Archive of SID

فصل‌نامه‌ی مطالعات اقتصاد انرژی/ سال هشتم / شماره‌ی ۳۰/ پائیز ۱۳۹۰/ صفحات ۱۵۴- ۱۲۵

اندازه‌گیری کارایی زیست‌محیطی با استفاده از مدل کارایی سراسری ستانده‌ی مطلوب و نامطلوب تفکیک‌ناپذیر سراسری در بخش تولید انرژی الکتریکی شرکت‌های برق منطقه‌ای

حمید آماده

عضو هئیت علمی دانشکده‌ی اقتصاد دانشگاه علامه طباطبائی amadeh@gmail.com

علی رضائی*

دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد محیط‌زیست دانشگاه علامه طباطبائی ali.rezaei.ee@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۰/۱/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۰/۵/۸

چکیده

با افزایش نگرانی‌ها در رابطه با کیفیت محیط‌زیست، لحاظ کردن آثار منفی ناشی از فعالیت‌های اقتصادی در ارزیابی کارایی و بهره‌وری بنگاه‌ها در سطوح خرد و کلان و صنایع انرژی‌بَر و آلاینده ضروری به نظر می‌رسد. در این مقاله با استفاده از مدل ستانده‌ی مطلوب و نامطلوب تفکیک‌ناپذیر، کارایی زیست‌محیطی شرکت‌های برق منطقه‌ای کشور اندازه‌گیری شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که در بین شرکت‌های برق منطقه‌ای، شرکت برق منطقه‌ای آذربایجان و خراسان، هم از نظر کارایی معمولی و هم از نظر کارایی زیست‌محیطی عملکرد ضعیفی دارند. هم‌چنین شرکت منطقه‌ای خوزستان برخلاف کارایی معمولی بالا، از کارایی زیست‌محیطی اندکی برخوردار می‌باشد. شرکت برق منطقه‌ای گیلان دارای کارایی معمولی و زیست‌محیطی واحد می‌باشد. هم‌چنین نتیجه‌ی آزمون کروسکال والیس نشان می‌دهد که لحاظ کردن میزان انتشار دی‌اکسید کربن به عنوان ستانده‌ی نامطلوب اثر معناداری بر امتیاز کارایی شرکت‌ها دارد.

طبقه بندی JEL: Q50، C61

کلید واژه: کارایی زیست‌محیطی، ستانده‌ی نامطلوب، مدل ستانده‌ی مطلوب و نامطلوب تفکیک‌ناپذیر، شرکت برق منطقه‌ای

---

*- نویسنده مسئول

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

توسعه‌ی اقتصادی رکن اساسی مجموعه سیاست‌های هر کشور و انرژی، عامل اصلی و ضروری توسعه‌ی اقتصادی در هر جامعه‌ای است. رشد روزافزون جمعیت، وابستگی به انرژی و به تبع آن رشد مصرف انرژی فسیلی، موجب افزایش مشکلات زیست‌محیطی می‌شود (صادقی و همکاران، ۱۳۸۶). با افزایش نگرانی‌ها در رابطه با محیط‌زیست، توجه به آثار منفی و آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های اقتصادی در ارزیابی کارایی بنگاه‌ها در سطح خرد و کشورها و صنایع انرژی بر و آلاینده در سطح کلان ضروری می‌باشد. از این رو برای ارزیابی عملکرد اقتصادی در سطح بنگاه و اقتصاد ملی به شاخص‌هایی نیاز است که ابعاد زیست محیطی را نیز دربرداشته باشند (کورهونن و لوپتاسیک، ۲۰۰۴)[1].

تولید ستانده‌ی مطلوب و نامطلوب در تئوری‌های رایج تولید و سنجش کارایی انعکاس نیافته است. با این وجود از دهه‌ی ۱۹۸۰ ادبیات درحال رشدی ظاهر شده است که در آن احتساب ذخیره‌ی پسماند تولید شده به همراه ستانده‌ی مطلوب و تعدیل سنجه‌های رایج اندازه‌گیری کارایی و بهره‌وری بنگاه‌ها را مورد توجه قرار داده است. در این ادبیات دو رویکرد عمده در زمینه‌ی الگوسازی برای ستانده‌ی نامطلوب دنبال شده است. در رویکرد اول تمرکز بر روی تخمین قیمت‌های سایه‌ای برای ستانده‌ی نامطلوب می‌باشد که از این قیمت‌ها در محاسبه‌ی آن دسته از شاخص‌های بهره‌وری استفاده می‌شود که مستلزم اطلاعات قیمتی هستند (پیکازو - تادئو و همکاران[2]، ۲۰۰۵). به نظر می‌رسد مشکل اصلی استفاده از شاخص‌های بهره‌وری بر مبنای قیمت در مورد ستانده ی نامطلوب، ویژگی غیربازاری بودن این کالاها باشد، چرا که در دنیای واقعی بازارها در مورد ستانده‌های زیست محیطی و آلاینده‌ها دچار شکست می‌شوند. رویکرد دوم بر گسترش سنجه‌های کارایی تمرکز یافته است. در این رویکرد تحلیل‌های سنتی کارایی که مبتنی بر کار فارل[3] (۱۹۵۷) می‌باشند بسط داده شده و نسبت به حضور ستانده‌ی نامطلوب تعدیل می‌شوند، یعنی حضور ستانده‌ی نامطلوب در فرایند تولید و تأثیرات مقررات زیست‌محیطی بر روی عملکرد بنگاه مدنظر قرار می‌گیرند (پیکازو - تادئو و همکاران، ۲۰۰۵).

1- Korhonen and Luptacik(2004).
2- Picazo-Tadeo et al.
3 - Farrell

www.SID.ir

Archive of SID

هدف این مقاله اندازه‌گیری کارایی زیست‌محیطی در بخش تولید شرکت‌های منطقه‌ای برق کشور، با استفاده از مدل ستانده‌ی مطلوب و نامطلوب تفکیک‌ناپذیر می‌باشد که مبتنی بر روش تحلیل پوششی داده‌ها[1] (DEA) است. با توجه به اهمیت نقش شرکت‌های منطقه‌ای برق در تأمین برق و انرژی بر بودن صنعت برق، ارزیابی کارایی بخش تولید انرژی الکتریکی با لحاظ آثار زیست‌محیطی جهت برنامه‌ریزی برای ارتقای بازدهی، کاهش مصرف انرژی و کاهش انتشار آلودگی که از الزامات نیل به توسعه‌ی پایدار در سطح کلان اقتصادی به شمار می‌روند از اهمیت بسیاری برخوردار است. در این مطالعه فرض می‌شود حضور ستانده‌ی نامطلوب (آلودگی) برروی کارایی شرکت‌های برق منطقه‌ای اثرگذار باشد.

ساختار مقاله به صورت زیر می‌باشد: پس از مقدمه، به ادبیات نظری در زمینه‌ی اندازه گیری کارایی پرداخته می‌شود. در قسمت سوم مقاله، روش تجزیه و تحلیل داده‌ها و مدل‌های ستانده‌ی نامطلوب در اندازه‌گیری کارایی معرفی می‌شود، در قسمت چهارم مطالعات انجام شده ارائه شده و سپس داده و متغیرهای مورد استفاده و نتایج تجربی و در انتها نتیجه‌گیری و پیشنهادات مطرح می‌شود.

۲- ادبیات نظری

در این بخش به معرفی اندازه گیری کارایی و مرز کارا می‌پردازیم.

اندازه‌گیری کارایی

به‌طور معمول کارایی در ارتباط با نحوه‌ی تخصیص بهینه‌ی منابع کمیاب توسط بنگاه برای نیل به اهداف تولید می‌باشد. کارایی تولیدی یک بنگاه با توجه به رابطه‌ی بین مقادیر بهینه و مقادیر مشاهده شده‌ی آن تعیین می‌شود. زمانی که صحبت از کارایی یک بنگاه به میان می‌آید، معمولا به معنای مؤفقیت آن بنگاه در رسیدن به حداکثر ستانده با سطح معین نهاده می‌باشد (فارل، ۱۹۵۷). کارایی، مفهومی نسبی است و برای سنجش کارایی، باید عملکرد بنگاه مورد نظر با کارایی در شرایط بالقوه‌ی تولید مقایسه شود تا مشخص شود که کارایی بنگاه‌ها و واحدهای تولیدی از اندازه‌ی مورد انتظار و ایده‌آل تا چه حد فاصله دارد (مهرگان و مبارک، ۱۳۸۷).

1- Data Envelopment Analysis (DEA).

www.SID.ir

Archive of SID

اندازه‌گیری کارایی در ابتدا با تلاش‌های کوپمنز[1] (۱۹۵۱) و دبرو[2](۱۹۵۱) آغاز شده است. از نظر کوپمنز یک بردار ستانده-نهاده در شرایطی کاملاً کاراست که از نظر فنی امکان افزایش مقدار هیچ ستانده‌ای (یا کاهش مقدار هیچ نهاده‌ای)، بدون کاهش مقدار حداقل یک ستانده‌ی دیگر (یا افزایش مقدار حداقل یک نهاده‌ی دیگر)، وجود نداشته باشد. هرچند کوپمنز تعریفی از کارایی فنی و ویژگی آن ارائه داده، اما به صورت مشخص روشی را برای اندازه‌گیری آن مطرح است. در این زمینه دبرو با تعریف ضریبی با عنوان ضریب بهره‌برداری از منابع، معیاری را برای اندازه‌گیری و تعیین درجه‌ی کارایی فنی مطرح کرده است (حکیمی پور و هژبر کیانی، ۱۳۸۷).

به دنبال مطالعه ی این دو، فارل (۱۹۵۷)، با ارائه ی روشی مبتنی بر حداقل کردن نهاده‌های تولیدی و با به‌کارگیری منحنی تولید یکسان، اولین کسی بوده که به طور تجربی به‌اندازگیری کارایی پرداخته است. وی پیشنهاد کرده که بهتر است عملکرد یک بنگاه با عملکرد بهترین بنگاه موجود در آن صنعت مورد مقایسه قرار گیرد (امامی میبدی، ۱۳۷۹).

