International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2015)
Mar 2015, Volume 25, Number 4
pp. 465 -480

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

Efficiency Evaluation of the Products of a Manufacturing Unit Using Data Envelopment Analysis (Exact and Interval Modes)

Bita Yazdani, Saeedeh Ketabi

Bita Yazdani: *Ph.D. Student, Faculty of Administrative science and economy, Isfahan University, yazdani1979@gmail.com.*
Saeedeh Ketabi: *Assistant professor, Faculty of Administrative science and economy, Isfahan University, sketabi@yahoo.com.*

Keywords

Production efficiency, Data Envelopment Analysis, Categorical data, Interval data

ABSTRACT

Today, managers are seeking more efficient use of resources and manufacturing the products with the highest efficiencies. Data Envelopment Analysis (DEA) is a powerful tool for evaluating the efficiency of the decision making units. So far, in most studies, Data Envelopment Analysis has been applied to evaluate the efficiency of the separate organizations. However, in this study, DEA has been applied to evaluate different products of a manufacturer, and to propose the optimal values for input and output attributes. At the first stage, the products' efficiencies have been calculated using the classical models of DEA, with and without incontrollable variables. In the next stage, Interval Data Envelopment Analysis has been applied, since unexplainable changes have been observed in the data during the collecting time period. The results have been analysed according to the experts' viewpoints and the actual situation. The results of this study indicate that BCC models provide more acceptable results in compare with CCR models. The Interval BCC model results are closer to reality in the studied unit in compare with classical BCC model'. Finally, the products' efficiency rates have been compared using the average ranks, Borda and Copland methods.

© 2015 IUST Publication, IJIEPM. Vol. 25, No. 4, All Rights Reserved

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــــریت تولیـــد

شمـــاره ۴، جلـــد ۲۵، اسفند ۱۳۹۳

صفحـــــه ۴۸۰-۴۶۶

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

سنجش کارایی تولیدو رتبه‌بندی محصولات یک واحد صنعتی با روش تحلیل پوششی داده‌ها در حالت قطعی و بازه‌ای

بیتا یزدانی*[1]، سعیده کتابی[2]

کلمات کلیدی

کارایی تولید،
تحلیل پوششی داده‌ها،
داده‌های قطعی،
داده‌های بازه ای

چکیده:

امروزه مدیران سازمانها در صدد استفاده‌ی بهینه از امکانات و منابع خود و تولید محصولاتی با حداکثر کارایی می‌باشند. تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) ابزار قدرتمندی برای ارزیابی عملکرد واحدهای تصمیم گیری می‌باشد. تاکنون در بیشتر تحقیقات انجام شده تحلیل پوششی داده‌ها به منظور ارزیابی عملکرد واحدهای تصمیم گیری که شامل سازمانهای جدا از هم می‌باشند، به کار گرفته شده است. این در حالی است که در پژوهش حاضر تحلیل پوششی داده‌ها به منظور ارزیابی عملکرد محصولات تولیدی یک واحد صنعتی به کار گرفته شده است. هدف از انجام پژوهش حاضر ارائه مدلی مناسب برای سنجش کارایی محصولات تولیدی در یک واحد صنعتی و ارائه مقادیر بهینه ورودی‌ها و خروجی‌ها برای محصولات ناکارا می‌باشد. سنجش کارایی محصولات در مرحله اول، با استفاده از مدلهای کلاسیک تحلیل پوششی انجام می‌گردد.در این حالت مدلها یکبار با متغیرهای قابل کنترل و بار دیگر با متغیر غیر قابل کنترل حل و نتایج ارائه می‌گردد. اما از آنجاییکه در دوره زمانی مورد بررسی تغییرات غیر قابل توجیهی در داده‌ها وجود داشته است در مرحله بعدی مدل‌های بازه‌ای تحلیل پوششی داده‌ها مورد استفاده قرار خواهند گرفت. نتایج حاصل از مدلهای کلاسیک و بازه‌ای تحلیل پوششی داده‌ها با یکدیگر مقایسه شده و با استفاده از نظرات مدیران کارخانه و مقایسه با وضعیت واقعی محصولات، مدلهایمناسب برای سنجش کارایی و رتبه بندی محصولات ارائه می‌گردد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که مدل‌های BCC نسبت به مدلهای CCR نتایج قابل قبول‌تری را ارائه می‌کنند. همچنین نتایج مدل BCC بازه‌ای از مدل BCC کلاسیک به واقعیت موجود در واحد صنعتی نزدیک‌تر می‌باشد. در انتها نیز کارایی محصولات تولیدی با استفاده از روش‌های میانگین رتبه‌ها، بردا و کپ لند مورد مقایسه قرار گرفته است.

۱. مقدمه

ارزیابی و مقایسه‌ی عملکرد واحدهای مشابه قسمت مهمی از مدیریت یک سازمان پیچیده است. تحلیل پوششی داده‌ها یکی از تکنیک‌های قدرتمند مدیریتی است که ابزاری در اختیار مدیران قرار می‌دهد تا بتوانند به وسیله آن عملکرد شرکت خود را در قبال سایر رقبا محک زنند و بر اساس نتایج آن برای آینده‌ای بهتر تصمیم گیری کنند.

این ابزار که برای اولین بار توسط چارنز، کوپر و رودز در سال ۱۹۷۸ ارائه شد، کارایی نسبی واحدهایی (DMU) که دارای ورودی‌ها و خروجی‌های مشابه هستند، اندازه‌گیری کرده و بر اساس این کارایی، واحدها با عملکرد کارا و با عملکرد ناکارا را مشخص می‌کند. سادگی فهم و اجرای روش تحلیل پوششی داده‌ها در کنار دقت بالا و کاربرد وسیع آن در زمینه‌های مختلف سیاسی، فرهنگی، اجتماعی و اقتصادی باعث شده است پژوهشگران زیادی از این روش برای دست یافتن به اهداف خود استفاده کنند [۱].

تاریخ وصول: ۹۱/۰۲/۳۰

تاریخ تصویب: ۹۱/۱۲/۱۳

سعیده کتابی، استادیار، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان، sketabi@yahoo.com

*نویسنده مسئول مقاله: **بیتا یزدانی**، دانشجوی دکتری، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان، yazdani1979@gmail.com

تاکنون بیشتر پژوهش‌هایی که در این حوزه انجام شده‌اند، به ارزیابی عملکرد واحدهای تصمیم گیری مستقل پرداخته‌اند. واحدهایی که معمولا شامل سازمانهایی مشابه اما مستقل می‌باشند. در پژوهش حاضر تحلیل پوششی داده‌ها برای مقایسه کارایی تولید و رتبه بندی محصولات تولیدی یک واحد صنعتی به کار گرفته می‌شود. با توجه به اینکه در صنعت مورد مطالعه، منابع مورد نیاز برای پردازش و آماده سازی محصولات معرفی شده در هر سطحی قابل تامین می‌باشند می‌توان برای سنجش کارایی محصولات از مدلهای تحلیل پوششی داده‌ها استفاده نمود و به کمک این مدل‌ها نحوه تاثیر میزان نیاز هر محصول به منابع مختلف از جمله مواد اولیه، نیروی انسانی، تجهیزات و ماشین آلات مورد نیاز را بر اساس شاخص‌های تعریف شده محاسبه نمود.

به کارگیری تحلیل پوششی داده‌ها برای رتبه بندی محصولات تولیدی یک واحد صنعتی در پژوهش‌های پیشین مورد توجه نبوده است. لکن پژوهش حاضر را می‌توان از این حیث نوآورانه دانست. در سایر پژوهش‌ها همواره از فاکتورهایی نظیر سودآوری برای سنجش کارایی محصولات استفاده می‌کنند، در حالیکه با به کارگیری روش تحلیل پوششی داده‌ها می‌توان از فاکتورهای متنوع‌تری برای شاخص‌های ورودی یا خروجی استفاده نمود. همچنین می‌توان شاخص‌های ورودی و خروجی را به گونه‌ای تنظیم نمود که یک محصول مناسب با حداقل اندازه شاخص‌های ورودی و حداکثر اندازه شاخص‌های خروجی تولید گردد. این موضوع در پژوهش‌های پیشین مورد توجه قرار نگرفته است.

با توجه به شرایط واحد صنعتی مورد بررسی در تولید محصولات، تحلیل پوششی داده‌ها نتایج قابل قبولی را برای رتبه بندی محصولات ارائه میکند. به کارگیری تحلیل پوششی داده‌ها برای سنجش کارایی و رتبه بندی محصولات مزیت‌هایی را به همراه دارد. اول اینکه مشخص شدن رتبه محصولات می‌تواند واحد صنعتی را در تصمیم گیری برای سرمایه گذاری بیشتر روی محصولات کارا و کاهش تولید محصولات ناکارا کمک رساند. دوم اینکه، به طور کلی محصولات یک واحد تولیدی را می‌توان به دو گروه تقسیم بندی نمود. محصولاتی که برای واحد صنعتی از لحاظ تولید مقرون به صرفه می‌باشند و محصولاتی که تولید آنها چندان اقتصادی نبوده و تنها به علت تکمیل شدن سبد محصولات و رضایت مشتریان، تولید می‌شوند. هر چند تولید دسته اخیر محصولات برای واحد تولیدی مقرون به صرفه نمی‌باشد، اما در صورتیکه واحد تولیدی مقادیر بهینه‌ی ورودی‌ها و خروجی‌های محصولات کارا را در اختیار داشته باشد، می‌تواند از آن طریق مقادیر ورودی و خروجی محصولات ناکارا را به آن مقادیر نزدیک کرده و تولید آنها را نیز اقتصادی گرداند.

