

Efficiency Evaluation of a Series Network with Output Trade-offs in Data Envelopment Analysis in Hospital Case

Zohreh Moghaddas^{1*}, Mohsen Vaez-Ghasemi^{1,2}, Feloora Valizadeh Palang Sarae^{1,3}

¹ Department of Mathematics and Statistics, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

² Department of Mathematics, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran

³ Department of Industrial Management, Rash Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran

*Corresponding Author: Zohreh Moghaddas, Assistant Professor, Department of Mathematics and Statistics, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran. Email: moghaddas.sahar@gmail.com

Received: September 7, 2020

Revised: December 7, 2020

Accepted: December 9, 2020

Online Published: December 12, 2020

Abstract

Introduction: Hospitals, as one of the main organizations providing health services, have a special sensitivity and importance in the economy and health. Full attention to the efficiency of the hospital as the largest and most costly operational unit of the health system is of particular importance, so the evaluation of hospitals is one of the most important issues for health policy makers.

Methods: Data Envelopment Analysis (DEA) is a method for evaluating the efficiency and productivity of decision units. If a network is composed of interdependent steps to generate outputs. Therefore, in this study, we have evaluated the relative efficiency of hospitals with output weight constraints for those outputs that have non-linear values. Equivalently, in the cover form, the give-and-take principle is used to take into account the output constraints. In this way, an ascending weight sequence is considered for larger output values of non-linear value. This study is examined in a secret network. In this study, using the network data envelopment analysis approach, a system performance evaluation model has been designed that considers the relationship between weights as a reliable area in the evaluation.

Results: In this article, the efficiency of 10 hospitals is examined with a new approach, of which only the fourth hospital has obtained a efficiency score of 1. An important feature is the change in the type of classification of efficient and inefficient units in the findings. The results showed that the proposed method is more accurate because by considering nonlinear pricing, it reduces the error that results from linear pricing in evaluations.

Conclusion: The resulting efficient and inefficient units are different from the previous classical methods, so different policies for the units must be considered by managers.

Keywords: Relative Efficiency of a Series Network, Data Envelopment Analysis, Outputs Trade-Offs

Citation:

Moghaddas Z, Vaez-Ghasemi M, Valizadeh Palang Sarae F. Efficiency evaluation of a series network with output trade-offs in data envelopment analysis in hospital case. Iran J Health Insur. 2020;3(3):170-7.

ارزیابی کارایی نسبی شبکه سری با بده‌بستان‌های خروجی در تحلیل پوششی داده‌ها در نمونه بیمارستانی

زهره مقدس^{۱*}، محسن واعظ قاسمی^۲، فلورا ولی‌زاده پلنگ‌سرائی^۳

^۱ گروه ریاضی، دانشکده برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران

^۲ گروه ریاضی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رشت، رشت، ایران

^۳ گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رشت، رشت، ایران

* نویسنده مسئول: زهره مقدس، استادیار گروه ریاضی، دانشکده برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران

پست الکترونیک: moghaddas.sahar@gmail

تاریخ انتشار آنلاین: ۱۳۹۹/۰۹/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۱۹

تاریخ تصحیح: ۱۳۹۹/۰۹/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۱۷

مقدمه

مقدمه: بیمارستان‌ها به‌عنوان یکی از سازمان‌های اصلی ارائه‌دهنده خدمات سلامت، حساسیت و اهمیت ویژه‌ای در اقتصاد و بهداشت دارند. توجه کامل به کارایی بیمارستان به‌عنوان بزرگ‌ترین و پرهزینه‌ترین واحد عملیاتی نظام سلامت، اهمیت ویژه‌ای دارد و برهمین اساس، ارزیابی عملکرد بیمارستان، یکی از مهم‌ترین مسائل برای سیاست‌گذاران بهداشت محسوب می‌شود.

روش بررسی: تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) روشی برای ارزیابی کارایی و بهره‌وری واحدهای تصمیم‌گیری است. مدل‌های کلاسیک تحلیل پوششی داده‌ها، ورودی‌ها را بدون در نظر گرفتن مراحل میانی و ارتباطات فی‌مابین، در صورتی که یک شبکه برای تولید خروجی‌ها از مراحل وابسته به هم تشکیل شده باشد، به خروجی تبدیل می‌کنند (جعبه سیاه). این تحقیق ارزیابی کارایی نسبی بیمارستان‌ها را با محدودیت‌های وزنی خروجی برای آن دسته از خروجی‌ها که ارزش غیرخطی دارند در نظر می‌گیرد. به‌طور معادل در فرم پوششی از اصل بده‌بستان برای لحاظ کردن محدودیت‌های خروجی استفاده شده است؛ به این ترتیب که یک دنباله وزنی ناصعودی برای مقادیر بیشتر خروجی‌هایی که ارزش غیرخطی دارند در نظر گرفته می‌شود. این مطالعه در یک شبکه سری بررسی شده است. در این تحقیق با استفاده از رویکرد تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای، مدل ارزیابی کارایی سیستم‌ها طراحی شده است که ارتباط بین وزن‌ها را به‌صورت یک ناحیه اطمینان در ارزیابی مد نظر می‌گیرد.

یافته‌ها: در این مقاله، کارایی ۱۰ بیمارستان با رویکرد جدید بررسی شد که فقط بیمارستان چهارم نمره کارایی یک را کسب کرد. از ویژگی‌های با اهمیت تغییر نوع دسته‌بندی واحدهای کارا و ناکار در یافته‌هاست.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد روش پیشنهادی از دقت بیشتری برخوردار است، زیرا با در نظر گرفتن قیمت گذاری غیرخطی خطایی که از قیمت گذاری خطی در ارزیابی‌ها نتیجه می‌شود را کاهش داده است. واحدهای کارا و ناکار در نتیجه به‌دست آمده متفاوت از روش‌های کلاسیک قبلی است و می‌توان سیاست‌های متفاوتی برای واحدها توسط مدیران در نظر گرفته شود.

