

## Determining the efficiency of decision-making units using the data envelopment analysis technique in the presence of dual-role performance factors

**Esmail Keshavarz\*** 

Assistant Professor, Department of Applied Mathematics, Faculty of Technology and Engineering, Sirjan Branch, Islamic Azad University, Sirjan, Iran

**Abbas Shoul** 

Associate Professor, Faculty of Administrative Sciences and Economics, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran

**Ali Fallah Tafti** 

Master of Industrial Management, Faculty of Administrative Sciences and Economics, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran

### Abstract

Data Envelopment Analysis (DEA) is an approach based on mathematical programming for the relative evaluation of decision-making units treated as similar and distinct production systems. In this approach, the performance of each unit is characterized by describing the transformation of specific inputs into specific outputs. Traditional DEA models assume that the role of each performance factor is clearly defined. However, in some real-world problems, some factors might be identified as dual-role factors depending on the

\* Corresponding Author: es.keshavarz@iau.ac.ir

**How to Cite:** Keshavarz, E., Shoul, A., & Fallah Tafti, A. (2024). Determining the efficiency of decision-making units using the technique of data envelopment analysis in the presence of dual-role performance factors. *Industrial Management Studies*, xxx, xxx-xxx.

evaluation nature or the decision-makers' perspective. These factors can play the role of input and output, or even be considered neutral in assessing the units' performance. In the current paper, to determine the status of dual-role factors and calculate the efficiency of DMUs, two new linear programming models, based on the concept of deviation in the efficiency constraint and common set of weights, are suggested. Main advantages of the proposed models are significantly reducing the computations and iterations required to solve the model, and also involving all DMUs to determine the role of factors. To assess the performance of the proposed models, a data set for the evaluation of eighteen suppliers in the presence of two inputs, three outputs, and two dual-role factors has been employed. Obtained results showed that, compared to other models, the proposed models are computationally more efficient, and also the role determination and evaluation of the units based on the obtained weights from these models are better and more reasonable for the expectations of the decision-makers.

## Introduction

Efficiency measurement has always been the focus of researchers, in different fields, due to its importance in the performance evaluation process of companies or organizations. Data envelopment analysis (DEA) is a mathematical programming-based approach to evaluate firms as distinct decision-making units (DMUs) with similar production (or service) processes.

The existence of a unique role for each performance factor is a basic pre-assumption in standard DEA models. However, in some real-world situations, it is inevitable to consider some performance factors, referred to as dual-role factors, which can play simultaneously input and or output roles.

In DEA literature, there are two different approaches to dealing with dual-role factors. In the first approach, status of dual-role factors is determined before the evaluation process of DMUs. In the second one, the role of dual-role factors is determined simultaneously with the evaluation of DMUs. Regardless of which approach is chosen; the important issue is fairly allocating roles to dual role factors, based on

the right decision-making principles and if necessary, considering top managers' attitudes.

Hitherto, significant research has been carried out following the first approach, and almost all of them have the following four drawbacks:

(i) computational inefficiency when the number of DMUs is large, (ii) the impossibility of deciding to determine the final role of each factor, when the maximum frequency criterion includes a tie, (iii) neglecting the favorable status of some DMUs when the maximum frequency criterion is used, and (iv) inattention to the managerial attitudes of decision-makers in the process of status specification of dual role factors.

In the present study, we attempt to resolve the above-mentioned drawbacks, by proposing two new models, based on the common set of weights and deviation in the efficiency constraint concepts. In this regard, the assumption of the uniqueness role for each factor, as the main assumption of DEA, is taken into consideration, and the status of dual-role factors is determined, before the evaluation process, in such a way that each dual-role factor plays the identical role in the evaluation of all DMUs.

## Literature Review

### *Data envelopment analysis (DEA)*

DEA is a non-parametric method for measuring the relative efficiency of a set of DMUs which consume multiple inputs to produce multiple outputs. The relative efficiency of a DMU is defined as the maximum ratio of the weighted sum of outputs to the weighted sum of inputs subject to the condition that the related ratio for each DMU is at most one and all weights are nonnegative.

DEA initially introduced by Charnes et al., (1978), based on the productive efficiency concept, which was previously defined and utilized by Farrell (1957).

### ***Dual-role performance factors***

Traditionally, the performance factors in DEA classified into inputs and outputs groups (Cooper et al., 2007). However, in some real-world problems, there are some performance factors, referred to as dual-role factors, which can play simultaneously input and or output roles (Cook et al., 2006).

Beasley (1990, 1995) was the first to introduce the dual-role factor concept into the DEA literature, through a study of the efficiency of university departments in which research funding was considered as a dual-role factor. Cook et al. (2006) propounded a drawback in the proposed model of Beasley (1990) to confront dual-role factors. They attempted to resolve this shortage by considering dual-role factors as non-discretionary and formulated a new model for determining the dual-role factor status. Their model takes the weights of dual-role factors into account so as to identify whether a factor is acting like input, output or even has no involvement in the efficiency measure.

### ***Dealing with dual-role performance factors***

There are two different viewpoints for assessing the performance of DMUs in the presence of dual-role factors (Chen, (2021)). In the first one, determining the status of dual-role factors is preferable to performance evaluation of DMUs (e.g., see Cook et al., (2006), Toloo & Barat, (2015)). From the second viewpoint, determining the status of dual-role factors should be done simultaneously with the evaluation of DMUs (see Farzipoor Sean, (2010), Mahdilo et al., (2013), Izadikhah et al., (2022)).

Some researchers assumed that each dual-role factor can be divided into two parts, in such a way that one part plays the input role, and the remaining part plays the output role (e.g., Shabani et al., 2011 and Noveiri et al., 2019). The main drawback of this approach is the violation of the causality relation between inputs and outputs.

## Methodology

In the present study, we assume the unique role for each dual-role factor, as the main assumption of DEA. For the sake of determining the status of dual-role factors, we formulate two new linear programming models, based on the concept of deviation in the efficiency constraint and common set of weights. Proposed models are formulated based on two different managerial attitudes of decision-makers. The first proposed model tries to obtain the status of dual-role factors by minimizing the maximum deviations in the efficiency constraints, however, the second one considers the minimization of deviations' average.

One of the main valuable features of the proposed models is to consider the favorability of all DMUs simultaneously. Also, there is no need to solve the model for all DMUs, consecutively. Indeed, by solving the model once, the status of all dual-role factors is determined, which is computationally very economical.

After determining the unique role for each factor, conventional DEA models or common set of weights models can be used to evaluate and rank all units.

## Results




To demonstrate the applicability and effectiveness of the proposed models, a case study for the assessment of eighteen suppliers in the presence of two inputs, three outputs, and two dual-role factors has been presented. The findings showed that, in comparison to the other approaches, the proposed models are computationally more efficient. Also, the role-determination and evaluation of DMUs by the obtained weights from these models are better and more reasonable for decision-makers expectations.

۶ | نام مجله | سال ؟ | شماره ؟ | فصل سال (دولت پژوهی | سال اول | شماره ۴ | زمستان ۱۳۹۵)

**Keywords:** Data Envelopment Analysis, Dual-role Factors, Efficiency, Decision Making Unit

آموزه‌های انتشار

## تعیین کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها در حضور عامل‌های عملکردی دونقشی

- اسماعیل کشاورز \* | استادیار گروه ریاضی کاربردی، دانشکده فنی و مهندسی، واحد سیرجان، دانشگاه آزاد اسلامی، سیرجان، ایران
- عباس شول  | دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه ولی عصر (عج)، رفسنجان، ایران
- علی فلاح تفتی  | کارشناسی ارشد رشته مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه ولی عصر (عج)، رفسنجان، ایران

### چکیده

تحلیل پوششی داده‌ها رویکردی مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی، برای ارزیابی نسبی واحدهای تصمیم‌گیرنده‌ای است که مانند سیستم‌های تولیدی مشابه و متمایزی در نظر گرفته می‌شوند. در این رویکرد، عملکرد هر واحد در قالب عملیات تبدیل منابع (ورودی‌ها) به محصولات (خروجی‌ها)، توصیف می‌گردد. در مدل‌های سنتی تحلیل پوششی داده‌ها، فرض بر این است که نقش هر عامل عملکردی (به عنوان ورودی یا خروجی) مشخص است، اما در برخی از مسائل دنیای واقعی، ممکن است یک یا چند عامل، با توجه به ماهیت ارزیابی و یا

\* نویسنده مسئول: es.keshavarz@iau.ac.ir

نگرشِ تصمیم‌گیرندگان، به عنوان عواملِ دونقشی معرفی شوند. این عوامل می‌توانند نقش ورودی، خروجی و یا حتی نقش بی‌اثر در ارزیابی عملکرد واحدها ایفا کنند. در مقاله‌ی حاضر دو مدل جدید برنامه ریزی خطی مبتنی بر مفاهیم انحراف در شرط کارایی و اوزان مشترک، برای تعیین وضعیت عوامل دونقشی و سپس محاسبه‌ی کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده ارائه می‌شود. مزایای اصلی مدل‌های پیشنهادی کاهش چشمگیر محاسبات و تعداد دفعات حل مدل و همچنین دخالت دادن همه‌ی واحدهای تصمیم‌گیرنده جهت تعیین نقش یک‌باره‌ی عامل‌ها جهت ارزیابی واحدهای تصمیم‌گیرنده است. به منظور بررسی عملکرد مدل‌های پیشنهادی، از داده‌های مربوط به ارزیابی هیجده تأمین‌کننده در حضور دو ورودی، سه خروجی و دو عامل دونقشی استفاده شده است. نتایج بدست آمده، نشان داد که، در مقایسه با مدل‌های دیگر، مدل‌های پیشنهادی هم از نظر محاسباتی به صرفه تر بوده و هم تعیین نقش و ارزیابی واحدها به کمک وزن‌های به دست آمده از این مدل‌ها، انتظارات مورد نظر تصمیم‌گیرندگان را بهتر و منطقی تر برآورده می‌کنند.

کلیدواژه‌ها: تحلیل پوششی داده‌ها، عوامل دونقشی، کارایی، واحد تصمیم‌گیرنده.



## ۱ مقدمه

اندازه‌گیری کارایی به دلیل اهمیت آن در ارزیابی عملکرد یک شرکت یا سازمان همواره مورد توجه محققان بوده است. در سال ۱۹۵۷ فارل<sup>۱</sup>، به عنوان فردی پیشرو، با ایده گرفتن از مفهوم کارایی بهره‌ور<sup>۲</sup> در علوم مهندسی، الگوی جدیدی برای اندازه‌گیری کارایی یک واحد تولیدی، با چندین ورودی (منبع) و تنها یک خروجی (محصول)، پیشنهاد داد. او از نسبت میانگین وزنی ورودی‌ها به خروجی هر واحد تولیدی برای معرفی کارایی آن واحد استفاده نمود (Farrell, 1957). چارلز، کوپر و رودز<sup>۳</sup> با الهام از الگوی پیشنهادی فارل اولین مدل تحلیل پوششی داده‌ها<sup>۴</sup> را در سال ۱۹۷۸ ارایه نمودند که به نام مدل CCR معروف شد (Charnes et al., 1978). در این مدل، برای محاسبه‌ی کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیرنده (DMU<sup>۵</sup>)، نسبت مجموع موزون خروجی‌ها بر مجموع موزون ورودی‌ها، با اعمال محدودیت‌های خاصی بر مقادیر وزن‌ها، ماکزیمم می‌گردد. مدل‌های دیگر تحلیل پوششی داده‌ها به عنوان توسعه‌های مدل CCR به سرعت فرمولبندی شده و مورد استفاده قرار گرفتند (Cooper et al., 2007).

در تحلیل پوششی داده‌های مرسوم، فرض می‌شود که نقش هر یک از عوامل عملکردی، به عنوان عامل ورودی یا خروجی، مشخص است. اما، در برخی مسائل واقعی، عوامل عملکردی خاصی وجود دارند که بسته به رویکرد و نگرش‌های تصمیم‌گیری و مدیریتی، می‌توانند از یک منظر نقش ورودی داشته و از منظری دیگر در نقش خروجی نمود پیدا کنند و یا حتی دخالتی در ارزیابی عملکرد واحدهای تحت بررسی نداشته باشند. این عوامل به عنوان عوامل عملکردی دونقشی<sup>۶</sup> شناخته می‌شوند (Cook et al., 2006, Beasley, 1990). به عنوان نمونه بیزلی<sup>۷</sup> (۱۹۹۰) در فرایند ارزیابی عملکرد دانشکده‌های شیمی و فیزیک دانشگاه‌های مختلف، عامل بودجه‌ی پژوهشی را یک عامل دونقشی معرفی کرد.

