



Paper Type: Original Article



## Cross-Efficiency for Interval Data and Its Application to Improve the Performance of a System by Simulation

Fatemeh Gholami Golsefid<sup>1,\*</sup> , Behrouz Daneshian<sup>2</sup> , Mohsen Rostamy Malkhalifeh<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Mathematics, Rudsar-Amlash Branch, Islamic Azad University, Rudsar, Iran; ghlami\_so@yahoo.com.

<sup>2</sup> Department of Mathematics, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran; be\_daneshian@yahoo.com.

<sup>3</sup> Department of Mathematics, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran; mohsen\_rostamy@yahoo.com.

**Citation:**



Gholami Golsefid, F., Daneshian, B., & Rostamy Malkhalifeh, M. (2022). Cross-efficiency for interval data and its application to improve the performance of a system by simulation. *Journal of decisions and operations research*, 7(2), 229-239.

Received: 25/04/2021

Reviewed: 04/07/2021

Revised: 19/08/2021

Accepted: 16/09/2021

### Abstract

**Purpose:** The providing a proposed model pair for ranking interval data and their application to evaluate and improve the performance of a service system using results of simulation.

**Methodology:** Mathematical techniques (data envelopment analysis) and computer simulation.

**Findings:** By presenting proposed models pair, we were able to improve the performance of a service system by simulating different scenarios for that system. The results show that the introduced scenario could increase the efficiency of system by 22%.

**Originality/Value:** Introducing new applied methods using mathematical models (Data Envelopment Analysis) and simulations to improve the performance of systems.

**Keywords:** Computer simulation, Cross-efficiency, Data envelopment analysis, Secondary-goals.



Corresponding Author: ghlami\_so@yahoo.com



<https://dorl.net/dor/20.1001.1.25385097.1401.7.2.2.9>



Licensee. **Journal of Decisions and Operations Research**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).



## کارایی متقاطع برای داده‌های بازه‌ای و کاربرد آن جهت بهبود عملکرد یک سیستم به کمک شبیه‌سازی

فاطمه غلامی گلسفید<sup>۱</sup>، بهروز دانشیان<sup>۲</sup>، محسن رستمی مال خلیفه<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>گروه ریاضی، واحد رودسر-املش، دانشگاه آزاد اسلامی، رودسر، ایران.

<sup>۲</sup>گروه ریاضی، واحد تهران مرکز، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

<sup>۳</sup>گروه ریاضی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

### چکیده

**هدف:** ارائه‌ی یک زوج مدل پیشنهادی برای رتبه‌بندی داده‌های بازه‌ای و کاربرد آن‌ها جهت ارزیابی و بهبود عملکرد یک سیستم خدماتی به کمک نتایج شبیه‌سازی.

**روش‌شناسی پژوهش:** تکنیک‌های ریاضی (تحلیل پوششی داده‌ها) و شبیه‌سازی کامپیوتری.

**یافته‌ها:** با استفاده از ارائه‌ی زوج مدل‌های پیشنهادی توانستیم عملکرد یک سیستم خدماتی را به کمک شبیه‌سازی سناریوهای مختلف برای آن سیستم بهبود دهیم. نتایج حاکی از آن است که سناریوی معرفی شده توانسته کارایی سیستم را ۲۲٪ افزایش دهد.

**اصالت/ارزش افزوده علمی:** ارائه‌ی روش‌های کاربردی جدیدی با استفاده از مدل‌های ریاضی و شبیه‌سازی جهت بهبود عملکرد سیستم‌ها.

**کلیدواژه‌ها:** اهداف ثانویه، تحلیل پوششی داده‌ها، شبیه‌سازی کامپیوتری، کارایی متقاطع، واحدهای تصمیم‌گیرنده.

### ۱- مقدمه

تحلیل پوششی داده‌ها یک تکنیک غیر پارامتری جهت ارزیابی واحدهای تصمیم‌گیرنده با ورودی‌ها و خروجی‌های متجانس می‌باشد که به وسیله آن واحدها به دو دسته کارا و ناکارا تقسیم می‌شوند. اولین بار چارنر و همکاران<sup>۱</sup> (۱۹۷۸) مدل  $CCR$  را برای تعیین کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیرنده ارائه دادند. پس از آن بنکر و همکاران<sup>۲</sup> (۱۹۸۴) مدل  $BCC$  را معرفی کردند و بعدها تعمیم‌های بیشتری روی این دو مدل اساسی انجام شد. در تمامی مدل‌های  $DEA$  اندازه کارایی واحدهای کارا یکسان و برابر با یک است. با وجود این،  $DEA$  قادر به رتبه‌بندی واحدهای کارا نیست. لذا رتبه‌بندی واحدهای کارا از اهمیت خاصی برخوردار است. روش‌های متفاوتی برای رتبه‌بندی  $DMU$  های کارا پیشنهاد شده است. اولین بار اندرسن و پیترسن<sup>۳</sup> (۱۹۹۳)، مدل  $AP$  را برای رتبه‌بندی واحدهای کارا پیشنهاد کردند. در این مدل،  $DMU$  ی تحت ارزیابی از مجموعی مشاهدات حذف شده و با استفاده از مدل  $CCR$  اندازه کارایی واحد تحت ارزیابی با توجه به

<sup>۱</sup> Charnes et al.

<sup>۲</sup> Banker et al.

<sup>۳</sup> Andersen and Petersen



مجموعه‌ی امکان تولید<sup>۱</sup> (*PPS*) جدید محاسبه می‌گردد؛ بنابراین اندازه‌ی کارایی محاسبه شده به این روش می‌تواند بزرگ‌تر از یک نیز باشد. یکی از کاربردی‌ترین روش‌های رتبه‌بندی، استفاده از کارایی متقاطع است که به‌وسیله‌ی سکستون و همکاران<sup>۲</sup> (۱۹۸۶) ارائه گردید؛ اما به دلیل امکان وجود جواب‌های بهینه‌ی چندگانه، این روش رتبه‌بندی منحصر به فردی به دست نمی‌دهد. لذا برخی از پژوهشگران روش‌های اهداف ثانویه را پیشنهاد کردند. به‌عنوان مثال، دوپل و گرین<sup>۳</sup> (۱۹۹۴، ۱۹۹۵) مدل خوش‌بینانه و بدبینانه را معرفی کردند. لیانگ و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۰۸a، ۲۰۰۸b) مدل هدف ثانویه‌ی دیگری بر اساس مدل‌های خوش‌بینانه و بدبینانه ارائه دادند. در آن مدل از بین جواب‌های بهینه‌ی چندگانه وزنه‌هایی به دست می‌آید که انحراف واحدها از کارایی ایده‌آل ۱ کمترین حد ممکن باشد. پس از آن، به دلیل اینکه کارایی ایده‌آل ۱ برای واحدهای ناکارا دست نیافتنی است لذا وانگ و چاین<sup>۵</sup> (۲۰۱۰) با بهبود مدل لیانگ و همکاران (۲۰۰۸a، ۲۰۰۸b)، مدل دیگری را با جایگزین کردن کارایی *CCR* بجای کارایی ایده‌آل معرفی کردند. جهانشاهلو و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۱۱a) یک مدل هدف ثانویه برای ارزیابی کارایی متقاطع ارائه دادند که در آن بر انتخاب وزن‌های متقارن برای *DMU*ها تأکید کردند. پس از آن جهانشاهلو و شه‌میرزادی<sup>۷</sup> (۲۰۱۳) دو مدل برای رتبه‌بندی *DMU*های کارا بر اساس نرم یک و با استفاده از میانگین وزن‌های ورودی و خروجی پیشنهاد کردند. سونگ و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۱۷) یک مدل آنتروپی جهت به دست آوردن مجموعه‌ای از وزن‌ها برای محاسبه‌ی مجموع کارایی متقاطع، به‌جای میانگین آن‌ها پیشنهاد کردند. پورحیب و همکاران<sup>۹</sup> (۲۰۱۸) یک روش محدودیت وزنی برای به‌دست آوردن مجموعه‌ی وزن‌های مشترک ارائه دادند و این مجموعه وزنی مشترک را برای ارزیابی کارایی هر *DMU* و سپس رتبه‌بندی آن‌ها با این امتیازات کارایی به کار بردند. جعفری<sup>۱۰</sup> (۲۰۲۰) مدل‌های *DEA* را برای تخمین سطوح ورودی‌ها و خروجی‌ها و همچنین اعمال ترجیحات مدیر و بهبود واحدهای ناکارا در حالت بازه‌ای موردبررسی قرار داد. در نهایت مدل‌های معرفی شده را برای ۲۴ شعبه‌ی یک بانک پیاده‌سازی و نتایج را تجزیه و تحلیل نمود. غلامی گلسفید و همکاران<sup>۱۱</sup> (۲۰۲۰a) یک مدل چند هدفه جهت محاسبه‌ی وزن‌های بهینه با کمترین پراکندگی پیشنهاد نمودند که وزن‌های بهینه در کوچک‌ترین بازه‌ی ممکن قرار می‌گیرند. بدین ترتیب، تعداد صفرها در وزن‌های بهینه که منجر به بی‌اهمیت بودن شاخص مربوطه می‌شود، به حداقل می‌رسد.