واژگان کلیدی: کارایی نسبی شبکه سری، تحلیل پوششی داده‌ها، بده‌بستان‌های خروجی

مقدمه

این رو، بهبود عملکرد بیمارستان‌ها برای مصرف مؤثرتر منابع موجود، ضمن کاهش هزینه‌های درمانی برای بیماران، بسیار حیاتی است [۲]. با توجه به اینکه در نظام سلامت، ارزیابی کارایی اولین گام در ارزیابی عملکرد بخش‌های مختلف بهداشت و درمان محسوب می‌شود، می‌توان با استفاده از اندازه‌گیری و ارزیابی کارایی، چارچوب منطقی برای بهبود عملکرد بیمارستان‌ها فراهم آورد [۳]. در سال‌های اخیر، تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) به‌عنوان یکی از متداول‌ترین روش‌های سنجش کارایی واحدهای تصمیم‌گیری (DMU) مانند

سلامت یکی از مهم‌ترین مسائل در هر جامعه است و از این رو ارائه خدمات بهداشتی و درمانی خوب، یکی از اهداف اصلی برنامه‌های جمهوری اسلامی محسوب می‌شود [۱]. دیگر با توجه به وسعت و خدماتی که در بخش مراقبت‌های بهداشتی ارائه می‌شود، هر اشتباه و حتی کوچک‌ترین موارد نیز غیرقابل برگشت هستند. بیمارستان‌ها به‌عنوان بخش عظیمی از سیستم‌های مراقبت‌های بهداشتی که از منابع عالی مراقبت‌های بهداشتی استفاده می‌کنند، در نظر گرفته می‌شوند. از

تحلیل پوششی داده‌ها و روش پرومته پرداختند [۱۶]. در مدل‌های DEA کلاسیک، تعاملات داخلی در نظر گرفته نمی‌شوند و در نتیجه، DMUها عملکردی مانند جعبه سیاه دارند. برخی از واحدهای تصمیم‌گیری از چند بخش یا مرحله تشکیل شده‌اند که یک شبکه از زیرفرایندها را ایجاد می‌کنند. برای ارزیابی کارایی این نوع از واحدها از روش‌های تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای استفاده می‌شود [۱۷]. تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای به ۲ دسته چندمرحله‌ای و چندبخشی تقسیم می‌شود. مدل‌های چندمرحله‌ای بیشتر در حوزه ارزیابی کارایی زنجیره‌های تأمین متشکل از چندین سازمان مختلف به کار می‌رود [۱۸]. در حالی که مدل‌های چندبخشی مربوط به ساختار داخلی یک سازمان است که از بخش‌های مختلف تشکیل می‌شود. مدل NDEA برای اولین بار توسط فار و گراسکوف (۲۰۰۰) پیشنهاد شد [۱۹]. سپس ساختار چندمرحله‌ای برای NDEA توسط لوئیس و سکستون (۲۰۰۴) پیشنهاد شد [۲۰]. در ادامه با معرفی مدل‌های تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی سیستم‌های شبکه‌ای سیمپر (۲۰۰۶)، چپو و چن (۲۰۰۹) و هوآنگ و همکاران (۲۰۱۲) در ارزیابی سیستم‌ها از مدل‌های شبکه‌ای که روابط مراحل میانی را نیز در نظر می‌گیرد استفاده کردند [۲۱-۲۳]. عالم تبریز و یوسفی (۱۳۹۵) ارزیابی کارایی بیمارستان‌های استان مازندران را با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای بررسی کردند [۲۴].

با توجه به اینکه در دنیای واقعی بسیاری از واحدهای تحت بررسی به صورت چند مرحله‌ای هستند، استفاده از شبکه در ارزیابی عملکرد بسیاری از سازمان‌ها از جمله بیمارستان‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد. در این مقاله برای ارزیابی سیستم‌های خدماتی مانند بیمارستان‌ها، روابط شبکه‌ای بین شاخص‌ها در نظر گرفته شده است و ساختار سری مدل DEA شبکه‌ای انتخاب شده است. شایان ذکر است، در مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها مجموع خروجی (ورودی) تابعی خطی از خروجی‌ها (ورودی‌ها) تعریف می‌شود. در صورتی که در بسیاری از مثال‌ها، ورودی و خروجی‌هایی وجود دارند که ارزش غیرخطی دارند؛ به این مفهوم که ارزش بر مبنای مقدار آنها در تغییر است. در این شرایط که ارزش‌گذاری خطی انجام می‌شود نتایج درستی می‌تواند نتیجه نشود، زیرا ماهیت شاخص‌ها به درستی در نظر گرفته نمی‌شوند. بر همین اساس در این مقاله، مدل شبکه‌ای تحلیل پوششی داده‌ها در حضور چنین شاخص‌هایی معرفی شده است [۲۵]. به این منظور از محدودیت وزنی ناحیه اطمینان برای در نظر گرفتن ماهیت شاخص‌هایی که دارای روابط درونی هستند، استفاده شده است. هدف از این مقاله، ارزیابی کارایی نسبی شبکه‌ای با محدودیت‌های وزنی ناحیه اطمینان در تحلیل پوششی داده‌هاست.