---

1. Farrel

2. Productive efficiency

3. Charnes, A., Cooper, W.W., & Rhodes

4. Data envelopment analysis (DEA)

5. Decision making unit

6. Dual-role factors

7. Beasley

چرا که بودجه‌ی پژوهشی به عنوان یک منبع، در انجام فعالیت‌های پژوهشی مصرف شده و نقش ورودی دارد. اما از سوی دیگر این عامل، عملکرد تحقیقاتی دانشگاه را تقویت می‌کند؛ لذا می‌تواند به عنوان یک خروجی نیز در نظر گرفته شود.

در ارزیابی واحدهای تصمیم‌گیرنده، برای مواجهه با عوامل دونقشی دو رویکرد متفاوت وجود دارد. در رویکرد اول، ابتدا وضعیت عوامل دونقشی مشخص و سپس فرآیند ارزیابی واحدها انجام می‌شود. در رویکرد دوم، تعیین وضعیت عوامل دونقشی همزمان و در حین فرآیند ارزیابی صورت می‌پذیرد (برای مطالعه بیشتر به Chen, 2021 مراجعه شود). فارغ از اینکه کدام رویکرد انتخاب شود؛ مسأله مهم آن است که تعیین وضعیت عوامل دونقشی منصفانه و بر پایه اصول حاکم بر تصمیم‌گیری انجام شود.

تا کنون پژوهش‌های مختلفی جهت نحوه‌ی برخورد با عوامل عملکردی دونقشی انجام شده است. پس از معرفی عوامل دونقشی در تحلیل پوششی داده‌ها توسط بیزلی (۱۹۹۰) و کوک<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۶) پس از نقد روش حل پیشنهادی بیزلی، مدلی پیشنهاد دادند که ابتدا وضعیت عامل دونقشی را به نفع واحد تحت بررسی تعیین کرده و سپس براساس فراوانی وضعیت‌های به دست آمده، نقش نهایی آن عامل را مشخص می‌نمود. رویکرد پیشنهادی کوک و همکاران (۲۰۰۶) توسط بسیاری از پژوهشگران دیگر دنبال شد که جزئیات آنها در بخش پیشینه پژوهش آورده شده است.

رویکرد پیشنهادی کوک و همکاران (۲۰۰۶) و پژوهش‌های همراستا با آن ایرادات و کاستی‌های دارد که مهمترین آنها را می‌توان چنین برشمرد: (الف) به صرفه نبودن از نظر محاسباتی، زمانی که تعداد واحدهای تحت ارزیابی زیاد باشد؛ چرا که در این رویکرد، مدل به ازای هر واحد یک بار حل می‌شود. (ب) به بن بست خوردن فرایند تعیین وضعیت عامل دونقشی از مسیر شمارش وضعیت‌ها. این مشکل زمانی رخ می‌دهد که فراوانی وضعیت‌ها برابر باشد. (ج) بخشی‌نگر بودن این رویکرد؛ چرا که در این رویکرد، وضعیت نهایی عامل دونقشی با استفاده از الگوی بیشترین فراوانی مشخص شده و عملاً وضعیت مطلوب تعدادی از DMUها نادیده گرفته می‌شود. (د) رویکرد مذکور نگرش‌های مدیریتی تصمیم‌گیرندگان در مواجهه با تعیین وضعیت عوامل دونقشی را مورد توجه قرار نمی‌دهد. به عنوان مثال اگر در تعیین وضعیت عوامل دونقشی و ارزیابی یک واحد تصمیم‌گیرنده نگاه

رقابتی به بقیه‌ی واحدها وجود داشته باشد یا هنگامی که نگاه هم‌افزایی واحدها در یک سازمان حاکم باشد، نمی‌توان از رویکرد مذکور استفاده نمود.

گروه دیگری از پژوهش‌ها توجهی به تعیین وضعیت عوامل دونقشی قبل از انجام فرایند ارزیابی ندارند. به این معنی که وضعیت عامل دونقشی همزمان با ارزیابی هر واحد تحت بررسی تعیین می‌شود (به عنوان نمونه (Mahdiloo et al., 2010)، Farzipoor Sean, (2010) Mahdiloo et al., (2012)، (2013)، Mahdiloo et al., عزیززی و همکاران (۱۳۹۴) و Izadikhah et al., (2022) را ببینید). مشکل اساسی این رویکرد آن است که یک عامل دونقشی ممکن است برای واحدهای مختلف نقش‌های متفاوتی ایفا کند. متفاوت بودن نقش یک عامل عملکردی در فرایند ارزیابی مجموعه‌ای از واحدها، با منطق ارزیابی نسبی واحدهای مشابه که باید با عوامل یکسانی مقایسه شوند، در تناقض است.

دسته خاصی از پژوهش‌ها مانند (Shabani et al., 2011) و (Noveiri et al., 2019) فرض کرده‌اند که در برآورد نمره‌ی کارایی هر واحد تصمیم‌گیرنده، بخشی از عامل دونقشی به عنوان ورودی و بخش دیگر به عنوان خروجی ایفای نقش کند. ایراد اساسی این رویکرد، نقض رابطه‌ی علیت بین ورودی و خروجی‌ها است. چرا که در تحلیل پوششی داده‌ها، ورودی‌ها منابعی هستند که جهت تولید خروجی‌ها مصرف می‌شوند، حال اگر درصدی از یک عامل دونقشی ورودی و درصد دیگر خروجی باشد، بدین معناست که آن عامل همزمان مصرف می‌شود تا به تولید برسد که یک تناقض آشکار است.

با توجه به مطالب ذکر شده، در پژوهش حاضر تلاش می‌شود راه برون رفتی از ایرادات فوق پیشنهاد گردد. در این راستا فرض مشخص بودن نقش هر عامل عملکردی در فرایند ارزیابی نسبی واحدهای تصمیم‌گیرنده، به عنوان مفروضه‌ی اصلی تحلیل پوششی داده‌ها، مورد توجه قرار گرفته و وضعیت عوامل دونقشی قبل از انجام فرایند ارزیابی، به نحوی مشخص می‌شود که هر عامل دونقشی در ارزیابی همه‌ی واحدها، نقش یکسان ایفا کند. به بیان دقیق‌تر، وضعیت آن عامل دونقشی، برای همه‌ی واحدها، تنها یکی از سه حالت ورودی، خروجی یا تعادل باشد. منظور از وضعیت تعادل آن است که عامل دونقشی در ارزیابی واحدها اثرگذار نباشد. یکی از اهداف مهمی که در پژوهش حاضر دنبال شده است، تلاش برای مواجهه با عوامل دونقشی بصورت روشن، واضح و منطبق بر اصول مدیریتی مورد نظر تصمیم‌گیرندگان است.

بخش‌های بعدی مقاله حاضر به این ترتیب تنظیم شده اند که: در بخش دوم پیشینه پژوهش مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش سوم روش و مدل‌های پیشنهادی برای تعیین نقش و محاسبه کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده ارائه می‌شود. در بخش چهارم به منظور بررسی عملکرد روش پیشنهادی با استفاده از داده‌های یک مثال واقعی، نتایج بدست آمده از روش و مدل‌های پیشنهادی با نتایج مقالات دیگر مقایسه شده و تحلیل می‌گردد. در نهایت، بخش پنجم به جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و ارائه‌ی پیشنهادها پرداخته است.

## ۲ پیشینه پژوهش

بیزلی (۱۹۹۰ و ۱۹۹۵) برای اولین بار عامل دو نقشی را در ارزیابی واحدهای تصمیم‌گیرنده مطرح نمود. وی مدل مرسوم ورودی-محور تحلیل پوششی داده‌ها را در حضور اعتبار آموزشی-پژوهشی، به عنوان یک عامل دو نقشی، جهت ارزیابی دانشکده‌های مختلف توسعه داد (Beasley, 1990, 1995). کوک و همکاران (۲۰۰۶) رویکرد پیشنهادی بیزلی (۱۹۹۰ و ۱۹۹۵) را بررسی کرده و تلاش کردند ایرادات وارد بر الگوی پیشنهادی وی را رفع نمایند. در این راستا فرض غیراختیاری بودن را به عامل دو نقشی تحمیل کرده و یک مدل اصلاح شده‌ی تحلیل پوششی داده‌ها پیشنهاد دادند که با حل آن مدل، وضعیت عامل دو نقشی به نفع واحد تصمیم‌گیرنده تعیین می‌شود. مدل پیشنهادی آنها به ازای هر واحد تصمیم‌گیرنده یک‌بار حل شده و وضعیت نهایی عامل دو نقشی، براساس فراوانی وضعیت‌های به دست آمده، مشخص می‌گردد. در نهایت با توجه به نقش تعیین شده، ارزیابی واحدهای تصمیم‌گیرنده انجام می‌شود (Cook et al., 2006).

فرضی پور صائن (۲۰۱۰) مدل پیشنهادی کوک و همکاران (۲۰۰۶) را به مدلی توسعه دادند که در آن چند عامل دو نقشی در ارزیابی واحدهای تصمیم‌گیرنده حضور داشته و محدودیت وزنی نیز بر وزنها اعمال گردیده است. این مدل وضعیت عامل دو نقشی را همزمان با ارزیابی هر واحد و به نفع واحد تحت بررسی و با اعمال یک محدودیت وزن مجازی، تعیین می‌نماید. ایراد اصلی این روش آن است که ممکن است نقش یک عامل برای واحدهای مختلف یکسان نباشد. مدل پیشنهادی جهت انتخاب تامین‌کنندگان در زنجیره‌ی تامین بکار گرفته شد (Farzipoor Saen, 2010). پژوهش‌های دیگری نیز همسو با رویکرد اعمال محدودیت وزنی در حضور عوامل دو نقشی انجام شده است که می‌توان به (Noorizadeh et al., 2011)، (Izadikhah et al., 2017)، (Eydi & Rastgar, 2017)

(2022) و (Ghazi & Lotfi, 2022) اشاره نمود. به منظور خلاصه‌نویسی و پرهیز از اطاله‌ی کلام، جزئیات مربوط به مقالات مذکور، در جدول ۱ به تفکیک ارائه شده است. شسانی و همکاران (۲۰۱۱) یک مدل غیرخطی مبتنی بر رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها با تکنولوژی FDH در حضور عوامل دونقشی ارائه دادند. ویژگی اصلی رویکرد پیشنهادی معرفی مفهوم نقش جزئی (partial role) برای عوامل دونقشی است که در آن، عامل دونقشی اجازه دارد همزمان نقش ورودی و خروجی بازی کند، یعنی بخشی از آن عامل به عنوان ورودی و بخش دیگر به عنوان خروجی در نظر گرفته شود (Shabani et al., 2011). آزادی و فرضی‌پور صائن (۲۰۱۱) یک مدل تحلیل پوششی داده‌ها با رویکرد محدودیت‌های تصادفی در حضور عوامل دونقشی و داده‌های تصادفی ارائه نمودند. در مدل پیشنهادی آنها، وضعیت عوامل دونقشی به نفع واحد تحت بررسی تعیین شده و کارایی تصادفی هر واحد متناظر با سطح خطای داده شده محاسبه می‌گردد. روش پیشنهادی برای ارزیابی واحدهای تدارکات شخص ثالث در زنجیره تأمین معکوس مورد استفاده قرار گرفت (Azadi & Farzipoor Sean, 2011). پژوهش‌های دیگری نیز تلاش کرده‌اند مدل‌های متنوعی، با اصلاح مدل‌های پایه‌ای تحلیل پوششی داده‌ها، در حضور عوامل دونقشی و داده‌های نادقیق ارائه و حل نمایند. که از جمله می‌توان به (Sadeghi et al., 2012)، (Azadi & Saen, 2012)، (Azadi et al., 2014)، (Azadi et al., 2017)، (Toloo et al., 2018)، (Geng et al., 2019)، (Ebrahimi et al., 2021) و (Eydi & Rastgar, 2022) اشاره نمود. جزئیات مربوط به رویکردهای مختلف این پژوهش‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

چن (۲۰۱۴) در پژوهش خود، مجموعه‌ی امکان تولید مبتنی بر مفهوم تکنولوژی مشترک را به صورت اشتراک دو مجموعه‌ی امکان تولید معرفی و فرمول‌بندی نمود. وی توضیح می‌دهد که حضور یک عامل دونقشی موجب تعریف دو مجموعه‌ی امکان تولید می‌شود که این عامل در یکی نقش ورودی و در دیگری نقش خروجی دارد. بر این اساس مجموعه‌ی امکان تولید نهایی به صورت اشتراک آن دو مجموعه تعریف می‌شود. وی مدل‌های مضربی و پوششی مبتنی بر تکنولوژی تولید مشترک و بازده به مقیاس ثابت را در حضور عامل دونقشی فرمول‌بندی و حل نمود.

