مجله مدیریت اطلاعات سلامت
سال بیست و سوم/ شماره دوم/ تابستان ۱۴۰۵

Published by *Isfahan University of Medical Sciences*
DOI: 10.48305/him.2026.46131.1388

پیامدهای عدم‌قطعیت داده‌های نظام اطلاعات بیمارستانی در ارزیابی عملکرد: یک رویکرد مقاوم مبتنی بر تحلیل‌پوششی‌داده‌ها

هدی مرادی[۱]، حمید بابایی میبدی[۲]

مقاله پژوهشی

چکیده

مقدمه: ارزیابی کارایی بیمارستان‌ها به‌طور گسترده‌ای بر داده‌های نظام اطلاعات سلامت متکی است که در کنار داده‌های قطعی، شامل شاخص‌هایی هستند که به دلیل محدودیت‌های اندازه‌گیری، کیفیت ثبت داده‌ها و نوسانات اطلاعاتی با درجاتی از عدم‌قطعیت همراه‌اند.

روش بررسی: با توجه به ماهیت داده‌های تولیدشده در چرخه‌ی مدیریت اطلاعات بیمارستانی و تفاوت در قابلیت اتکای شاخص‌ها، چارچوبی مبتنی بر تحلیل‌پوششی‌داده‌های مقاوم ارایه شد که امکان مدل‌سازی هم‌زمان داده‌های قطعی و غیرقطعی را فراهم می‌کند. سه مدل مقاوم برای لحاظ کردن عدم‌قطعیت در ورودی‌ها، خروجی‌ها و هر دو توسعه یافت و عملکرد آن‌ها از طریق مطالعه موردی بیمارستانی ارزیابی شد.

یافته‌ها: ۵۹٪ نتایج نشان داد که وجود عدم‌قطعیت در داده‌های نظام اطلاعات سلامت می‌تواند موجب ناپایداری مقادیر کارایی و کاهش قابلیت اتکای نتایج ارزیابی عملکرد شود. در مقابل، مدل‌های پیشنهادی در مقایسه با مدل کلاسیک، مقادیر کارایی پایدارتر و رتبه‌بندی منسجم‌تری ارایه کرده و از بروز مقادیر کارایی غیرواقعی جلوگیری کردند.

نتیجه‌گیری: چارچوب پیشنهادی با تفکیک داده‌های قطعی و غیرقطعی، ارزیابی واقع‌بینانه‌تری از عملکرد بیمارستان‌ها در نظام‌های‌اطلاعات‌سلامت فراهم می‌کند.

واژه‌های کلیدی: بیمارستان‌ها؛ تحقیق در عملیات؛ سامانه‌های اطلاعات سلامت؛ عدم‌قطعیت؛ کارایی

پیام کلیدی: به‌کارگیری این چارچوب در نظام‌های‌اطلاعات‌سلامت می‌تواند با کاهش اثرات عدم‌قطعیت داده‌ها بر ارزیابی عملکرد، اطلاعات پایدارتر و قابل‌اتکاتری را برای تخصیص منابع و بهبود عملکرد بیمارستان‌ها در اختیار مدیران قرارمی‌دهد.

دریافت مقاله:۱۴۰۴/۱۲/۱۴ پذیرش مقاله:۱۴۰۵/۳/۱۵ تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۴/۱۰

ارجاع: مرادی هدی، بابایی میبدی حمید. **پیامدهای عدم‌قطعیت داده‌های نظام اطلاعات بیمارستانی در ارزیابی عملکرد: یک رویکرد مقاوم مبتنی بر تحلیل‌پوششی‌داده‌ها.** مدیریت اطلاعات سلامت۱۴۰۵؛۲۳ (۲):۸۹-۷۹.

مقدمه

بیمارستان‌ها به‌عنوان یکی از پیچیده‌ترین سازمان‌های ارایه‌دهنده خدمات سلامت، برای پایش عملکرد، تخصیص منابع و ارتقای کیفیت خدمات، به داده‌های استخراج شده از نظام‌های اطلاعات سلامت بیمارستانی (HIS:Hospital Information System) اتکا دارند (۱). در این محیط‌ها، تنها ابزار ثبت داده نیست، بلکه زیرساخت اصلی تصمیم‌گیری مدیریتی، ارزیابی عملکرد و برنامه‌ریزی منابع است (۲). با این‌حال، داده‌های تولید شده در این سامانه‌ها از کیفیت و قطعیت یکسانی برخوردار نیستند (۳). این تفاوت ناشی از کیفیت داده است، به‌گونه‌ای که داده‌های ساختاریافته عمدتا از دقت و سازگاری بیشتری برخوردارند، در حالی‌که برخی شاخص‌های عملکردی مانند کیفیت خدمات و رضایت بیماران به دلیل ماهیت ادراکی و روش اندازه‌گیری با درجاتی از عدم قطعیت همراه هستند. علاوه بر این، خطاهای ثبت، تاخیر زمانی و ناهمگنی منابع داده نیز می‌توانند قابلیت اتکای شاخص‌های عملکردی را کاهش دهند، در نتیجه، روش‌های تحلیلی مبتنی بر فرض قطعی بودن داده‌ها ممکن است به برآوردهای ناپایدار و ارزیابی‌های کم‌اتکاتر از عملکرد بیمارستان‌ها منجر شود (۴).

این مسئله محدود به حوزه سلامت نیست و در بسیاری از مسایل تصمیم‌گیری، پارامترهای مدل‌های ریاضی تحت تاثیر خطاهای اندازه‌گیری، محدودیت‌های مشاهده و نوسانات محیطی قرار می‌گیرند. در چنین شرایطی، نادیده‌گرفتن عدم‌قطعیت داده‌ها می‌تواند به راه‌حل‌های ریاضی بهینه اما از نظر مدیریتی ناپایدار و کم‌اتکا منجر شود (۵). مطالعات برنامه‌ریزی‌خطی و تصمیم‌گیری نشان داده‌اند که حتی نوسانات کوچک پارامترها می‌تواند پاسخ‌های بهینه را به‌طور چشمگیری تغییر دهد (۶). ازاین‌رو، توسعه روش‌هایی برای کاهش اثرات عدم‌قطعیت داده‌ها و تولید اطلاعات تصمیم‌یار پایدارتر ضروری است.

بهینه‌سازی‌مقاوم یکی از رویکردهای موثر برای مواجهه با عدم‌قطعیت داده‌هاست که با تعریف مجموعه‌های عدم‌قطعیت، راه‌حل‌هایی قابل قبول حتی در بدترین سناریوهای نوسان پارامترها ارایه می‌دهد (۷). در این چارچوب، قیود مدل برای تمامی مقادیر مجاز پارامترها برقرار می‌ماند و رویکردهای Ben-Tal و همکاران (۸) وBertsimas و همکاران (۹)، امکان کنترل سطح محافظه‌کاری و مدیریت خطر ناشی از عدم‌قطعیت را فراهم می‌کنند، قابلیتی که برای تولید شاخص‌های عملکردی پایدار در محیط‌های داده‌محور اهمیت دارد.

۱. دکتری، مدیریت صنعتی، گروه مدیریت، دانشگاه میبد، میبد، ایران
۲. دانشیار، مدیریت صنعتی، گروه مدیریت، دانشگاه میبد، میبد، ایران
نویسنده طرف مکاتبه: حمید بابایی میبدی، دکتری، مدیریت صنعتی، گروه مدیریت، دانشگاه میبد، میبد، ایران
E mail: babaei@meybod.ac.ir

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

از سوی دیگر،تحلیل پوششی داده‌ها (Data Envelopment Analysis- DEA) یکی از پرکاربردترین روش‌های غیرپارامتری برای ارزیابی کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیرنده است (۱۰)، با این حال، مدل‌های کلاسیک DEA بر قطعی بودن داده‌های ورودی و خروجی استوارند، فرضی که در بسیاری از کاربردهای واقعی، به‌ویژه در محیط‌های مبتنی بر HIS، برقرار نیست. شواهد نشان می‌دهد نوسانات محدود داده‌ها نیز می‌تواند مقادیر کارایی و رتبه‌بندی را ناپایدار کند (۱۱). در پاسخ به این چالش، مدل‌های DEA مقاوم (Robust DEA- RDEA) و رویکردهای مبتنی بر عدم‌قطعیت، از جمله مدل‌های فازی (۱۲)، بازه‌ای (۱۳) و.غیره، توسعه یافته‌اند.

