Industrial Management Studies
Vol. 21, No.69, Summer 2023; P 235-270
jims.atu.ac.ir
DOI: 10.22054/jims.2023.46558.2381

ATU PRESS

Original Research
Accepted: 29/08/2023
Received: 26/09/2019
eISSN: 2476-602X
ISSN: 2251/8029

Centralized DEA Approach to Assess Efficiency Scores of Bank Branches with Foreign Exchange Transactions

Fereshteh Koushki *

Assistant Professor, Department of Mathematics, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

Abstract

It is inevitable for a manager to consider the performance effects of each component of a multi-stage financial equity capital. These components serve as inputs in the first stage to raise investments. The investments, as outputs of the first stage, become inputs for the second stage and are used in bank services, such as bank facilities, which are outputs of the second stage. Therefore, when evaluating bank performance, the connectivity between the stages must be considered; otherwise, efficiency may not be calculated correctly. Traditional methods often assess multi-stage systems as black boxes, neglecting the potential connectivity that may exist among the stages. We delve into the system and propose models to improve overall efficiency and the efficiency of each stage. Additionally, the continuity and relationships among stages introduce numerous variables and constraints to linear programming for evaluating the entire system. A centralized approach calculates the efficiency score of units simultaneously by solving only one linear programming problem, significantly reducing computational complexity. This approach, especially in large organizations, is commonly employed by central managers. In this paper, we introduce a centralized method for evaluating units with a multi-stage structure. We apply the proposed models to evaluate the efficiencies of bank branches and insurance companies, demonstrating the superiority of the improved network approach and centralized method in enhancing overall system efficiency. Bank branches typically have a two-stage structure, involving labor, physical capital, and other factors.

Introduction

Bank branches operate under the supervision of a central management team. The central manager, acting as the decision-maker, allocates resources such

* Corresponding Author: : fkoushki@gmail.com
How to Cite: Koushki, F. (2023). Centralized DEA Approach to Assess Efficiency Scores of Bank Branches with Foreign Exchange Transactions, *Industrial Management Studies, 21(69),* 235-270.

as labor and financial equity capital as inputs for these branches. The goal is to optimize the overall efficiency of the branches by minimizing the total consumption of resources while maximizing the desired outputs, such as security investments. A common approach to enhancing the performance of banks involves evaluating each branch separately. However, this method does not guarantee the minimization of total resource consumption and can be time-consuming. Since all bank branches are under the control of central management, the decision-maker can optimize the efficiency scores of branches by allocating resources to them simultaneously. This approach, known as centralized Data Envelopment Analysis (DEA), is particularly relevant when certain variables are controlled by a central authority, such as a Head Office, rather than individual unit managers. DEA is a mathematical programming technique used to assess the performance of homogeneous Decision Making Units (DMUs). However, in cases where DMUs have a network structure, such as banks, where the outputs of one division or sub-process serve as inputs for the next sub-process, traditional DEA models treat two-stage DMUs as black boxes and overlook potential connectivity among the stages. In our approach, we consider the internal activities within the system and propose a non-radial model to optimize multi-stage DMUs by taking into account the connectivity among the stages. Furthermore, in previous network DEA models, constraints related to intermediate activities were treated as inequalities, which, as we will demonstrate in this paper, can lead to contradictions in optimality. We address this issue by carefully considering the connectivity among stages. The presence of connectivity among stages introduces numerous variables and constraints to the corresponding model. This model, when used to measure the overall efficiency scores of all DMUs, would traditionally require solving as many problems as there are DMUs, which can be highly time-consuming. In our paper, we introduce a centralized approach that measures the efficiency scores of multi-stage structure DMUs by solving only one linear programming problem. We have applied these proposed models to evaluate bank branches and insurance companies. This approach provides a more comprehensive and efficient way to assess and improve the performance of multi-stage organizations like banks, taking into account the interconnected nature of their operations.

Methodology

We employ the Data Envelopment Analysis approach to evaluate systems with a multi-stage structure, often referred to as a network structure. Traditional DEA models treat two-stage DMUs as black boxes and overlook the potential for connectivity among these stages. In contrast, we delve into the internal activities of the system and propose a model that optimizes

multi-stage DMUs by considering the interconnections among the stages. Moreover, in previous models designed to assess network systems, constraints related to intermediate activities were typically treated as inequalities, which could lead to inconsistencies in optimization. In our approach, we enhance these constraints associated with intermediate activities to ensure more robust optimization. Additionally, we apply a centralized approach to allocate resources to DMUs, allowing for the simultaneous optimization of the efficiency scores of all DMUs through the solution of a single linear programming problem. This centralized method streamlines resource allocation and improves the overall efficiency of the DMUs.

Results

We evaluated 20 bank branches, treating them as 20 DMUs with a two-stage structure. In the first stage, inputs included paid interest, personnel costs, paid interest related to foreign currency transactions, and personnel costs related to foreign currency transactions. The first stage produced intermediate outputs in the form of raised funds and raised funds related to foreign currency transactions. In the second stage, the outputs consisted of loans and common incomes. Notably, some loans in the second stage might become non-performing, where borrowers are unable to make full or even partial repayments. To address this, we considered non-performing loans as undesirable or bad outputs and transformed them into inverse values to treat them as good outputs. To calculate the efficiency scores of the bank branches, we employed both our improved network model and the traditional DEA approach. Our network-based method revealed that many of the bank branches under evaluation were inefficient, in contrast to the traditional method, which inaccurately identified many of the bank branches as efficient. Subsequently, we extended our network method to a centralized case, significantly reducing computation time. The network-based assessment of bank branches took nearly 5 seconds, whereas solving the centralized model required only 0.1 second. In addition to evaluating bank branches, we applied our methods to assess insurance companies. The results demonstrated that our model provided more accurate efficiency scores compared to previous network-based approaches.

Conclusion

In multi-stage production systems, the production process comprises several stages. Banks, for example, operate with a network structure in which labor, physical capital, and financial equity capital serve as inputs in the first stage to generate deposits as intermediate outputs. In the second stage, these banks utilize the deposits obtained from the first stage to create loans and security

investments. We have introduced models to assess the efficiency of each stage, whether it's the first, intermediate, or final stage, individually. Additionally, we have developed a non-radial SBM model designed for evaluating DMUs with multi-stage structures. The Centralized DEA approach is a valuable method for central managers, particularly in large organizations like bank branches, to allocate resources effectively. We have extended our network-based method to a centralized approach, allowing us to calculate efficiency scores by solving just one linear programming problem. The results obtained from applying our proposed models to evaluate bank branches and insurance companies, both exhibiting network structures as DMUs, demonstrate the superiority of the network centralized approach over previous models.

Keywords: DEA, Network DEA, Centralized DEA

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مقاله پژوهشی

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۰۷/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۰۷

ISSN: 2251/8029

eISSN: 2476-602X

مطالعات مدیریت صنعتی
سال بیست و یکم، شماره ۶۹، تابستان ۱۴۰۲، ص ۲۳۵ تا ۲۷۰
jims.atu.ac.ir
DOI: 10.22054/jims.2023.46558.2381

روش تحلیل پوششی داده‌های متمرکز برای اندازه‌گیری مقادیر کارایی شعب ارزی بانک‌ها

فرشته کوشکی * استادیار، گروه ریاضی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

چکیده

در نظر گرفتن تأثیر عملکرد هر جزء از یک سیستم چندمرحله‌ای بر کارایی کل آن برای مدیران اجتناب‌ناپذیر است. شعب بانک‌ها ساختار دومرحله‌ای دارند که در آن نیروی انسانی، تجهیزات و سرمایه مالی ورودی‌های مرحله اول برای افزایش موجودی می‌باشند. موجودی به‌عنوان خروجی مرحله اول است که به‌عنوان ورودی مرحله دوم برای انجام خدمات بانک ازجمله تسهیلات بانکی که خروجی مرحله دوم هستند به کار می‌رود. پس برای ارزیابی عملکرد بانک ارتباط بین مراحل سازنده آن باید در نظر گرفته شود در غیر این صورت کارایی به‌درستی محاسبه نمی‌شود. روش‌های سنتی سیستم‌های چندمرحله‌ای را به‌صورت یک جعبه سیاه ارزیابی می‌کند و ارتباطی که ممکن است بین مراحل موجود باشد را نادیده می‌گیرد. ما به درون سیستم می‌نگریم و مدل‌هایی برای بهبود کارایی کل و کارایی مراحل پیشنهاد می‌کنیم. به‌علاوه، پیوستگی و ارتباط موجود بین مراحل متغیرها و محدودیت‌های زیادی را به برنامه‌ریزی خطی در ارزیابی سیستم تحمیل می‌کند. روش متمرکز نمره کارایی واحدها را به‌طور هم‌زمان با حل فقط یک برنامه‌ریزی خطی محاسبه می‌کند و باعث کاهش قابل‌توجه محاسبات می‌شود. این روش برای تخصیص منابع به‌ویژه در سازمان‌های بزرگ که در آن زیر واحدها تحت نظارت یک مدیریت اصلی قرار دارند عموماً توسط مدیر مرکزی استفاده می‌شود. در این مقاله یک روش متمرکز برای ارزیابی واحدهای با ساختار چند مرحله‌ای معرفی می‌شود. مدل‌های پیشنهادی برای ارزیابی کارایی شعب بانک و شرکت‌های بیمه به کار می‌رود. برتری روش شبکه بهبودیافته و روش متمرکز نشان داده می‌شود.

کلیدواژه‌ها: تحلیل پوششی داده‌ها، تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای، تحلیل پوششی داده‌های متمرکز.

