مدل بندی عوامل غیر قابل کنترل در اندازه گیری کارایی شرکت های برق منطقه ای ایران

رضا کاظمی متین[1]، رزا عزیزی[2]

۱- دانشکده علوم- دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج- کرج- ایران
rkmatin@kiau.ac.ir
۲- دانشکده علوم- دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج- کرج- ایران
roza.azizi@kiau.ac.ir

چکیده: **تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) یک روش غیر پارامتریک برای اندازه‌گیری کارایی مجموعه‌ای از واحدهای تصمیم گیری است که مجموعه‌ای از ورودی‌ها را به مجموعه‌ای از خروجی‌ها تبدیل می‌کند. مدل‌های رایج DEA معمولاً برای داده‌های قابل کنترل ارائه شده‌اند و داده‌هایی که خارج از کنترل انسان و تحت تاثیر عواملی مانند عوامل محیطی هستند را بررسی نمی‌کنند. در ادبیات اخیر DEA روش‌هایی برای بررسی کارایی سیستم‌های تولید با وجود داده‌های خارج از کنترل ارائه شده است. در این مقاله به بررسی و تشریح مهمترین روش‌های موجود می‌پردازیم و از این دیدگاه عملکرد صنعت برق را به عنوان یکی از صنایع تأثیرگذار در رشد و توسعه کشور، طی سال‌های ۱۳۶۸-۱۳۸۹ بررسی می‌کنیم.**

واژه‌های کلیدی: **تحلیل پوششی داده‌ها، کارایی، داده‌های غیر قابل کنترل، صنعت برق**

Modeling non-discretionary factors in efficiency measurement of the Iranian regional electricity companies

Reza Kazemi Matin, Roza Azizi

Abstract: **Data envelopment analysis (DEA) is a non-parametric approach for measuring the efficiency score of decision making units, which convert a set of inputs to a set of outputs. The conventional DEA models are presented just for discretionary data and data, which are beyond the control of human and for example, are affected by environmental factors, cannot be analyzed in these models. In the recent DEA literature, there are some methods to analyze the efficiency score of production systems with these nondiscretionary data. In this article, we will investigate some of the most influential DEA methods in modeling non-discretionary factors. The presented non-parametric approaches are then applied to the Iranian electricity industry as one of the most effective industries in country development.**

Keywords: **Data envelopment analysis, efficiency, non-discretionary data, electricity industry**

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۱/۰۶/۰۱
تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۱/۰۷/۰۵

نام نویسنده‌ی مسئول : رضا کاظمی متین
نشانی نویسنده‌ی مسئول : rkmatin@kiau.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

۱- مقدمه

دسترسی به بیشترین سطح تولید همواره تحت تاثیر محدودیت هایی نظیر نیروی انسانی، سرمایه، انرژی و غیره قرار داشته است. از این رو استفاده بهینه از امکانات محدود و رسیدن به بهترین سطح عملکرد در تولید، همواره مطلوب بوده است. در راستای سنجش و بهبود عملکرد سیستم ها، تعیین مقدار کارایی و نیز منابع ناکارایی از دیرباز برای مدیران و سرمایه گذاران سیستم‌های مختلف امر مهمی بوده است و تحقیق برای معرفی روش‌هایی جهت ارزیابی کارایی سیستم‌ها مورد توجه قرار داشته است.

یکی از مهمترین صنایع هر کشور در رشد و پیشرفت اقتصادی آن کشور صنعت برق می‌باشد. این صنعت نه‌تنها به‌خودی‌خود از اهمیت ویژه‌ای در رشد و توسعه کشور برخوردار است بلکه یکی از مهمترین منابع انرژی برای پیشرفت سایر صنایع کوچک و بزرگ است. از این‌رو بررسی عملکرد صنعت برق یکی از راه‌کارهای مهم در توسعه این صنعت و توسعه کشور خواهد بود.

تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)[1] یک روش غیر پارامتریک[2] برای ارزیابی عملکرد واحدهای همگن است، واحدهایی مانند واحدهای صنعتی، تولیدی، آموزشی، خدماتی و ... که واحدهای تصمیم گیری (DMU)[3] نامیده می‌شوند و مجموعه ای مشابه از ورودی‌ها[4] را به مجموعه ای مشابه از خروجی‌ها[5] تبدیل می‌کنند. در این روش اندازه کارایی[6] نسبی، بر حسب نسبت خروجی‌های تولید شده به ورودی‌های مصرف شده نشان داده می‌شود. فارل [4]، برای اولین بار این روش را مطرح کرد و چارنز و همکاران [5]، با معرفی مدل CCR[7] آن را بطور خاص معرفی کردند.

مطالعات بسیار زیادی در زمینه بکارگیری DEA در صنعت برق از دیدگاه های مختلفی انجام شده است. در مقاله لیو و همکاران [6] مقدار کارایی تولید برق نیروگاه‌های حرارتی تایوان در سال ۲۰۰۴- ۲۰۰۶ با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها بررسی شده است. سوزن و همکاران [7] عملکرد ۱۵ نیروگاه حرارتی برای تولید برق در ترکیه را که از سوخت‌های متفاوتی استفاده می‌کنند با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها بررسی کرده اند. سوئیوشی و گوتو [8] بازده به مقیاس را برای نیروگاه-های با سوخت زغال سنگ امریکا اندازه‌گیری کردند و به این نکته که این نوع نیروگاه‌ها علاوه بر خروجی‌های مطلوب دارای خروجی‌های نا-مطلوب نیز هستند اشاره نمودند. ساریکا و ار [9] با استفاده از DEA عملکرد ۶۵ نیروگاه حرارتی، آبی و بادی تولید برق در ترکیه را بررسی و با هم مقایسه نمودند.