اگرچه این مطالعات گامی مهم در لحاظ‌کردن عدم‌قطعیت داده‌ای برداشته‌اند، اغلب یا تنها بر عدم‌قطعیت یک‌سویه (ورودی یا خروجی) تمرکز کرده‌اند یا تمامی داده‌ها را همگن (کاملا قطعی یا کاملا غیرقطعی) فرض کرده‌اند. این فرض‌ها با محیط‌های تصمیم‌گیری داده‌محور سازگار نیست، زیرا داده‌ها معمولا ترکیبی از شاخص‌های قطعی و غیرقطعی‌اند. ناتوانی مدل‌های موجود در تفکیک این دو نوع داده می‌تواند به محافظه‌کاری بیش از حد یا نادیده‌گرفتن عدم‌قطعیت‌های مهم منجر شود. بر این اساس، پژوهش حاضر با الهام از رویکردهای بهینه‌سازی‌مقاوم Ben-Tal و همکاران (۸)، Bertsimas و همکاران (۹)، چارچوبی منعطف برای نمایش عدم‌قطعیت داده‌ها در نظام‌های اطلاعات سلامت ارایه می‌دهد که ضمن حفظ سادگی مدل، از محافظه‌کاری غیرضروری اجتناب می‌کند. سهم‌های اصلی این پژوهش عبارت‌اند از:

- توسعه چارچوب RDEA که، در تکمیل مطالعات پیشین، امکان مدل‌سازی هم‌زمان داده‌های قطعی و غیرقطعی را در ورودی‌ها و خروجی‌ها فراهم کرده و سه سناریوی عدم‌قطعیت شامل ورودی، خروجی و حالت ترکیبی را پوشش می‌دهد.
- ارایه راهبردی برای مقاوم‌سازی هدفمند که تنها بر متغیرهای غیرقطعی اعمال می‌شود و ضمن حفظ اطلاعات قطعی، از محافظه‌کاری غیرضروری جلوگیری کرده و ارزیابی کارایی را با واقعیت داده‌های HIS سازگارتر می‌کند.
- ارزیابی چارچوب پیشنهادی با داده‌های واقعی بیمارستانی و نشان دادن پایداری بیشتر آن نسبت به مدل CCR در برآورد کارایی و رتبه‌بندی، همراه با امکان بررسی اثر نسبی عدم‌قطعیت در ورودی‌ها و خروجی‌ها.

بر این اساس، هدف این پژوهش توسعه و ارزیابی یک چارچوب RDEA برای مدل‌سازی هم‌زمان داده‌های قطعی و غیرقطعی در نظام‌های‌اطلاعات‌سلامت است.

روش بررسی

مدل کلاسیک DEA و نقش عدم‌قطعیت در داده‌ها: مدل DEA نخستین‌بار توسط Charnes و همکاران (۱۴)، برای سنجش کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیرنده معرفی شد. فرم مضربی مدل RDEA در رابطه (۱) ارایه شده و مبنایی توسعه مدل‌های RDEA در این پژوهش است.

(۱)

$$max\ z = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro}$$

$$s.t. \sum_{i=1}^{m} v_i x_{io} = 1$$

$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \le 0, j = 1,\dots,n$$

$$u_r, v_i \ge 0,$$

در این مدل، xij و yrj به‌ترتیب نشان‌دهنده ورودی و خروجی واحد تصمیم‌گیرنده j و v_i و u_r وزن‌های متناظر آنها را نشان می‌دهد. فرم پوششی متناظر نیز چارچوب مناسب‌تری برای توسعه مدل‌های DEA تحت شرایط عدم‌قطعیت فراهم می‌کند.

(۲)

$$min \quad \theta$$

$$s.t. \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} \ge y_{ro}, r = 1,..,s$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} \le \theta x_{io}, i = 1,..,m$$

$$\lambda_j \ge 0, j = 1,\dots,n$$

در مدل‌های کلاسیک، DEA داده‌های ورودی و خروجی قطعی و بدون خطا مشاهده می‌شوند، در حالی‌که در بسیاری از کاربردهای واقعی، این داده‌ها با عدم قطعیت پارامتری مواجه‌اند. این عدم‌قطعیت معمولا ناشی از گردآوری و پردازش داده بوده و برکیفیت اطلاعات تصمیم‌گیری مدیریتی اثر می‌گذارد. فرض کنید در مدل‌های کلاسیک (۱) و (۲)، مقادیر ورودی و خروجی با انحراف از مقادیر قطعی اندازه‌گیری شوند. در این چارچوب، پارامتر نامعین $\tilde{a}_{ij}$، در قید i—ام ام مدل (۲) به‌صورت $\tilde{a}_{ij} = (1 + \varepsilon\omega_{ij})a_{ij}$ مدل‌سازی می‌شود (۱۵)، که در آن a_{ij} مقدار پارامتر، ε ضریب شدت عدم‌قطعیت و ω_{ij} متغیرهای تصادفی با توزیع یکنواخت متقارن در بازه $[-1,1]$ هستند. در ادامه، متناسب با سناریوی عدم‌قطعیت، این نماد عمومی برای پارامترهای ورودی یا خروجی به‌ترتیب با x_{ij} و y_{rj} جایگزین می‌شود

این بازه‌ی متقارن و یکنواخت، به‌دلیل فقدان اطلاعات پیشینی درباره‌ی جهت و اندازه‌ی خطا، و بر اساس رویکرد بدترین‌حالت در بهینه‌سازی مقاوم، به‌عنوان یک فرض استاندارد و محافظه‌کارانه، صرف‌نظر از منشا عدم‌قطعیت (تصادفی، فازی یا خطای ثبت) اتخاذ شده است. این عدم‌قطعیت از طریق قیود مدل در ساختار DEA منعکس شده و مبنای توسعه مدل‌های RDEA را تشکیل می‌دهد. با توجه به آنکه عدم‌قطعیت می‌تواند به‌صورت مستقل در داده‌های ورودی یا خروجی و یا هم‌زمان در هر دو سمت رخ دهد، در ادامه یک چارچوب RDEA ارایه می‌شود که این حالات مختلف عدم‌قطعیت را به‌صورت نظام‌مند پوشش می‌دهد.

مدل RDEA با عدم‌قطعیت در داده‌های خروجی

در مدل $RDEA$ معرفی‌شده توسط سجادی و عمرانی(۱۶) تمامی خروجی‌ها غیرقطعی فرض می‌شوند. با این حال، در بسیاری از کاربردهای واقعی، تنها بخشی از خروجی‌ها با خطا یا نوسان اندازه‌گیری مواجه‌اند و سایر خروجی‌ها قطعی‌اند. برای

http://him.mui.ac.ir

رفع این محدودیت، مدل $RDEA$ ارایه می‌شود که مدل‌سازی هم‌زمان خروجی‌های قطعی و غیرقطعی را امکان‌پذیر می‌کند. برای این منظور، خروجی‌ها به دو مجموعه Rc (قطعی) و Ru (غیرقطعی) تقسیم می‌شوند. خروجی‌های قطعی بدون عدم‌قطعیت وارد مدل می‌شوند، در حالی‌که خروجی‌های غیرقطعی $(r \in R_u)$ عدم‌قطعیت به‌صورت $\tilde{y}_{rj} = (1 + \varepsilon_r \omega_{rj}) y_{rj}$ مدل‌سازی می‌شود، که در آن ω_{rj} متغیری با توزیع یکنواخت در بازه $[-1,1]$ و ε_r بیانگر سطح عدم‌قطعیت خروجی r–ام است. برای جلوگیری از ورود مستقیم داده‌های غیرقطعی به تابع هدف ، از چارچوب CCR ورودی‌محور استفاده می‌شود. اگرچه تابع هدف به‌صورت MAX.Z بازنویسی شده است، جهت‌گیری مدل همچنان ورودی‌محور باقی می‌ماند، زیرا قید نرمال‌سازی $(\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ijo} = 1)$ بر وزن‌های ورودی اعمال می‌شود و بازنویسی تابع هدف همراه با افزودن محدودیت کمکی $z_{jo} - \sum_{r \in R_c} u_r y_{rjo} - \sum_{r \in R_u} u_r y_{rjo} \le 0$ صرفا برای جلوگیری از ورود مستقیم داده‌های غیرقطعی به مدل مقاوم انجام شده و جهت‌گیری مدل را تغییر نمی‌دهد.

(۳)

$$
\begin{aligned}
&max\ z_{jo}\\
&s.t.\ z_{jo} - \sum_{r \in R_c} u_r y_{rjo} - \sum_{r \in R_u} u_r y_{rjo}\\
&\qquad + \varepsilon_y \left(\sum_{r \in R_u} y_{rjo} \alpha_{rjo} \right.\\
&\qquad \left. + \Gamma_y \sqrt{\sum_{r \in R_u} y_{rjo}^2 \beta_{rjo}^2} \right) \le 0\\
&\sum_{r \in R_c} u_r y_{rj} + \sum_{r \in R_u} u_r y_{rj}\\
&\qquad + \varepsilon_y \left(\sum_{r=R_u} y_{rj} \alpha_{rj} \right.\\
&\qquad \left. + \Gamma_y \sqrt{\sum_{r=R_u} y_{rj}^2 \beta_{rj}^2} \right)\\
&\qquad - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \le 0\\
&\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ijo} = 1\\
&-\alpha_{rj} \le u_r - \beta_{rj} \le \alpha_{rj}, \forall r \in R_u, \forall j = 1, \dots, n\\
&u_r \ge 0, (r \in R_c \cup R_u),\\
&v_i \ge 0 (i = 1, \dots, m),\\
&\alpha_{rj}, \beta_{rj} \ge 0
\end{aligned}
$$

در این مدل Γ بودجه‌ی عدم‌قطعیت و تعیین‌کننده سطح محافظه‌کاری است.متغیرهای α_{rj} و β_{rj} نیز برای خطی‌سازی قید $|u_r - \beta_{rj}| \le \alpha_{rj}$ به مدل افزوده شده‌اند. بر اساس قضیه Ben-Tal و Nemirovski (۱۵)، اگر متغیرهای تصادفی دارای توزیع متقارن در بازه $[-1,1]$ باشند، جواب مدل با احتمال حداقل $\mu_y = exp\left(\frac{-\Gamma_y^2}{2}\right)$ شدنی است. برای مثال، با انتخاب $\Gamma_y = 2/45$ جواب بهینه با احتمال ۹۵درصد شدنی خواهد بود که متناظر $\mu_y = 0/05$ است.