بیمارستان‌ها شناخته شده است. تحلیل پوششی داده‌ها، روشی ناپارامتریک بر مبنای برنامه‌ریزی ریاضی برای ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده است که اولین بار توسط فارل در سال ۱۹۵۷ معرفی شد. با توسعه روش فارل در سال ۱۹۷۶، چارلز و همکاران مدل CCR را پیشنهاد دادند که ارزیابی کارایی را در حضور چندین ورودی و خروجی با فرض بازده به مقیاس ثابت انجام می‌داد [۴]. با توسعه این روش و در نظر گرفتن بازده به مقیاس متغیر در سال ۱۹۸۴، بنکر و همکاران مدل BCC را معرفی کردند [۵]. تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها که روشی بر مبنای برنامه‌ریزی ریاضی است، ابزار بسیار قدرتمندی برای ارزیابی کارایی نسبی چندین واحد تصمیم‌گیرنده با ورودی و خروجی‌های چندگانه است و به این ترتیب عمل می‌کند که به جای مقایسه یک‌به‌یک واحدها، یک واحد مجازی از ترکیب سایر واحدهای تصمیم‌گیرنده ایجاد می‌کند. در این ارزیابی یک واحد تصمیم‌گیرنده را کارا معرفی می‌کنند، هرگاه واحد مجازی‌ای وجود نداشته باشد که با همان مقدار خروجی واحد مورد ارزیابی را با مقدار داده کمتری تولید کند و در غیر این صورت آن واحد را ناکارا معرفی می‌کنند. این روش ارزیابی را ورودی‌محور نیز می‌نامند. اگر واحد مجازی‌ای وجود نداشته باشد که با همان مقدار ورودی واحد مورد ارزیابی، مقدار خروجی بیشتری تولید کرده باشد، آنگاه آن را کارا در ماهیت خروجی می‌نامند [۶].

در ادبیات حوزه سلامت، تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی کارایی بیمارستان‌ها و صنعت درمان، بسیار مورد توجه بوده است [۷]. مطالعات کاربردی متعدد در خصوص کاربرد تحلیل پوششی داده‌ها در بیمارستان‌ها، اهمیت ارزیابی کارایی و استفاده از این تکنیک را نشان می‌دهد [۸-۱۱]. هالینگزورث، داوسون و مانیاداکیس محققانی بودند که از مدل‌های کلاسیک تحلیل پوششی داده‌ها برای سنجش کارایی و بهره‌وری مراقبت‌های بهداشتی استفاده کرده و واحدهای تصمیم‌گیرنده را به صورت جعبه سیاه ارزیابی کردند [۱۲]. ارسوی، کاوونکوباسی، اوزکان و هریس (۱۹۹۷) از مدل DEA برای بررسی کارایی فنی ۵۷۳ بیمارستان ترکیه استفاده کردند. آنها دریافتند که کمتر از ۱۰ درصد بیمارستان‌های ترکیه در مقایسه با هم‌تایان خود کارآمد هستند [۱۳]. آصف‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) از مدل DEA برای ارزیابی درآمد اختصاصی بیمارستان‌های غیرآموزشی دانشگاه علوم پزشکی گیلان استفاده کردند [۱۴]. آذر و همکاران (۱۳۹۲) ارزیابی کارایی بیمارستان‌های دانشگاه علوم پزشکی تهران را با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها بررسی کردند [۳]. جهانگیری (۱۳۹۴) کاربرد تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها در بیمارستان‌های ایران را مورد بررسی قرار داد [۱۵]. جهانتیغ و استواره (۱۳۹۶) به ارزیابی عملکرد بیمارستان‌های دانشگاه علوم پزشکی تهران با استفاده از مدل ترکیبی

روش بررسی

مفاهیم مقدماتی تحلیل پوششی داده‌ها

واحد تصمیم‌گیرنده، عبارت است از واحدی که با دریافت بردار ورودی مانند x ، بردار خروجی y را تولید می‌کند. واحدهای تصمیم‌گیرنده همگن، واحدهایی هستند که عمل مشابه دارند و با دریافت ورودی‌های با جنس مشابه، خروجی‌هایی با جنس مشابه تولید می‌کنند؛ مانند سیستم‌های تولیدی، کارخانجات یا ادارات یک سازمان. در لغت، کارایی را خوب کار کردن معنا کرده‌اند و آن را متأثر از شاخص‌های درون‌سازمانی مثل سود هر واحد، فروش هر واحد و... می‌دانند [۶].

در تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها، مجموعه فعالیت‌های شدنی را مجموعه امکان تولید نام می‌برند و به صورت زیر بیان می‌کنند:

$$T = \{(x,y) \mid x \text{ can produce } y\} \quad (1)$$

مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها بسته به اصول انتخاب شده برای هر کدام، به یک مجموعه امکان تولید یکتا وابسته هستند. اولین مدل ارائه شده در تحلیل پوششی داده‌ها، مدل CCR است که با فرض تکنولوژی تولید با بازده به مقیاس ثابت به منظور اندازه‌گیری کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده در سال ۱۹۷۸ توسط چارلز و همکاران ارائه شد [۴]. فرم مضربی مدل CCR در ماهیت خروجی به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} \min \quad & \theta \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^m \lambda_i x_{ij} \leq \theta x_{j_0} \quad i=1,\dots,m \\ & \sum_{r=1}^s \lambda_i x_{rj} \geq \theta x_{r_0} \quad i=1,\dots,s \\ & \lambda_i \geq 0 \quad j=1,\dots,s \end{aligned} \quad (2)$$