در مدلهای کلاسیک تحلیل پوششی داده‌ها (مثل مدلهای CCR و BCC)، این فرض وجود دارد که مقدار عددی دقیقی برای ورودی‌ها و خروجی‌ها مشخص است. ولی بسیاری از اوقات در شرایط واقعی کسب و کار، تعیین مقدار عددی دقیق برای برخی ورودی‌ها و یا خروجی‌ها امکان پذیر نیست. در این مقاله از مدلهای نوین تحلیل پوششی داده‌ها برای شناسایی کاراترین محصول با استفاده از داده‌های غیر دقیق (بازه ای) بهره گرفته شده است. همچنین در حالت کلاسیک یکبار مدلها با در نظر گرفتن متغیرها به صورت قابل کنترل و بار دیگر به صورت غیر قابل کنترل نوشته و محاسبات انجام پذیرفته است.

در ادامه نتایج و رتبه‌های بدست آمده از هر یک از مدلهای موجود با یکدیگر و با شرایط واقعی موجود در واحد صنعتی مقایسه شده است. در این زمینه از نظرات کارشناسی مدیران واحد صنعتی نیز بهره گرفته شده است و در نهایت مدل‌هایی که بهترین نتایج را ارائه نموده‌اند، انتخاب گشته است. مدلهای انتخابی واحد صنعتی را در شناسایی محصولات کارا و ناکارا و همچنین دست یابی به الگوهای بهینه ورودی و خروجی یاری می‌رسانند. در انتها نیز به منظور جمع بندی رتبه‌های حاصل از مدلهای مختلف، با استفاده از روش‌های میانگین رتبه‌ها، بردا و کپ لند اولویت بندی نهایی محصولات ارائه شده است.

ادامه مقاله به صورت زیر بخش بندی شده است. در بخش بعدی مروری بر مدلهای تحلیل پوششی داده‌ها که برای ارزیابی عملکرد در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند به عمل خواهد آمد. پس از آن روش مورد استفاده در این پژوهش به همراه متغیرهای ورودی و خروجی معرفی می‌گردد و در ادامه مدل‌ها، حل شده و نتایج هر یک به صورت جداگانه ارائه شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. در انتها نیز به جمع بندی و نتیجه گیری مدل‌های مورد بررسی پرداخته خواهد شد.

۲. مرور ادبیات

کارایی" بیانگر این مفهوم است که یک سازمان به چه خوبی از منابع خود در راستای تولید نسبت به بهترین عملکرد در مقطعی از زمان استفاده کرده است."[۲].

اندازه‌گیری کارایی به خاطر اهمیت آن در ارزیابی عملکرد یک شرکت یا سازمان همواره مورد توجه محققین قرار داشته است. در سال ۱۹۷۵ فارل با استفاده از روشی مانند اندازه‌گیری کارایی در مباحث مهندسی اقدام به اندازه‌گیری کارایی برای یک واحد تولیدی نمود. موردی که فارل برای اندازه‌گیری کارایی مد نظر قرار داده بود شامل یک ورودی و یک خروجی بود. فارل مدل خود را برای تخمین کارایی بخش کشاورزی آمریکا نسبت به سایر کشورها مورد استفاده قرار داد. با این وجود او در ارائه روشی که در بر گیرنده‌ی ورودی‌ها و خروجی‌های متعدد باشد، موفق نبود [۲].

"چارنز"، "کوپر" و "رودز" دیدگاه فارل را توسعه داده و مدل تحلیل پوششی داده‌ها را ارائه کردند که توانایی اندازه‌گیری کارایی با چندین شاخص ورودی و چندین خروجی را داشت. هدف این مدل اندازه‌گیری و مقایسه کارایی نسبی واحدهای سازمانی است که دارای چندین ورودی و خروجی شبیه به هم باشند.

۲-۱. مدل‌های کلاسیک تحلیل پوششی داده‌ها با استفاده از داده‌های قطعی

تحلیل پوششی داده‌ها یک مدل ریاضی است که کارایی مجموعه‌ای از واحدهای تصمیم گیری با چند شاخص ورودی و چند شاخص خروجی را اندازه‌گیری می‌کند. مدل پایه تحلیل پوششی داده‌ها به شکل قابل حل توسط روش‌های برنامه ریزی خطی، نخستین بار توسط چارنز و همکاران(۱۹۷۸) به صورت ریز ارائه شد که به مدل CCR معروف است:

$$\begin{aligned} &\max \sum_{r=1}^{s} u_r\ y_r \\ &\sum_{i=1}^{m} v_i\ x_i\ = 1 \\ &\sum_{r=1}^{s} u_r\ y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i\ x_{ij}\ \le 0 \quad j \\ &= 1,2,\dots,n \quad r = 1,2,\dots,s \quad i = 1,2,\dots,m \\ &u_r \ge 0, v_j\ \ge 0 \end{aligned} \qquad (۱)$$

در مدل (۱)، n واحد تصمیم گیری وجود دارد که هر یک از آنها m ورودی x_1 ، x_2، ...، x_m و s خروجی y_1، y_2، ... y_Sدارند.در این مدل x_{ij} و y_{rj}(که همه غیر منفی هستند) نمایانگر ورودی‌ها و خروجی‌های j امین واحد تصمیم گیری هستند و v_i و u_rنیز وزن‌های ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌باشند. لازم به ذکر است که این مدل یک مدل ورودی گرا بوده و برای واحد تصمیم گیری ۰ نوشته شده است. این مدل باید برای واحدهای دیگر هم نوشته شود که تنها تابع هدف و محدودیت اول آن تغییر می‌کند. با حل این مدلها به کمک نرم افزارهای برنامه ریزی خطی، کارایی واحدهای تصمیم گیری بدست می‌آید. اگر کارایی یکی از واحدها عدد ۱ باشد، این واحد کارا در نظر گرفته می‌شود.

برای شاخص‌های ورودی که غیر قابل کنترل هستند یعنی نمی‌توان مقدار آنها را کم یا زیاد نمود، ابتدا باید مدل پوششی را نوشت و برای متغیر غیر قابل کنترل محدودیت زیر را اضافه نمود [۳].

(برای ورودی‌های غیر قابل کنترل)

$$\begin{aligned} &\text{Min } E \\ &\lambda\ x \le E\ x^j \\ &\lambda\ y \ge y^j \\ &\lambda_r x_r \le x_r \\ &\lambda \ge 0 \end{aligned}$$

یکی از ویژگی‌های مدل "تحلیل پوششی داده‌ها" ساختار بازده به مقیاس آن می‌باشد. بازده به مقیاس می‌تواند "ثابت" یا "متغیر" باشد. بازده به مقیاس بدان معناست که افزایش در مقدار ورودی منجر به افزایش خروجی به همان نسبت می‌شود. در بازده متغیر، افزایش خروجی بیشتر یا کمتر از نسبت افزایش در ورودی است.در سال ۱۹۸۴، بنکر، چارنز و کوپر با تغییر در مدل CCR مدل BCC را عرضه کردند. مدل BCC مدلی از انواع مدلهای تحلیل پوششی داده‌هاست که در ارزیابی کارایی نسبی واحدهایی با بازده متغیر نسبت به مقیاس می‌پردازد. مدلهای بازده به مقیاس ثابت، محدود کننده‌تر از مدلهای بازده به مقیاس متغیر هستند. دلیل این موضوع، حالت خاص بودن مدل بازده ثابت به مقیاس از مدل بازده متغیر به مقیاس است.. مدل BCC ورودی محور کارایی واحد تحت بررسی (DMU_0) را با استفاده از مدل (۳) ارزیابی می‌کند [4].

$$\begin{aligned} &\text{Max } E = \sum_{r=1}^{S} u_r\ y_{ro}\ + u_o \\ &\sum_{i=1}^{m} v_i\ x_{io} = 1 \\ &\sum_{r=1}^{s} u_r\ y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i\ x_{ij}\ \le 0 \quad j \\ &= 1,2,\dots,n \quad r = 1,2,\dots,s \quad i = 1,2,\dots,m \\ &u_r, v_j\ \ge 0 \\ &\text{W free} \end{aligned} \qquad (۳)$$

۲-۲. مدل‌های بازه‌ای تحلیل پوششی داده‌ها:

در مدل‌های کلاسیک تحلیل پوششی داده‌ها فرض بر دقیق بودن داده‌ها می‌باشد، در حالیکه در دنیای واقعی در بسیاری موارد داده‌ها دقیق نبوده و ممکن است به صورت فازی یا فاصله‌ای تعریف شوند. در روش‌های نوین تحلیل پوششی داده‌ها می‌توان به جای استفاده از اعداد دقیق برای شاخص‌های ورودی یا خروجی حد بالا و پایین این شاخص‌ها را در نظر گرفت تا بتوان بدان وسیله حداقل و حداکثر کارایی را بدست آورد. وانگ و همکاران(۲۰۰۵) مدلی خطی را برای محاسبه حد بالایی و حد پایینی کارایی واحد تصمیم گیری مورد نظر ارائه نموده‌اند که به صورت زیر می‌باشد:

Θ_j^L حدپایین کارایی واحد j ام می‌باشد که میزان آن همواره بزرگتر از صفر است وΘ_j^Uحد بالای کارایی واحد j ام می‌باشد که میزان آن همواره کوچکتر یا مساوی یک می‌باشد.