عزیزی و همکاران (۱۳۹۴) یک مدل تحلیل پوششی داده‌های اصلاح شده در حضور یک عامل دونقشی جهت انتخاب تامین‌کنندگان ارائه نمودند. آنها برای تعیین وضعیت عامل دونقشی دو رویکرد خوشبینانه و بدبینانه را در الگوی پیشنهادی لحاظ نموده و با جانمایی عامل دونقشی در گروه ورودی یا خروجی‌ها به محاسبه و مقایسه‌ی نمرات کارایی پرداختند، سپس الگوریتمی جهت تصمیم‌گیری برای تعیین نقش نهایی عامل دونقشی ارائه کردند. قاسم و همکاران (۲۰۲۴) یک الگوی جدید مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای در حضور عوامل دونقشی، خروجی‌های مطلوب و نامطلوب و عوامل عملکردی میانی انعطاف پذیر، برای ارزیابی زنجیره‌های تامین ارائه کردند. به ادعای نویسندگان، نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد که رویکرد ارائه شده با در نظر گرفتن اهداف مطلوب برای ورودی و خروجی‌ها، علاوه بر بهبود کارایی، می‌تواند فاصله بین واحدهای تصمیم‌گیرنده و اهداف مطلوب آنها را نیز محاسبه و گزارش کند.

به منظور خلاصه نویسی و فراهم شدن امکان مقایسه‌ی پژوهش‌های صورت گرفته در بازه‌ی زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۴ میلادی، پیرامون مدل‌ها و روش‌های پیشنهادی مبتنی بر تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها در حضور عوامل دونقشی، مهمترین موارد شناسایی شده توسط محققین در جدول ۱ ارائه گردیده است.

جدول ۱. مهمترین پژوهش‌های انجام شده در مبحث تحلیل پوششی داده‌ها با حضور عوامل دونقشی

سال و نویسنده	رویکرد پژوهش - [نمونه مورد مطالعه]	تمرکز پژوهش
Beasley, (1990, 1995)	معرفی بودجه (درآمد) پژوهشی به عنوان عامل دونقشی و ارائه‌ی معرفی عامل دونقشی و پیشنهاد مدل‌هایی جهت محاسبه کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده در حضور اولیه‌ای مبتنی بر رویکرد تحلیل یک عامل دونقشی، بدون توجه به تعیین وضعیت یک عامل دونقشی پوششی داده‌ها با دخالت دادن یک قبل از انجام ارزیابی واحدها.	عامل دونقشی
Cook et al., (2006)	رفع دو ایراد از مدل پیشنهادی بیزلی (۱۹۹۰)، ارائه‌ی یک مدل برنامه تعیین وضعیت عامل دو نقشی با ریزی خطی عدد صحیح مختلط مبتنی بر رویکرد تحلیل پوششی رویکرد تحلیل پوششی داده‌های داده‌های مضربی ورودی محور جهت تعیین وضعیت عامل دونقشی ورودی محور با فرض غیراختیاری با فرض غیراختیاری بودن عامل دونقشی. مدل پیشنهادی به نفع واحد بودن عامل دونقشی تحت بررسی تعیین نقش می‌نماید، وضعیت نهایی هر عامل دونقشی مبتنی بر الگوی بیشترین فراوانی تعیین می‌شود.	عامل دونقشی
	[دانشگاه‌های مختلف]	
	[دانشگاه - بانک]	

ادامه ی جدول ۱

توسعه‌ی مدل پیشنهادی کوک و همکاران (۲۰۰۶) به مدلی که در آن تعیین وضعیت عوامل دو نقشی چند عامل دونقشی در ارزیابی واحدهای تصمیم‌گیرنده حضور داشته و محدودیت وزنی نیز بر وزنها اعمال گردید. مدل پیشنهادی به نفع واحد تحت بررسی تعیین نقش می‌نماید و ممکن است نقش یک عامل برای واحدهای مختلف یکسان نباشد.	Farzipoor Saen, (2010)
[انتخاب تامین کنندگان]	
ارائه و حل یک مدل غیرخطی مبتنی بر رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها با تکنولوژی FDH در حضور عوامل دونقشی که در آن بخشی از یک عامل به عنوان ورودی و بخش دیگر به عنوان خروجی نقش ایفا می‌کند (مفهوم نقش جزئی (partial role) برای عوامل دونقشی).	Shabani et al., (2011)
[انتخاب کانتینرهای یخچالی در مدیریت زنجیره‌ی سرد]	
ارائه‌ی یک مدل با رویکرد محدودیت‌های تصادفی در حضور عوامل دونقشی و داده‌های تصادفی. وضعیت عوامل دونقشی به نفع واحد تحت بررسی تعیین شده و ممکن است نقش یک عامل برای واحدهای مختلف یکسان نباشد.	Azadi & Farzipoor Sean, (2011)
[انتخاب تدارکات شخص ثالث در زنجیره‌ی تامین معکوس]	
ارائه‌ی یک مدل تحلیل پوششی داده‌های اصلاح شده در حضور عوامل دونقشی همراه با داده‌های کیفی که به کمک متغیرهای زبانی فازی توصیف شده و پس از تبدیل به اعداد فازی در مدل استفاده شده‌اند.	Sadeghi et al., (2012)
[انتخاب رباتهای صنعتی]	
ارائه‌ی یک مدل تحلیل پوششی داده‌های غیر شعاعی در حضور عوامل دونقشی مبتنی بر متغیرهای کمکی که در آن فرض غیراختیاری بودن عوامل دونقشی حذف شده است. [داده‌های بیزلی ۱۹۹۰]	Noorizadeh et al., (2012)
پیشنهاد یک مدل اصلاح شده‌ی تحلیل پوششی داده‌ها مبتنی بر مفهوم مرز بدترین عملکرد (Worst-practice frontier) در حضور عوامل دونقشی و داده‌های غیرقطعی. [انتخاب تامین کنندگان]	Azadi & Saen, (2012)
ارائه‌ی یک مدل تحلیل پوششی داده‌ها مبتنی بر مرز بدترین عملکرد در حضور عوامل دونقشی و استفاده از وزنهای مشترک جهت رتبه بندی واحدها	Chaghooshi et al., (2012)
[منعطف]	
ارائه‌ی الگویی مبتنی بر تکنیک کارایی متقاطع برای تعیین نقش عوامل دونقشی و محاسبه کارایی واحدها. [ارزیابی پایداری در محیط‌های صنعتی]	Lee & Farzipoor Sean, (2012)
توسعه‌ی مدل پیشنهادی کوک و همکاران (۲۰۰۶) به مدلی که در آن دخالت دادن خروجی‌های نامطلوب در کنار عوامل دونقشی تصمیم‌گیرنده حضور داشته و به منظور بالا بردن قدرت تفکیک پذیری نتایج یک واحد تصمیم‌گیرنده‌ی مجازی به مدل تحمیل شده است. [رتبه بندی تامین کنندگان]	Mahdilo et al., (2013)

## ادامه ی جدول ۱

Chen, (2014)	معرفی مفهوم تکنولوژی مشترک مبتنی بر اصول موضوعه‌ای که مجموعه‌ی امکان تولید را به صورت اشتراک دو مجموعه‌ی امکان تولید معرفی می‌کند. در یک مجموعه عامل دوتقشی به عنوان ورودی و در مجموعه‌ی دیگر نقش خروجی دارد. در نهایت مدل‌های مضربی و پوششی مبتنی بر تکنولوژی تولید مشترک و بازده به مقیاس ثابت فرمول‌بندی شده است. [بخشی از داده‌های بیزلی ۱۹۹۰]	معرفی مفهوم تکنولوژی مشترک مبتنی بر اصول موضوعه‌ای که مجموعه‌ی امکان تولید را به صورت اشتراک دو مجموعه‌ی امکان تولید معرفی می‌کند. در یک مجموعه عامل دوتقشی به عنوان ورودی و در مجموعه‌ی دیگر نقش خروجی دارد. در نهایت مدل‌های مضربی و پوششی مبتنی بر تکنولوژی تولید مشترک و بازده به مقیاس ثابت فرمول‌بندی شده است. [بخشی از داده‌های بیزلی ۱۹۹۰]
Azadi et al., (2014)	ارائه‌ی یک مدل اصلاح شده‌ی راسل در حضور خروجی‌های نامطلوب، عوامل دوتقشی و داده‌های نادقیق. وضعیت عوامل دوتقشی به نفع واحد تحت بررسی بدست می‌آید. [انتخاب تامین‌کنندگان مواد خام یک شرکت]	محاسبه‌ی کارایی مبتنی بر اندازه‌ی راسل در حضور عوامل دوتقشی
Kumar et al., (2014)	پیشنهاد الگویی تحت عنوان تحلیل پوششی داده‌های سبز مبتنی بر مدل پیشنهادی (Farzipoor Saen, 2010) که در آن شاخص میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به عنوان یک عامل دوتقشی لحاظ شده و روشی برای مواجهه با داده‌های گم شده پیشنهاد شده است. وضعیت عوامل دوتقشی به نفع واحد تحت بررسی بدست می‌آید. [انتخاب تامین‌کنندگان]	لحاظ کردن محدودیت وزنی و انتخاب میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به عنوان یک عامل دوتقشی
Toloo & Barat, (2015)	پیشنهاد دو مدل برنامه‌ریزی اعداد صحیح آمیخته (یک مدل انفرادی و یک مدل جمعی) مبتنی بر فرم پوششی تحلیل پوششی داده‌ها در حضور عوامل دوتقشی و مقایسه با مدل‌های پیشنهادی قبلی. [انتخاب واحد تحت بررسی] و جمعی تامین‌کنندگان [همه‌ی واحدها باهم]	توجه به تعیین وضعیت عامل و دوتقشی از دو منظر انفرادی (فقط حضور عوامل دوتقشی و مقایسه با مدل‌های پیشنهادی قبلی. [انتخاب واحد تحت بررسی] و جمعی تامین‌کنندگان)
Ding et al., (2015)	ارائه‌ی یک الگوی انتخاب تامین‌کننده مبتنی بر مدل تحلیل پوششی داده‌ها و نظریه بازی در حضور عوامل دوتقشی. [انتخاب تامین‌کنندگان]	دخیل کردن یک مدل بازی دوفره‌ی صفر و یک جهت تعیین وضعیت عامل دوتقشی
Afsharian et al., (2016)	معرفی یک مدل تحلیل پوششی داده‌های کلی با لحاظ کردن مفاهیم انتخاب عوامل عملکردی، عوامل دوتقشی و عوامل نامطلوب، وضعیت عوامل دوتقشی به نفع واحد تحت بررسی بدست می‌آید. و عوامل نامطلوب [مقاله نظری بوده و مثال واقعی ندارد]	لحاظ کردن همزمان مفاهیم عملکردی انتخابی، عوامل دوتقشی و عوامل نامطلوب
Azadi et al., (2017)	ارائه‌ی یک مدل تحلیل پوششی داده‌های فازی دو مرزی (با نگاه خوشبینانه و بدبینانه) جهت انتخاب تامین‌کننده‌ی سبز در حضور خروجی‌های نامطلوب و عوامل دوتقشی، تعیین وضعیت عوامل دوتقشی به نفع واحد تحت بررسی. [انتخاب تامین‌کننده‌ی سبز در زنجیره تامین]	در نظر گرفتن داده‌های فازی مثلثی و خوشبینانه و بدبینانه) جهت انتخاب تامین‌کننده‌ی سبز در حضور خروجی‌های نامطلوب و عوامل دوتقشی، تعیین وضعیت عوامل دوتقشی به نفع واحد تحت بررسی.
Toloo et al., (2018)	پیشنهاد مدل‌هایی جهت تعیین وضعیت عوامل دوتقشی و محاسبه کارایی بازه‌ای برای هر DMU با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری فازی مبتنی بر معیار حداکثر - حداقل فازی که کارایی هر DMU بازه‌ی کارایی و درجه عضویت مرتبط را علاوه بر تعیین منحصره‌فرد عوامل دو تقشی محاسبه می‌کند. [ارزیابی بانک‌ها]	در نظر گرفتن عدم قطعیت در داده‌ها به صورت اعداد فازی و معرفی فازی مبتنی بر معیار حداکثر - حداقل فازی که کارایی هر DMU بازه‌ی کارایی و درجه عضویت مرتبط را علاوه بر تعیین منحصره‌فرد عوامل دو تقشی محاسبه می‌کند. [ارزیابی بانک‌ها]



