Industrial Management Studies
Vol. 22, No. 73, Summer 2024; P 143-184
jims.atu.ac.ir
DOI: 10.22054/jims.2024.80057.2920

ATU PRESS

Original Research
Accepted: 03/08/2024
Revised: 23/07/2024
Received: 05/06/2024
eISSN: 2476-602X
ISSN: 2251/8029

Determining the Efficiency of decision-Making Units Using the Data Envelopment Analysis Technique in the Presence of Dual-Role Performance Factors

Esmaeil 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 yet 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, certain factors might be identified as dual-role factors depending on the evaluation nature or the decision-makers' perspective. These factors can play the role of both 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 a common set of weights, are suggested. The main advantages of the proposed models are

* 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 Data Envelopment Analysis Technique in the Presence of Dual-Role Performance Factors, *Industrial Management Studies, 22(73),* 143-184.

significantly reducing the computations and iterations required to solve the model, and 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. The obtained results showed that, compared to other models, the proposed models are computationally more efficient, and the role determination and evaluation of the units, based on the obtained weights from these models, are better aligned with the expectations of decision-makers.

Introduction

Efficiency measurement has always been a focus of researchers in various 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 assumption in standard DEA models. However, in some real-world situations, it becomes inevitable to consider certain performance factors, referred to as dual-role factors, which can simultaneously play input and/or output roles.

In DEA literature, there are two different approaches to dealing with dual-role factors. In the first approach, the status of dual-role factors is determined before the evaluation process of DMUs. In the second approach, the role of dual-role factors is determined simultaneously with the evaluation of DMUs. Regardless of the chosen approach, the important issue is to fairly allocate roles to dual-role factors based on appropriate decision-making principles and, if necessary, consider top managers' attitudes.

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

(i) computational inefficiency when the number of DMUs is large, (ii) difficulty in determining the final role of each factor when a tie occurs in the maximum frequency criterion, (iii) neglecting the favorable status of certain DMUs when the maximum frequency criterion is used, and (iv) disregard for the managerial attitudes of

decision-makers in the process of determining the status 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 unique 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 that 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 was initially introduced by Charnes et al. (1978), based on the concept of productive efficiency, which was previously defined and utilized by Farrell (1957).

Dual-role Performance Factors

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

Beasley (1990, 1995) was the first to introduce the concept of dual-role factors into DEA literature through a study on the efficiency of university departments, where research funding was considered a dual-role factor. Cook et al. (2006) identified a limitation in Beasley's (1990) proposed model for handling dual-role factors. They sought to address this limitation by considering dual-role factors as non-discretionary and formulated a new model for determining their status. Their model takes the weights of dual-role factors into account to identify whether a factor acts as an input, an output, or plays no role 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 viewpoint, determining the status of dual-role factors precedes the 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 is done simultaneously with the evaluation of DMUs (see Farzipoor Sean, 2010; Mahdiloo et al., 2013; Izadikhah et al., 2022).

Some researchers assumed that each dual-role factor could be divided into two parts, with one part playing the input role and the remaining part playing the output role (e.g., Shabani et al., 2011; Noveiri et al., 2019). The main drawback of this approach is the violation of the causal relationship between inputs and outputs.

Methodology

In the present study, we assume a unique role for each dual-role factor, as the main assumption of DEA. For 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 a common set of weights. The proposed models are formulated based on two different managerial attitudes of decision-makers. The first proposed model seeks to determine the status of dual-role factors by minimizing the maximum deviations in the efficiency constraints, while the second model minimizes the average of the deviations.

One of the key features of the proposed models is that they consider the favorability of all DMUs simultaneously. Additionally, there is no need to solve the model consecutively for all DMUs. Indeed, by solving the model once, the status of all dual-role factors is determined, which is computationally very efficient.

Once the unique role for each factor is determined, 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 was presented. The findings showed that, in comparison to other

approaches, the proposed models are computationally more efficient. Furthermore, the role determination and evaluation of DMUs using the obtained weights from these models are more aligned with the expectations of decision-makers.

Keywords: Data Envelopment Analysis, Dual-role factors, Efficiency, Decision-making Unit

مقاله پژوهشی
تاریخ ارسال: ۱۴۰۳/۰۳/۱۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۱۳
ISSN: 2251/8029
eISSN: 2476-602X

مطالعات مدیریت صنعتی
سال بیست و دوم، شماره ۷۳، تابستان ۱۴۰۳، ص ۱۴۳ تا ۱۸۴
jims.atu.ac.ir
DOI: 10.22054/jims.2024.80057.2920

تعیین کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها درحضور 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 ولی‌عصر(عج)، رفسنجان، ایران

علی فلاح تفتی کارشناسی‌ارشد رشته مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه ولی‌عصر(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 (به‌عنوان 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 نگرش تصمیم‌گیرندگان، به‌عنوان عوامل 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 برنامه‌ریزی 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. به‌منظور بررسی عملکرد مدل‌های پیشنهادی، از داده‌های مربوط به ارزیابی هیجده تأمین‌کننده در حضور دو ورودی، سه خروجی و دو

* نویسنده مسئول: @iau.ac.ir

عامل دونقشی استفاده شده است. نتایج به‌دست‌آمده، نشان داد که در مقایسه با مدل‌های دیگر، مدل‌های پیشنهادی هم ازنظر محاسباتی به‌صرفه‌تر بوده و هم تعیین نقش و ارزیابی واحدها به کمک وزن‌های به‌دست‌آمده از این مدل‌ها، انتظارات موردنظر تصمیم‌گیرندگان را بهتر و منطقی‌تر 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 موردتوجه محققان بوده است. در سال ۱۹۵۷ فارل[1]، به‌عنوان فردی پیشرو، با ایده گرفتن از مفهوم کاراییِ بهره‌ور[2] 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 وزنیِ ورودی‌ها به خروجیِ هر واحدِ تولیدی برای معرفی کاراییِ آن واحد استفاده نمود (Farrell, 1957). چارنز، کوپر و رودز[3] با الهام از الگوی پیشنهادیِ فارل اولین مدل تحلیل پوششی داده‌ها[4] را در سال ۱۹۷۸ ارائه نمودند که به نام مدل CCR معروف شد (Charnes et al., 1978). در این مدل، برای محاسبه‌ی کاراییِ نسبیِ واحدهای تصمیم‌گیرنده (DMU[5])، نسبتِ مجموع موزون خروجی‌ها بر مجموع موزونِ ورودی‌ها، با اِعمال محدودیت‌های خاصی بر مقادیر وزن‌ها، ماکزیمم می‌گردد. مدل‌های دیگر تحلیل پوششی داده‌ها به‌عنوان توسعه‌های مدل CCR به‌سرعت فرمول‌بندی شده و مورداستفاده قرار گرفتند (Cooper et al., 2007).

در تحلیل پوششی داده‌های مرسوم، فرض می‌شود که نقش هر یک از عوامل عملکردی، به‌عنوان عامل ورودی یا خروجی، مشخص است؛ اما در برخی مسائل واقعی، عوامل عملکردیِ 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 به‌عنوان عوامل عملکردی دونقشی[6] شناخته می‌شوند (Cook et al., 2006, Beasley, 1990). به‌عنوان نمونه بیزلی[7] (۱۹۹۰) در فرایند ارزیابی عملکرد دانشکده‌های شیمی و فیزیکِ دانشگاه‌های مختلف، عامل بودجه‌ی پژوهشی را یک عامل دونقشی

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

معرفی کرد. چراکه بودجه‌ی پژوهشی به‌عنوان یک منبع، در انجام فعالیت‌های پژوهشی مصرف‌شده و نقش ورودی دارد؛ اما از سوی دیگر این عامل، عملکرد تحقیقاتی دانشگاه را تقویت می‌کند؛ لذا می‌تواند به‌عنوان 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؛ مسئله مهم آن است که تعیین وضعیت عوامل دونقشی منصفانه و بر پایه اصول حاکم بر تصمیم‌گیری انجام شود.

تاکنون 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 ۱۹۹۵) کوک[1] و همکاران (۲۰۰۶) پس از نقد روش حل پیشنهادیِ بیزلی، مدلی پیشنهاد دادند که ابتدا وضعیت عامل دونقشی را به نفع واحد تحت بررسی تعیین کرده و سپس بر اساس فراوانیِ وضعیت‌های به‌دست‌آمده، نقش نهاییِ آن عامل را مشخص می‌نمود. رویکرد پیشنهادیِ کوک و همکاران (۲۰۰۶) توسط بسیاری از پژوهشگران دیگر دنبال شد که جزئیات آن‌ها در بخش پیشینه پژوهش آورده شده است.

