

Assessment of Cloud Service Efficiency Based on Price and Quality of Service Features Using Data Envelopment Analysis

Afshin Baghfalaki ¹✉

^{1*} Assistant professor of Economics, Department of Economics, Kermanshah Branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran, Corresponding Author, Email: Afshin.Baghfalaki@iau.ac.ir

Article Info

Received: 3/1/2025

Accepted: 7/6/2025

Pages: 159-179

Keywords:

Cloud Computing; Efficiency

Measurement; Data Envelopment

Analysis (DEA); BCC Model

JEL Classification:

L16; L94; Q48

ABSTRACT

Nowadays, cloud computing has increasingly gained the attention of academic, commercial, and industrial centers due to offering diverse and cost-effective services through the Internet. Although cloud computing has emerged from the convergence of several recent technologies in providing software and hardware services, one of its main driving factors is the economic discussions in the provision and use of services. Currently, various types of cloud services with different prices and efficiencies are available to customers. However, from the customers' perspective, selecting the appropriate cloud service with the lowest cost and highest efficiency that meets their needs is a complex issue. Therefore, evaluating the relative performance of cloud services and ranking them based on their efficiency and price is a necessary task. In this study, the efficiency of cloud services is measured using the Data Envelopment Analysis (DEA) technique, specifically the input-oriented and output-oriented BCC models. The period under review is the year 2023. The software used in this research is Matlab 2019. After executing these models, their correlation with the base CCR model is calculated using the Pearson correlation coefficient. The obtained results indicate a high correlation between the input-oriented BCC model and the base CCR model. In this article, in addition to ranking the services, suggestions are made for adjusting the prices of inefficient services."

COPYRIGHTS

©2023 by the authors. Published by the Islamic Azad University, West Tehran Branch. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



Extended Abstract

Purpose

Nowadays, cloud computing has increasingly gained the attention of academic, commercial, and industrial centers due to offering diverse and cost-effective services through the Internet. Although cloud computing has emerged from the convergence of several recent technologies in providing software and hardware services, one of its main driving factors is the economic discussions in the provision and use of services. Currently, various types of cloud services with different prices and efficiencies are available to customers. However, from the customers' perspective, selecting the appropriate cloud service with the lowest cost and highest efficiency that meets their needs is a complex issue. Therefore, evaluating the relative performance of cloud services and ranking them based on their efficiency and price is a necessary task. In this study, the efficiency of cloud services is measured using the Data Envelopment Analysis (DEA) technique, specifically the input-oriented and output-oriented BCC models. The period under review is the year 2023. The software used in this research is Matlab 2019. After executing these models, their correlation with the base CCR model is calculated using the Pearson correlation coefficient. In cloud computing, IT services can be offered to users in a manner similar to public utilities such as water, electricity, gas, and telephone, and users are billed for the usage of these services. In other words, users pay for the hardware and software services based on their consumption. From the consumer's perspective, cloud computing is a cost-saving model that converts capital expenditures into operational expenses. Consequently, various pricing models are introduced by the service providers, allowing customers to choose based on their specific conditions. In this research, input-oriented and output-oriented BCC models are used for ranking virtual machines. In addition to this ranking, new prices are proposed for inefficient virtual machine samples to bring them to the efficiency frontier. The Analytical Hierarchy Process (AHP) is an abstract method for analyzing qualitative criteria related to creating decision-making criteria weights. It is one of the approaches used to address this issue. Data Envelopment Analysis (DEA) is a linear programming method based on multi-variable decision-making. The integrated DEA and AHP method is also employed to select appropriate services for users in a cloud computing environment. While AHP is an effective method for decision-making, it does not account for the uncertainty of human decision-making in pairwise comparison evaluations. The first model of Data Envelopment Analysis is called CCR, which is used for comparing units with constant returns to scale. In 1984, Banker, Charnes, and Cooper introduced a new model named BCC by modifying the CCR model, which evaluates the relative efficiency of units with variable returns to scale. Since the nature of pricing virtual machines relative to their features (such as memory size, processor power, etc.) Does not follow constant returns to scale, the BCC model is used in this research to compare the efficiency of virtual machines. Each virtual machine is considered as a DMU.

