد[2] و تغییرناپذیری تبدیل[3] برخوردار می‌باشد. تغییرناپذیری واحد به این معنی است که اندازه‌گیری کارایی مستقل ازواحدهای نهاده و ستانده‌ها می‌باشد به عبارتی دیگر درصورت 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):

$$\begin{aligned} &\text{Max } \frac{1}{m+s}\left(\sum_{i=1}^{m} \frac{S_i^-}{R_i^-} + \sum_{r=1}^{s} \frac{S_r^+}{R_r^+} \right) \\ &\text{St: } x_{i0} = \sum_{j=1}^{n} x_{ij}\lambda_j + s_{i0}^- \quad , \qquad i = 1, \ \dots, m \\ &\qquad y_{r0} = \sum_{j=1}^{n} y_{rj}\lambda_j - s_{r0}^+ \quad , \qquad r = 1, \ \dots, s \\ &\qquad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1 \end{aligned} \tag{۳}$$

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

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

R_r^+ 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

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

شاخص کارایی به شکل ذیل می‌باشد:

$$0 \le 1 - \frac{1}{m+s}\left(\sum_{i=1}^{m}\frac{S_i^-}{R_i^-} + \sum_{r=1}^{s}\frac{S_r^+}{R_r^+}\right) \le 1$$

سپس سویوشی 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:

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

$$s.t.\begin{cases} \sum_{k=1}^{k}\lambda_k\, x_{nk} + s_n^x = x_{nl}, & n = 1,2,\dots,N \\ \sum_{k=1}^{k}\lambda_k\, e_{ik} - s_i^{e+} + s_i^{e-} = e_{il} & i = 1,2,\dots,I \\ \sum_{k=1}^{k}\lambda_k\, y_{mk} - s_m^y = y_{ml} & m = 1,2,\dots,M \\ \sum_{k=1}^{k}\lambda_k\, u_{jk} + s_j^u = u_{jl} & j = 1,2,\dots,J \\ \sum_{k=1}^{k}\lambda_k = 1 & \\ \lambda_k \ge 0 & K = 1,2,\dots k \\ s_n^x, s_m^y \ge 0;\; s_i^{e+}, s_i^{e-} \ge 0 \;\; s_i^{e+}.s_i^{e-} = 0 & \\ s_j^u \ge 0 & \end{cases} \qquad (۴)$$

R_n^x(n=1,2,…,N) , R_i^e(i=1,2,…,I) , R_m^y(m=1,2,…,M) , R_j^u(j=1,2,…,J) نشان دهنده بردهای متغیرهای تحقیق است. این متغیرها با استفاده از کران‌های بالا و پایین به شکل زیر برآورد می‌شود:

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

$$R_n^x = (X_{nk})_{max} - (X_{nk})_{min} \quad (n = 1,2,\cdots N)$$
$$R_i^e = (e_{ik})_{max} - (e_{ik})_{min} \quad (i = 1,2,\cdots I)$$
$$R_j^u = \left(u_{jk}\right)_{max} - \left(u_{jk}\right)_{min}, \quad (j = 1,2,\cdots J)$$
$$R_m^y = (y_{mk})_{max} - (y_{mk})_{min} \quad (m = 1,2,\cdots M)$$

سپس کارایی زیست‌محیطی هر واحد تصمیم‌گیری را می‌توان به شکل ذیل تعریف نمود:

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

مدلRAM بر متغیرهای کمکی که نشانگر سطح ناکارایی است مبتنی می‌باشد. بنابراین مطابق پژوهش کوپر، ناکارایی ستانده مطلوب و نامطلوب را می‌توان به شکل ذیل تفکیک نمود(کوپروهمکاران،۱۹۹۹):

$$NE_y = \frac{1}{1-\theta} \times \frac{\sum_{m=1}^{M} s_m^y / R_m^y}{(N+M+I+J)} \quad (۵)$$

$$NE_u = \frac{1}{1-\theta} \times \frac{\sum_{j=1}^{J} s_j^u / R_j^u}{(N+M+I+J)} \quad (۶)$$