* نویسنده مسئول: fkoushki@gmail.com

مقدمه

شعب بانک تحت نظارت یک مدیریت مرکزی می‌باشند. مدیر مرکزی به‌عنوان یک تصمیم‌گیرنده منابع (کارکنان، سرمایه مالی و مانند آن) را به‌عنوان ورودی‌های سیستم تخصیص می‌دهد و تمایل به بهینه‌سازی کارایی کل شعب از طریق کمینه‌سازی مصرف ورودی کل و بیشینه‌سازی خروجی مطلوب کل (مانند موجودی حساب‌ها) دارد. برای بهبود کارایی شعب یک روش معمول ارزیابی آن‌ها به‌طور مجزا باهدف کمینه‌سازی مصرف منابع در یک شعبه یا بیشینه‌سازی خروجی مطلوب آن است. این روش ارزیابی جداگانه واحدها تضمینی بر کمینه‌سازی کل منابع مصرفی شعب و یا بیشینه‌سازی خروجی مطلوب کل ندارد و نیز زمان‌بر است. ازآنجایی‌که کلیه شعب تحت نظارت یک مدیریت مرکزی هستند، تصمیم‌گیرنده مرکزی می‌تواند با تخصیص کل منابع به‌طور هم‌زمان بین شعب کارایی هر شعبه را بیشینه کند به‌طوری‌که مصرف کلی منابع کمینه یا خروجی مطلوب کلی شعب بیشینه شود. یک شیوه برای بهبود کارایی کلی تمام واحدها به‌طور هم-زمان روش تحلیل پوششی داده‌های متمرکز[1] نام دارد که ضمن بهینه‌سازی کارایی‌های واحدها هم‌زمان میزان منابع مصرفی کل را کمینه می‌کند و در سازمان‌هایی که تحت کنترل و نظارت مدیریت مرکزی می‌باشند توسط تصمیم‌گیرنده مرکزی استفاده می‌شود. (Lozano & Villa, 2004)

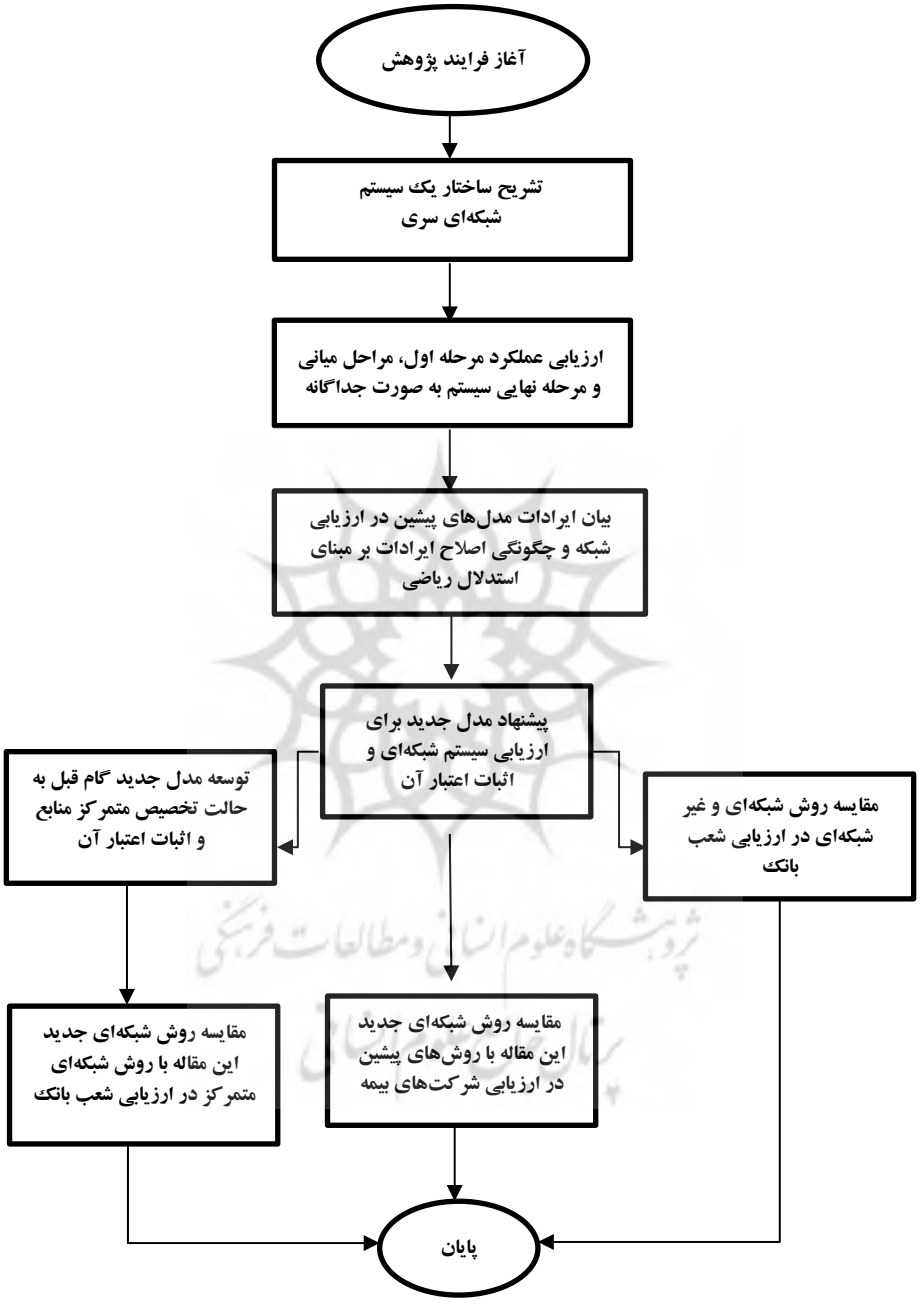
تحلیل پوششی داده‌ها[2] یک تکنیک ناپارامتری بر مبنای برنامه‌ریزی ریاضی برای ارزیابی عملکرد واحدهای تصمیم‌گیرنده[3] متجانس است. از سویی، در بسیاری از موارد تولید یک کالا یا انجام خدمات طی یک فرایند چندمرحله‌ای صورت می‌گیرد به‌طوری-که خروجی یک مرحله ورودی مرحله بعدی می‌باشد؛ مانند شعب بانک‌ها با ساختار دومرحله‌ای که در آن نیروی انسانی، تجهیزات و سرمایه مالی ورودی‌های مرحله اول برای افزایش موجودی می‌باشند. موجودی به‌عنوان خروجی مرحله اول است که به‌عنوان

1. Centralized Data Envelopment Analysis
2. Data Envelopment Analysis (DEA)
3. Decision Making Units (DMUs)

ورودی مرحله دوم برای انجام خدمات بانک ازجمله تسهیلات بانکی که خروجی مرحله دوم هستند به کار می‌رود. به خروجی مرحله اول (یا مراحل میانی) تولید میانی نیز گفته می‌شود. در سیستم‌های تولیدی با ساختار چندمرحله‌ای عملکرد کلی و نیز عملکرد تک‌تک مراحل باید بهبود یابد. (Fare & Primont, 1984)

این مقاله به ارزیابی واحدهای چندمرحله‌ای با استفاده از DEA می‌پردازد. مدل‌های معمول DEA واحد دومرحله‌ای را به‌صورت یک جعبه سیاه در نظر گرفته و پیوستگی بین مراحل را نادیده می‌گیرد. در این مقاله فعالیت‌های میانی سیستم را نیز در ارزیابی آن لحاظ می‌کنیم. مدل پیشنهادی مدیران را در شناسایی دقیق ناکارایی موجود در سیستم و نیز چگونگی بهبود عملکرد آن یاری می‌دهد. در روش‌های بیان‌شده در پیشینه پژوهش برای محاسبه کارایی سیستم‌های شبکه‌ای محدودیت‌های مربوط به تولیدات میانی در مدل ارزیابی سیستم به‌صورتی در نظر گرفته شده که در بهینگی امکان تناقض وجود دارد که در این مقاله اصلاح شده است. به‌علاوه، یک مدل غیر شعاعی بر مبنای متغیرهای کمکی برای ارزیابی سیستم چندمرحله‌ای پیشنهاد می‌شود. روابط میان مراحل سازنده متغیرها و محدودیت‌های بسیاری را بر مدل برنامه‌ریزی خطی تحمیل می‌کند که برای ارزیابی هر واحد باید حل شود و در کل برای تمامی سیستم‌های موجود حجم بالایی از محاسبات را ایجاد می‌کند. همان‌گونه که در بالا اشاره شد روش تحلیل پوششی داده‌های متمرکز با ارائه فقط یک مدل ضمن بهینه‌سازی کارایی سیستم، به بهینه‌سازی مصرف کل منابع می‌پردازد و باعث کاهش حجم بالای محاسبات می‌شود. ما از این روش متمرکز در کاهش حجم محاسبات در سیستم شبکه‌ای استفاده کرده‌ایم. شکل ۱ فرایند کلی اجرای تحقیق را نشان می‌دهد.

شکل ۱. فرایند اجرای پژوهش



۲. پیشینه تحقیق

در ارزیابی عملکرد واحدهای تصمیم‌گیرنده با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها تصویر واحد موردنظر بر مرز کارا تعیین می‌شود و کارایی سیستم با اصلاح مقادیر ورودی مصرفی (در حالتی که مسئله در ماهیت ورودی است) بهبود می‌یابد. آنچه موردتوجه تصمیم‌گیرنده به‌ویژه مدیر مرکزی است که تعدادی واحد تحت کنترل آن هستند و منابع کل را به واحدها تخصیص می‌دهد، تصویر کردن هم‌زمان واحدها بر مرز کارا به‌گونه‌ای است که مصرف کل کمینه گردد. این روش تخصیص متمرکز منابع نام دارد. در موضوع تخصیص متمرکز منابع، لوزانو و ویلا یک مدل DEA متمرکز را برای تصویرکردن هم‌زمان تمام واحدها بر مرز کارا فقط با حل یک برنامه‌ریزی خطی معرفی کردند که در آن هدف کمینه‌سازی کل مصرف منابع است. (Lozano & Villa 2004)

در فرایند مدل‌سازی یک سیستم برای محاسبه کارایی باید ساختار آن به‌طور دقیق موردتوجه باشد در غیر این صورت مدل چگونگی عملکرد سیستم را به‌درستی منعکس نمی‌کند. در سیستم‌های چندمرحله‌ای نحوه ارزیابی متفاوت از روش‌های معمول است و کارایی مربوط به هر زیر مرحله و نیز ارتباط بین مراحل سازنده موردتوجه است. چنین دیدگاهی اطلاعات سودمندی از عملکرد زیر مراحل در اختیار قرار می‌دهد و شناسایی ناکارایی‌های موجود در درون سیستم و اصلاح آن باعث بهبود چشم‌گیر کارایی کلی سیستم می‌شود.