یکی از مهمترین ویژگی‌های روش‌های رایج DEA آن است که ورودی‌ها و خروجی‌ها قابل کنترل باشند ولی در واقعیت ممکن است ورودی‌ها و/یا خروجی‌های سیستم‌ها به عوامل محیطی و/یا عواملی که خارج از کنترل انسان می‌باشند وابسته باشند که این داده‌ها را داده‌های غیر قابل کنترل[8] می‌نامند. برای نمونه باران یک ورودی برای ارزیابی مقدار کارایی بخش کشاورزی می‌باشد که تحت کنترل انسان نیست.

همانطور که گفته شد روش‌های کلاسیک DEA مانند روش CCR و روش BCC[9] که توسط بنکر و همکاران در سال ۱۹۸۴ [10] ارائه شد، ورودی‌ها و خروجی‌های غیر قابل کنترل را در نظر نمی‌گیرند. بنابراین برای بررسی عملکرد سیستم‌هایی که داده‌های غیر قابل کنترل دارند با استفاده از روش‌های فوق، یا می بایست آن داده‌ها را در نظر نگرفت یا اینکه همانند داده‌های قابل کنترل با آنها برخورد کرد که در هر دو حالت نمی‌توان اطلاعات دقیقی از عملکرد سیستم‌ها بدست آورد. برای رفع این مشکل مدل‌های متفاوتی ارائه شده است.

اولین مقاله‌ای که بطور مستقیم وارد بحث داده‌های غیر قابل کنترل شده است مقاله بنکر و موری [11] است. مدل بنکر و موری [11] طوری ارائه شده است که عملکرد واحد ها را از مقایسه آنها با محیط هایی تعیین می کند که از دیدگاه عوامل غیر قابل کنترل، میتوانند محیط های سخت گیرانه تری باشند یا نباشند . همچنین بنکر و موری [12] مدل جدیدی برای ارزیابی عملکرد با شرط قابل کنترل یا غیر قابل کنترل بودن داده‌های قطعی ارائه کردند که در حال حاضر از پر کاربردترین مدل‌ها در این مورد محسوب می شود. لاول [3] و رگریو [13] مدلی را ارائه دادند که مجموعه مرجع واحد تحت بررسی را از واحدهایی با محیط سختگیرانه‌تر و یا حداقل محیط مشابه انتخاب می-کند. تفاوت تئوریک این دو مقاله در آن است که لاول اصول پایه‌ای برای مدل پیشنهادی در نظر نگرفته است.

بر اساس این مباحث، ادامه مطالب مقاله به شرح زیر ارائه می‌شود. در بخش ۲ تعاریف ابتدایی و کاربردی از تحلیل پوششی داده‌ها را ارائه می‌کنیم. در بخش ۳ مدل‌های کلاسیک DEA ، مناسب برای ارزیابی عملکرد را معرفی می‌کنیم. برخی از مدل‌های که توانایی بکارگیری داده-های غیر قابل کنترل را دارند در بخش ۴ مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. یک مطالعه موردی در زمینه محاسبه کارایی صنعت برق با استفاده از مدل‌های فوق و داده‌های قابل کنترل و غیر قابل کنترل در بخش ۵ ارائه می‌شود. در نهایت، نتایج بحث در بخش ۶ ارائه خواهند شد.

۲- مفاهیم اولیه در تحلیل پوششی داده‌ها [1،2]

- روش‌های غیر پارامتری: در مدل‌های غیر پارامتریک بر خلاف مدل‌های پارامتریک که ساختار تابع تولید را مفروض دارند، با پذیرش برخی اصول موضوعه و صرفا از داده‌ها برای تعیین تابع تولید استفاده می‌شود. روش‌های غیر پارامتری دارای فرضیات کمتری نسبت به روش-های پارامتری اند که خود باعث می‌شود کاربرد آن‌ها گسترده‌تر از روش-های پارامتری باشد. برای مثال، عمده روش‌های پارامتری تنها برای سیستم‌های تولید با تک خروجی کاربرد دارند و همانگونه که گفته شد در آن‌ها باید ساختار تابع تولید از پیش مشخص باشد که محدودیت های بزرگی در مسیر گسترش کاربرد آنها ایجاد می کنند.
- ورودی: ورودی عاملی است که در طی فرایند تولید، به مصرف می رسد..

Archive of SID

www.SID.ir

- خروجی: خروجی عاملی است که در طی فرایند تولید، به وجود می آید.
- داده‌های قابل کنترل: داده‌های قابل کنترل داده‌هایی هستند که تحت کنترل تصمیم گیرنده سیستم‌های تولید هستند و به عوامل محیطی وابسته نمی‌باشند.
- داده‌های غیر قابل کنترل: داده‌های غیر قابل کنترل داده‌هایی هستند که خارج از کنترل تصمیم گیرنده سیستم‌های تولید هستند و به عوامل محیطی وابسته می‌باشند.
- کارایی: کارایی یک DMU در فرم ساده، همان نسبت خروجی به ورودی است.