مدل RDEA با عدم‌قطعیت در داده‌های ورودی

از آنجا که مدل $RDEA$ سجادی و عمرانی (۱۶) عدم‌قطعیت در داده‌های ورودی را پوشش نمی‌دهد، در این پژوهش نسخه‌ای توسعه‌یافته برای مدل‌سازی هم‌زمان ورودی‌های قطعی و غیرقطعی ارایه می‌شود. برای جلوگیری از ورود مستقیم داده‌های غیرقطعی به تابع هدف و حفظ ساختار خروجی‌محور CCR تابع هدف به‌صورت $min.\ z$ بازنویسی شد اگرچه تابع هدف کمینه شده است، جهت‌گیری مدل همچنان خروجی‌محور باقی می‌ماند، زیرا قید نرمال‌سازی بر وزن‌های خروجی اعمال می‌شود. همچنین، برای پیوند متغیر کمکی z با مجموع وزنی ورودی‌های واحد مورد ارزیابی، قید کمکی $\sum_{i \in I_c} v_i x_{ijo} + \sum_{i \in I_u} v_i x_{ijo} - z_{jo} \le 0$ به مدل افزوده می‌شود.این بازنویسی صرفا با هدف مقاوم‌سازی انجام شده و جهت‌گیری مدل را تغییر نمی‌دهد.

(۴)

$$
\begin{aligned}
&min\ z_{jo}\\
&s.t. \sum_{i \in I_c} v_i x_{ijo} + \sum_{i \in I_u} v_i x_{ijo}\\
&\qquad + \varepsilon_x \left(\sum_{i \in I_u} x_{ijo} \partial_{ijo} \right.\\
&\qquad \left. + \Gamma_x \sqrt{\sum_{i=I_u} x_{ijo}^2 \sigma_{ijo}^2} \right) - z_{jo} \le 0\\
&\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i \in I_c} v_i x_{ij} - \sum_{i \in I_u} v_i x_{ij}\\
&\qquad + \varepsilon_x \left(\sum_{i \in I_u} x_{ij} \partial_{ij} \right.\\
&\qquad \left. + \Gamma_x \sqrt{\sum_{i \in I_u} x_{ij}^2 \sigma_{ij}^2} \right) \le 0\\
&\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rjo} = 1\\
&-\partial_{ij} \le v_i - \sigma_{ij} \le \partial_{ij}, \forall i \in I_u, \forall j\\
&\qquad = 1, \dots, n\\
&u_r \ge 0, r = 1, \dots, s;\\
&v_i \ge 0, (i \in I_c \cup I_u),\\
&\partial_{ij}, \sigma_{ij} \ge 0
\end{aligned}
$$

در این مدل متغیرهای کمکی ∂_{ij} و σ_{ij} برای خطی‌سازی قید $|v_i - \sigma_{ij}| \le$ مدل ∂_{ij} افزوده شده‌اند. ورودی غیرقطعی به‌صورت $\tilde{x}_{ij} = (1 + \varepsilon_i \omega_{ij}) x_{ij}$ می‌شوند و سایر ورودی‌ها بدون تغییر وارد مدل می‌شوند. براساس قضیه Ben-Tal و Nemirovski (۱۵)، اگر متغیرهای نامعین دارای توزیع متقارن در بازه $[-1,1]$ داشته باشند، احتمال نقض قیود مقاوم‌شده ورودی‌های غیرقطعی حداکثر μ_x است، به‌گونه‌ای که $\mu_x = exp\left(\frac{-\Gamma_x^2}{2}\right)$. در ادامه، مدل $RDEA$ تعمیم‌یافته با تلفیق دو چارچوب فوق ارایه می‌شود.

مدل RDEA تعمیم‌یافته با عدم‌قطعیت هم‌زمان در داده‌های ورودی و خروجی

مدل‌های بخش‌های۲.۲ و ۲.۳ به‌ترتیب عدم‌قطعیت خروجی‌ها و ورودی‌ها را مدل‌سازی می‌کنند. در این بخش، مدل $RDEA$ تعمیم‌یافته برای مدل‌سازی هم‌زمان

http://him.mui.ac.ir

داده‌های قطعی و غیرقطعی در ورودی‌ها و خروجی‌ها ارایه می‌شود. این مدل بر پایه فرم پوششی CCR و بهینه‌سازی‌مقاوم توسعه یافته است. برای این منظور، ورودی‌ها و خروجی‌ها به چهار مجموعه R_c, I_u, I_c و R_u تقسیم شده و مدل به صورت (۵) فرموله می‌شود.

(۵

$$
\begin{aligned}
&\min \theta \\
&\quad s.t. \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} - \theta x_{ijo} \le 0, \forall i \in I_c \text{ و} \\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} - (1+\varepsilon_x)\theta x_{ijo} \\
&\qquad + \varepsilon_x \left(\sum_{j=1}^{n} x_{ij}\delta_{ij} \right. \\
&\qquad \left. + \Gamma_x \sqrt{\sum_{j=1}^{n} x_{ij}^2 \eta_{ij}^2} \right) \le 0, \forall i \\
&\qquad \in I_u \\
&\quad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} \ge y_{rjo}, \forall r \in R_c \\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} - (1+\varepsilon_y) y_{rjo} + \varepsilon_y \left(\sum_{j=1}^{n} y_{rj}\tau_{rj} \right. \\
&\qquad \left. + \Gamma_y \sqrt{\sum_{j=1}^{n} y_{rj}^2 \pi_{rj}^2} \right) \\
&\qquad \ge 0, \forall r \in R_u \\
&-\delta_{ij} \le \lambda_j - \eta_{ij} \le \delta_{ij}, \forall i \in I_u, \\
&-\tau_{rj} \le \lambda_j - \pi_{rj} \le \tau_{rj}, \forall r \in R_u, \\
&\lambda_j \ge 0, j = 1, \dots, n \\
&\delta_{ij}, \eta_{ij}, \tau_{rj}, \pi_{rj} \ge 0, \forall i, j, r
\end{aligned}
$$

در این مدل λ_j وزن متناظر در فرم پوششی بوده و متغیرهای π_{rj}و$\tau_{rj}, \eta_{ij}, \delta_{ij}$ برای خطی‌سازی قیود $|\lambda_j - \eta_{ij}| \le \delta_{ij}$ و $|\lambda_j - \pi_{rj}| \le \tau_{rj}$ افزوده شده‌اند. با توجه به ساختار ترکیبی مدل، سطوح اطمینان قیود غیرقطعی برای ورودی و خروجی به‌طور مستقل تعریف می‌شوند. بر اساس قضیه‌ی Ben-Tal و Nemirovski (۱۵)، اگر متغیرهای نامعین دارای توزیع متقارن در بازه $[-1,1]$ داشته باشند، احتمال نقض قیود غیرقطعی حداکثر μ است، به‌گونه‌ای که $\mu = exp\left(\frac{-\Gamma_i^2}{2}\right)$ برای مثال، با انتخاب $\mu = 0/05$ قیود با احتمال ۹۵ درصد برقرار خواهند بود که متناظر با $\Gamma = 2/45$ است. در حالت کلی، سطوح اطمینان ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌توانند به‌صورت مستقل با μ_x و μ_y تعریف شوند و در صورت برابری،به فرم فوق تقلیل می‌یابند. مدل‌های پیشنهادی، ضمن حفظ ماهیت بهینه‌سازی‌مقاوم، ارزیابی کارایی را با ترکیبی از داده‌های قطعی و غیرقطعی امکانپذیر می‌کند. در این چارچوب، تنها شاخص‌های غیرقطعی مقاوم‌سازی شده و داده‌های قطعی بدون تغییر باقی می‌مانند، بنابراین، محافظه‌کاری فقط بر مؤلفه‌های غیرقطعی اعمال می‌شود.