با توجه به تعریف کارایی نسبی، اصل شهودی تجرید و با توجه به اینکه مدل ۲ یک مسئله برنامه‌ریزی خطی است، مدل ۳ که دوآل مدل فوق است با توجه به قضیه دوآلیتی به صورت زیر معرفی می‌شود. مدل ۳ که به مدل CCR در فرم مضربی با ماهیت خروجی معروف است، همواره شدنی بوده و پاسخ بهینه متناهی دارد. با توجه به قضیه قوی دوآلیتی در جواب بهینه متناهی، همواره جواب‌های بهینه این دو مسئله در شرط $\sum_{r=1}^s u_r^* y_{r_0} = \theta^*$ صدق می‌کنند.

$$\begin{aligned} \max \quad & = \sum_{r=1}^s u_r y_{r_0} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{r=1}^m v_i x_{i_0} = 1 \\ & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \quad j=1,\dots,n \\ & u_r v_i \geq 0 \end{aligned} \quad (3)$$

واحد تصمیم‌گیرنده با ارزیابی توسط مدل‌های فوق کارا گویند که $\sum_{r=1}^s u_r^* y_{r_0} = \theta^* = 1$ به این معنا که امکان کاهش متناسب در همه ورودی‌های در مجموعه امکان تولید مربوطه وجود ندارد. بنابراین بهترین ترکیب ورودی‌ها برای تولید ۱ خروجی‌ها استفاده شده است. اگر $\theta^* < 1$ ، آنگاه واحد تحت ارزیابی را ناکارا در ماهیت ورودی گوئیم. واحد تحت ارزیابی را کارای قوی گویند، اگر و فقط اگر توسط هیچ واحد دیگری از مجموعه امکان تولید متناظرش مغلوب نشود. برای هر واحد تحت ارزیابی ناکارا یک مجموعه مرجع متشکل از واحدهای کارای موجود در هر جواب بهینه دگرین تعریف می‌شود که از آنها برای معرفی استراتژی برای الگویابی واحد‌های ناکارا می‌توان استفاده کرد [۶].

یافته‌ها

مدل شبکه‌ای DEA در حضور محدودیت‌های وزنی ناحیه اطمینان

در اکثر مسائل دنیای پیرامون ما ارزش ورودی و خروجی‌ها به صورت غیر خطی است. امروزه مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها در ارزیابی عملکرد واحدهای تصمیم‌گیرنده بسیار به کار گرفته می‌شوند نتایج خوبی نیز به دست داده‌اند. نکته حائز اهمیت در این مقاله، این است که در مسائل حقیقی اطراف ما داده‌های با ارزش غیر خطی وجود دارند و معرفی مدل‌های مناسبی که بتوان به کمک آنها ارزیابی عملکرد را تحت این شرایط با دقت بیشتری انجام داد، ضروری به نظر می‌رسد. در نتیجه معرفی مدل‌های مناسب برای به دست آوردن مقدار کارایی، مشخص کردن واحدهای کارا و ناکارا و معرفی واحدهای الگو ضروری به نظر می‌رسد.

در شرایطی که خروجی‌هایی با ارزش غیر خطی موجود باشند که قیمت آنها به مقدار آنها وابسته است، برای ارزیابی و الگویابی ابتدا بازه تغییرات آن خروجی را به زیربازه‌هایی افراز و فرض می‌شود که رفتار آن خروجی در هر زیربازه، خطی است. بده‌بستان‌های مناسبی برای قطعات خروجی مدنظر در هر یک از زیربازه‌های تعریف شده توسط کارشناسان سیستم در نظر گرفته می‌شود. نکته حائز اهمیت این است که متغیرهای متناظر زیربازه‌های تعریف شده به ترتیب و در محدوده تعریف شده، مقدار بگیرند. به این ترتیب کارایی واحدها و الگوی مناسب برای واحدهای ناکارا به دست می‌آید [۲۵].

با توجه به اینکه مدل‌های غیرشعاعی تمامی ناکارایی واحد تحت ارزیابی را در نظر می‌گیرند، برخلاف مدل‌های شعاعی که فقط ناکارایی تکنیکی را مدنظر قرار می‌دهند، با در نظر گرفتن این داده‌ها می‌توان مدل مناسبی برای ارزیابی عملکرد واحدهای تصمیم‌گیرنده معرفی کرد. محدودیت‌های وزنی خروجی برای آن دسته از خروجی‌ها که ارزش غیر خطی دارند در نظر گرفته شده است. به طور معادل در فرم پوششی از اصل بده‌بستان برای لحاظ کردن محدودیت‌های خروجی

تعریف شده متناظر با هر یک از زیربازه‌ها اعمال شود تا این مجموعه وزن‌ها تشکیل یک دنباله ناصعودی بدهند و به این صورت ارزش بازه بعدی از قبلی کمتر شود تا در کل بازه، ارزش غیرخطی آن خروجی لحاظ شود. این نوع محدودیت‌ها را به صورت آنچه در مدل زیر آمده است، باید در نظر گرفت که در آن، پارامترهای a و b ، اعدادی اکیدا بزرگ‌تر از یک هستند.