Methodology

This research is an applied study aimed at finding a solution to a problem in the community, an industrial organization, or an administrative organization. It is noteworthy that the term "problem" in an organization here does not imply a defect or error, but rather the aim is to add to the knowledge base of that organization. The objective of this study is to evaluate the relative efficiency of virtual machines and to propose appropriate pricing for inefficient samples to cloud providers.

1. Implementation of the BCC Model

The BCC model is a nonlinear programming model, and there are two methods to linearize it:

the input-oriented approach (maximizing the numerator while keeping the denominator constant) and the output-oriented approach (minimizing the denominator while keeping the numerator constant). The BCC ratio model for evaluating the efficiency of the unit under review (unit o) is shown in equation (1).

$$\text{Max: } \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{ro} + w}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}} \quad \text{s. t.} \quad \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, j = 1, 2, \dots, n \quad u_r \geq 0, v_i \geq 0$$

2. Input-Oriented BCC Envelopment Model

Whenever inputs are minimized to keep the output at its current level, the DEA model will be input-oriented. Equation (2) shows the objective function and constraints of the input-oriented BCC model. In fact, the objective function increases the efficiency of a DMU by reducing inputs while keeping the output level constant.

$$\theta^* = \text{Min } \theta$$

$$\text{s. t.}$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq \theta x_{io} \quad i = 1, 2, 3, \dots, m;$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{ro} \quad r = 1, 2, 3, \dots, s;$$

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

$$\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, 3, \dots, n$$

As previously mentioned, DMU is one of (n) number of DMUs under evaluation. In equation (2) x_{io} and y_{io} represent the i th and r th output of DMU_o , respectively. The efficiency score of DMU_o is denoted by θ^* . If $\theta^* = 1$, then the current input level cannot be reduced, indicating that DMU_o is on the efficiency frontier. Otherwise, if $\theta^* < 1$, DMU_o will be inefficient, and there will be room for improving efficiency by reducing inputs while keeping the output level constant.

Finding

The obtained results indicate a high correlation between the input-oriented BCC model and the base CCR model. In this article, in addition to ranking the services, suggestions are made for adjusting the prices of inefficient services.

Conclusion

- Cost Analysis: A detailed examination of service delivery costs, including labor, infrastructure, and operational expenses, to identify weaknesses and reduce unnecessary expenditures.
- Service Value Assessment: Determining the value that customers receive from the service and adjusting pricing accordingly based on this value.
- By applying Data Envelopment Analysis (DEA) to evaluate the virtual machine samples, the following results have been obtained.
- By applying Data Envelopment Analysis (DEA) to evaluate the virtual machine samples, the following results have been obtained:
- There is a higher correlation between the efficiency scores obtained from the input-oriented BCC approach and the conventional CCR model compared to the output-oriented BCC approach".
- With the ranking conducted by this research, cloud customers can easily select the types of virtual machines they need.
- Cloud providers can reduce the prices of virtual machine samples that are not on the efficiency frontier (from the input-oriented perspective) to attract more customers to use their services.

ارزیابی کارایی سرویس‌های ابری براساس قیمت و ویژگی‌های کیفیت سرویس با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها

افشین باغفلکی^۱

^۱. استادیار اقتصاد، گروه اقتصاد، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه، ایران، نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: Afshin.Baghfalaki@iau.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی صفحات: ۱۵۹-۱۷۹ تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۱۴ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۴/۰۳/۱۷ واژگان کلیدی: محاسبات ابری؛ سنجش کارایی؛ تحلیل پوششی داده؛ مدل BCC طبقه‌بندی JEL: L16; L94; Q48	امروزه محاسبات ابری بدلیل ارائه سرویس‌های متنوع و مقرون به صرفه از طریق اینترنت، روز به روز بیشتر مورد توجه مراکز دانشگاهی، تجاری و صنعتی قرار گرفته است. اگر چه محاسبات ابری در نتیجه همگرایی تعدادی از تکنولوژی‌های اخیر در ارائه سرویس‌های نرم افزاری و سخت افزاری بوجود آمده است اما یکی از عوامل اصلی و پیش برنده آن، مباحث اقتصادی در ارائه و استفاده از سرویس‌ها است. امروزه انواع متعدد سرویس‌های ابری با قیمت‌ها و کارایی مختلف برای مشتریان در دسترس هستند. اما از دیدگاه مشتریان، انتخاب سرویس ابری مناسب با کمترین هزینه و بیشترین کارایی که نیازمندی‌های آنها را برآورده سازد، یک مسأله پیچیده است. از این روی، ارزیابی عملکرد نسبی سرویس‌های ابری و رتبه‌بندی آنها بر اساس کارایی و قیمت آنها یک مسئله ضروری است. در این پژوهش، جهت سنجش کارایی سرویس‌های ابری از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها و مشخصاً مدل‌های ورودی - محور و خروجی - محور BCC استفاده شده است. دوره مورد بررسی سال ۱۴۰۲ می باشد. نرم افزار مورد استفاده این پژوهش Matlab 2019 می‌باشد. پس از اجرای این مدل‌ها، میزان همبستگی آنها با مدل CCR پایه براساس ضریب همبستگی پیرسون محاسبه شده است. نتایج بدست آمده حاکی از میزان همبستگی بالای مدل BCC ورودی محور با مدل CCR پایه است. در این مقاله علاوه بر رتبه‌بندی سرویس‌ها، پیشنهاداتی برای اصلاح قیمت سرویس‌های ناکارا از جمله تحلیل هزینه‌ها، ارزیابی ارزش خدمات، بررسی رقبا و بهبود کیفیت خدمات ارائه شده است.

۱. مقدمه

در محاسبات ابری، سرویس‌های فناوری اطلاعات می‌توانند بصورت یک صنعت عمومی نظیر آب، برق، گاز و تلفن به کاربران عرضه شوند و در قبال آن صورتحساب محاسبات دریافت نمایند. عبارت دیگر کاربران بر اساس میزان مصرف خود از سرویس‌های سخت افزاری و نرم افزاری، هزینه آن را پرداخت می‌کنند. از دید مصرف کننده، محاسبات ابری مدلی برای کاهش هزینه است تا هزینه‌های سرمایه گذاری به هزینه‌های عملیاتی تبدیل شود. متعاقباً از سمت سرویس دهنده، مدل‌های مختلفی برای قیمت گذاری سرویس معرفی می‌شود تا مشتری بر حسب شرایط خود بتواند از آنها استفاده کند. محاسبات ابری یک مدل کسب و کار سرویس‌گرا^۱ است و زیرساخت به عنوان سرویس^۲ یکی از مهم ترین سرویس‌های ابری است که به تامین منابع زیرساختی بصورت واحدهایی بنام ماشین مجازی اشاره دارد. هر ماشین مجازی دارای پردازنده، حافظه اصلی، دیسک و ورودی/خروجی می‌باشد. مثال‌هایی از فراهم کنندگان زیرساخت به عنوان سرویس عبارتند از: Amazon EC2^۳، GoGrid و Flexiscale.

خدمات ابری، طیف وسیعی از خدماتی است که کسب و کارهای مختلف به مشتریان خود از طریق اینترنت ارائه می‌دهند. یکی از مزایای مهم استفاده از این سرویس‌ها، منعطف بودن آنهاست. به عنوان مثال، مشتریان می‌توانند دقیقاً از همان امکانات مدنظرشان استفاده کنند و در صورتی که به آن نیازی نداشته باشند، آن را خاموش کنند. این موضوع می‌تواند باعث صرفه‌جویی در هزینه‌های بنگاه‌ها شود. فارغ زاده (۱۴۰۰). از مهمترین مزایای سرویس‌های ابری می‌توان به عدم نیاز به جذب نیروی بیشتر، صرفه‌جویی در هزینه‌ها و افزایش انعطاف پذیری اشاره کرد. (ستاری، ۱۴۰۳). در محاسبات ابری انتخاب نمونه ماشین مجازی مناسب برای کاربر به دلیل تنوع ابرها و نمونه‌های ماشین مجازی و از طرف دیگر متفاوت بودن کارایی و قیمت، یک مسئله پیچیده است. بنابراین بکارگیری مکانیزمی برای سنجش کارایی نمونه‌های ماشین مجازی بر اساس ویژگی‌ها و قیمت آنها، ضروری به نظر می‌رسد. (توماس^۴ ۲۰۱۷)

در مقاله حاضر از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)^۵ برای رتبه‌بندی انواع ماشین‌های مجازی بر اساس معیارهای کیفیت سرویس (کارایی پردازنده و ...) و قیمت استفاده می‌شود. تحلیل پوششی داده‌ها

^۱ Service-Driven

^۲ Infrastructure as a Service: IaaS

^۳ <https://aws.amazon.com/ec2>.