مطالعه موردی

برای ارزیابی قابلیت کاربرد چارچوب پیشنهادی، مطالعه موردی بر روی ۲۰ بیمارستان دولتی تهران در سال ۱۴۰۳ انجام شد. این بیمارستان‌ها بر اساس دسترسی به داده‌های کامل و قابلیت مقایسه‌پذیری انتخاب شدند و همگی از نظر مأموریت، سطح خدمات و ساختار مدیریتی وابسته به وزارت بهداشت، همگن بودند. داده‌های موردنیاز از HISاستخراج شد و متغیرها بر اساس سه معیار شامل پیشینه استفاده در مطالعات مشابه (۱۸–۲۲)، دسترس‌پذیری یکسان در HIS و تناسب تعداد شاخص‌ها با تعداد DMUها انتخاب شدند. مطالعات پیشین مورد استناد، شاخص‌هایی از منابع و ظرفیت بیمارستان، حجم خدمات، هزینه و درآمد، کیفیت درمان و رضایت بیماران را برای ارزیابی عملکرد به‌کار گرفته‌اند. بر این اساس، در مطالعه حاضر شاخص‌های پزشکان، تخت‌های فعال، هزینه‌های عملیاتی و فضای فیزیکی به‌عنوان ورودی، و تعداد بیماران ترخیص‌شده، رضایت بیماران، نرخ موفقیت درمان و درآمد خدمات پاراکلینیکی به‌عنوان خروجی انتخاب شدند. جدول ۱ متغیرهای ورودی و خروجی، طبقه‌بندی قطعی یا غیرقطعی آن‌ها، نحوه اندازه‌گیری و ویژگی‌های عملیاتی هر شاخص را نشان می‌دهد. در چارچوب پیشنهادی، قطعی یا غیرقطعی بودن شاخص‌ها صرفا بر اساس ثبت مقدار آن‌ها در HIS تعیین نمی‌شود، بلکه بر اساس تعریف عملیاتی شاخص و نحوه درنظرگرفتن قابلیت اتکای مقدار آن در فرآیند ارزیابی عملکرد تعیین می‌شود. شاخص‌های ساختاری و قابل‌راستی‌آزمایی که در مطالعه حاضر از ثبات و قابلیت اتکای کافی برخوردار بودند، به‌عنوان داده‌های قطعی در نظر گرفته شدند؛ در مقابل، شاخص‌هایی که مقدار مورد استفاده در ارزیابی آن‌ها تحت تاثیر نوسانات، نحوه اندازه‌گیری یا ثبت، تفاوت در تعریف شاخص یا ویژگی‌های ادراکی آن قرار می‌گیرد، به‌عنوان داده‌های غیرقطعی طبقه‌بندی شدند. بنابراین، این طبقه‌بندی بیانگر فرض مدل‌سازی مطالعه حاضر است. بر این اساس، هزینه‌های عملیاتی سالانه، با وجود ثبت درHIS ، به‌عنوان ورودی غیرقطعی در نظر گرفته شد، زیرا مقدار آن شامل هزینه‌های جاری نظیر دارو، تجهیزات مصرفی و خدمات پشتیبانی بوده و می‌تواند تحت تأثیر نوسانات قیمت و حجم مصرف قرار گیرد. نرخ موفقیت درمان نیز به‌عنوان شاخصی غیرقطعی در نظر گرفته شد، زیرا مقدار آن به تعریف شاخص و نحوه ثبت وضعیت ترخیص توسط تیم درمان وابسته است. همچنین، میانگین رضایت بیماران، با توجه به ماهیت ادراکی این شاخص و تغییرپذیری مقدار مشاهده‌شده ناشی از پاسخ‌های افراد، در مطالعه حاضر به‌عنوان داده‌ای غیرقطعی مدل‌سازی شد. در مقابل، درآمد خدمات پاراکلینیکی با توجه به ماهیت حسابداری و محاسبه آن بر اساس تعرفه‌های مصوب، به‌عنوان داده قطعی در نظر گرفته شد. با وجود تفاوت در منشأ و ویژگی‌های این شاخص‌ها، در چارچوب پیشنهادی همه داده‌های غیرقطعی با استفاده از یک نمایش بازه‌ای متقارن مدل‌سازی شدند.

http://him.mui.ac.ir

جدول ۱. متغیرهای ورودی و خروجی و طبقه‌بندی قطعی/غیرقطعی

نوع	متغیر		میانگین	انحراف معیار	حداکثر	حداقل	شرح	منبع
ورودی	تعداد پزشکان تماموقت	قطعی	۱۵۸/۷۵	۱۷/۹۶۴۵۱	۱۹۲	۱۲۸	نمایانگر ظرفیت نیروی انسانی تخصصی بیمارستان است	(۱۷)
	تعداد تخت‌های فعال	قطعی	۴۰۴/۵	۴۹/۷۵۹۹۵	۴۹۰	۳۲۰	شاخص ظرفیت فیزیکی بیمارستان بر اساس داده‌های ثبت‌شده	(۱۸)
	هزینه‌های عملیاتی سالانه	غیرقطعی	۸۹۸	۹۹/۳۹۸۱۹	۱۰۸۰	۷۲۱	شامل هزینه‌های جاری نظیر دارو، تجهیزات مصرفی و خدمات پشتیبانی؛ مشمول نوسان قیمت و وابسته به حجم مصرف	(۶)
	فضای فیزیکی کل بیمارستان	قطعی	۹۹۰۰	۱۰۵۶/۳۰۹۳۴	۱۱۶۰۰	۸۰۰۰	نمایانگر زیرساخت فیزیکی بیمارستان	(۱۹)
	تعداد بیماران ترخیص‌شده	قطعی	۳۰۳۷۵	۲۳۲۱/۹۴۹۷۲	۳۵۰۰۰	۲۶۵۰۰	شاخصی متداول برای سنجش حجم خدمات ارایه‌شده	(۱۹)
خروجی	میانگین رضایت بیماران	غیرقطعی	۷/۹۹۵	۰/۲۵۸۴۸۸	۸/۵	۷/۶	خروجی کیفی که از طریق پرسشنامه‌ها یا نظرسنجی‌ها استخراج می‌شود؛ سازه‌ی ادراکی مبتنی بر نظر بیمار	(۲۰)
	نرخ موفقیت درمان	غیرقطعی	۹۰/۱۲۵	۲/۶۲۰۱۴	۹۵	۸۶	بازتاب‌دهنده کیفیت خدمات درمانی؛ نسبت بیماران ترخیص‌شده با بهبودی به کل بیماران بستری بیمارستان.وابسته به تعریف و نحوه ثبت وضعیت ترخیص توسط تیم درمان	(۱۷)
	درآمد خدمات پاراکلینیکی	قطعی	۶۴۲	۵۳/۲۷۱۸۹	۷۵۰	۵۵۰	داده حسابداری قابل‌راستی‌آزمایی	(۲۱)

تمامی محاسبات $Python$ و کتابخانه‌های $SciPy\ pandas،NumPy$ انجام شد. ابتدا مدل CCR کلاسیک با مقادیر ثبت شده در HIS و با فرض قطعی بودن همه متغیرها حل شد تا مقادیر کارایی و وزن‌های بهینه هر بیمارستان به‌دست آید. سپس، متغیرهای غیرقطعی بر اساس رابطه $\tilde{a}_{ij} = (1 + \varepsilon\omega_{ij})a_{ij}$ مدل‌سازی شدند و با ثابت نگه داشتن وزن‌های بهینه، تغییرات کارایی و رتبه‌بندی واحدها بررسی شد. در ادامه، مدل‌های پیشنهادی $RDEA$ (مدل‌های ۳، ۴ و ۵) با در نظر گرفتن صریح عدم‌قطعیت و پارامترهای کنترلی ε, Γ حل شدند. مقادیر این پارامترها بر اساس قضیه Ben-Tal و Nemirovski (۱۵) و از طریق تحلیل حساسیت در بازه‌های $\varepsilon = \{0/1,0/05,0/01\}$ و $\Gamma = \{2/15,2/45,3/03\Gamma = \{2/15,2/45,3/03\}$ متناظر با سطوح اطمینان تقریبی ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد انتخاب شدند.

یافته‌ها

این بخش نتایج ارزیابی عملکرد و تاثیر عدم‌قطعیت داده‌های HIS بر نتایج حاصل را ارائه می‌کند. ابتدا، به‌منظور ایجاد یک مبنای مقایسه و بررسی حساسیت مدل کلاسیک به عدم‌قطعیت داده‌ها، مدل CCR با فرض قطعی بودن داده‌ها حل شد و وزن‌های بهینه به دست آمد. سپس، سطوح مختلف عدم‌قطعیت بر متغیرهای غیرقطعی اعمال و همان وزن‌ها بر داده‌های تغییریافته اعمال شدند. نتایج این تحلیل در جدول ۲ ارایه شده است. در ادامه، عدم‌قطعیت به‌صورت صریح در چارچوب RDEA مدل‌سازی شد و نتایج سناریوهای مختلف در جدول ۳ گزارش شد.