رویکرد پیشنهادیِ کوک و همکاران (۲۰۰۶) و پژوهش‌های هم‌راستا با آن ایرادات و کاستی‌های دارد که مهم‌ترین آن‌ها را می‌توان چنین برشمرد: (الف) به‌صرفه نبودن ازنظر محاسباتی، زمانی که تعداد واحدهای تحت ارزیابی زیاد باشد؛ چراکه در این رویکرد، مدل به ازای هر واحد یک‌بار حل می‌شود. (ب) به بن‌بست خوردنِ فرایندِ تعیینِ وضعیتِ عامل دونقشی از مسیر شمارش وضعیت‌ها. این مشکل زمانی رخ می‌دهد که فراوانیِ وضعیت‌ها برابر باشد. (ج) بخشی‌نگر بودن این رویکرد؛ چراکه در این رویکرد، وضعیت نهاییِ عامل دونقشی با استفاده از الگویِ بیشترین فراوانی مشخص‌شده و عملاً وضعیتِ مطلوب تعدادی از DMU ها نادیده گرفته می‌شود. (د) رویکرد مذکور نگرش‌های

1. Cook

مدیریتی تصمیم‌گیرندگان در مواجهه با تعیین وضعیت عوامل دونقشی را موردتوجه قرار نمی‌دهد. به‌عنوان‌مثال اگر در تعیین وضعیت عوامل دونقشی و ارزیابیِ یک واحد تصمیم‌گیرنده نگاه رقابتی به بقیه‌ی واحدها وجود داشته باشد یا هنگامی‌که 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 ارزیابیِ هر واحدِ تحت بررسی تعیین می‌شود (به‌عنوان نمونه Farzipoor Sean, (2010)، Mahdiloo et al., (2012)، Mahdiloo et al., (2013)، عزیزی و همکاران (۱۳۹۴) و Izadikhah et al., 2022) را ببینید). مشکل اساسیِ 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 ارزیابیِ مجموعه‌ای از واحدها، با منطق ارزیابیِ 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 کاراییِ هر واحد تصمیم‌گیرنده، بخشی از عامل دونقشی به‌عنوان ورودی و بخش دیگر به‌عنوان خروجی ایفای نقش کند. ایراد اساسیِ این رویکرد، نقض رابطه‌ی علیت بین ورودی و خروجی‌ها است. چراکه در تحلیل پوششی داده‌ها، ورودی‌ها منابعی هستند که جهت تولید خروجی‌ها مصرف می‌شوند، حال اگر درصدی از یک عاملِ 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 ذکرشده، در پژوهش حاضر تلاش می‌شود راه برون‌رفتی از ایرادات فوق پیشنهاد گردد. در این راستا فرض مشخص بودنِ نقشِ هر عامل عملکردی در فرایند ارزیابیِ نسبیِ واحدهای تصمیم‌گیرنده، به‌عنوان مفروضه‌ی اصلیِ تحلیل پوششیِ داده‌ها، موردتوجه قرارگرفته و وضعیت عوامل دونقشی قبل از انجام فرایند ارزیابی، به نحوی مشخص می‌شود که هر عامل دونقشی در ارزیابیِ همه‌ی واحدها، نقش یکسان ایفا

کند. به بیان دقیق‌تر، وضعیت آن عاملِ 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 دو نقشی به‌صورت روشن، واضح و منطبق بر اصول مدیریتیِ موردنظر تصمیم‌گیرندگان است.

بخش‌های بعدی مقاله حاضر به‌این‌ترتیب تنظیم شده‌اند که: در بخش دوم پیشینه پژوهش موردبررسی قرار می‌گیرد. در بخش سوم روش و مدل‌های پیشنهادی برای تعیین نقش و محاسبه کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده ارائه می‌شود. در بخش چهارم به‌منظور بررسی عملکرد روش پیشنهادی با استفاده از داده‌های یک مثال واقعی، نتایج به‌دست‌آمده از روش و مدل‌های پیشنهادی با نتایج مقالات دیگر مقایسه‌شده و تحلیل می‌گردد. درنهایت، 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، به‌عنوان یک عامل دونقشی، جهت ارزیابیِ 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 دونقشی تحمیل کرده و یک مدل اصلاح شده‌ی تحلیل پوششی داده‌ها پیشنهاد دادند که با حل آن مدل، وضعیت عامل دونقشی به نفع واحد تصمیم‌گیرنده تعیین می‌شود. مدل پیشنهادی آن‌ها به ازای هر واحد تصمیم‌گیرنده یک‌بار حل‌شده و وضعیت نهاییِ عامل دونقشی، براساس فراوانیِ وضعیت‌های به‌دست‌آمده، مشخص می‌گردد. درنهایت با توجه به نقش تعیین‌شده، ارزیابی واحدهای تصمیم‌گیرنده انجام می‌شود (Cook et al., 2006).

فرضی پور صائن (۲۰۱۰) مدل پیشنهادیِ کوک و همکاران (۲۰۰۶) را به مدلی توسعه دادند که در آن چند عامل دونقشی در ارزیابیِ واحدهای تصمیم‌گیرنده حضورداشته و محدودیت وزنی نیز بر وزن‌ها اِعمال گردیده است. این مدل وضعیت عامل دونقشی را هم‌زمان با ارزیابیِ هر واحد و به نفع واحد تحت بررسی و با اِعمال یک محدودیت وزن مجازی، تعیین می‌نماید. ایراد اصلیِ این روش آن است که ممکن است نقش یک عامل برای واحدهای مختلف یکسان نباشد. مدل پیشنهادی جهت انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیره‌ی تأمین بکار گرفته شد (Farzipoor Saen, 2010). پژوهش‌های دیگری نیز همسو با رویکرد اِعمال محدودیت وزنی در حضور عوامل دو نقشی انجام شده است که می‌توان به (Noorizadeh et al., 2011)،(Izadikhah et al., 2017) ، (Eydi & Rastgar, 2022) و (Ghazi & Lotfi, 2022) اشاره نمود. به‌منظور خلاصه‌نویسی و پرهیز از اطاله‌ی کلام، جزئیات مربوط به مقالات مذکور، در جدول ۱ به تفکیک ارائه شده است.

شبانی و همکاران (۲۰۱۱) یک مدل غیرخطی مبتنی بر رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها با تکنولوژیِ FDH در حضور عوامل دونقشی ارائه دادند. ویژگیِ اصلیِ رویکرد پیشنهادی معرفیِ 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 به‌عنوان ورودی و بخش دیگر به‌عنوان خروجی درنظر 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 تعیین‌شده و کاراییِ تصادفیِ هر واحد متناظر با سطح خطای داده‌شده محاسبه می‌گردد. روش پیشنهادی برای ارزیابی واحدهای تدارکات شخص ثالث در زنجیره‌تأمین معکوس مورداستفاده قرار گرفت (Azadi & Farzipoor Sean, 2011). پژوهش‌های دیگری نیز تلاش کرده‌اند

مدل‌های متنوعی، با اصلاح مدل‌های پایه‌ایِ تحلیل پوششی داده‌ها، در حضور عوامل دونقشی و داده‌های نادقیق ارائه و حل نمایند؛ که ازجمله 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.

چِن[1] (۲۰۱۴) در پژوهش خود، مجموعه‌ی امکان تولید مبتنی بر مفهوم تکنولوژیِ مشترک را به‌صورت اشتراک دو مجموعه‌ی امکان تولید معرفی و فرمول‌بندی نمود. وی توضیح می‌دهد که حضور یک عامل دونقشی موجبِ تعریفِ دو مجموعه‌ی امکان تولید می‌شود که این عامل در یکی نقش ورودی و در دیگری نقش خروجی دارد. بر این اساس مجموعه‌ی امکان تولیدِ نهایی به‌صورت اشتراک آن دو مجموعه تعریف می‌شود. وی مدل‌های مضربی و پوششی مبتنی بر تکنولوژیِ 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 اصلاح‌شده در حضور یک عامل دونقشی جهت انتخاب تأمین‌کنندگان 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 نهاییِ عامل دونقشی ارائه کردند.

قاسم و همکاران (۲۰۲۴) یک الگوی جدید مبتنی بر تحلیل پوششیِ داده‌های شبکه‌ای در حضور عوامل دونقشی، خروجی‌های مطلوب و نامطلوب و عوامل عملکردیِ میانیِ انعطاف‌پذیر، برای ارزیابی زنجیره‌های تأمین ارائه کردند. به ادعای نویسندگان، نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد که رویکرد ارائه‌شده با در نظر گرفتن اهداف مطلوب برای ورودی

1. Chen

و خروجی‌ها، علاوه بر بهبود کارایی، می‌تواند فاصله بین واحدهای تصمیم‌گیرنده و اهداف مطلوب آن‌ها را نیز محاسبه و گزارش کند.

به‌منظور خلاصه‌نویسی و فراهم شدن امکان مقایسه‌ی پژوهش‌های صورت گرفته در بازه‌ی زمانیِ ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۴ میلادی، پیرامون مدل‌ها و روش‌های پیشنهادی مبتنی بر تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها در حضور عوامل دونقشی، مهم‌ترین موارد شناسایی‌شده توسط محققین در جدول ۱ ارائه گردیده است.