در موضوع سیستم‌های چندمرحله‌ای، فار و پریمنت (۱۹۸۴)، نخستین بار DEA را برای ارزیابی عملکرد شرکت‌های متشکل از چند شعبه یا زیرشاخه به کار بردند. (Fare & Primont, 1984) فار و گروسکوف مدل‌هایی را برای اندازه‌گیری کارایی DMU های چندمرحله‌ای در حالت‌های ایستا و پویا پیشنهاد کردند. (Färe & Grosskopf, 2000,1996) در حالت پویا، عملکرد واحد موردنظر در یک دوره بر عملکرد آن در دوره بعدی مؤثر است. با در نظر داشتن تولیدات میانی، ونگ و همکاران یک مدل DEA برای اندازه‌گیری کارایی واحدهای دومرحله‌ای ارائه کردند (Wang et al.,1997). کائو و

هوانگ و چن و همکاران به ارزیابی واحد دومرحله‌ای پرداختند (Kao & Hwang, 2008 Chen et al., 2009). در اولی کارایی واحد موردنظر به‌صورت حاصل‌ضرب کارایی‌های مراحل سازنده آن و در دومی به‌صورت میانگین وزنی مراحل سازنده معرفی شد. ینگ و همکاران یک مدل غیرخطی برای محاسبه کارایی زنجیره تأمین دو عضوی به‌عنوان یک واحد دومرحله‌ای ارائه کردند. (Yang et al., 2011) پارادی و همکاران یک روش دومرحله‌ای برای تعیین بهترین تارگت[1] برای واحد تصمیم‌گیرنده ازلحاظ مختلف ازجمله موقعیت جغرافیایی و اندازه ابعاد معرفی کردند.(Paradi et al., 2011) فوکویاما و میردهقان یک مدل شبکه‌ای بر مبنای متغیرهای کمکی برای ارزیابی کل واحد و نیز مراحل سازنده آن پیشنهاد کردند(Fukuyama & Mirdehghan, 2012) . امیرتیموری و لئو به ترتیب مدل‌هایی را برای ارزیابی واحدهای دومرحله‌ای با فرض وجود خروجی نادقیق و داده‌های فازی ارائه کردند(Amirteimoori, 2013; Liu, 2013) . ونگ و همکاران روش شبکه‌ای را برای محاسبه کارایی بانک اقتصادی چین به کار بردند (Wang et al., 2014). ساهو و همکاران برای ارزیابی سیستم‌های تولیدی دومرحله‌ای دو روش پیشنهاد و توسعه دادند؛ یک روش محاسبه کارایی کل واحد بدون در نظر گرفتن مراحل سازنده به‌صورت مستقل از هم است و در روش دیگر که بر مبنای مدل پیشنهادی کائو و هوانگ می‌باشد، مراحل سازنده به‌صورت مستقل در نظر گرفته می‌شود .(Kao & Huang,2011, Sahoo et al.,2014) یک روش DEA شبکه‌ای برای اندازه‌گیری کارایی سیستم نوآوری ملی[2] و بررسی تأثیر سرمایه فکری[3] بر کارایی NIS با استفاده از روش رگرسیون بریده[4] توسط لو و همکاران ارائه شد (Lu et al., 2014) . لئو و همکاران مدل‌هایی برای ارزیابی بانک‌های چین با فرض وجود ورودی، تولیدات میانی و خروجی نامطلوب پیشنهاد کردند (Liu et al., 2015). برس و وینک به ارزیابی خطوط هوایی آفریقا، به‌عنوان واحد چندمرحله‌ای، با استفاده از روش تاپسیس پرداخت (Barros &

1. Target
2. National Innovation System
3. Intellectual Capital
4. Truncated Regression

Wanke, 2015). تاپسیس یک تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره است که یک مجموعه متناهی از واحدها را بر مبنای کمینه‌سازی فاصله تا نقطه ایدئال و بیشینه‌سازی فاصله تا نقطه آنتی ایدئال رتبه‌بندی می‌کند. در این پژوهش تاپسیس برای محاسبه کارایی نسبی خطوط هوایی آفریقا بر مبنای شاخص‌های خطوط هوایی استفاده می‌شود. چائو و همکاران یک مدل DEA شبکه‌ای پویا را برای محاسبه کارایی بانک‌های تایوان طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۱ به‌کار بردند (Chao et al., 2015) . هیو و یو روش کم‌ترین مربعات دومرحله‌ای را برای بررسی ارتباط بین کارایی عملیاتی، سرمایه و ریسک شرکت‌های بیمه تایوان طی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۹ استفاده کردند (Hu & Yu, 2015). چن و همکاران مدل DEA ترکیبی را که در آن ورودی‌ها به دو صورت شعاعی و غیرشعاعی در نظر گرفته می‌شوند، برای بررسی تأثیر وام‌های ناکارآمد بر کارایی بانک‌های تایوان طی سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰ به کار برد (Chen et al., 2015). وام‌های ناکارآمد وام‌هایی هستند که به‌طور کامل بازپرداخت نمی‌شوند. ورودی غیرشعاعی ورودی‌هایی تعریف می‌شوند که از طریق سیستم اتوماتیک مانند خودپرداز پردازش می‌شوند. چائو و همکاران یک مدل شبکه‌ای پویا بر مبنای متغیرهای کمکی برای ارزیابی فعالیت بانک تایوان به‌صورت یک فرایند تولید چندمرحله‌ای طی سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ ارائه کردند (Chao et al.,2016). فوکویاما و ماتوسک با در نظرگرفتن یک تابع درآمد که به‌صورت تفاوت بین عایدی کل و سود ازدست‌رفته مربوط به وام‌های ناکارآمد تعریف می‌شود، به ارزیابی بانک‌های ژاپن از سپتامبر ۲۰۰۰ تا مارس ۲۰۱۳ پرداختند (Fukuyama & Matousek, 2016). ونکی و همکاران با یک مدل شبکه‌ای که کارایی‌های کلی، فنی، هماهنگی و قیاسی را اندازه‌گیری می‌کند به ارزیابی سیستم بانکداری آفریقای جنوبی پرداختند (Wankea et al., 2017) . لین و همکاران کارایی کلی سیستم در یک بازه را به کارایی‌هایی در چند زیر دوره تجزیه کردند (Lin et al., 2017). این روش برای مدیران در بررسی عملکرد و نیز بهبود مقادیر ورودی، خروجی و نیز تولیدات میانی سیستم در زیر دوره موردنظر سودمند است. آن‌ها این روش را برای ارزیابی شرکت‌های بیمه چین و اروپا به کار بردند. شکری کاهی و

همکاران (۲۰۱۷) مدل DEA پویای پیشنهادشده توسط تن و سوتسویی را بهبود داده و یک مدل DEA شبکه‌ای جمعی برای ارزیابی پایداری زنجیره تأمین در چندین دوره توسعه دادند (Shokri Kahi et al. 2017 Tone & Tsutsui, 2014). در روش آن‌ها تمامی فعالیت‌ها در یک دوره وارد دوره بعدی شده و لینک‌های بین دوره‌ها بر اساس فعالیت‌های مطلوب و نامطلوب تعریف می‌شود. یک مدل DEA شبکه‌ای دومرحله‌ای تصادفی به‌صورت یک مدل برنامه‌ریزی خطی معین با فرض تصادفی بودن مقادیر ورودی، خروجی و تولیدات میانی توسط ژو و همکاران معرفی و برای ارزیابی عملکرد بانک‌ها در چین به کار برده شد (Zhou et al., 2017). کوشکی روش شبکه‌ای پویا برای ارزیابی شعب بانک پیشنهاد کرد که در آن نقدینگی از یک دوره مالی به دوره مالی بعد منتقل می‌شود (Koushki, 2017) . گالاگدرا و همکاران یک مدل شبکه‌ای را برای ارزیابی کارایی کلی و مرحله‌ای تابع مدیریت سرمایه به‌صورت یک فرایند تولید سه مرحله‌ای توسعه داد که در آن تأثیر شرایط محیطی بر تولیدات میانی سیستم در نظر گرفته شده است . (Galagedera et al., 2018) فونگ و همکاران به اندازه‌گیری کارایی کلی سیستم‌های شبکه‌ای بانکی و نیز مراحل سازنده آن با رویکرد ترکیب ساختار داخلی سری و موازی مراحل سازنده کل شبکه پرداختند (Phung et al., 2020). جدول ۱ خلاصه‌ای از تحقیقات صورت گرفته در ارزیابی واحدهای تصمیم‌گیرنده شبکه‌ای با ساختارهای مختلف، داده‌های دقیق و نادقیق، داده‌های نامطلوب و منفی، روش‌های شعاعی و غیرشعاعی، شناسایی الگو با بیش‌ترین اندازه مقیاس بهره‌وری و تعیین شاخص‌های بهره‌وری در سیستم‌های شبکه‌ای را نشان می‌دهد.

جدول ۱. مقایسه رویکردهای مختلف در ارزیابی سیستم چندمرحله‌ای

نام نویسندگان و سال چاپ	شرح مختصر
کائو و هوانگ (۲۰۰۸)	محاسبه کارایی کل به‌صورت حاصل‌ضرب کارایی مراحل سازنده سیستم
چن و همکاران (۲۰۰۹)	محاسبه کارایی کل به‌صورت میانگین وزنی مراحل سازنده
فوکویاما و میردهقان	ارزیابی شبکه بر مبنای متغیرهای کمکی

نام نویسندگان و سال چاپ	شرح مختصر
(۲۰۱۲)	
امیرتیموری (۲۰۱۳)	محاسبه کارایی سیستم با داده‌های نادقیق
تن و سوتسویی (۲۰۱۴)	روش پویا در ارزیابی شبکه بر مبنای متغیرهای کمکی
چائو و همکاران (۲۰۱۵)	روش پویا در ارزیابی سیستم
چن و همکاران (۲۰۱۵)	مدل شبکه‌ای شعاعی و غیرشعاعی در ارزیابی شعب بانک
لین و همکاران (۲۰۱۷)	تجزیه کارایی کلی سیستم در یک بازه به کارایی‌هایی در چند زیر دوره و بررسی کارایی زیربازه‌ها
شکری کاهی و همکاران (۲۰۱۷)	بهبود روش تن و سوتسویی و کاربرد آن در ارزیابی زنجیره تأمین
ژو و همکاران (۲۰۱۷)	فرض وجود داده‌های تصادفی در مدل
کوشکی (۲۰۱۸)	تعیین الگو با بیش‌ترین اندازه مقیاس بهره‌وری در سیستم شبکه‌ای
فونگ و همکاران (۲۰۲۰)	ارزیابی شبکه با ساختارهای مختلف
بانسال و مهرا (۲۰۲۲)	تعیین شاخص بهره‌وری مالمکوییست در شبکه پویا با داده‌های نامطلوب و منفی
نویسنده	اصلاح روش ارزیابی سیستم شبکه‌ای و توسعه مدل به حالت تخصیص متمرکز منابع

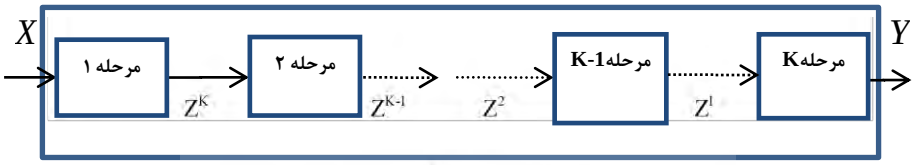
در مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های پیشین در ارزیابی سیستم شبکه‌ای محدودیت‌های مربوط به تولیدات میانی سیستم (که در یک مرحله تولید و در مرحله بعد مصرف می‌شوند) به‌صورتی در نظر گرفته شده که در بهینگی امکان تناقض وجود دارد که در این مقاله اصلاح شده است. سپس در مدل اصلاح شده روش متمرکز برای اندازه‌گیری کارایی واحدهای چندمرحله‌ای به‌کار می‌رود که با حل فقط یک برنامه‌ریزی خطی کارایی واحدها را با کمینه‌سازی مصرف کل بهینه می‌کند.