ورودی/خروجی = کارایی

- بازده به مقیاس[10]: بازده به مقیاس منعکس کننده نسبت تغییر در خروجی به ازای تغییر در میزان مصرف ورودی‌هاست. تعیین نوع ارتباط بین تغییرات ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌تواند در ارزیابی DMUها موثر باشد. در تحلیل پوششی داده‌ها نیز با استفاده از روش‌هایی می‌توان نوع بازده به مقیاس واحدهای کارای تحت بررسی را تعیین کرد.

از این دیدگاه واحدهای تصمیم گیری کارا را می توان به سه دسته عمده تفکیک نمود: بازده به مقیاس ثابت[11] (CRS)، افزایشی (IRS) و کاهشی(DRS)، که برای اجتناب از اطاله بحث از ذکر جزییات در این جا صرفنظر می شود (رجوع شود به [2]).

- مجموعه امکان تولید[12] (PPS): مجموعه امکان تولید همان مجموعه ورودی‌ها و خروجی‌های قابل تولید بر حسب تکنولوژی معین است. معمولاً فرض می‌شود که‌ورودی‌ها و خروجی‌ها نا منفی باشند و حداقل یک مقدار مثبت بین ورودی‌ها و خروجی‌ها وجود داشته باشد. این مجموعه را با T نمایش می‌دهیم واگر یک DMU روی مرز این مجموعه امکان تولید قرار داشته باشد آنگاه گوییم در این تکنولوژی نسبت به سایر واحدهای موجود کارا است.

با در نظر گرفتن مشاهدات اولیه به فرم $(\mathbf{x}_j, \mathbf{y}_j) \in \Re_+^{m+s}$ برای $j = 1,\ldots,n$ ، مجموعه امکان تولید با بازده به مقیاس ثابت که با T_C نشان داده می‌شود به شکل زیر قابل بیان است:

$$\mathrm{T}_C = \left\{ (\boldsymbol{x},\boldsymbol{y}) \middle| \boldsymbol{x} \geq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j \boldsymbol{x}_j \;\; \& \;\; \boldsymbol{y} \leq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j \boldsymbol{y}_j \;\; \& \; \lambda_j \geq 0; \mathrm{j}=1,\ldots,\mathrm{n} \right\}$$

مجموعه امکان تولید با بازده به مقیاس متغیر[13] (VRS) نیز که با T_v نشان داده می‌شود مجموعه ایست به بیان زیر:

$$\mathrm{T}_V = \left\{ (\boldsymbol{x},\boldsymbol{y}) \middle| \boldsymbol{x} \geq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j \boldsymbol{x}_j \;\; \& \;\; \boldsymbol{y} \leq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j \boldsymbol{y}_j \;\; \& \sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1 \;\; \& \; \lambda_j \geq 0; \;\; \mathrm{j}=1,\ldots,\mathrm{n} \right\}$$

- کارایی پارتو کوپمن[14]: یک واحد، کارایی قوی یا پارتو - کوپمن دارد اگر و تنها اگر بهبود هیچ ورودی و یا خروجی آن بدون بدتر شدن حداقل یکی از سایر مولفه های این واحد ممکن نباشد.

۳- مدل‌های کلاسیک DEA

برای ورود به بحث عوامل غیر قابل کنترل در DEA، نمادهای زیر را معرفی می‌کنیم. فرض می‌کنیم n واحد تصمیم گیری (DMU) داشته باشیم و x_{ij} (i=1,…,m) ورودی‌ها و y_{rj} (r=1,…,s) خروجی-های DMU_j باشند (j=1,…,n).

مدل CCR یکی از مدل‌های پایه ای DEA است که توسط چارنز، کوپر و رودز [5]، بصورت زیر ارائه شده است و هدف آن تعیین حداکثر صرفه جویی یکنواخت در تمام مولفه های ورودی است با این فرض که سطح خروجی ها کاهش نیابند. به بیان ریاضی، بدست آوردن کمترین مقدار ضریب انقباض θ است به گونه ای که بردار $(\theta \boldsymbol{x}_o, \boldsymbol{y}_o)$ در T_C قرار داشته باشد.

$$\begin{aligned} & Min \;\; \theta \\ & s.t \quad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} \leq \theta x_{io} \qquad i = 1,\ldots,m \\ & \qquad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} \geq y_{ro} \qquad r = 1,\ldots,s \qquad (1) \\ & \qquad \lambda_j \geq 0 \qquad\qquad j = 1,\ldots,n \end{aligned}$$

مدل (۱) مدل ورودی گرای CCR است زیرا هدف آن بهبود کارایی DMU_O با انقباض ورودی مصرفی است از $\boldsymbol{x}_o$ به $\theta \boldsymbol{x}_o$.

تعریف کارایی CCR: DMU_O کارای CCR است اگر و تنها اگر $\theta^* = 1$. در غیر اینصورت گوییم DMU_O تحت این مدل ناکارا است.