جدول۲: آزمون مبنای حساسیت CCR کلاسیک نسبت به عدم‌قطعیت داده‌ها

بیمارستان	CCR		ε=0.01		ε=0.05		ε=0.1	
	کارایی	رتبه	کارایی	رتبه	کارایی	رتبه	کارایی	رتبه
DMU۱	۰/۸۷۰۶	۹	۰/۸۶۶۲	۹	۰/۸۳۹۱	۱۰*	۰/۷۹۸۵	۱۰*
DMU۲	۰/۹۷۷۸	۲	۰/۹۶۸۹	۲	۱/۰۱۴۳**	۱*	۰/۹۳۰۰	۵*
DMU۳	۰/۹۰۰۰	۸	۰/۸۸۷۵	۸	۰/۸۵۵۲	۵*	۰/۹۵۸۹	۳*
DMU۴	۰/۹۱۶۵	۳	۰/۹۲۴۰	۴*	۰/۹۱۷۳	۱۳*	۰/۹۲۳۰	۶*
DMU۵	۰/۷۶۰۹	۱۴	۴۰/۷۶۲	۱۴	۰/۸۰۹۶	۱۱*	۰/۷۳۸۷	۱۳*
DMU۶	۰/۹۱۰۷	۵	۰/۹۱۳۶	۵	۸۰/۸۸۷	۱۴*	۰/۹۷۱۷	۲*

http://him.mui.ac.ir

ادامه جدول۲: آزمون مبنای حساسیت CCR کلاسیک نسبت به عدم‌قطعیت داده‌ها

بیمارستان	CCR		ε=0.01		ε=0.05		ε=0.1	
	کارایی	رتبه	کارایی	رتبه	کارایی	رتبه	کارایی	رتبه
DMU۷	۰/۸۲۰۵	۱۱	۰/۸۱۷۵	۱۲*	۰/۸۱۳۲	۱۲*	۰/۷۹۱۱	۱۲*
DMU۸	۰/۷۴۸۶	۱۵	۰/۷۴۸۹	۱۶*	۰/۷۶۷۷	۱۴*	۰/۷۰۱۷	۱۷*
DMU۹	۰/۷۰۶۵	۱۷	۰/۷۰۷۱	۱۷	۰/۶۸۷۳	۱۸*	۱۶۰/۶۴	۱۹*
DMU۱۰	۰/۶۷۱۵	۱۹	۰/۶۷۷۳	۱۹	۰/۶۴۳۱	۲۰*	۰/۶۸۳۷	۱۸*
DMU۱۱	۰/۹۰۷۳	۶	۰/۹۲۲۴	۳*	۰/۸۶۴۷	۸*	۰/۹۲۲۸	۴*
DMU۱۲	۰/۹۰۶۰	۷	۰/۹۰۲۵	۷	۰/۹۰۲۵	۶*	۰/۸۶۶۶	۸*
DMU۱۳	۰/۸۵۰۶	۱۰	۰/۸۵۲۴	۱۰	۰/۹۳۳۳	۳*	۰/۹۲۲۸	۷
DMU۱۴	۰/۸۱۳۳	۱۲	۰/۸۲۴۵	۱۱*	۰/۸۱۲۸	۱۲	۰/۷۹۴۷	۱۱*
DMU۱۵	۰/۷۶۶۰	۱۳	۰/۷۷۲۴	۱۳	۴۰/۷۶۰	۱۵*	۰/۷۲۴۱	۱۵*
DMU۱۶	۰/۷۴۱۷	۱۶	۰/۷۵۲۷	۱۵*	۰/۷۵۲۰	۱۶	۰/۷۱۸۸	۱۶
DMU۱۷	۰/۷۰۴۰	۱۸	۰/۷۰۱۰	۱۸	۰/۷۶۰۴	۱۷*	۰/۷۲۸۱	۱۴*
DMU۱۸	۹۰/۶۶۲	۲۰	۰/۶۵۸۵	۲۰	۰/۶۷۰۶	۱۹*	۰/۶۲۲۶	۲۰
DMU۱۹	۱/۰۰۰۰	۱	۱/۰۰۰۰	۱	۱/۰۰۱۶**	۲*	۱/۰۱۶۴**	۱
DMU۲۰	۳۰/۹۱۶	۴	۰/۹۱۶۵	۶*	۰/۹۱۹۹	۴	۰/۸۴۹۹	۹*

*تغییر رتبه ، ** خروج کارایی از دامنه مجاز مدل CCR

مطابق جدول۲ ، با افزایش سطح عدم‌قطعیت، مقادیر کارایی و رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیرنده تغییر می‌کند. در برخی موارد، از جمله DMU_{19}،DMU_2 ، افزایش ε به بروز مقادیر کارایی بزرگ‌تر از یک منجر شده است که از نظر نظری با مفروضات مدل سازگار نیست. این وضعیت ناشی از آن است که در تحلیل حساسیت، وزن‌های بهینه حاصل از حل اولیه CCR ثابت نگه داشته شده و بر داده‌های تغییریافته اعمال شده‌اند.

همچنین، رتبه برخی واحدها با عملکرد متوسط، از جمله DMU_6، DMU_3و DMU_{12} در سناریوهای در سناریوهای مختلف عدم قطعیت تغییر کرد. این الگو نشان می‌دهد که نتایج ارزیابی CCR به تغییرات ناشی از عدم‌قطعیت داده‌ها حساس است. در ادامه، همین عدم‌قطعیت به‌صورت صریح در چارچوب RDEA مدل‌سازی شد و نتایج سه سناریوی عدم‌قطعیت در جدول ۳ گزارش شده است.

جدول۳: مقایسه کارایی CCR و کارایی روباست در سناریوهای عدم‌قطعیت

بیمارستان	CCR		عدم‌قطعیت فقط در ورودی‌ها		عدم‌قطعیت فقط در خروجی‌ها		عدم‌قطعیت همزمان ورودی و خروجی	
	کارایی	رتبه	کارایی	رتبه	کارایی	رتبه	کارایی	رتبه
DMU۱	۰/۸۷۰۶	۹	۰/۸۶۳۲	۹	۰/۸۶۴۰	۹	۰/۸۶۳۳	۹
DMU۲	۰/۹۷۷۸	۲	۰/۹۷۰۵	۲	۰/۹۷۱۲	۲	۰/۹۷۰۵	۲
DMU۳	۰/۹۰۰۰	۸	۰/۸۹۱۸	۸	۰/۸۹۲۵	۸	۰/۸۹۱۸	۸
DMU۴	۰/۹۱۶۵	۳	۰/۹۰۸۲	۳	۰/۹۰۸۸	۴	۰/۹۰۸۲	۳
DMU۵	./۷۶۰۹	۱۴	۰/۷۵۴۱	۱۴	۰/۷۵۴۸	۱۴	۰/۷۵۴۱	۱۴
DMU۶	۰/۹۱۰۷	۵	۰/۹۰۲۵	۵	۰/۹۰۳۵	۵	۰/۹۰۲۵	۵
DMU۷	۰/۸۲۰۵	۱۱	۰/۸۱۳۲	۱۱	۰/۸۱۳۸	۱۱	۰/۸۱۳۳	۱۱
DMU۸	۰/۷۴۸۶	۱۵	۰/۷۴۲۲	۱۵	۰/۷۴۲۹	۱۵	۰/۷۴۲۲	۱۵
DMU۹	۰/۷۰۶۵	۱۷	۰/۷۰۰۲	۱۷	۰/۷۰۰۸	۱۷	۰/۷۰۰۲	۱۷
DMU۱۰	۰/۶۷۱۵	۱۹	۰/۶۶۵۷	۱۹	۰/۶۶۶۳	۱۹	۰/۶۶۵۷	۱۹
DMU۱۱	۰/۹۰۷۳	۶	۰/۸۹۹۲	۶	۰/۸۹۹۹	۶	۰/۸۹۹۲	۶
DMU۱۲	۰/۹۰۶۰	۷	۰/۸۹۷۹	۷	۰/۸۹۸۵	۷	۰/۸۹۷۹	۷
DMU۱۳	۰/۸۵۰۶	۱۰	۰/۸۴۳۳	۱۰	۰/۸۴۴۰	۱۰	۰/۸۴۳۳	۱۰
DMU۱۴	۰/۸۱۳۳	۱۲	۰/۸۰۶۲	۱۲	۰/۸۰۶۹	۱۲	۰/۸۰۳۳	۱۲
DMU۱۵	۰/۷۶۶۰	۱۳	۰/۷۵۹۴	۱۳	۰/۷۶۰۱	۱۳	۰/۷۵۹۴	۱۳

http://him.mui.ac.ir

ادامه جدول۳: مقایسه کارایی CCR و کارایی روباست در سناریوهای عدم‌قطعیت

بیمارستان	CCR		عدم‌قطعیت فقط در ورودی‌ها		عدم‌قطعیت فقط در خروجی‌ها		عدم‌قطعیت همزمان ورودی و خروجی	
	کارایی	رتبه	کارایی	رتبه	کارایی	رتبه	کارایی	رتبه
DMU۱۶	۰/۷۴۱۷	۱۶	۰/۷۳۵۲	۱۶	۰/۷۳۵۹	۱۶	۰/۷۳۵۲	۱۶
DMU۱۷	۰/۷۰۴۰	۱۸	۰/۶۹۷۸	۱۸	۰/۶۹۸۵	۱۸	۰/۶۹۷۸	۱۸
DMU۱۸	۰/۶۶۲۹	۲۰	۰/۶۵۷۲	۲۰	۰/۶۵۷۸	۲۰	۰/۶۵۷۲	۲۰
DMU۱۹	۱/۰۰۰۰	۱	۰/۹۹۲۸	۱	۰/۹۹۳۵	۱	۰/۹۹۲۸	۱
DMU۲۰	۰/۹۱۶۳	۴	۰/۹۰۸۵	۴	۰/۹۰۹۰	۳	۰/۹۰۸۵	۴
میانگین	۰/۸۷۲۶	–	۰/۸۱۷۵	–	۰/۸۲۱۱	–	۰/۸۲۰۵	–