مدل خطی برای محاسبه حد بالایی کارایی واحد مورد نظر:

$$\begin{aligned} &\text{Maximize } \theta_{jo}^{u} = \sum_{r=1}^{s} u_r\ y_{rjo}^{u} \\ &\text{Subject to } \sum_{i=1}^{m} ui \quad x_{ijo}^{l}\ = 1 \\ &\sum_{r=1}^{s} u_r\ y_{rj}^{u} - \sum_{i=1}^{m} ui\ x_{ij}^{l}\ \le 0, \\ &j=1,2,\dots..,n \end{aligned} \qquad (۴)$$

$u_r, v_j \geq \in \quad \forall r, i$

مدل خطی برای محاسبه حد پایین کارایی واحد مورد نظر:

$$\begin{aligned} &\text{Maximize } \theta^{u}_{jo} = \sum_{r=1}^{s} u_r\, y^{L}_{rjo} \\ &\text{Subject to } \sum_{i=1}^{m} ui \quad x^{u}_{ijo} = 1, \\ &\sum_{r=1}^{s} u_r\, y^{u}_{rj} - \sum_{i=1}^{m} ui\, x^{l}_{ij} \leq 0, \\ &J=1,2,\ldots..,n \\ &u_r, v_j \geq \in \end{aligned} \qquad (۵)$$

بر اساس مدل بازه ای، یک واحد تصمیم گیری هنگامی کاراست که Θ_{jP}^{U}=۱ باشد و هنگامی گفته می‌شود که ناکاراست که Θ_{JP}^{U}=۱باشد[5].

مدل بازه‌ای تحلیل پوششی داده‌ها در حالت بازده متغیر نسبت به مقیاس نیز به صورت زیر می‌باشد [۶]:

محاسبه حد بالای کارایی واحد مورد نظر در حالت بازده متغیر نسبت به مقیاس [۶]:

$$\begin{aligned} &\text{Maximize } \Theta_{jP}{}^{u} = \sum_{r=1}^{s} u_r y^{u}_{rjp} + w \\ &\text{Subject to} \sum_{i=1}^{m} v_i\, x_{ij}{}^{L}_{P} = 1 \\ &\sum_{r=1}^{s} u_r\, y^{u}_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i\, x^{L}_{ij} + w \leq 0 \; j = 1, \ldots, \\ &n, \\ &u_r, v_j \geq 0 \quad \forall r, i \end{aligned} \qquad (۶)$$

محاسبه حد پایین کارایی واحد مورد نظر در حالت بازده متغیر نسبت به مقیاس:

$$\begin{aligned} &\text{Maximize } \Theta^{L}_{jp} = \sum_{r=1}^{s} u_r y^{L}_{rjp} + w \\ &\text{Subject to } \sum_{i=1}^{m} v_i\, x_{ij}{}^{U}_{P} = 1 \\ &\sum_{r=1}^{s} u_r\, y^{u}_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i\, x^{L}_{ij} + w \leq 0 \quad j = 1, \ldots, n, \\ &u_r, v_j \geq 0 \quad \forall r, i. \end{aligned} \qquad (۷)$$

۲-۳. روش حداقل نمودن حداکثر کارایی از دست رفته(MRA) برای رتبه بندی واحدها با داده‌های بازه ای

پس از محاسبه‌ی حدود کارایی واحد، وجود روشی برای رتبه بندی واحدها ضرورت دارد. بدین منظور روش MRA که توسط وانگ و همکاران (۲۰۰۵) معرفی شده است، ارائه می‌شود. در این روش فرض می‌شود حدود بالا و پایین کارایی واحد i به صورت $A_i=[a_i^L, a_i^U]$ می‌باشد. همچنین $b= \max_{j\neq i}\{a_j^U\}$ (ماکزیمم حد بالای تمامی واحدها به غیر از خود واحد). در این حالت اگر $a_i^L < b$ باشد می‌توان گفت که واحد i کارایی که می‌توانسته بدست آورد را از دست داده است. همچنین می‌توان آنرا فرصت از دست رفته نیز نامید. حداکثر کارایی از دست رفته به صورت زیر می‌باشد:

$$\text{Max}(r_i) = = b - a_i^l = max_{j\neq i}\left(a_j^u\right) - a_i^l$$

اگر $a_i^L \geq b$ باشد واحد i کارایی دست رفته و یا در واقع فرصت از دست رفته‌ای ندارد. در این حالت فرصت از دست رفته منفی می‌شود که به جای آن صفر قرار داده می‌شود. با ترکیب دو حالت بالا رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$\text{Max}(r_i) = max\left[max_{j\neq i}\left(a_j^u\right) - a_i^l, o\right]$$

پس از آن واحدها بر اساس کارایی از دست رفته به ترتیب صعودی مرتب می‌شوند و واحد با کمترین میزان، بالاترین رتبه را بدست می‌آورد:

$$max_i\left\{max\left[max_{j\neq i}\left(a_j^u\right) - a_i^l, o\right]\right\} = max_i\{\text{Max}(ri)\}$$

هنگامی که واحد با بالاترین رتبه‌ی بدست آمد، آن واحد از میان واحدها حذف می‌گردد و روش مذکور برای واحدهای باقیمانده انجام می‌پذیرد. واحد با کمترین کارایی از دست رفته مشخص می‌شود و در رتبه‌ی دوم قرار میگیرد. این واحد نیز از میان واحدها حذف می‌شود و برای سایر واحدها روش مذکور انجام می‌پذیرد. این کار تا وقتی ادامه پیدا می‌کند که تنها یک واحد باقی بماند. واحد باقیمانده در رتبه‌ی آخر قرار می‌گیرد.

۲-۴. استراتژی‌های اولویت بندی

حال ممکن است این سوال مطرح شود که اکنون که از چند روش برای رتبه بندی استفاده شده است و هر یک نتایج متفاوتی را بدست دادند، چه باید کرد و رتبه نهایی چه می‌باشد؟ برای توفق بر این وضعیت، روش‌های مختلفی مطرح شده‌اند که به "روش‌های ادغام" معروفند. این روش‌ها عبارتند از روش میانگین رتبه‌ها، روش بردا [۱] و روش کپ لند[۲].

۲-۴-۱. روش میانگین رتبه‌ها

این روش، گزینه‌ها را بر اساس میانگین رتبه‌های بدست آمده از روش‌های مختلف، اولویت بندی می‌کند [۷].

۲-۴-۲. روش بردا

این روش بر اساس قاعده اکثریت استوار است. به عنوان مثال اگر بر اساس اکثر روشها، گزینه ۱ بر گزینه ۳ ترجیح داشته باشد، این

مورد را در مقایسه زوجی با M نشان می‌دهیم. اگر در این مقایسه زوجی رای اکثریت وجود نداشت و یا آراء با هم مساوی بود، آنرا با X کدگذاری می‌کنیم. M به منزله آن است که سطر بر ستون ارجحیت دارد و X نشانگر آن است که ستون بر سطر ارجحیت دارد. هر مقایسه زوجی به صورت جداگانه، مورد بررسی قرار می‌گیرد. تعداد مقایسات، برابر m(m-1)/2 است که m، تعداد گزینه‌ها است. معیار اولویت در این روش، آن است که در چند دفعه، بردهای گزینه (یعنی M) در سطر دارای اکثریت است [۷].

۴-۲-۳. روش کپ لند:

این روش با پایان روش بردا شروع می‌شود. روش کپ لند نه فقط تعداد "بردها" بلکه تعداد "باختها" را هم برای هر گزینه محاسبه می‌کند. امتیازی که کپ لند به هر گزینه می‌دهد، با کم کردن تعداد باختها ($\sum R$) از تعداد بردها ($\sum C$) محاسبه می‌شود[۷].

برای بررسی ادبیات مرتبط با این پژوهش، لازم بود پژوهش‌هایی مورد نظر قرار گیرند که به ارزیابی واحدها یا محصولات مختلف یک سازمان می‌پردازند. با این حال پژوهش‌ها در مورد واحدهای یک سازمان اندک هستند [۶]. می‌توان در این راستا به پژوهش آذر و موتمنی (۱۳۸۳) اشاره نمود که به اندازه‌گیری بهره وری در شرکتهای تولیدی بوسیله تحلیل پوششی داده‌ها پرداخته‌اند. آنها عملکرد کارخانجات مختلف کاشی سازی یک شرکت مرکزی را مورد ارزیابی قرار داده و با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها بهره وری واحدهای تولیدی این شرکت مرکزی را در طول زمان را بررسی کرده‌اند. ورودی‌های مورد استفاده در پژوهش آذر و موتمنی(۱۳۸۳) شامل: نیروی انسانی، مواد اولیه، ماشین آلات و سایر هزینه‌ها می‌باشد و همچنین خروجی‌ها شامل محصولات بر حسب ارزش ریالی و سایر درآمدها بوده است [۸].

در پژوهش دیگری که تیموری(۱۳۸۹) در پالایشگاه اصفهان انجام داد از مدلهای کلاسیک و متمرکز تحلیل پوششی داده‌ها به همراه تحلیل سلسله مراتبی برای ارزیابی عملکرد واحدهای عملیاتی پالایشگاه اصفهان استفاده شده است. در این پژوهش شاخص‌های ورودی به صورت ارزش‌های ریالی خوراک، میزان مصرف انرژی، هزینه سربار و نیروی انسانی تعریف شده‌اند و تنها شاخص خروجی مورد استفاده نیز میزان ارزش ریالی روزانه محصولات هر واحد در نظر گرفته شد [۶].

کریمیو دیگران(۱۳۸۷) کارایی زراعت گندم را با توجه به دو عامل زمان و ریسک با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای و داده‌های پنجره‌ای انجام دادند. آنها با توجه به یک نبودن حد پایین کارایی به این نتیجه رسیدند که هیچ یک از استان‌های کشور در زمینه تولید گندم دارای کارایی فنی(بالفعل) کامل نیستند [۹].