۳. روش تحقیق

در این بخش ابتدا مدل‌های ارزیابی مرحله اول، مرحله آخر و مراحل میانی سیستم چندمرحله‌ای بیان می‌شود. سپس مدل شبکه‌ای برای ارزیابی سیستم پیشنهاد می‌گردد. واحد تصمیم‌گیرنده‌ای که می‌خواهیم عملکرد آن را بررسی کنیم با DMU_o نشان

می‌دهیم. فرض کنید واحد تصمیم‌گیرنده DMU_j (به ازای $j=1,..,n$) با ساختار $K-$مرحله‌ای باشد. X_j بردار $m-$تایی ورودی مرحله اول، Y_j بردار $s-$تایی خروجی مرحله $K-$ ام و Z_j^k بردار L_k-تایی مربوط به تولیدات میانی را نشان دهد که خروجی مرحله $k-$ام به ازای $k=1,...,K-1$ است. (شکل ۲)

شکل ۲. سیستم K مرحله‌ای



دو مطلب اصلی در رابطه با سیستم چندمرحله‌ای وجود دارد: ارزیابی تک‌تک مراحل و ارزیابی کلی سیستم.

۱-۳ ارزیابی مراحل سازنده سیستم: ورودی اصلی کل شبکه همان ورودی مرحله اول است پس برای ارزیابی مرحله اول از مدل ماهیت ورودی استفاده می‌کنیم (Banker et al., 1984). خروجی اصلی کل شبکه همان خروجی مرحله آخر است پس برای ارزیابی مرحله آخر از مدل ماهیت خروجی استفاده می‌کنیم (Banker et al., 1984).

$$\theta^* = \min \theta$$
$$s.t. \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 X_j \le \theta X_o$$
$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 Z_j^1 \ge Z_o^1$$
$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 = 1$$
$$\lambda^1 \ge 0 \qquad (2)$$

$$\varphi^* = \max \varphi$$
$$s.t. \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^K Z_j^{K-1} \le Z_o^{K-1}$$
$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^K Y_j \ge \varphi Y_o$$
$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^K = 1$$
$$\lambda^K \ge 0 \qquad (۱)$$

اما مراحل میانی را چگونه ارزیابی کنیم؟

مدل‌های (۱) و (۲) در ماهیت ورودی یا خروجی هستند که باهدف کمینه‌سازی مقادیر ورودی (ماهیت ورودی) یا بیشینه‌سازی مقادیر خروجی (ماهیت خروجی) به ارزیابی سیستم می‌پردازند. امّا در مراحل میانی سیستم، خروجی یک مرحله همان ورودی مرحله بعدی است پس نمی‌توان هم‌زمان آن را کمینه و بیشینه ساخت. تن یک مدل بر مبنای متغیرهای کمکی[1] برای اندازه‌گیری کارایی به‌صورت زیر ارائه کرد که در آن S^- و S^+ متغیرهای کمکی هستند (Tone, 2001). DMU_o کارا است اگر و فقط اگر $\rho^* = 1$.

$$
\begin{aligned}
\rho^* = \min \quad & \frac{1-\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\frac{s_i^-}{x_{io}}}{1+\frac{1}{s}\sum_{r=1}^{s}\frac{s_r^+}{y_{ro}}} \\
s.t. \quad & \sum_{j=1}^{n}\lambda_j X_j + S^- = X_o \\
& \sum_{j=1}^{n}\lambda_j Y_j - S^+ = Y_o \\
& \sum_{j=1}^{n}\lambda_j = 1 \\
& S^-, S^+, \lambda \geq 0
\end{aligned}
\qquad (۳)
$$

بنابراین در ارزیابی مراحل میانی مدل (۳) را که بر مبنای متغیرهای کمکی است به‌کار می‌بریم. Z_j^{k-1} و Z_j^k به ترتیب بردارهای ورودی و خروجی مرحله $k-$ ام به ازای $k = 1,\ldots,K-1$ هستند؛ بنابراین مدل (۳) در ارزیابی مرحله میانی $k-$ ام به‌صورت زیر است:

1. Slack

$$\rho_k^* = \min \quad \frac{1-\frac{1}{L_{k-1}}\sum_{l=1}^{L_{k-1}}\frac{s_l^{-k}}{z_{lo}^{k-1}}}{1+\frac{1}{L_k}\sum_{l=1}^{L_k}\frac{s_l^{+k}}{z_{lo}^{k}}}$$

$$s.t.\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^k Z_j^{k-1} + S^{-k} = Z_o^{k-1} \qquad (۴)$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^k Z_j^{k} - S^{+k} = Z_o^{k}$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^k = 1$$

$$S^{-k}, S^{+k}, \lambda^k \geq 0$$

۲-۳ ارزیابی کلی سیستم چندمرحله‌ای و ارائه مدل‌های جدید: ابتدا قیود و محدودیت‌های مسئله را بررسی می‌کنیم. به درون سیستم می‌نگریم. چه فرایندی وجود دارد؟ خروجی یک مرحله ورودی مرحله بعدی است؛ یعنی تولیدات میانی در سیستم داریم. پس می‌بایست آن‌ها را نیز در ارزیابی سیستم لحاظ کنیم. Z_j^k بردار مربوط به تولیدات میانی سیستم است که در یک مرحله تولید و در مرحله بعد مصرف می‌شوند. خروجی مرحله k به ازای $k = 1,\ldots,K-1$ ورودی مرحله بعدی است.

تساوی‌های (۵) $Z^k = \sum_{j=1}^{n}\lambda_j^k Z_j^k$, $Z^k = \sum_{j=1}^{n}\lambda_j^{k+1} Z_j^k$ این ویژگی پیوستگی و سری بودن مراحل را نشان می‌دهد. این ویژگی در مدل‌های مقالاتی که برای ارزیابی واحدهای چندمرحله‌ای ارائه شده‌اند به‌صورت $\sum_{j=1}^{n} z_j\lambda_j^{k+1} \leq z_0$, $\sum_{j=1}^{n} z_j\lambda_j^{k} \geq z_0$ (۶) در نظر گرفته شده که در بهینگی امکان تناقض در آن وجود دارد. برای توضیح بیشتر لم زیر را در نظر بگیرید.

لم ۱. قیود مربوط به تولیدات میانی و فعالیت‌های درونی سیستم به‌صورت یکی از حالت-های زیر می‌باشد:

$$Z_0^k + S^k = \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^k Z_j^k \quad , Z_0^k + S^k = \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{k+1} Z_j^k \qquad k = 1,\ldots, K-1$$

یا

$$\alpha_k Z_0^k = \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^k Z_j^k \ , \qquad \alpha_k Z_0^k = \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{k+1} Z_j^k \qquad k = 1,\ldots, K-1$$

برهان. از نامساوی‌های (۶) در بهینگی نتیجه می‌شود:

$$\sum_{j=1}^{n} z_j \lambda^{*k}_j - S^{*+} = z_0 \quad , \quad \sum_{j=1}^{n} z_j \lambda^{*k+1}_j + S^{*-} = z_0 \quad (۷)$$

بنابراین در بهینگی داریم: $\sum_{j=1}^{n} z_j \lambda^{*k}_j = z_0 + S^{*+}$, $\sum_{j=1}^{n} z_j \lambda^{*k+1}_j = z_0 - S^{*-}$.

دو حالت زیر را در نظر می گیریم:

I. $\boldsymbol{S}^{*-} = \boldsymbol{S}^{*+} = \vec{\mathbf{0}}$.یعنی در جواب بهینه مقادیر تولیدات میانی سیستم تغییر نکرده‌اند. درصورتی‌که اصلاح ورودی اولیه و خروجی نهایی سیستم برای رسیدن به کارایی بهتر در اغلب موارد منجر به تغییر تولیدات میانی نیز خواهد شد.

II. فرض کنید $\boldsymbol{S}^{*-} = \vec{\mathbf{0}}, \boldsymbol{S}^{*+} \neq \vec{\mathbf{0}}$.بنابراین خروجی یک مرحله یعنی $z_0 + S^{*+}$ برابر با ورودی مرحله بعدی یعنی $z_0 - S^{*-}$ نیست که متناقض با متوالی بودن ساختار شبکه است. حالت‌های دیگر غیرصفر بودن متغیرهای کمکی نیز به نتیجه مشابه می‌رسد.

دو ایراد فوق که مربوط به مدل‌های پیشین است به دو صورت قابل اصلاح است:

۱) قیود $Z_0^k + S^k = \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^k Z_j^k$, $Z_0^k + S^k = \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{k+1} Z_j^k$ را در نظر بگیرید که S^k بردار با مقادیر آزاد در علامت است. فرض کنید $Z_0^k + S^{*k}$ مقدار بهینه تولید میانی مرحله $k-$ ام سیستم است. پس با بهبود مقادیر ورودی اولیه و خروجی نهایی

سیستم، مقادیر تولیدات میانی نیز امکان تغییر دارند و نیز این تغییر یعنی بردار S^{*k} برای هر دو قید یکسان است که ویژگی سری بودن سیستم را نیز حفظ می‌کند.