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & \sum_{r \in R_1} u_r y_{ro} + \sum_{r \in R_2} \sum_{k=1}^{K_r} u_{r_k} y_{rk}^{k_{ro}} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 1 \\ & \sum_{r \in R_1} u_r y_{rj} + \sum_{r \in R_2} \sum_{k=1}^{K_r} u_{r_k} y_{rk}^{k_{rj}} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \quad j=1, \dots, n, \\ & \sum_{p=1}^s d_p z_{pj} + \sum_{r=1}^s b_r g_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \quad j=1, \dots, n, \\ & \sum_{r \in R_1} u_r y_{rj} + \sum_{r \in R_2} \sum_{k=1}^{K_r} u_{r_k} y_{rk}^{k_{rj}} - \sum_{l=1}^s h_l w_{lj} - \sum_{p=1}^s d_p z_{pj} \leq 0 \quad j=1, \dots, n, \quad (6) \\ & u_{r_{k+1}} a_{r_k} \leq u_{r_k} \leq u_{r_{k+1}} b_{r_k} \quad k=1, \dots, k_r, r \in R_2, \\ & u_{r_1} a_{r_2} y_{r_2j} \leq \sum_{k=1}^{K_{r_2}} u_{r_2k} y_{r_2k}^{k_{r_2j}} \leq u_{r_1} b_{r_2} y_{r_2j} \quad j=1, \dots, n, r_1 \in R_1, r_2 \in R_2, \\ & u_{r_k} \geq 1\epsilon, \quad k=1, \dots, k_r (r \in R_2), \quad k \\ & u_r \geq 1\epsilon, v_i \geq 1\epsilon, \quad i=1, \dots, m, r=1, \dots, s (r \in R_1), \\ & b_l \geq 1\epsilon, d_p \geq 1\epsilon, h_q \geq 1\epsilon, \quad l=1, \dots, m, p=1, \dots, s, q=1, \dots, c. \end{aligned}$$

باید توجه داشت که دسته اول از محدودیت‌ها به منظور ایجاد دنباله ناصعودی از ضرایب اعمال شده‌اند و دسته دوم محدودیت‌ها به منظور مقایسه مجموعه ضرایب خروجی از نوع بارزش غیرخطی و خروجی‌های معمولی به مدل اضافه شده‌اند که ناحیه اطمینان تعمیم‌یافته تامپسون (۱۹۹۶) را تشکیل می‌دهند [۲۶]. از آنجا که محدودیت‌های وزنی استفاده شده، محدودیت‌های وزنی همگن هستند و مشکلی برای محاسبه کارایی نسبی یا نشدنی شدن مدل ایجاد نمی‌کند، می‌توان اثر غیرخطی شاخص مورد نظر را در مدل اعمال کرد.

مثال کاربردی

در این بخش به کلیدی‌ترین مرحله مطالعات ارزیابی کارایی، یعنی انتخاب ورودی و خروجی‌ها پرداخته و با انجام مطالعات روی سازمان‌های خدماتی مانند بیمارستان، مدل مفهومی تحلیل پوششی داده‌ها مطابق یک شبکه عمومی ۲ مرحله‌ای در نظر گرفته می‌شود. این شبکه دارای ۲ مرحله است: در مرحله اول (بخش اورژانس) ۲ ورودی مصرف‌شده و یک خروجی مستقل و ۳ خروجی میانی که ورودی مرحله دوم محسوب می‌شود، ارائه شده است. در مرحله دوم (بخش جراحی) ۳ ورودی میانی از مرحله اول و یک ورودی مستقل

استفاده شده است. به این ترتیب که یک دنباله وزنی ناصعودی برای مقادیر بیشتر خروجی‌ای که ارزش غیرخطی دارد در نظر گرفته شود. این مطالعه در یک شبکه سری بررسی شده است. در این شرایط بازه تغییرات آن دسته از ورودی‌ها و خروجی‌هایی که ارزش غیرخطی دارند به زیربازه‌هایی افزای می‌شوند و فرض می‌شود رفتار آن ورودی‌ها و خروجی‌ها در هر یک از زیربازه‌ها خطی است. به‌دست‌آوردن‌های مناسبی برای قطعات ورودی و خروجی مدنظر در هر یک از زیربازه‌های تعریف شده توسط کارشناسان مربوطه در نظر گرفته می‌شود. برای ارزیابی یک شبکه ۲ مرحله‌ای جامع سری که مولفه اول خروجی مستقل و مولفه دوم ورودی مستقل دارد، فوق‌مدل خطی زیر را در نظر بگیرید:

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & \sum_{r=1}^s u_r y_{ro} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{i=1}^m v_i x_{io} = 1 \\ & \sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \quad j=1, \dots, n, \\ & \sum_{p=1}^s d_p z_{pj} + \sum_{r=1}^s b_r g_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \quad j=1, \dots, n, \\ & \sum_{r=1}^s d_r y_{rj} - \sum_{r=1}^s h_q w_{lj} - \sum_{p=1}^s d_p z_{pj} \leq 0 \quad j=1, \dots, n, \\ & u_r \geq 1\epsilon, v_i \geq 1\epsilon, \quad i=1, \dots, m, r=1, \dots, s, \\ & b_l \geq 1\epsilon, d_p \geq 1\epsilon, h_q \geq 1\epsilon, \quad l=1, \dots, m, p=1, \dots, s, q=1, \dots, c. \end{aligned} \quad (4)$$

در مدل فوق این طور فرض شده است که مجموع خروجی وزن‌دار شده یک تابع خطی از خروجی‌هاست. با توجه به تئوری برنامه‌ریزی خطی، وقتی متغیری رفتار غیرخطی دارد می‌توان بازه تغییرات آن را به زیربخش‌هایی تقسیم کرد و رفتار متغیر را در هر بخش به‌طور خطی فرض کرد. به‌طور مثال اگر خروجی I ام دارای ارزش غیرخطی باشد بازه آن را می‌توان به k_d زیربازه به‌صورت زیر تقسیم کرد:

$$y_{ij}^k = \begin{cases} L_k, & k=1 \\ L_k - L_{k-1}, & k=2, \dots, k_{d-1} \\ y_{ij} - L_{k-1}, & k=k_d \\ 0, & k > k_d \end{cases} \quad (5)$$