مهدی بابایی و همکاران(۱۳۹۱) از تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای برای برررسی کارایی گلخانه‌های خیار در شهرستان زابل استفاده کرده‌اند. آنها در پژوهش خود نتیجه تحلیل پوششی داده‌ها با استفاده از داده‌های قطعی و بازه‌ای را مورد استفاده قرار داده‌اند.

در نتایج بازه‌ای چون حد پایین کارایی هیچ یک از واحدهای گلخانه‌ای برابر با یک نشد، آنها عنوان نمودند که هیچ یک از گلخانه‌ها دارای کارایی بالفعل (کامل) نیستند یا به عبارتی هیچ کدام از این واحدها نتوانسته‌اند از منابع و امکانات خویش به صورت صحیح و فنی در جهت دست یابی به حداکثر کارایی استفاده نمایند. همچنین آنها استدلال می‌کنند که چون حد بالای تعدادی از گلخانه‌ها برابر یک است و حد پایین آنها کمتر از یک می‌باشد، این واحدها دارای کارایی بالقوه می‌باشند به شرطی که بتوانند از منابع خود حداکثر استفاده را نمایند [۱۰].

عزیزی (۱۳۹۱) با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای رویکرد جدیدی را برای انتخاب تامین کنندگان پیشنهاد نمود. او بازه کارایی تامین کنندگان را در قالب بازه کارایی خوشبینانه، بازه کارایی بدبینانه و بازه کارایی عملکرد کلی ارائه نمود [۱۱].

دیسپوتیس و همکاران(۲۰۰۶) در مطالعه‌ای با ارائه روشی، امکان ارزیابی واحدهای تصمیم گیری با داده‌های نامشخص را فراهم آوردند. در این روش مقادیر نامشخص و غیر دقیق جایگزین یک سری بازه‌ها می‌گردد و برای واحدهایی با داده‌های غیردقیق به شرط تشخیص و تعیین حدود بالا و پایین بازه، میزان کارایی هر یک از واحدهای تصمیم گیری مشخص می‌شود.

در پژوهش آنها مدا پیشنهادی به صورت کاربردی در زمینه تعیین کارایی مدارس راهنمایی در یونان مورد استفاده قرار گرفته و نتایج بدست آمده در مقایسه با تحلیل پوششی داده‌های کلاسیک دقیق‌تر می‌باشد [۱۲].

دو و دیگران (۲۰۱۰) از روش DEA برای برنامه ریزی تولید استفاده نمودند. آنها در مقاله خود دو ایده برنامه ریزی را پیشنهاد می‌دهند. در یکی از این پیشنهادها آنها متوسط یا کل عملکرد تولید سازمان را بوسیله مدلهای CCR و با استفاده از مقادیر متوسط ورودی‌ها و خروجی‌ها بهینه نمودند. در مدل دیگر آنها همزمان سطح خروجی‌ها را ماکزیمم کرده و سطح ورودی‌های مورد استفاده را حداقل نمودند. بر این اساس آنها دو مدل DEA ارائه نمودند که برای برنامه ریزی تولید یک واحد صنعتی کاربرد دارد [۱۳].

عزیزی و جاهد (۲۰۱۱) از با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های کارایی تعدادی DMU را به صورت بازه‌ای استخراج نمودند [۱۴].

چن و دیگران (۲۰۱۲) از تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی عملکرد طراحی محصول پایدار استفاده نمودند. آنها از تحلیل بازه‌ای شبکه‌ای دو مرحله‌ای در دو ماژول طراحی صنعتی و طراحی زیستی استفاده نمودند [۱۵].

۳. روش شناسی پژوهش

تحقیق حاضر در راستای شناسایی الگوی مناسب برای ارزیابی کارایی محصولات تولیدی و یافتن الگوی بهینه برای محصولات ناکارای یک واحد صنعتی انجام پذیرفته است. به منظور انجام تحقیق حاضر یک شرکت قطعه سازی که از نظر سایز، بزرگ می‌باشد، در اصفهان انتخاب گردید. این شرکت تولید کننده ۱۶ نوع محصول مختلف است که جزء محصولات برقی خودرو طبقه بندی می‌شوند. هر یک از این ۱۶ محصول در ۱۶ گونه مختلف خودرو اعم از خودروهای سبک و سنگین به کار برده می‌شوند. سازماندهی واحد صنعتی مورد مطالعه به گونه‌ای می‌باشد که هر یک از محصولات دارای تیم جداگانه‌ای برای طراحی محصول فرایند، تولید و کنترل کیفیت می‌باشد، به گونه‌ای که تیم مرتبط با هر محصول کلیه فرایندهای طراحی، تولید، کیفی و حتی خدمات پس از فروش را پیگیری می‌کند. به عبارتی می‌توان گفت که سازماندهی این واحد صنعتی در واحدهایی مانند فنی- مهندسی، کیفیت و تولید به صورت محصولی بوده که افراد مرتبط در پروژه‌های مربوط به هر تولید هر یک از ۱۶ محصول مذکور مشارکت می‌نمایند. با توجه به این ساختار ویژه تحلیل پوششی داده‌ها برای سنجش کارایی محصولات در اولویت قرار گرفت.

برای سنجش کارایی تولید این محصولات با استفاده از الگوی تحلیل پوششی داده‌ها از داده‌های بازه‌ای و دقیق استفاده شده است تا در نهایت بتوان با استفاده از نظرات مدیران کارخانه مدلی واقعی که نتایج آن کاربردی‌تر می‌باشد را برای سنجش کارایی تولید و همچنین استفاده در برنامه ریزی‌های تولید این واحد صنعتی به کار برد. جهت به کار گیری این مدل‌ها لازم است در مرحله نخست شاخص‌های ورودی و خروجی متناسب با شرایط محصولات تعریف گردند. تعریف شاخص‌های ورودی و خروجی باید به گونه‌ای انجام پذیرد که بتواند کارایی محصولات تولیدی، در ابعاد مختلف را در بر گیرد. با توجه به تحقیقات پیشین در زمینه سنجش کارایی تولیدی به نظر رسید که شاخص‌هایی که در حسابداری صنعتی برای محاسبه قیمت تمام شده محصول به کار می‌روند، می‌توانند مبنای مناسبی برای تعریف شاخص‌های ورودی و خروجی باشند[۶]. با توجه به مباحث حسابداری صنعتی سه منبع اصلی هزینه برای محصولات تولیدی یک کارخانه تعریف می‌شوند که عبارتند از : هزینه مواد اولیه، هزینه سربار و هزینه نیروی انسانی. در سازمان تولیدی مورد بررسی نیز این سه هزینه برای محاسبه قیمت تمام شده محصولات مورد توجه بوده‌اند، لیکن در تحقیق حاضر دقیقا از خود این شاخص‌ها به عنوان شاخص‌های ورودی استفاده نشده است و با توجه به شرایطی که در این واحد صنعتی وجود داشته است، شاخص‌های مورد استفاده در حسابداری صنعتی تعدیل شده‌اند. تعدیل شاخص‌ها به صورت زیر انجام پذیرفته است.

۳-۱. شاخص‌های ورودی

شاخص‌های ورودی شاخص‌هایی هستند که به سیستم یا واحد تصمیم گیری وارد شده و برای واحد ایجاد هزینه می‌کنند. در شرایطی که دو واحد خروجی یکسانی داشته باشند واحدی کاراتر است که ورودی کمتری داشته باشد [۶].

از آنجا که محصولات تولید شده از مراحل تولید مشابهی عبور می‌کنند، لذا هزینه نیروی انسانی مستقیم که شامل کارگران کارگاه‌های تولیدی می‌باشد، برای تمام محصولات یکسان می‌باشد. از سوی دیگر هزینه نیروی انسانی غیرمستقیم که شامل کارکنان بخش ستادی است نیز برای کلیه محصولات مشابه می‌باشد. بنابراین با توجه به یکسان بودن هزینه نیروی انسانی برای تمامی محصولات به نظر رسید که این شاخص نمی‌تواند به عنوان یک شاخص ورودی مناسب، که نشان دهنده تمایز بین محصولات باشد، مورد توجه قرار گیرد. لذا از این شاخص به عنوان شاخص ورودی استفاده نگردید.

برای شاخص ورودی مواد اولیه نیز از مقدار وزن محصولات به جای هزینه مواد اولیه استفاده گردید. علت این امر این است که قسمت اعظم وزن محصولات تولیدی از یک ماده اولیه نسبتا گران قیمت می‌باشد می‌توان گفت که درصد بالایی از هزینه مواد اولیه مربوط به این ماده است. بنا به دلایل زیر وزن محصول، شاخص ورودی مناسب‌تری نسبت به هزینه مواد اولیه می‌باشد:

- این ماده اولیه را از تامین کنندگان متعددی تهیه می‌شود. این تامین کنندگان عبارتند از: تامین کنندگان خارج از کشور،تامین کنندگان داخل کشور و استفاده از مواد اولیه بازیافت شده که توسط خود کارخانه مورد بازیافت و تولید مجدد قرار می‌گیرد.
- قیمت مواد اولیه تهیه شده از تامین کنندگان مختلف مواد اولیه، تفاوت زیادی با یکدیگر دارند.
- کارخانه با توجه به در دسترس بودن منابع و تامین کنندگان از آنها استفاده می‌کند و در حال حاضر سیاست مشخصی برای میزان استفاده از هر یک این تامین کنندگان وجود ندارد.
- حدود ۷۰ الی ۸۰ درصد وزن محصولات تولید شده، از این ماده اولیه می‌باشد.