<p>توسعه ی یک مدل تحلیل پوششی داده های شبکه ای در حضور لحاظ کردن مفهوم عوامل دونقشی خروجی های نامطلوب و عوامل دونقشی. محاسبه ی کارایی در تحلیل پوششی داده های شبکه ای خوشبینانه، کارایی بدبینانه و کارایی کلی جهت ارزیابی و رتبه بندی و معرفی کارایی خوشبینانه و بدبینانه زنجیره های تامین.</p>	Su & Sun, (2018)
<p>[ارزیابی ده زنجیره ی تامین نوشیدنی ها]</p> <p>پیشنهادی یک مدل تحلیل پوششی داده های فازی با رویکرد مرز دوگانه در حضور خروجی های نامطلوب و عوامل دونقشی، وضعیت عوامل دونقشی به نفع واحد تحت بررسی بدست می آید.</p> <p>[ارزیابی ۱۹ سازمان در حوزه ی صرفه جویی انرژی و حفاظت محیط زیست]</p>	Geng et al., (2019)
<p>ارائه ی یک مدل تحلیل پوششی داده های خطی اعداد صحیح آمیخته شناسایی بهترین واحد تصمیم گیرنده برای شناسایی بهترین واحد تصمیم گیرنده در حضور عوامل دونقشی، با حل یک باره ی مدل وضعیت عوامل دونقشی به نفع واحد تحت بررسی بدست می آید.</p> <p>[انتخاب بهترین تامین کننده و بهترین بانک]</p>	Ebrahimi, (2020)
<p>ارائه ی یک مدل اصلاح شده ی تحلیل پوششی داده ها در حضور تعیین وضعیت منحصر به فرد عوامل عوامل دونقشی و عوامل نامطلوب و تلفیق مدل پیشنهادی با الگوی تابع فاصله ی اندیس مالم کوئیست-لونیبرگر، وضعیت عوامل دونقشی به نفع واحد تحت بررسی بدست می آید.</p> <p>[تامین کنندگان یک شرکت قطعات بدکی خودرو]</p>	Li et al., (2020)
<p>بررسی و تحلیل دو رویکرد متفاوت به نحوه ی تعیین وضعیت عوامل دونقشی. یک رویکرد تعیین وضعیت عوامل دونقشی قبل از ارزیابی عملکرد واحدها و رویکرد دوم در نظر گرفتن مستقیم عامل دونقشی در فرایند ارزیابی عملکرد.</p> <p>[داده های بیزلی ۱۹۹۰]</p>	Chen, (2021)
<p>ارائه ی یک جفت مدل خطی دودویی آمیخته، مبتنی بر اسپیلون، در حضور عوامل دونقشی نادقیق که از یک مرز تولید ثابت و یکپارچه برای محاسبه ی کرانه های کارایی همه ی واحدها استفاده می کند. تولید ثابت و یکپارچه برای وضعیت عوامل دونقشی به نفع واحد تحت بررسی بدست می آید.</p> <p>[ارزیابی عملکرد ۲۶ پیمانکار صنایع فضایی ایران]</p>	Ebrahimi et al., (2021)
<p>ارائه ی یک مدل اصلاح شده ی برنامه ریزی خطی دودویی آمیخته ی تحلیل پوششی داده ها با تکنولوژی بازده به مقیاس متغیر در حضور عوامل دونقشی، وضعیت عوامل دونقشی به نفع واحد تحت بررسی بدست می آید.</p> <p>[داده های بیزلی ۱۹۹۰]</p>	Ghiyasi & Cook, (2021)
<p>ارائه ی دو روش وزن دهی مختلف برای معرفی مدل های تحلیل پوششی داده های با محدودیت وزنی در حضور عوامل دونقشی، وضعیت عوامل دونقشی به نفع واحد تحت بررسی بدست می آید.</p> <p>[۲۰ شعبه ی یک بانک]</p>	Ghazi & Lotfi, (2022)

## ادامه ی جدول ۱

Izadikhah et al., (2022)	ارائه ی یک مدل تحلیل پوششی داده های غیرشعاعی با محدودیت لحاظ کردن داده های منفی در حضور وزنی برای مواجهه با داده های منفی در حضور خروجی های خروجی های نامطلوب، عوامل نامطلوب، عوامل غیراختیاری و عوامل دونقشی جهت ارزیابی غیراختیاری و عوامل دونقشی پایداری تامین کنندگان.	
Eydi & Rastgar, (2022)	[ارزیابی و انتخاب تامین کنندگان پایدار ساپکو] ارائه ی یک مدل تحلیل پوششی داده های فازی اصلاح شده در حضور عوامل دونقشی و استفاده از مدل های مبتنی بر آلفا-برش برای محاسبه ی کرانهای پایین و بالای کارایی واحدها، وضعیت عوامل دونقشی به نفع واحد تحت بررسی بدست می آید. [ارزیابی ۳۰ واحد تدارکات شخص ثالث در لجستیک جمع آوری زباله های بیمارستانی]	
Ghasem et al., (2024)	ارائه ی یک الگوی جدید مبتنی بر تحلیل پوششی داده های شبکه ای در حضور عوامل دونقشی، خروجی های مطلوب و نامطلوب و عوامل عملکردی میانجی انعطاف پذیر، برای ارزیابی زنجیره های تامین متنوع	[زنجیره های تامین صنعت نوشیدنی]

## ۳ روش پیشنهادی

فرض کنید قصد داریم عملکرد  $n$  واحد تصمیم گیرنده را به صورت نسبی ارزیابی و مقایسه نماییم. عملکرد هر واحد مبتنی بر سه گروه از عامل ها، شامل  $m$  ورودی،  $s$  خروجی و  $l$  عامل عملکردی دونقشی، ارزیابی می گردد. با در نظر داشتن رویکرد وزن دهی در تحلیل پوششی داده ها از نماد گذاری های زیر جهت فرمولبندی مدل های پیشنهادی استفاده می شود:

## اندیس ها:

$j$ : شمارنده واحدهای تحت ارزیابی ( $j = 1, 2, \dots, n$ )،

$i$ : شمارنده ورودی ها ( $i = 1, 2, \dots, m$ )،

$r$ : شمارنده خروجی ها ( $r = 1, 2, \dots, s$ )،

$k$ : شمارنده عوامل دونقشی ( $k = 1, 2, \dots, l$ ) .

## پارامترها:

$x_{ij}$ : مقدار ورودی  $i$ -ام برای واحد  $j$ -ام،

$y_{rj}$ : مقدار خروجی  $r$ -ام برای واحد  $j$ -ام،

$w_k$ : مقدار  $k$ -امین عامل دونقشی برای واحد  $j$ -ام.

### متغیرهای تصمیم:

$u_r$ : وزن خروجی  $r$ -ام،

$v_i$ : وزن ورودی  $i$ -ام.

$\gamma_k$ : وزن عامل دونقشی  $k$ -ام زمانی که نقش ورودی داشته باشد.

$\beta_k$ : وزن عامل دونقشی  $k$ -ام زمانی که نقش خروجی داشته باشد.

$\theta_0^*$ : کارایی محاسبه شده برای  $DMU_0$  در حالتی که نقش عوامل دوگانه به نفع این واحد تعیین شود.

برای محاسبه  $\theta_0^*$  از مدل زیر که توسعه یافته‌ی مدل پیشنهادی کوک و همکاران (۲۰۰۶) با در نظر گرفتن چندین عامل دونقشی است؛ استفاده می‌شود.

$$\begin{aligned} \theta_0^* = \text{Max } & \sum_{r=1}^S u_r y_{r0} + \sum_{k=1}^K (\gamma_k w_{k0} - \beta_k w_{k0}) \\ \text{s. t} & \\ \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = & 1 \\ \sum_{r=1}^S u_r y_{rj} + \sum_{k=1}^K (\gamma_k w_{kj} - \beta_k w_{kj}) - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq & 0 \quad \forall j \\ \gamma_k, \beta_k, u_r, v_i \geq & 0 \quad \forall r, \forall i, \forall k \end{aligned} \quad (1)$$

مدل (۱) یک مدل مضربی ورودی محور است که تابع هدف آن، از نوع حداکثرسازی است که عبارت اول این تابع هدف، همانند مدل‌های مرسوم تحلیل پوششی داده‌ها، مجموع موزون خروجی‌ها را نشان می‌دهد. عبارت دوم، مجموع موزون عوامل دونقشی را نشان می‌دهد. شایان ذکر است که طبق تحلیل منطقی که کوک و همکاران (۲۰۰۶) ارائه کردند، عوامل دونقشی به عنوان عوامل غیراختیاری<sup>۱</sup> در نظر گرفته شده و به همین دلیل در محدودیت اول، که به نام محدودیت نرمال‌ساز معروف است، لحاظ نشده‌اند. مجموعه‌ی محدودیت دوم باعث می‌شود که نمره کارایی نسبی هر واحد، مبتنی بر وزن‌های بدست آمده از حل مدل، حداکثر یک باشد. در واقع این محدودیت بازنویسی شده‌ی محدودیت زیر است که سمت چپ آن نشان دهنده‌ی کارایی نسبی  $DMU_j$  می‌باشد:

$$\frac{\sum_{r=1}^S u_r y_{rj} + \sum_{k=1}^K (\gamma_k w_{kj} - \beta_k w_{kj})}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1 \quad \forall j \quad (2)$$

متغیرهای  $\gamma_k$  و  $\beta_k$  به عنوان وزن‌های عوامل دونقشی در نظر گرفته شده‌اند. همانطور که در تابع هدف و محدودیت دوم مدل (۱) مشاهده می‌شود، این دو متغیر هم خطند، لذا با

توجه به ویژگی‌های مسایل برنامه‌ریزی خطی در بهینگی، این دو متغیر نمی‌توانند همزمان مقدار مثبت داشته باشند. یعنی اینکه یا تنها یکی از آنها مقدار مثبت می‌گیرد و یا هر دو مقدار صفر خواهند داشت. اگر در بهینگی مقدار  $\gamma_k$  مثبت باشد بدین معناست که  $k$ -امین عامل دونقشی به عنوان خروجی در نظر گرفته شده است و در صورتی که  $\beta_k$  مثبت باشد  $k$ -امین عامل، نقش ورودی بازی خواهد کرد. اما صفر بودن هر دوی  $\gamma_k$  و  $\beta_k$  به معنای بی‌اثر بودن  $k$ -امین عامل دونقشی در ارزیابی واحد تحت بررسی می‌باشد.

با حل مدل (۱) به ازاء هر DMU، وضعیت عامل‌های دونقشی به نفع واحد تحت بررسی مشخص می‌گردد. در این راستا ممکن است جواب بهینه‌ی مدل (۱) برای DMU تحت بررسی زمانی حاصل شود که یک عامل دونقشی در حالت خروجی باشد، این درحالی است که ممکن است برای DMU دیگر حالت ورودی آن عامل، بهینه باشد؛ حتی ممکن است بی‌اثر بودن آن عامل به نفع DMU تحت بررسی بهترین جواب را ارائه دهد. لازم به توضیح است که اگر یک عامل دونقشی در ارزیابی واحد تحت بررسی مد نظر قرار نگیرد، آن عامل را بی‌اثر نامیده و اصطلاحاً می‌گوییم در تعادل است.

پُر واضح است زمانی ارزیابی نسبی واحدها منطقی خواهد بود، که هر عامل دو نقشی در همه DMUها نقش یکسان داشته باشد. بنابراین متفاوت بودن وضعیت یک عامل دونقشی (ورودی، خروجی و تعادل) در ارزیابی نسبی واحدهای متمایز، غیر منطقی است. در ادامه با پیشنهاد مدل‌هایی نسبت به رفع این نقیصه اقدام می‌گردد.

همانطور که پیش‌تر اشاره شد؛ شرط (۲) برای نمره‌ی کارایی نسبی  $DMU_j$ ، یک شرط کلیدی است؛ این شرط معادل محدودیت

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} + \sum_{k=1}^K (\gamma_k w_{kj} - \beta_k w_{kj}) - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0$$

می‌باشد. با افزودن متغیر کمکی  $d_j$  به این محدودیت؛ رابطه‌ی

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} + \sum_{k=1}^K (\gamma_k w_{kj} - \beta_k w_{kj}) - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + d_j = 0$$

حاصل می‌گردد. این محدودیت در مدل‌های پیشنهادی تحقیق حاضر نقش مؤثری ایفا می‌کند. به منظور راحتی در بیان عبارت‌ها، از این به بعد، متغیر کمکی  $d_j$  را متغیر انحراف در شرط کارایی می‌نامیم. بر این اساس، هر چه مقدار  $d_j$  کوچکتر باشد، نمره‌ی کارایی  $DMU_j$  به عدد یک، به عنوان کارایی ایده‌آل، نزدیک‌تر می‌گردد. همچنین اگر جوابی وجود داشته باشد که به ازای آن  $d_j$  مقدار صفر بگیرد، آنگاه  $DMU_j$  کارا خواهد بود.