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 می‌باشد:

$$yp_k = \left(NE_y\right)_k \times y_k \quad (۷)$$

$$up_k = (NE_u)_k \times u_k \quad (۸)$$

۵. نتایج و بحث

واحدهای تصمیم گیری در این مطالعه صنایع انرژی بر ایران شامل زیرگروه‌های مختلف صنایع تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی (کد ۲۶ طبقه بندیISIC)، تولید فلزات اساسی (کد ۲۷ طبقه بندیISIC) وتولید محصولات شیمیایی (کد۲۴ طبقه بندیISIC) است که درجدول یک درج شده‌اند. نهاده‌ها به دو گروه غیرانرژی و انرژی تقسیم شده‌اند. نهاده‌های غیرانرژی شامل ارزش سرمایه‌گذاری با واحد میلیون ریال، نیروی کار با واحد نفر و نهاده‌های انرژی شامل

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

سوخت‌های مختلف نفت سفید، گازوییل، 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 واحدکیلو گرم به عنوان ستانده نامطلوب می‌باشند. اطلاعات مربوط به داده‌های نهاده‌ها وستانده‌های صنایع از مرکزآمار 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 آلایندگی[1] 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.

جدول۱. صنایع زیرگروه کدهای ۲۶،۲۷ و۲۴ 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 بتانه
	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.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

صنعت	کد ISIC	نام زیرصنعت
	۲۴۲۴	تولید صابون و مواد پاک‌کننده 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 غیرفلزی (کد ۲۶)	۲۶۱۱	تولید شیشه جام
	۲۶۱۲	تولید محصولات شیشه ای به‌جز 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 گران‌بها و سایر محصولات اساسی– به‌جز آهن، فولاد، مس و آلومینیوم
	۲۷۳۱	ریخته گری آهن و فولاد
	۲۷۳۲	ریخته گری فلزات غیر آهنی

مأخذ: نتایج تحقیق

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

اندازه‌گیری کارایی زیست‌محیطی صنایع انرژی بر ایران

برای اندازه‌گیری کارایی زیست‌محیطی صنایع انرژی بر ایران از مدل برد تنظیم شده(RAM) استفاده شده است[1]. 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. بعداز آن، گروه صنایع تولید مواد و محصولات شیمیایی با میانگین ارزش کارایی ۰/۹۴ رتبه دوم را دارا می‌باشد. پایین‌ترین سطح کارایی نیزمربوط به گروه تولید سایر محصولات کانی غیرفلزی با ارزش ۰/۸۲می باشد. 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 اندازه گیری مقدار کارایی از نرم افزارGAMS استفاده شده است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

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 ریخته گری 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 وصنعت تولید صابون و مواد پاک کننده 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 ازروند 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 طبقه بندی 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 دچارنوسانات بیشتری بوده است. سایر صنایع روند غالبی ندارند. نمودار شماره دو میانگین کارایی زیست‌محیطی صنایع مختلف را نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود چهار صنعت ازمیانگین کارایی یک برخوردارند وارزش کارایی تعدادی از صنایع نیز بالای ۹۰درصد 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 وتولید کود شیمیایی و ترکیبات ازت

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

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 وتولید سیمان و آهک و گچ از پایین‌ترین مقدارکارایی در بین صنایع مختلف به ترتیب با ارزش ۰/۶۶ و۰/۴۹ می‌باشند. با توجه به پایین بودن نسبی کارایی زیست‌محیطی، این صنایع می‌بایستی تلاش بیشتری در جهت بهبود کارایی خود از طریق افزایش ستانده مطلوب وکاهش ستانده نامطلوب با حفظ همان سطح از نهاده‌ها بنمایند.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