شاخص ورودی دیگری که در این تحقیق استفاده شده است هزینه‌های سربار به ازای هر یک از محصولات تولیدی به صورت جداگانه می‌باشد.

بنابراین در تحقیق حاضر دو شاخص هزینه سربار و وزن محصولات تولیدی به عنوان شاخص‌های ورودی برای سنجش کارایی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۳-۲. شاخص‌های خروجی

شاخص‌های خروجی شاخص‌هایی هستند که به عنوان نتیجه عملکرد واحد می‌باشند و عموما برای واحد مورد نظر کسب ارزش می‌کنند. در صورت برابر بودن شاخص‌های ورودی دو واحد، واحدی کاراتر است که خروجی بیشتری داشته باشد[۶]. با توجه به صحبت‌های انجام شده با مدیران کارخانه ارزش ریالی محصولات تولید شده می‌تواند به عنوان بهترین و مهم‌ترین شاخص خروجی در نظر گرفته شود. لذا در این تحقیق این شاخص به عنوان تنها شاخص خروجی در نظر گرفته شده است.

در تحلیل پوششی داده‌ها باید یکی از روابط زیر میان تعداد DMUها و تعداد شاخص‌های ورودی و خروجی برقرار باشد:

[۲] (تعداد خروجی‌ها+ تعداد ورودی‌ها) ۳ ≥ تعداد DMUهای تحت بررسی

[۸] (تعداد خروجی‌ها) (تعداد ورودی‌ها) ۲ ≥ تعداد DMUهای تحت بررسی

در این پژوهش هر دو رابطه بالا با توجه به تعداد ورودی‌ها و خروجی‌ها برقرار می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گیری نمود که تعداد شاخص‌های ورودی و خروجی مناسب می‌باشند.

در پژوهش حاضر از اسناد موجود در کارخانه و همچنین داده‌های موجود در بخش‌های حسابداری صنعتی کارخانه، به منظور بدست آوردن مقادیر شاخص‌ها استفاده شده است. این داده‌ها مربوط به یک سال مالی سازمان می‌باشد که از مرداد ۸۹ تا مرداد ۹۰ در نظر گرفته شده است. مقادیر شاخص‌ها که به عنوان داده‌های اولیه مدل مورد استفاده قرار گرفته‌اند، در جدول (۱) نشان داده شده است.

فرض مدلهای کلاسیک تحلیل پوششی داده‌ها بر این مبناست که همواره داده‌ها دقیق می‌باشند، در حالیکه در دنیای واقعی این فرض در بسیاری موارد صحیح نمی‌باشد و داده‌ها می‌توانند به صورت نادقیق یعنی فازی یا بازه‌ای باشند. در دوره زمانی مورد پژوهش نوسانهایی در شاخص‌های ورودی و خروجی مشاهده می‌شود و با توجه به اینکه مدیران کارخانه نمی‌توانند بدرستی علت این نوسان‌ها را تبیین نمایند، لذا برای تحلیل پوششی داده‌ها از روش‌های بازه‌ای نیزدر کنار روش‌های کلاسیکاستفاده شده است. همان گونه که در جدول(۱) مشخص شده است، با استفاده از حد بالایی و پایینی برای شاخص‌ها می‌توان حداقل و حداکثر کارایی هر یک از محصولات را بدست آورد.

کلیه محاسبات انجام شده در این پژوهش با استفاده از نرم افزار Lingo 13 انجام شده است.

جدول ۱. داده‌های مورد استفاده در انجام پژوهش(داده‌ها مربوط به سال مالی ۹۰-۸۹)

شماره محصول	میانگین ارزش ریالی تولید	بازه‌ی ارزش ریالی تولید	میانگین هزینه‌های سربار	بازه‌ی هزینه سربار	وزن محصول (گرم)
1	5,400,798	]10,263,725و354,554[	405,059	]769,779و26,591[	14,480
2	1,056,638	]5,425,347و4,396[	79,247	]406,901و329[	15,218
3	11,634,054	]22,790,580و3,341,643[	1,047,064	]2,051,152و300,747[	16,746
4	1,930,277	]3,502,902و370,321[	144,770	]262,717و27,774[	16,838
5	1,429,631	]3,056,799و191,251[	107,222	]229,259و14,343[	17,538
6	2,301,036	]5,121,997و280,712[	172,577	]384,149و21,053[	18,026
7	5,759,786	]11,678,496و1,205,059[	833,729	]1,690,462و174,432[	22,056
8	4,464,629	]6,768,823و1,918,868[	1,002,867	]1,520,447و431,025[	41,066
9	608,610	]2,272,495و48,323[	146,066	]545,398و11,597[	42,732
10	1,177,943	]3,667,898و8,064[	282,706	]880,295و1,935[	43,610
11	2,467,081	]7,134,626و75,950[	592,099	]1,712,310و18,228[	47,452
12	7,404,288	]14,288,894و540,621[	555,321	]1,071,667و40,546[	14,587
13	3,636,175	]7,436,960و290,617[	272,713	]557,772و21,796[	15,107
14	3,733,403	]7,259,421و347,165[	280,005	]544,456و26,037[	16,893

15	2,075,735	]7,131,983و20,232[	155,680	]534,898و1,517[	17,425
16	6,718,561	]13,512,563و105,965[	503,892	]1,013,442و7,947[	17,976

۴. یافته‌های پژوهش

در مرحله اول مدلهای کلاسیک تحلیل پوششی داده‌ها با در نظر گرفتن میانگین هزینه سربار و وزن محصولات به عنوان شاخص‌های ورودی و میانگین ارزش ریالی تولیدات به عنوان شاخص‌های خروجی حل گردیدند. در این مرحله هر یک از محصولات به عنوان یک واحد تصمیم گیری مستقل در مدل کلاسیک تحلیل پوششی داده‌ها در نظر گرفته شدند. در حالت کلاسیک مدلهای زیر حل شده‌اند:

- CCR ورودی محور (با متغیرهای قابل کنترل)
- CCR ورودی محور (با در نظر گرفتن متغیر وزن به عنوان متغیر غیر قابل کنترل)
- BCC ورودی محور

نتایج حاصل از این سه مدل به ترتیب در جداول (۲)، (۳) و (۴) نشان داده شده‌اند.

جدول ۲. نتایج حاصل از مدل CCR

شماره محصول	کارایی	میزان بهینه هزینه سربار	میزان بهینه وزن	میزان بهینه ارزش ریالی تولید	رتبه بندی محصولات
1	0.64975	263,183	9,408	2,361,438	۴
2	0.32	25,359	2,032	105,663	۸
3	1	1,047,064	16,746	11,634,054	۱
4	0.32	46,326	3,713	193,027	۸
5	0.32	34,311	2,750	142,962	۸
6	0.32	55,224	4,426	230,102	۸
7	0.4292	357,818	9,466	3,570,495	۶
8	0.1935	194,020	7,946	1,631,528	۹
9	0.1	14,601	1,170	60,838	۱۰
10	0.1	28,270	2,266	117,793	۱۰
11	0.1	59,210	4,745	246,708	۱۰
12	0.833	462,532	12,149	4,624,866	۲
13	0.4462	121,663	6,739	832,900	۵
14	0.4136	115,819	6,988	730,969	۷
15	0.32	49,813	3,992	207,556	۸
16	0.6508	327,915	11,698	2,944,910	۳

وزن‌هایی که از حل مدل CCR بدست آمد به واقعیت نزدیک نیستند. برای برطرف کردن این نقص متغیر وزن غیرقابل کنترل در نظر گرفته شد. در این حالت مدل پوششی CCR ورودی محور با محدودیت غیر قابل کنترل بودن وزن نوشته شد و حل گردید. بر این اساس نتایج جدول (۳) بدست آمد.

جدول ۳. نتایج حاصل از مدل CCR پوششی با متغیر وزن به صورت غیر قابل کنترل

شماره محصول	کارایی	میزان بهینه هزینه سربار	میزان وزن (داده‌های اولیه)	میزان بهینه ارزش ریالی تولید	رتبه
1	1	405059	14480	5400798	۱
2	1	79247	15218	1056638	۱
3	1	1047064	16746	11634054	۱
4	0.9999988	144770	16838	1930277	۲
5	0.9999939	99620	17538	1328272	۷
6	0.9999982	172577	18026	2301036	۳
7	0.5181332	431983	22056	5759786	۸
8	0.3338876	334842	41066	4464596	۹
9	0.3124975	45645	42732	608610	۱۰
10	0.312497	88345	43610	1177943	۱۱
11	0.3124969	185029	47452	2467081	۱۲
12	1	555321	14587	7404288	۱
13	0.9999973	272712	15107	3636175	۵
14	0.9999973	280004	16893	3733403	۵
15	0.9999945	155679	17425	2075735	۶
16	0.9999981	503891	17976	6718563	۴

با توجه به نتایج حاصل از مدل CCR پوششی با در نظر گرفتن متغیر وزن به صورت غیر قابل کنترل (جدول(۳))، محصولات ۱، ۲، ۳ و ۱۲ کارا می‌باشند و کارایی محصولات ۴، ۵، ۶، ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶ بسیار نزدیک به یک است. این مقادیر بدست آمده برای کارایی محصولات با نتایج کارایی حاصل از مدل CCRبدون متغیر غیر قابل کنترل(جدول (۲)) بسیار متفاوت است. این در حالی است که مقادیر کارایی بدست آمده از مدل CCR پوششی با در نظر گرفتن متغیر وزن به صورت غیر قابل کنترل (جدول(۳)) به کارایی حاصل از مدل BCC (جدول(۴)) نزدیک‌تر می‌باشد.