تعریف مجموعه مرجع[15]: مجموعه مرجع E_O برای DMU_O بصورت زیر تعریف می‌شود که در آن λ_j^* مولفه jام جواب بهینه $\boldsymbol{\lambda}^*$ از مدل (۱) است. $E_O = \left\{ j \middle| \lambda_j^* > 0; \; j = 1,\ldots,n \right\}$

بنکر، چارنز و کوپر در سال ۱۹۸۴ [10] مدل ورودی‌گرای BCC را برای سیستم‌های تولید تحت بازده به مقیاس متغیر بصورت مدل (۲) ارائه دادند:

$$\begin{aligned} & Min \;\; \theta \\ & s.t \quad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} \leq \theta x_{io} \qquad i = 1,\ldots,m \\ & \qquad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} \geq y_{ro} \qquad r = 1,\ldots,s \qquad (2) \\ & \qquad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1 \quad \lambda_j \geq 0, j = 1,\ldots,n \end{aligned}$$

Archive of SID

www.SID.ir

۴- مدل‌های DEA مرتبط با داده‌های غیر قابل کنترل

همانطور که گفته شد در مسائل واقعی موارد متعددی از کاربردهای تحلیل پوششی داده ها را میتوان نام برد که در آن برخی مولفه های ورودی/خروجی آنها تحت کنترل مدیر سیستم نمی‌باشند. در این موارد کاربرد مستقیم مدل های کلاسیک نظیر (۱) یا (۲) منطقی به نظر نمی رسد. ادامه بحث ارزیابی عملکرد در این سیستم ها برای پاسخ به پرسش ساده زیر شکل می گیرد: "چگونه می‌توان مولفه های قابل کنترل را بهبود بخشید ولی مولفه های غیر قابل کنترل را ثابت نگه داشت".

این بخش مدل‌هایی را معرفی می‌کند که توانایی بکار گیری داده-های غیر قابل کنترل را برای پاسخ به این سوال دارند. برای ساده سازی و بدون از دست دادن کلیت، همه مدل‌های این بخش ورودی‌گرا و بدون خروجی‌های غیر قابل کنترل ارائه می شوند.

قابل ذکر است که در مدل های این بخش x_{ij} (i=1,…,m) ورودی‌های قابل کنترل و z_{pj} (p=1,…,q) ورودی‌های غیر قابل کنترل DMU_j می‌باشند (j=1,…,n).

بنکر و موری در سال ۱۹۸۶ [11] بیان کردند که برخی عوامل تاثیرگذار در عملکرد سیستم‌ها خارج از کنترل انسان می‌باشد. آن‌ها مدل (۳) را برای تکنولوژی بازده به مقیاس متغیر جهت در نظر گرفتن ورودی‌های غیر قابل کنترل ارائه داده‌اند. مدل فوق طوری طراحی شده است که ورودی‌های غیر قابل کنترل را بدون تغییر باقی می‌گذارد و بیشترین کاهش ممکن را برای ورودی‌های قابل کنترل در نظر می‌گیرد.

$$
\begin{aligned}
& BM_{VRS} = Min \ \ \theta \\
& s.t \quad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} \le \theta x_{io} \qquad i = 1,\dots,m \\
& \qquad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j z_{pj} \le z_{po} \qquad p = 1,\dots,q \qquad (۳) \\
& \qquad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} \ge y_{ro} \qquad r = 1,\dots,s \\
& \qquad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1 \quad \lambda_j \ge 0, j = 1,\dots,n
\end{aligned}
$$

سیرجانن [14] برخی مدل‌های کاربردی برای داده‌های غیر قابل کنترل را تحت تکنولوژی با بازده به مقیاس ثابت و متغیر بصورت پایه‌ای و با ارائه اصول موضوعه آن‌ها، بررسی کرد و مدل BM تحت بازده به مقیاس ثابت را بصورت مدل (۴) معرفی کرد. (علاقه مندان می‌توانند برای آشنایی با اصول موضوعه مدل‌ها به مقاله فوق رجوع کنند.)

$$
\begin{aligned}
& BM_{CRS} = Min \ \ \theta \\
& s.t \quad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} \le \theta x_{io} \qquad i = 1,\dots,m \\
& \qquad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j z_{pj} \le z_{po} \qquad p = 1,\dots,q \qquad (۴) \\
& \qquad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} \ge y_{ro} \qquad r = 1,\dots,s \\
& \qquad \lambda_j \ge 0, j = 1,\dots,n
\end{aligned}
$$

رگریو [13] اعلام کرد اگر چه مدل بنکر و موری [11] اندازه کارایی را با برداشتن تأثیر مقادیر غیر قابل کنترل بر آن بطور دقیقتر تخمین می‌زند اما مجموعه مرجع را برای واحدهای تحت بررسی به‌اندازه کافی محدود نمی‌کند. پس نمی‌تواند اهمیت متغیرهای محیطی را بر روی تولید منعکس کند. درنتیجه، یک واحد کارای با شرایط سخت ممکن است ناکارا قلمداد شود چون با واحدهایی مقایسه می شود که در شرایط بسیار مطلوب‌تر از آن قرار گرفته‌اند. رگریو پیشنهاد داد که مجموعه مرجع واحد تحت بررسی باید شامل واحدهایی باشد که در یک محیط مشابه یا سختگیرانه‌تر عمل می‌کنند. به همین دلیل محدودیت زیر را در مدل پیشنهادیش گنجاند.