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

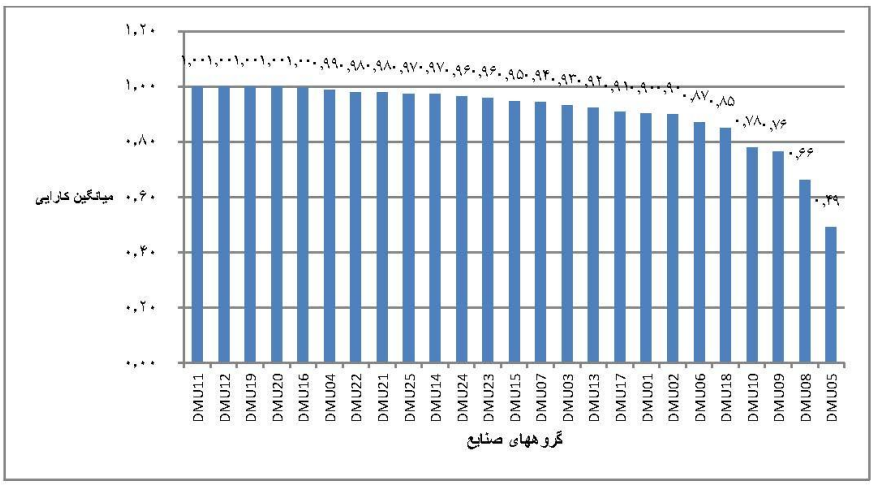
[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

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 گران‌بها و سایر محصولات اساسی– به‌جز 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 به‌جز 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 فراورد ه‌های شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

DMU	نام DMU	۱۳۸۷	۱۳۸۸	۱۳۸۹	۱۳۹۰	۱۳۹۱	۱۳۹۲	میانگین
۲۱	تولید انواع رنگ و روغن جلا و پوشش‌های مشابه و بتانه	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 پا ک 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

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]



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 (انتشارCO_2) 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 ازکمبود ستانده مطلوب یا مازاد ستانده نامطلوب می‌توان میزان تمرکز و تلاش لازم بیشتر هر صنعت برروی هر یک از این عوامل به جهت افزایش کارایی را مشخص نمود. میانگین پتانسیل بالقوه افزایش ستانده مطلوب وکاهش انتشارستانده نامطلوب(CO_2) هرصنعت طی سال‌های ۹۲-۱۳۸۷در جدول سه و نمودارهای شماره چهارو 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 فراورده‌های شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی از جمله صنایعی هستندکه ناکارایی در ستانده مطلوب و

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

نامطلوب انها صفر بوده، بنابراین مقادیری نیز برای افزایش ستانده مطلوب یا کاهش ستانده نامطلوب آنها مشاهده نمی‌گردد. همچنان که در جدول شماره دو نیز مشاهده می‌گردد کارایی این صنایع به جز صنعت تولید محصولات آلومینیومی همگی یک می‌باشد. بنابراین دلیل وجود عدم کارایی این صنعت به جز دو عامل کمبود ستانده مطلوب یا مازادستانده نامطلوب می‌باشد.

همچنین تولید سایر محصولات گلی و سرامیکی غیر نسوز ساختمانی وتولید مواد شیمیایی اساسی به‌جز 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 ستانده‌ها (مطلوب و نامطلوب) از ناکارایی در تولید ستانده مطلوب و انتشارCO_2 به عنوان ستانده نامطلوب برخوردارند. همان طور که در نمودار چهار مشاهده می‌شود بیشترین میزان پتانسیل کاهش انتشارCO_2 به ترتیب در صنایع تولید سیمان و آهک و گچ، تولید اجر، تولید مواد شیمیایی اساسی به‌جز کود و ترکیبات ازت وتولید کود شیمیایی و ترکیبات ازت و سپس سایر صنایع می‌باشد. همان طور که از نتایج کارایی زیست‌محیطی و میزان انتشار الاینده‌های این صنایع نیز انتظار می‌رفت این صنایع می‌بایستی به جهت افزایش کارایی خود تلاش بیشتری در جهت کاهش انتشار آلاینده‌ها نمایند. بیشترین پتانسیل افزایش ستانده مطلوب به جهت افزایش کارایی زیست‌محیطی نیز همان طور که در نمودار پنج مشاهده می‌شود 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– به‌جز آهن و فولاد و مس و آلومینیوم و سپس سایر صنایع می‌باشد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