۲) قیود $\alpha_k Z_0^k = \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^k Z_j^k$, $\alpha_k Z_0^k = \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{k+1} Z_j^k$ را در نظر بگیرید. در این حالت نیز تولیدات میانی در طی فرایند بهبود کارایی سیستم امکان بهبود دارند که این مقدار بهبود به اندازه ضریب مثبت α_k است ونیز ویژگی سری بودن سیستم در قیود لحاظ شده است. ■

پس برای رفع ایرادات ذکرشده یکی از حالت‌های فوق را در مدل‌سازی سیستم در نظر می‌گیریم. فرض کنید حالت دوم را در مدل (۳) لحاظ کنیم. با این توضیحات مدل پیشنهادی ما در ارزیابی واحد چندمرحله‌ای به‌صورت زیر است.

$$\rho^*_{overall} = \min \quad \frac{1-\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\frac{s_i^-}{x_{io}}}{1+\frac{1}{s}\sum_{r=1}^{s}\frac{s_r^+}{y_{ro}}}$$

$$s.t. \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 X_j + S^- = X_o$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^k Z_j^k = \alpha_k Z_o^k \qquad k = 1,\ldots,K-1$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{k+1} Z_j^k = \alpha_k Z_o^k \qquad k = 1,\ldots,K-1 \qquad (8)$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^K Y_j - S^+ = Y_o$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^k = 1 \qquad k = 1,\ldots,K$$

$$S^-, S^+, \lambda^k \geq 0 \qquad k = 1,\ldots,K$$

$\{\lambda_o^k = 1, \lambda_j^k = 0, S^- = 0, S^+ = 0, \alpha_k = 1\}$ به ازای
$k = 1, ..., K, j = 1, .., n, j \neq o$ یک جواب مدل فوق است و شدنی بودن آن را نشان می‌دهد.

قضیه ۱. واحد تصمیم‌گیرنده DMU_o که با مدل (۸) ارزیابی می‌شود کارا است اگر و فقط اگر. $\rho^*_{overall} = 1$

برهان. فرض کنید $\{\lambda_j^{k*}, S^{-*}, S^{+*}, \alpha_k^*\}$ به ازای $k = 1, \dots, K, j = 1, \dots, n$
جواب بهینه مدل (8) در ارزیابی DMU_o باشد.

اگر DMU_o کارا باشد پس مقدار لازم برای بهبود مقادیر ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم برابر با صفر است. بن؛ راین داریم:

$s_i^{-*} = 0\ s_r^{+*} = 0\ i = 1, \dots, m\ ,\quad r = 1, \dots, s$

پس با توجه به فرمول $\rho^*_{overall}$ داریم: $\rho^*_{overall} = 1$.

بالعکس، اگر داشته باشیم $\rho^*_{overall} = 1$ آن‌گاه

$$1 - \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\frac{s_i^{-*}}{x_{io}} = 1 + \frac{1}{s}\sum_{r=1}^{s}\frac{s_r^{+*}}{y_{ro}}$$

درنتیجه داریم $\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\frac{s_i^{-*}}{x_{io}} + \frac{1}{s}\sum_{r=1}^{s}\frac{s_r^{+*}}{y_{ro}} = 0$. بنابراین نتیجه؛ ی‌شود:

$s_i^{-*} = 0\ s_r^{+*} = 0\ i = 1, \dots, m\ ,\ r = 1, \dots, s.$

به این معنی که در جواب بهینه مدل (۸) مقدار لازم برای بهبود ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم برابر با صفر است پس واحد DMU_o کارا است.

مدل (8) یک برنامه‌ریزی خطی با تعداد زیادی متغیر و محدودیت است. از سوی دیگر، این مدل باید n بار برای ارزیابی تمام واحدها حل شود. پس حجم محاسبات بالاست. از طرفی، شعب بانک تحت نظارت یک مدیر مرکزی هستند که منابع کل را بین شعب توزیع می‌کند. یک روش در تحلیل پوششی داده‌ها برای توزیع بهینه و هم‌زمان کل منابع بین واحدها روش متمرکز است.

قبلاً ذکر شد که لوزانو و ویلا روش متمرکز را برای تصویر نمودن هم‌زمان تمام واحدها بر مرز کارا با حل فقط یک برنامه‌ریزی خطی پیشنهاد کردند. این مدل به‌صورت زیر است:

$$
\begin{aligned}
&\min \theta \\
&s.t. \sum_{o=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\lambda_{oj}X_{j} \le \theta\sum_{o=1}^{n}X_{o} \\
&\sum_{o=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\lambda_{oj}Y_{j} \ge \sum_{o=1}^{n}Y_{o} \\
&\sum_{j=1}^{n}\lambda_{oj} = 1 \quad o = 1,...,n \\
&\lambda_{oj} \ge 0 \qquad o = 1,...,n \quad j = 1,...,n
\end{aligned}
\tag{9}
$$

در مدل بالا در محدودیت‌های مربوط به ورودی‌ها جمع کل ورودی‌ها در دو طرف نامساوی را ملاحظه می‌کنیم که بیان‌گر تخصیص هم‌زمان منابع بین واحدهاست و نیز جمع روی خروجی‌ها بیانگر در نظرگرفتن کل خروجی‌های واحدها می‌باشد؛ بنابراین در مدل (9) مجموع مقادیر ورودی تمام واحدها هم‌زمان کمینه‌سازی شده و ورودی و خروجی کل بهینه می‌شود. به دلیل توزیع هم‌زمان و بهینه کل ورودی‌ها و منابع بین تمام واحدها، این مدل را روش متمرکز در تحلیل پوششی داده‌ها گویند که در آن تعداد قیود مسئله و درنتیجه حجم محاسبات کاهش چشم‌گیری یافته است. اگر این شیوه متمرکز را در مدل (۸) اعمال کنیم مدل شبکه‌ای متمرکز به‌صورت زیر پیشنهاد می‌شود:

$$\rho^* = \min \quad \frac{1-\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\frac{s_i^-}{x_{io}}}{1+\frac{1}{s}\sum_{r=1}^{s}\frac{s_r^+}{y_{ro}}}$$

$$s.t. \sum_{o=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\lambda_{oj}^{1}X_j + S^- = \sum_{o=1}^{n} X_o$$

$$\sum_{o=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\lambda_{oj}^{k-1}Z_j^{k-1} = \alpha_k \sum_{o=1}^{n} Z_o^k \quad k=2,...,K$$

$$\sum_{o=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\lambda_{oj}^{k}Z_j^{k-1} = \alpha_k \sum_{o=1}^{n} Z_o^k \quad k=2,...,K$$

$$\sum_{o=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\lambda_{oj}^{K}Y_j - S^+ = \sum_{o=1}^{n} Y_o$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_{oj}^{k} = 1 \qquad k=1,...,K \ , \ o=1,...,n$$

$$S^-, S^+, \lambda_{oj}^{k} \geq 0 \qquad k=1,...,K \ , \ o=1,...,n \qquad (۱۰)$$

فرض کنید $\left\{(\lambda_{o1}^{1\,*},...,\lambda_{on}^{1\,*})\right\}_{o=1,...,n}$ و $\left\{(\lambda_{o1}^{K\,*},...,\lambda_{on}^{K\,*})\right\}_{o=1,...,n}$ جواب بهینه مدل فوق باشد. تارگت[1] متناظر با DMU_o به‌صورت زیر محاسبه می‌شود

$$X_o^* = \sum_{j=1}^{n}\lambda_{oj}^{1\,*}X_j \qquad Y_o^* = \sum_{j=1}^{n}\lambda_{oj}^{K\,*}Y_j \qquad (۱۱)$$

قضیه ۲. تارگت حاصل از تساوی‌های (۱۱) طبق مدل (۸) کارا است.

برهان. اگر تارگت حاصل از رابطه (۱۱) طبق مدل (۸) کارا نباشد پس $\rho_{overall}^* < 1$. بدون از دست دادن کلیت می‌توان فرض کرد که $i' \in \{1,...,m\}$ موجود است به‌طوری‌که $\bar{s}_{i'}^- > 0$. $\bar{S}^-$ بردار بهینه متناظر با S^- با حل مدل (۸) است.

1. Target

بنابراین داریم

$$\sum_{j=1}^{n}\bar{\lambda}_j^1 X_j + \bar{S}^- = X_o^* = \sum_{j=1}^{n}\lambda_{oj}^{1*} X_j$$

$$\sum_{j=1}^{n}\bar{\lambda}_j^{k-1} Z_j^{k-1} = \bar{\alpha}_k Z_o^k \qquad k = 2,...,K$$

$$\sum_{j=1}^{n}\bar{\lambda}_j^{k} Z_j^{k-1} = \bar{\alpha}_k Z_o^k \qquad k = 2,...,K$$

$$\sum_{j=1}^{n}\bar{\lambda}_j^{K} Y_j - \bar{S}^+ = Y_o^* = \sum_{j=1}^{n}\lambda_{oj}^{K*} Y_j$$

(۱۲)

با جمع تساوی‌های فوق روی $o = 1,...,n$ داریم

$$\sum_{o=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\bar{\lambda}_{oj}^1 x_{ij} + \sum_{o=1}^{n}\bar{s}_{i'}^- = \sum_{o=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\lambda_{oj}^{1*} x_{ij}$$

$$\sum_{o=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\bar{\lambda}_{oj}^1 x_{ij} + \sum_{o=1}^{n}\bar{s}_i^- = \sum_{o=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\lambda_{oj}^{1*} x_{ij} \qquad i \in \{1,...,m\}, i \neq i'$$

$$\sum_{o=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\bar{\lambda}_{oj}^{k-1} Z_j^{k-1} = \bar{\alpha}_k \sum_{o=1}^{n} Z_o^k \qquad k = 2,...,K$$

$$\sum_{o=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\bar{\lambda}_{oj}^{k} Z_j^{k-1} = \bar{\alpha}_k \sum_{o=1}^{n} Z_o^k \qquad k = 2,...,K$$

$$\sum_{o=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\bar{\lambda}_{oj}^{K} y_{rj} - \sum_{o=1}^{n}\bar{s}_r^+ = \sum_{o=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\lambda_{oj}^{K*} y_{rj} \qquad r \in \{1,...,s\}$$

(۱۳)

از طرف دیگر، از مدل (۱۰) داریم

$$\sum_{o=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\lambda_{oj}^{1*} x_{ij} = \sum_{o=1}^{n} x_{io} - s_i^{-*}, \quad \sum_{o=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\lambda_{oj}^{K*} y_{rj} = \sum_{o=1}^{n} y_{ro} + s_r^{+*} \qquad (۱۴)$$

بنابراین

$$\sum_{o=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\bar{\lambda}_{oj}^{1}x_{ij}+\sum_{o=1}^{n}\bar{s}_{i'}^{-}=\sum_{o=1}^{n}x_{io}-s_{i'}^{-*}$$

$$\sum_{o=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\bar{\lambda}_{oj}^{1}x_{ij}+\sum_{o=1}^{n}\bar{s}_{i}^{-}=\sum_{o=1}^{n}x_{io}-s_{i}^{-*}\qquad i\in\{1,...,m\},i\neq i'$$

$$\sum_{o=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\bar{\lambda}_{oj}^{k-1}Z_{j}^{k-1}=\bar{\alpha}_{k}\sum_{o=1}^{n}Z_{o}^{k}\qquad k=2,...,K$$

$$\sum_{o=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\bar{\lambda}_{oj}^{k}Z_{j}^{k-1}=\bar{\alpha}_{k}\sum_{o=1}^{n}Z_{o}^{k}\qquad k=2,...,K$$

$$\sum_{o=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\bar{\lambda}_{oj}^{K}y_{rj}-\sum_{o=1}^{n}\bar{s}_{r}^{+}=\sum_{o=1}^{n}y_{ro}+s_{r}^{+*}\qquad r\in\{1,...,s\}$$

تساوی‌های فوق با در نظر گرفتن $\sum_{j=1}^{n}\bar{\lambda}_{j}^{k}=1\quad k=1,...,K$ یک جواب مدل (۹) است که با توجه به $\bar{s}_{i'}^{-}>0$ نتیجه می‌شود $s_{i'}^{-*}+\sum_{o=1}^{n}\bar{s}_{i'}^{-}>s_{i'}^{-*}$. چنین جوابی تابع هدف کمتر از ρ^{*} می‌دهد که با بهینگی ρ^{*} در تناقض است.