در مسیر تعیین وضعیت عوامل دونقشی، با رویکرد مبتنی بر مدل (۱)، ابتدا باید این مدل به ازای هر DMU یک بار حل و در هر بار حل، وضعیت عامل دونقشی به نفع واحد تحت بررسی تعیین گردد. سپس با توجه به فراوانی هر وضعیت برای عامل دونقشی (ورودی/ خروجی/ تعادل)، وضعیت نهایی آن عامل برای ارزیابی کل واحدها مشخص گردد. این رویکرد، که توسط کوک و همکاران (۲۰۰۶) پایه‌ریزی شد، دارای چهار ایراد اساسی است: اول اینکه باید به تعداد DMUها مدل را حل نمود، که اگر تعداد واحدها زیاد باشد؛ این رویکرد از نظر محاسباتی به صرفه نخواهد بود. ایراد دوم آن است که امکان دارد فرایند تعیین وضعیت عامل دونقشی از مسیر شمارش وضعیت‌ها به بن‌بست بخورد. این حالت زمانی رخ می‌دهد که فراوانی وضعیت‌ها برابر باشد. بطور مثال ممکن است نتایج حاصل از حل مدل (۱) برای مجموعه‌ای از داده‌ها به گونه‌ای باشد که تعداد DMUهایی که نقش ورودی را برای عامل دونقشی تعیین می‌کنند برابر با تعداد DMUهایی باشد که برای آن عامل، نقش خروجی در نظر می‌گیرند، در این صورت تصمیم‌گیرنده امکان تعیین نقش را نخواهد داشت. ایراد سوم نگاه بخشی‌نگر این رویکرد است. در واقع در رویکرد مذکور، تعیین وضعیت عوامل دونقشی به نفع واحد تحت بررسی صورت می‌پذیرد، سپس هر وضعیت که دارای بیشترین فراوانی است نقش عامل را مشخص می‌کند. این رویکرد بخشی‌نگر بوده و عملاً وضعیت مطلوب تعدادی از DMUها را نادیده می‌گیرد. ایراد چهارم و اساسی‌تری که می‌توان برای رویکرد مذکور برشمرد، عدم توجه آن به نگرش تصمیم‌گیرندگان است. به عنوان مثال اگر مدیریت عالی بخواهد تعیین وضعیت عوامل دونقشی با هدف همگنی بیشتر عملکرد واحدهای تحت مدیریتش انجام شود و یا اینکه ارتقا عملکرد ضعیف‌ترین واحد تحت مدیریت خود در این موضوع را لحاظ کند، رویکرد بیشترین فراوانی قابل استفاده نخواهد بود.

در ادامه برای رفع ایرادات ذکر شده، دو مدل مبتنی بر وزن‌های مشترک و متغیر انحراف در شرط کارایی ارائه می‌کنیم.

### ۳-۱ تعیین وضعیت عوامل دونقشی مبتنی بر کمینه‌سازی بیشینه‌ی انحرافات

در این بخش تلاش داریم مدلی ارائه گردد که به کمک آن وضعیت عوامل دونقشی به نحوی تعیین شود که اولاً همه‌ی واحدها بطور همزمان در تعیین نقش حضور دارند و ثانیاً کارایی واحدها بعد از تعیین نقش، کمترین انحراف را از حالت ایده‌آل (نمره کارایی برابر

با یک) داشته باشند. استفاده از وزن‌های مشترک و متغیرهای انحراف در شرط کارایی ( $d_j$ ها)، به ترتیب اهداف مذکور را محقق می‌کنند. بدین منظور اولین راهکاری که پیشنهاد می‌کنیم آن است که وزن‌های مشترک به نحوی تعیین شوند که بیشترین مقدار متغیرهای انحراف در شرط کارایی (یعنی  $\max_{j=1, \dots, n} \{d_j\}$ ) کمینه گردد. برای نیل به این هدف فرض می‌کنیم  $D = \max_{j=1, \dots, n} \{d_j\}$  نشان دهنده‌ی بیشترین مقدار انحراف در شرط کارایی و  $\beta_k, \gamma_k, v_i, u_r$  نشان دهنده‌ی وزن‌های مشترک در ارزیابی واحدها باشند. مدل (۳) برای تعیین وضعیت عوامل دونقشی پیشنهاد می‌گردد.

$$\min D \quad (a)$$

s. t

$$\sum_{r=1}^s u_r \left( \sum_{j=1}^n y_{rj} \right) + \sum_{i=1}^m v_i \left( \sum_{j=1}^n x_{ij} \right) = n \quad (b)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} + \sum_{k=1}^K (\gamma_k w_{kj} - \beta_k w_{kj}) - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + d_j = 0 \quad \forall j \quad (c) \quad (3)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} + \sum_{k=1}^K (\gamma_k w_{kj} - \beta_k w_{kj}) \geq 0 \quad \forall j \quad (d)$$

$$d_j \leq D \quad \forall j \quad (e)$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad \forall r, \forall i \quad (f)$$

$$\gamma_k, \beta_k, d_j \geq 0 \quad \forall k, \forall j \quad (g)$$

تابع هدف (۳.a) بدنبال کمینه‌سازی بیشینه‌ی مقادیر انحراف در شرط کارایی DMUهاست. محدودیت (۳.b) بدلیل وجود وزن‌های مشترک، جایگزین محدودیت نرمال‌ساز مدل‌های رایج شده است. در دسته محدودیت (۳.c) متغیر  $d_j$  میزان انحراف در شرط کارایی مربوط به  $DMU_j$  را نشان می‌دهد. دسته محدودیت (۳.d) تضمین می‌کند که نمره‌ی کارایی  $DMU_j$  منفی نشود. دسته محدودیت (۳.e) نشان می‌دهد که مقدار انحراف در شرط کارایی هر DMU کمتر یا مساوی مقدار  $D$  باشد؛ چرا که داشتیم:  $D = \max_{j=1, \dots, n} \{d_j\}$ .

در مدل (۳) مشابه مدل (۱) ضرایب متغیرهای  $\gamma_k$  و  $\beta_k$  هم خطند؛ لذا در بهینگی یا فقط یکی از آنها مقدار مثبت می‌گیرد یا هر دو صفر خواهند بود. بنابراین هر عامل دونقشی برای همه واحدهای تحت بررسی، نقش یگانه ایفا خواهد کرد. به بیان دیگر، یک عامل دونقشی یا برای همه واحدهای تحت بررسی نقش ورودی ایفا می‌کند و یا برای همه واحدها، نقش خروجی ایفا می‌کند و یا اینکه برای همه‌ی واحدها در تعادل است. پس از تعیین وضعیت

عوامل دونقشی به کمک مدل پیشنهادی (۳)، تصمیم گیرنده می تواند از وزن های بدست آمده در جواب بهینه ی این مدل به عنوان وزن های مشترک جهت محاسبه ی نمره ی کارایی و رتبه بندی واحدها استفاده نماید. با این وجود در صورت نیاز تصمیم گیرنده می تواند پس از تعیین وضعیت عوامل دونقشی به کمک مدل (۳)، از مدل های پایه ای تحلیل پوششی داده ها برای ارزیابی واحدها استفاده نماید.

### ۳-۲ تعیین وضعیت عوامل دونقشی مبتنی بر کمینه سازی انحراف از میانگین انحرافات

پیشنهاد جدید دیگری که در این بخش ارائه می دهیم، مبتنی بر مفهوم انحراف از میانگین انحرافات پایه ریزی می شود.

اگر متغیر  $d_j$  به عنوان میزان انحراف در شرط کارایی مربوط به  $DMU_j$  و  $\bar{d}$  میانگین  $d_j$  ها تعریف شوند، یعنی  $\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_j$ ، در این صورت تابع هدف، کمینه سازی انحراف از میانگین انحرافات ( $\bar{d}$ ) در نظر گرفته شده و مدل (۴) را جهت تعیین وضعیت عوامل دونقشی پیشنهاد می کنیم.

$$\min \sum_{j=1}^n |d_j - \bar{d}| \quad (a)$$

$$s. t \quad \sum_{r=1}^s u_r (\sum_{j=1}^n y_{rj}) + \sum_{i=1}^m v_i (\sum_{j=1}^n x_{ij}) = n \quad (b)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} + \sum_{k=1}^K (\gamma_k w_{kj} - \beta_k w_{kj}) - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + d_j = 0 \quad \forall j \quad (c) \quad (4)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} + \sum_{k=1}^K (\gamma_k w_{kj} - \beta_k w_{kj}) \geq 0 \quad \forall j \quad (d)$$

$$\bar{d} = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{j=1}^n d_j \quad j = 1, \dots, n \quad \forall j \quad (e)$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad \forall r, \forall i \quad (f)$$

$$\gamma_k, \beta_k, d_j \geq 0 \quad \forall k, \forall j \quad (g)$$

به منظور خطی سازی تابع هدف مدل (۴)، می توان عبارت  $|d_j - \bar{d}|$  را به صورت تفاضل دو متغیر نامنفی مثل  $\varepsilon_j^+$  و  $\varepsilon_j^-$  جایگزین کرد، و دسته محدودیت های  $d_j - \bar{d} = \varepsilon_j^+ - \varepsilon_j^-$  را به لیست محدودیت ها اضافه کرد. بدین ترتیب مدل (۴) به صورت مدل (۵) بازنویسی می گردد.

$$\text{Min } \sum_{j=1}^n (\varepsilon_j^+ + \varepsilon_j^-) \quad (a)$$

s. t

$$\sum_{r=1}^s u_r (\sum_{j=1}^n y_{rj}) + \sum_{i=1}^m v_i (\sum_{j=1}^n x_{ij}) = n \quad (b)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} + \sum_{k=1}^K (\gamma_k w_{kj} - \beta_k w_{kj}) - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + d_j = 0 \quad \forall j \quad (c) \quad (5)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} + \sum_{k=1}^K (\gamma_k w_{kj} - \beta_k w_{kj}) \geq 0 \quad \forall j \quad (d)$$

$$d_j - \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{j=1}^n d_j = \varepsilon_j^+ - \varepsilon_j^- \quad \forall j \quad (e)$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad \forall r, \forall i \quad (f)$$

$$\gamma_k, \beta_k, d_j, \varepsilon_j^+, \varepsilon_j^- \geq 0 \quad \forall k, \forall j \quad (g)$$

با حل مدل (۵) براساس مقادیر بهینه‌ی  $\gamma_k$  و  $\beta_k$  می‌توان وضعیت عامل دونقشی  $k$ -ام را تعیین نمود. شباهت اصلی مدل‌های پیشنهادی (۳) و (۵) آن است که هر دوی آن‌ها میزان انحراف در شرط کارایی را برای هر واحد تحت بررسی لحاظ نموده و برخلاف روش‌های مبتنی بر ماکزیمم فراوانی، که نقش هر عامل را به نفع واحد تحت بررسی تعیین می‌کردند (مانند کوک و همکاران، ۲۰۰۶ و عزیزی و همکاران، ۱۳۹۴)، وضعیت عوامل دونقشی را با دخالت دادن همه‌ی DMUها و ملاک قراردادن وزن‌های مشترک تعیین می‌کنند. همچنین از ویژگی‌های بارز مدل‌های (۳) و (۵) این است که وضعیت عوامل دونقشی با یک‌بار حل مدل مشخص می‌شود، در حالی که مدل‌های مبتنی بر فراوانی وضعیت، باید به ازای هر واحد تحت بررسی، یک‌بار حل شوند.

تمایز مدل (۵) با مدل (۳) در این است که، مدل (۵) به منظور تعیین وضعیت عوامل دونقشی، کمینه‌سازی مجموع انحرافات از متوسط انحرافات را به عنوان هدف در نظر می‌گیرد؛ اما مدل (۳) با هدف کمینه‌سازی ماکزیمم انحرافات، سعی در تعیین وضعیت عوامل دونقشی دارد.

در مورد منطق ارائه‌ی مدل‌های (۳) و (۵) لازم است به این نکته اشاره شود که استفاده از مدل (۳) در مواقعی پیشنهاد می‌شود که مدیریت عالی قصد داشته باشد از آفت بیش از حد عملکرد ضعیف‌ترین عضو مجموعه ممانعت نماید. منطق این رویکرد مبتنی بر این اصل ثابت شده‌ی مدیریت عملکرد است که توان یک مجموعه، معادل با توان ضعیف‌ترین عضو آن مجموعه است. اما بکارگیری مدل (۵) در مواقعی پیشنهاد می‌شود که تعیین وضعیت عوامل



دونقشی با هدف ممانعت از پراکندگی بیش از حد نمره‌ی عملکرد واحدهای یک مجموعه مد نظر باشد. به عبارت دیگر پراکندگی نمره‌ی کارایی مبتنی بر وزن‌های مشترک واحدها در حداقل باشد.