باید توجه داشت که انتخاب‌های متفاوت از زیربازه‌ها نتایج متفاوتی خواهد داشت. برای انتخاب تعداد زیربازه‌ها و طول آنها دستورالعملی وجود ندارد و این کار بهتر است با نظر کارشناسان انجام شود. سپس سهم خروجی I ام در مجموع وزن‌دار شده خروجی‌ها به جای $u_r y_{ro}$ به صورت $\sum u_r y_{ro}$ تعریف می‌شود. البته باید توجه داشت در این شرایط نیاز است محدودیت‌های وزنی روی وزن‌های

می‌شود روش پیشنهادی در مدل تحلیل پوششی داده‌های ارائه‌شده در این تحقیق با بازه‌های متناظر این خروجی به صورت زیر اعمال می‌شوند:

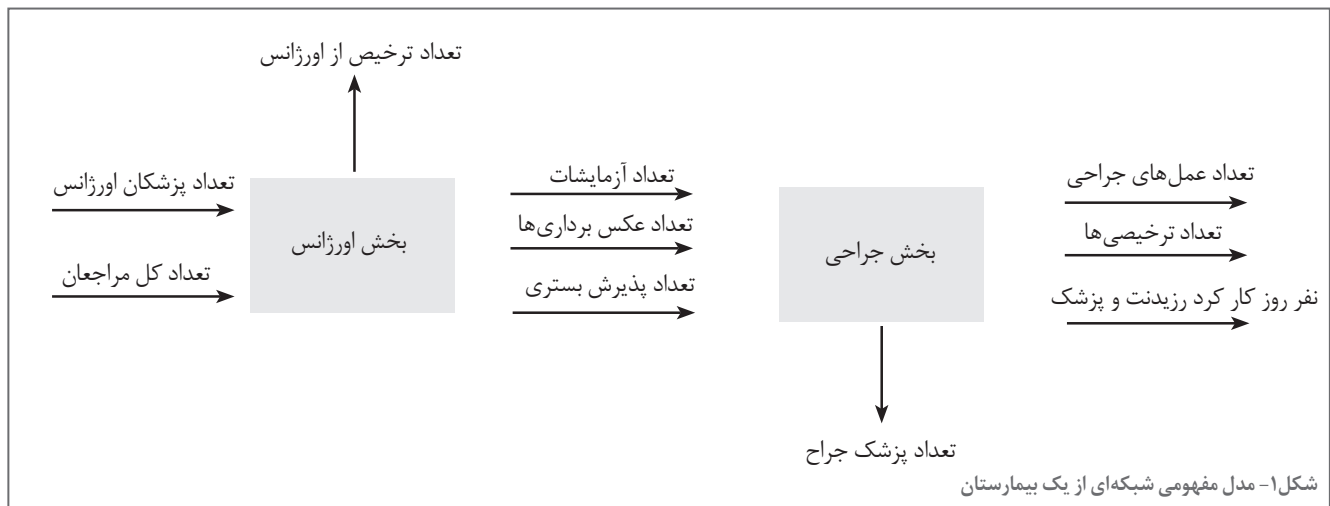
$(2300, 2000)$ ، $(1600, 2000)$ ، $(1000, 1600)$ ، (11000)
 ارزش متناظر هر یک از این بازه‌ها باید به صورت یک دنباله صعودی باشد که آن را با اعداد بزرگ‌تر از یک متناظر پارامترهای آن در مدل ۶ مشخص است. این ضرایب به ترتیب ۱، ۲، ۱، ۵، ۱، ۹ و در نظر گرفته شده است.

نتایج ارزیابی بیمارستان به کمک مدل ۲ مرحله‌ای تعمیم‌یافته در جدول ۳ گردآوری شده است. در این جدول نتایج مدل کلاسیک تحلیل پوششی داده‌ها نیز آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در برخی شعب، نتایج متفاوتی به دست آمده است. از ویژگی‌های با اهمیت در نتیجه به دست آمده تغییر در دسته‌بندی واحدهاست. همان‌طور که مشاهده می‌شود برخی از واحدها در یک روش، کارا و در روش دیگر ناکارا معرفی شده‌اند. البته روش پیشنهادی از دقت بیشتری برخوردار است، زیرا با در نظر گرفتن قیمت‌گذاری

مصرف و ۳ خروجی نهایی ارائه شده‌اند.
 ورودی و خروجی‌های مرحله اول عبارتند از:
 ورودی‌ها: تعداد پزشکان اورژانس، تعداد کل مراجعان.
 خروجی‌ها: تعداد آزمایش‌ها، تعداد عکس‌برداری‌ها و تعداد تریخیصی از اورژانس.

ورودی و خروجی‌های مرحله دوم عبارتند از:
 ورودی‌ها: تعداد آزمایش‌ها، تعداد عکس‌برداری‌ها، تعداد پذیرش بستری و تعداد پزشکان جراح.
 خروجی‌ها: تعداد عمل‌های جراحی، تعداد تریخیصی‌ها و نفر روز کارکرد رزیدنت و پزشک (عمومی و متخصص).
 داده‌های مربوط به ورودی و خروجی‌های بخش‌های اورژانس و جراحی بیمارستان‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است.