به طور کلی نتایج مدل CCR (جدول (۲)) در مقایسه با سایر مدل‌ها و نیز عملکردی که به صورت ذهنی مورد انتظار مدیران سازمان می‌باشد، تفاوت دارد. مدل CCR که همان مدل اولیه DEA مطرح شده توسط چارنز، کوپر و ورودز است، با فرض ثابت بودن بازده نسبت به مقیاس، به محاسبه بهره وری و کارایی واحدها می‌پردازد اما هرگاه بازده نسبت به مقیاس ثابت نباشد، مدل CCR توانایی محاسبه کارایی و بهره وری را ندارد. به همین علت بنکر، چارنز و کوپر برای رفع این مشکل، مدل BCC را که در آن بازده نسبت به مقیاس ممکن است متغیر(افزایشی، ثابت یا کاهشی) باشد را مطرح کردند. منظور از بازدهی متغیر نسبت به مقیاس این است که ستاده‌ها متناسب با نهاده‌ها تغییر نکنند [۲]. فرض بازدهی ثابت نسبت به مقیاس تنها در صورتی قابل اعمال است که بنگاه‌ها در مقیاس بهینه عمل کنند. مسایل متفاوتی از قبیل آثار رقابتی، محدودیت‌ها و غیره موجب می‌شوند بنگاه‌ها در مقیاس بهینه عمل نکنند، استفاده از بازده ثابت نسبت به مقیاس زمانی که تمام بنگاه‌ها در مقیاس بهینه فعالیت نمی‌کنند، مقادیر محاسبه شده برای کارایی فنی را دچار اختلال خواهد کرد [۱۶]. با توجه به اینکه در واحد صنعتی مورد بررسی نیز محصولات در مقیاس بهینه تولید نمی‌شوند، مقادیر محاسبه شده برای کارایی محصولات با استفاده از روش CCR چندان قابل اطمینان نمی‌باشند.

جدول ۴. نتایج حاصل از مدل BCC

شماره محصول	کارایی	میزان بهینه هزینه سربار	میزان بهینه وزن	میزان بهینه ارزش ریالی تولید	واحدهای مرجع	رتبه بندی محصولات
۱	1	405,059	14,480	5,400,798	-	۱
۲	1	79,247	15,218	1,056,368	-	۱

۳	1	1,047,064	16,746	11,634,054	-	۱
۴	0.9158	132,555	15,419	1,714,850	1,2,11	۳
۵	0.8844	94,828	15,511	1,210,947	1,2,11	۷
۶	0.8687	149,886	15,658	1,900,794	1,2,11	۸
۷	0.65738	438,565	20,388	4,875,027	1,12	۹
۸	0.35529	356,305	14,590	4,750,750	1,2	۱۱
۹	0.5425	79,247	15,218	1,056,638	2	۱۰
۱۰	0.34796	98,368	15,175	1,311,586	1,2	۱۲
۱۱	0.3155	186,843	14,974	2,491,255	1,2	۱۳
۱۲	1	555,321	14,587	7,404,288	-	۱
۱۳	0.9857	268,823	14,892	3,567,561	1,2,11	۲
۱۴	0.9146	256,085	15,450	3,311,421	1,2	۴
۱۵	0.89136	433,125	25,999	5,713,444	1,2,11	۵
۱۶	0.88866	433,340	22,059	4,535,612	1,11,12	۶

نتایج حاصل از مدل BCC نشان می‌دهد که محصولات ۱، ۲، ۳ و ۱۲ کارایی یک دارند یعنی کاملا کارا هستند.

با بررسی و مقایسه نتایج حاصل از حل مدلهای BCC و CCR مشخص می‌گردد که نتایج حاصل از مدل BCC به واقعیت نزدیکتر می‌باشد. بنابراین به نظر می‌رسد که در صورت استفاده از مدل‌های کلاسیک تحلیل پوششی داده‌ها، مدل BCC نتایج بهتری را نسبت به مدل CCR ارائه می‌کند.

همانگونه که پیشتر اشاره شد داده‌هایی که در تحقیق حاضر مورد استفاده قرار گرفتند، داده‌های سال مالی ۹۰-۸۹ کارخانه می‌باشند. این داده‌ها به صورت ماهانه در اختیار محققین قرار داده شدند. در داده‌های ماهانه نوسان‌هایی وجود داشت. که علت آن بدرستی برای مدیران کارخانه مشخص نبود، به گونه‌ای که نمی‌توان همه‌ی نوسانها را با یک علت مشخص توجیه نمود. به همین علت از مدلهای نوین تحلیل پوششی داده‌هابا داده‌های بازه‌ای در کنار مدل‌های کلاسیک نیز استفاده شده است. در این مرحله کمترین و بیشترین مقدار هزینه سربار و مقدار وزن محصول به عنوان شاخص‌های ورودی و کمترین و بیشترین ارزش ریالی تولیدات به عنوان شاخص‌های خروجی در نظر گرفته شده و مدل‌های بازه‌ای با استفاده از آنها حل شده‌اند. هر یک از محصولات تولیدی نیز به عنوان یک واحد تصمیم گیری مستقل در مدلهای بازه‌ای تحلیل پوششی داده‌ها در نظر گرفته شده‌اند. مدل‌های بازه ایCCR و BCC زیر در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

نتایج حاصل از این دو مدل به ترتیب در جداول (۵) و (۶) نشان داده شده‌اند.

جدول ۵. نتایج حاصل از مدل CCR بازه ای

محصول	کارایی	هزینه سربار	ارزش ریالی تولید	R(i)	رتبه
1	[0.02340, 0.79850]	[109848, 769672]	[1238020, 10262299]	0.9766	۵
2	[0.00021, 1.00000]	[58, 406900]	[645, 5425347]	0.99979	۱۵
3	[0.14662, 1.00000]	[44096, 2051152]	[489962, 22790580]	0.85338	۱
4	[0.01689, 0.23920]	[4438, 262636]	[49589, 3501818]	0.98311	۶
5	[0.00880, 0.22109]	[2019, 229571]	[22742, 3060952]	0.9912	۱۰
6	[0.01144, 0.34540]	[37043, 384067]	[411590, 5120889]	0.98856	۹
7	[0.04015, 0.47760]	[15900, 948505]	[176673, 11677771]	0.95985	۲
8	[0.03433, 0.14046]	[25320, 567489]	[281333, 6768392]	0.96567	۳
9	[0.00092, 0.09050]	[501, 170430]	[5651, 2272400]	0.99908	۱۳
10	[0.00014, 0.40319]	[106, 275045]	[1182, 3667266]	0.99986	۱۶
11	[0.00118, 0.21600]	[1002, 535096]	[11136, 7134616]	0.99882	۱۲

۴	0.9728	[79264, 14288894]	[7134, 1071667]	[0.02720, 1.00000]	12
۸	0.98586	[42609, 7436846]	[3835, 557763]	[0.01414, 0.57960]	13
۷	0.9849	[50893, 7259282]	[4580, 544446]	[0.01510, 0.50000]	14
۱۴	0.99915	[2966, 7131983]	[267, 534898]	[0.00085, 1.00000]	15
۱۱	0.99567	[15535, 13512563]	[1398, 1013442]	[0.00433, 1.00000]	16

همانگونه که در جدول (۵) مشخص است حد بالا و پایین کارایی برای هر یک از محصولات محاسبه شده است. همچنین حد بالا و پایین هزینه‌ی سربار و ارزش ریالی تولیدات نیز محاسبه شده است. با توجه به آنکه شاخص ورودی وزن محصولات تنها دارای مقدار عددی دقیق می‌باشد، حد بالا و پایینی برای آن محاسبه نشده است.

بر اساس یک مدل بازه ای، یک واحد تصمیم گیری هنگامی کاراست که حد بالای کارایی آن برابر یک باشد و هنگامی ناکاراست که حد بالایی کارایی آن کوچکتر از یک باشد [۵]. با توجه به این نکته می‌توان نتیجه گیری نمود که تنها محصولات ۲، ۳، ۱۲، ۱۵ و ۱۶ کارا می‌باشند و سایر محصولات ناکارا هستند.

حال با استفاده از روش حداقل نمودن حداکثر کارایی از دست رفته (MRA) به رتبه بندی محصولات در مدل CCR بازه‌ای می‌پردازیم.

برای سایر محصولات نیز مقدار R(i) به همین منوال محاسبه می‌شود که نتایج آن در جدول (۵) نشان داده شده است. رتبه بندی واحدها با استفاده از مقادیر R(i) انجام می‌پذیرد. واحدی که کمترین مقدار R(i) را دارا می‌باشد، نشاندهنده کمترین کارایی از دست رفته است بنابراین رتبه‌ی یک را به خود اختصاص داده است و سایر واحدها نیز به ترتیب افزایش R(i) رتبه‌های بعدی را به خود اختصاص می‌دهند. در مدل CCR بازه‌ای محصول شماره ۳ رتبه یک را به خود اختصاص داده است و محصولات ۷، ۸، ۱۲ و ۱ رتبه‌های دوم تا پنجم را از آن خود کرده‌اند.