$$
\begin{aligned}
& \lambda_j \ge 0, \forall j \in \left\{ j \middle| z_j \le z_o \right\} \\
& \lambda_j = 0, \forall j \notin \left\{ j \middle| z_j \le z_o \right\}
\end{aligned}
$$

با این محدودیت مضارب λ_j برای واحدهایی که از دیدگاه عوامل غیر قابل کنترل، در محیطی مساعدتر از واحد تحت بررسی فعالیت می-کنند برابر با صفر در نظر گرفته شده است یعنی این واحدها نمی‌توانند عضوی از مجموعه مرجع باشند و در مقابل، مضارب λ_j برای واحدهایی که از این دیدگاه در محیط مشابه یا سخت گیرانه تری از واحد تحت بررسی فعالیت می‌کنند بزرگتر یا مساوی صفر در نظر گرفته شده است. این انتخاب بدان معنی است که مجموعه مرجع واحد تحت بررسی تنها می‌تواند شامل این واحدها باشد. رگریو [13] با توجه به توضیحات گفته شده مدل غیرخطی زیر را برای تکنولوژی با بازده به مقیاس متغیر ارائه داد:

$$
\begin{aligned}
& LR_{VRS} = Min \ \ \theta \\
& s.t \quad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} \le \theta x_{io} \qquad i = 1,\dots,m \\
& \qquad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} \ge y_{ro} \qquad r = 1,\dots,s \qquad (۵) \\
& \qquad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1 \quad \lambda_j \ge 0, j = 1,\dots,n \\
& \qquad \lambda_j \ge 0, \forall j \in \left\{ j \middle| z_j \le z_o \right\} \\
& \qquad \lambda_j = 0, \forall j \notin \left\{ j \middle| z_j \le z_o \right\}
\end{aligned}
$$

Archive of SID

www.SID.ir

مدل فوق به علت شباهت با مدل لاول [3]، بـه مـدل لاول- رگریـو معروف است.

مدل (۵) تحت بازده به مقیاس ثابت بصورت زیـر نشـان داده شـده است:

$$LR_{CRS} = Min \ \ \theta$$

$$s.t \quad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} \le \theta x_{io} \quad i = 1,...,m$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} \ge y_{ro} \quad r = 1,...,s \qquad (۶)$$

$$\lambda_j \ge 0, \forall j \in \{ j \,|\, z_j \le z_o \}$$

$$\lambda_j = 0, \forall j \notin \{ j \,|\, z_j \le z_o \}$$

با مراجعه مجدد به پیشینه بحث ذکر می کنیم که بنکر و مـوری در سال ۱۹۸۶ [12] مدل زیر را برای بررسی متغیرهای قطعی که می‌توانند قابل کنترل یا غیر قابل کنترل باشند، تحت تکنولوژی با بازده به مقیـاس ثابت ارائه دادند که بعدها به نام مدل اصلی بنکر و موری برای بکار بـردن داده‌های غیر قابل کنترل شناخته شد. در این مـدل ایـده آن اسـت کـه واحد تحت بررسی بایـد بـا واحـدهای مقایسـه شـود کـه بطـور متوسـط عملکرد مشابهی با واحد تحت بررسی دارند.

$$BM +_{CRS} = Min \ \ \theta$$

$$s.t \quad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} \le \theta x_{io} \quad i = 1,...,m$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j z_{pj} \le z_{po} \sum_{j=1}^{n} \lambda_j \quad p = 1,...,q \qquad (۷)$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} \ge y_{ro} \quad r = 1,...,s$$

تفاوت این مدل با مدل (۴) در آن است کـه مضـارب بـرای ورودی-های غیر قابل کنترل بوسیله عبـارت $\sum_{j=1}^{n} \lambda_j$ مقیـاس مـی‌شـوند. یعنـی مجموع آن‌ها برای ورودی‌های غیر قابل کنترل برابر با یک در نظر گرفتـه می‌شود. به بیان ریاضی:

$$\lambda'_j = \frac{\lambda_j}{\sum_{j=1}^{n} \lambda_j} \quad j = 1,...,n \ , \quad \sum_{j=1}^{n} \lambda'_j z_{pj} \le z_{po} \quad p = 1,...,q$$

که برای حفظ خطی بودن مدل، محدودیت فوق بصورت زیـر ارائـه شـده است:

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j z_{pj} \le z_{po} \sum_{j=1}^{n} \lambda_j \quad p = 1,...,q$$

در مجموع، هر دو مدل (۶) و (۷)، واحد تحت بررسی را با واحدهایی که در محیط های ساده تری قرار دارند، مورد مقایسه قرار نمی دهند. البته با این تفاوت که مدل لاول – رگریو برخلاف مدل اصلی بنکـر و مـوری (۷) که از مقیاس نمودن استفاده می‌کنـد، از یـک راه مسـتقیم بـرای اصـلاح مدل‌های رایج جهت بکارگیری داده‌های غیرقابل کنترل استفاده می‌کند.