کارایی فنی[3]، از دیدگاه فارل در نمودار ۱,۱ و در حالت نهاده محور[4] برای یک بنگاه با دو نهاده‌ی x_1 و x_2 و شرط بازدهی به مقیاس ثابت نشان داده شده است. FF'، منحنی هم‌مقداری بنگاه‌های دارای کارایی ۱۰۰ درصد را در تولید یک واحد ستانده نشان می‌دهد. GP نیز مقدار عدم کارایی را نشان می‌دهد. به این ترتیب کارایی فنی به صورت زیر تعریف می‌شود:

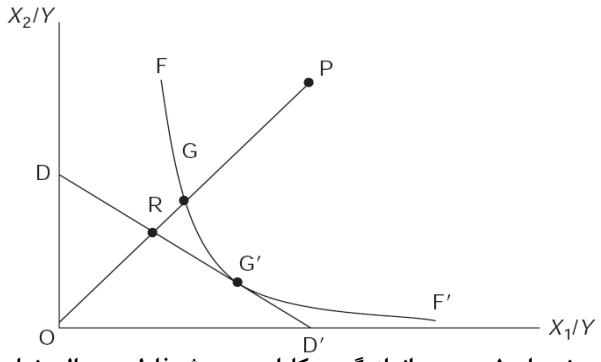
$$TE = ۱ - \frac{GP}{OP} = \frac{OG}{OP}$$

یعنی کارایی فنی عبارت خواهد بود از تولید حداکثر مقدار محصول به ازای استفاده از یک مقدار مشخص از عوامل تولیدی.

1- Koopmans.
2- Debrreu.
3- Technical Efficiency.
4- Input Oriented.

www.SID.ir

Archive of SID



نمودار ۱- محور: اندازه‌گیری کارایی به روش فارل در حالت نهاده

مرز کارا[1]

هر بنگاه با استفاده از نهاده‌ها و تکنولوژی (تابع تولید) خود مجموعه‌ای از حداکثر میزان ستانده‌ها را تولید می‌کند. بر اساس تئوری تولیدکننده و با فرض عقلائی بودن رفتار وی، انتظار می‌رود براساس بهینه‌یابی انجام گرفته توسط تولیدکننده، ستانده با استفاده از سطح معینی از نهاده به حداکثر برسد، اما در عمل ممکن است بنگاه‌ها بر روی این منحنی تولید قرار نگرفته و پایین تر از آن عمل کنند، یعنی در حل مسائل بهینه‌یابی دچار اشتباه شوند (حکیمی پور و هژبر کیانی، ۱۳۸۷). به عبارت دیگر ممکن است برخی بنگاه‌ها در فرایند تولید ناکارا باشند. در حقیقت این مسئله بیانگر مفهوم مرز کارا می‌باشد. برای این که بتوان کارایی یک بنگاه را مورد ارزیابی قرار داد، در ابتدا ما نیازمند است که مرز کارای بنگاه شناسایی شده و برمبنای فاصله‌ی بنگاه از وضعیت ایده‌آل آن، میزان عدم کارایی و به تبع آن کارایی را مشخص شود. برای حل این مسئله، دو رویکرد عمده وجود دارد:

رویکرد پارامتریک

در این رویکرد با فرض یک شکل تابعی برای مرز کارایی (کاب داگلاس، ترانسلوگ و...) و نوع توزیع عدم کارایی (نرمال یک طرفه، گاما و. ..) آن را با استفاده از روش‌های مرسوم اقتصادسنجی تخمین می‌زنند. در ابتدا این رویکرد با استفاده از مدل مرزی معین دنبال شده که در آن عدم کارایی، تلفیقی از عدم کارایی واقعی و جزء اخلال

1- Efficient Frontier.

www.SID.ir

Archive of SID

تخمین بوده است. برای رفع این مشکل مدل مرزی احتمالی[1] توسط تیمر[2](۱۹۷۷) معرفی شده است. سرانجام ایگنر و همکاران[3] (۱۹۷۷)، بارزترین مدل مرزی یعنی تابع تولید مرزی تصادفی[4] را ارائه کرده‌اند. این رویکرد در ادبیات اقتصادی به SFA[5] معروف می‌باشد. (ابریشمی و نیاکان، ۱۳۸۹) با استفاده از این روش ابتدا کارایی فنی ۴۰ نیروگاه حرارتی کشور و عوامل مؤثر بر آن مورد بررسی قرار می‌گیرد و سپس در مقایسه‌ای تطبیقی کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی ۲۲ کشور درحال توسعه از جمله ایران ارزیابی می‌شود.

رویکرد ناپارامتریک

شاخص کارایی فنی که توسط دبرو (۱۹۵۱) و فارل (۱۹۵۷) مطرح شده، بعدها برای تولیدات کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته است. اگرچه فارل معتقد است بیان این شاخص در قالب مسائل برنامه‌ریزی خطی امکان‌پذیر می‌باشد، اما بولز[6](۱۹۶۶) اولین فردی است که مؤفق به نوشتن برنامه برای حل مسئله‌ی برنامه‌ریزی خطی جهت رسیدن به منحنی هم‌مقداری واحد (به ازای تولید یک واحد) در حالت بازدهی به مقیاس ثابت با یک ستانده شده است. (فاره و همکاران[7]، ۱۹۹۴). چارنز و همکاران[8] (۱۹۷۸)، مجموعه‌ای از مسائل برنامه‌ریزی خطی را برای فرموله کردن اندازه‌گیری شاخص کارایی فنی فارل ارائه کرده‌اند. روش آن‌ها در ارزیابی کارایی به تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) معروف شده است. در این روش نیازی به مشخص کردن شکل تابعی وجود ندارد و از روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی استفاده می‌شود. (پورکاظمی و حیدری، ۱۳۸۱)، با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها به‌اندازه‌گیری کارایی نیروگاه های حرارتی کشور پرداخته‌اند. این مطالعه با هدف شناخت وضعیت نیروگاه‌های عمده‌ی تولیدکننده‌ی برق کشور جهت استفاده ی بهینه از منابع موجود و راه حلی درقبال کمبود نقدینگی و سرمایه انجام پذیرفته است.

1- Probabilistic.
2- Timmer(1977).
3- Aigner et al.
4- Stochastic frontier production function.
5- Stochastic Frontier Analysis (SFA).
6- Boles(1966).
7- Fare et al.
8- Charnes et al.

www.SID.ir

Archive of SID

مطالعات انجام گرفته توسط ایگنر و همکاران (۱۹۷۷) و چارنز و همکـاران (۱۹۷۸)، پایـه‌ی مطالعـات کـارایی در رویکردهـای مـرزی پارامتریـک و ناپارامتریـک را تشـکیل می‌دهند. اما انتقاد اصلی بر این مدل‌ها و مطالعات، عدم انعکاس مسائل زیست محیطـی و انتشار آلودگی در اندازه‌گیری و تخمین میزان کارایی می‌باشد. برای حـل ایـن مشـکل در ادامه روش‌هایی ارائه می‌شود که در آن‌ها ستانده‌ی نامطلوب در اندازه‌گیـری کـارایی لحاظ شده است.

۳- روش شناسی تحقیق

در این بخش از مقاله به معرفی مختصر روش DEA، روش تحلیل پنجره‌ای[1] و مدل ستانده‌ی نامطلوب پرداخته می‌شود.

پیشینه‌ی روش تحلیل پوششی داده‌ها

روش DEA یک رویکرد نسبتا جدید و داده محور در اندازه‌گیری کارایی مجموعـه‌ای از بنگاه‌هاست. این روش برای اولین بار در سال ۱۹۷۸ توسط چارنز، کوپر و رودز مطـرح شده است. در این روش از برنامه‌ریـزی خطـی بـرای تعمـیم شـاخص کـارایی فـارل در اندازه‌گیری عملکرد DMU[2]ها استفاده می‌شود. چارنز و همکاران (۱۹۷۸)، اولـین مـدل پایه‌ای در روش DEA را برای اندازه‌گیری کارایی نسبی در حالـت بـازدهی بـه مقیـاس ثابت معرفی کرده و آن را مدل CCR[3] نامیده‌انـد. در ادامـه بنکـر و همکـاران[4] (۱۹۸۴)، مدل CCR را در حالت بازدهی به مقیاس متغیر بسـط داده و مـدل BCC[5] را ارائـه داده است. این دو مدل جزء مدل‌های اساسی و بنیادی روش DEA به شمار می‌آیند.

این مدل‌های پایه‌ای دارای برخی مشکلات می‌باشند، از جمله این‌که ستانده یا نهاده محور بوده و در مدل‌های BCC زمانی که دو بنگاه امتیار کارایی برابری کسب مـی‌کننـد امکان تمایز بین آن‌ها وجود ندارد. برای برطرف کردن این مشکل، مدل‌های جمع‌پـذیر[6] ارائه شده‌اند. در مدل‌های جمع‌پذیر تکیه بر مازاد[7]ها در برنامه‌ریـزی خطـی مـی‌باشـد و هم‌چنین هیچ محوریتی برای ستانده و نهاده وجود ندارد و زمانی کـه دو بنگـاه کـارایی

1- Window.
2- Decision Making unit.
3- Charnes, Cooper, Rohdes (CCR).
4 - Banker et al.
5- Banker, Charnes , Cooper (BCC).
6- Additive.
7- Slack.

www.SID.ir

Archive of SID

یکسانی داشته باشند، مازادها تفاوت بین نهاده یا ستانده را نشان خواهند داد. با این وجود مدل‌های جمع‌پذیر نیز در نشان دادن این تمایز مؤفق نبوده‌اند. در نهایت تن[1] (۲۰۰۱)، مدل مازاد - مبنا[2] (SBM) را معرفی کرده است که از مازادها در ساختن تابع هدف استفاده می‌کند. نقص این مدل عدم توجه به ویژگی شعاعی[3] بودن می‌باشد. برای درک بهتر مسئله می‌توان مدل‌ها را در دو گروه مدل‌های شعاعی و غیر شعاعی[4] جای داد. فرض کنید ۴ نهاده‌ی x_3 ،x_2 ،x_1 و x_4 وجود دارند که x_1 و x_2 شعاعی و x_3 و x_4 غیرشعاعی می‌باشند.با این شرایط، تغییرات x_1 و x_2 به صورت متناسب خواهد بود، یعنی (αx_1 وαx_2) و $\alpha > 0$ در حالی که x_3 و x_4 به صورت غیرشعاعی (نامتانسب) با هم تغییر می‌یابند (کوپر و همکاران،۲۰۰۷). به عبارت دیگر منظور از غیرشعاعی بودن، این است که به فرض اگر نهاده‌ی x_3 به‌اندازه‌ی α تغییر یابد، الزاما نهاده‌ی x_4 به همین اندازه تغییر نخواهد یافت و این تغییر کم‌تر یا بیش‌تر از α خواهد بود. هم‌چنین باید توجه داشت که حالت شعاعی در مورد ستانده نیز مطرح می‌باشد. با توجه به تفاسیر فوق، مدل‌های CCR و BCC، شعاعی و مدل SBM، غیرشعاعی می‌باشد. در ادامه مدل متقاطع[5] ارائه می‌شود که حالت شعاعی و غیرشعاعی را در یک چارچوب واحد در نظر می‌گیرد. در این مدل‌ها می‌توان عدم کارایی نهاده‌ها و ستانده‌های شعاعی را به تفکیک نشان داد. اگر تمام ستانده‌ها و نهاده‌ها را شعاعی و یا غیرشعاعی در نظر بگیریم مدل متقاطع به ترتیب به مدل CCR و SBM تبدیل می‌شود (کوپر و همکاران، ۲۰۰۷).