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

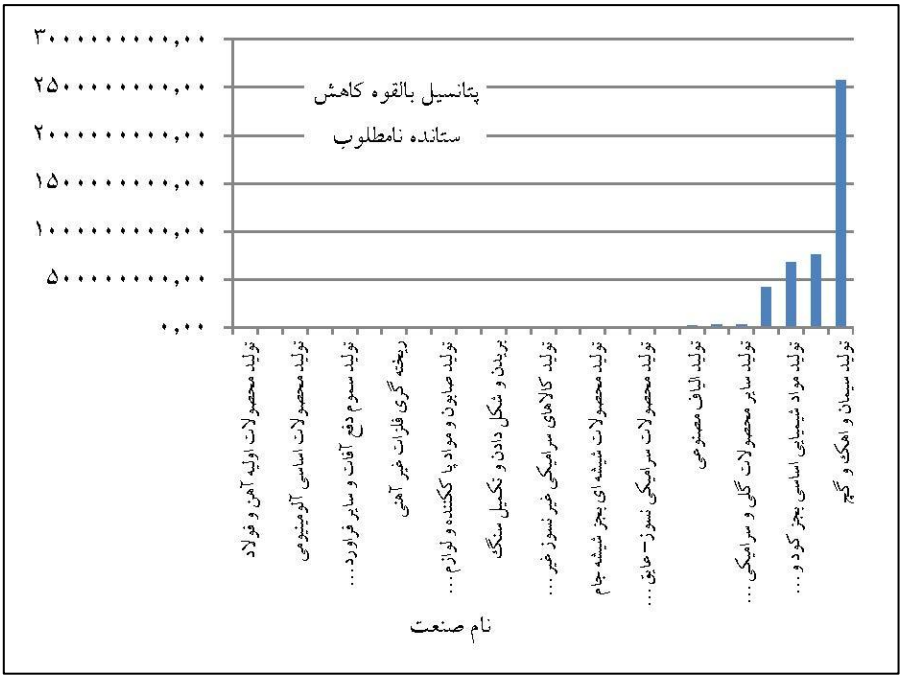
DMU	نام واحد	Neu	Ney	UPk	YPk
۱	تولید شیشه جام	۰/۰۱۳	۰/۰۰۸	۱۳۲۵۳۹۱۳/۸۴	۴۱۱۹۹/۶۱
۲	تولید محصولات شیشه ای به‌جز شیشه جام	۰/۰۰۳	۰/۰۰۹	۲۲۳۱۲۵۷/۸۳	۴۴۸۹۵/۶۳
۳	تولید کالاهای سرامیکی غیر نسوز غیر ساختمانی	۰/۰۰۱	۰/۰۲۲	۵۵۰۸۵۰/۱۸	۶۵۰۱۶/۱۹۶
۴	تولید محصولات سرامیکی نسوز– عایق حرارت	۰/۰۲۰	۰/۰۲۶	۳۸۲۳۸۶۶/۲۸۴	۱۰۰۱۷۸/۵۳
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 گران‌بها و سایر محصولات اساسی– به‌جز آهن و فولاد و مس و آلومینیوم	۰/۰۰۴۶	۰/۰۷۴	۱۳۶۹۰۳۹/۳۷۱	۵۱۶۲۰۳/۱۴۶