۵- مطالعه موردی

در ایـن بخـش کـارایی صـنعت بـرق را بـا اسـتفاده از ورودی‌هـا و خروجی‌های تعیین شده زیر در سال‌های ۸۹-۶۸ بررسی می‌کنـیم. کـل صنعت برق را در طی هر یک از این سال ها، یک واحد تصمیم گیـری در نظـر گرفتـه ایـم. بـر مبنـای اطلاعـات قابـل دسـترس، مولفـه هـای ورودی/خروجی انتخابی عبارتند از:

- ورودی قابل کنترل: میزان سوخت مصرفی نیروگاه‌های کشور
- ورودی غیر قابل کنترل: ظرفیت عملی نیروگاه‌های کشور
- خروجی قابل کنترل: تولید ناویژه انرژی برق

می‌دانیم که ظرفیت عملی نیروگاه‌های کشور بیشترین تـوان قابـل تولید مولد در محل نصب با در نظـر گـرفتن شـرایط محیطـی (ارتفـاع از سطح دریا، دمای محیط و رطوبت نسـبی) اسـت، پـس خـارج از کنتـرل انسان است. به همین دلیل آن را ورودی غیر قابل کنتـرل در نظـر مـی-گیریم.

ورودی و خروجی‌های فوق در جدول شماره ۱ ارائه شده اند که ایـن داده‌ها در سایت آمـار صـنعت بـرق http://amar.tavanir.org.ir قابـل دسترس می‌باشند.

جدول (۱): داده‌های ۲۲ واحد در صنعت برق

سال	ارزش حرارتی سوخت‌های مصرفی (میلیون کیلو کالری)	ظرفیت عملی نیروگاه‌های کشور (مگاوات)	تولید ناویژه انرژی برق (میلیون کیلووات ساعت)
۱۳۶۸	۱۱۳۴۸۳	۱۳۶۳۴	۴۸۷۲۵
۱۳۶۹	۱۳۵۹۵۱	۱۳۷۶۲	۵۴۸۹۶
۱۳۷۰	۱۴۴۹۶۴	۱۳۸۳۵	۵۹۷۱۰
۱۳۷۱	۱۵۰۷۱۸	۱۵۰۲۹	۶۳۹۸۲
۱۳۷۲	۱۷۱۳۹۸	۱۶۹۲۱	۷۱۳۳۵
۱۳۷۳	۱۸۲۸۶۶	۱۹۳۲۶	۷۷۰۸۶
۱۳۷۴	۱۹۴۵۷۷	۲۰۷۵۸	۸۰۰۴۴
۱۳۷۵	۲۰۵۷۳۷	۲۱۲۱۰	۸۵۸۲۵
۱۳۷۶	۲۲۴۱۲۸	۲۲۱۴۱	۹۲۳۱۰
۱۳۷۷	۲۳۲۶۷۷	۲۳۰۵۰	۹۷۸۶۲
۱۳۷۸	۲۴۸۱۷۹	۲۳۹۹۰	۱۰۷۲۰۷
۱۳۷۹	۲۷۸۱۰۲	۲۴۹۸۷	۱۱۸۴۴۱

Archive of SID

www.SID.ir

۱۳۸۰	۲۹۵۱۱۴	۲۶۴۹۶	۱۲۷۱۶۹
۱۳۸۱	۳۰۴۰۶۷	۲۸۸۶۱.۱	۱۳۷۸۱۴
۱۳۸۲	۳۲۰۶۶۲	۳۱۲۹۴	۱۴۹۶۷۶
۱۳۸۳	۳۵۸۷۲۴	۳۳۸۰۲	۱۶۲۸۷۱
۱۳۸۴	۳۹۰۱۱۱	۳۷۲۳۹	۱۷۸۰۷۲
۱۳۸۵	۴۲۲۹۹۲	۴۰۹۸۴	۱۹۲۵۳۴
۱۳۸۶	۴۴۶۰۵۹	۴۴۵۸۲	۲۰۳۹۸۱
۱۳۸۷	۴۹۹۹۰۲	۴۷۵۹۰	۲۱۴۲۸۰
۱۳۸۸	۵۱۰۲۴۲	۴۹۵۱۵	۲۲۱۳۱۴
۱۳۸۹	۵۲۵۰۹۹	۵۴۰۷۰	۲۳۲۹۹۴

داده‌های بدست آمده از اجرای مدل CCR بافرض اینکه میزان سوخت مصرفی نیروگاه‌های کشور و ظرفیت عملی نیروگاه‌های کشور هر دو ورودی‌های قابل کنترل باشند در ستون دوم و داده‌های بدست آمده از دو مدل $BM +_{CRS}$ و LR_{CRS} در دو ستون آخر جدول شماره ۲ ارائه شده اند که نشان‌دهنده عملکرد وزارت نیرو در صنعت برق در سال-های ۸۹-۶۸ می‌باشد.