جدول ۶. نتایج حاصل از BCC بازه ای

محصول	کارایی	هزینه سربار	ارزش ریالی تولید	R(i)	رتبه
1	1.00000	[26591, 769779]	[354554, 10263725]	0	1
2	[0.95151,1]	[26591, 501709]	[354554, 6689455]	0.04849	4
3	[0.86468,1]	[26591, 2051152]	[354554, 22790580]	0.13532	5
4	[0.85996, 0.86427]	[26591, 734038]	[354554, 9787182]	0.14004	6
5	[0.82564, 0.84874]	[26591, 570563]	[354554, 7607506]	0.17436	9
6	[0.80328, 0.81789]	[26591, 640282]	[354554, 8537099]	0.19672	11
7	[0.65651, 0.65822]	[26591, 875887]	[354554, 11678496]	0.34349	12
8	[0.35260, 0.35260]	[26591, 769779]	[354554, 10263725]	0.6474	13
9	[0.19766, 0.35585]	[13019, 482683]	[173583, 6435780]	0.80234	16
10	[0.33203, 0.46122]	[26591, 467610]	[354554, 6234801]	0.66797	14
11	[0.30515, 0.34428]	[26591, 705919]	[354554, 9412260]	0.69485	15
12	[0.99266, 1]	[26591, 1071667]	[354554, 14288894]	0.00734	2
13	[0.95850, 0.96869]	[26591, 694093]	[354554, 9254571]	0.0415	3
14	[0.85716, 0.86397]	[26591, 713186]	[354554, 9509148]	0.14284	7
15	[0.83099, 1]	[26591, 534898]	[354554, 7131983]	0.16901	8
16	[0.80552,1]	[26591, 1013442]	[354554, 13512563]	0.19448	10

همانگونه که در جدول (۶) مشخص است در مدل BCC بازه‌ای نیز حد بالا و پایین کارایی برای هر یک از محصولات محاسبه شده است. همچنین حد بالا و پایین هزینه سربار و ارزش ریالی تولیدات نیز محاسبه گشته است. در این حالت نیز با توجه به اینکه شاخص ورودی وزن محصولات تنها دارای مقدار عددی دقیق می‌باشد، حد بالا و پایینی برای آن محاسبه نشده است.

با توجه به قانون وانگ و همکاران (۲۰۰۵) تنها محصولات ۱، ۲، ۳، ۱۲، ۱۵ و ۱۶ که دارای حد بالایی یک هستند، محصولات کارا می‌باشند و سایر محصولات ناکارا هستند.

نتایج مدلهای CCR و BCC بازه‌ای در مشخص کردن محصولات کارا و ناکارا مشابه بوده و تنها تفاوت آنها در محصول شماره یک می‌باشد که در مدل CCR بازه‌ای به عنوان محصول ناکارا و در مدل BCC بازه‌ای به عنوان محصول کارا مشخص شده است.

روش MRA برای BCC بازه‌ای نیز مورد استفاده قرار گرفته است. مقادیر R(i) و رتبه هر یک از محصولات در جدول شماره (۶) نشان داده شده است. بر اساس مدل BCC بازه‌ای محصول شماره۱، رتبه یک را به خود اختصاص داده است و محصولات ۱۲، ۱۳، ۲ و ۳ رتبه‌های دوم تا پنجم را کسب کرده‌اند.

خلاصه نتایج حاصل از رتبه بندی هر یک از مدل‌های به کار گرفته شده برای ارزیابی کارایی محصولات تولیدی در جدول (۷) نشان داده شده است.

جدول ۷. مقایسه رتبه‌های حاصل از مدلهای کلاسیک و بازه ای

محصول	CCR	CCR با متغیر غیر قابل کنترل	BCC	CCR بازه ای	BCC بازه ای
۱	۴	۱	۱	۵	1
۲	۸	۱	۱	۱۵	4
۳	۱	۱	۱	۱	5
۴	۸	۲	۳	۶	6
۵	۸	۷	۷	۱۰	9
۶	۸	۳	۸	۹	11
۷	۶	۸	۹	۲	12
۸	۹	۹	۱۱	۳	13
۹	۱۰	۱۰	۱۰	۱۳	16
۱۰	۱۰	۱۱	۱۲	۱۶	14
۱۱	۱۰	۱۲	۱۳	۱۲	15
۱۲	۲	۱	۱	۴	2
۱۳	۵	۵	۲	۸	3
۱۴	۷	۵	۴	۷	7
۱۵	۸	۶	۵	۱۴	8
۱۶	۳	۴	۶	۱۱	10

در قسمت نهایی با استفاده از روش‌هایی که در استراتژی‌های اولویت بندی در ادبیات پژوهش اشاره شده به اولویت بندی محصولات می‌پردازیم. با توجه به آنکه نتایج مدل CCR چندان با واقعیت مطابقت نداشت، لذا در اولویت بندی از نتایج این روش استفاده نشده است.

در جدول (۸) محصولات با استفاده از روش میانگین رتبه‌ها اولویت بندی شدند. در این روش در ستون آخر میانگین رتبه‌های حاصل از چهار روش رتبه بندی محاسبه شده‌اند. بر این اساس اولویت بندی محصولات به صورت زیر می‌باشد.

$P_1 = P_3 = P_{12} > P_4 > P_{13} > P_2 > P_{14} > P_6 = P_7 = P_{16} > P_5 = P_{15} > P_8 > P_9 > P_{11} > P_{10}$

جدول ۸. اولویت بندی محصولات با استفاده از روش میانگین رتبه‌ها

محصول (P)	CCR با متغیر غیر قابل کنترل	BCC	CCR بازه ای	BCC بازه ای	میانگین رتبه
۱	۱	۱	۵	1	2
۲	۱	۱	۱۵	4	5.25
۳	۱	۱	۱	5	2
۴	۲	۳	۶	6	4.25

۵	۷	۷	۱۰	9	8.25
۶	۳	۸	۹	11	7.75
۷	۸	۹	۲	12	7.75
۸	۹	۱۱	۳	13	9
۹	۱۰	۱۰	۱۳	16	12.25
۱۰	۱۱	۱۲	۱۶	14	13.25
۱۱	۱۲	۱۳	۱۲	15	13
۱۲	۱	۱	۴	2	2
۱۳	۵	۲	۸	3	4.5
۱۴	۵	۴	۷	7	5.75
۱۵	۶	۵	۱۴	8	8.25
۱۶	۴	۶	۱۱	10	7.75

در جدول (۹) رتبه بندی محصولات با استفاده از روش بـردا و کـپ لند انجام شده است. همانگونه که در قسـمت ادبیـات توضـیح داده شـده، در اولویـت بنـدی بـر اسـاس روش بـردا داده‌هـای سـتون $\sum C$ملاک عمل قرار می‌گیرد. لذا اولویت بندی محصولات بر اساس این روش به صورت زیر می‌باشد.

$P_1= P_{12}> P_3> P_2= P_4> P_{14}> P_{13}> P_{15}> P_5= P_6= P_{16}> P_7> P_8> P_9= P_{10}> P_{11}$

در روش کپ لند اولویت بندی محصولات با اسـتفاده از امتیـاز هـر گزینه به صورت زیر انجام می‌شود.

$P_1= P_{12}> P_3> P_2> P_4> P_{13} > P_{14} > P_{15}> P_{16} > P_6 > P_5 > P_7> P_8 > P_9 >P_{10}> P_{11}$

جدول ۹. قاعده اکثریت

محصول	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}	P_{15}	P_{16}	$\sum C$	امتیاز محصول
P_1	-	M	X	M	M	M	M	M	M	M	M	X	M	M	M	M	13	13
P_2	X	-	X	X	M	M	M	M	M	M	M	X	X	M	M	M	10	8
P_3	X	X	-	M	M	M	M	M	M	M	M	X	M	M	M	M	12	12
P_4	X	X	X	-	M	M	M	M	M	M	M	X	X	M	M	M	10	7
P_5	X	X	X	X	-	X	M	M	M	M	M	X	X	X	X	X	5	-3
P_6	X	X	X	X	X	-	M	M	M	M	M	X	X	X	X	X	5	-2
P_7	X	X	X	X	X	X	-	M	M	M	M	X	X	X	X	X	4	-7
P_8	X	X	X	X	X	X	X	-	M	M	M	X	X	X	X	X	3	-9
P_9	X	X	X	X	X	X	X	X	-	M	X	X	X	X	X	X	1	-12
P_{10}	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	M	X	X	X	X	X	1	-13
P_{11}	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X	X	0	-14
P_{12}	X	M	X	M	M	M	M	M	M	M	M	-	M	M	M	M	13	13
P_{13}	X	X	X	X	M	M	M	M	M	M	M	X	-	M	X	X	8	6
P_{14}	X	X	X	X	M	M	M	M	M	M	M	X	X	-	M	M	9	3
P_{15}	X	X	X	X	M	X	M	M	M	M	M	X	X	X	-	X	6	0
P_{16}	X	X	X	X	X	X	M	M	M	M	M	X	X	X	X	-	5	-1
$\sum R$	0	2	0	3	8	7	11	12	13	14	14	0	2	6	6	6		

۵. بحث و نتیجه گیری

ارزیابی و مقایسه‌ی عملکرد واحدهای مشابه قسمت مهمی از مدیریت یک سازمان پیچیده است. تحلیل پوششی داده‌ها یکی از تکنیک‌های قدرتمند مدیریتی است که ابزاری در اختیار مدیران قرار می‌دهد تا بتوانند به وسیله آن عملکرد شرکت خود را در قبال سایر رقبا محک زنند و بر اساس نتایج آن برای آینده‌ای بهتر تصمیم گیری کنند. تاکنون بیشتر پژوهش‌هایی که در این حوزه انجام شده‌اند، به ارزیابی عملکرد واحدهای تصمیم گیری مستقل پرداخته‌اند. واحدهایی که معمولا شامل سازمانهایی مشابه اما مستقل می‌باشند. در پژوهش حاضر تحلیل پوششی داده‌ها برای مقایسه کارایی تولید و رتبه بندی محصولات تولیدی یک واحد صنعتی به کار گرفته می‌شود. این درحالی است که در پژوهش‌های قبلی سنجش کارایی محصولات با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها مورد توجه قرار نگرفته است و به کار گیری این روش برای سنجش کارایی محصولات تولیدی از نوآوری‌های تحقیق حاضر می‌باشد. استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها برای محصولات تولیدی یک واحد صنعتی مزیتهای چندی را به همراه دارد. اول اینکه با استفاده از این روش می‌توان به رتبه بندی محصولات پرداخته که خود منجر به رتبه بندی واحدهای تولیدی مرتبط با آنها خواهد شد. دوم اینکه، با استفاده از مقادیر بهینه‌ی ورودی‌ها و خروجی‌های محصولات کارا می‌توان مقادیر ورودی و خروجی محصولات ناکارا را مشخص کرده و تولید آنها را نیز اقتصادی نمود و در آخر اینکه روش تحلیل پوششی داده‌ها امکان استفاده از شاخص‌های متنوع‌تری را برای ارزیابی محصولات فراهم می‌سازد. این در حالی است که در روش‌های قبلی بیشتر از شاخص‌های مالی برای مقایسه محصولات استفاده شده است.