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

سال و نویسنده	رویکرد پژوهش - [نمونه موردمطالعه]	تمرکز پژوهش
Beasley, (1990, 1995)	معرفی بودجه (درآمد) پژوهشی به‌عنوان عامل دونقشی و ارائه‌ی مدل‌هایی جهت محاسبه کاراییِ واحدهای تصمیم‌گیرنده در حضور یک عامل دونقشی، بدون توجه به تعیین وضعیت یک عامل دونقشی قبل از انجام ارزیابی واحدها. [دانشکده‌های مختلف]	معرفی عامل دونقشی و پیشنهاد مدل اولیه‌ای مبتنی بر رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها با دخالت دادن یک عامل دونقشی
Cook et al., (2006)	رفع دو ایراد از مدل پیشنهادی بیزلی (۱۹۹۰)، ارائه‌ی یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط مبتنی بر رویکرد تحلیل پوششی داده‌های مضربیِ ورودی محور جهت تعیین وضعیت عامل دونقشی با فرض غیراختیاری بودن عامل دونقشی. مدل پیشنهادی به نفع واحد تحت بررسی تعیین نقش می‌نماید، وضعیت نهاییِ هر عامل دونقشی مبتنی بر الگوی بیشترین فراوانی تعیین می‌شود. [دانشگاه – بانک]	تعیین وضعیت عامل دو نقشی با رویکرد تحلیل پوششیِ داده‌های ورودی محور با فرض غیراختیاری بودن عامل دونقشی
Farzipoor Saen, (2010)	توسعه‌ی مدل پیشنهادیِ کوک و همکاران (۲۰۰۶) به مدلی که در آن چند عامل دونقشی در ارزیابیِ واحدهای تصمیم‌گیرنده حضورداشته و محدودیت وزنی نیز بر وزن‌ها اِعمال گردید. مدل پیشنهادی به نفع واحد تحت بررسی تعیین نقش می‌نماید و ممکن است نقش یک عامل برای واحدهای مختلف یکسان نباشد. [انتخاب تأمین‌کنندگان]	تعیین وضعیت عوامل دو نقشی همراه با اِعمال محدودیت وزن مجازی بر وزن ورودی‌ها.

سال و نویسنده	رویکرد پژوهش - [نمونه موردمطالعه]	تمرکز پژوهش
Shabani et al., (2011)	ارائه و حل یک مدل غیرخطی مبتنی بر رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها با تکنولوژیِ FDH در حضور عوامل دونقشی که در آن بخشی از یک عامل به‌عنوان ورودی و بخش دیگر به‌عنوان خروجی نقش ایفا می‌کند (مفهوم نقش جزئی (partial role) برای عوامل دونقشی). [انتخاب کانتینرهای یخچالی در مدیریت زنجیره‌ی سرد]	معرفی مفهوم نقش جزئی (partial role) برای عوامل دونقشی
Azadi & Farzipoor Sean, (2011)	ارائه‌ی یک مدل با رویکرد محدودیت‌های تصادفی در حضور عوامل دونقشی و داده‌های تصادفی. وضعیت عوامل دونقشی به نفع واحد تحت بررسی تعیین‌شده و ممکن است نقش یک عامل برای واحدهای مختلف یکسان نباشد. [انتخاب تدارکات شخص ثالث در زنجیره‌ی تأمین معکوس]	اِعمال داده‌ها و محدودیت‌های تصادفی در حضور عوامل دونقشی
Sadeghi et al., (2012)	ارائه‌ی یک مدل تحلیل پوششیِ داده‌های اصلاح‌شده در حضور عوامل دونقشی همراه با داده‌های کیفی که به کمک متغیرهای زبانی توصیف‌شده و پس از تبدیل به اعداد فازی در مدل استفاده شده‌اند. [انتخاب ربات‌های صنعتی]	توسعه‌ی مدل در حضور داده‌های فازی
Noorizadeh et al., (2012)	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]	ارائه‌ی یک مدل غیرشعاعی و نادیده گرفتن فرض غیراختیاری بودن عوامل دونقشی
Azadi & Saen, (2012)	پیشنهاد یک مدل اصلاح‌شده‌ی تحلیل پوششی داده‌ها مبتنی بر مفهوم مرز بدترین عملکرد (Worst-practice frontier) در حضور عوامل دونقشی و داده‌های غیرقطعی. [انتخاب تأمین‌کنندگان]	در نظر گرفتن داده‌های غیرقطعی و مفهوم مرز بدترین عملکرد
Chaghooshi et al., (2012)	ارائه‌ی یک مدل تحلیل پوششی داده‌ها مبتنی بر مرز بدترین عملکرد در حضور عوامل دونقشی و استفاده از وزن‌های مشترک جهت رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیرنده. [انتخاب تأمین‌کننده‌ی سیستم تولید منعطف]	استفاده از مفهوم مرز بدترین عملکرد و وزن‌های مشترک جهت رتبه بندیِ واحدها
Lee & Farzipoor Sean, (2012)	ارائه‌ی الگویی مبتنی بر تکنیک کارایی متقاطع برای تعیین نقش عوامل دونقشی و محاسبه کارایی واحدها. [ارزیابی پایداری در محیط‌های صنعتی]	استفاده از تکنیک کارایی متقاطع

سال و نویسنده	رویکرد پژوهش - [نمونه موردمطالعه]	تمرکز پژوهش
Mahdiloo et al., (2013)	توسعه‌ی مدل پیشنهادیِ کوک و همکاران (۲۰۰۶) به مدلی که در آن چند عامل دونقشی و خروجی‌های نامطلوب در ارزیابیِ واحدهای تصمیم‌گیرنده حضورداشته و به‌منظور بالا بردن قدرت تفکیک‌پذیری نتایج یک واحد تصمیم‌گیرنده‌ی مجازی به مدل تحمیل شده است. [رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان]	دخالت دادن خروجی‌های نامطلوب در کنار عوامل دونقشی
Chen, (2014)	معرفی مفهوم تکنولوژی مشترک مبتنی بر اصول موضوعه‌ای که مجموعه‌ی امکان تولید را به‌صورت اشتراک دو مجموعه‌ی امکان تولید معرفی می‌کند. در یک مجموعه عامل دونقشی به‌عنوان ورودی و در مجموعه‌ی دیگر نقش خروجی دارد. درنهایت مدل‌های مضربی و پوششی مبتنی بر تکنولوژیِ تولید مشترک و بازده به مقیاس ثابت فرمول‌بندی شده است. [بخشی از داده‌های بیزلی ۱۹۹۰]	معرفی مفهوم تکنولوژی مشترک برای معرفی مجموعه‌ی امکان تولید در حضور یک عامل دونقشی
Azadi et al., (2014)	ارائه‌ی یک مدل اصلاح‌شده‌ی راسل در حضور خروجی‌های نامطلوب، عوامل دونقشی و داده‌های نادقیق. وضعیت عوامل دونقشی به نفع واحد تحت بررسی به دست می‌آید. [انتخاب تأمین‌کنندگان مواد خام یک شرکت]	محاسبه‌ی کارایی مبتنی بر اندازه‌ی راسل در حضور عوامل دونقشی
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 به‌عنوان یک عامل دونقشی لحاظ شده و روشی برای مواجهه با داده‌های گم‌شده پیشنهاد شده است. وضعیت عوامل دونقشی به نفع واحد تحت بررسی به دست می‌آید. [انتخاب تأمین‌کنندگان]	لحاظ کردن محدودیت وزنی و انتخاب میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌عنوان یک عامل دو نقشی
Toloo & Barat, (2015)	پیشنهاد دو مدل برنامه‌ریزی اعداد صحیح آمیخته (یک مدل انفرادی و یک مدل جمعی) مبتنی بر فرم پوششیِ تحلیل پوششی داده‌ها در حضور عوامل دونقشی و مقایسه با مدل‌های پیشنهادیِ قبلی. [انتخاب تأمین‌کنندگان]	توجه به تعیین وضعیت عامل دونقشی از دو منظر انفرادی (فقط واحد تحت بررسی) و جمعی (همه‌ی واحدها باهم)
Ding et al., (2015)	ارائه‌ی یک الگوی انتخاب تأمین‌کننده مبتنی بر مدل تحلیل پوششی داده‌ها و نظریه بازی در حضور عوامل دونقشی. [انتخاب تأمین‌کنندگان]	دخیل کردن یک مدل بازیِ دونفره‌ی صفر و یک جهت تعیین وضعیت عامل دونقشی
Afsharian et al., (2016)	معرفی یک مدل تحلیل پوششی داده‌های کلی با لحاظ کردن	لحاظ کردن هم‌زمان مفاهیم