با توجه به وجود عدم قطعیت، گاهی *DEA* با داده‌های نامشخص مواجه می‌شود. به‌ویژه هنگامی که مجموعه‌ای از *DMU*ها شامل داده‌های نامعلوم، داده‌های ترتیبی، داده‌های بازه‌ای و یا داده‌های فازی باشند؛ بنابراین چگونگی ارزیابی کارایی مجموعه‌ای از این نوع *DMU*ها مورد بررسی قرار گرفت. کوپر و همکاران<sup>۱۲</sup> (۱۹۹۹، ۲۰۰۱) اولین بار به بررسی نحوه برخورد با داده‌های محدود پرداختند. سپس انتانی و همکاران<sup>۱۳</sup> (۲۰۰۲) یک مدل *DEA* از دیدگاه خوش‌بینانه و بدبینانه پیشنهاد کردند که کارایی را به‌صورت بازه محاسبه می‌کند. دسپوتیز و اسمارلیس<sup>۱۴</sup> (۲۰۰۲) یک روش جایگزین برای داده‌های نادقیق در *DEA* ارائه دادند که برای هر واحد بازه‌ی کارایی به‌دست می‌آید. پس از آن وانگ و همکاران<sup>۱۵</sup> (۲۰۰۵) دو مدل برای داده‌های نادقیق توسعه دادند که به روش ساده و منطقی به ارزیابی واحدها می‌پردازد. در این روش نیز نمره‌ی کارایی نهایی برای هر *DMU* به‌صورت بازه‌ای مشخص می‌گردد. سپس آن‌ها یک روش مبتنی بر پشیمانی مینماکس<sup>۱۶</sup> برای مقایسه و رتبه‌بندی بر اساس کارایی بازه‌ای *DMU*ها پیشنهاد دادند؛ اما اگر کران‌های بالا و پایین کارایی چند واحد یک باشد، روش آن‌ها قادر به رتبه‌بندی این نوع واحدها نمی‌باشد. حسین‌زاده لطفی و همکاران<sup>۱۷</sup> (۲۰۰۷b) ابتدا یک روش جدید برای محاسبه‌ی بازه‌ی کارایی واحدها با داده‌های بازه‌ای پیشنهاد کردند، سپس تکنیکی برای رتبه‌بندی این واحدها به‌وسیله‌ی بازه‌ی کارایی به‌دست‌آمده ارائه نمودند. همچنین حسین‌زاده لطفی و همکاران (۲۰۰۷a) شاخص بهره‌وری مالمکوئیست<sup>۱۸</sup> (*MPI*) را برای واحدها با داده‌های بازه‌ای مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها روشی را برای تعیین شاخص بهره‌وری مالمکوئیست با استفاده از کارایی هزینه توسعه دادند. جهانشاهلو و همکاران (۲۰۰۹) یک مدل با داده‌های بازه‌ای برای *DEA* بازه‌ای (*IDEA*) را به نام *IGDEA* ارائه دادند که می‌تواند مدل‌های اساسی *IDEA* با داده‌های بازه‌ای را به روش یکپارچه، مورد استفاده قرار دهد. علاوه بر این، خواص نظری روابط بین مدل‌های *IDEA* و *IGDEA* را نیز نشان دادند. جهانشاهلو و همکاران (۲۰۱۱b) با استفاده از تعریف نقاط ایده‌آل روشی را پیشنهاد دادند که واحدهایی با کران‌های بالا و پایین کارایی یک را نیز رتبه‌بندی می‌کند. هی و همکاران<sup>۱۹</sup> (۲۰۱۶) روشی را جهت بهبود بازه‌ی کارایی برای *DMU*های ناکارا با استفاده از نقاط

<sup>2</sup> Production possibility set

<sup>3</sup> Sexton et al.

<sup>4</sup> Doyle and Green

<sup>5</sup> Liang et al.

<sup>6</sup> Wang and Chin

<sup>7</sup> Jahanshahloo et al.

<sup>8</sup> Jahanshahloo and Shahmirzadi

<sup>9</sup> Song et al.

<sup>10</sup> Pourhabib et al.

<sup>11</sup> Jafari

<sup>12</sup> Gholami Golsefid et al.

<sup>13</sup> Cooper et al.

<sup>14</sup> Entani et al.

<sup>15</sup> Despotis and Smirlis

<sup>16</sup> Wang et al.

<sup>17</sup> Minimax regret-based

<sup>18</sup> Hosseinzadeh Lotfi et al.

<sup>19</sup> Malmquist

<sup>1</sup> He et al.



ایده آل پیشنهاد کردند که برای تعیین وسعت *DMU* های ناکارای قابل بهبود، مورد استفاده قرار می‌گیرد. ابراهیمی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۷) الگوریتم ژنتیک مبتنی بر شبیه‌سازی را برای تخمین کارایی مورد انتظار پیشنهاد دادند و *DMU* هایی که شامل انواع مختلف داده‌های نامشخص و فرم کلی محدودیت‌های وزن هستند را رتبه‌بندی کردند. قاسم پور انارکی و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۲۱) روش جدیدی برای ارزیابی و رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان پیشنهاد کردند. آن‌ها چندین معیار و ویژگی ارزیابی را شناسایی کردند. سپس، با استفاده از روش فرآیند تحلیل فازی، تأمین‌کنندگان درجه‌بندی شدند و کارآمدترین آن‌ها انتخاب شد.