در این پژوهش از مدلهای کلاسیک و نوین تحلیل پوششی داده‌ها جهت مقایسه نتایج با یکدیگر و انتخاب الگوی مناسب استفاده شده است. نتایج و رتبه‌های حاصل از تمامی‌مدلهای کلاسیک و بازه‌ای پژوهش حاضر با مدیران کارخانه در میان گذاشته شد. بر اساس نظر مدیران کارخانه مدلهای BCC نتایج واقعی‌تری را نسبت به مدلهای CCR ارائه نموده‌اند. مدلBCC مدلی از انواع مدلهای تحلیل پوششی داده‌ها است که در ارزیابی کارایی نسبی واحدهایی با بازده متغیر نسبت به مقیاس می‌پردازد. مدلهای بازده به مقیاس ثابت و محدود کننده‌تر از مدلهای بازده به مقیاس متغیر می‌باشد. زیرا مدل بازده به مقیاس ثابت واحدهای کارای کمتری را در بر می‌گیرد و مقدار کارایی تولید نیز کمتر می‌گردد، علت این امر حالت خاص بودن مدل "بازده ثابت به مقیاس" از مدل "بازده متغیر به مقیاس" می‌باشد. W بدست آمده برای کلیه محصولات در مدل BCC حل شده در این پژوهش، عددی بین صفر و یک بدست آمد، بنابراین با توجه به مثبت شدن آن نوع بازده به مقیاس در این واحد صنعتی افزایشی می‌باشد.

در بین مدلهای BCC، مدل BCC بازه‌ای نتایج قابل قبول‌تری را نسبت به مدل BCC کلاسیک نشان داده است. نتایج مدل BCC بازه‌ای در رتبه بندی محصولات کاملا با رتبه بندی محصولات که در واحد مهندسی کارخانه انجام شده و محصولات را از حیث فنی، اقتصادی و برگشت از مشتری مورد مقایسه قرار داده است، همخوانی دارد. بنابراین می‌توان نتیجه گیری نمود که در وهله اول مدل‌های بازه‌ای BCC و در وهله دوم مدلهای BCC کلاسیک توانایی رتبه بندی و پیش بینی بازه‌های بهینه‌ی کارایی تولید، هزینه سربار و ارزش ریالی تولیدات را با دقت بسیار خوبی دارا هستند.

با توجه به مقادیر بهینه‌ای که از مدل‌های BCC بدست آمده است، به واحد صنعتی مورد نظر پیشنهاد می‌شود که ارزش ریالی محصولاتی که در خودروهای سنگین (کامیونی) کاربرد دارد افزایش داده شود و در کنار آن هزینه‌های سربار این دسته از محصولات کاهش داده شود. از سوی دیگر مدل‌ها نتایج برعکسی را برای محصولات مورد استفاده در خودروهای سبک (سواری) پیشنهاد می‌کنند که کاهش ارزش ریالی تولید و هزینه‌های سربار می‌باشد. به عبارتی مدل‌ها افزایش تولید محصولات کامیونی و کاهش تولید محصولات سواری را پیشنهاد می‌دهند.

با دقت در مقادیر بهینه ارزش ریالی تولید و هزینه‌های سربار که با نظر گرفتن واحدهای کارا محاسبه شده است، مشخص می‌شود که برای اکثر محصولات لازم است که هزینه‌های سربار کاهش داده شود و ارزش ریالی تولیدات افزایش یابد. برای کاهش هزینه‌های سربار پیشنهادهای چندی ارائه شده است که می‌توان به تعدادی از مهم‌ترین آنها در زیر اشاره کرد:

- منظور کردن برخی هزینه‌های غیرمستقیم به عنوان هزینه‌های مستقیم
- کاهش هزینه‌های تعمیرات
- کاهش هزینه‌های بازرسی و کنترل در خطوط تولید
- کاهش هزینه‌های انبارداری و حمل ونقل
- کاهش هزینه سفر و ماموریت‌های کاری
- اجتناب از برگزاری جلسات غیر ضروری
- باز مهندسی فرایندها، سیستم‌ها و روش‌های کاری
- کاهش بوروکراسی‌های اداری
- استفاده از سامانه‌های الکترونیکی جهت گردآوری، نگهداری، پردازش و انتقال اسناد، مدارک و نامه‌ها

واحد صنعتی مذکور می‌تواند با دقت خوبی از خروجی‌های این مدلها برای یافتن محصولات کارا و همچنین الگو قرار دادن مقادیر هزینه‌های سربار و میزان ارزش ریالی تولید برای محصولات ناکارای خود استفاده نماید.

همانگونه که در مقدمه به آن اشاره شد، در صنعت مورد مطالعه، منابع مورد نیاز برای پردازش و آماده سازی محصولات در هر سطحی قابل تامین می‌باشند. فرض تامین منابع مورد نیاز در هر سطحی معمولا غیر واقعی است. بنابراین پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آتی به توسعه مدل‌هایی پرداخته شود که برای شرایط واقعی که محصولات نیاز به منابع مشترکی دارند که آن منابع هم محدود می‌باشند، مناسب‌تر باشند.

پانوشت

1- Borda Method
2- Copeland Method

مراجع

[۱] جعفریان مقدم، احمدرضا و قیصری، کیوان. (۱۳۸۹) . مدل پویای چند هدفه تحلیل پوششی داده‌های فازی، مدیریت صنعتی، دوره ۲، شماره ۴، صص ۱۹ تا ۳۶.

[۲] مهرگان، محمدرضا. (۱۳۸۷)، مدل‌های کمی در ارزیابی عملکرد سازمانها (تحلیل پوششی داده‌ها)، چاپ دوم، تهران : انتشارات دانشکده مدیریت دانشگاه تهران.

[3] Cooper W, Seiford LM, Tone K. (2007), Data envelopment analysis a comprehensive text with models application, references and DEA-solver software, Springer.

[4] Banker RD, Charnes A, Cooper WW. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in DEA, Management Science, 30(9), 1078–1092.

[5] Wang YM, Greatbank R, Yang JB (2005), Interval efficiency assessment using data envelopment analysis, Fuzzy sets and system, Vol. 153, pp. 347-370.

[۶] تیموری، احسان، طراحی مدلی به منظور ارزیابی عملکرد واحدهای عملیاتی پالایشگاه اصفهان با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها و فرایند سلسله مراتبی، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مدیریت صنعتی، اصفهان: دانشگاه اصفهان، ۱۳۸۹.

[۷] مومنی، منصور، مباحث نوین تحقیق در عملیات، چاپ اول، تهران: ناشر منصور مومنی، ۱۳۸۹.

[۸] آذر، عادل؛ موتعنی، علیرضا (۱۳۸۳)، اندازه‌گیری بهره وری در شرکت‌های تولیدی بوسیله مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)، دانشور رفتار، سال یازدهم، شماره ۸، ۵۴-۴۱.

[۹] کریمی، ف؛ پیراسته، ح؛ زاهدی کیوان، م. (۱۳۸۷)، تعیین کارایی زراعت گندم با توجه به دو عامل زمان و ریسک با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای و تحلیل پوششی داده‌های پنجره ای" اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۱۶(۶۴)، ۱۵۹-۱۳۹.

[۱۰] بابایی، م؛ رستگاری پور، ف؛ صبوحی صابونی، م. (۱۳۹۱)، بررسی کارایی گلخانه‌های خیار با کاربرد رهیافت تحلیل پوششی بازه ای، نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۲۶(۲)، ۱۲۵-۱۱۷.

[۱۱] عزیزی، حسین (۱۳۹۱)، یک رویکرد جدید برای انتخاب تامین کنندگان در حضور داده‌های نادقیق: DEA با مرز دوگانه، پژوهش‌های مدیریت در ایران، ۱۶ (۲)، ۱۲۹-۱۵۰.

[12] Despotis DK, Maragos EK, Smirlis YG. (2006), Data envelopment analysis with missing values: An interval DEA approach, European J. Oper. Res, 140: 24–36.

[13] Du J, LiangLiang YaoChen, Gong-bingBi. DEA-based production planning, Omega 2010, 38, pp. 105-112.

[14] Azizi H, Jahed R. (2011). Improved data envelopment analysis models for evaluating interval efficiencies of decision-making units, Computers & Industrial Engineering, 61, pp. 897-901.

[15] Chen C, Zhu J, Yu JY, Noori H. (2012). A new methodology for evaluating sustainable product design performance with two-stage network data envelopment analysis, European Journal of Operational Research, 221, pp. 348-359.

[۱۶] امامی میبدی، علی، اندازه‌گیری کارایی و بهره وری. چاپ دوم. تهران: موسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی، ۱۳۸۴.