در ادامه به منظور تشریح و بررسی کاربرد مدل‌های پیشنهادی به ارائه‌ی یک مثال عددی پرداخته می‌شود.

#### ۴ مثال عددی

داده‌هایی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته، مربوط به ۱۸ تأمین‌کننده، برگرفته از پژوهش تلوری و بیکر (۲۰۰۲) است. عوامل عملکردی شامل دو ورودی، سه خروجی و دو عامل دونقشی است. جدول شماره ۲، جزئیات مربوط به مقادیر داده‌ها را نشان می‌دهد. هزینه‌ی کل حمل و نقل (TC)<sup>۱</sup> و تعداد محموله در ماه (NS)<sup>۲</sup> ورودی‌های هر تأمین‌کننده و تعداد محموله‌های به موقع تحویل شده (NOT)<sup>۳</sup>، تعداد صورتحساب‌های دریافتی بدون خطا (NB)<sup>۴</sup> و امتیاز مکان تأمین‌کننده (LOC)<sup>۵</sup> خروجی‌های آن‌ها را نشان می‌دهد. امتیاز مکان تأمین‌کننده به معیارهایی همچون هزینه‌های تولید، در دسترس بودن نیروی کار، وجود سیستم‌های حمل و نقل قوی و به مواردی از این دست در آن مکان وابسته است. عوامل دونقشی عبارتند از کیفیت خدمات درک‌شده (EXP)<sup>۶</sup> و اعتبار کیفیت خدمات (CRE)<sup>۷</sup>. کیفیت خدمات درک‌شده و اعتبار کیفیت خدمات از آن جهت به عنوان عوامل دونقشی لحاظ شده‌اند که از یک منظر نشان‌دهنده‌ی کیفیت بالای خدمات هستند؛ بنابراین می‌توانند نقش خروجی ایفا کنند، از طرف دیگر بالابردن کیفیت خدمات مستلزم هزینه‌های بیشتر در فرایندها و آموزش‌های منابع انسانی است که از این منظر می‌توان آن‌ها را به عنوان ورودی در نظر گرفت (جهت مشاهده‌ی جزئیات بیشتر به عزیزی و همکاران، ۱۳۹۴ مراجعه گردد).

---

1 Total cost of shipments

2 Number of shipments per month

3 Number of shipments to arrive on time

4 Number of bills received from the supplier without errors

5 Location rating

6 Service-quality experience

7 Service-quality credence.

جدول ۲: داده‌های تحقیق برگرفته از (Talluri &amp; Baker, 2002)

خروجی‌ها			عوامل دونقشی		ورودی‌ها		
LOC	NOT	NB	CRE	EXP	NS	TC	DMU
۸۷	۱۸۷	۹۰	۹۰	۲۴۰	۱۹۷	۲۵۳	۱
۸۷	۱۹۴	۱۳۰	۸۰	۲۱۰	۱۹۸	۲۶۸	۲
۹۹	۲۲۰	۲۰۰	۷۰	۲۷۰	۲۲۹	۲۵۹	۳
۶۹	۱۶۰	۱۰۰	۷۰	۲۰۰	۱۶۹	۱۸۰	۴
۸۶	۲۰۴	۱۷۳	۷۰	۱۶۰	۲۱۲	۲۵۷	۵
۸۸	۱۹۲	۱۷۰	۸۰	۲۳۰	۱۹۷	۲۴۸	۶
۷۶	۱۹۴	۶۰	۹۰	۲۰۰	۲۰۹	۲۷۲	۷
۹۶	۱۹۵	۱۴۵	۶۰	۱۷۰	۲۰۳	۳۳۰	۸
۹۹	۲۰۰	۱۵۰	۷۰	۱۸۰	۲۰۸	۳۲۷	۹
۶۱	۱۷۱	۹۰	۶۰	۱۷۰	۲۰۳	۳۳۰	۱۰
۸۲	۱۷۴	۱۰۰	۸۰	۲۰۰	۲۰۷	۳۲۱	۱۱
۷۹	۲۰۹	۲۰۰	۱۰۰	۲۱۰	۲۳۴	۳۲۹	۱۲
۷۵	۱۶۵	۱۶۳	۹۰	۳۰۰	۱۷۳	۲۸۱	۱۳
۹۴	۱۹۹	۱۷۰	۸۰	۲۵۰	۲۰۳	۳۰۹	۱۴
۹۰	۱۸۸	۱۸۵	۹۰	۲۵۰	۱۹۳	۲۹۱	۱۵
۷۵	۱۶۸	۸۵	۸۰	۲۴۰	۱۷۷	۳۳۴	۱۶
۷۴	۱۷۷	۱۳۰	۷۰	۲۱۰	۱۸۵	۲۴۹	۱۷
۱۰۰	۱۶۷	۱۶۰	۸۰	۲۰۰	۱۷۶	۲۱۶	۱۸

به منظور تشریح عملکرد مدل‌های پیشنهادی تحقیق، ابتدا نتایج مربوط به حل مدل (۱) که مبتنی بر پژوهش کوک و همکاران (۲۰۰۶) فرموله شده است، ارایه می‌گردد. برای حل مدل‌های مختلف در این پژوهش از کدنویسی در نرم افزار بهینه‌سازی لینگو نسخه ۱۸ و برای محاسبه شاخص‌های آماری از نرم‌افزار اکسل نسخه ۲۰۱۹، در یک کامپیوتر شخصی با سیستم عامل ۶۴ بیتی، پردازنده Intel(R) Core(TM) i7-5500U CPU @ 2.40GHz و ۸ گیگابایت RAM استفاده شده است. همانطور که کوک و همکاران (۲۰۰۶) بیان کردند، مدل به ازای هر DMU یک بار حل می‌شود و وضعیت عوامل دونقشی به نفع واحد

تحت بررسی مشخص می‌گردد. نتایج در جدول ۳ به تفصیل آورده شده است. همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، طبق رویکرد کوک و همکاران (۲۰۰۶)، وضعیت هر عامل دونقشی به ازای DMUهای مختلف، یکسان تعیین نشده است. به بیان دیگر، در جواب بهینه‌ی مدل (۱) عوامل دونقشی  $EXP$  و  $CRE$  برای برخی DMUها نقش ورودی و برای برخی دیگر نقش خروجی بازی می‌کنند. در برخی موارد نیز در تعادل بودن این عوامل دونقشی به نفع واحد تحت بررسی است. به عنوان نمونه، برای  $DMU_1$  مقادیر وزن عامل دونقشی  $EXP$  به ترتیب  $\gamma_{EXP}^* = 0/0005$  و  $\beta_{EXP}^* = 0$  بدست آمده است، لذا این عامل برای  $DMU_1$  نقش خروجی ایفا می‌کند. در حالی که وزن‌های این عامل در بهینگی برای  $DMU_2$  مقادیر  $\gamma_{EXP}^* = 0$  و  $\beta_{EXP}^* = 0/0002$  را داشته و لذا این عامل دونقشی برای  $DMU_2$  باید نقش ورودی ایفا کند. از طرفی در ارزیابی واحدی مثل  $DMU_8$  مقادیر بهینه‌ی  $\beta_{EXP}^*$  و  $\gamma_{EXP}^*$  برابر با صفر بوده و لذا بهترین مقدار تابع هدف برای این DMU زمانی حاصل می‌شود که این عامل دونقشی در تعادل باشد، یعنی نادیده گرفتن این عامل برای واحد تحت بررسی، بهترین مقدار تابع هدف را در بر خواهد داشت.

ذکر این نکته بسیار حائز اهمیت است که اگر یک عامل دونقشی برای برخی DMUها نقش ورودی، برای برخی دیگر نقش خروجی و برای برخی نیز حالت تعادل داشته باشد با منطق ارزیابی نسبی عملکرد واحدهای مشابه در تناقض است. چرا که مقایسه‌پذیری واحدهای مشابه، در رویکردهای ارزیابی نسبی، زمانی منطقی است که وضعیت هر عامل دونقشی برای همه‌ی DMUها، یکسان تعیین شده باشد. پیشنهاد کوک و همکاران (۲۰۰۶) برای رفع این مشکل استفاده از تکنیک بیشترین فراوانی بود. طبق این تکنیک، براساس جدول ۳، از آنجا که عامل دو نقش  $EXP$  برای ۷ واحد نقش ورودی، برای ۹ واحد نقش خروجی و برای ۲ واحد در وضعیت تعادل است، لذا این عامل در ارزیابی یکپارچه‌ی عملکرد واحدها باید به عنوان خروجی لحاظ گردد. همچنین براساس منطق تکنیک بیشترین فراوانی، عامل دونقشی  $CRE$  باید به عنوان خروجی در نظر گرفته شود.

پیش‌تر بیان شد که استفاده از رویکرد بیشترین فراوانی، مبتنی بر مدل (۱)، در تعیین وضعیت عوامل دونقشی دارای ایراداتی است از جمله: به صرفه نبودن از نظر محاسباتی، به بن‌بست خوردن فرایند شمارش وضعیت‌ها (زمانی که فراوانی نقش‌های تعیین شده برابر

باشد)، بخشی نگر بودن این رویکرد و عدم توجه به نگرش تصمیم گیرندگان. در مدل‌های پیشنهادی این تحقیق سعی شده است که ایرادات مذکور برطرف شود.

جدول ۳: نتایج حاصل از حل مدل (۱) مبتنی بر رویکرد کوک و همکاران (۲۰۰۶)

مقدار بهینه‌ی تابع هدف	وضعیت عوامل دونقشی		وزنهای عامل دو نقشه CRE		وزنهای عامل دو نقشه EXP		DMU
	نقش نقش	نقش نقش	$\beta_{CRE}^*$	$\gamma_{CRE}^*$	$\beta_{EXP}^*$	$\gamma_{EXP}^*$	
۰/۹۸۶	خروجی	خروجی	۰	۰/۰۰۹۷	۰	۰/۰۰۰۵	۱
۱	خروجی	ورودی	۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰	۲
۱	ورودی	خروجی	۰/۰۰۲۵	۰	۰	۰/۰۰۴۳	۳
۱	ورودی	خروجی	۰/۰۰۳۶	۰	۰	۰/۰۰۶۳	۴
۱	ورودی	ورودی	۰/۰۰۱۸	۰	۰/۰۰۱۳	۰	۵
۱	خروجی	خروجی	۰	۰/۰۰۲	۰	۰/۰۰۰۱	۶
۱	خروجی	ورودی	۰	۰/۱۰۹	۰/۰۰۱۷	۰	۷
۱	ورودی	تعادل	۰/۰۰۱۲	۰	۰	۰	۸
۱	خروجی	ورودی	۰	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۲۱۸	۰	۹
۰/۸۶۹۴	ورودی	ورودی	۰/۰۰۰۸	۰	۰/۰۰۰۱	۰	۱۰
۰/۸۸۰۶	خروجی	ورودی	۰	۰/۰۰۴۲	۰/۰۰۱۱	۰	۱۱
۱	خروجی	ورودی	۰	۰/۰۰۴۸	۰/۰۰۱۵	۰	۱۲
۱	خروجی	تعادل	۰	۰/۰۱۱۱	۰	۰	۱۳
۱	ورودی	خروجی	۰/۰۰۱۴	۰	۰	۰/۰۰۰۵	۱۴
۱	تعادل	خروجی	۰	۰	۰	۰/۰۰۰۵	۱۵
۰/۹۷۷۹	خروجی	خروجی	۰	۰/۰۰۰۳	۰	۰/۰۰۰۲	۱۶
۰/۹۸۰۷	ورودی	خروجی	۰/۰۰۰۵	۰	۰	۰/۰۰۰۱	۱۷
۱	ورودی	خروجی	۰/۰۰۱۱	۰	۰	۰/۰۰۳۲	۱۸

همانطور که پیش‌تر تأکید شد، مدل‌های پیشنهادی این تحقیق تنها یک‌بار حل می‌شوند، که صرفه‌جویی در محاسبات را بدنبال دارد. با حل این مدل‌ها وضعیت عوامل دونقشی بطور مستقیم مشخص می‌گردد. در مدل‌های پیشنهادی (۳) و (۵) ضمن تلاش برای کمینه‌کردن انحراف در شرط کارایی برای واحدها، وضعیت عوامل دونقشی با دخالت‌دادن همه‌ی

DMUها و ملاک قراردادن وزنهای مشترک تعیین می‌شوند. جداول ۴ و ۵ به ترتیب، جزئیات مقادیر بهینه‌ی مدل‌های (۳) و (۵) را توصیف می‌کنند.