در ارزیابی و بهبود عملکرد سیستم‌های خدمات درمانی، شاخص‌هایی مانند کاهش زمان انتظار، افزایش تعداد سرویس‌دهی، افزایش کیفیت خدمات‌دهی، افزایش رضایتمندی مراجعین و غیره بسیار حائز اهمیت هستند و عواملی مانند تغییر در سیاست کاری، تغییر در روند خدمات، تغییر اولویت‌ها و غیره فاکتورهای مؤثر در افزایش یا کاهش این شاخص‌ها بوده و در بهبود عملکرد سیستم تأثیر می‌گذارند. شبیه‌سازی ایجاد مدلی مناسب از یک سیستم با رفتاری درست مانند همان سیستم می‌باشد که به کمک آن می‌توان عوامل مؤثر بر اهداف سیستم را بررسی و سپس برای تغییر مناسب رفتار سیستم جهت رسیدن به اهداف تعیین شده تصمیم‌گیری نمود. از آنجاکه برای یک سیستم واقعی می‌توان استراتژی‌های (سناریوهای) مختلفی را در نظر گرفت، لذا ارزیابی و تعیین بهترین سناریو بسیار مهم است. تکنیک غیر پارامتری تحلیل پوششی داده‌ها و مدل‌های رتبه‌بندی ارائه شده در آن یکی از روش‌های مقایسه‌ی این سناریوها می‌باشد. لذا می‌توان گفت که هم‌زمانی استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها و شبیه‌سازی قادر به ارائه روش‌های مناسبی برای ارزیابی و بهبود عملکرد سیستم‌ها می‌باشند. با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی برای بهبود عملکرد بخش‌های مختلف سیستم‌های بهداشتی و درمانی پژوهش‌های گوناگونی مربوط به سطوح مختلف نیروی انسانی و فرآیندهای داخلی آن، ارائه شده است؛ مانند روهنن و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۶) که یک روش «تیم تریاژ» را جهت بهبود عملکرد بخش اورژانس یک بیمارستان ارائه دادند. نتایج نشان می‌دهد که اگر عملکرد کارکنان مؤثر در نظر گرفته شود، میانگین زمان کار ۲۶٪ کاهش خواهد یافت. منگ و اسپدینگ<sup>۴</sup> (۲۰۰۸) از شبیه‌سازی برای پیش‌بینی زمان ورود و کاهش زمان انتظار استفاده نمودند. لاسکوسکی و موکی<sup>۵</sup> (۲۰۰۸) مدلی را بر اساس عامل واسطه‌ای، در بخش اورژانس پیشنهاد کردند و فواید آن را برای ارزیابی جریان کار و سیاست‌های انحرافی بیماراران بیان نمودند. کابرا و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۱۱) جهت بهره‌برداری از مراقبت‌های بهداشتی بخش اورژانس، مدلی بر اساس عامل واسطه‌ای شبیه‌سازی و پیشنهاد نمودند. وارینگ و بیشاپ<sup>۷</sup> (۲۰۱۰) روشی ارائه دادند که با بهینه‌سازی روند رسیدگی به بیماراران و حذف کاستی‌ها و تنگناها در بخش اورژانس یک بیمارستان، هزینه را کاهش و کیفیت مراقبت را افزایش دادند. ونگ و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۱۱) با استفاده از شبیه‌سازی و *DEA*، جهت بهبود کارایی بخش مراقبت‌های بهداشتی از بین چندین نوع تخصیص منابع بهترین عملیات اجرایی را مشخص نمودند. آزاده و همکاران<sup>۹</sup> (۲۰۱۶) برای افزایش کیفیت خدمات در واحد مراقبت‌های ویژه جراحی مغز و اعصاب، با استفاده از شبیه‌سازی یکپارچه و *DEA* روشی را ارائه دادند. آن‌ها نشان دادند که برای تحلیل تغییرات کارایی در یک بازی شبیه‌سازی، چگونه می‌توان مدل‌های *DEA* پویا را استفاده نمود. خلیلی و همکاران<sup>۱۰</sup> (۲۰۲۰) با توجه به نیاز بیمارستان‌ها در ارائه خدمات بهتر به بیماراران، یک مدل چند هدفه از برنامه‌ی کاری پرستاران جهت کاهش خستگی آن‌ها ارائه دادند. در واقع هدف آن‌ها تخصیص بهینه شیفت کاری مطابق با ترجیحات پرستاران و قوانین دولت علاوه بر سیاست‌های بیمارستان بود. سرفاراج و همکاران<sup>۱۱</sup> (۲۰۲۱) به منظور بهبود عملکرد یک بیمارستان، به کمک الگوریتم ژنتیک یک برنامه‌ی کاری انعطاف‌پذیر را جهت به حداقل رساندن کل زمان پردازش بیمار در بیمارستان و افزایش پاسخگویی مدیریت، پیشنهاد کردند. قاسمی و همکاران<sup>۱۲</sup> (۲۰۲۱) با توجه به اینکه اتاق عمل مهم‌ترین بخش هر بیمارستان است، با استفاده از مدل‌های استاندارد تحلیل پوششی داده‌ها یعنی، *CCR*، ورودی محور (*CCR-I*)، *CCR*، خروجی محور (*CCR-O*)، *CCR*، ورودی خروجی محور (*CCR\_IO*) و مدل *AP* عوامل مؤثر بر کارایی اتاق عمل را تعیین نموده و عملکرد اتاق عمل را برای ۱۰ بیمارستان بزرگ تهران ارزیابی کرده و آن‌ها را رتبه‌بندی نمودند. غلامی گلسفید و همکاران (۲۰۲۰b) ابتدا با استفاده از نتایج تکرارهای شبیه‌سازی و تعریف سناریوهای مختلف در یک مرکز تصویربرداری پزشکی، روشی برای تعیین مقادیر فازی شاخص‌های مورد نظر مرکز، مانند رضایتمندی، انتظار مناسب بیماراران و خدمات‌دهی مفید که ماهیت فازی دارند، معرفی نمودند. سپس الگوریتمی برای رتبه‌بندی واحدها با داده‌های فازی، پیشنهاد کردند و به کمک آن بهترین سناریو را جهت بهبود عملکرد سیستم به آن مرکز معرفی کردند. ال-رفایی و همکاران<sup>۱۳</sup> (۲۰۱۴) از شبیه‌سازی و

<sup>2</sup> Ebrahimi et al.

<sup>3</sup> Ghasemipoor Anaraki et al.

<sup>4</sup> Ruohonen et al.

<sup>5</sup> Meng and Spedding

<sup>6</sup> Laskowski and Mukhi

<sup>7</sup> Cabrera et al.

<sup>8</sup> Waring and Bishop

<sup>9</sup> Weng et al.

<sup>10</sup> Azadeh et al.

<sup>11</sup> Khalili et al.

<sup>12</sup> Sarfaraj et al.

<sup>13</sup> Ghasemi et al.

<sup>1</sup> Al-Refaie et al.



DEA جهت کاهش میانگین زمان انتظار در بخش اورژانس و بهبود در به‌کارگیری پرستاران و همچنین افزایش تعداد سرویس‌دهی استفاده نمودند. آن‌ها میانگین نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی سناریوهای مختلف را به‌صورت یک مقدار معین، به‌عنوان ورودی و خروجی DMUها در نظر گرفتند، سپس از یک مدل بدینانه برای رتبه‌بندی DMUها و انتخاب بهترین سناریو در مقاله‌ی خود استفاده نمودند. حال اگر نتایج شبیه‌سازی به‌صورت بازه‌ای به‌عنوان ورودی و خروجی DMUها بکار برده شود، انتخاب بهترین سناریو دقیق‌تر خواهد بود که در این تحقیق نیز به آن پرداخته شده است.