سال و نویسنده	رویکرد پژوهش - [نمونه موردمطالعه]	تمرکز پژوهش
	مفاهیم انتخاب عوامل عملکردی، عوامل دونقشی و عوامل نامطلوب، وضعیت عوامل دونقشی به نفع واحد تحت بررسی به دست می‌آید. [مقاله نظری بوده و مثال واقعی ندارد]	عوامل عملکردی انتخابی، عوامل دونقشی و عوامل نامطلوب
Azadi et al., (2017)	ارائه‌ی یک مدل تحلیل پوششیِ داده‌های فازیِ دو مرزی (با نگاه خوش‌بینانه و بدبینانه) جهت انتخاب تأمین‌کننده‌ی سبز در حضور خروجی‌های نامطلوب و عوامل دونقشی، تعیین وضعیت عوامل دونقشی به نفع واحد تحت بررسی. [انتخاب تأمین‌کننده‌ی سبز در زنجیره تأمین]	در نظر گرفتن داده‌های فازی مثلثی و استفاده از دو مرز کارایی با نگاه‌های خوش‌بینانه و بدبینانه
Toloo et al., (2018)	پیشنهاد مدل‌هایی جهت تعیین وضعیت عوامل دونقشی و محاسبه کارایی بازه‌ای برای هر DMU با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری فازی مبتنی بر معیار حداکثر – حداقل فازی که کارایی هر DMU و درجه عضویت مرتبط را علاوه بر تعیین منحصربه‌فرد عوامل دو نقشی محاسبه می‌کند. [ارزیابی بانک‌ها]	در نظر گرفتن عدم قطعیت در داده‌ها به‌صورت اعداد فازی و معرفی بازه‌ی کارایی
Su & Sun, (2018)	توسعه‌ی یک مدل تحلیل پوششیِ داده‌های شبکه‌ای در حضور خروجی‌های نامطلوب و عوامل دونقشی. محاسبه‌ی کارایی خوش‌بینانه، کارایی بدبینانه و کارایی کلی جهت ارزیابی و رتبه‌بندیِ زنجیره‌های تأمین. [ارزیابی ده زنجیره‌ی تأمین نوشیدنی‌ها]	لحاظ کردن مفهوم عوامل دونقشی در تحلیل پوششیِ داده‌های شبکه‌ای و معرفیِ کاراییِ خوش‌بینانه و بدبینانه
Geng et al., (2019)	پیشنهادی یک مدل تحلیل پوششی داده‌های فازی با رویکرد مرز دوگانه در حضور خروجی‌های نامطلوب و عوامل دونقشی، وضعیت عوامل دونقشی به نفع واحد تحت بررسی به دست می‌آید. [ارزیابی ۱۹ سازمان در حوزه‌ی صرفه‌جویی انرژی و حفاظت محیط‌زیست]	محاسبه‌ی کارایی‌های مالیِ خوش‌بینانه، بدبینانه و کلیِ شرکت‌ها بر اساس مفهوم ضریب خوش‌بینانه
Ebrahimi, (2020)	ارائه‌ی یک مدل تحلیل پوششی داده‌های خطیِ اعداد صحیح آمیخته برای شناسایی بهترین واحد تصمیم‌گیرنده در حضور عوامل دونقشی، وضعیت عوامل دونقشی به نفع واحد تحت بررسی به دست می‌آید. [انتخاب بهترین تأمین‌کننده و بهترین بانک]	شناسایی بهترین واحد تصمیم‌گیرنده با حل یک باره‌ی مدل

سال و نویسنده	رویکرد پژوهش - [نمونه موردمطالعه]	تمرکز پژوهش
Li et al., (2020)	ارائه‌ی یک مدل اصلاح‌شده‌ی تحلیل پوششی داده‌ها در حضور عوامل دونقشی و عوامل نامطلوب و تلفیق مدل پیشنهادی با الگوی تابع فاصله‌ی اندیس مالم‌کوئیست-لوئنبرگر، وضعیت عوامل دونقشی به نفع واحد تحت بررسی به دست می‌آید. [تأمین‌کنندگان یک شرکت قطعات یدکی خودرو]	تعیین وضعیت منحصربه‌فرد عوامل دو نقشی بر اساس جواب بهینه‌ی سراسریِ مدل و سپس دسته‌بندیِ تأمین‌کنندگانِ ناکارآمد در یک چرخه ارزیابی انفرادی
Chen, (2021)	بررسی و تحلیل دو رویکرد متفاوت به نحوه‌ی تعیین وضعیت عوامل دو نقشی. یک رویکرد تعیین وضعیت عوامل دونقشی قبل از ارزیابیِ عملکرد واحدها و رویکرد دوم در نظر گرفتن مستقیم عامل دونقشی در فرایند ارزیابی عملکرد. [داده‌های بیزلی ۱۹۹۰]	معرفی ایرادات ناشی از تعیین وضعیت عوامل دونقشی در روش‌های مرسوم با توجه به وضعیت متغیرهای کمکی و پیشنهاد یک نمره‌ی کارایی پارتو-کُپمن
Ebrahimi et al., (2021)	ارائه‌ی یک جفت مدل خطیِ دودوییِ آمیخته، مبتنی بر اپسیلون، در حضور عوامل دونقشیِ نادقیق که از یک مرز تولید ثابت و یکپارچه برای محاسبه‌ی کران‌های کاراییِ همه‌ی واحدها استفاده می‌کند. وضعیت عوامل دونقشی به نفع واحد تحت بررسی به دست می‌آید. [ارزیابی عملکرد ۲۶ پیمانکار صنایع فضایی ایران]	لحاظ کردن داده‌های بازه‌ای با مقیاس‌های بازه‌ای و ترتیبی و استفاده از یک مرز تولید ثابت و یکپارچه برای محاسبه‌ی کران‌های پایین و بالای کاراییِ همه‌ی واحدها
Ghiyasi & Cook, (2021)	ارائه‌ی یک مدل اصلاح‌شده‌ی برنامه‌ریزی خطی دودوییِ آمیخته‌ی تحلیل پوششیِ داده‌ها با تکنولوژی بازده به مقیاس متغیر در حضور عوامل دونقشی، وضعیت عوامل دونقشی به نفع واحد تحت بررسی به دست می‌آید. [داده‌های بیزلی ۱۹۹۰]	بی‌کرانیِ مدل توسعه داده شده‌ی قبلی و رفع این مشکل با ارائه‌ی مدل جدید
Ghazi & Lotfi, (2022)	ارائه‌ی دو روش وزن‌دهی مختلف برای معرفیِ مدل‌های تحلیل پوششیِ داده‌های با محدودیت وزنی در حضور عوامل دونقشی، وضعیت عوامل دونقشی به نفع واحد تحت بررسی به دست می‌آید. [۲۰ شعبه‌ی یک بانک]	لحاظ کردن محدودیت وزنی بر عوامل دونقشی در مدل پیشنهادی
Izadikhah et al., (2022)	ارائه‌ی یک مدل تحلیل پوششیِ داده‌های غیرشعاعی با محدودیت وزنی برای مواجهه با داده‌های منفی در حضور خروجی‌های نامطلوب، عوامل غیراختیاری و عوامل دونقشی جهت ارزیابی پایداری تأمین‌کنندگان.	لحاظ کردن داده‌های منفی در حضور خروجی‌های نامطلوب، عوامل غیراختیاری و عوامل دونقشی

سال و نویسنده	رویکرد پژوهش - [نمونه موردمطالعه]	تمرکز پژوهش
	[ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار ساپکو]	
Eydi & Rastgar, (2022)	ارائه‌ی یک مدل تحلیل پوششی داده‌های فازیِ اصلاح‌شده در حضور عوامل دونقشی و استفاده از مدل‌های مبتنی بر آلفا-برش برای محاسبه‌ی کران‌های پایین و بالای کاراییِ واحدها، وضعیت عوامل دونقشی به نفع واحد تحت بررسی به دست می‌آید. [ارزیابی ۳۰ واحد تدارکات شخص ثالث در لجستیک جمع‌آوری زباله‌های بیمارستانی]	لحاظ کردن داده‌های فازی در فرایند ارزیابی و استفاده از مفهوم آلفا-برش برای توسعه‌ی مدل‌ها
Ghasem et al., (2024)	ارائه‌ی یک الگوی جدید مبتنی بر تحلیل پوششیِ داده‌های شبکه‌ای در حضور عوامل دونقشی، خروجی‌های مطلوب و نامطلوب و عوامل عملکردیِ میانیِ انعطاف‌پذیر، برای ارزیابی زنجیره‌های تأمین [زنجیره‌های تأمین صنعت نوشیدنی]	ارائه‌ی یک مدل اصلاح‌شده‌ی تحلیل پوششیِ داده‌های شبکه‌ایِ ورودی-خروجی محور با داده‌های متنوع

۳. روش پیشنهادی

فرض کنید قصد داریم عملکرد n واحد تصمیم‌گیرنده را به‌صورت نسبی ارزیابی و مقایسه نماییم. عملکرد هر واحد مبتنی بر سه گروه از عامل‌ها، شامل m ورودی، s خروجی و ℓ عامل عملکردی دونقشی، ارزیابی می‌گردد. با در نظر داشتن رویکرد وزن‌دهی در تحلیلِ پوششیِ داده‌ها از نمادگذاری‌های زیر جهت فرمول‌بندی مدل‌های پیشنهادی استفاده می‌شود:

اندیس‌ها:

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

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

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

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

پارامترها:

x_{ij}: مقدار ورودی i–اُم برای واحد j–اُم،

y_{rj}: مقدار خروجی r–اُم برای واحد j–اُم،

w_{kj}: مقدار k–اُمین عامل دونقشی برای واحد j–اُم.

متغیرهای تصمیم:

u_r: وزن خروجی r–اُم،

v_i: وزن ورودی i–اُم.

γ_k: وزن عامل دونقشی k–اُم زمانی که نقش ورودی داشته باشد.

β_k: وزن عامل دونقشی k–اُم زمانی که نقش خروجی داشته باشد.

θ_o^*: کارایی محاسبه‌شده برای DMU_o در حالتی که نقش عوامل دوگانه به نفع این واحد تعیین شود.