جدول ۴: نتایج حاصل از حل مدل پیشنهادی (۳)

DMU	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
$d_j^*$	۰/۱۷۰۲	۰/۰۵۴۶	۰/۰۴۴۳	۰/۰۵۴۹	۰/۱۰۸۳	۰/۰۴۰۴	۰/۱۲۳۴	۰/۰۵۸۹	۰/۰۶۰۰
DMU	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
$d_j^*$	۰/۱۷۰۲	۰/۱۲۳۲	۰/۱۷۰۲	۰	۰/۰۲۳۷	۰/۰۲۳۲	۰/۰۳۶۸	۰/۰۶۲۸	۰
متغیر	$u_{NB}^*$	$u_{NOT}^*$	$u_{LOC}^*$	$v_{TC}^*$	$v_{NS}^*$	$\gamma_{EXP}^*$	$\beta_{EXP}^*$	$\gamma_{CRE}^*$	$\beta_{CRE}^*$
مقدار بهینه	۰	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۲۳	۰	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۰۶	۰	۰	۰/۰۰۰۶

با توجه به نتایج جدول (۴)، مقادیر بهینه‌ی وزن عوامل دونقشی  $EXP$  و  $CRE$  در جواب مدل (۳) به ترتیب  $\gamma_{EXP}^* = ۰/۰۰۰۶$ ،  $\beta_{EXP}^* = ۰$ ،  $\gamma_{CRE}^* = ۰$  و  $\beta_{CRE}^* = ۰/۰۰۰۶$  است، که براساس نتایج مدل (۳) برای عامل  $EXP$  نقش خروجی و برای عامل  $CRE$  نقش ورودی پیشنهاد می‌شود. از سوی دیگر، با توجه به نتایج جدول (۵)، در جواب بهینه‌ی مدل (۵)، مقادیر وزن عوامل دونقشی عبارتند از:  $\gamma_{EXP}^* = ۰$ ،  $\beta_{EXP}^* = ۰/۰۰۰۴$ ،  $\gamma_{CRE}^* = ۰/۰۰۲۰$  و  $\beta_{CRE}^* = ۰$ ، لذا طبق مدل (۵)، نقش ورودی برای عامل  $EXP$  و نقش خروجی برای عامل  $CRE$  پیشنهاد می‌گردد.

جدول ۵: نتایج حاصل از حل مدل پیشنهادی (۵)

DMU	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
$d_j^*$	۰/۱۸۱۷	۰/۰۷۱۳	۰/۱۳۳۷	۰/۰۷۱۹	۰/۰۹۶۶	۰/۰۷۱۴	۰/۱۰۲۷	۰/۱۰۲۷	۰/۰۸۶۰
DMU	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
$d_j^*$	۰/۲۱۱۶	۰/۱۳۹۸	۰/۱۴۱۱	۰/۰۸۵۳	۰/۰۸۷۵	۰/۰۵۹۴	۰/۱۰۲۷	۰/۱۰۲۷	۰
متغیر	$u_{NB}^*$	$u_{NOT}^*$	$u_{LOC}^*$	$v_{TC}^*$	$v_{NS}^*$	$\gamma_{EXP}^*$	$\beta_{EXP}^*$	$\gamma_{CRE}^*$	$\beta_{CRE}^*$
مقدار بهینه	۰	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۲۶	۰	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۲۰	۰

در جدول (۶) به منظور مقایسه‌ی عملکرد محاسباتی رویکردهای مبتنی بر مدل‌های (۱)، (۳) و (۵)، تعداد متغیرهای تصمیم، محدودیت‌ها و دفعات حل آرایه شده است. همانطور که

مشاهده می‌شود با وجود اینکه تعداد متغیرها و محدودیت‌های مدل‌های پیشنهادی (۳) و (۵) نسبت به مدل (۱) بیشترند، اما حل یک‌باره‌ی مدل‌های پیشنهادی در مقایسه با  $n$  بار حل مدل (۱)، به صرفه‌تر است. چرا که از منظر پیچیدگی محاسباتی،  $n$  بار حل مدل (۱)، در حضور متغیرها و محدودیت‌های ذکر شده، بسیار زمان‌برتر از یک‌بار حل هر کدام از مدل‌های پیشنهادی است. به بیان دیگر اگر بخواهیم از روش‌های مرسوم، مدل (۱) را به نحوی بازنویسی کنیم که بجای  $n$  بار حل، یک بار حل گردد و همان نتایج را بدست دهد، باید در مدل بازنویسی شده به نسبت تعداد DMUها ابعاد مسأله بزرگتر شود (به عنوان نمونه در مثال مورد بحث باید تعداد متغیرها و محدودیت‌ها،  $n = 18$  برابر شود، که در این صورت ابعاد مدل بازنویسی شده، بسیار بزرگ‌تر از مدل‌های پیشنهادی (۳) و (۵) خواهد بود).

دو ستون آخر جدول (۶) وضعیت تعیین شده‌ی عوامل دونقشی را نشان می‌دهند. با توجه به اینکه هر کدام از مدل‌های (۱)، (۳) و (۵) با منطق اختصاصی خود سعی در تعیین وضعیت عوامل دونقشی دارند، لذا وضعیت تعیین شده برای این عوامل، توسط این سه مدل با یکدیگر متفاوت است. به بیان دیگر مدل‌های پیشنهادی تحقیق حاضر، مبتنی بر رویکردهای مختلف مدیریتی ارائه شده‌اند؛ بنابراین مدیریت عالی سازمان با توجه به شرایط حاکم بر سازمان خود و هدفی که به دنبال تحقق آن است، می‌تواند یکی از دو مدل (۳) و (۵) را برای تعیین وضعیت عوامل دونقشی انتخاب نماید.

جدول ۶: مقایسه‌ی عملکرد محاسباتی مدل‌های (۱)، (۳) و (۵)

مدل	تعداد متغیرها	تعداد محدودیت‌ها	تعداد دفعات حل	نقش $EXP$	نقش $CRE$
مدل (۱)	$s + m + 2K = 9$	$n + 1 = 19$	$n = 18$ بار	خروجی	خروجی
مدل (۳)	$s + m + 2K + n + 1 = 28$	$3n + 1 = 55$	یک بار	خروجی	ورودی
مدل (۵)	$s + m + 2K + 3n = 61$	$3n + 1 = 55$	یک بار	ورودی	خروجی

در جدول شماره (۷)، نمره ارزیابی عملکرد واحدها با استفاده از وزن‌های مشترک بدست آمده از مدل‌های پیشنهادی (۳) و (۵) به همراه مینیمم، ماکزیمم، میانگین، دامنه‌ی تغییرات و انحراف معیار نمرات، ارائه شده است. همانطور که قبلاً اشاره شد، فرمولبندی مدل (۳) برای مواقعی پیشنهاد می‌گردد که مدیریت عالی قصد داشته باشد از اُفت بیش از حد عملکرد ضعیف‌ترین عضو مجموعه ممانعت نماید. از طرف دیگر بکارگیری مدل (۵) در

موقعی مناسب است که تعیین وضعیت عوامل دونقشی با هدف ممانعت از پراکندگی بیش از حد نمره‌ی عملکرد واحدهای یک مجموعه مدنظر باشد. به عبارت بهتر مدل پیشنهادی (۵)، با این دیدگاه سعی در تعیین وضعیت عوامل دونقشی دارد که پراکندگی نمره عملکرد همه واحدهای تحت مدیریت، کمینه گردد؛ که اصطلاحاً می‌گوییم نمره عملکرد واحدها همگن شده است. مقایسه‌ی نتایج بدست آمده از دو رویکرد فوق، موارد مذکور را تأیید می‌کند. همانطور که دیده می‌شود، نمره‌ی عملکرد ضعیف‌ترین عضو مجموعه با استفاده از نتایج مدل پیشنهادی (۳) برابر با  $0/7028$  است که این عدد در مقایسه با مقدار متناظرش در مدل (۵)، یعنی  $0/6546$ ، بیشتر است. به بیان دیگر هنگام استفاده از مدل (۳)، ضعیف‌ترین عضو مجموعه نمره‌ای بالاتر از ضعیف‌ترین عضو مجموعه هنگام استفاده از مدل (۵) داشته است. از منظر دیگر، مطابق آنچه که انتظار می‌رفت؛ انحراف معیار نمره عملکرد واحدها بر اساس مدل پیشنهادی (۵) برابر با  $0/0397$  است که در مقایسه با انحراف معیار نمره عملکرد حاصل از مدل پیشنهادی (۳)، یعنی  $0/0457$ ، کمتر است. این موضوع نشان می‌دهد در صورت استفاده از مدل (۵) نمره عملکرد واحدها، همگن‌تر به دست خواهد آمد.

نکته‌ی جالب توجه دیگری که می‌توان به آن اشاره کرد، وضعیت تغییر تعداد واحدهای کارا با تغییر ابعاد مسأله است. در این راستا، لازم است تأکید شود که تعداد متغیرهای تصمیم و محدودیت‌ها (که نشان‌دهنده ابعاد مسأله هستند) در تمامی مدل‌های مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها، تابعی از تعداد عوامل عملکردی و تعداد واحدهای تحت ارزیابی می‌باشد و اگر بین تعداد عوامل عملکردی و تعداد واحدهای تحت ارزیابی یک تناسب منطقی وجود نداشته باشد، اغلب واحدهای تحت بررسی صد درصد کارا ارزیابی شده و قدرت تفکیک‌کنندگی مدل‌ها کاهش می‌یابد (برای مطالعه‌ی بیشتر به Cooper et al., (2007), p. 116 مراجعه شود). یکی از روشهایی که برای مواجهه با این مشکل پیشنهاد می‌شود استفاده از اوزان مشترک در ارزیابی واحدهاست. از آنجا که مدل‌های پیشنهادی (۳) و (۵) از این الگوی وزن‌های مشترک بهره می‌برند، می‌توان گفت که اگر از اوزان مشترک بدست آمده از این مدل‌ها جهت محاسبه‌ی کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده استفاده شود، با تغییر ابعاد مسأله تعداد واحدهای کارا نیز بصورت معقولی تغییر می‌کند.

جدول ۷: نمره ارزیابی عملکرد واحدها مبتنی بر وزنهای مشترک حاصل از مدل‌های (۳) و (۵)

DMU	نمره ارزیابی عملکرد مبتنی بر نتایج مدل (۳)	نمره ارزیابی عملکرد مبتنی بر نتایج مدل (۵)
۱	۰/۷۰۲۸	۰/۶۸۵۶
۲	۰/۹۰۵۱	۰/۸۷۷۹
۳	۰/۹۳۳۵	۰/۷۹۸۴
۴	۰/۸۸۸۳	۰/۸۵۲۲
۵	۰/۸۲۴۳	۰/۸۴۳۷
۶	۰/۹۲۹۴	۰/۸۷۶۲
۷	۰/۷۹۶۸	۰/۸۳۲۸
۸	۰/۹۰۰۳	۰/۸۳۲۴
۹	۰/۹۰۰۸	۰/۸۶۲۳
۱۰	۰/۷۱۱۶	۰/۶۵۴۶
۱۱	۰/۷۹۵۳	۰/۷۷۴۹
۱۲	۰/۷۴۹۸	۰/۷۹۶۵
۱۳	۱/۰۰۰۰	۰/۸۳۶۶
۱۴	۰/۹۵۹۹	۰/۸۵۶۰
۱۵	۰/۹۵۸۶	۰/۸۹۷۰
۱۶	۰/۹۲۸۶	۰/۸۱۱۸
۱۷	۰/۸۸۳۳	۰/۸۱۱۸
۱۸	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰
مینیمم	۰/۷۰۲۸	۰/۶۵۴۶
ماکزیمم	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰
میانگین	۰/۸۷۶۰	۰/۸۲۷۸
دامنه‌ی تغییرات	۰/۲۹۷۲	۰/۳۴۵۴
انحراف معیار	۰/۰۸۹۵	۰/۰۷۳۶

## ۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هدف این مقاله ارائه مدل‌هایی برای تعیین وضعیت عوامل دونقشی در فرایند ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده با تمرکز بر دو رویکرد جدید بود. پیش‌فرض اصلی هر دو



رویکرد آن بود که واحدهای تحت بررسی، زیرمجموعه‌های یک سازمان کلان با مدیریت واحد هستند. در رویکرد اول از این اصل ثابت شده‌ی مدیریت عملکرد استفاده شده که توان یک مجموعه، معادل با توان ضعیف‌ترین عضو آن مجموعه است، بنابراین فرمولبندی مدل پیشنهادی مبتنی بر این رویکرد برای تعیین وضعیت عوامل دونقشی به نحوی انجام شد که از اُفت بیش از حد عملکرد ضعیف‌ترین عضو مجموعه ممانعت شود. در رویکرد دوم همگن‌سازی نمرات عملکرد واحدهای تحت بررسی مد نظر بوده است، در این راستا، تعیین وضعیت عوامل دونقشی به نحوی صورت می‌پذیرد که از پراکندگی بیش از حد نمرات عملکرد واحدها ممانعت شود. به منظور اعتبارسنجی مدل‌های پیشنهادی، داده‌های مربوط به ۱۸ تامین‌کننده در حضور دو عامل ورودی، سه عامل خروجی و دو عامل دونقشی مورد استفاده قرار گرفت. پس از حل مدل‌های مذکور وضعیت هر یک از عوامل دونقشی توسط دو مدل پیشنهادی، متفاوت بدست آمد، که تاییدی بر منطق حاکم بر فرمولبندی هر یک از مدل‌ها بود.