هدف اصلی در این مقاله، استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها و روش شبیه‌سازی برای ارزیابی و بهبود عملکرد مرکز تصویربرداری پزشکی است که در مطالعات قبلی، شاخص‌های مورد نظر، ماهیت فازی داشتند. اکنون با توجه به شاخص‌های غیر فازی مورد نظر سیستم، برای آنکه از نتایج همه‌ی تکرارهای شبیه‌سازی با تمام خصوصیات آن استفاده شود، نتایج شبیه‌سازی به‌صورت بازه‌ای در نظر گرفته شده است. لذا ابتدا برای داده‌های بازه‌ای دو مدل جهت محاسبه‌ی کارایی مقاطع واحدها در بدترین وضعیت (کران پایین کارایی مقاطع) و همچنین در بهترین وضعیتشان (کران بالای کارایی مقاطع) پیشنهاد نموده و در نهایت با محاسبه‌ی میانگین هندسی آن‌ها، واحدها رتبه‌بندی می‌شوند. سپس با استفاده از نتایج تکرارهای شبیه‌سازی سناریوهای مختلف در مرکز تصویربرداری پزشکی، هر سناریو به‌عنوان یک DMU و نتایج شبیه‌سازی به‌صورت بازه‌ای به‌عنوان ورودی و خروجی‌های واحدها در نظر گرفته می‌شود. در نهایت مدل رتبه‌بندی داده‌های بازه‌ای پیشنهاد شده برای تعیین بهترین سناریو جهت کاهش زمان انتظار، افزایش تعداد سرویس‌دهی و بطور کلی بهبود عملکرد این مرکز بکار برده می‌شود و بهترین سناریو به مرکز تصویربرداری پزشکی مورد نظر پیشنهاد می‌گردد. مقاله به صورت زیر سازماندهی شده است. در بخش بعدی ابتدا مروری اجمالی بر مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها و کارایی مقاطع خواهیم داشت. در بخش سوم، روش پیشنهادی مبتنی بر تلفیق تحلیل پوششی داده‌ها و روش شبیه‌سازی ارائه می‌شود. بخش چهارم، بررسی و ارزیابی عملکرد مرکز تصویربرداری پزشکی با استفاده از روش پیشنهادی است. مقاله با بخش نتیجه‌گیری به اتمام می‌رسد.

## ۲- مقدمات

### ۲-۱- کارایی مقاطع

فرض کنید  $n$  واحد تصمیم‌گیرنده  $DMU_j$  ( $j=1, \dots, n$ ) هر کدام  $m$  ورودی  $x_{ij}$  ( $i=1, \dots, m$ ;  $j=1, \dots, n$ ) را برای تولید  $s$  خروجی  $y_{rj}$  ( $r=1, \dots, s$ ;  $j=1, \dots, n$ ) به کار می‌برند. مدل مضربی CCR (مدل (۱)) برای ارزیابی کارایی  $DMU_p$  ( $p \in \{1, \dots, n\}$ ) به‌صورت زیر است.

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

که  $u_r$  و  $v_i$  به ترتیب، وزن‌های ورودی  $i$  ( $i=1, \dots, m$ ) و خروجی  $r$  ( $r=1, \dots, s$ ) هستند. این مدل، واحدهای تصمیم‌گیرنده را به دو دسته کارا و ناکارا تقسیم‌بندی می‌کند؛ اما از آنجایی که قادر به تمایز و تشخیص واحدهای کارا، یعنی واحدهایی با اندازه کارایی یک نیست، روش‌های متعددی برای تمایز واحدها پیشنهاد شده است. یکی از روش‌های متداول برای تمایز واحدهای کارا، روش کارایی مقاطع است؛ که در آن با استفاده از جواب‌های بهینه‌ی مدل (۱) ( $u_r^*$  و  $v_i^*$ )، عناصر ماتریس کارایی مقاطع (برای  $DMU_j$  از رابطه‌ی  $\theta_{jp} = \frac{\sum_{r=1}^s u_r^* y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i^* x_{ij}}$ ) و همچنین کارایی  $DMU_p$  ( $\theta_{pp}^* = \sum_{r=1}^s u_r^* y_{rp}$ ) محاسبه گردیده، سپس DMUها بر اساس میانگین کارایی مقاطع، رتبه‌بندی می‌شوند (جدول ۱).

Table 1- cross-efficiency matrix.

میانگین کارایی متقاطع	n	...	2	1	DMU
$\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \theta_{1j}$	$\theta_{1n}$	...	$\theta_{12}$	$\theta_{11}$	1
$\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \theta_{2j}$	$\theta_{2n}$	...	$\theta_{22}$	$\theta_{21}$	2
:	:	...	:	:	:
$\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \theta_{nj}$	$\theta_{nn}$	...	$\theta_{n2}$	$\theta_{n1}$	n

## ۲-۲- داده‌های بازه‌ای

فرض کنید ورودی‌ها و خروجی‌های  $DMU_j$  ( $j=1, \dots, n$ ) در یک بازه قرار داشته باشند که  $x_{ij}^l$  و  $x_{ij}^u$  به ترتیب کران‌های پایین و بالای  $i$ امین ورودی و  $y_{ij}^l$  و  $y_{ij}^u$  به ترتیب کران‌های پایین و بالای  $r$ -امین خروجی  $DMU_j$  باشند، به طوری که  $x_{ij}^l \leq x_{ij} \leq x_{ij}^u$  و  $y_{ij}^l \leq y_{ij} \leq y_{ij}^u$ . چنین داده‌هایی، داده‌های بازه‌ای نامیده می‌شوند. توجه داشته باشید که  $x_{ij}^l \leq x_{ij}^u$  و  $y_{ij}^l \leq y_{ij}^u$  می‌باشند. به این ترتیب کران‌های پایین و بالای کارایی واحد تحت ارزیابی  $DMU_p$  با استفاده از دو مدل زیر به دست می‌آیند (دسپوتیز و اسمارلیس، ۲۰۰۲).

$$\begin{aligned} \text{Max } \theta_p^l &= \sum_{r=1}^s u_r y_{rp}^l \\ \text{s.t. } & \sum_{i=1}^m v_i x_{ip}^u = 1, \\ & \sum_{r=1}^s u_r y_{rp}^l - \sum_{i=1}^m v_i x_{ip}^u \leq 0, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^u - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^l \leq 0, \quad j=1, \dots, n \quad j \neq p$$

$$v_i \geq 0, \quad i=1, \dots, m$$

$$u_r \geq 0, \quad r=1, \dots, s.$$

که در آن برای محاسبه‌ی  $\theta_p^*$ ، واحد تحت ارزیابی در بدترین وضعیت قرار گرفته و سایر واحدها در بهترین وضعیت خود قرار می‌گیرند.

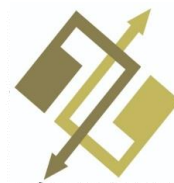
$$\begin{aligned} \text{Max } \theta_p^u &= \sum_{r=1}^s u_r y_{rp}^u \\ \text{s.t. } & \sum_{i=1}^m v_i x_{ip}^l = 1, \\ & \sum_{r=1}^s u_r y_{rp}^u - \sum_{i=1}^m v_i x_{ip}^l \leq 0, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}^l - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij}^u \leq 0, \quad j=1, \dots, n \quad j \neq p$$

$$v_i \geq 0, \quad i=1, \dots, m$$

$$u_r \geq 0, \quad r=1, \dots, s.$$





در این مدل نیز برای محاسبه‌ی  $\theta_p^{u*}$ ، واحد تحت ارزیابی در بهترین وضعیت قرار گرفته، و سایر واحدها در بدترین وضعیت خود قرار می‌گیرند. با استفاده از  $\theta_p^{u*}$  و  $\theta_p^{l*}$  به دست آمده، بازه‌ای به صورت  $[\theta_p^{l*}, \theta_p^{u*}]$  ساخته می‌شود که شامل همه‌ی اندازه‌های کارایی ممکن برای واحد تحت ارزیابی می‌باشد. بر این اساس  $DMU$ ها به سه دسته‌ی زیر تقسیم می‌گردند:

۱. شامل  $DMU$ هایی است که هم در بدترین و هم در بهترین وضعیت کارا باشند؛ به عبارت دیگر:

$$E^{++} = \{DMU_j, j=1, \dots, n \mid \theta_j^* = 1\}. \quad (۴)$$

۲. شامل " $DMU$ "هایی است که در بهترین وضعیت کارا و در بدترین وضعیت ناکارا باشند؛ به عبارت دیگر:

$$E^+ = \{DMU_j, j=1, \dots, n \mid \theta_j^* < 1, \theta_j^{u*} = 1\}. \quad (۵)$$

۳. شامل " $DMU$ "هایی است که هم در بدترین و هم در بهترین وضعیت ناکارا باشند؛ به عبارت دیگر:

$$E^- = \{DMU_j, j=1, \dots, n \mid \theta_j^{u*} < 1\}. \quad (۶)$$

### ۳- نتایج تحقیق

برای تعیین بهترین سناریو جهت کاهش زمان انتظار، افزایش تعداد سرویس دهی و بطور کلی بهبود عملکرد مرکز تصویربرداری پزشکی، و پیشنهاد بهترین سناریو به مرکز با در دست داشتن مدل پیشنهادی، نتایج مربوط به شبیه‌سازی مرکز تصویربرداری پزشکی مورد نظر در مقاله‌ی غلامی و همکاران (۲۰۲۰a) مورد استفاده قرار گرفته است. برای شبیه‌سازی این مرکز، مراحل زیر به کار برده شده است.

**مرحله اول:** تهیه فلوچارت از این مرکز تصویربرداری پزشکی و طرح نحوه کار پرستاران و مسیری که باید بیماران طی کنند: تعیین پیشامدهای ممکن، جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات لازم و آنالیز آن‌ها و نهایتاً تهیه جدول توزیع فراوانی برای پیشامدهای موردنیاز.

**مرحله دوم:** شبیه‌سازی از سیستم در وضعیت فعلی.

**مرحله سوم:** آنالیز نتایج مدل شبیه‌سازی در وضعیت فعلی.

**مرحله چهارم:** پیشنهاد چند سناریوی تقسیم وظایف پرستاران و شبیه‌سازی سناریوهای تعریف شده و در نهایت بدست آوردن نتایج مورد نیاز.

با استفاده از شبیه‌سازی سناریوهای مختلف و با توجه به شاخص‌های مورد نظر سیستم، نتایج بازه‌ای بدست آمده در جدول ۲ آورده شده است.

جهت استفاده از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها و همچنین مدل پیشنهادی، لازم است ورودی‌ها و خروجی‌ها با توجه به اهداف مسئله یعنی کاهش زمان انتظار و افزایش تعداد سرویس دهی تعیین شوند. شاخص‌های مورد نظر جهت رسیدن به اهداف تعیین شده عبارتند از:

#### ورودی‌ها

۱. تعداد پرستاران: این ورودی یک مقدار معین می‌باشد  $(x_1^l = x_1^u)$ .

۲. متوسط بازه زمانی ماندن در سیستم: این ورودی به صورت بازه‌ای می‌باشد  $[x_2^l, x_2^u]$ .

#### خروجی‌ها

۱. متوسط بازه درصد اشتغال سرویس دهنده: این خروجی از نوع بازه‌ای می‌باشد  $[y_1^l, y_1^u]$ .

۲. متوسط تعداد سرویس دهی: این خروجی یک مقدار معین می‌باشد  $(y_2^l = y_2^u)$ .



جدول ۲- نتایج حاصل از شبیه‌سازی ۱۰ سناریو و سناریوی فعلی یک مرکز تصویربرداری پزشکی.

Table 2- The results of simulating 10 scenarios and current scenario of a medical imaging center.

$y_2^l=y_2^u$	$y_1^u$	$y_1^l$	$x_2^u$	$x_2^l$	$x_1^l=x_1^u$	DMU <sub>j</sub> (سناریو)
69	573	346	1130	1118	8	1
67	497	440	1199	1011	7	2
79	368	354	778	665	8	3
62	519	392	899	835	7	4
81	486	255	1163	544	8	5
69	573	346	1130	1118	7	6
80	351	311	868	631	8	7
67	497	440	1199	1011	6	8
79	378	316	949	649	7	9
80	354	354	901	665	7	10
73	432	395	997	953	8	11(سناریوی فعلی)

با توجه به اینکه سناریوهای حاصل از شبیه‌سازی به‌عنوان واحدهای تصمیم‌گیرنده در نظر گرفته می‌شوند، و با اختیار کردن ورودی‌ها و خروجی‌های بازه‌ای و غیر بازه‌ای، برای هر کدام از این بازده واحد تصمیم‌گیرنده، با استفاده از مدل‌های (۲) و (۳)، به ترتیب کران‌های پایین و بالای کارایی محاسبه شده و نتایج در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- کران‌های پایین و بالای کارایی حاصل از مدل‌های (۲) و (۳) برای بازده DMU.

Table 3- Lower and upper bounds of the efficiency obtained from models (2) and (3) for eleven DMUs.

$\theta_j^u$	$\theta_j^l$	DMU <sub>j</sub>
1	0.7581	DMU <sub>1</sub>
1	0.8515	DMU <sub>2</sub>
1	0.8644	DMU <sub>3</sub>
1	0.801	DMU <sub>4</sub>
1	0.8859	DMU <sub>5</sub>
1	0.8664	DMU <sub>6</sub>
1	0.875	DMU <sub>7</sub>
1	1	DMU <sub>8</sub>
1	0.9875	DMU <sub>9</sub>
1	1	DMU <sub>10</sub>
1	0.8046	DMU <sub>11</sub>

با توجه به نتایج جدول ۳ مشاهده می‌شود که کران‌های پایین و بالای کارایی واحدهای  $DMU_{10}$  و  $DMU_8$  هر دو ۱ می‌باشند و با استفاده از رابطه (۴)  $E^{++} = \{DMU_8, DMU_{10}\}$ . لذا به کمک  $\theta_j^l$  نمی‌توان آن‌ها را رتبه‌بندی نمود. در نتیجه ابتدا با استفاده از مدل‌های (۱۰) و (۱۴) کارایی متقاطع واحدها در بدترین و بهترین وضعیتشان محاسبه گردید و به کمک آن‌ها برای کارایی متقاطع هر واحد کران‌های پایین و بالا به دست آمد. مقادیر کران‌های پایین و بالای وزن‌های بهینه ( $h$  و  $z$  از مدل (۱۰) و  $\hat{h}$  و  $\hat{z}$  از مدل (۱۴)) در جدول ۴ و نتایج کارایی‌های متقاطع در جدول‌های ۵ و ۶ آورده شده است.

با توجه به جدول ۴، به کمک مدل پیشنهادی، با تعیین وزن‌های بهینه در کوچک‌ترین بازه پراکندگی وزن‌ها به حداقل رسیده و تا حد امکان از صفر شدن وزن‌های بهینه که منجر به بی‌اهمیت شدن و نادیده گرفتن آن شاخص می‌گردد، جلوگیری می‌شود.

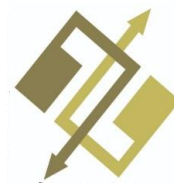




جدول ۴- مقادیر  $h$  و  $z$  حاصل از مدل (۱۰) و مقادیر  $\hat{h}$  و  $\hat{z}$  حاصل از مدل (۱۴).

Table 4- The values of  $h$  and  $z$  obtained from model 10 and the values of  $\hat{h}$  and  $\hat{z}$  obtained from model 14.