برای محاسبه‌ی θ_o^* از مدل زیر که توسعه‌یافته‌ی مدل پیشنهادی کوک و همکاران (۲۰۰۶) با در نظر گرفتن چندین عامل دونقشی است؛ استفاده می‌شود.

$$\theta_o^* = Max \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro} + \sum_{k=1}^{K} (\gamma_k w_{ko} - \beta_k w_{ko})$$

$$s.t$$

$$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{io} = 1 \qquad (۱)$$

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

$$\gamma_k, \beta_k, u_r, v_i \geq 0 \qquad \forall r, \forall i, \forall k$$

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. شایان‌ذکر است که طبق تحلیل منطقی که کوک و همکاران (۲۰۰۶) ارائه

کردند، عوامل دونقشی به‌عنوان عوامل غیراختیاری[1] در نظر گرفته‌شده 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 به‌دست‌آمده از حل مدل، حداکثر یک باشد. درواقع این محدودیت بازنویسی شده‌ی محدودیت زیر است که سمت چپ آن نشان‌دهنده‌ی کارایی نسبی DMU_j می‌باشد:

$$\forall j \ \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} + \sum_{k=1}^{K} (\gamma_k w_{kj} - \beta_k w_{kj})}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}} \leq 1 \qquad (۲)$$

متغیرهای γ_k و β_k به‌عنوان وزن‌های عوامل دونقشی در نظر گرفته شده‌اند. همان‌طور که در تابع هدف و محدودیت دوم مدل (۱) مشاهده می‌شود، این دو متغیر هم خط‌اند، لذا با توجه به ویژگی‌های مسائل 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 γ_k مثبت باشد بدین معناست که k-اُمین عامل دونقشی به‌عنوان توان خروجی درنظر گرفته شده است و در صورتی که β_k مثبت باشد k-اُمین عامل، نقش ورودی بازی خواهد کرد. اما صفر ؛ دن هر دوی γ_k و β_k به معنای بی اثر بودن k-اُمین عامل دونقشی در ارزیابی واحد تحت بررسی می‌باشد.

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

پرواضح 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 عاملِ

1. Non-discretionary

دونقشی (ورودی، خروجی و تعادل) در ارزیابیِ نسبی واحدهای متمایز، غیرمنطقی است. در ادامه با پیشنهاد مدل‌هایی نسبت به رفع این نقیصه اقدام می‌گردد.

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد؛ شرط (۲) برای نمره‌ی کاراییِ نسبیِ DMU_j، یک شرط کلیدی است؛ این شرط معادلِ محدودیت

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

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. به‌منظور راحتی در بیان عبارت‌ها، از این به بعد، متغیر کمکیِ d_j را متغیر انحراف در شرط کارایی می‌نامیم. بر این اساس، هر چه مقدار d_j کوچک‌تر باشد، نمره‌ی کاراییِ DMU_j به عدد یک به‌عنوان 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 هربار حل، وضعیت عامل دونقشی به نفع واحد تحت بررسی تعیین گردد. سپس با توجه به فراوانیِ هر وضعیت برای عامل دونقشی (ورودی/ خروجی/تعادل)، وضعیت نهاییِ 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 DMU ها مدل را حل نمود که اگر تعداد واحدها زیاد باشد؛ این رویکرد ازنظر محاسباتی به‌صرفه نخواهد بود. ایراد دوم آن است که امکان دارد فرایندِ تعیینِ وضعیتِ عامل دونقشی از مسیر شمارش وضعیت‌ها به بن‌بست بخورد. این حالت زمانی رخ می‌دهد که فراوانیِ وضعیت‌ها برابر باشد. به‌طور مثال ممکن است نتایج حاصل از حل مدل (۱) برای مجموعه‌ای از داده‌ها به‌گونه‌ای باشد که تعداد DMU هایی

که نقش ورودی را برای عامل دونقشی تعیین می‌کنند برابر با تعداد DMU هایی باشد که برای آن عامل، نقش خروجی در نظر می‌گیرند، در این صورت تصمیم‌گیرنده امکان تعیین نقش را نخواهد داشت. ایراد سوم نگاه بخشی‌نگرِ این رویکرد است. درواقع در رویکردِ 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 وضعیتِ مطلوب تعدادی از DMU ها را نادیده می‌گیرد. ایراد چهارم و اساسی‌تری که می‌توان برای رویکرد مذکور برشُمرد، عدم توجه آن به نگرش تصمیم‌گیرندگان است. به‌عنوان‌مثال اگر مدیریت عالی بخواهد تعیین وضعیت عوامل دونقشی باهدف همگنیِ بیشترِ 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 قابل‌استفاده نخواهد بود.

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

۱-۳ تعیین وضعیت عوامل دونقشی مبتنی بر کمینه‌سازیِ 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 به‌طور 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_jها)، 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 $D = max_{j=1,\dots,n}\{d_j\}$ نشان‌دهنده‌ی بیشترین مقدار انحراف در شرط کارایی و u_r، v_i، γ_k و β_k نشان‌دهنده‌ی وزن‌های مشترک در ارزیابی واحدها باشند. مدل (۳) برای تعیین وضعیت عوامل دونقشی پیشنهاد می‌گردد.

$$
\begin{aligned}
&\min D && && \text{(a)}\\
&s.t && && \\
&\sum_{r=1}^{s} u_r \left(\sum_{j=1}^{n} y_{rj} \right) + \sum_{i=1}^{m} v_i \left(\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \right) = n && && \text{(b)}\\
&\sum_{r=1}^{s} u_r\, y_{rj} + \sum_{k=1}^{K} (\gamma_k w_{kj} - \beta_k w_{kj}) && && \\
&\qquad - \sum_{i=1}^{m} v_i\, x_{ij} + d_j = 0 && \forall\, j && \text{(c)}\\
&\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} + \sum_{k=1}^{K} (\gamma_k w_{kj} - \beta_k w_{kj}) \geq 0 && \forall\, j && \text{(d)}\\
&d_j \leq D && \forall\, j && \text{(e)}\\
&u_r, v_i \geq 0 && \forall\, r, \forall i && \text{(f)}\\
&\gamma_k, \beta_k, d_j \geq 0 && \forall k, \forall j && \text{(g)}
\end{aligned}
\qquad (۳)
$$

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

در مدل (۳) مشابه مدل (۱) ضرایب متغیرهای γ_k و β_k هم خطاند؛ لذا در بهینگی یا فقط یکی از آن‌ها مقدار مثبت می‌گیرد یا هر دو صفر خواهند بود. بن؛ راین هر عاملِ دونقشی برای همه واحدهای تحت بررسی، نقش یگانه ایفا خواهد کرد. به‌بیان‌دیگر، یک عاملِ 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 پیشنهادیِ (۳)، تصمیم‌گیرنده می‌تواند از

وزن‌های به‌دست‌آمده در جواب بهینه‌ی این مدل به‌عنوان وزن‌های مشترک جهت محاسبه‌ی نمره‌ی کارایی و رتبه‌بندی واحدها استفاده نماید. بااین‌وجود در صورت نیاز تصمیم‌گیرنده می‌تواند پس از تعیین وضعیت عوامل دونقشی به کمک مدل (۳)، از مدل‌های پایه‌ایِ تحلیل پوششیِ‌داده‌ها برای ارزیابی واحدها استفاده نماید.

۲-۳ تعیین وضعیت عوامل دونقشی مبتنی بر کمینه‌سازیِ انحراف از میانگین انحرافات

پیشنهاد جدید دیگری که در این بخش ارائه می‌دهیم، مبتنی بر مفهوم انحراف از میانگین انحرافات پایه‌ریزی می‌شود.

اگر متغیر d_j به‌عنوان میزان انحراف در شرط کاراییِ مربوط به DMU_j و $\bar{d}$ میانگین d_jها تعریف شوند، یعنی $\bar{d} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} d_j$، در این صورت تابع هدف، کمینه‌سازیِ انحراف از میانگین انحرافات ($\bar{d}$) در نظر گرفته‌شده و مدل (۴) را جهت تعیین وضعیت عوامل دونقشی پیشنهاد می‌کنیم.

$$
\begin{aligned}
& min \sum_{j=1}^{n} \left| d_j - \bar{d} \right| && \text{(a)} \\
& s.t \\
& \sum_{r=1}^{s} u_r \left(\sum_{j=1}^{n} y_{rj} \right) + \sum_{i=1}^{m} v_i \left(\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \right) = n && \text{(b)} \\
& \sum_{r=1}^{s} u_r \, y_{rj} + \sum_{k=1}^{K} (\gamma_k w_{kj} - \beta_k w_{kj}) \\
& \qquad - \sum_{i=1}^{m} v_i \, x_{ij} + d_j = 0 \quad \forall \, j && \text{(c)} \\
& \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} + \sum_{k=1}^{K} (\gamma_k w_{kj} - \beta_k w_{kj}) \geq 0 \qquad \forall \, j && \text{(d)} \\
& \bar{d} = \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{j=1}^{n} d_j \qquad j = 1, \dots, n \qquad \forall \, j && \text{(e)} \\
& u_r, v_i \geq 0 \qquad \forall \, r, \forall i && \text{(f)} \\
& \gamma_k, \beta_k \, , d_j \geq 0 \qquad \forall k, \forall j && \text{(g)}
\end{aligned}
\tag{۴}
$$

به‌منظور خطی‌سازیِ تابع هدف مدل (۴)، می‌توان عبارت $\left| d_j - \bar{d} \right|$ را به‌صورت تفاضل دو متغیر نامنفی مثل ε_j^+ و ε_j^- جایگزین کرد، و دست محدودیت‌های $d_j - \bar{d} = \varepsilon_j^+ - \varepsilon_j^-$، $(j = 1, \dots, n)$ را به لیست محدودیت‌ها اضافه کرد. بدین ترتیب مدل (۴) به‌صورت مدل (۵) بازنویسی می‌گردد.