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

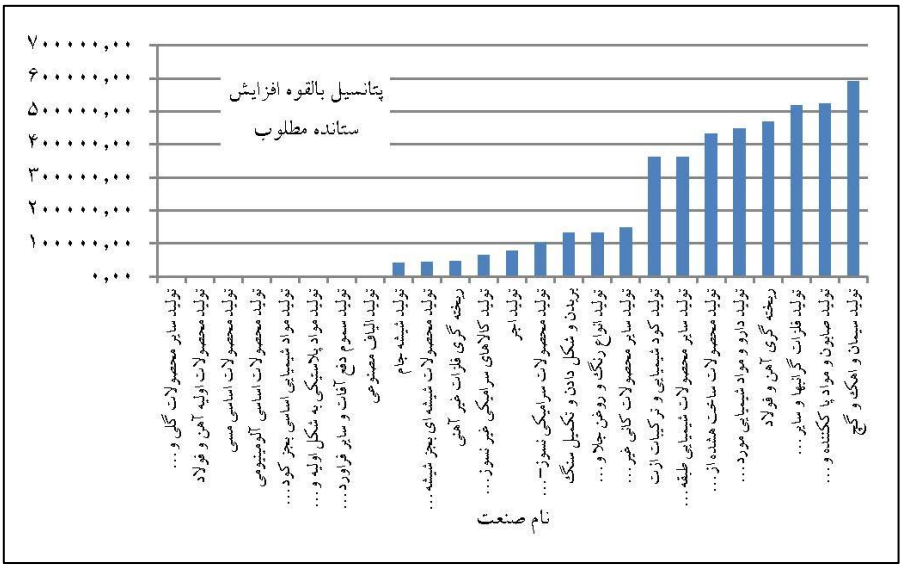
DMU	نام واحد	Neu	Ney	UPk	YPk
۱۵	ریخته گری آهن و فولاد	۰/۰۰۱	۰/۰۶۸	۲۳۳۰۹۰/۱۵۵	۴۶۹۶۸۵/۲۲۶
۱۶	ریخته گری فلزات غیر آهنی	۰/۰۰۳	۰/۰۳۸	۱۳۳۹۸۴/۹۶	۴۶۷۵۱/۶۵۹
۱۷	تولید مواد شیمیایی اساسی به‌جز کود و ترکیبات ازت	۰/۰۸۵	۰/۰۰۰	۶۷۹۱۱۷۸۶۳/۹	۰
۱۸	تولید کود شیمیایی و ترکیبات ازت	۰/۱۱۵	۰/۰۲۰	۴۱۸۶۲۱۰۳۵/۶	۳۶۱۷۱۸/۱۱۵
۱۹	تولید 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

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]



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



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

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

درگروه صنایع سایر محصولات کانی غیرفلزی، صنایع تولید سیمان و آهک و گچ، تولید اجر، تولید سایر محصولات گلی و سرامیکی غیر نسوز ساختمانی وتولید سایر محصولات کانی غیر فلزی طبقه بندی نشده درجای دیگر بیشترین میزان پتانسیل کاهش انتشار CO_2 به عنوان ستانده نامطلوب به جهت افزایش سطح کارایی را دارا می‌باشند. 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 دیگربه ترتیب بیشترین پتانسیل بالقوه افزایش ستانده مطلوب به جهت افزایش سطح کارایی خود را در این گروه دارند. همان طور که انتظار نیز می‌رفت با توجه به پایین بودن سطح کارایی زیست‌محیطی 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 می‌بایستی توجه ویژه‌ای 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 وتولید محصولات اساسی آلومینیومی که از کارایی یک برخوردارند. بیشترین سطح میانگین پتانسیل کاهش انتشار CO_2 و بیشترین پتانسیل افزایش ستانده مطلوب به ترتیب مربوط به صنایع تولید فلزات گران‌بها و سایر محصولات اساسی–به‌جز آهن و فولاد و مس و آلومینیوم، ریخته گری آهن و فولاد و ریخته گری فلزات غیر آهنی می‌باشد.

درگروه صنایع تولید مواد و محصولات شیمیایی ، تولید مواد شیمیایی اساسی به‌جز کود و ترکیبات ازت، تولید کود شیمیایی و ترکیبات ازت و تولید الیاف مصنوعی از بیشترین پتانسیل کاهش انتشار CO_2 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 می‌باشد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