$\hat{z}$	$\hat{h}$	$z$	$h$	DMU <sub>j</sub>
0.0245	0.0007	0.1250	0.00001	DMU <sub>1</sub>
0.0580	0.0006	0.1429	0.00001	DMU <sub>2</sub>
0.0931	0.0004	0.1250	0.00002	DMU <sub>3</sub>
0.0969	0.0004	0.1127	0.0002	DMU <sub>4</sub>
0.1161	0.0001	0.1250	0.0000	DMU <sub>5</sub>
0.0420	0.0006	0.1429	0.0001	DMU <sub>6</sub>
0.0962	0.0004	0.1250	0.00002	DMU <sub>7</sub>
0.0471	0.0007	0.1667	0.0000	DMU <sub>8</sub>
0.1247	0.0002	0.1429	0.0000	DMU <sub>9</sub>
0.1042	0.0004	0.1429	0.0000	DMU <sub>10</sub>
0.0669	0.0005	0.1250	0.00001	DMU <sub>11</sub>



جدول ۵- کارایی متقاطع کران پایین محاسبه شده با استفاده از مدل (۱۰).

Table 5- Cross-efficiency of the lower bound calculated using model 10.

میانگین	DMU <sub>11</sub>	DMU <sub>10</sub>	DMU <sub>9</sub>	DMU <sub>8</sub>	DMU <sub>7</sub>	DMU <sub>6</sub>	DMU <sub>5</sub>	DMU <sub>4</sub>	DMU <sub>3</sub>	DMU <sub>2</sub>	DMU <sub>1</sub>	
0.7533	0.7581	0.758	0.755	0.759	0.755	0.758	0.755	0.714	0.758	0.758	0.758	DMU <sub>1</sub>
0.8452	0.8515	0.852	0.838	0.857	0.837	0.852	0.838	0.819	0.852	0.852	0.852	DMU <sub>2</sub>
0.8634	0.8644	0.864	0.864	0.864	0.864	0.864	0.864	0.854	0.864	0.864	0.864	DMU <sub>3</sub>
0.7851	0.7865	0.786	0.775	0.791	0.775	0.786	0.775	0.801	0.786	0.786	0.786	DMU <sub>4</sub>
0.8673	0.8769	0.877	0.886	0.873	0.886	0.877	0.886	0.748	0.877	0.877	0.877	DMU <sub>5</sub>
0.8587	0.8669	0.867	0.862	0.868	0.862	0.867	0.862	0.789	0.867	0.867	0.867	DMU <sub>6</sub>
0.8674	0.8712	0.871	0.875	0.869	0.875	0.871	0.875	0.819	0.871	0.871	0.871	DMU <sub>7</sub>
0.9825	0.9935	0.994	0.977	1.000	0.977	0.994	0.977	0.915	0.994	0.994	0.994	DMU <sub>8</sub>
0.9764	0.9841	0.984	0.988	0.983	0.988	0.984	0.988	0.890	0.984	0.984	0.984	DMU <sub>9</sub>
0.9939	0.9999	1.000	1.000	0.999	1.000	0.999	1.000	0.934	0.999	0.999	0.999	DMU <sub>10</sub>
0.8020	0.8046	0.805	0.798	0.807	0.798	0.805	0.798	0.792	0.805	0.805	0.805	DMU <sub>11</sub>

جدول ۶- کارایی متقاطع کران بالای محاسبه شده با استفاده از مدل (۱۴).

Table 5- Cross-efficiency of the upper bound calculated using model 14.

میانگین	DMU <sub>11</sub>	DMU <sub>10</sub>	DMU <sub>9</sub>	DMU <sub>8</sub>	DMU <sub>7</sub>	DMU <sub>6</sub>	DMU <sub>5</sub>	DMU <sub>4</sub>	DMU <sub>3</sub>	DMU <sub>2</sub>	DMU <sub>1</sub>	
0.9595	1.115	0.919	0.944	0.959	0.921	0.959	0.896	0.919	0.921	1	1	DMU <sub>1</sub>
0.9780	1.119	0.945	0.978	0.955	0.964	0.955	0.946	0.961	0.962	1	0.973	DMU <sub>2</sub>
0.9759	1.077	0.913	0.877	0.998	0.993	0.998	0.887	0.993	1	1	1	DMU <sub>3</sub>
1.0630	1.244	1	1	1.101	1	1.101	0.942	1	1.002	1.130	1.173	DMU <sub>4</sub>
1.2304	1.399	1.104	1.029	1.355	1.157	1.355	1	1.160	1.169	1.325	1.479	DMU <sub>5</sub>
1.0297	1.188	1	1.052	1	1.003	1	1.004	1	1	1.055	1.025	DMU <sub>6</sub>
0.9768	1.071	0.913	0.871	1	1	1	0.887	1	1.008	0.998	0.996	DMU <sub>7</sub>
1.0605	1.203	1.040	1.107	1	1.062	1	1.078	1.057	1.057	1.062	1	DMU <sub>8</sub>
1.0864	1.199	1.027	1	1.091	1.113	1.091	1.011	1.112	1.119	1.104	1.082	DMU <sub>9</sub>
1.0497	1.147	1	0.978	1.036	1.095	1.036	1	1.093	1.101	1.053	1.006	DMU <sub>10</sub>
0.8905	1	0.854	0.859	0.876	0.899	0.876	0.851	0.897	0.900	0.905	0.877	DMU <sub>11</sub>

با استفاده از میانگین کارایی متقاطع واحدها در بدترین و بهترین وضعیت، برای هر واحد کران‌های پایین و بالای کارایی محاسبه گردید. با توجه به جدول ۵ واحدهای ۱۰، ۸ و ۹ در بدترین وضعیت خود به ترتیب نسبت به سایر واحدها نمره‌ی کارایی بهتری دارند؛ اما با توجه به جدول ۶ واحدهای ۵، ۹، ۴، ۸ و ۱۰ در بهترین وضعیت خود به ترتیب نسبت به سایر واحدها نمره‌ی کارایی بهتری دارند که از بین این واحدها کران‌های پایین و بالای کارایی واحدهای ۱۰ و ۸ یک هستند (جدول ۳). به عبارت دیگر با استفاده از مدل (۱۴) وزن‌های بهینه‌ای برای واحدهای ۸ و ۱۰ به دست می‌آید که در بهترین وضعیت، کارایی متقاطع واحدهای ۵، ۹ و ۴ را بهتر می‌کند. لذا برای آنکه بتوانیم یک رتبه‌بندی مناسب داشته باشیم با استفاده از رابطه‌ی (۱۵) میانگین هندسی کران‌های پایین و بالای کارایی را برای هر واحد تصمیم‌گیرنده محاسبه نموده و سپس واحدها را رتبه‌بندی می‌کنیم. نتایج در جدول ۷ آورده شده است.

Table 6- Interval of cross efficiency, and ranking units according to the geometric average.