$$
\begin{aligned}
& Min \sum_{j=1}^{n} (\varepsilon_j^+ + \varepsilon_j^-) && \text{(a)} \\
& s.t \\
& \sum_{r=1}^{s} u_r \left(\sum_{j=1}^{n} y_{rj} \right) + \sum_{i=1}^{m} v_i \left(\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \right) = n && \text{(b)} \\
& \sum_{r=1}^{s} u_r \, y_{rj} + \sum_{k=1}^{K} (\gamma_k w_{kj} - \beta_k w_{kj}) \\
& \qquad - \sum_{i=1}^{m} v_i \, x_{ij} + d_j = 0 \quad \forall j && \text{(c)} \\
& \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} + \sum_{k=1}^{K} (\gamma_k w_{kj} - \beta_k w_{kj}) \geq 0 \quad \forall j && \text{(d)} \\
& d_j - \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{j=1}^{n} d_j = \varepsilon_j^+ - \varepsilon_j^- \quad \forall j && \text{(e)} \\
& u_r, v_i \geq 0 \quad \forall r, \forall i && \text{(f)} \\
& \gamma_k, \beta_k, d_j, \varepsilon_j^+, \varepsilon_j^- \geq 0 \quad \forall k, \forall j && \text{(g)}
\end{aligned}
\qquad (۵)
$$

با حل مدل (۵) بر اساس مقادیر بهینه‌ی γ_k و β_k می‌توان وضعیت عامل دونقشی k-اُم را تعیین نمود. شباهت اصلی مدل‌های پیشنهادیِ (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 هرعامل را به نفع واحد تحت بررسی تعیین می‌کردند (مانند کوک و همکاران، ۲۰۰۶ و عزیزی و همکاران، ۱۳۹۴)، وضعیت عوامل دونقشی را با دخالت‌دادن 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 حلِ مدل مشخص می‌شود، در حالی‌که مدل‌های مبتنی بر فراوانیِ وضعیت، باید به ازای هر واحد تحت بررسی، یک‌بار حل شوند.

تمایز مدل (۵) با مدل (۳) در این است که مدل (۵) به‌منظور تعیین وضعیت عوامل دونقشی، کمینه‌سازیِ مجموع انحرافات از متوسط انحرافات را به‌عنوان هدف در نظر می‌گیرد؛ اما مدل (۳) باهدف کمینه‌سازیِ 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 اُفتِ بیش‌ازحد عملکرد ضعیف‌ترین عضو مجموعه ممانعت نماید. منطق این رویکرد مبتنی بر این اصل ثابت‌شده‌ی مدیریت عملکرد است که توانِ یک مجموعه، معادل با توان ضعیف‌ترین عضو آن مجموعه است؛ اما به‌کارگیری مدل (۵) در مواقعی پیشنهاد می‌شود که تعیین وضعیت عوامل دونقشی باهدف ممانعت از پراکندگیِ بیش‌ازحد نمره‌ی عملکرد واحدهای یک مجموعه مدنظر باشد؛ به‌عبارت‌دیگر پراکندگیِ نمره‌ی کاراییِ مبتنی بر وزن‌های مشترکِ واحدها در حداقل باشد.

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

٤. مثال عددی

داده‌هایی که در این پژوهش مورداستفاده قرارگرفته، مربوط به ۱۸ تأمین‌کننده، برگرفته از پژوهش تَلوری و بیکِر (۲۰۰۲) است. عوامل عملکردی شامل دو ورودی، سه خروجی و دو عاملِ دونقشی است. جدول شماره ۲، جزئیات مربوط به مقادیر داده‌ها را نشان می‌دهد. هزینه‌ی کل حمل‌ونقل (TC)[1] و تعداد محموله در ماه (NS)[2] ورودی‌های هر تأمین‌کننده و تعداد محموله‌های به‌موقع تحویل‌شده (NOT)[3]، تعداد صورتحساب‌های دریافتی بدون خطا (NB)[4] و امتیاز مکان تأمین‌کننده (LOC)[5] خروجی‌های آن‌ها را نشان می‌دهد. امتیاز

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

مکان تأمین‌کننده به معیارهایی همچون هزینه‌های تولید، در دسترس بودن نیروی کار، وجود سیستم‌های حمل‌ونقل قوی و به مواردی ازاین‌دست در آن مکان وابسته است. عوامل دونقشی عبارت‌اند از کیفیت خدمات درک‌شده (EXP)۱ و اعتبار کیفیت خدمات (CRE)۲. کیفیت خدمات درک‌شده و اعتبار کیفیت خدمات ازآن‌جهت به‌عنوان 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 هزینه‌کردهای بیشتر در فرایندها و آموزش‌های منابع انسانی است که از این منظر می‌توان آن‌ها را به‌عنوان ورودی در نظر گرفت (جهت مشاهده‌ی جزئیات بیشتر به عزیزی و همکاران، ۱۳۹۴ مراجعه گردد).

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

	ورودی‌ها		عوامل دونقشی		خروجی‌ها		
DMU	TC	NS	EXP	CRE	NB	NOT	LOC
۱	۲۵۳	۱۹۷	۲٤۰	۹۰	۹۰	۱۸۷	۸۷
۲	۲٦۸	۱۹۸	۲۱۰	۸۰	۱۳۰	۱۹٤	۸۷
۳	۲۵۹	۲۲۹	۲۷۰	۷۰	۲۰۰	۲۲۰	۹۹
٤	۱۸۰	۱٦۹	۲۰۰	۷۰	۱۰۰	۱٦۰	٦۹
۵	۲۵۷	۲۱۲	۱٦۰	۷۰	۱۷۳	۲۰٤	۸٦
٦	۲٤۸	۱۹۷	۲۳۰	۸۰	۱۷۰	۱۹۲	۸۸
۷	۲۷۲	۲۰۹	۲۰۰	۹۰	٦۰	۱۹٤	۷٦
۸	۳۳۰	۲۰۳	۱۷۰	٦۰	۱٤۵	۱۹۵	۹٦
۹	۳۲۷	۲۰۸	۱۸۰	۷۰	۱۵۰	۲۰۰	۹۹
۱۰	۳۳۰	۲۰۳	۱۷۰	٦۰	۹۰	۱۷۱	٦۱
۱۱	۳۲۱	۲۰۷	۲۰۰	۸۰	۱۰۰	۱۷٤	۸۲
۱۲	۳۲۹	۲۳٤	۲۱۰	۱۰۰	۲۰۰	۲۰۹	۷۹
۱۳	۲۸۱	۱۷۳	۳۰۰	۹۰	۱٦۳	۱٦۵	۷۵
۱٤	۳۰۹	۲۰۳	۲۵۰	۸۰	۱۷۰	۱۹۹	۹٤
۱۵	۲۹۱	۱۹۳	۲۵۰	۹۰	۱۸۵	۱۸۸	۹۰
۱٦	۳۳٤	۱۷۷	۲٤۰	۸۰	۸۵	۱٦۸	۷۵

1. Service-quality experience
2. Service-quality credence.

	ورودی‌ها		عوامل دونقشی		خروجی‌ها		
DMU	TC	NS	EXP	CRE	NB	NOT	LOC
۱۷	۲٤۹	۱۸٥	۲۱۰	۷۰	۱۳۰	۱۷۷	۷٤
۱۸	۲۱٦	۱۷٦	۲۰۰	۸۰	۱٦۰	۱٦۷	۱۰۰

به‌منظور تشریح عملکرد مدل‌های پیشنهادی تحقیق، ابتدا نتایج مربوط به حل مدل (۱) که مبتنی بر پژوهش کوک و همکاران (۲۰۰۶) فرموله شده است، ارائه می‌گردد. برای حل مدل‌های مختلف در این پژوهش از کدنویسی در نرم‌افزار بهینه‌سازیِ لینگو نسخه‌ی ۱۸ و برای محاسبه‌ی شاخص‌های آماری از نرم‌افزار اکسل نسخه ۲۰۱۹، در یک کامپیوتر شخصی با سیستم عامل ۶۴ بیتی، پردازنده‌ی 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 یک‌بار حل می‌شود و وضعیت عوامل دونقشی به نفع واحد تحت بررسی مشخص می‌گردد. نتایج در جدول ۳ به‌تفصیل 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 دونقشیِ EXP و CRE برای برخی DMUها نقش ورودی و برای برخی دیگر نقش خروجی بازی می‌کنند. در برخی موارد نیز در تعادل بودنِ این عواملِ دونقشی به نفع واحد تحت بررسی است. به عنوبه‌عنوان، برای DMU_1 مقادیر وزن عامل دونقشیِ EXP به ترتیب $\gamma^*_{EXP} =$ ۰/۰۰۰۵ و $\beta^*_{EXP} =$ ۰ بدست آمده است، لذا این عامل برای DMU_1 نقش خروجی ایفا می‌کند. در حالی‌که وزن‌های این عامل در بهینگی برای DMU_2 مقادیر $\gamma^*_{EXP} =$ ۰ و $\beta^*_{EXP} =$ ۰/۰۰۰۲ 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 γ^*_{EXP} و β^*_{EXP} برابر با صفر بوده و لذا بهترین مقدار تابع هدف برای این DMU زمانی حاصل می‌شود که این عاملِ دونقشی در تعادل باشد، یعنی نادیده گرفتن این عامل برای واحد تحتِ بررسی، بهترین مقدار تابع هدف را در بر خواهد داشت.