^۴ Thomas, 2017

^۵ Data Envelopment Analysis (DEA)

یکی از روش‌های محاسبه کارایی برای واحدهای با چند ورودی و چند خروجی می‌باشد که این تکنیک، مبتنی بر رویکرد برنامه ریزی خطی است. با استفاده از این روش، می‌توان سازمان‌های کارا و ناکارا را مشخص کرد همچنین می‌توان سازمان‌های ناکارا را رتبه‌بندی و برای آنها از بین سازمان‌های کارا، مرجع (الگو) جهت رسیدن به مرز کارایی مشخص کرد. احمد و همکاران^۱ (۲۰۲۱) این واحدها می‌توانند شعب یک بانک، مدارس، بیمارستان‌ها، پالایشگاه‌ها، نیروگاه‌های برق، ادارات تحت پوشش یک وزارتخانه و یا کارخانه‌های متشابه باشند. منظور از مقایسه و سنجش کارایی نیز این است که یک واحد در مقایسه با سایر واحدها، چقدر خوب از منابع خود در راستای تولید استفاده کرده است. مدل‌های متعارف تحلیل پوششی داده‌ها برای سنجش و ارزیابی کارایی واحد تحت بررسی، از دو رویکرد مجزا استفاده می‌کنند: کاهش اندازه ورودی‌ها بدون تغییر در اندازه خروجی‌ها (رویکرد ورودی محور) و افزایش اندازه خروجی‌ها بدون تغییر در اندازه ورودی‌ها (رویکرد خروجی محور). مشخصاً در این تحقیق از مدل‌های ورودی محور و خروجی محور BCC برای رتبه‌بندی ماشین‌های مجازی استفاده می‌شود. علاوه بر این رتبه‌بندی، برای نمونه‌های ماشین مجازی ناکارا قیمت‌های جدید پیشنهاد می‌شود تا آنها نیز به مرز کارایی برسند.

۲. ادبیات موضوع

امروزه خدمات متنوع ابری با قیمت‌ها و کارایی متفاوت در دسترس مشتریان می‌باشند؛ از این روی، سنجش عملکرد نسبی خدمات ابری مبتنی بر شاخص کیفیت سرویس مخصوص به هر کاربر ضروری می‌باشد. این نوع ارزیابی باعث ایجاد راه حلی برای مشتریان می‌شود تا بهترین سرویس ابری را برگزینند که بتواند نیازهایشان را برآورده سازد. همچنین، این عمل باعث می‌شود ارائه دهنده خدمات ابری بتواند به شناسایی حوزه‌هایی بپردازد که در آنجا انجام بهبود ضروری است تا بتوان نیازهای مشتری را مرتفع ساخته و نیز در بازار ارائه خدمات ابری حضور یابند. این مسئله در حوزه تصمیم‌گیری چند متغیره قرار می‌گیرد. این نوع تصمیم‌گیری ظرفیت‌گزینش، مقایسه و رتبه‌بندی شاخص‌های متفاوت و راهکارهای جایگزین چندگانه را دارا می‌باشد. فرآیند طبقاتی تحلیلی (AHP)^۲ یک روش انتزاعی برای تحلیل شاخصه‌های کیفی مربوط به ایجاد وزن است. (گارگ و همکاران^۳ ۲۰۱۳). تحلیل پوششی داده‌ها، یک