رتبه‌بندی	میانگین	$[\theta_j^L, \theta_j^U]$	DMU <sub>j</sub>
10	0.8502	[0.7533, 0.9595]	DMU <sub>1</sub>
9	0.9092	[0.8452, 0.9780]	DMU <sub>2</sub>
7	0.9179	[0.8634, 0.9759]	DMU <sub>3</sub>
8	0.9135	[0.7851, 1.0630]	DMU <sub>4</sub>
1	1.0330	[0.8673, 1.2304]	DMU <sub>5</sub>
5	0.9403	[0.8587, 1.0297]	DMU <sub>6</sub>
6	0.9205	[0.8674, 0.9768]	DMU <sub>7</sub>
4	1.0208	[0.9825, 1.0605]	DMU <sub>8</sub>
2	1.0300	[0.9764, 1.0864]	DMU <sub>9</sub>
3	1.0214	[0.9939, 1.0497]	DMU <sub>10</sub>
11	0.8451	[0.8020, 0.8905]	DMU <sub>11</sub>

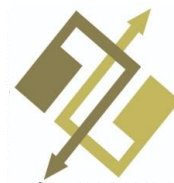
با توجه به جدول ۷ واحدهای ۵، ۹، ۱۰ و ۸ به ترتیب رتبه‌های اول تا چهارم را دارند و واحد ۵ بیشترین مقدار کارایی را دارد. با توجه به جدول ۲ و همچنین جدول ۷، سناریوی ۵ نسبت به سناریوی فعلی با همان تعداد پرستار توانسته است متوسط تعداد سرویس‌دهی را ۱۱٪ افزایش داده و میزان کارایی را نیز بیش از ۲۲٪ افزایش دهد. سناریوی نهم نسبت به سناریوی فعلی با یک پرستار کمتر متوسط تعداد سرویس‌دهی را تنها ۸٪ افزایش داده و کارایی را نیز بیش از ۲۱٪ افزایش داده است. سناریوی دهم نسبت به سناریوی فعلی با یک پرستار کمتر متوسط تعداد سرویس‌دهی را ۹٪ افزایش داده و میزان کارایی را نیز بیش از ۲۰٪ افزایش داده است. سناریوی هشتم نسبت به سناریوی فعلی با دو پرستار کمتر متوسط تعداد سرویس‌دهی را ۹٪ کاهش داده و اندازه کارایی را بیش از ۲۰٪ افزایش داده است. در نتیجه می‌توان گفت که سناریوی ۵ نسبت به سایر سناریوها برای سیستم عملکرد بهتری به وجود می‌آورد. مدل رتبه‌بندی پیشنهاد شده نیز، این سناریو را به‌عنوان بهترین سناریو معرفی می‌کند که میزان کارایی این سناریو نسبت به سناریوی فعلی ۲۲٪ افزایش خواهد یافت. لذا این سناریو جهت بهبود عملکرد به سیستم مورد نظر پیشنهاد می‌شود.

#### ۴- نتیجه‌گیری

با استفاده از شبیه‌سازی می‌توان مدلی مناسب جهت همانندسازی با رفتار سیستم ایجاد نمود، و از آنجا که تغییر رفتار و پیاده‌سازی آن، در سیستم واقعی مقدور نیست، لذا به کمک شبیه‌سازی، عوامل تأثیرگذار بر اهداف سیستم شناسایی شده و بر اساس آن، تغییر مناسب در رفتار سیستم ایجاد می‌گردد. فاکتورهای مهمی برای ارزیابی و بهبود عملکرد یک سیستم وجود دارد. برای مثال کاهش زمان انتظار یا کاهش زمان ماندن در سیستم، افزایش تعداد سرویس‌دهی، افزایش کیفیت خدمات‌دهی، بهبود تخصیص منابع و... شاخص‌های مهمی برای یک سیستم خدماتی می‌باشند. با توجه به اینکه در هر سناریو، نتایج شبیه‌سازی یکسان نبوده و در تکرارهای مختلف متفاوت می‌باشند، لذا استفاده از نتایج همه‌ی تکرارها با تمام خصوصیات آن، بسیار اهمیت دارد که با در نظر گرفتن نتایج شبیه‌سازی به‌صورت بازه‌ای به‌عنوان ورودی و خروجی‌های واحدها، می‌توان به این هدف رسید. همچنین با توجه به اینکه برای یک سیستم واقعی می‌توان سناریوهای گوناگونی در نظر گرفت، لذا ارزیابی و تعیین بهترین سناریو بسیار مهم است و برای مقایسه‌ی این سناریوها، مدل‌های رتبه‌بندی در تحلیل پوششی داده‌ها می‌تواند در ارزیابی و انتخاب بهترین سناریو به ما کمک کند. روش‌های متفاوتی برای رتبه‌بندی واحدها در DEA بکار گرفته می‌شود، که یکی از روش‌های پرکاربرد، کارایی متقاطع است و به دلیل امکان وجود جواب‌های بهینه‌ی چندگانه، که منجر به رتبه‌بندی چندگانه می‌گردد، مدل‌های اهداف ثانویه در آن بکار گرفته می‌شود.

در این مقاله، ابتدا برای داده‌های بازه‌ای دو مدل جهت محاسبه‌ی بازه‌ای کارایی متقاطع واحدها پیشنهاد نمودیم و در نهایت با محاسبه‌ی میانگین هندسی کران‌های پایین و بالای کارایی متقاطع، واحدها را رتبه‌بندی می‌نماییم. با استفاده از نتایج حاصل از تکرارهای شبیه‌سازی در یک مرکز تصویربرداری پزشکی، سناریوهای متعدد را به‌عنوان واحد تصمیم‌گیرنده در نظر گرفته و با توجه به اهداف تعیین شده، نتایج بازه‌ای به‌دست‌آمده به‌عنوان ورودی و خروجی‌های آن واحد در نظر گرفته شد. در نهایت مدل رتبه‌بندی داده‌های بازه‌ای پیشنهاد شده را برای تعیین بهترین سناریو جهت کاهش زمان انتظار، افزایش تعداد سرویس‌دهی و بطور کلی بهبود عملکرد این مرکز بکار بردیم و بهترین سناریو را به مرکز تصویربرداری پزشکی مورد نظر پیشنهاد نمودیم. با توجه به نتایج بدست‌آمده سناریوی ۵ نسبت به سناریوی فعلی، با افزایش کارایی به میزان ۲۲٪ به‌عنوان بهترین سناریو به سیستم معرفی گردید. از آنجا که مدت زمان ماندن در مرکز تصویربرداری و به تبع آن مدت زمان انتظار، در رضایتمندی مراجعین و همچنین تعداد سرویس‌دهی در افزایش درآمد مرکز تأثیرگذار





است، لذا با اعمال این سناریو، به اهداف موردنظر خواهیم رسید که عملکرد کلی سیستم را به صورت قابل توجهی بهبود می‌بخشد بدون آنکه در شیوه‌ی کار پزشک که نقش بسیار مهمی در تشخیص بیماری دارد، خللی وارد شود یا اینکه تغییری ایجاد گردد.

## تشکر و قدردانی

تشکر و سپاس ویژه‌ی خود را تقدیم به روح استاد گرانقدر مرحوم دکتر جهانشاهلو می‌نمایم که در انجام تحقیقات خود از راهنمایی‌های ایشان بهره‌ی فراوان برده‌ام و هزاران افسوس که دیگر در بین ما نیست.

## تعارض با منافع

اینجانبان نویسندگان این مقاله اعلام می‌داریم که هیچ تضادی در منافع، در مورد انتشار این نسخه وجود ندارد. همچنین، همه ما نویسندگان مقاله‌ی مذکور، نسخه نهایی ارسال شده را مشاهده و تأیید کرده‌ایم و نیز تضمین می‌کنیم که این مقاله، اثر اصلی ما بوده، قبلاً چاپ نشده، و در حال حاضر تحت انتشار هیچ مجله‌ی دیگری نمی‌باشد.