تحلیل‌های پنجره

تحلیل‌های پنجره یک روش مناسب برای اندازه‌گیری تغییر کارایی طی زمان می‌باشند. این نام و مفهوم اولیه‌ی آن برگرفته از رساله‌ی دکتری کلاپ[6] (۱۹۸۵)، با عنوان «اندازه‌گیری کارایی سیستم‌های تولیدی با چند نهاده و چند ستانده» می‌باشد. علت اصلی استفاده از روش تحلیل پنجره‌ای DEA، ناکافی بودن مشاهدات است. این روش با امکان‌پذیر کردن ترکیب مشاهدات سری زمانی و مقطعی تا حدودی مشکل

1- Tone.
2- Slack-Based Model (SBM).
3- Radial.
4- Non-radial.
5- Hybrid.
6- Klopp.

www.SID.ir

Archive of SID

ناکافی بودن مشاهدات را برطرف می‌کند (اکبری و دین‌محمدی، ۱۳۸۴). از جمله مطالعاتی که از این روش استفاده کرده‌اند، می‌توان به چارنز (۱۹۸۵)، ایتو[1] (۲۰۰۲)، سوفیان[2] (۲۰۰۷)، ام و همکاران[3] (۲۰۰۹)، اشاره کرد. تحلیل‌های پنجره‌ای را می‌توان در قالب جدول ۲,۳ نشان داد. گام اول در کاربرد این مدل، تعیین تعداد DMU ها و تعداد دوره‌های مورد بررسی (k) است. گام بعدی تعیین طول هر پنجره (p) است.

در جدول ۲,۳، n بنگاه (DMU)، k دوره و w پنجره وجود دارد که در هر پنجره k دوره‌ی زمانی خواهیم داشت. در حقیقت در تحلیل پنجره‌ای با نوعی میانگین حسابی سروکار داریم و در هر دوره‌ی منفرد هر بنگاه به‌صورت یک بنگاه مستقل در نظر گرفته می‌شود. به عنوان مثال در پنجره‌ی اول برای تمامی بنگاه‌ها کارایی نسبی در دوره‌ی زمانی ۱ تا p اندازه‌گیری خواهد شد. در پنجره‌ی دوم کارایی نسبی از ۲ تا p+1 مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و این روند برای سایر پنجره‌ها نیز به همین ترتیب انجام می‌پذیرد. در نهایت در پنجره‌ی آخر میزان کارایی نسبی از k-p تا k اندازه‌گیری می‌شود. هم‌چنین در جدول ۲,۳ برای هر DMU مقدار میانگین هر ستون و هر ردیف محاسبه می‌گردد.

نحوه‌ی تعیین طول و تعداد پنجره و سایر ویژگی‌های عددی تحلیل پنجره‌ای در جدول ۱,۳ نشان داده شده است.

جدول ۱-۳- نحوه‌ی تعیین طول و تعداد پنجره و سایر ویژگی‌های عددی تحلیل پنجره‌ای

شرح	فرمول
تعداد پنجره	$w = k - p + 1$
تعداد DMUها در هر پنجره	$np/2$
طول هر پنجره	$p = \begin{cases} \frac{k+1}{2} & k \text{ فرد} \\ \frac{k+1}{2} \pm \frac{1}{2} & k \text{ زوج} \end{cases}$

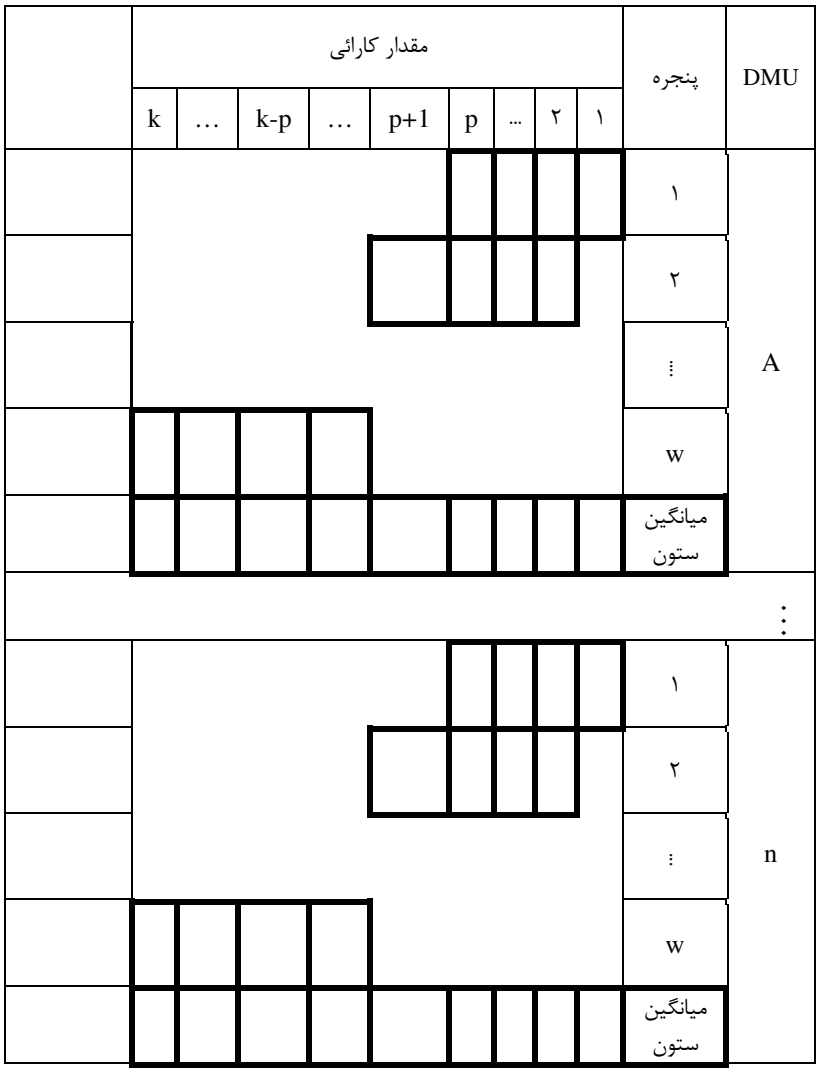
ماخذ: کوپر و همکاران ۲۰۰۷ ، صفحه‌ی ۳۲۷

1- Itoh.
2- Sufian.
3- Emm et al.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- نمایش نموداری تحلیل پنجره‌ای



ماخذ: نتایج تحقیق

واردکردن ستانده نامطلوب[1]

یک روش جدید برای وارد کردن ستانده‌ی نامطلوب در فرایند تولید که به تازگی مورد استفاده قرار می‌گیرد، مدل‌های SBM می‌باشد. (تن، ۲۰۰۴). با توجه به این‌که

1- Undesirable output.

www.SID.ir

Archive of SID

این مدل‌ها غیرشعاعی هستند، استفاده از این مدل‌ها در فرآیندهایی که ستانده‌های مطلوب و نامطلوب تفکیک ناپذیرند، بیانگر عملکرد واقعی نخواهد بود. به عنوان مثال در یک نیروگاه تولید برق، انتشار اکسیدهای نیتروژن و دی‌اکسید گوگرد به عنوان ستانده‌ی نامطلوب متناسب با مصرف ذغال‌سنگ می‌باشد، یعنی ستانده‌ی نامطلوب از نهاده‌ی معینی مانند ذغال‌سنگ تفکیک‌ناپذیر است. برای اندازه‌گیری کارایی در چنین حالت‌هایی از مدل‌های تفکیک ناپذیر ستانده‌ی مطلوب و نامطلوب استفاده می‌شود. این مدل‌ها نوعی مدل متقاطع بوده و به دو نوع SBM تفکیک‌ناپذیر و تفکیک‌ناپذیر سراسری[1] تقسیم می‌شوند که درادامه به معرفی آن‌ها خواهیم پرداخت.

مدل ستانده‌ی مطلوب و نامطلوب تفکیک ناپذیر

در این قسمت ابتدا مجموعه‌ی امکانات تولید در حالت تفکیک‌ناپذیری تعریف شده و سپس مدل‌های ستانده‌ی نامطلوب ارائه می‌شود.