جدول (۱): کارایی‌های بدست آمده

سال	مدل CCR	مدل $BM +_{CRS}$	مدل LR_{CRS}
۱۳۶۸	۰/۹۱۹۸۴۹	۱	۱
۱۳۶۹	۰/۸۶۵۰۷۵	۰/۹۳۸۸	۰/۹۴۰۴۵۳۳
۱۳۷۰	۰/۸۹۸۱۴	۰/۹۵۶۶۹۹	۰/۹۵۹۳۲۵
۱۳۷۱	۰/۹۰۹۴۶۹	۰/۹۷۲۱۹۱	۰/۹۸۸۷۱۶
۱۳۷۲	۰/۸۹۱۶۴۶	۰/۹۳۷۲۸	۰/۹۶۹۳۳۹
۱۳۷۳	۰/۹۰۳۱۰۴	۰/۹۳۵۰۸	۰/۹۸۱۷۹۷
۱۳۷۴	۰/۸۸۱۳۱۸	۰/۹۰۶۲۷۵	۰/۹۵۸۱۱۲
۱۳۷۵	۰/۸۹۳۷۱	۰/۹۱۷۲۵۲	۰/۹۷۱۵۸۴
۱۳۷۶	۰/۸۸۲۳۶۴	۰/۹۰۲۳۰۸	۰/۹۵۹۲۵
۱۳۷۷	۰/۹۰۱۰۶۵	۰/۹۱۸۴۷۹	۰/۹۷۹۵۷۹
۱۳۷۸	۰/۹۳۲۴۷۳	۰/۹۴۰۵۰۹	۱
۱۳۷۹	۰/۹۸۳۷۵۴	۰/۹۲۴۵۹۳	۰/۹۸۵۹۱۶
۱۳۸۰	۰/۹۹۶۰۹۲	۰/۹۳۱۸۹۲	۰/۹۹۷۵۴۷
۱۳۸۱	۰/۹۹۲۵۵۱	۰/۹۷۵۱۸۳	۱
۱۳۸۲	۱	۱	۱
۱۳۸۳	۱	۰/۹۷۲۶۹۹	۰/۹۷۲۶۹۹
۱۳۸۴	۰/۹۹۵۱۶	۰/۹۷۷۹۱۹	۰/۹۷۷۹۱۹
۱۳۸۵	۰/۹۸۰۷۳	۰/۹۷۵۱۴۸	۰/۹۷۵۱۴۸
۱۳۸۶	۰/۹۷۹۶۹۹	۰/۹۷۹۶۹۹	۰/۹۷۹۶۹۹
۱۳۸۷	۰/۹۳۶۵۰۸	۰/۹۱۸۳۱۶	۰/۹۱۸۳۱۶
۱۳۸۸	۰/۹۳۳۴۰۵	۰/۹۲۹۲۴	۰/۹۲۹۲۴
۱۳۸۹	۰/۹۵۰۶۰۲	۰/۹۵۰۶۰۲	۰/۹۵۰۶۰۲

همانطور که مشاهده می‌شود، مدل CCR دو سال ۸۲ و ۸۳ را بعنوان کاراترین واحدها تعیین می‌کند و ناکارا ترین سال را سال ۶۹ اعلام کرده و به غیر از شش واحد با مقدار کارایی‌های بین ۰/۸۵ تا ۰/۹۰ مقدار کارایی سایر واحدها را بالای ۰/۹۰ تعیین کرده است. این مقدار کارایی‌ها به این معنی است که اگر ورودی‌های یک واحد تحت بررسی را با استفاده از یک ضریب انقباضی که همان مقدار کارایی آن است کاهش دهیم، واحد تحت بررسی با ورودی بدست آمده جدید و خروجی سابقش امکان پذیر خواهد بود.

برای مثال برای سال ۱۳۶۹ داریم:

$$\theta_{۶۹} = ۰/۸۷$$

$$x_۱ = ۱۳۵۹۵۱, x_۲ = ۱۳۷۶۲, y = ۵۴۸۹۶$$

$$\left.\begin{array}{l} x_۱ = ۱۱۸۲۷۷ \\ x_۲ = ۱۱۹۷۲ \end{array}\right\} \quad \text{ورودی‌های بهینه}$$

یعنی $(x_۱ = ۱۱۸۲۷۷, x_۲ = ۱۱۹۷۲, y = ۵۴۸۹۶)$ بعنوان مقدار بهینه ورودی‌های مصرفی و خروجی تولیدی سال ۶۸ در مقایسه با سایر سال‌ها در نظر گرفته می‌شود. همانطور که دیده می‌شود مدل CCR با کاهش هر دو ورودی مقدار کارایی نسبی واحد تحت بررسی را تعیین می‌کند.

در ستون سوم جدول ۲ کارایی‌های سال‌های ۸۹-۶۸ بدست آمده از مدل $BM +_{CRS}$ را مشاهده می‌نمایید. این مدل دو سال ۶۸ و ۸۲ را بعنوان کاراترین سال‌ها معرفی می‌کند. در مدل $BM +_{CRS}$ با توجه به اینکه ضریب انقباضی فقط برای ورودی قابل کنترل در نظر گرفته شده است، سایر داده‌ها در مقدار بهینه ثابت می‌مانند. بعنوان مثال برای سال ۱۳۶۹ داریم:

$$\theta_{۶۹} = ۰/۹۳۸$$

$$x_۱ = ۱۳۵۹۵۱, x_۲ = ۱۳۷۶۲, y = ۵۴۸۹۶$$

$$x_۱ = ۱۲۷۵۲۲ \quad \text{ورودی قابل کنترل بهینه}$$

یعنی $(x_۱ = ۱۲۷۵۲۲, x_۲ = ۱۳۷۶۲, y = ۵۴۸۹۶)$ بعنوان مقدار بهینه ورودی‌های مصرفی و خروجی تولیدی سال ۶۹ در مقایسه با سایر سال‌ها با استفاده از مدل $BM +_{CRS}$ می‌باشد.