## منابع

- Al-Refaie, A., Fouad, R. H., Li, M. H., & Shurrab, M. (2014). Applying simulation and DEA to improve performance of emergency department in a Jordanian hospital. *Simulation Modelling practice and theory*, 41, 59-72.
- Andersen, P., & Petersen, N. C. (1993). A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. *Management science*, 39(10), 1261-1264.
- Azadeh, A., Tohidi, H., Zarrin, M., Pashapour, S., & Moghaddam, M. (2016). An integrated algorithm for performance optimization of neurosurgical ICUs. *Expert systems with applications*, 43, 142-153.
- Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science*, 30(9), 1078-1092.
- Cabrera, E., Taboada, M., Iglesias, M. L., Epelde, F., & Luque, E. (2011). Optimization of healthcare emergency departments by agent-based simulation. *Procedia computer science*, 4, 1880-1889.
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, 2(6), 429-444.
- Cooper, W. W., Park, K. S., & Yu, G. (1999). IDEA and AR-IDEA: models for dealing with imprecise data in DEA. *Management science*, 45(4), 597-607.
- Cooper, W. W., Park, K. S., & Yu, G. (2001). An illustrative application of IDEA (imprecise data envelopment analysis) to a Korean mobile telecommunication company. *Operations research*, 49(6), 807-820.
- Despotis, D. K., & Smirlis, Y. G. (2002). Data envelopment analysis with imprecise data. *European Journal of operational research*, 140(1), 24-36.
- Doyle, J. R., & Green, R. H. (1994). Efficiency and cross-efficiency in DEA: derivations, meanings and uses. *Journal of the operational research society*, 45(5), 567-578.
- Doyle, J. R., & Green, R. H. (1995). Cross-evaluation in DEA: improving discrimination among dmus. *INFOR: information systems and operational research*, 33(3), 205-222.
- Ebrahimi, B., Rahmani, M., & Ghodsypour, S. H. (2017). A new simulation-based genetic algorithm to efficiency measure in IDEA with weight restrictions. *Measurement*, 108, 26-33.
- Entani, T., Maeda, Y., & Tanaka, H. (2002). Dual models of interval DEA and its extension to interval data. *European journal of operational research*, 136(1), 32-45.
- Ghasemi, S., Aghsami, A., & Rabbani, M. (2021). Data envelopment analysis for estimate efficiency and ranking operating rooms: a case study. *International journal of research in industrial engineering*, 10(1), 67-86.
- Ghasempoor Anaraki, M., Vladislav, D. S., Karbasian, M., Osintsev, N., & Nozick, V. (2021). Evaluation and selection of supplier in supply chain with fuzzy analytical network process approach. *Journal of fuzzy extension and applications*, 2(1), 69-88.
- Gholami Golsefid, F., Daneshian, B., & Rostamy-Malkhalifeh, M. (2020a). Ranking of units by corrected cross-efficiency method using optimal weights in the smallest interval. *Nexo revista científica*, 33(02), 446-453.
- Gholami Golsefid, F., Daneshian, B., & Rostamy-Malkhalifeh, M. (2020b). Improving the performance of a medical imaging center through simulation and fuzzy DEA. *International journal of modeling, simulation, and scientific computing*, 11(06), 2050059. <https://doi.org/10.1142/S1793962320500592>
- He, F., Xu, X., Chen, R., & Zhu, L. (2016). Interval efficiency improvement in DEA by using ideal points. *Measurement*, 87, 138-145.
- Hosseinzaheh Lotfi, F., Jahanshahloo, G. R., Shahverdi, R., & Rostamy-Malkhalifeh, M. (2007a). Cost efficiency and cost Malmquist productivity index with interval data. *International mathematical forum*, 2(9), 441-453.
- Hosseinzaheh Lotfi, F., Navabakhs, M., Tehranian, A., Rostamy-Malkhalifeh, M., & Shahverdi, R. (2007b). Ranking bank branches with interval data—the application of DEA. *International mathematical forum*, 2(9), 429-440.



- Jafari, H. (2020). Evaluation and estimation of outputs and inputs in inverse data envelopment analysis with interval data. *Innovation management and operational strategies*, 1(3), 297-309. (In Persian). [http://www.journal-imos.ir/article\\_125406.html?lang=en](http://www.journal-imos.ir/article_125406.html?lang=en)
- Jahanshahloo, G. R., & Shahmirzadi, P. F. (2013). New methods for ranking decision making units based on the dispersion of weights and Norm 1 in Data Envelopment Analysis. *Computers & industrial engineering*, 65(2), 187-193.
- Jahanshahloo, G. R., Lotfi, F. H., Jafari, Y., & Maddahi, R. (2011a). Selecting symmetric weights as a secondary goal in DEA cross-efficiency evaluation. *Applied mathematical modelling*, 35(1), 544-549.
- Jahanshahloo, G. R., Lotfi, F. H., Rezaie, V., & Khanmohammadi, M. (2011b). Ranking DMUs by ideal points with interval data in DEA. *Applied mathematical modelling*, 35(1), 218-229.
- Jahanshahloo, G. R., Lotfi, F. H., Malkhalifeh, M. R., & Namin, M. A. (2009). A generalized model for data envelopment analysis with interval data. *Applied mathematical modelling*, 33(7), 3237-3244.
- Khalili, N., Shahnazari Shahrezaei, P., & Abri, A. G. (2020). A multi-objective optimization approach for a nurse scheduling problem considering the fatigue factor (case study: Labbafinejad Hospital). *Journal of applied research on industrial engineering*, 7(4), 396-423.
- Laskowski, M., & Mukhi, S. (2008, September). Agent-based simulation of emergency departments with patient diversion. *International conference on electronic healthcare* (pp. 25-37). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Liang, L., Wu, J., Cook, W. D., & Zhu, J. (2008a). Alternative secondary goals in DEA cross-efficiency evaluation. *International journal of production economics*, 113(2), 1025-1030.
- Liang, L., Wu, J., Cook, W. D., & Zhu, J. (2008b). The DEA game cross-efficiency model and its Nash equilibrium. *Operations research*, 56(5), 1278-1288.
- Meng, L. Y. & Spedding, T. (2008). Modeling patient arrivals when simulating an accident and emergency unit. *2008 winter simulation conference* (pp. 1509-1515). IEEE. DOI: [10.1109/WSC.2008.4736231](https://doi.org/10.1109/WSC.2008.4736231)
- Pourhabib, A., Kordrostami, S., Amirteimoori, A., & Matin, R. K. (2018). Performance measurement in data envelopment analysis without slacks: an application to electricity distribution companies. *RAIRO-operations research*, 52(4-5), 1069-1085.
- Ruohonen, T., Neittaanmaki, P., & Teittinen, J. (2006, December). Simulation model for improving the operation of the emergency department of special health care. *Proceedings of the 2006 winter simulation conference* (pp. 453-458). IEEE. DOI: [10.1109/WSC.2006.323115](https://doi.org/10.1109/WSC.2006.323115)
- Sarfaraj, N., Lingkon, M. L., & Zahan, N. (2021). Applying flexible job shop scheduling in patients management to optimize processing time in hospitals. *International journal of research in industrial engineering*, 10(1), 46-55.
- Sexton, T. R., Silkman, R. H., & Hogan, A. J. (1986). Data envelopment analysis: critique and extensions. *New directions for program evaluation*, 1986(32), 73-105.
- Song, M., Zhu, Q., Peng, J., & Gonzalez, E. D. S. (2017). Improving the evaluation of cross efficiencies: a method based on Shannon entropy weight. *Computers & industrial engineering*, 112, 99-106.
- Wang, Y. M., & Chin, K. S. (2010). Some alternative models for DEA cross-efficiency evaluation. *International journal of production economics*, 128(1), 332-338.
- Wang, Y. M., Greatbanks, R., & Yang, J. B. (2005). Interval efficiency assessment using data envelopment analysis. *Fuzzy sets and systems*, 153(3), 347-370.
- Waring, J. J., & Bishop, S. (2010). Lean healthcare: rhetoric, ritual and resistance. *Social science & medicine*, 71(7), 1332-1340.
- Weng, S. J., Tsai, B. S., Wang, L. M., Chang, C. Y., & Gotcher, D. (2011, December). Using simulation and data envelopment analysis in optimal healthcare efficiency allocations. *Proceedings of the 2011 winter simulation conference (WSC)* (pp. 1295-1305). IEEE.