خروجی نفر روز کارکرد رزیدنت و پزشک بسته به مقدار کمی آن دارای ارزش متفاوتی است زیرا مقدار بیشتر آن می‌تواند یکی از معیارها برای معرفی عملکرد بهتر واحد درمانی باشد. برای نشان دادن این موضوع که ارزش‌گذاری خطی به نتایج بهتر و دقیق‌تری منجر



جدول ۱ | ورودی و خروجی‌ها

ورودی های مرحله اول	تولیدات میانی	ورودی مستقل مرحله دوم و خروجی های مستقل مرحله اول	خروجی های مرحله دوم
X_1 : تعداد پزشکان اورژانس	Z_1 : تعداد آزمایشات	G_1 : تعداد تریخیصی از اورژانس	Y_1 : تعداد عمل های جراحی
X_2 : تعداد کل مراجعان	Z_2 : تعداد عکس برداری ها	W_1 : تعداد پزشک جراح	Y_2 : تعداد تریخیصی ها
	Z_3 : تعداد پذیرش بستری		Y_2 : نفر روز کارکرد رزیدنت و پزشک (عمومی و متخصص)

جدول ۲ | داده‌های مربوط به ورودی و خروجی ها

شاخص ها	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
تعداد پزشکان اورژانس	۲	۱۸	۵	۱.۲
تعداد کل مراجعان	۵۳۶۵	۹۳۶۷	۶۵۲۴	۲.۳۲
تعداد آزمایش‌ها	۳۲۸۷	۵۳۶۸	۴۳۵۶	۰.۲۳
تعداد عکس برداری‌ها	۳۵۴۲	۴۳۵۷	۳۷۲۳	۰.۹۸
تعداد ترخیصی از اورژانس	۱۳۲۸	۳۴۲۵	۲۳۴۵	۳.۲۱
تعداد پذیرش بستری	۱۴۳۵	۲۳۷۶	۱۶۸۴	۰.۱۲
تعداد پزشکان جراح	۲۲	۴۱	۲۵	۲.۹۴
تعداد عمل‌های جراحی	۲۷۶۴	۳۲۵۶	۲۸۴۳	۰.۱۷
تعداد ترخیصی‌ها	۱۲۵۴	۵۳۶۵	۱۷۶۵	۲.۴۸
نفر روزکارکرد رزیدنت و پزشک	۴۳۲	۲۱۷۸	۷۶۵۴	۱.۵۸

جدول ۳ | کارایی بیمارستان ها

بیمارستان	کارایی مدل (۲)	کارایی مدل (۶)
۱	۰/۷۶	۰/۸۴
۲	۰/۴۹	۰/۴۹
۳	۰/۹۶	۰/۸۵
۴	۱	۱
۵	۱	۰/۹۳
۶	۰/۸۳	۰/۸۱

ارزش غیرخطی خروجی‌ها را در ارزیابی مدنظر قرار می‌دهد. در این مقاله کاربردی با کمک مدل معرفی شده ۱۰ بیمارستان در نظر گرفته شد با رویکرد جدید، بررسی شدند. روش پیشنهادی از دقت بیشتری برخوردار است، زیرا با در نظر گرفتن قیمت گذاری غیرخطی، خطایی که از قیمت گذاری خطی در ارزیابی‌ها نتیجه می‌شود را کاهش داده است. در دنیای واقعی تقریباً تمام شاخص‌ها ارزش غیرخطی دارند و در نظر گرفتن ارزش خطی در ارزیابی‌ها به پذیرفتن خطا منجر می‌شود.

آنچه از نتایج حاصل از ارزیابی کارایی با ارزش گذاری غیرخطی بسیار مهم است، تغییر در نوع دسته‌بندی واحدهای کارا و ناکاراست که با توجه به آن، استراتژی‌های متفاوتی توسط مدیران باید لحاظ شود. ارزیابی کارایی مؤلفه‌ای با توجه به مدل‌های معرفی شده به راحتی به دست می‌آید که می‌تواند در مثال‌های کاربردی سیستم‌های متفاوت مورد استفاده قرار بگیرد.

غیرخطی، خطایی که از قیمت گذاری خطی در ارزیابی‌ها نتیجه می‌شود را کاهش داده است. در دنیای واقعی تقریباً تمام شاخص‌ها ارزش غیرخطی دارند و در نظر گرفتن ارزش خطی در ارزیابی‌ها به پذیرفتن خطا منجر می‌شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت بسیار بالای بیمارستان‌ها در ارائه خدمات بهداشتی و درمانی و تأثیر زیاد آنها در کارایی نظام مدیریت سلامت کشور، استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها با ارائه امکان مقایسه و الگوگیری می‌تواند گامی مهم برای بهبود مستمر عملکرد بیمارستان‌ها و به خصوص بخش بهداشت کشور باشد.

در توسعه رویکرد کلاسیک مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها که در ارزیابی عملکرد واحدهای تصمیم‌گیرنده به صورت جعبه سیاه در نظر گرفته می‌شوند و روابط درونی یک سیستم مشاهده نمی‌شوند، مدل‌های شبکه‌ای معرفی شدند که به روابط میان واحدهای تصمیم‌گیرنده، ورودی‌ها را با در نظر گرفتن مراحل میانی به خروجی‌ها تبدیل می‌کنند. در بسیاری از سیستم‌ها مراحل وابسته به هم هستند و در نظر نگرفتن مراحل میانی در ارزیابی سیستم خطا ایجاد می‌کند. از جمله این سیستم‌ها، سیستم‌های خدماتی هستند که برای ارائه خدمات از مراحل وابسته به هم تشکیل شده‌اند. در این تحقیق با استفاده از رویکرد تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای، مدل ارزیابی کارایی طراحی شده است که به جای قیمت گذاری خطی