مدل لاول- رگریو سال‌های ۶۸، ۷۸، ۸۱ و ۸۲ را بعنوان سال‌های کارا معرفی می‌کند. همانطور که مشاهده می‌شود سال‌های ۷۸ و ۸۱ در مدل $BM +_{CRS}$ بترتیب مقدار کارایی ۰/۹۴ و ۰/۹۸ را دارند. همچنین داده‌های جدول ۲ نشان می‌دهد که مدل LR_{CRS} برای همه واحدها مقدار کارایی بیشتری نسبت به مدل $BM +_{CRS}$ تخمین می‌زند. این

Archive of SID

www.SID.ir

مدل نیز ضریب انقباضی را فقط برای ورودی‌های قابل کنترل دارد. پس برای سال ۱۳۶۹ داریم:

$$\theta_{۶۹} = ۰/۹۴$$

$$x_۱ = ۱۳۵۹۵۱, x_۲ = ۱۳۷۶۲, y = ۵۴۸۹۶$$

$x_۱ = ۱۲۷۷۹۳$ ورودی قابل کنترل بهینه

یعنی مدل LR_{CRS} مقدار بهینه ورودی‌های مصرفی و خروجی تولیدی سال ۶۹ را بصورت زیر در مقایسه با سایر سال‌ها ارائه می‌دهد.

$$(x_۱ = ۱۲۷۷۹۳, x_۲ = ۱۳۷۶۲, y = ۵۴۸۹۶)$$

۶- نتیجه

در سال‌های اخیر مدل‌های متعددی برای بکار بردن داده‌های غیر قابل کنترل ارائه شده است. از جمله این مدل‌ها می‌توان مدل بنکر و موری [12] و مدل لاول- رگریو[13] را نام برد که در این مقاله به آن‌ها اشاره و در مورد آن‌ها بحث شد. همچنین با توجه به اینکه صنعت برق از مهمترین صنایع هر کشور در پیشرفت آن کشور است، کارایی صنعت برق کشور را در سال‌های ۶۸-۸۹ با استفاده از مدل‌های فوق و داده‌های معین بررسی کردیم.

مراجع

[۱] عزیزی،رزا ، ارزیابی عملکرد سیستم های تولید با پردازش سری و موازی: DEA با ساختار شبکه، کارشناسی ارشد، ۱۱۱، ۱۳۸۸.

[2] Cooper, WW., Seiford, LM., Tone, k., "Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software", second edition *Springer-Verlag New York, Inc, 2006*.

[3] Lovell, CAK., "Linear programming approaches to the measurement and analysis of productive efficiency", TOP 2, 175–248, 1994.

[4] Farrell, MJ., "The Measurement of Productive Efficiency", *Journal of Royal Statistical Society*, Vol. 120, No. 3, pp. 253-281, 1957.

[5] Charnes, A., Cooper, WW., Rhodes, E., "Measuring the efficiency of decision making units", *European journal of operational research*, Vol. 2, No. 4, pp. 429 – 444, 1978.

[6] Liu,CH., Lin, SJ., Lewis, C.," Evaluation of thermal power plant operational performance in Taiwan by data envelopment analysis", *Energy policy*, Vol. 28, No. 2, pp. 1049-1058, 2009.

[7] Sozen, A., Alp, I., Ozdemir, A.," Evaluation of thermal power plant operational performance in Taiwan by data envelopment analysis", *Energy policy*, Vol. 38, No. 10, pp. 6194-6203, 2010.

[8] Sueyoshi, T., Goto, M., "Returns to scale vs. damages to scale in data envelopment analysis: An impact of U.S. clean air act on coal-fired power plants", *Omega*, In Press, Corrected Proof, Available online 14 February 2012.

[9] Sarica, K., Or, I., "Efficiency assessment of Turkish power plants using data envelopment analysis", *Energy*, Vol. 32, No. 8, pp. 1484-1499, 2007.

[10] Banker, RD., Charnes, A., Cooper, WW., "Models for Estimation of Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis", *Management Sience*, Vol. 30, pp. 1078-1092, 1984.

[11] Banker, RD., Morey, RC., "Efficiency analysis for exogenously fixed inputs and outputs", *Operations Research*, Vol. 34, No. 4, pp. 513–521, 1986.

[12] Banker, RD., Morey, RC., "The use of categorical variables in data envelopment analysis", *Management Science*, Vol. 32, No. 12, pp. 1613–1627,1986.

[13] Ruggiero, J., "On the measurement of technical efficiency in the public sector", *European Journal of Operational Research*, Vol. 90, pp. 553–565, 1996.

[14] Syrjanen, MJ., "Non-discretionary and discretionary factors and scale in data envelopment analysis", *European journal of operational research*, Vol. 158, pp. 20-33, 2004.

زیرنویس‌ها

[1] Data envelopment analysis
[2] Non-parametric
[3] Decision making units
[4] Inputs
[5] Outputs
[6] Efficiency
[7] Charnes, Cooper, Rhodes
[8] Non-controllable (Non-discretionary)
[9] Banker, Charnes, Cooper
[10] Returns to scale
[11] Constant returns to scale
[12] Production possibility set
[13] Variable returns to scale
[14] Pareto-Koopmans efficiency
[15] Reference set

Archive of SID

www.SID.ir