نتایج جدول۳ نشان می‌دهد که در همه سناریوها، مقادیر کارایی مقاوم در محدوده مجاز باقی مانده و برخلاف جدول۲، هیچ مقدار غیرمجازی مشاهده نمی‌شود. همچنین، در مقایسه با جدول۲، ساختار رتبه‌بندی واحدها تقریبا ثابت مانده و تنها مقادیر کارایی اندکی تغییر کرده است. مقایسه نتایج جدول‌های ۲ و ۳ نشان می‌دهد که چارچوب $RDEA$ در مواجهه با عدم‌قطعیت داده‌ای، نتایجی پایدارتر از مدل CCR ارایه می‌کند. میانگین کارایی در مدل CCR برابر با ۰/۸۲۷۶بود، در حالی‌که در سناریوهای $RDEA$ بین ۰/۸۱۷۵تا ۰/۸۲۱۱ قرار گرفت. این کاهش محدود را نباید به‌عنوان افت واقعی عملکرد بیمارستان‌ها تفسیر کرد، بلکه نتیجه اعمال محافظه‌کاری در مواجهه با عدم‌قطعیت داده‌ای است. به بیان دیگر،$RDEA$ با کاهش اندک کارایی، نتایجی محافظه‌کارانه‌تر و پایدارتر ارایه می‌کند. تحلیل مجموعه مرجع در سناریوی عدم‌قطعیت همزمان ورودی و خروجی نیز نشان داد که DMU_{19} تنها واحد مرجع برای تمامی بیمارستان‌های ناکارا بوده است، به‌گونه‌ای که در جواب بهینه مدل، ضریب شدت (λ_{19}) برای این واحدها مثبت و ضرایب سایر واحدها صفر بودند. در چارچوب پوششیDEA ، در صورت مثبت بودن چندین ضریبλ_j ، نقطه مرجع می‌تواند به‌صورت یک واحد مجازی حاصل از ترکیب خطی واحدهای مرجع شکل گیرد، بااین‌حال، در مطالعه حاضر برای تمامی بیمارستان‌های ناکارا تنها DMU_{19} دارای ضریب مثبت بود و ازاین‌رو مجموعه مرجع آن‌ها به یک واحد مشاهده‌شده، یعنیDMU_{19} محدود شد.

با توجه به ماهیت ورودی‌محور مدل، فاصله هر بیمارستان از مرز کارایی از رابطه$100 \times (1-\theta)$ محاسبه شد. این مقدار نشان‌دهنده درصد کاهش متناسب ورودی‌ها برای رسیدن به مرز کارایی است. جدول ۴ مجموعه مرجع و میزان کاهش متناسب ورودی‌ها را برای بیمارستان‌های ناکارا در این سناریو نشان می‌دهد..

جدول ۴: مجموعه مرجع و الگوی بهبود شعاعی بیمارستان‌های ناکارا در سناریوی عدم‌قطعیت همزمان

بیمارستان	کارایی مقاوم θ	مجموعه مرجع(λ)	کاهش شعاعی موردنیاز ورودی‌ها (درصد)
DMU۱	۰/۸۶۳۲	DMU۱۹ (۰/۹۲۵)	۱۳/۷۲
DMU۲	۰/۹۷۰۵	DMU۱۹ (۰/۸۸۰)	۳/۰۰
DMU۳	۰/۸۹۱۸	DMU۱۹ (۰/۹۰۰)	۱۰/۸۵
DMU۴	۰/۹۰۸۲	DMU۱۹ (۰/۸۹۰)	۹/۲۲
DMU۵	۰/۱۷۵۴	DMU۱۹ (۰/۸۷۵)	۲۴/۵۹
DMU۶	۰/۹۰۲۵	DMU۱۹ (۰/۹۱۰)	۹/۷۵
DMU۷	۰/۸۱۳۲	DMU۱۹ (۰/۸۹۵)	۱۸/۷۱
DMU۸	۰/۷۴۲۲	DMU۱۹ (۰/۸۸۵)	۲۵/۸۱
DMU۹	۰/۷۰۰۲	DMU۱۹ (۰/۸۷۰)	۳۰/۰۲
DMU۱۰	۰/۶۶۵۷	DMU۱۹ (۰/۸۶۰)	۳۳/۴۸
DMU۱۱	۰/۸۹۹۲	DMU۱۹ (۰/۹۴۳)	۱۰/۱۲
DMU۱۲	۰/۸۹۷۹	DMU۱۹ (۰/۹۷۱)	۱۰/۲۵
DMU۱۳	۰/۸۴۳۳	DMU۱۹ (۰/۹۲۹)	۱۵/۷۱
DMU۱۴	۰/۸۰۳۳	DMU۱۹ (۰/۹۱۵)	۱۹/۶۷
DMU۱۵	۰/۷۵۹۴	DMU۱۹ (۰/۹۰۰)	۲۴/۱۱
DMU۱۶	۰/۷۳۵۲	DMU۱۹ (۰/۸۹۰)	۲۶/۵۲
DMU۱۷	۰/۶۹۷۸	DMU۱۹ (۰/۸۸۰)	۳۰/۲۶
DMU۱۸	۰/۶۵۷۲	DMU۱۹ (۰/۸۷۰)	۳۴/۳۳
DMU۱۹	۰/۹۹۲۸	—	۰/۷۲
DMU۲۰	۰/۹۰۸۵	DMU۱۹ (۰/۹۴۳)	۹/۱۵

http://him.mui.ac.ir

نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که شدت نیاز به بازنگری منابع در بیمارستان‌ها متفاوت استDMU_{18} با کارایی ۰/۶۵۷۲ بیشترین فاصله را از مرز کارایی دارد و برای حرکت شعاعی به سوی مرز، به کاهش متناسب ۴۳/۳۳ درصدی در ورودی‌ها نیاز دارد، پس از آنDMU_{17} , DMU_{10} و DMU_9 به‌ترتیب با فاصله‌های ۳۳/۴۸، ۳۰/۲۶ و ۳۰/۰۲ درصد قرار دارند. در میان بیمارستان‌های ناکاراDMU_2 با فاصله ۳/۰۰ درصدی نزدیک‌ترین واحد به مرز کارایی است، در حالی که DMU_{19} با کارایی ۰/۹۹۲۸ و فاصله ۰/۷۲ درصدی نزدیک‌ترین واحد به مرز در کل نمونه است.

برای روشن‌تر شدن کاربرد مدیریتی نتایج، سه بیمارستان با بیشترین فاصله از مرز کارایی بررسی می‌شوند. برای DMU_{18} با کارایی ۰/۶۵۷۲، اهداف شعاعی اولیه برای پزشکان، تخت‌های فعال، هزینه‌های عملیاتی و فضای فیزیکی به‌ترتیب حدود ۱۲۶، ۳۲۲، ۶۹۰ و ۷۵۵۲ واحد است، در حالی که مقادیر مشاهده شده این متغیرها به ترتیب ۱۹۲، ۴۹۰، ۱۰۵۰ و ۱۱۵۰۰ بوده‌اند. برایDMU_{10} با کارایی ۰/۶۶۵۷مقادیر شعاعی اولیه حدود ۱۲۱ پزشک، ۳۱۹ تخت، ۷۱۸ واحد هزینه و ۷۷۱۶ واحد فضای فیزیکی به‌دست می‌آید، در حالی که مقادیر مشاهده شده آن‌ها به‌ترتیب ۱۸۲، ۴۸۰، ۱۰۸۰ و ۱۱۶۰۰ بوده‌اند. برایDMU_{17} نیز با کارایی ۰/۶۹۷۸ ، این مقادیر حدود ۱۲۹ پزشک، ۳۲۸ تخت، ۶۹۷ واحد هزینه و ۷۶۷۱ واحد فضای فیزیکی هستند، در حالی که مقادیر مشاهده شده به‌ترتیب ۱۸۵، ۴۷۰، ۱۰۰۰ و ۱۱۰۰۰ بوده‌اند. در ادامه، اثر پارامترهای کنترلی ε و Γ بر رفتار مدل$RDEA$ تعمیم یافته بررسی شد، که نتایج آن در جدول ۵ ارایه شده است.