تعریف مجموعه امکانات تولید در حالت تفکیک‌ناپذیری

در هر فرایند تولیدی مقدار مشخصی از نهاده با توجه به تکنولوژی موجود به ستانده تبدیل می‌شود. بردار نهاده‌ها را با X و بردار ستانده‌ها را با Y نشان می‌دهیم. زمانی که در فرایند تولید علاوه بر ستانده‌ی مطلوب Y^g ستانده‌ی نامطلوب Y^b نیز تولید شود، مجموعه ستانده‌ی تولیدی به صورت (Y^g وY^b) نشان داده می‌شود. برای این که حالت تفکیک‌ناپذیری را نشان دهیم، مجموعه‌ی ستانده‌ی مطلوب و نامطلوب را به دو قسمت Y^{S_g} و Y^{NS_b} و (Y^{NS_g} و Y^{NS_b}) تقسیم می‌کنیم که $Y^{S_g} \in R^{s_{11}\times n}$ و $Y^{NS_g} \in R^{s_{21}\times n}$ و $Y^{NS_b} \in R^{s_{22}\times n}$) به ترتیب نشان دهنده‌ی ستانده‌ی مطلوب تفکیک‌پذیر، ستانده‌ی مطلوب تفکیک‌ناپذیر و ستانده‌ی نامطلوب تفکیک‌ناپذیر می‌باشند. به همین ترتیب مجموعه‌ی نهاده‌های X نیز به دو قسمت تقسیم می‌شوند، $X^S \in R^{m_1\times n}$ و $X^{NS} \in R^{m_2\times n}$ که به ترتیب نشانگر نهاده‌ی تفکیک‌پذیر و تفکیک‌ناپذیر می‌باشند. برای Y^{S_g} ساختار تولیدی مشابه با Y^g است؛ با این حال ستانده‌های تفکیک‌ناپذیر نیازمند ساختاری دیگر می‌باشند. کاهش در ستانده‌ی نامطلوب Y^{NS_b} به‌اندازه‌ی αY^{NS_b}، $0 \le \alpha \le 1$، با کاهشی متناسب در ستانده‌ی نامطلوب تفکیک‌ناپذیر به‌اندازه‌ی αY^{NS_g} و نهاده‌ی تفکیک‌ناپذیر αX^{NS} خواهد شد.

1- Non separable-Overall.

www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه‌ی جدید امکانات تولید در حالت تفکیک‌ناپذیری و بازدهی به مقیاس ثابت به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$P_{NS} = \{(x^S, x^{NS}, y^{S_g}, y^{NS_g}, y^{NS_b}) | x^S \geq X^S\lambda, x^{NS} \geq X^{NS}\lambda, y^{S_g} \leq Y^{S_g}\lambda, y^{NS_g} \leq Y^{NS_g}\lambda, y^{NS_b} \geq Y^{NS_b}\lambda, \lambda \geq 0\}$$

کارایی بر اساس مدل‌های تفکیک‌ناپذیر بدین صورت تعریف می‌شود که $DMU_o\left(x_o^s, x_o^{NS}, y_o^{s_g}, y_o^{NS_g}, y_o^{NS_b}\right)$ کارا نامیده می‌شود اگر و فقط اگر دو شرط زیر برقرار باشد:

۱- به ازای هر $0 \leq \alpha \leq 1$ ،α داشته باشیم:

$$\left(x_o^s, x_o^{NS}, y_o^{s_g}, y_o^{NS_g}, y_o^{NS_b}\right) \notin P_{NS}$$

۲- و هیچ $(x^S, x^{NS}, y^{S_g}, y^{NS_g}, y^{NS_b}) \in P_{NS}$ طوری که:

$$x_o^s \geq x^S, x_o^{NS} = x^{NS}, y_o^{s_g} \leq y^{S_g}, y_o^{NS_g} = y^{NS_g}, y_o^{NS_b} = y^{NS_b}$$

و حداقل یک نامساوی اکید باشد (کوپر و همکاران، ۲۰۰۷، صفحه‌ی ۳۷۱).

مدل SBM تفکیک‌ناپذیر (SBM-NS)

برای نهاده و ستانده‌ی تفکیک‌ناپذیر، با استفاده از برنامه‌ریزی خطی برای $(\lambda, s^{S-}, s^{S_g}, \alpha)$ مدل SMB به صورت زیر می‌باشد:

$$\rho^* = \min \frac{1 - \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m_1} \frac{s_i^{S-}}{x_{io}} - \frac{m_2}{m}(1-\alpha)}{1 + \frac{1}{s}\left(\sum_{r=1}^{s_{11}} \frac{s_r^{S_g}}{y_{ro}^{S_g}} + (s_{21} + s_{22})(1-\alpha)\right)}$$

نسبت به:

$$x_o^S = X^S\lambda + s^{S-}$$
$$\alpha x_o^{NS} \geq X^{NS}\lambda$$
$$y_o^{S_g} = Y^{S_g}\lambda - s^{S_g}$$
$$\alpha y_o^{NS_g} \leq Y^{NS_g}\lambda$$
$$\alpha y_o^{NS_b} \geq Y^{NS_b}\lambda$$
$$s^{S-} \geq 0, s^{S_g} \geq 0, \lambda \geq 0, 0 \leq \alpha \leq 1$$

که در آن $m = m_1 + m_2$ و $s = s_{11} + s_{21} + s_{22}$ می‌باشند.

www.SID.ir

Archive of SID

در رابطه‌ی فوق:

ρ^* : مقدار بهینه‌ی هدف

m_1: تعداد نهاده‌های تفکیک پذیر

m_2: تعداد نهاده‌های تفکیک‌ناپذیر

x_{io}: نهاده‌ی i ام DMU_o

$y_{ro}^{S_g}$: ستانده‌ی مطلوب تفکیک‌پذیر r ام DMU_o

s_i^{S-} : مقدار مازاد در نهاده‌ی تفکیک‌پذیر به ازای $0 \le i \le m_1$

s_{11} : تعداد ستانده‌ی مطلوب تفکیک‌پذیر

s_{21} : تعداد ستانده‌ی مطلوب تفکیک‌ناپذیر

s_{22} : تعداد ستانده‌ی نامطلوب تفکیک‌ناپذیر

$s_r^{S_g}$: مقدارکمبود[1] در ستانده‌ی مطلوب تفکیک‌پذیر به ازای $0 \le r \le s_{11}$

λ: بردار نیمه‌ی مثبت در فضای R^n که n تعداد DMUها را نشان می‌دهد، می‌باشند.

براین اساس DMU_o کارای تفکیک‌ناپذیر است اگر و فقط اگر $\rho^* = 1$ باشد، یعنی $s^{S-*} = 0$ و $s^{S_g} = 0$ و α^*

مدل SBM-NS یک نوع مدل متقاطع به شمار می‌آید و همواره خواهیم داشت $0 \le \rho^* \le 1$. در حالتی که مقدار بهینه کوچک‌تر از یک باشد، می‌توان بنگاه را با انتقال‌های[2] کارای مبتنی بر مدل SBM-NS کارا کرد، اما مشکلی که پیش خواهد آمد این است که با این انتقال‌ها ممکن است هنوز مازاد در نهاده‌ها و ستانده‌های تفکیک‌ناپذیر مقدار مثبتی بوده و صفر نشود، چراکه این مازادها در مدل SBM-NS لحاظ نشده‌اند و فرض شده است که این ستانده‌ها دارای کاهش متناسب α^* می‌باشند. در ادامه مدل تفکیک‌ناپذیر سراسری ارائه می‌شود که علاوه بر حل این مشکل برخی محدودیت‌های دیگر را نیز در ارزیابی کارایی مدنظر قرار خواهد داد.

1- Shortage.
2- Projection.

www.SID.ir

Archive of SID

مدل تفکیک‌ناپذیر سراسری

در شرایط واقعی، اغلب نیاز است که علاوه بر محدودیت‌های پیشین، مقدار کلی تمام ستانده‌های مطلوب بدون تغییر باقی بماند و نرخ افزایش[1] ستانده‌ی مطلوب تفکیک‌پذیر با یک مقدار برون‌زا محدود شود. محدودیت اول با فرض این‌که واحدهای اندازه‌گیری بین تمامی ستانده‌های مطلوب یکسان باشد به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\sum_{r=1}^{s_{11}}(y_{ro}^{S_g}+s_r^{S_g})+\alpha\sum_{r=1}^{s_{21}}y_{ro}^{NS_g}=\sum_{r=1}^{s_{11}}y_{ro}^{S_g}+\sum_{r=1}^{s_{21}}y_{ro}^{NS_g}$$

محدودیت دوم به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\frac{s_r^{S_g}}{y_{ro}^{S_g}}\le U$$

که U حد بالای نرخ افزایش ستانده‌های مطلوب تفکیک‌پذیر می‌باشد. در حقیقت U نشان می‌دهد که کمبود ستانده‌ی مطلوب تفکیک‌پذیر چه نسبتی از مقدار فعلی آن می‌باشد تا با افزایش این ستانده به آن مقدار حرکت به سمت مرز بهینه انجام پذیرد. با لحاظ تمام شرایط فوق و با توجه به این‌که مازادهای موجود در ستانده‌های نامطلوب تفکیک‌ناپذیر و نهاده‌های تفکیک‌ناپذیر بر کارایی کلی مؤثرند، مدل ارزیابی کارایی سراسری (NS-Overall) به شکل زیر ارائه می‌شود:

$$\rho^*=\min\frac{1-\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m_1}\frac{s_i^{S-}}{x_{io}^{S}}-\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m_2}\frac{s_i^{NS-}}{x_{io}^{NS}}-\frac{m_2}{m}(1-\alpha)}{1+\frac{1}{s}\left(\sum_{r=1}^{s_{11}}\frac{s_r^{S_g}}{y_{ro}^{S_g}}+\sum_{r=1}^{s_{22}}\frac{s_r^{NS_b}}{y_{ro}^{NS_b}}+(s_{21}+s_{22})(1-\alpha)\right)}$$

نسبت به :

$$x_o^S=X^S\lambda+s^{S-}$$
$$\alpha x_o^{NS}=X^{NS}\lambda+s^{NS-}$$

1- Expansion Rate.

www.SID.ir

Archive of SID

$$y_o^{S_g} = Y^{S_g}\lambda - s^{S_g}$$

$$\alpha y_o^{NS_g} \le Y^{NS_g}\lambda$$

$$\alpha y_o^{NS_b} = Y^{NS_b}\lambda + s^{NS_b}$$

$$\sum_{r=1}^{s_{11}}(y_{ro}^{S_g} + s_r^{S_g}) + \alpha\sum_{r=1}^{s_{21}} y_{ro}^{NS_g} = \sum_{r=1}^{s_{11}} y_{ro}^{S_g} + \sum_{r=1}^{s_{21}} y_{ro}^{NS_g}$$

$$\frac{s_r^{S_g}}{y_{ro}^{S_g}} \le U$$

$$s^{S-} \ge 0\,, s^{NS-} \ge 0, s^{S_g} \ge 0\,, s^{NS_b} \ge 0, \lambda \ge 0\,, 0 \le \alpha \le 1$$

که در آن:

s_i^{NS-} : مازاد در نهاده‌ی تفکیک‌ناپذیر به ازای $0 \le i \le m_2$.