مدل (۸) کارایی سیستم چندمرحله‌ای را ارزیابی می‌کند. همان‌طور که اشاره شد قیود مدل پیوستگی و سری بودن مراحل سازنده را نشان می‌دهد ضمن این‌که در آن تناقضاتی که مدل‌های پیشین داشته‌اند اصلاح شده است. مقادیر بهینه ورودی و خروجی که از حل این مدل حاصل می‌شود نشان می‌دهد که برای بهبود عملکرد کل سیستم کارایی کدام زیرسیستم باید اصلاح شود. این مطلب برای مدیران در امر تصمیم‌گیری و اصلاح ناکارایی‌های موجود در داخل سیستم ضروری و بسیار سودمند است. سپس روش متمرکز در این مدل پیاده شد که محاسبات را کاهش داده و مقادیر کارایی کل واحدها را به‌طور هم‌زمان بهینه می‌کند. این روش به‌ویژه در شرایطی که چندین واحدتحت نظارت یک مدیر مرکزی هستند مناسب است؛ مانند مدارس تحت نظارت اداره آموزش‌وپرورش یک

منطقه که این شیوه سبب تخصیص بهینه منابع ازجمله تعداد معلّمان، تجهیزات آموزشی و مانند آن بین مدارس می‌گردد.

٤. تحلیل داده‌ها

داده‌های ورودی و خروجی مربوط به ۲۰ شعبه ارزی بانک ملّت، به‌عنوان ۲۰ واحد دومرحله‌ای، در جدول ۳ گردآوری شده است. ورودی‌های مرحله اول سرمایه مالی شعبه و هزینه پرسنل مربوط به فعالیت‌های ریالی، سرمایه مالی شعبه و هزینه پرسنل مربوط به فعالیت‌های ارزی هستند. عایدی‌های حاصل از فعالیت‌های ریالی شعبه و فعالیت‌های ارزی خروجی مرحله اول و ورودی مرحله دوم هستند. این مقادیر به‌صورت تولیدات میانی در نظر گرفته می‌شوند. با به کار گرفتن ورودی‌ها در مرحله دوم تسهیلات بانکی مانند وام‌های اعطایی و درآمدهای عمومی به‌عنوان خروجی مرحله دوم و خروجی کلی بانک هستند. قسمتی از وام‌هایی که بانک به مشتریان می‌پردازد بازپرداخت کامل نمی‌شوند و به‌صورت مطالبات بانک باقی می‌مانند که مطلوب نیست. این خروجی نامطلوب باعث کاهش کارایی بانک می‌شود و به زیان است. در مدل‌سازی، معکوس خروجی نامطلوب را به‌عنوان خروجی مطلوب در نظر گرفته‌ایم.

جدول ۲. شرح داده‌ها

ورودی‌های مرحله اول:

x1: سرمایه مالی شعبه مربوط به فعالیت‌های ریالی

x2: هزینه پرسنل مربوط به فعالیت‌های ریالی

x3: سرمایه مالی شعبه مربوط به فعالیت‌های ارزی

x4: هزینه پرسنل مربوط به فعالیت‌های ارزی

تولیدات میانی:

z1 : عایدی‌های حاصل از فعالیت‌های ریالی

z2: عایدی‌های حاصل از فعالیت‌های ارزی

خروجی‌های مرحله دوم:

y1: وام‌های اعطایی

y2: درآمدهای عمومی

y3: مطالبات

جدول ۳. داده‌ها (در واحد ده میلیارد ریال)

	x_{j1}	x_{j2}	x_{j3}	x_{j4}	y_{j1}	y_{j2}	y_{j3}	z_{j1}	z_{j2}
۱	۸۶	۳۳	۲۰۳	۹۷	۵۰۳	۳۶	۳۲e-۴	۳۸۰	۷۱۰
۲	۱۰۰	۵۷	۶۴۲	۲۰۰	۱۴۰۰	۶۱۵	۴۲e-۴	۵۴۹	۲۷۳۳
۳	۵۷	۲۱	۱۵۰	۶۸	۱۷۳	۹۵	۳۲e-۴	۹۶	۴۷۱
٤	۱۲۰	46	۵۱۲	۱۸۵	۱۵۱۹	۴۲۴	۶۱e-۴	۶۱۴	۲۹۲۱
۵	۱۰۰	۴۹	۳۰۱	۱۰۱	۸۰۰	۳۰۵	۷۶e-۴	۳۱۸	۸۷۰
٦	۳۴۰	۸۹	۴۲۹	۲۰۰	۱۲۰۰	۲۹۹	۹e-۴	۸۹۰	۱۱۵۰
۷	۸۸	۳۷	۲۷۷	۴۹	۷۰۶	۴۱۶	۴۲e-۴	۲۷۹	۸۱۹
۸	134	۵۷	۵۰۰	۱۷۱	۱۳۶۳	۵۱۹	۹e-۴	۵۶۹	۱۷۰۱
۹	۱۵۱	۶۸	۳۰۵	۱۲۲	۷۹۰	۲۰۹	۴۵e-۵	۴۳۹	۱۰۱۰
۱۰	۱۴۲	۴۹	۳۸۴	۱۵۰	۱۲۰۵	۵۵۰	۷۰e-۴	۵۹۴	۹۴۲
۱۱	۲۱۰	۹۷	۷۳۰	۲۱۲	۱۶۰۰	۳۸۷	ve-۴	۷۱۳	۲۳۷۸
۱۲	۶۷۲	۲۷۰	۱۵00	۶۲۳	۴۲۱۶	۵۷۵	۱۱e-۴	۱۹۵۰	۵۴۰۰
۱۳	۱۱۶	۷۲	۵۳۴	۱۴۴	۶۹۰	۲۲۸	۹e-۴	۳۹۰	۱۲۶۰
۱٤	۳۸۰	۱۲۰	۹۲۳	۵۵۴	۲۳۰۷	۹۰۰	۱۶e-۴	۷۴۹	۲۲۶۴
۱۵	۵۱۳	۲۱۹	۹۵۸	۳۵۲	۳۷۱۲	۱۰۲۱	۶e-۴	۱۱۱۰	۳۴۳۱
۱٦	۴۵	۱۷	۲۲۵	۷۱	۹۳۰	۳۵۸	۳e-۴	۲۳۰	۸۹۰
۱۷	۱۱۵	۶۱	۶۷۹	۲۰۵	۱۶۴۲	۷۰۰	۲۰e-۶	۵۰۳	۱۷۹۰
۱۸	۱۵۰	۷۲	۲۷۴	۹۴	۷۵۴	۱۵۰	۵۳e-۶	۴۶۶	۸۶۲
۱۹	۷۱	۲۳	۲۸۸	۸۹	۸۴۰	۱۲۴	۳۰e-۶	۱۶۰	۹۴۰
۲۰	۱۰۹	۳۹	۴۰۲	۲۱۴	۱۰۵۰	۳۱۴	۱۲e-۶	۳۷۶	۱۲۷۰

جدول ۴ مقادیر کارایی شعب بانک از حل مدل (۸) در حالت‌های شبکه‌ای و کلاسیک و نیز تساوی‌های (۱۱) را نشان می‌دهد. منظور از حالت کلاسیک، مدل (۸) بدون لحاظ کردن قیود مربوط به تولیدات میانی سیستم، یعنی حالت غیرشبکه‌ای است. حل مدل‌ها با استفاده از نرم‌افزار GAMS انجام شده است.

جدول ٤. نتایج حاصل از حل مدل (۸) در حالت‌های شبکه‌ای و کلاسیک (غیر شبکه‌ای) و فرمول (۱۱)

	$\rho^*_{network}$	ρ^*	x_{11}	x_{12}	x_{21}	x_{22}	y_1	y_2	y_3
1	0.773	1.000	74.296	18.562	192.780	69.711	503.000	36.000	32e-5
2	0.263	0.479	95.245	19.679	332.642	113.756	1496.194	615.000	215e-5
3	1.000	1.000	57.00	10000	150.000	68.000	173.000	95.000	32e-5
4	0.398	1.000	95.726	19.705	335.697	114.970	1519.000	628.295	213e-5
5	0.401	0.582	84.029	19081	261.391	85.455	964.432	305.000	271e-5
6	0.247	0.434	88.997	19.346	292.955	97.992	1200.000	442.328	247e-5
7	0.679	1.000	88.000	19.293	277.000	49.000	907.218	416.000	71e-4
8	0.068	0.143	95.762	19.707	312.632	105.808	1363.000	519.000	232e-4
9	0.211	0.314	80.555	18.896	239.326	76.690	799.757	209.000	289e-5
10	0.378	1.000	92.893	19.554	317.702	107.822	1384.695	550.000	227e-5
11	0.236	0.418	97.434	19.796	346.551	119.281	1600.000	675.515	204e-5
12	1.000	1.000	672.000	270.000	1500.000	623.000	4216.000	575.000	11e-5
13	0.047	0.070	81.243	18.932	299.727	62.152	832.349	228.000	285e-5
14	0.392	1.000	175.778	46.160	419.159	148.122	2307.000	900.000	160e-5
15	0.669	1.000	324.934	113.443	715.259	275.108	3712.000	1021.000	6e-5
16	1.000	1.000	45.000	17.000	225.000	71.000	930.000	358.000	30e-4
17	0.572	1.000	98.320	19.843	352.178	121.516	1642.000	700.000	200e-4
18	0.250	0.353	79.590	18.844	233.195	74.255	754.000	182.324	294e-4
19	0.271	0.399	71.000	18.386	236.086	75.403	840.000	252.309	218e-4
20	0.410	0.648	98.320	19.843	352.178	121.516	1642.000	700.000	200e-4