جدول۵: اثر تغییر پارامترهای ε و بر کارایی مقاوم

	Γ =۲/۴۵				ε=۰/۰۱	
	ε=۰/۰۱	ε=۰/۰۵	ε=۰/۱	Γ=۲/۱۵	Γ=۲/۴۵	Γ=۳/۰۳
DMU_1	۰/۸۶۳۲	۰/۸۰۴۵	۰/۷۴۵۵	۰/۸۶۴۰	۰/۸۶۳۲	۰/۸۵۵۲
DMU_2	۰/۹۷۰۵	۰/۹۰۵۵	۰/۸۴۰۱	۰/۹۷۱۳	۰/۹۷۰۵	۰/۹۶۲۵
DMU_3	۰/۸۹۱۸	۰/۸۳۱۳	۰/۷۷۰۳	۰/۸۹۲۵	۰/۸۹۱۸	۰/۸۸۴۳
DMU_4	۰/۹۰۸۲	۰/۸۴۶۵	۰/۷۸۴۵	۰/۹۰۸۹	۰/۹۰۸۲	۰/۹۰۰۴
DMU_5	۰/۷۵۴۱	۰/۷۰۲۳	۰/۶۵۰۲	۰/۷۵۴۸	۰/۷۵۴۱	۰/۷۴۷۳
DMU_6	۰/۹۰۲۵	۰/۸۴۰۵	۰/۷۷۸۱	۰/۹۰۳۳	۰/۹۰۲۵	۰/۸۹۴۵
DMU_7	۰/۸۱۳۲	۰/۷۵۷۴	۰/۷۰۱۵	۰/۸۱۳۸	۰/۸۱۳۲	۰/۸۰۵۵
DMU_8	۰/۷۴۲۲	۰/۶۹۰۵	۰/۶۳۸۵	۰/۷۴۳۹	۰/۷۴۲۲	۰/۷۳۴۵
DMU_9	۰/۷۰۰۲	۰/۶۵۱۵	۰/۶۰۲۵	۰/۷۰۰۹	۰/۷۰۰۲	۰/۶۹۲۱
DMU_{10}	۰/۶۶۵۷	۰/۶۱۰۸	۰/۵۷۰۵	۰/۶۶۶۵	۰/۶۶۵۷	۰/۶۵۷۶
DMU_{11}	۰/۸۹۹۲	۰/۸۳۷۵	۰/۷۷۵۵	۰/۹۰۰۰	۰/۸۹۹۲	۰/۸۹۰۴
DMU_{12}	۰/۸۹۷۹	۰/۸۲۷۴	۰/۷۷۲۳	۰/۸۹۸۷	۰/۸۹۷۹	۰/۸۸۹۵
DMU_{13}	۰/۸۴۳۳	۰/۷۸۴۶	۰/۷۲۵۵	۰/۸۴۴۱	۰/۸۴۳۳	۰/۸۳۵۱
DMU_{14}	۰/۸۰۳۳	۰/۷۵۰۵	۰/۶۹۴۴	۰/۸۰۷۰	۰/۸۰۳۳	۰/۷۹۸۲
DMU_{15}	۰/۷۵۹۴	۰/۷۰۶۳	۰/۶۵۳۵	۰/۷۶۰۲	۰/۷۵۹۴	۰/۷۵۱۵
DMU_{16}	۰/۷۳۵۲	۰/۶۸۳۵	۰/۶۳۱۲	۰/۷۳۶۰	۰/۷۳۵۲	۰/۷۲۷۷
DMU_{17}	۰/۶۹۷۸	۰/۶۴۹۵	۰/۶۰۰۷	۰/۶۹۸۶	۰/۶۹۷۸	۰/۶۹۰۸
DMU_{18}	۰/۶۵۷۲	۰/۶۱۰۵	۰/۵۶۳۵	۰/۶۵۸۰	۰/۶۵۷۲	۰/۶۴۹۵
DMU_{19}	۰/۹۹۲۸	۰/۹۲۱۰	۰/۸۴۹۰	۰/۹۹۳۶	۰/۹۹۲۸	۰/۹۸۴۰
DMU_{20}	۰/۹۰۸۵	۰/۸۴۵۵	۰/۷۸۲۱	۰/۹۰۹۲	۰/۹۰۸۵	۰/۹۰۰۵
میانگین	۰/۸۲۰۵	۰/۷۶۲۹	۰/۷۰۶۵	۰/۸۲۱۳	۰/۸۲۰۵	۰/۸۱۲۶

با افزایش ε، مقادیر کارایی به‌صورت یکنواخت کاهش یافت، به‌گونه‌ای که میانگین کارایی از ۰/۸۲۰۳ در به ۰/۷۰۶۵در ۰/۱ = ε رسید. با این حال، رتبه‌بندی واحدها پایدار باقی ماند؛ به‌طوری‌که ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن بین رتبه‌بندی‌های حاصل از سطوح مختلف بین ۰/۹۹۶ تا ۱ بود که بیانگر همبستگی تقریبا کامل رتبه‌بندی‌هاست. این نتایج نشان می‌دهد مدل افزایش عدم‌قطعیت داده‌های را بدون تضعیف قابلیت مقایسه بیمارستان‌ها منعکس می‌کند. در شرایط ثابت بودن ε، تغییر پارامتر بودجه عدم‌قطعیت Γ نقش آن را در کنترل سطح محافظه‌کاری مدل نشان داد. با افزایش از ۲/۱۵ به ۳/۰۳ میانگین کارایی از ۰/۸۲۱۳ به ۰/۸۱۲۶ کاهش یافت، در حالی‌که رتبه‌بندی واحدها تقریبا ثابت ماند ، به‌گونه‌ای که ضریب همبستگی اسپیرمن بین سطوح مختلف Γ نیز بین ۰/۹۹۸ تا بود و پایداری رتبه‌بندی را تایید کرد.

بحث

یافته‌های این مطالعه نشان داد که مدل CCR کلاسیک، با وجود کاربرد گسترده، در مواجهه با داده‌های غیرقطعیHIS عملکردی ناپایدار دارد. این نتیجه با مطالعات پیشین در حوزه بهینه‌سازی مقاوم همخوانی دارد که نشان داده‌اند حتی سطوح پایین عدم‌قطعیت می‌تواند پاسخ‌های بهینه را به‌طور قابل‌توجهی تحت تاثیر قرار دهد (۸,۹). همچنین، یافته‌های این پژوهش با نتایج مطالعه Wu و همکاران

http://him.mui.ac.ir

(۲۲) همسو است که نشان دادند مدل کلاسیک DEA در ارزیابی بیمارستان‌ها نسبت به نوسانات داده حساس بوده و استفاده از DEA مقاوم موجب افزایش پایداری ارزیابی و رتبه‌بندی می‌شود. به همین ترتیب، Peykani و همکاران (۲۳) نیز گزارش کردند که لحاظ کردن عدم‌قطعیت در ارزیابی عملکرد بیمارستان‌ها به ارائه نتایج واقع‌بینانه‌تر، افزایش قابلیت تمایز و بررسی پایداری واحدها منجر می‌شود .با این حال، برخلاف بسیاری از مطالعات پیشین که عدم‌قطعیت را برای تمامی داده‌های مدل در نظر گرفته‌اند، در چارچوب پیشنهادی این پژوهش تنها داده‌های غیرقطعی مقاوم‌سازی شدند، در حالی که داده‌های قطعی بدون تغییر در مدل حفظ شدند. این رویکرد ضمن کاهش محافظه‌کاری غیرضروری، انعطاف‌پذیری بیشتری برای مواجهه با سطوح مختلف عدم‌قطعیت فراهم می‌کند.. پایداری رتبه‌بندی بیمارستان‌ها در سناریوهای مختلف از دیگر یافته‌های مهم این مطالعه بود. این ویژگی از منظر مدیریتی اهمیت زیادی دارد، زیرا رتبه‌بندی مبنای تخصیص منابع، پایش عملکرد و سیاست‌گذاری در نظام سلامت است. ناپایداری رتبه‌بندی می‌تواند اعتماد به نظام ارزیابی عملکرد را کاهش دهد، در حالی که چارچوب پیشنهادی با ارائه نتایج پایدارتر، به افزایش پایداری نتایج ارزیابی کمک می‌کند. همچنین، امکان تنظیم سطح محافظه‌کاری از طریق پارامترهای کنترلی ε و Γ انعطاف‌پذیری مدل را برای شرایط مختلف کیفیت داده افزایش می‌دهد و به مدیران اجازه می‌دهد متناسب با میزان عدم‌قطعیت موجود، میان پایداری و دقت نتایج تعادل برقرار کنند. با وجود نتایج امیدوارکننده، این مطالعه دارای محدودیت‌هایی نیز بود. چارچوب پیشنهادی بر داده‌های بیمارستان‌های دولتی در یک بستر محلی ارزیابی شد؛ بنابراین، تعمیم‌پذیری نتایج به سایر نظام‌های سلامت و محیط‌های سازمانی متفاوت نیازمند اعتبارسنجی بیشتر است. همچنین، از آنجا که عدم‌قطعیت تنها برای بخشی از شاخص‌ها در نظر گرفته شد، بررسی عملکرد مدل در سایر ساختارهای عدم‌قطعیت و مجموعه‌داده‌های متنوع‌تر می‌تواند موضوع پژوهش‌های آینده باشد.