$s_r^{NS_b}$: مازاد در ستانده‌ی نامطلوب تفکیک‌ناپذیر به ازای $0 \le r \le s_{22}$

حال می‌توان کارایی سراسری را بر اساس عدم کارایی‌های ناشی از نهاده‌ها و ستانده‌ها به صورت زیر تجزیه کرد:

$$\rho^* = \min \frac{1 - \sum_{i=1}^{m_1}\alpha_{1i} - \sum_{i=1}^{m_2}\alpha_{2i}}{1 + \sum_{r=1}^{s_{11}}\beta_{1r} + \sum_{r=1}^{s_{21}}\beta_{2r} + \sum_{r=1}^{s_{22}}\beta_{3r}}$$

که:

$$A_{1i} = \frac{1}{m}\frac{s_i^{S-}}{x_{io}^s}\,, \qquad (i = 1, \dots, m_1)$$

$$A_{2i} = \frac{1}{m}(1-\alpha^*) + \frac{1}{m}\frac{s_i^{NS-*}}{x_{io}^{NS}}\,, (i = 1, \dots, m_2)$$

$$B_{1r} = \frac{1}{s}\frac{s_r^{S_g*}}{y_{ro}^{S_g}}\,, \qquad (r = 1, \dots, s_{11})$$

$$B_{2r} = \frac{1}{s}(1-\alpha^*)\,, \qquad (r = 1, \dots, s_{12})$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$\beta_{3r} = \frac{1}{s}(1-\alpha^*) + \frac{1}{s}\frac{s_r^{NS_b*}}{y_{ro}^{NS_b}} \quad (r = 1, \dots, s_{22})$$

در روابط فوق α_{1i} عدم کارایی در نهاده‌ی تفکیک‌پذیر، α_{2i} عدم کارایی نهاده‌ی تفکیک‌ناپذیر، β_{1r} عدم کارایی ستانده‌ی مطلوب تفکیک‌پذیر، β_{2r} عدم کارایی ستانده‌ی مطلوب تفکیک‌ناپذیر و β_{3r} عدم کارایی ستانده‌ی نامطلوب تفکیک‌ناپذیر را نشان می‌دهد.

برای مثال چانگ[1] و یانگ[2] (۲۰۱۱)، کارایی سراسری زباله سوزهای ضایعات جامد شهری[3] در تایوان را با استفاده از مدل کارایی تفکیک‌ناپذیر سراسری بین سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۰۴ مورد بررسی قرار داده‌اند. زباله سوزها با سوزاندن ضایعات جامد شهری آن‌ها را به انرژی‌های تجدیدپذیر تبدیل می‌کنند. در این فرایند علاوه بر تولید نیروی برق، گازهای آلاینده ناشی از احتراق این مواد وارد محیط‌زیست می‌شود. در این مطالعه با توجه به نوع مالکیت و خصوصی سازی، زباله‌سوزها به سه دسته تقسیم شده و کارایی تولید برق و کنترل آلودگی محاسبه شده است. هم‌چنین نتایج حاصل از آزمون کروسکال - والیس[4] نشان می‌دهد که کارایی تولید برق بین سه نوع زباله‌سوز متفاوت می‌باشد، اما از نظر کنترل آلودگی تفاوت معناداری بین آن‌ها وجود ندارد.

علاوه بر مدل‌های فوق تلاش‌های زیادی جهت الگوسازی حضور ستانده‌ی نامطلوب در فرایند تولید و تأثیر آن بر کارایی بنگاه انجام پذیرفته است. یک روش این است که ستانده‌ی نامطلوب به عنوان نهاده درنظر گرفته شود (رافعی، ۱۳۸۹). فاره و گراسکوپف[5](۲۰۰۴)، معتقدند که از نظر فنی امکان پذیر نیست که نهاده‌ی مطلوب و نامطلوب جانشین هم شوند. به عنوان مثال در نیروگاه تولید برق با سوخت زغال سنگ این امکان وجود ندارد که برای تولید سطح معینی از الکتریسیته گاز SO2 (ستانده‌ی نامطلوب که به عنوان نهاده لحاظ شده است) جایگزین زغال سنگ شود. از سویی سیفورد و ژو[6](۲۰۰۲) بیان می‌کنند که اگر ستانده‌ی نامطلوب به عنوان نهاده درنظر گرفته شود، نتایج حاصل از روش DEA فرایند واقعی تولید را منعکس نمی‌کند، از

1- Chang.
2- Yang.
3- Municipal Solid Waste Incinerators (MSWI).
4- Kruskal-Wallis.
5- Fare & Grosskopf.
6- Zhu.

www.SID.ir

Archive of SID

سویی ما به دنبال کاهش ستانده‌ی نامطلوب و افزایش ستانده‌ی مطلوب هستیم، یعنی برخورد نامتقارن با این دو ستانده مدنظر خواهد بود که در روش‌های معمولی DEA این مسئله مورد توجه قرار نمی‌گیرد. روشی که سیفورد و ژو برای حل مشکل ارائه داده‌اند بدین صورت می‌باشد که در ابتدا ستانده‌ی نامطلوب را در منفی ضرب می‌کنیم و سپس یک بردار تبدیل پیدا می‌کنیم که جمع آن با داده‌های منفی، یک بردار مثبت از داده‌ها را ایجاد کند، اما این روش را می‌توان فقط در حالت بازدهی به مقیاس ثابت مورد استفاده قرار داد (شیل[1]، ۲۰۰۱). روش دیگر این است که معکوس ستانده‌ی نامطلوب را به عنوان یک ستانده‌ی مطلوب در نظر بگیریم (لویس و سکستون[2]، ۲۰۰۴). کوپر و همکاران (۲۰۰۷)، معتقدند که این روش منجر به تغییر شکل مرزهای کارایی می‌شود و ممکن است تفاسیر متفاوتی از وضعیت کارایی بنگاه به‌وجود آورد. از سویی دیکهوف[3](۲۰۰۲) نیز سخت شدن تحلیل نتایج و از دست رفتن شکل خطی را مشکل این روش می‌داند. به عنوان مثال وی بیان می‌کند که $\frac{1}{0}$ معنی دار نخواهد بود. روش‌های فوق همگی روش‌های غیرمستقیم وارد کردن ستانده‌ی نامطلوب در مدل می‌باشند. روش مستقیم برای این منظور، تحمیل فرض قابلیت دفع ضعیف[4] بر تکنولوژی می‌باشد (مراجعه شود به پیکازو-تادئو و همکاران، ۲۰۰۵ و فاره و گراسکوپف (۲۰۰۴) یانگ و پولیت [5] (۲۰۱۰)). منظور از قابلیت دفع ضعیف این است که تولید ستانده‌ی نامطلوب را نمی‌توان به هر اندازه افزایش داد که این مسئله احتمالا ناشی از مقررات زیست‌محیطی می‌باشد. این روش برپایه‌ی تابع مسافت جهت‌دار[6] بنا شده است و ویژگی آن شعاعی بودن می‌باشد. با توجه به این‌که تابع مسافت ستانده (و نهاده) حالت‌های خاص تابع مسافت جهت‌دار می‌باشد (فاره و گراسکوپف، ۲۰۰۰)، دیگر با مسئله‌ی ستانده یا نهاده‌ی محور بودن تحلیل‌ها مواجه نخواهیم بود، اما باز این روش را می‌توان در حالت‌های خاص به‌کار برد، چرا که نمی‌توان با استفاده از آن هم‌زمان حالت شعاعی و غیرشعاعی را نشان داد. برای حل این مشکلات مدل‌های کارایی سراسری (کوپر و همکاران، ۲۰۰۷) ارائه شده‌اند که نه شعاعی بوده و نه محوریت خاصی دارند و

1- Sheel.
2- Lewis & Sexton .
3- Dyckhof.
4- Weak disposability.
5- Yang & Pollitt.
6- Directional Distance function.

www.SID.ir

Archive of SID

کارایی به‌دست آمده در این روش بر مبنای افزایش ستانده‌ی مطلوب هم‌زمان با کاهش در میزان ستانده‌ی نامطلوب و نهاده قرار دارد.

۳- مطالعات تجربی

ناصرزاده (۱۳۸۹)، به بررسی کارایی زیست‌محیطی نیروگاه‌های کشور بین سال‌های ۸۲ تا ۸۶ پرداخته است. ستانده‌های تولید برق و انتشار دی‌اکسیدکربن به عنوان ستانده‌ی مطلوب و نامطلوب و نیروی کار، سوخت مصرفی و ظرفیت نامی نیروگاه به‌عنوان نهاده مورد استفاده قرار گرفته‌اند. نتایج حاصل از روش DEA، نشان می‌دهد که کارایی زیست‌محیطی، ۴۰ نیروگاه مورد بررسی طی دوره‌ی مورد نظر در حال کاهش بوده است. هم‌چنین بین کارایی زیست‌محیطی و نوع سوخت مصرفی در نیروگاه‌ها رابطه‌ی معناداری وجود دارد.

کورهونن و لوپتاسیک (۲۰۰۴)، برای اندازگیری کارایی زیست‌محیطی از دو روش استفاده کرده‌اند. در روش اول ابتدا کارایی فنی با توجه به رابطه‌ی بین ستانده‌ی مطلوب و نهاده محاسبه می‌شود و سپس کارایی زیست‌محیطی با توجه به رابطه‌ی ستانده‌ی مطلوب و نامطلوب به‌دست می‌آید. از ترکیب این دو کارایی ملاک عملی را برای ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی نیروگاه‌ها استخراج کرده‌اند. در رویکرد دوم ستانده ی نامطلوب به عنوان یک نهاده مورد استفاده قرار گرفته و کارایی محاسبه شده است. هم‌چنین نتایج حاصل از دو مدل مشابه با یکدیگر می‌باشند.