- and applications. *Health Care Manag Sci.* 1999;2(3):161-72
13. Ersoy K, Kavuncubasi S, Ozcan YA, Harris II JM. Technical efficiencies of Turkish hospitals: DEA approach. *J Med Syst.* 1997;21(2):67-74
 14. Asefzadeh S, Moosaniaye Zare SA, Mirtamizdoust M. Assessment of dedicated revenue of non-educational hospitals in Guilan University of Medical Sciences (2012). *J Qazvin Univ Med Sci.* 2015;19(2):73-6. [Persian]
 15. Jahangiri A. Application of data envelopment analysis in Iranian hospitals. *Journal of Hospital.* 2015;15(3):104-24. [Persian]
 16. Firoozi Jantigh F, Stoure M. Performance evaluation of hospitals of Tehran University of Medical Sciences using the combined model of data envelopment analysis and Prometheus method. *Iranian Occupational Health Journal* 2017;14(5):141-52. [Persian]
 17. Nilchi M, Fadaeinejad MI, Razavi Haji Aqa SH, Badri A. Introducing new multi-sector data envelopment analysis model for evaluating bank branch performance. *Journal of Industrial Management Studies.* 2017;64:73-96. [Persian]
 18. Soheilirad S, Govindan K, Mardani A, Zavadskas EK, Nilashi M, Zakuan N. Application of data envelopment analysis models in supply chain management: a systematic review and meta-analysis. *Annals of Operations Research.* 2018;271(2):915-69.
 19. Fare R, Grosskopf S. Network DEA. *Socio-Economic Planning Sciences.* 2000;34(1):35-49.
 20. Lewis HF, Sexton TR. Network DEA: efficiency analysis of organizations with complex internal structure. *Computers & Operations Research.* 2004;31(9):1365-410.
 21. Drake L, Hall MJ, Simper R. The impact of macroeconomic and regulatory factors on bank efficiency: A non-parametric analysis of Hong Kong's banking system. *Journal of Banking & Finance.* 2006;30(5):1443-66.
 22. Chiu YH, Chen YC. The analysis of Taiwanese bank efficiency: Incorporating both external environment risk and internal risk. *Economic Modelling.* 2009;26(2):456-63.
 23. Huang CW, Chiu YH, Lin CH, Liu HH. Using a hybrid systems DEA model to analyze the influence of automatic banking service on commercial banks' efficiency. *Journal of the Operations Research Society of Japan.* 2012;55(4):209-24.
 24. Alam Tabriz A, Yousefi, M J. Performance evaluation of hospitals in Mazandaran province using network data envelopment analysis method. [MSc Thesis]. Tehran: Faculty of Humanities, Damavand Ershad Institute of Higher Education, 2016. [Persian]
 25. Lotfi FH, Rostamy-Malkhalifeh M, Moghaddas Z. Modified piecewise linear DEA model. *European Journal of Operational Research.* 2010;205(3):729-33.
 26. Thompson RG, Dharmapala PS, Rothenberg LJ, Thrall RM. DEA/AR efficiency and profitability of 14 major oil companies in US exploration and production. *Computers & Operations Research.* 1996;23(4):357-73.

برای پیشنهاد‌های آینده، در نظر گرفتن عوامل نامطلوب، غیر قابل کنترل، داده‌های منفی و داده‌های کیفی می‌تواند در این روش جدید بررسی و به‌طور مناسب در صورت امکان فرموله شود.

سپاس‌گزاری

نویسندگان مقاله بدین‌وسیله بر خود لازم می‌دانند از تمام کسانی که به‌نحوی در انجام این مقاله یاری رساندند، قدردانی و تشکر کنند.

References

1. Askari R, Goudarzi R, Fallahzadeh H, Zarei B, Dehqani Tafti A. Efficiency appraisal of Yazd university of medical science hospitals by quantitative approach data envelopment analysis (DEA). *Journal of Payavard Salamat.* 2012;6(3):215-24. [Persian]
2. Omrani H, Shafaat K, Emrouznejad A. An integrated fuzzy clustering cooperative game data envelopment analysis model with application in hospital efficiency. *Expert Systems with Applications.* 2018;114:615-28.
3. Azar A, Khatir MV, Baerz AM, Yeganeh YH. Evaluation of hospital efficiency by data envelopment analysis: Tehran University of Medical Sciences: 2009-2011. *Journal of Health Administration.* 2013;16(53):36-46.
4. Charnes A, Cooper WW, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units. *Eur J Oper Res.* 1978;2(6):429-44.
5. Banker RD, Charnes A, Cooper WW. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science.* 1984;30(9):1078-92.
6. Emrouznejad A, Banker R, Ahn H, Afsharian M. Data envelopment analysis and its applications. In *Proceedings of the 13th International Conference of DEA 2016 Feb* (p. 5).
7. Emrouznejad A, Yang GL. A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978-2016. *Socio-Economic Planning Sciences.* 2018;61:4-8.
8. Banker RD, Conrad RF, Strauss RP. A comparative application of data envelopment analysis and translog methods: an illustrative study of hospital production. *Management Science.* 1986;32(1):30-44.
9. Datar S, Banker R, Das S. "Analysis of cost variances for management control in hospitals." In *Research in Governmental and Nonprofit Accounting*. Vol. 5, edited by James L. Chan, Rowan H. Jones, and James M. Patton, 269-291. Elsevier Science, 1990.
10. Borden JP. Review of literature on activity-based costing. *Journal of Cost Management.* 1990;4(1):5-12.
11. Ehreth JL. The development and evaluation of hospital performance measures for policy analysis. *Med Care.* 1994;32(6):568-87
12. Hollingsworth B, Dawson PJ, Maniadakis N. Efficiency measurement of health care: a review of non-parametric methods