ذکر این نکته بسیار حائز اهمیت است که اگر یک عامل دونقشی برای برخی DMU ها نقش ورودی، برای برخی دیگر نقش خروجی و برای برخی نیز حالت تعادل داشته باشد با منطق ارزیابیِ نسبیِ عملکردِ واحدهای مشابه در تناقض است. چرا که مقایسه‌پذیریِ واحدهای مشابه، در رویکردهای ارزیابیِ نسبی، زمانی منطقی است که وضعیتِ هر عاملِ 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 نقشیِ EXP برای ۷ واحد نقش ورودی، برای ۹ واحد نقش خروجی و برای ۲ واحد در وضعیت تعادل است، لذا این عامل در ارزیابیِ یکپارچه‌ی عملکرد واحدها باید به‌عنوان خروجی لحاظ گردد. همچنین براساس منطق تکنیک بیشترین فراوانی، عامل دونقشیِ CRE باید به‌عنوان خروجی درنظر گرفته شود.

پیش‌تر بیان شد که استفاده از رویکرد بیشترین فراوانی، مبتنی بر مدل (۱)، در تعیین وضعیت عوامل دونقشی دارای ایراداتی است ازجمله: به‌صرفه نبودن ازنظر محاسباتی، به بُن‌بست خوردنِ فرایند شمارش وضعیت‌ها (زمانی که فراوانیِ نقش‌های تعیین‌شده برابر باشد)، بخشی‌نگر بودن این رویکرد و عدم توجه به نگرش تصمیم‌گیرندگان. 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)

DMU	وزن‌های عامل دو نقشی EXP		وزن‌های عامل دو نقشی CRE		وضعیت عوامل دونقشی		مقدار بهینه‌ی تابع هدف
	γ^*_{EXP}	β^*_{EXP}	γ^*_{CRE}	β^*_{CRE}	نقش EXP	نقش CRE	
۱	۰/۰۰۰۵	۰	۰/۰۰۹۷	۰	خروجی	خروجی	۰/۹۸۶
۲	۰	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۲	۰	ورودی	خروجی	۱
۳	۰/۰۰۴۳	۰	۰	۰/۰۰۲۵	خروجی	وروی	۱
٤	۰/۰۰۶۳	۰	۰	۰/۰۰۳۶	خروجی	ورودی	۱
٥	۰	۰/۰۰۱۳	۰	۰/۰۰۱۸	ورودی	ورودی	۱
٦	۰/۰۰۰۱	۰	۰/۰۰۲	۰	خروجی	خروجی	۱
۷	۰	۰/۰۰۱۷	۰/۱۰۹	۰	ورودی	خروجی	۱

DMU	وزن‌های عامل دو نقشی EXP		وزن‌های عامل دو نقشی CRE		وضعیت عوامل دونقشی		مقدار بهینه‌ی تابع هدف
	γ^*_{EXP}	β^*_{EXP}	γ^*_{CRE}	β^*_{CRE}	نقش EXP	نقش CRE	
۸	۰	۰	۰	۰/۰۰۱۲	تعادل	ورودی	۱
۹	۰	۰/۰۲۱۸	۰/۰۲۵	۰	ورودی	خروجی	۱
۱۰	۰	۰/۰۰۰۱	۰	۰/۰۰۰۸	ورودی	ورودی	۰/۸۶۹۴
۱۱	۰	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۴۲	۰	ورودی	خروجی	۰/۸۸۰۶
۱۲	۰	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۴۸	۰	ورودی	خروجی	۱
۱۳	۰	۰	۰/۰۱۱۱	۰	تعادل	خروجی	۱
۱۴	۰/۰۰۰۵	۰	۰	۰/۰۰۱۴	خروجی	ورودی	۱
۱۵	۰/۰۰۰۵	۰	۰	۰	خروجی	تعادل	۱
۱۶	۰/۰۰۰۲	۰	۰/۰۰۰۳	۰	خروجی	خروجی	۰/۹۷۷۹
۱۷	۰/۰۰۰۱	۰	۰	۰/۰۰۰۵	خروجی	ورودی	۰/۹۸۰۷
۱۸	۰/۰۰۳۲	۰	۰	۰/۰۰۱۱	خروجی	ورودی	۱

همان‌طور که پیش‌تر تأکید شد، مدل‌های پیشنهادی این تحقیق تنها یک‌بار حل می‌شوند که صرفه‌جویی در محاسبات را به دنبال دارد. با حل این مدل‌ها وضعیتِ عواملِ دونقشی به‌طور مستقیم مشخص می‌گردد. در مدل‌های پیشنهادیِ (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 ٤: نتایج حاصل از حل مدل پیشنهادی (۳)

DMU	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹
d_j^*	۰/۱۷۰۲	۰/۰۵٤٦	۰/۰٤٤۳	۰/۰۵٤۹	۰/۱۰۸۳	۰/۰٤۰٤	۰/۱۲۳٤	۰/۰۵۸۹	۰/۰٦۰۰
DMU	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱٤	۱٥	۱٦	۱۷	۱۸
d_j^*	۰/۱۷۰۲	۰/۱۲۳۲	۰/۱۷۰۲	۰	۰/۰۲۳۷	۰/۰۲۳۲	۰/۰۳٦۸	۰/۰٦۲۸	۰
متغیر	u^*_{NB}	u^*_{NOT}	u^*_{LOC}	v^*_{TC}	v^*_{NS}	γ^*_{EXP}	β^*_{EXP}	γ^*_{CRE}	β^*_{CRE}
مقدار بهینه	۰	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۲۳	۰	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۰٦	۰	۰	۰/۰۰۰٦

با توجه به نتایج جدول (۴)، مقادیر بهینه‌ی وزن عوامل دونقشیِ 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 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	٤	٥	٦	۷	۸	۹
d_j^*	۰/۱۸۱۷	۰/۰۷۱۳	۰/۱۳۳۷	۰/۰۷۱۹	۰/۰۹٦٦	۰/۰۷۱٤	۰/۱۰۲۷	۰/۱۰۲۷	۰/۰۸٦۰
DMU	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱٤	۱٥	۱٦	۱۷	۱۸
d_j^*	۰/۲۱۱٦	۰/۱۳۹۸	۰/۱٤۱۱	۰/۰۸٥۳	۰/۰۸۷٥	۰/۰٥۹٤	۰/۱۰۲۷	۰/۱۰۲۷	۰
متغیر	u^*_{NB}	u^*_{NOT}	u^*_{LOC}	v^*_{TC}	v^*_{NS}	γ^*_{EXP}	β^*_{EXP}	γ^*_{CRE}	β^*_{CRE}
مقدار بهینه	۰	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۲٦	۰	۰/۰۰۰٤	۰/۰۰۲۰	۰

در جدول (۶) به‌منظور مقایسه‌ی عملکرد محاسباتیِ رویکردهای مبتنی بر مدل‌های (۱)، (۳) و (۵)، تعداد متغیرهای تصمیم، محدودیت‌ها و دفعات حل ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود باوجوداینکه تعداد متغیرها و محدودیت‌های مدل‌های پیشنهادی (۳) و (۵) نسبت به مدل (۱) بیشترند، اما حل یک‌باره‌ی مدل‌های پیشنهادی در مقایسه با nبار حلِ مدل (۱)، به‌صرفه‌تر است. چراکه از منظر پیچیدگی محاسباتی، nبار حلِ مدل (۱)، در حضور متغیرها و محدودیت‌های ذکرشده، بسیار زمان‌برتر از یک‌بار حلِ هرکدام از مدل‌های پیشنهادی است. به‌بیان‌دیگر اگر بخواهیم از روش‌های مرسوم، مدل (۱) را به نحوی بازنویسی کنیم که بجای nبار حل، یک‌بار حل گردد و همان نتایج را به دست دهد، باید در مدل بازنویسی شده به نسبت تعداد DMUها ابعاد مسأله بزرگ‌تر شود (به

به‌عنوانونه در مثال مورد بحث باید تعداد متغیرها و محدودیت‌ها، ۱۸ $= n$برابر شود که این صورت ابعاد مدل بازنویسی شده، بسیار بزرگ‌تر از مدل‌های پیشنهادی (۳) و (۵) خواهد بود).

دو ستون آخر جدول (۶) وضعیت تعیین‌شده‌ی عوامل دونقشی را نشان می‌دهند. با توجه به اینکه هرکدام از مدل‌های (۱)، (۳) و (۵) با منطق اختصاصیِ خود سعی در تعیین وضعیتِ عوامل دونقشی دارند، لذا وضعیت تعیین‌شده برای این عوامل، توسط این سه مدل با یکدیگر متفاوت است. به‌بیان‌دیگر مدل‌های پیشنهادیِ تحقیقِ حاضر، مبتنی بر رویکردهای مختلف مدیریتی ارائه شده‌اند؛ بنابراین مدیریتِ عالیِ سازمان با توجه به شرایطِ حاکم بر سازمانِ خود و هدفی که به دنبال تحقق آن است، می‌تواند یکی از دو مدل (۳) و (۵) را برای تعیین وضعیتِ عوامل دو نقشی انتخاب نماید.