مقادیر ρ^* نمره کارایی شعب بانک را با حل مدل (۸) بدون لحاظ کردن قیود مربوط به تولیدات میانی (که همان مدل کلاسیک غیر شبکه‌ای ارزیابی سیستم است) و $\rho^*_{network}$ نمره کارایی را با استفاده از تمام قیود مدل (۸) نشان می‌دهد. ملاحظه می‌کنیم که بدون در نظر گرفتن فرایند درونی سیستم بسیاری از شعب کارا تشخیص داده شده‌اند و نمره کارایی بیان می‌کند که در این شعب نیازی به بهبود مقادیر منابع مصرفی و هزینه‌ها و نیز خروجی بانک وجود ندارد. بعد ازلحاظ کردن محدودیت‌های مربوط به فعالیت‌های درونی سیستم

ملاحظه می‌کنیم که نمره کارایی شعب واقعی‌تر شده است و کاهش مقادیر منابع مصرفی و هزینه‌ها و نیز افزایش خروجی برای بهبود کارایی سیستم‌های ناکارا لازم است. هم‌چنین، در شعب ناکارا نمره کارایی حاصل از حل مدل شبکه‌ای کم‌تر از نمره کارایی به‌دست‌آمده از حل مدل غیر شبکه‌ای است و بیان می‌کند که نگاه به درون سیستم تحلیل دقیق‌تری نسبت به ارزیابی آن بدون لحاظ کردن روابط میانی دارد. مدل (۸) بیست بار حل‌شده که حدود ۱۰ ثانیه زمان برده است درحالی‌که زمان حل مدل متمرکز (۹) که با استفاده از آن مقادیر متغیرها در فرمول (۱۱) به‌دست می‌آید، ۰٫۲ ثانیه بوده است. هم‌چنین، با حل مدل (۹) مقادیر بهینه سرمایه و هزینه شعب و نیز مقادیر بهینه وام اعطایی، درآمدهای عمومی و معکوس خروجی نامطلوب مشابه با جدول فوق تنها با حل یک مدل به‌جای بیست مدل به دست آمده است که برتری مدل تخصیص متمرکز منابع را بیان می‌کند؛ بنابراین با ارزیابی واحدها با روش شبکه‌ای که در این مقاله پیشنهاد شد مقادیر هزینه و سرمایه مالی شعب به مقدار قابل‌توجهی بهبودیافته است به‌گونه‌ای که با صرف منابع کمتر خروجی بیشتری حاصل‌شده که خود نشانه بهینه‌سازی عملکرد سیستم است. چنین دیدگاهی در محاسبه کارایی سیستم‌های چندمرحله‌ای که با نگاه به درون سیستم و در نظر گرفتن روابط میانی بین مراحل فرایند واقعی تولید را منعکس می‌کند اطلاعات سودمندی را برای تصمیمات مدیریتی در اختیار قرار می‌دهد.

جدول ۵ داده‌های مربوط به ۲۴ شرکت بیمه در تایوان را نشان می‌دهد (Liu, 2018). هر شرکت به‌صورت یک سیستم دومرحله‌ای در نظر گرفته شده است. هزینه‌های عملیاتی و هزینه بیمه ورودی‌های مرحله اول، حق بیمه دریافتی از مشتریان و شرکت‌ها به‌عنوان خروجی مرحله اول که همان ورودی مرحله دوم است و سود حاصل از تجارت بیمه و سود حاصل از سرمایه‌گذاری خروجی‌های مرحله دوم هستند.

جدول ۵. شرح داده‌ها

ورودی‌های مرحله اول:

x1 هزینه‌های عملیاتی

x2 هزینه‌های بیمه

تولیدات میانی:

z1حق بیمه دریافتی از مشتریان

z2حق بیمه دریافتی از شرکت‌ها

خروجی‌های مرحله دوم:

y1 سود حاصل از تجارت بیمه

y2سود حاصل از سرمایه‌گذاری

جدول ٦. داده‌ها

شرکت بیمه	x1	x2	z۱	z۲	y۱	y۲
1	1178744	673512	745757	856735	984143	681687
2	1381822	1352755	10020274	1812894	1228502	834754
3	1177494	592790	4776548	560244	293613	658428
4	601320	594259	3174851	371863	248709	177331
5	6699063	3531614	37392862	1753794	7851229	3925272
6	2627707	668363	9747908	952326	1713598	415058
7	1942833	1443100	10685457	643412	2239593	439039
8	3789001	1873530	17267266	1134600	3899530	622868
9	1567746	950432	11473162	546337	1043778	264098
10	1303249	1298470	8210389	504528	1697941	554806
11	1962448	672414	7222378	643178	1486014	18259
12	2592790	650952	9434406	1118489	1574191	909295
13	2609941	1368802	13921464	811343	3609236	223047
14	1396002	988888	7396396	465509	1401200	332283
15	2184944	651063	10422297	749893	3355197	555482
16	1211716	415071	5606013	402881	854054	197947
17	1453797	1085019	7695461	342489	3144484	371984
18	757515	547997	3631484	995620	692731	163927
19	159422	182338	1141951	483291	519121	46857
20	145442	53518	316829	131920	355624	26537
21	84171	26224	225888	40542	51950	6491
22	15993	10502	52063	14574	82141	4181
23	54693	28408	245910	49864	1/0	18980
24	163297	235094	476419	644816	142370	16976

لئو با ارائه یک روش تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای به ارزیابی شرکت‌های بیمه فوق پرداخت. همان‌طور که در بخش روش تحقیق بیان شد در مدل‌های شبکه‌ای تحلیل پوششی داده‌ها محدودیت‌ها به‌صورتی است که در بهینگی ایجاد تناقض می‌کند. جدول ۶ نتیجه حاصل از محاسبه کارایی شرکت‌ها را با روش لئو و روش این مقاله نشان می‌دهد. ملاحظه می‌کنیم مقادیر کارایی شرکت‌ها با به‌کارگیری روش این مقاله بهبود قابل‌توجهی یافته است و این امر حاصل از اصلاح محدودیت‌های مدل و پیاده‌سازی فرایند دقیق موجود در ساختار درونی سیستم می‌باشد.

جدول ۷. مقایسه روش پیشنهادی با روش شبکه‌ای دیگر

شرکت بیمه	نمره کارایی با روش لئو	نمره کارایی با روش این مقاله
۱	۱	۰,۵۶۶
۲	۱	۰,۴۷۱
۳	۱	۰,۲۳۳
۴	۰/۱۶۸	۰,۱۸۴
۵	۱	۱
۶	۰/۴۳۷	۰,۴۵۰
۷	۰/۲۹۶	۰,۴۰۰
۸	۰/۳۱۶	۰,۴۱۸
۹	۰/۲۱۳	۰,۲۸۸
۱۰	۰/۴۲۳	۰,۵۲۰
۱۱	۱	۰,۰۳۰
۱۲	۱	۰,۶۶۳
۱۳	۰/۳۴۵	۰,۲۴۰
۱۴	۰/۲۸۴	۰,۳۷۵
۱۵	۰/۷۰۲	۱,۰۰۰
۱۶	۰/۳۳۲	۰,۳۸۹
۱۷	۰/۳۴۳	۰,۵۴۰
۱۸	۰/۲۴۰	۰,۳۶۹
۱۹	۰/۴۷۴	۰,۴۹۲

شرکت بیمه	نمره کارایی با روش لئو	نمره کارایی با روش این مقاله
۲۰	۱	۰,۶۶۵
21	۰/۲۸۶	۰,۲۴۱
۲۲	۱	۱,۰۰۰
۲۳	۱	۰
۲۴	۰/۱۷۷	۰,۱۴۲

مشاهده می‌شود که طبق روش لئو چندین شرکت کارا هستند درصورتی‌که اجرای مدل پیشنهادی این مقاله وجود سه شرکت کارا را نشان می‌دهد و مقدار ناکارایی تشخیص داده‌شده توسط مدل این مقاله قابل‌ملاحظه است و نیاز به اصلاح قابل‌ملاحظه‌ای در هزینه‌ها و سود شرکت‌هایی است که از دید روش لئو کارا تشخیص داده شده‌اند؛ بنابراین با در نظر گرفتن ساختار دقیق درونی سیستم چندمرحله‌ای می‌توان عیوب موجود در مراحل سازنده را آشکار ساخت به‌گونه‌ای که ضعف در کدام زیر مرحله باعث کاهش کارایی کلی سیستم شده است و با داشتن مقادیر متغیرهای کمکی و نیز ضریب تولیدات میانی که در مدل پیشنهادی وجود دارد چگونگی اصلاح ورودی‌ها برای دست‌یابی به کارایی بهینه میسر می‌شود.

نتیجه‌گیری

برای ارزیابی دقیق عملکرد سیستم‌های شبکه‌ای که از چندین زیرسیستم تشکیل شده‌اند باید روابط موجود بین قسمت‌های تشکیل‌دهنده کل سیستم در مدل‌سازی لحاظ شود. در مدل‌های قبلی DEA محدودیت‌های مربوط به زیرسیستم‌ها به‌گونه‌ای در نظر گرفته شده که وابستگی بین مراحل تشکیل‌دهنده کل سیستم به‌درستی در مدل لحاظ نشده و این امر باعث تناقض در حل مدل می‌شود. در این مقاله این ایراد موجود در محدودیت‌های مدل اصلاح شده است. از سویی، اندازه‌گیری مقادیر کارایی واحدها با استفاده از روش‌های معمول DEA مستلزم حل مدل به تعداد کل واحدهای موجود است که زمان‌بر می‌باشد. در

سیستم‌های چندمرحله‌ای وجود روابط و پیوستگی بین مراحل باعث ایجاد متغیرها و محدودیت‌های بسیاری در مدل می‌شود.