یانگ و پولیت (۲۰۰۷)، در مطالعه‌ای به بررسی کارایی زیست‌محیطی ۵۸۲ نیروگاه مصرف‌کننده‌ی سوخت زغال‌سنگ کشور چین در سال ۲۰۰۲ پرداخته‌اند. تولید سالانه به عنوان ستانده‌ی مطلوب و میزان انتشار گازهای دی‌اکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن و دی‌اکسید سولفور به عنوان ستانده‌ی نامطلوب در نظر گرفته شده‌اند. هم‌چنین این دو در مطالعه‌ای دیگر بهره‌وری زیست‌محیطی نیروگاه‌ها برق کشور چین طی دوره‌ی۲۰۰۲ -۱۹۹۶ را اندازه‌گیری کرده‌اند. نتایج حاصل نشان می‌دهد که رشد صنایع برق چین به منابع مورد استفاده بستگی دارد. هم‌چنین امکان بالقوه‌ای برای رشد کارایی و بهبود کنترل آلودگی در نیروگاه‌ها وجود دارد.

www.SID.ir

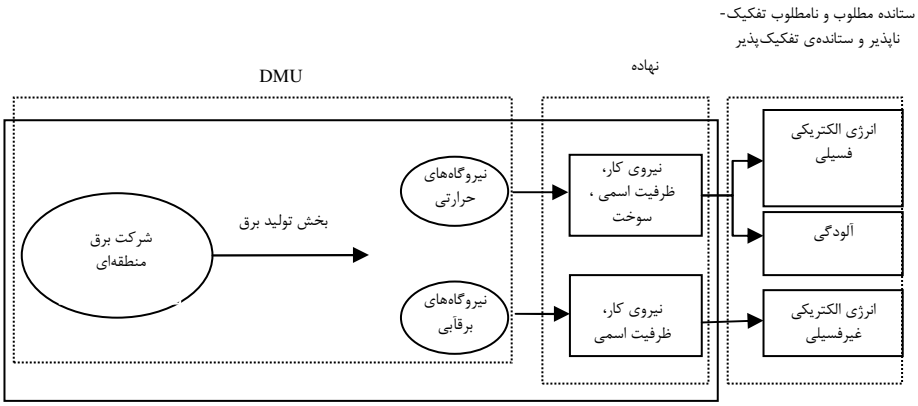
Archive of SID

۴- یافته‌های تحقیق

در این بخش ابتدا داده‌های را معرفی کرده و سپس نتایج را بررسی می کنیم.

داده‌ها

بخش تولید شرکت‌های برق منطقه‌ای با استفاده از نهاده‌های سرمایه، نیروی کار و سوخت در بخش نیروگاه‌های حرارتی و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در بخش نیروگاه‌های برقابی، ستانده‌ی مطلوب انرژی الکتریکی و ستانده‌ی نامطلوب آلودگی (در بخش نیروگاه‌های حرارتی) را تولید می‌کنند. شرکت‌های برق منطقه‌ای مورد بررسی در این مطالعه دارای دو نوع نیروگاه در بخش تولید می‌باشند که این نیروگاه‌ها یا از سوخت‌های فسیلی و یا از انرژی آب برای تولید برق استفاده می‌کنند. به این ترتیب DMU مورد ارزیابی بخش تولید شرکت‌های برق منطقه‌ای است که شامل مجموعه‌ای از نیروگاه‌های حرارتی و برق آبی در اختیار هر شرکت می‌باشد. فرایند تولید برق در این شرکت‌ها در شکل ۴,۱ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱- توصیف فرایند تولید انرژی الکتریکی در یک شرکت برق منطقه‌ای با توجه به مدل کارائی سراسری

همان‌طور که در شکل (۱) مشاهد می‌شود عملکرد بخش تولید شرکت برق منطقه‌ای مطابق با مدل کارایی سراسری می‌باشد. یک شرکت برق منطقه‌ای با استفاده از دو نوع نیروگاه در بخش تولید انرژی الکتریکی(DMU) و با استفاده از نهاده‌ی ظرفیت نامی، نفت‌وگاز، گاز و نفت‌کوره به عنوان سوخت مصرفی (نهاده‌ی تفکیک‌ناپذیر) و

www.SID.ir

Archive of SID

نیروی‌کار، ستانده‌های انرژی الکتریکی حاصل از نیروگاه‌های حرارتی (ستانده‌ی مطلوب تفکیک‌ناپذیر)، آلودگی (ستانده‌ی نامطلوب تفکیک‌ناپذیر) و انرژی الکتریکی حاصل از نیروگاه‌های برقابی (ستانده‌ی مطلوب تفکیک‌ناپذیر) را تولید می‌کند که انرژی الکتریکی تولیده شده در بخش نیروگاه‌های حرارتی، انرژی الکتریکی-فسیلی و انرژی الکتریکی تولید شده در بخش نیروگاه‌های برق آبی و برق بادی انرژی الکتریکی- غیرفسیلی می‌نامیم. نهاده‌های تفکیک‌پذیر ظرفیت نامی و نیروی‌کار به ترتیب در واحدهای مگاوات و نفر و نهاده‌ی تفکیک‌ناپذیر کل سوخت مصرفی در قالب انرژی حرارتی حاصل از آن و در واحد میلیون بی تی یو[1] بیان می‌شوند. هم‌چنین هر دو نوع ستانده‌ی مطلوب تفکیک‌پذیر و تفکیک ناپذیر (انرژی الکتریکی-غیرفسیلی و انرژی الکتریکی-فسیلی) در واحد میلیون کیلووات ساعت وارد مدل می‌شوند. در این فرایند ستانده‌ی نامطلوب تفکیک‌ناپذیر، میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف سوخت در نظر گرفته شده است که به کیلوگرم بیان می‌شود.

تمام داده‌های مورد استفاده از آمار تفصیلی صنعت برق و سایت آماری سازمان توانیر استخراج شده است. میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن حاصل از سوخت مصرفی بر اساس ضرایب انتشار مربوط به هر سوخت محاسبه شده است. در جدول (۳) نهاده‌ها و ستانده‌های مورد استفاده و برخی از آماره‌های مربوط بیان شده است.

1- BTU(British Thermal Unit).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴- خلاصه آماره‌های نهاده‌ها و ستانده‌های شرکت‌های برق منطقه‌ای منتخب طی دوره‌ی ۸۸-۱۳۸۳

متغیر	نوع متغیر (واحد اندازه-گیری)	جمع‌کل طی دوره	میانگین	انحراف از معیار	میانه	حداکثر	حداقل
نهاده	ارزش حرارتی کل سوخت مصرفی (میلیون بی تی یو)	۷۳۵۰۲۹۷۶۸/۲۷	۱۵۳۱۳۱۰۹۹/۴	۸۱۱۵۵۶۵۱/۰۷۳۸۵	۱۲۸۲۸۱۳۰۵	۳۸۲۳۹۴۴۹۰	۶۶۱۲۰۲۱۳/۰۹
	ظرفیت نامی(مگاوات)	۱۹۸۹۲۸	۴۱۴۴/۳۳۳۳	۲۶۷۶/۲۷۲۵۸	۲۷۰۵	۹۴۰۹	۱۷۱۸
	نیروی کار (نفر)	۵۳۴۸۹	۱۱۱۴/۳۵۴۱۷	۶۱۴/۱۹۹۵۱	۹۰۸/۵	۲۷۲۶	۴۵۹
ستانده	انرژی الکتریکی-فسیلی(میلیون کیلووات ساعت)	۷۶۶۹۳۸	۱۵۹۷۷/۸۷۵	۷۹۳۵/۴۰۷۵۹	۱۳۶۷۷/۵	۳۷۸۶۲	۶۷۵۰
	انرژی الکتریکی-غیرفسیلی(میلیون کیلووات ساعت)	۷۵۵۱۰/۰۳۹	۱۵۷۳/۱۲۵۸۱	۴۱۱۵/۳۷۲۵۶	۱۹۹/۰۳۷	۱۶۸۵۲	۶
	کل انتشار دی-اکسیدکربن(کیلوگرم)	۴۷۳۴۳۸۲۱۴۷۱۳/۷۸۷	۹۸۶۳۲۹۶۱۳۹/۸۷۰۵۶	۵۳۲۲۴۳۴۵۸۵/۹۳۹۹۰	۸۰۵۳۷۸۴۹۳۷/۰۹۱۱۶	۲۴۶۲۴۹۶۱۰۴۷/۶۸۹۴۰	۴۴۶۴۶۵۳۴۵۳/۹۵۱۲۶

ماخذ: نتایج تحقیق

www.SID.ir

Archive of SID

ماتریس همبستگی بین نهاده‌ها و ستانده‌ها در جدول (۴) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تولید انرژی الکتریکی با نهاده‌ی ظرفیت و نیروی کار همبستگی نسبتا بالایی را نشان می‌دهد. انرژی الکتریکی-فسیلی همبستگی بسیار بالایی با ارزش سوخت حرارتی و انتشار دی‌اکسیدکربن دارد که نشان می‌دهد ستانده‌ی مطلوب از ستانده‌ی نامطلوب و نهاده‌ی سوخت تفکیک‌ناپذیر می‌باشد. هم‌چنین میزان انتشار دی‌اکسید کربن همبستگی بالایی با ارزش حرارتی سوخت مصرفی دارد که نشان‌دهنده‌ی تفکیک‌ناپذیری ستانده‌ی نامطلوب از نهاده‌ی مرتبط با آن می‌باشد. همان طورکه مشاهده می‌شود، ستانده‌ی مطلوب انرژی الکتریکی-فسیلی همبستگی ضعیفی با ارزش حرارتی سوخت مصرفی و انتشار دی‌اکسید کربن دارد که بیانگر تفکیک‌پذیری این ستانده‌ی مطلوب می‌باشد.