^۱ Ahmed et al., 2021

^۲ Analytic hierarchy process

^۳ Garg et al., 2013

روش برنامه ریزی خطی مبتنی بر تصمیم‌گیری چند متغیره است. روش یکپارچه شده DEA و AHP نیز برای انتخاب سرویس مناسب کاربران در محیط محاسبات ابری به کار گرفته شده است. قاسم زاده ده آبادی (۱۴۰۳) در تحقیقی با عنوان بررسی و ارائه راهکارهای بکارگیری رایانش ابری به این نتیجه رسید که مدل سرویس مبتنی بر رایانش ابری می‌تواند به عنوان یک نقشه راه برای موسسات و بنگاههای اقتصادی، جهت حرکت به سمت رایانش ابری برای حل چالش‌های بنگاهها از جمله صرفه جویی در هزینه، تامین بهینه منابع و توسعه برنامه‌های کاربردی مورد استفاده قرار گیرد. حسین نژاد گرگری و همکاران (۱۴۰۱) در مقاله ای با عنوان یک مدل اعتماد برای رایانش ابری با استفاده از شبکه بیزی به این نتیجه رسیدند که، چون اعتماد با احتمالات سروکار دارد، شبکه بیزی نیز برای حل مسائل از احتمالات استفاده می‌کند، پس شبکه بیزی می‌تواند به کمک ارزیابی اعتماد بیاید. در ادامه برای مقایسه از فن‌های مختلف داده کاوی جهت ارزیابی اعتماد در سرویس‌های ابری استفاده شده است. نتایج نشان داده، داده کاوی برای ارزیابی اعتماد در سرویس‌های ابری کارایی بهتری دارد. فارغ زاده (۱۴۰۰) در مقاله خود با عنوان بررسی کارکردهای جداسازی کارائی در خدمات ابری پایه به این نتیجه رسید که، جداسازی عملکرد یک چالش اساسی در ارائه خدمات ابری است و مدیریت عملکرد، لازمه دستیابی به اهداف کیفی در ابرها است. اگرچه بسیاری از تحقیقات این موضوع را بررسی کرده اند، اما در مورد ابعاد، چالش‌ها و فرصت‌های مدیریتی کمبود تحلیل وجود دارد. در پژوهش فوق به بررسی ابعاد و کارکردهای انزوای عملکرد در خدمات ابری پایه می‌پردازد. در انتهای پژوهش نیز پیشنهاداتی درجهت بکارگیری موثرتر این مشخصه در محیط‌های رایانش ابری بیان شده است. لوگوو همکاران^۱ (۲۰۲۵) در تحقیقی با عنوان یک روش مبتنی بر سرویس ابری آواتار برای نظارت و تعامل با برنامه‌های کاربردی به این نتیجه رسیدند که، رایانش ابری یک الگوی محاسباتی نویدبخش است که امکان توزیع خدمات از یک مجموعه منابع را فراهم می‌کند. این خدمات بر اساس درخواست مشتریان و از طریق مدل پرداخت به میزان استفاده ارائه می‌شوند. هدف اصلی ارائه‌دهندگان سرویس‌های ابری، بیشترین بهره‌برداری از منابع و حداکثر سود از طریق زمان‌بندی بهینه است. لی و همکاران^۲ (۲۰۲۳) به این نتیجه رسیدند که در مقایسه با روش‌های سنتی ارائه خدمات، رایانش ابری مزایای زیادی دارد، مانند خدمات بر حسب تقاضا و سیستم‌های قیمت‌گذاری انعطاف‌پذیر، که توجه گسترده‌ای را از دانشگاه و صنعت به خود جلب می‌کند.

ویمرکاتی و همکاران^۳ (۲۰۱۹)، یک سرویس کارگزاری جدید، مبتنی بر کاربر، برای پشتیبانی از کاربران در تعیین الزامات و امکان ارزیابی آنها در برابر طرح‌های ابری موجود پیشنهاد کرده اند. و ارزیابی کرده اند

¹ Lugo et al., 2025

² Li, et al., 2023

³ Vimercati et al., 2019

که برنامه‌های مختلف چقدر می‌توانند خواسته‌های کاربر را برآورده کنند. خدمات کارگزاری آن‌ها به کاربران اجازه می‌دهد تا با استفاده از عبارات زبان طبیعی و مفاهیم سطح بالا، خواسته‌های خود را به روشی آسان و شهودی مشخص کنند. منطق فازی و سیستم‌های استنتاج فازی برای ارزیابی کمی انطباق سرویس‌های ابری با خواسته‌های کاربران و از این رو برای کمک به کاربران در فرآیند انتخاب سرویس ابری به کار گرفته شده‌اند.