استفاده از رویکرد بیشترین فراوانی برای تعیین وضعیت عامل دونقشی، مبتنی بر مدل (۱)، دارای اشکالاتی بود از جمله: به صرفه نبودن از نظر محاسباتی، به بن‌بست خوردن فرایند شمارش وضعیت‌ها (زمانی که فراوانی نقش‌های تعیین شده برابر باشد)، بخشی‌نگر بودن این رویکرد و عدم توجه به نگرش تصمیم‌گیرندگان. در مدل‌های پیشنهادی این تحقیق که مبتنی بر اصول پذیرفته شده مدیریت ارایه شدند؛ سعی شد که ایرادات مذکور برطرف شود و همه واحدهای تصمیم‌گیرنده در تعیین وضعیت عامل دونقشی دخالت داشته باشند. همچنین کاهش قابل ملاحظه حجم محاسبات برای تعیین وضعیت عامل دونقشی در مدل‌های پیشنهادی را نیز می‌توان از مزایای این پژوهش برشمرد. این پژوهش دارای سه محدودیت مختلف بود؛ اول اینکه تشخیص و انتخاب دقیق عامل عملکردی دونقشی با قطعیت امکانپذیر نیست، چرا که ممکن است انتخابی که از سوی یک تصمیم‌گیرنده انجام می‌شود توسط تصمیم‌گیرندگان دیگر مورد انتقاد قرار گیرد. دومین محدودیتی که در رویکرد پیشنهادی وجود دارد عدم امکان برآورده کردن هم‌زمان نگرش‌های رقابتی یا مشارکتی واحدهای تحت ارزیابی، در فرایند تعیین وضعیت عوامل دونقشی، است. به بیان دقیق‌تر با وجود اینکه هدف ما تعیین وضعیت عوامل دونقشی به نفع همه‌ی واحدهای تحت بررسی است اما در عمل ممکن است انتخاب نهایی به ضرر تعدادی از واحدها تمام شود. محدودیت سومی که

باید به آن اشاره کرد، امکان وجود جوابهای بهینه‌ی دگرین برای مدل‌های پیشنهادی است که در این صورت لازم است با یک رویکرد تعاملی با خبرگان نسبت به تصمیم نهایی اقدام نمود. به عنوان پیشنهادات پژوهشی برای آینده، می‌توان مواردی چون، توسعه یا اصلاح مدل‌های پیشنهادی جهت مواجهه با داده‌های نادقیق، فرمولبندی مدل‌های غیرشعاعی و توسعه‌ی مدل‌ها به حالت تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای اشاره نمود.

### تعارض منافع

تعارض منافع ندارم.

### ORCID

Esmail Keshavarz  <https://orcid.org/0000-0001-5603-3678>  
 Abbas Shoul  <https://orcid.org/0000-0002-3230-336X>  
 Ali Fallah Tafti  <https://orcid.org/0009-0002-9740-7490>

### منابع

عزیزی، حسین؛ جعفری شاعرلر، اکبر؛ فرضی پورصائن، رضا. (۱۳۹۴). رویکرد جدیدی برای در نظر گرفتن عامل دوتقشی در مسئله‌ی انتخاب تأمین‌کننده: DEA با مرزهای کارا و ناکارا. مدیریت تولید و عملیات، ۶(۲)، ۱۴۴-۱۲۹.

### References

- Afsharian, M., Ahn, H., & Neumann, L. (2016). Generalized DEA: an approach for supporting input/output factor determination in DEA. *Benchmarking*, 23(7). <https://doi.org/10.1108/BIJ-07-2015-0074>.
- Azadi, M., & Farzipoor Sean, R. (2011). A new chance-constrained data envelopment analysis for selecting third-party reverse logistics providers in the existence of dual-role factors. *Expert Systems with Applications*, 38(10), 12231–12236. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.001>.
- Azadi, M., & Saen, R. F. (2012). Developing a worst practice DEA model for selecting suppliers in the presence of imprecise data and dual-role factor. *International Journal of Applied Decision Sciences*, 5(3). <https://doi.org/10.1504/IJADS.2012.047671>

- Azadi, M., Shabani, A., & Farzipoor Saen, R. (2014). A new Russell model for selecting suppliers. *International Journal of Integrated Supply Management*, 9(1–2). <https://doi.org/10.1504/IJISM.2014.064354>
- Azadi, M., Mirhedayatian, S. M., Saen, R. F., Hatamzad, M., & Momeni, E. (2017). Green supplier selection: A novel fuzzy double frontier data envelopment analysis model to deal with undesirable outputs and dual-role factors. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 25(2). <https://doi.org/10.1504/IJISE.2017.081516>
- Beasley, J. E. (1990). Comparing university departments. *Omega*, 18(2), 171–183. [https://doi.org/10.1016/0305-0483\(90\)90064-G](https://doi.org/10.1016/0305-0483(90)90064-G)
- Beasley, J. E. (1995). Determining Teaching and Research Efficiencies. *Journal of the Operational Research Society*, 46(4), 441–452. <https://doi.org/10.2307/2584592>.
- Charnes, A., Cooper, W.W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429–444. [https://doi.org/10.1016/03772217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/03772217(78)90138-8)
- Chaghooshi, A. J., Jafarzadeh, A. H., & Mahdiloo, M. (2012). Selecting the best flexible manufacturing system supplier in the presence of dual-role factors: A decision model based on the Worst Practice Frontier DEA and Common Set of Weights. *World Applied Sciences Journal*, 17(7).
- Chen, W. C. (2014). Revisiting dual-role factors in data envelopment analysis: Derivation and implications. *IIE Transactions* (Institute of Industrial Engineers), 46(7), 653–663. <https://doi.org/10.1080/0740817X.2012.721943>
- Chen, W. C. (2021). On performance evaluation with a dual-role factor. *Annals of Operations Research*, 304(1–2). <https://doi.org/10.1007/s10479-021-04102-3>
- Cook, W. D., Green, R. H., & Zhu, J. (2006). Dual-role factors in data envelopment analysis. *IIE Transactions* (Institute of Industrial Engineers), 38(2), 105–115. <https://doi.org/10.1080/07408170500245570>
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2007). Data envelopment analysis: A comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software (2nd edi.). Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-45283-8>
- Ding, J., Dong, W., Bi, G., & Liang, L. (2015). A decision model for supplier selection in the presence of dual-role factors. *Journal of the Operational Research Society*, 66(5), 737–746. <https://doi.org/10.1057/jors.2014.53>
- Ebrahimi, B. (2020). Efficiency measurement to identify the best efficient unit in the presence of dual-role factors. *International Journal of Applied Decision Sciences*, 13(1). <https://doi.org/10.1504/ijads.2020.10020424>
- Ebrahimi, B., Tavana, M., Kleine, A., & Dellnitz, A. (2021). An epsilon-based data envelopment analysis approach for solving performance measurement problems with interval and ordinal dual-role factors. *OR Spectrum*, 43(4). <https://doi.org/10.1007/s00291-021-00649-6>
- Eydi, A., & Rastgar, S. (2022). A DEA model with dual-role factors and fuzzy data for selecting third-party reverse logistics provider, case study:

- Hospital waste collection. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(2), 101561. <https://doi.org/10.1016/J.ASEJ.2021.07.011>
- Farell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the royal statistical society, Series A (General)*, 120(3), 253-290, <https://doi.org/10.2307/2343100>
- Farzipoor Saen, R. (2010). Restricting weights in supplier selection decisions in the presence of dual-role factors. *Applied Mathematical Modelling*, 34(10), 2820–2830. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2009.12.016>
- Geng, C., Wang, Q., & E, H. (2019). Application of Fuzzy Bilateral Boundary DEA Model in Selection of Energy-Saving and Environmental Protection Enterprises. *Transactions of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics*, 36(2). <https://doi.org/10.16356/j.1005-1120.2019.02.010>
- Ghasem, N., Kashan, A. H., & Najafi, S. E. (2024). Evaluating Supply Chains Based on the Novel Network Data Envelopment Analysis Model. *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, 23(1). <https://doi.org/10.1142/S0219686724500069>
- Ghazi, A., & Lotfi, F. H. (2022). Weight restrictions for the DEA model in the presence of dual-role factors: An application to the Iranian banking sector. *RAIRO - Operations Research*, 56(3). <https://doi.org/10.1051/ro/2021162>
- Ghiyasi, M., & Cook, W. D. (2021). Classifying dual role variables in DEA: The case of VRS. *Journal of the Operational Research Society*, 72(5), 1183–1190. <https://doi.org/10.1080/01605682.2020.1790309>
- Izadikhah, M., Saen, R. F., & Ehsanifar, M. (2022). A Modified-Range Directional Measure for Assessing the Sustainability of Suppliers by DEA/UTASTAR. *Journal of Global Information Management*, 30(8). <https://doi.org/10.4018/jgim.298679>
- Kumar, A., Jain, V., & Kumar, S. (2014). A comprehensive environment friendly approach for supplier selection. *Omega (United Kingdom)*, 42(1), 109–123. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2013.04.003>
- Lee, K.-H., & Farzipoor Sean, R. (2012). Measuring corporate sustainability management: A data envelopment analysis approach. *International Journal of Production Economics*, 140(1), 219–226. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.08.024>
- Li, F., Deng, L., Li, L., Cheng, Z., & Yu, H. (2020). A two-stage model for monitoring the green supplier performance considering dual-role and undesirable factors. *Asia Pacific Journal of Marketing and Logistics*, 32(1). <https://doi.org/10.1108/APJML-02-2019-0110>
- Mahdiloo, M., Noorizadeh, A., & Saen, R. F. (2013). A new model for suppliers ranking in the presence of both dual-role factors and undesirable outputs. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 15(1). <https://doi.org/10.1504/IJLSM.2013.053240>
- Noorizadeh, A., Mahdiloo, M., & Saen, R. F. (2012). A new approach for considering a dual-role factor in data envelopment analysis. *International Journal of Operational Research*, 14(2). <https://doi.org/10.1504/IJOR.2012.046645>

- Sadeghi, S. A. H., Ahmady, N., & Ahmady, E. (2012). Technology selection in the presence of fuzzy data and dual-role factors. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 62(5–8), 801–811. <https://doi.org/10.1007/s00170-011-3818-0>
- Shabani, A., Torabipour, S. M. R., & Farzipoor Saen, R. (2011). Container selection in the presence of partial dual-role factors. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 41(10). <https://doi.org/10.1108/09600031111185257>
- Su, Y., & Sun, W. (2018). Sustainability evaluation of the supply chain with undesired outputs and dual-role factors based on double frontier network DEA. *Soft Computing*, 22(16). <https://doi.org/10.1007/s00500-018-3240-8>
- Talluri, S., & Baker, R. C. (2002). Production, Manufacturing and Logistics A multi-phase mathematical programming approach for effective supply chain design. *European Journal of Operational Research*, 141(3), 544–558. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00277-6](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00277-6)
- Toloo, M., & Barat, M. (2015). On considering dual-role factor in supplier selection problem. *Mathematical Methods of Operations Research*, 82(1), 107–122. <https://doi.org/10.1007/s00186-015-0507-z>
- Toloo, M., Keshavarz, E., & Hatami-Marbini, A. (2018). Dual-role factors for imprecise data envelopment analysis. *Omega*, 77, 15–31. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2017.05.005>

#### **References (In Persian)**

- Azizi, H., Jafari Shaerlar, A., & Farzipoor Saen, R. (2015). A new Approach for Considering a Dual-Role Factor in Supplier Selection Problem: DEA with efficient and inefficient frontiers. *Research in Production and Operations Management*, 6(2), 129–144.