نتیجه‌گیری

ارزیابی کارایی در محیط‌های داده‌محور سلامت، به دلیل وجود عدم‌قطعیت در بخشی از داده‌های ورودی و خروجی، می‌تواند با ناپایداری نتایج همراه باشد. این پژوهش با توسعه یک چارچوب $RDEA$ تعمیم‌یافته، امکان تفکیک داده‌های قطعی و غیرقطعی و اعمال مقاوم‌سازی هدفمند بر مؤلفه‌های غیرقطعی را فراهم کرد. نتایج نشان داد که چارچوب پیشنهادی ضمن جلوگیری از ایجاد مقادیر کارایی غیرواقعی، پایداری رتبه‌بندی و انعطاف‌پذیری در تنظیم سطح محافظه‌کاری را افزایش می‌دهد. ازاین‌رو، این رویکرد می‌تواند اطلاعات تصمیم‌یار قابل‌اتکاتری در شرایط عدم‌قطعیت داده‌ای فراهم کند.

پیشنهادها

پیشنهاد می‌شود این چارچوب در محیط‌های مختلف سلامت و با داده‌های چندساله ارزیابی شود. همچنین، توسعه مدل برای درنظرگرفتن ساختارهای متفاوت عدم‌قطعیت، مانند مجموعه‌های فازی و بازه‌های نامتقارن، می‌تواند مسیر مناسبی برای پژوهش‌های آینده باشد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی پسا دکترا با کد ۱-۱۱۹۶/ ۳۳ می‌باشد که با حمایت دانشگاه میبد انجام گرفته است. بدین‌وسیله نویسندگان از کلیه همکارانی که در انجام این پژوهش همکاری نمودند، تشکر و قدردانی به عمل می‌آورند.

تضاد منافع

در انجام پژوهش حاضر، نویسندگان هیچ‌گونه تضاد منافعی نداشتند.

References

1. Sanjuluca THP, de Almeida AA, Cruz-Correia R. Assessing the use of hospital information systems (HIS) to support decision-making: A cross-sectional study in public hospitals in the Huíla Health Region of southern Angola. In: Healthcare. MDPI; 2022. p. 1267 .
2. Khorasani H, Damiri S, Abbasi S, Fathabadi A, Dehghani M, Sadeghi M. Hospital information systems evaluation criteria: a scoping review. BMC Health Services Research. 2026 Jan 8;26(1):184.
3. Syed R, Eden R, Makasi T, Chukwudi I, Mamudu A, Kamalpour M, et al. Digital health data quality issues: systematic review. Journal of medical Internet research. 2023;25:e42615 .
4. Hosseinzadeh E, Afkanpour M, Momeni M, Tabesh H. Data quality assessment in healthcare, dimensions, methods and tools: a systematic review. BMC Medical Informatics and Decision Making. 2025;25(1):296 .
5. Zhu T, Xie J, Sim M. Joint estimation and robustness optimization. Management Science. 2022;68(3):1659–77 .
6. Omrani H, Alizadeh A, Emrouznejad A, Teplova T. A robust credibility DEA model with fuzzy perturbation degree: An application to hospitals performance. Expert Systems with Applications. 2022;189:116021 .
7. Li Y, Yorke-Smith N, Keviczky T. On data-driven robust optimization with multiple uncertainty subsets: Unified uncertainty set representation and mitigating conservatism. Journal of Process Control. 2026;158:103611 .
8. Ben-Tal A, Nemirovski A. Robust solutions of uncertain linear programs. Operations research letters. 1999;25(1):1–13 .
9. Bertsimas D, Sim M. The Price of Robustness. Operations Research. 2004 Feb 1;52:35–53 .
10. Moradi H, Razavi M. Presentation the simulation model for paraclinical services in Shiraz Hafez hospital and evaluate scenarios to reduce waiting time. Health Information Management. 2016;13(1):11–8 .
11. Moradi H, Babaei Meybodi H. Development of a series-parallel data envelopment analysis model within an intuitionistic fuzzy environment. Fuzzy Optimization and Modeling Journal (FOMJ) [Internet]. 2025;6(3):1–26. Available from: https://doi.org/10.57647/j.fomj.2025.0603.14

12. Afonso GP, Figueira JR, Ferreira DC. Dealing with uncertainty in healthcare performance assessment: a fuzzy network-DEA approach with undesirable outputs. International Transactions in Operational Research. 2025;32(5):2732–66 .
13. Moradi H, Babaei Meybodi H. A Non-Radial SBM DEA Framework for Assessing the Performance of EU Countries. Advances in Industrial Engineering [Internet]. 2026;60(1):143–65. Available from: https://aie.ut.ac.ir/article_106336.html
14. Charnes A, Cooper WW, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units. European Journal of Operational Research. 1978;2(6):429–444. https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8
15. Ben-Tal A, Nemirovski A. Robust solutions of linear programming problems contaminated with uncertain data. Mathematical programming. 2000;88(3):411–24 .
16. Sadjadi SJ, Omrani H. Data envelopment analysis with uncertain data: An application for Iranian electricity distribution companies. Energy Policy [Internet]. 2008;36(11):4247–54. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421508004047
17. Zubir MZ, Noor AA, Mohd Rizal AM, Harith AA, Abas MI, Zakaria Z, et al. Approach in inputs & outputs selection of Data Envelopment Analysis (DEA) efficiency measurement in hospitals: A systematic review. Plos one. 2024;19(8):e0293694 .
18. Flokou A, Aletras V, Niakas D. A window-DEA based efficiency evaluation of the public hospital sector in Greece during the 5-year economic crisis. PloS one. 2017;12(5):e0177946 .
19. Zheng W, Sun H, Zhang P, Zhou G, Jin Q, Lu X. A four-stage DEA-based efficiency evaluation of public hospitals in China after the implementation of new medical reforms. PloS one. 2018;13(10):e0203780 .
20. Peykani P, Memar-Masjed E, Arabjazi N, Mirmozaffari M. Dynamic performance assessment of hospitals by applying credibility-based fuzzy window data envelopment analysis. In: Healthcare. MDPI; 2022. p. 876 .
21. Jing R, Xu T, Lai X, Mahmoudi E, Fang H. Technical efficiency of public and private hospitals in Beijing, China: a comparative study. International journal of environmental research and public health. 2020;17(1):82 .
22. Wu D, Wu DD, Member S. Risk-Based Robust Evaluation of Hospital Efficiency. IEEE Systems Journal. 2018;PP:1–9 .
23. Peykani P, Pishvaee MS. Performance evaluation of hospitals under data uncertainty: An uncertain common-weights data envelopment analysis. In: Healthcare. MDPI; 2024. p. 611.

Health Information Management
Vol 23/ No 2/ Summer 2026

Published by *Isfahan University of Medical Sciences*
DOI: 10.48305/him.2026.46131.1388

Implications of Uncertainty in Hospital Information System Data for Performance Evaluation: A Robust Data Envelopment Analysis Approach

Hoda Moradi [1], Hamid Babaei Meybodi [2]

Original Article

Abstract

Introduction: Hospital efficiency evaluation relies heavily on data obtained from Health Information Systems. Along with deterministic data, these systems contain indicators that may be affected by measurement limitations, data recording quality, and information fluctuations, resulting in different levels of uncertainty. However, existing approaches do not explicitly consider the coexistence of deterministic and uncertain data.

Methods: Considering the nature of data generated during hospital information management processes and differences in the reliability of indicators, a generalized robust DEA framework was developed to simultaneously model deterministic and uncertain data. Three robust models were developed to incorporate uncertainty in inputs, outputs, and both inputs and outputs. The performance of the proposed models was evaluated through a hospital case study.

Results: The results showed that uncertainty in HIS data can lead to instability in efficiency values and reduce the reliability of performance evaluation results. Compared with the conventional DEA model, the proposed models provided more stable efficiency scores, more consistent rankings, and reduced the occurrence of unrealistic efficiency values.

Conclusion: By distinguishing between deterministic and uncertain data, the proposed framework provides a more realistic and reliable evaluation of hospital performance within Health Information Systems.

Keywords: Hospitals; Operations Research; Health Information Systems; Uncertainty; Efficiency

Received:5 Mar; 2026 Accepted: 5 Jun; 2026 Published: 1 Jul; 2026

Citation: Moradi H, Babaei Meybodi H. **Implications of Uncertainty in Hospital Information System Data for Performance Evaluation: A Robust Data Envelopment Analysis Approach.** Health Inf Manage 2026; 23(2):87-97.

Article resulted from a research.Project No 33/1196-1 that supported by Meybod University.

1. PhD, Industrial Management, Department of Management, Meybod University, Meybod, Iran.
2. Associate professor, Industrial Management, Department of Management, Meybod University, Meybod, Iran.
Corresponding Author: Hamid Babaei Meybodi; Associate professor, Industrial Management, Department of Management, Meybod University, Meybod, Iran
. Email: babaei@meybod.ac.ir