جدول ٦: مقایسه‌ی عملکرد محاسباتیِ مدل‌های (۱)، (۳) و (۵)

مدل	تعداد متغیرها	تعداد محدودیت‌ها	تعداد دفعات حل	نقش *EXP*	نقش *CRE*
مدل (۱)	$s + m + 2K =$ ۹	$n + 1 =$ ۱۹	$n =$ ۱۸ بار	خروجی	خروجی
مدل (۳)	$s + m + 2K + n + 1 =$ ۲۸	$3n + 1 =$ ۵۵	یک‌بار	خروجی	ورودی
مدل (۵)	$s + m + 2K + 3n =$ ٦۱	$3n + 1 =$ ۵۵	یک‌بار	ورودی	خروجی

در جدول شماره (۷)، نمره ارزیابی عملکرد واحدها با استفاده از وزن‌های مشترکِ به‌دست‌آمده از مدل‌های پیشنهادی (۳) و (۵) به همراه مینیمم، ماکزیمم، میانگین، دامنه‌ی تغییرات و انحراف‌معیار نمرات، ارائه شده است. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، فرمول‌بندی مدل (۳) برای مواقعی پیشنهاد می‌گردد که مدیریت عالی قصد داشته باشد از اُفتِ بیش‌ازحد عملکرد ضعیف‌ترین عضوِ مجموعه ممانعت نماید. از طرف دیگر به‌کارگیری مدل (۵) در مواقعی مناسب است که تعیین وضعیتِ عوامل دونقشی باهدف ممانعت از پراکندگی بیش‌ازحد نمره‌ی عملکرد واحدهای یک مجموعه مدنظر باشد. به عبارت بهتر مدلِ 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 به‌دست‌آمده از دو رویکرد فوق، موارد مذکور را تأیید می‌کند. همان‌طور که دیده می‌شود، نمره‌ی عملکرد ضعیف‌ترین عضو مجموعه با استفاده از نتایج مدل پیشنهادیِ (۳) برابر با ۰/۷۰۲۸ است که این عدد در مقایسه با مقدار متناظرش در مدل (۵)، یعنی ۰/۶۵۴۶، بیشتر است. به‌بیان‌دیگر 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 انتظار می‌رفت؛ انحراف معیار نمره عملکرد واحدها بر اساس مدل پیشنهادی (۵) برابر با ۰/۰۳۹۷ است که در مقایسه با انحراف معیار نمره عملکرد حاصل از مدل پیشنهادی (۳)، یعنی ۰/۰۴۵۷، کمتر است. این موضوع نشان می‌دهد در صورت استفاده از مدل (۵) نمره عملکرد واحدها، همگن‌تر به‌دست خواهد آمد.

نکته‌ی جالب‌توجه دیگری که می‌توان به آن اشاره کرد، وضعیت تغییر تعداد واحدهای کارا با تغییر ابعادِ مسئله است. در این راستا، لازم است تأکید شود که تعداد متغیرهای تصمیم و محدودیت‌ها (که نشان‌دهنده‌ی ابعاد مسئله هستند) در تمامیِ مدل‌های مبتنی بر تحلیل پوششیِ 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 ارزیابی‌شده و قدرت تفکیک‌کنندگیِ 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. ازآنجاکه مدل‌های پیشنهادیِ (۳) و (۵) از این الگوی وزن‌های مشترک بهره می‌برند، می‌توان گفت که اگر از اوزان مشترک به‌دست‌آمده از این مدل‌ها جهت محاسبه‌ی کاراییِ واحدهای تصمیم‌گیرنده استفاده شود، با تغییر ابعاد مسئله تعداد واحدهای کارا نیز به‌صورت 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	۰/٦٨٥٦
۲	۰/۹۰۵۱	۰/٨٧٧٩

DMU	نمره ارزیابی عملکرد مبتنی بر نتایج مدل (۳)	نمره ارزیابی عملکرد مبتنی بر نتایج مدل (۵)
۳	۰/۹۳۳۵	۰/۷۹۸٤
٤	۰/۸۸۸۳	۰/۸۵۲۲
٥	۰/۸۲٤۳	۰/۸٤۳۷
٦	۰/۹۲۹٤	۰/۸۷٦۲
۷	۰/۷۹٦۸	۰/۸۳۲۸
۸	۰/۹۰۰۳	۰/۸۳۲٤
۹	۰/۹۰۰۸	۰/۸٦۲۳
۱۰	۰/۷۱۱٦	۰/٦٥٤٦
۱۱	۰/۷۹٥۳	۰/۷۷٤۹
۱۲	۰/۷٤۹۸	۰/۷۹٦٥
۱۳	۱/۰۰۰۰	۰/۸۳٦٦
۱٤	۰/۹٥۹۹	۰/۸٥٦۰
۱٥	۰/۹٥۸٦	۰/۸۹۷۰
۱٦	۰/۹۲۸٦	۰/۸۱۱۸
۱۷	۰/۸۸۳۳	۰/۸۱۱۸
۱۸	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰
مینیمم	۰/۷۰۲۸	۰/٦٥٤٦
ماکزیمم	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰
میانگین	۰/۸۷٦۰	۰/۸۲۷۸
دامنه‌ی تغییرات	۰/۲۹۷۲	۰/۳٤٥٤
انحراف معیار	۰/۰۸۹٥	۰/۰۷۳٦

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هدف این مقاله ارائه مدل‌هایی برای تعیین وضعیتِ عوامل دونقشی در فرایند ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده با تمرکز بر دو رویکرد جدید بود. پیش‌فرض اصلیِ هر دو رویکرد آن بود که واحدهای تحت بررسی، زیرمجموعه‌های یک سازمان کلان با مدیریت واحد هستند. در رویکرد اول از این اصل ثابت‌شده‌ی مدیریت عملکرد استفاده‌شده که توانِ 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 اُفتِ بیش‌ازحد عملکرد ضعیف‌ترین عضو مجموعه ممانعت شود.

در رویکرد دوم همگن‌سازیِ نمرات عملکرد واحدهای تحت بررسی مدنظر بوده است، در این راستا، تعیین وضعیت عوامل دونقشی به نحوی صورت می‌پذیرد که از پراکندگیِ بیش‌ازحد نمرات عملکرد واحدها ممانعت شود. به‌منظور اعتبارسنجیِ مدل‌های پیشنهادی، داده‌های مربوط به ۱۸ تأمین‌کننده در حضور دو عامل ورودی، سه عامل خروجی و دو عامل دونقشی مورداستفاده قرار گرفت. پس از حل مدل‌های مذکور وضعیت هر یک از عوامل دونقشی توسط دو مدل پیشنهادی، متفاوت به دست آمد که تأییدی 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 ازجمله: به‌صرفه نبودن ازنظر محاسباتی، به بُن‌بست خوردنِ فرایند شمارش وضعیت‌ها (زمانی که فراوانیِ نقش‌های تعیین‌شده برابر باشد)، بخشی‌نگر بودن این رویکرد و عدم توجه به نگرش تصمیم‌گیرندگان. در مدل‌های پیشنهادی این تحقیق که مبتنی بر اصول پذیرفته‌شده مدیریت ارائه شدند؛ سعی شد که ایرادات مذکور برطرف شود و همه واحدهای تصمیم‌گیرنده در تعیین وضعیت عامل دونقشی دخالت داشته باشند. همچنین کاهش قابل‌ملاحظه حجم محاسبات برای تعیین وضعیت عامل دونقشی در مدل‌های پیشنهادی را نیز می‌توان از مزایای این پژوهش برشمُرد. این پژوهش دارای سه محدودیت مختلف بود؛ اول اینکه تشخیص و انتخابِ دقیقِ عامل عملکردیِ دونقشی با قطعیت امکان‌پذیر نیست، چراکه ممکن است انتخابی که از سوی یک تصمیم‌گیرنده انجام می‌شود توسط تصمیم‌گیرندگان دیگر موردانتقاد قرار گیرد. دومین محدودیتی که در رویکرد پیشنهادی وجود دارد عدم امکان برآورده‌کردن هم‌زمانِ نگرش‌های رقابتی یا مشارکتیِ واحدهای تحت ارزیابی، در فرایند تعیین وضعیت عوامل دونقشی، است. به بیان دقیق‌تر باوجوداینکه 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 دیگری برای مدل‌های پیشنهادی است که در این صورت لازم است با یک رویکرد تعاملی با خبرگان

نسبت به تصمیم نهایی اقدام نمود. به‌عنوان پیشنهادهای پژوهشی برای آینده، می‌توان مواردی چون توسعه یا اصلاح مدل‌های پیشنهادی جهت مواجهه با داده‌های نادقیق، فرمول‌بندی مدل‌هایِ غیرشعاعی و توسعه‌ی مدل‌ها به حالت تحلیل پوششیِ داده‌های شبکه‌ای اشاره نمود.

تعارض منافع

تعارض منافع ندارم.

ORCID

Esmaeil 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

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

References

2. 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.
3. 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.
4. 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
5. 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
6. 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
7. Beasley, J. E. (1990). Comparing university departments. *Omega*, 18(2), 171–183, https://doi.org/10.1016/0305-0483(90)90064-G
8. 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.
9. 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
10. 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).

11. 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
12. 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
13. 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
14. 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
15. 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
16. 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
17. 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
18. 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
19. 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
20. 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
21. 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

22. 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
23. 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
24. 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
25. 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
26. 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
27. 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
28. 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
29. 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
30. 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
31. 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
32. 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

33. 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

34. 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

35. 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

36. 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)

1. 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.

استناد به این مقاله: کشاورز، اسماعیل.، شول، عباس.، فلاح تفتی، علی. (۱۴۰۳). تعیین کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها درحضور عامل‌های عملکردی دونقشی، *مطالعات مدیریت صنعتی*، *۲۲(۷۳)*، ۱۴۳-۱۸۴. DOI: 10.22054/jims.2024.80057.2920

Industrial Management Studies is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.