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 درمیان ۲۵ زیرگروه ازصنایع مختلف انرژی برایران 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 دوگروه 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 وتولید سموم دفع آفات و سایر فراورده‌های شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی بهترین عملکرد را در میان صنایع مورد بررسی داشته واز 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 وتولید سایر محصولات کانی غیر فلزی طبقه بندی نشده در جای دیگر بدترین عملکرد راداشته واز 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 CO_2) و کمبود ستانده مطلوب هر صنعت با استفاده از مدل برد تنظیم شده (RAM) نشان داد که بیشترین متوسط میزان پتانسیل کاهش انتشارCO_2 به ترتیب در صنایع تولید سیمان و آهک و گچ، تولید اجر، تولید مواد شیمیایی اساسی به‌جز کود و ترکیبات ازت وتولید کود شیمیایی و ترکیبات ازت و سپس سایر صنایع می‌باشد. این صنایع از میزان انتشار بالایی برخوردارند لذا می‌بایستی درکناردو صنعت سایرمحصولات گلی و سرامیکی غیر نسوز ساختمانی وتولید سایر محصولات کانی غیر فلزی

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

طبقه بندی نشده در جای دیگر که در رتبه‌های بعدی قرار دارند به مسائل زیست‌محیطی و انتشارآلاینده‌ها توجه بیشتری نمایند.

بیشترین پتانسیل متوسط افزایش ستانده مطلوب به جهت افزایش کارایی نیز به ترتیب مربوط به صنایع تولید سیمان وآهک وگچ، تولید صابون ومواد پاک کننده، تولید فلزات گران‌بها و سایر محصولات اساسی–به‌جز آهن و فولاد و مس و آلومینیوم و سپس سایر صنایع می‌باشد. درواقع این صنایع از کمبود بیشتری در تولید ستانده مطلوب به نسبت صنایع دیگربرخوردار بوده اند که منجر به کاهش میزان کارایی آن شده است و بنابراین می‌بایستی علاوه برکاهش انتشارco2، استراتژی خاصی نیز جهت افزایش تولید محصول خود داشته باشند. دراین میان صنعت تولید سیمان وآهک وگچ 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 زیست‌محیطی پایین می‌تواند برای سیاست‌گذار انرژی از این حیث مفید باشد که حتماً با توجه به میزان بالای انتشار آلاینده‌ها می‌بایستی توجه ویژه‌ای به کاهش انتشار آلاینده‌های این صنایع از قبیل جایگزینی سوخت‌هایی که از ضریب آلایندگی پایین‌تری برخوردارند نظیرگاز طبیعی به جای سوخت‌هایی باضریب آلایندگی بالاتر نظیر نفت کوره و گازوییل و تغییر سطح تکنولوژی به جهت کاهش مصرف انرژی از طرق مختلف برقراری ومقررات زیست‌محیطی سختگیرانه نظیرتغییراجباری نوع مصرف سوخت‌هایی با ضریب آلایندگی بالا، مالیات بر مصرف سوخت‌هایی با ضریب آلایندگی بالا، مالیات بر تولید ستانده نامطلوب، افزایش نرخ فروش سوخت‌هایی با درجه ضریب آلایندگی بالاتر نسبت به سوخت‌هایی با ضریب آلایندگی پایین‌تر نمود.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

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.

امامی میبدی، ع. و ف. جایدری (۱۳۹۳)، "اندازه‌گیری زیست کارایی پالایشگاه های نفت ایران با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها" ، *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی، رشد و توسعه پایدار*، سال چهاردهم، شماره ۴، صص ۹۶-۷۹.

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"، *سیاست‌ها ی اقتصادی*، ۸(۱۸)، صص ۱۱۰-۸۷.

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"، *نظریه های کاربردی اقتصاد*، ۲(۱)، صص ۱۲۰-۹۹.

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. ممی پور (۱۳۹۷) "ارزیابی سه بخشی کارایی زیست‌محیطی صنعت برق ایران: رهیافت تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای"، *مجله تحقیقات اقتصادی*، دوره ۵۳، شماره۲، صص۴۶۳-۴۳۷.

مهرگان، نادر(۱۳۹۱)، *تحلیل پوششی داده‌ها، مدل‌های کمی در ارزیابی عملکرد سازمان‌ها*، تهران: نشر کتاب دانشگاهی.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

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 Measurment 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.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

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.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]