بانک‌ها چنین ساختاری دارند به‌طوری‌که سرمایه اولیه و هزینه‌ها ورودی اصلی سیستم هستند. با مصرف ورودی‌ها در مرحله اول موجودی بانک طی تراکنش‌های مختلف، ازجمله افزایش سپرده‌ها و یا دریافت سود معاملات، افزایش می‌یابد. این موجودی خروجی مرحله اول و ورودی مرحله دوم است. مصرف موجودی در مرحله دوم خروجی کل سیستم را که شامل وام‌های اعطایی، مطالبات و معاملات دیگر می‌شود نتیجه می‌دهد. روش DEA متمرکز یک شیوه سودمند برای مدیر مرکزی جهت تخصیص منابع به‌خصوص در سازمان‌های بزرگ مانند شعب بانک‌ها است. در شرایطی که واحدهای تصمیم‌گیرنده تحت نظارت یک مدیریت مرکزی هستند، مدیر مرکز در نظر دارد که منابع را به‌طور مناسب و به‌صرفه به تمام واحدها اختصاص دهد. روش DEA متمرکز با حل یک برنامه‌ریزی خطی این امکان را فراهم می‌کند و با تخصیص مقادیر ورودی مناسب و خروجی مطلوب کارایی واحدها را بهبود می‌بخشد.

در این مقاله روش تحلیل پوششی داده‌های متمرکز در سیستم‌های شبکه‌ای را ارائه دادیم که در آن کارایی واحدها با حل فقط یک مدل بهبودیافته و نیز حجم محاسبات به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش‌یافته است. مقایسه روش پیشنهادی با روش شبکه‌ای دیگر در ارزیابی شرکت‌های بیمه برتری موجود این روش را نشان می‌دهد. لحاظ‌کردن روابط بین مراحل و تولیدات میانی در مدل‌سازی نشان می‌دهد که ناکارایی موجود در کل سیستم به‌طور دقیق مربوط به کدام زیر سیستم است و بنابراین مدیر به‌جای اصلاح کلی فقط به بهبود ناکارایی همان زیرسیستم می‌پردازد.

پیشنهادها و جهت‌گیری‌های آتی

روش شبکه‌ای اصلاح‌شده ارائه‌شده در این مقاله و نیز روش تخصیص متمرکز منابع در ارزیابی شبکه را می توان در شرایط زیر توسعه داد:

- مقادیر ورودی یا خروجی به‌طور کامل در دسترس نیست و یا مقدار مشخصی ندارد؛ مانند داده‌های بازه‌ای یا داده‌های فازی.
- سیستم مورد ارزیابی ساختار موازی داشته باشد و یا مراحل میانی سیستم ورودی یا خروجی مشترک داشته باشند.
- خروجی سیستم در یک دوره زمانی به‌صورت ورودی سیستم در دوره بعدی باشد که حالت پویا[1] نامیده می‌شود.

ORCID
Fereshteh Koushki **https://orcid.org/0000-0002-6297-7197**

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1. Dynamic

References

1. Amirteimoori A. (2013) A DEA two-stage decision processes with shared resources. *Central European Journal of Operations Research*, 21, 141-151.
2. Färe, R., Grabowski, R., Grosskopf, S., & Kraft, S. (1997) Efficiency of a fixed but allocatable input: A non-parametric approach. *Economic Letters*, 56, 187–193.
3. Färe R, Grosskopf S. Network DEA. *SOCIO ECON PLAN SCI 34* (2000) 35-49.
4. Färe R, Grosskopf S. Production and intermediate products: a Frontier approach. *ECON LETT 50* (1996) 65-70.
5. Färe R, Grosskopf S, Lee WF. (2004) Property rights and profitability. In: Färe R, Grosskopf S, editors. New directions: efficiency and productivity. Norwell Massachusetts: Kluwer Academic Publishers.
6. Färe R, Primont, D. (1984) Efficiency measures for multi plant firms. *Operations Research Letters*, 3, 257-260.
7. Fukuyama, H. and Matousek, R. (2016) Modeling Bank Performance: A Network DEA Approach. *European Journal of Operational Research*, 259 (2), 721-732.
8. Fukuyama H, Mirdehghan S. M. (2012) Identifying the efficiency status in network DEA. *European Journal of Operational Research*, 220(1), 85-92.
9. Hu J-L, Yu H-E. (2015) Risk, Capital, and Operating Efficiency: Evidence from Taiwan's Life Insurance Market. *Journal of Emerging Markets Finance and Trade*, 51.
10. Kao, C. (2009) Efficiency measurement for parallel production systems. *European Journal of Operational Research*, 196, 1107–1112.
11. Kao, C., & Hwang, S. N. (2011) Decomposition of technical and scale efficiencies in two-stage production systems. *European Journal of Operational Research*, 211, 515–519.
12. Banker R.D, Charnes A, Cooper W.W. (1984) Some methods for estimating technical and scale efficiencies in DEA. *Management Science* 30, 1078–1092.
13. Kao C, & Hwang S-N. (2008) Efficiency decomposition in two-stage data envelopment analysis: An application to non-life insurance companies in Taiwan. *European Journal of Operational Research 185* (1), 418–429.
14. Koushki, F. (2017). Modeling Dynamic Production Systems with Network Structure. *Iranian Journal of Mathematical Sciences and Informatics*, Vol. 12(1), pp. 13-26.

15.Koushki F. (2018) Performance Measurement and Productivity Management in Production Units with Network Structure by Identification of the Most Productive Scale Size Pattern. *International Journal of Supply and Operations Management*, 5(4), 379-395.
16.Lin, R., Chen, Z., Hu, Q., Li Z. (2017) Dynamic network DEA approach with diversification to multi-period performance evaluation of funds. *OR Spectrum*. doi:10.1007/s00291-017-0475-1.
17.Liu S-T. (2013) Fuzzy efficiency ranking in fuzzy two-stage data envelopment analysis. *Optimization Letters*.8(2), DOI:10.1007/ s11590-012-0602-5.
18.Liu U. (2018) Two-Phase Network Data Envelopment Analysis: An Example of Bank Performance Assessment. Chapter of book: Multi-Criteria Methods and Techniques Applied to Supply Chain Management. DOI: 10.5772/intechopen.74933.
19.Liu, WB, Zhoua, Z B, Maa, CQ, Liu DB, Shen, WF. (2015) Two-stage DEA models with undesirable input-intermediate-outputs. *Omega*, 56 **,** 74–87.
20.Lozano S. & Villa, G. (2004) Centralized resource allocation using data envelopment analysis. *Journal of Productivity Analysis*, 22 **,**143–161.
21.Lu, W-M, Kweh, Q. L., Huang, C-L. (2014) Intellectual capital and national innovation systems performance. *Knowledge-Based Systems*, 71, 201–210.
22.Paradi, J.C., Rouatt, S., Zhu, H. (2011) Two-stage evaluation of bank branch efficiency using data envelopment analysis. *Omega*, 39(1), 99-109.
23.Bansal P., Mehra A. (2022) Malmquist-Luenberger productivity indexes for dynamic network DEA with undesirable outputs and negative data. *RAIRO-Oper. Res*. 56(2), 649 – 687.
24.Phung, MT, Cheng, Cheng-Ping, Guo, Chuanyin Kao, Chen-Yu. (2020). Mixed Network DEA with Shared Resources: A Case of Measuring Performance for Banking Industry. *Operations Research Perspectives, Elsevier*, vol. 7(C).
25.Sahoo, B. K., Zhu, J., Tone, K., Klemen, B. M. (2014) Decomposing technical efficiency and scale elasticity in two-stage network DEA. *European Journal of Operational Research*, 233(3), 584–594.
26.Seiford LM, Zhu J. (1999) Profitability and marketability of the top 55 US commercial banks. *MANAGE SCI* 45(9), 1270-88.
27.Shokri Kahi V., Yousefi S., Shabanpour H., Farzipoor Saen R. (2017) How to evaluate sustainability of supply chains? A dynamic network

DEA approach. *Industrial Management & Data Systems*, 117(9),1866-1889. https://doi.org/10.1108/IMDS-09-2016-0389.

28. Tone K. (2001) A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis, *European Journal of Operational Research*, 130, 498–509.
29. Tone K., Tsutsui M. (2014) Dynamic DEA with network structure: a slacks-based measure app roach. *Omega*, 42(1), 124-131.
30. Wang C.H., Gopal, R. & Zionts, S. (1997) Use of data envelopment analysis in assessing information technology impact on firm performance. *Annals of Operations Research* 73, 191-213.
31. Wang, K., Huang, W., Wu, J., Liu Y. N. (2014) Efficiency measures of the Chinese commercial banking system using an additive two-stage DEA. *Omega*, 3, 445-20.
32. Wankea P, Maredzab A., Guptac R. (2017) Merger and acquisitions in South African banking: A network DEA model. *Research in International Business and Finance*, 41, 362–376.
33. Yang, F., Wu, D., Liang, L., Bi, G., Wu, D.D. (2011) Supply chain DEA: production possibility set and performance evaluation model. *Annals of Operations Research*, 185, 195-211.
34. Barros, C.P., Wanke, P. (2015) An analysis of African airlines efficiency with two-stage TOPSIS and neural networks. *Journal of Air Transport Management*, 44-45, 90-102.
35. Yu, M.-M., & Hsiao, B. (2015) Single-phase slack-based centralized DEA for resource reallocation. Intl. *Trans. in Op. Res*. doi:10.1111/itor.12210.
36. Zhou Z., Lin L., Xiao H., Ma Ch., Wu Sh. (2017) Stochastic network DEA models for two-stage systems under the centralized control organization mechanism. *Computers & Industrial Engineering*, 110, 404-412.
37. Chao C-M, Yu M-M, Lee U-T, Hsiao B. (2016) Measurement of Banking Performance in a Dynamic Multi-activity Network Structure: Evidence from Banks in Taiwan. *Journal of Emerging Markets Finance and Trade*.
38. Chao C-M, Yu M-M, Wu H-N. (2015) An application of the Dynamic Network DEA Model: The case of banks in Taiwan. *Journal of Emerging Markets Finance and Trade*, 51.
39. Chen M-J, Chiu Y-H, Jan Ch., Chen Y-C, Liu H-H. (2015) Efficiency and Risk in Commercial Banks – Hybrid DEA Estimation. *Journal of Emerging Markets Finance and Trade*. 44, 3.

40.Chen, Y., Cook, W. D., Li, N., Zhu, J. (2009) Additive efficiency decomposition in two-stage DEA. *European Journal of Operational Research*, 196, 1170-1176.
41.Chen, Y., & Zhu J. (2004) Measuring information technology's indirect impact on firm performance. *Information Technology and Management*, 5(12),9-22.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

استناد به این مقاله: کوشکی، فرشته. (۱۴۰۲). روش تحلیل پوششی داده‌های متمرکز برای اندازه‌گیری مقادیر کارایی شعب ارزی بانک‌ها، *مطالعات مدیریت صنعتی*، *۲۱(۶۹)*، ۲۳۵-۲۷۰.
DOI: 10.22054/jims.2023.46558.2381

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