جدول ۴- ماتریس همبستگی برای تمام نهاده و ستانده‌ها

	ظرفیت نامی	نیروی کار	ارزش حرارتی سوخت مصرفی	انرژی الکتریکی- فسیلی	انتشار دی- اکسیدکربن	انرژی الکتریکی- غیرفسیلی
ظرفیت نامی	۱					
نیروی کار	۰/۷۸۶۰۸۶	۱				
ارزش حرارتی سوخت مصرفی	۰/۶۰۷۵۰۳	۰/۷۵۶۵۲۱	۱			
انرژی الکتریکی- فسیلی	۰/۶۲۸۶۵۵	۰/۷۶۲۰۸۳	۰/۹۹۶۸۲۶	۱		
انتشار دی- اکسیدکربن	۰/۵۷۵۵۰۴	۰/۷۳۶۳۶۲	۰/۹۹۵۸۹۳	۰/۹۸۹۱۰۴	۱	
انرژی الکتریکی- غیرفسیلی	۰/۵۶۴۲۷۳	۰/۲۷۸۵۷۸	-۰/۱۵۲۹۸۷	-۰/۱۳۲۱۲۲	-۰/۱۷۲۰۷۰	۱

ماخذ: نتایج تحقیق

نتایج

در بخش اول، نتایج حاصل از تحلیل پنجره‌ای ابتدا برای کارایی معمولی[1] شرکت‌های برق منطقه‌ای و سپس برای کارایی زیست‌محیطی این شرکت‌ها بیان

1- Traditional Efficiency.

www.SID.ir

Archive of SID

می‌شود. و سپس آزمون‌های تجربی در مورد نتایج حاصل انجام مـی‌پـذیرد. ابتـدا تعـداد پنجره‌ها و طول هر پنجره مشخص می‌شود که به‌صورت زیر می‌باشد:

جدول ۵- تعداد و طول پنجره‌ها

شرح	فرمول
تعداد پنجره	$w = 6 - 3 + 1 = 4$
طول هر پنجره	$[p] = \frac{6+1}{2} = 3$

ماخذ: نتایج تحقیق

کارایی معمولی

در این قسمت کارایی شرکت‌های بـرق منطقـه‌ای بـدون در نظـر گـرفتن سـتانده‌ی نامطلوب انتشار دی‌اکسید کربن و با استفاده از تحلیل پنجره‌ای ارائه شده است، که تنها به بیان نتایج مربوط به میانگین هر ستون بسنده می‌شود. نتایج کارایی معمولی به شرح جدول (۶) می‌باشد.

جدول ۶- کارایی معمولی شرکت‌های برق منطقه‌ای (میانگین هر ستون در تحلیل پنجره‌ای)

DMU / سال	آذربایجان	باختر	اصفهان	فارس	گیلان	خراسان	خوزستان	تهران
۱۳۸۳	۱	۰/۸۸۶۴۴۱	۱	۰/۸۶۰۲۳۹	۱	۰/۸۱۶۸۷۶	۱	۱
۱۳۸۴	۰/۷۲۸۷۳	۱	۰/۹۶۲۳۹	۱	۱	۰/۷۹۱۵۳۹	۱	۰/۹۳۸۹۸۷
۱۳۸۵	۰/۷۳۵۰۷۱	۰/۸۸۵۴۸۱	۱	۰/۸۴۸۷۴	۱	۰/۷۵۹۲۱	۱	۱
۱۳۸۶	۰/۶۴۸۲۴۶	۰/۹۶۲۸۸۶	۱	۰/۸۷۴۶۳۲	۱	۰/۶۶۴۳۶۶	۱	۱
۱۳۸۷	۰/۷۴۰۵۴۴	۰/۹۲۲۶۰۸	۱	۱	۱	۰/۶۸۱۶۹۲	۰/۶۳۹۷۶۶	۱
۱۳۸۸	۰/۷۴۳۰۵۸	۱	۰/۸۸۸۶۰۲	۱	۱	۰/۶۶۹۷۹۸	۰/۶۸۷۷۰۶	۱
میانگین کل	۰/۷۶۵۹۴۲	۰/۹۴۲۹۰۳	۰/۹۷۵۱۶۵	۰/۹۳۰۶۰۲	۱	۰/۷۳۰۵۸	۰/۸۸۷۹۱۲	۰/۹۸۹۸۳۱

ماخذ: نتایج تحقیق

www.SID.ir

Archive of SID

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود شرکت برق منطقه‌ای گیلان کاملا کارا می‌باشد. آذربایجان نیز از کارایی پایین‌تری برخوردار است.

کارایی زیست‌محیطی

جدول (۷) میزان کارایی متوسط زیست‌محیطی هریک از شرکت‌های برق منطقه‌ای طی سال‌های ۸۳ تا ۸۸ را نشان می‌دهد. همان‌طورکه مشاهده می‌شود شرکت برق منطقه‌ای گیلان از کارایی کامل برخوردار می‌باشد.

جدول ۷- کارایی زیست‌محیطی شرکت‌های برق منطقه‌ای (میانگین هر ستون در تحلیل پنجره‌ای)

DMU / سال	آذربایجان	باختر	اصفهان	فارس	گیلان	خراسان	خوزستان	تهران
۱۳۸۳	۱	۰/۹۱۹۶۹۹	۱	۰/۸۶۵۰۲۲	۱	۰/۹۲۲۱۸۷	۰/۶۵۳۰۸۸	۰/۹۱۸۰۹۱
۱۳۸۴	۰/۸۵۹۲۷۴	۱	۱	۱	۱	۰/۸۵۵۷۴۹	۱	۱
۱۳۸۵	۰/۶۹۶۲۳۹	۰/۹۱۷۸۲۶	۱	۰/۸۶۷۹۹۶	۱	۰/۷۷۶۵۴۱	۰/۸۹۹۷۴۱	۰/۹۴۶۵۷۸
۱۳۸۶	۰/۶۱۷۳۸	۰/۹۷۳۹۲۴	۰/۹۹۸۸	۰/۸۸۶۳۳۴	۱	۰/۶۷۲۲۰۸	۰/۷۷۸۷۸۶	۱
۱۳۸۷	۰/۷۰۴۷۷۴	۰/۹۱۴۷۲۳	۱	۱	۱	۰/۶۸۳۰۸۸	۰/۶۸۳۰۸۸	۱
۱۳۸۸	۰/۷۲۶۳۵	۱	۰/۹۲۱۰۹۴	۱	۱	۰/۶۷۷۳۷۹	۰/۶۷۷۳۷۹	۱
میانگین کل دوره‌ها	۰/۷۶۷۳۳۶	۰/۹۵۴۳۶۲	۰/۹۸۶۶۴۹	۰/۹۳۶۵۵۹	۱	۰/۷۶۴۵۲۵	۰/۷۸۲۰۱۴	۰/۹۷۷۴۴۵

ماخذ: نتایج تحقیق

همان‌طورکه ملاحظه می‌شود شرکت‌های برق منطقه‌ای آذربایجان، خراسان و خوزستان نسبت به تهران، گیلان، فارس، اصفهان و باختر از کارایی زیست‌محیطی پایین تری برخوردار می‌باشند. هم‌چنین کارایی تمام شرکت‌های منطقه‌ای آذربایجان، خراسان و اصفهان طی دوره‌ی ۸۸-۱۳۸۳ به صورت متوسط از رشد غیر منفی برخوردار بوده است. متوسط رشد کارایی زیست‌محیطی شرکت برق منطقه‌ای آذربایجان، خراسان و اصفهان در دوره‌ی مورد بررسی به ترتیب در حدود ۵/۴، ۵/۸- و ۱/۵- درصد می‌باشد.

با مقایسه‌ی بین جدول(۶) و (۷) می‌توان سه دسته از شرکت‌ها را در نظر گرفت، نخست شرکت‌هایی که کارایی معمولی و زیست محیطی آن‌ها به صورت مطلق بالا می‌باشد مانند گیلان، تهران، باختر و اصفهان، گروه دوم، شرکت‌هایی که هم کارایی زیست‌محیطی و هم کارایی معمولی آن‌ها پایین است مانند آذربایجان و خراسان، گروه

www.SID.ir

Archive of SID

سوم، شرکت‌هایی هستند که کارایی معمولی بالاتر و کارایی زیست محیطی پایین‌تری دارند مانند خوزستان. شرکت‌های گروه اول از منابع موجود به صورت بهینه‌ای استفاده می‌کنند، اما کارایی زیست‌محیطی کم‌تری نسبت به کارایی معمولی دارند، به عنوان مثال تهران، بنابراین این شرکت‌ها باید به مسائل زیست محیطی توجه بیش‌تری انجام دهند. شرکت‌های گروه دوم از منابع در اختیار به صورت بهینه استفاده نمی‌کنند، اگرچه به عنوان مثال آذربایجان از کارایی زیست محیطی بالاتری نسبت به کارایی معمولی برخوردار است، ولی به صورت نسبی چه از نظر زیست‌محیطی و چه از دیدگاه استفاده‌ی بهینه‌ی منابع، کارا عمل نمی‌کند. گروه سوم از شرکت‌ها اگرچه در استفاده از منابع موجود نسبتاً کارا عمل می‌کنند، اما توجه چندانی به این مسائل زیست‌محیطی ندارند، به عنوان مثال برای خوزستان اختلاف بین کارایی معمولی و زیست‌محیطی بالا می‌باشد، یعنی این شرکت آسیب بیش‌تری را به محیط‌زیست وارد می‌کند، یعنی این شرکت تنها به استفاده‌ی بهینه از منابع موجود توجه کرده و به مسائل زیست‌محیطی ناشی از تولید توجهی ندارد.

در ادامه ابتدا، نرمال بودن امتیازهای کارایی هر بنگاه با استفاده از آزمون‌هایی چون کولموگروف-اسمیرنوف[1]، لیلیفورس[2]، اندرسون-دارلینگ[3] و .. مورد بررسی قرار می‌گیرد. متغیر وابسته‌ی این آزمون‌ها میانگین هر ستون در تحلیل‌های پنجره‌ای می‌باشد نتایج به شرح جدول زیر است:

جدول ۸- آزمون آماری برای تشخیص نوع توزیع میانگین کارایی شرکت‌های برق منطقه‌ای طی دوره‌ی ۸۸-۱۳۸۳

آزمون	آماره		prob	نتیجه
Kolmogorov-Smirnov	Z	۱/۷۲۲	۰/۰۰۵	رد می‌شود H_0
Lilliefors (D)	D	۰/۲۵۰۷۲۱	۰/۰۰	رد می‌شود H_0
Cramer-von Mises (W2)	W2(W-Sq)	۰/۷۰۷۰۳۷	۰/۰۰	رد می‌شود H_0
Watson (U2)	U2(U-Sq)	۰/٦٤٩٨٦٩	۰/۰۰	رد می‌شود H_0
Anderson-Darling (A2)	A2(A-Sq)	٤/۲۷٤۹۳۸	۰/۰۰	رد می‌شود H_0

- ماخذ: نتایج تحقیق

- فرض صفر مبنی بر نرمال بودن توزیع مشاهدات می‌باشد

1- Kolmogorov-Smirnov.
2- Lilliefors (D).
3- Anderson-Darling (A2).

www.SID.ir

Archive of SID

همان‌طور که ملاحظه می‌شود فرضیه‌ی صفر رد می‌شود، بنابراین توزیع امتیاز کارایی بنگاه‌ها نرمال نمی‌باشد. در مرحله‌ی بعد تفاوت امتیازکارایی بین شرکت‌های مختلف و رابطه‌ی میزان انتشار دی‌اکسیدکربن با کارایی با فرض‌های صفر زیر و با استفاده از آزمون ناپارامتریک کروسکال-والیس آزموده می‌شود. دلیل استفاده از این آزمون نرمال نبودن توزیع امتیازهای کارایی می‌باشد که پیش‌تر بیان شده است:

H_0: میانگین امتیاز کارایی هرستون در بین بنگاه‌ها یکسان می‌باشد.

H_0 : میانگین امتیاز کارایی هرستون در بین مقادیر مختلف انتشار دی‌اکسیدکربن یکسان می‌باشد.

نتایج حاصل از آزمون کروسکال- والیس به شرح جدول (۹) می‌باشد. متغیر وابسته میانگین کارایی هرستون می‌باشد.

جدول ۹- نتایج آزمون کروسکال-والیس

متغیر گروه[1]	آماره‌ی χ_2	پروب	نتیجه
بنگاه	۲۶/۶۶۹	۰/۰۰	رد می‌شود H_0
انتشار دی‌اکسیدکربن	۲۵/۷۸۳	۰/۰۰	رد می‌شود H_0

ماخذ: نتایج تحقیق

نتایج جدول (۹) نشان می‌دهد که تفاوت بین کارایی بنگاه‌های مختلف معنادار است و هم‌چنین میزان انتشار دی‌اکسیدکربن به صورت معناداری کارایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با توجه به اهمیت نقش شرکت‌های منطقه‌ای برق در تأمین برق و انرژی بر بودن صنعت برق، ارزیابی کارایی بخش تولید انرژی الکتریکی در این شرکت‌ها با لحاظ آثار زیست‌محیطی، امری ضروری محسوب می‌شود. در این مطالعه با استفاده از مدل ستانده‌ی مطلوب و نامطلوب تفکیک‌ناپذیر کارایی زیست‌محیطی شرکت‌های برق منطقه‌ای در بخش تولید انرژی الکتریکی مورد ارزیابی قرار گرفته و با توجه به این‌که

1- Grouping Variable.

www.SID.ir

Archive of SID

تعداد بنگاه‌ها کم می‌باشند، از تحلیل‌های پنجره‌ای برای حل این مشکل استفاده شده است. نتایج حاصل از آزمون کروسکال- والیس نشان می‌دهد که لحاظ انتشار دی اکسیدکربن تأثیر معناداری بر کارایی دارد. از این رو پیشنهاد می‌شود در ارزیابی کارایی مسائل زیست‌محیطی مورد توجه قرار بگیرند. هم‌چنین شرکت‌هایی مانند آذربایجان و خراسان که کارایی زیست‌محیطی و معمولی آن‌ها به صورت مطلق پایین می‌باشد بایستی به سوی استفاده ی بهینه از منابع با تغییر تکنولوژی تولید، استفاده از سوخت‌های با آلایندگی کم‌تر و توجه به مسائل زیست‌محیطی اقدام کنند. شرکت‌هایی مانند خوزستان که دارای امتیاز کارایی معمولی نسبتا بالا و امتیاز کارایی زیست‌محیطی پایین می‌باشند آسیب بیش‌تری را به محیط‌زیست می‌رسانند. از این رو بهتر است در این شرکت توجه بیش‌تری به مسئله‌ی کاهش آلودگی و تکنولوژی دوست‌دار محیط زیست انجام پذیرد. پیشنهاد می‌شود تا برای کاهش آلودگی و استفاده ی بیش‌تر از انرژی‌های تجدیدپذیر بر روی تولید برقابی تمرکز شود. هم‌چنین در بخش تولید انرژی الکتریکی فسیلی مسئله‌ی افزایش بازدهی مدنظر قرار بگیرد، به عنوان مثال تبدیل نیروگاه‌های در اختیار هر شرکت به نیروگاه‌های سیکل ترکیبی سبب افزایش بازدهی نیروگاه می‌شود. در مجموع می‌توان گفت برای افزایش کارایی زیست‌محیطی بخش تولید شرکت‌های برق منطقه‌ای بایستی تا حد ممکن و با توجه به ملاحظات اقتصادی از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند آب و باد استفاده کرد سپس بازدهی استفاده از سوخت‌های فسیلی را افزایش داد تا برای تولید میزان معین انرژی الکتریکی سوخت کم‌تری مصرف شده و در نتیجه آلودگی کم‌تری ایجاد شود.

فهرست منابع

اکبری، نعمت اله و دین محمدی (۱۳۸۴).« اندازه‌گیری کارایی واحدهای تولیدی شیر: مطالعه‌ی موردی شرکت‌های فکا، ملارد، گلشهر، گلدشت»؛ طرح پژوهشی دانشگاه اصفهان.

امامی میبدی، علی. اصول اندازه‌گیری کارآیی و بهره‌وری (علمی و کاربردی) تهران، مؤسسه‌ی پژوهش‌های بازرگانی، ۱۳۷۹.

www.SID.ir

Archive of SID

پورکاظمی، حسین و کیومرث حیدری. استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) در ارزیابی کار نیروگاه های حرارتی تولید برق کشور، مجله‌ی فصل‌نامه‌ی علمی پژوهشی مدرس، دوره‌ی ۶، شماره‌ی ۱، بهار ۱۳۸۱.

رافعی، میثم. «بررسی رابطه‌ی بین رشد اقتصادی و کارایی زیست‌محیطی در ایران و چند کشور منتخب»، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد دانشگاه علامه طباطبائی، تابستان ۱۳۸۹.

حکیمی پور، نادر و کامبیز هژبر کیانی. « تحلیل مقایسه‌ای کارایی بخش صنایع بزرگ در استان‌های ایران: با استفاده از روش تابع مرز تصادفی».مجله‌ی دانش و توسعه، سال پانزدهم، شماره‌ی ۲۴، پاییز ۱۳۸۷.

صادقی، مهدی و لیلا گل آور و زهرا عابدی (۱۳۸۶). «بررسی پیامدهای اقتصادی-زیست‌محیطی افزایش بازده‌ی نیروگاه‌های برق فسیلی». مجله‌ی علوم و تکنولورژی محیط‌زیست، دوره‌ی نهم، شماره‌ی چهارم.

ناصرزاده، سمیه. «ارزیابی زیست‌کارایی نیروگاه‌های حرارتی کشور با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها DEA»، پایانامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه علامه طباطبائی، تابستان ۱۳۸۹.

مهرگان، نادر و اصغر مبارک. بررسی تأثیر مؤلفه‌های اقتصاد نوین بر کارایی صنایع در ایران، فصل‌نامه‌ی اقتصاد مقداری، دوره‌ی ۵، شماره‌ی ۲، تابستان ۱۳۸۷.

ابریشمی، حمید و لیلی نیاکان. اندازه‌گیری کارایی فنی نیروگاه‌های حرارتی کشور به روش تحلیل مرز تصادفی (SFA) و مقایسه‌ی تطبیقی با کشورهای منتخب در حال توسعه. فصل‌نامه‌ی مطالعات اقتصاد انرژی، سال هفتم، شماره‌ی ۲۶، پاییز ۱۳۸۹.

Aigner DJ, Lovell CAK, Schmidt P (1977) Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models. Journal of Econometrics 6:21–37

Banker, R. D., Charnes, A., Cooper, W. W. (1984). Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. Management Science, 30(9), 1078-1092.

www.SID.ir

Archive of SID

Chang, Dong-Shang, Yang, Fu-Chiang, 2011.Assessing the Power Generation, Pollution Control and Overall Efficiencies of Municipal Solid Waste Incinerators in Taiwan. Energy Policy, 39,651–663.

Charnes, A. (1985). A Developmental Study of Data Envelopment Analysis in Measuring the Efficiency of Maintenance Units in the U.S. Air Forces. *Annals of Operations Research, 2*, 95-112.

Charnes, A. (1985). A Developmental Study of Data Envelopment Analysis in Measuring the Efficiency of Maintenance Units in the U.S. Air Forces. Annals of Operations Research, 2, 95-112.

Charnes, A., Cooper, W. W., Rhodes, E. (1978). Measuring the Efficiency of Decision Making Units. European Journal of Operational Research, 2,-47-429-444.

Cooper, W. W., Seiford, L. M., Tone, K... (2007). Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Model, Applications, References and DEA-Solver Software (2 Ed.): Springer.

Dyckhoff, H., Allen, K. (2001). Measuring Ecological Efficiency with Data Envelopment Analysis (DEA). European Journal of Operational Research, 132, 312-325.

Emm, George, Halkos, Nickolaos G. Tzeremes,(2009). Exploring the Existence of Kuznets Curve in Countries' Environmental Efficiency Using DEA Window Analysis. Ecological Economics 68, 2168–2176

Färe R., Grosskopf S. (2004) New Directions: Efficiency and Productivity, Kluwer Academic Publishers

Färe, R., Grosskopf, S., 2000.Theory and Application of Directional Distance Functions. Journal of Productivity Analysis 13, 93–103.

Fare, Rolf, Shawna, Grosskopf, C.A. Knox Lovell. (1994).Production Frontier.1Edt.Cambridge University Press.

Farrell, M. J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. Journal of Royal Statistical Society, 120(3), 253-290.

Itoh, H. (2002). Efficiency Changes at Major Container Ports in Japan: A Window Application of Data Envelopment Analysis. Review of Urban & Regional Development Studies, 14(2), 133-152.

Klopp, G. 1985. The Analysis of the Efficiency of Production System with Multiple Inputs and Outputs. Ph. D. thesis, Chicago University of Illinois at Chicago, Industrial and Systems Engineering College.

www.SID.ir