مطالعه سیواکامی و رامایا^۱ (۲۰۱۶)، برای گزینش خدمات میان‌افزاری در محیط رانش ابری با استفاده از ELECTRE ارائه شده که مبتنی بر مدلسازی تصمیم‌گیری چند معیاری می‌باشد. پارامترهای لحاظ شده جهت مطالعه اثر گذاری فرآیند گزینشی سرویس عبارتند از انعطاف، زمان، هزینه سرویس، سنجش صحیح و قابلیت اطمینان. لی و همکاران^۲ (۲۰۱۰) چهارچوب Cloudcmp را برای مقایسه عملکرد انواع خدمات ابری پیشنهاد دادند. Cloudcmp به طور سیستماتیک عملکرد و هزینه ارائه دهندگان ابری را در طی ابعادی که برای مشتری مهم هستند، با هم مقایسه می‌نماید. در مدل پیشنهادی این مقاله، از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی خدمات ابری مبتنی بر شاخصه‌های QOS (عملکرد CPU یکپارچگی دیسک I/O عملکرد حافظه) و قیمت استفاده می‌شود. همچنین پیشنهاد برای اصلاح قیمت سرویس‌ها که در هیچ یک از مقالات قبلی بررسی نشده بود را ارائه داده‌اند.

۱-۲. تحلیل پوششی داده‌ها

تحلیل پوششی داده‌ها، شامل تکنیکها و روشهایی برای ارزیابی کارایی و یا سنجش بهره‌وری واحدهای تصمیم‌گیرنده^۳ (DMU) است. در این روش با استفاده از ورودیها و خروجی‌های واحدهای تصمیم‌گیرنده و اصول حاکم بر آنها، مجموعه‌ای با عنوان امکان تولید، ارائه و قسمتی از مرز آن به عنوان تابع تولید معرفی می‌شود. این مرز را مرز کارا نیز می‌نامند و واحدهای تصمیم‌گیرنده‌ای که روی این مرز قرار می‌گیرند، کارا ارزیابی میشوند. از آنجائی که DEA، تکنیک ارزیابی کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیرنده است، حداقل یکی از واحدها روی مرز و بقیه واحدها در زیر آن قرار دارند. DEA همچنین فرصتهای زیادی را برای همکاری میان تحلیلگر و تصمیم‌گیرنده ایجاد میکند. این همکاریها می‌تواند در راستای انتخاب ورودی و خروجی واحدهای تحت ارزیابی و چگونگی عملکرد و الگویابی نسبت به مرز کارا باشد (بنکر و همکاران^۴ ۱۹۸۴).

^۱ Sivakami & Ramaiah, 2016

^۲ Li et al., 2010

^۳ Decision-Making Unit

^۴ Banker et al., 1984

بصورت کلی یک مجموعه با n واحد تصمیم گیرنده را در نظر بگیرید که از m ورودی x_{ij} ($i = 1, 2, 3, \dots, m$) برای تولید s خروجی y_{rj} ($r = 1, 2, \dots, s$) استفاده می‌کند. فرض کنید بردارهای ورودی و خروجی برای DMU_j که $j = (1, 2, 3, \dots, n)$ به صورت (x_j, y_j) نمایش داده شود، به طوری که برای هر j ، مؤلفه‌های این بردار نامنفی باشند و حداقل یک مؤلفه‌ی هر بردار ورودی و حداقل یک مؤلفه‌ی هر بردار خروجی مثبت باشد. جهت تعیین پیشانی پرتو دو روش وجود دارد: ورودی‌گرا و خروجی‌گرا.

در مدل‌های پایه‌ای تحلیل پوششی داده‌ها، بهره‌وری از DMU مورد بررسی نسبت به سایر DMU ها به حداکثر می‌رسد. بنابراین، کارایی همه‌ی DMU ها کمتر یا مساوی ۱ است. کارایی DMU های ناکارآمد می‌تواند با جهت‌های پیشنهادی بهبود یابد. فرض اساسی این است که اگر یک DMU ناکارآمد باشد، می‌توان یک DMU مجازی را با ترکیبی از سایر DMU های کارآمد بدست آورد که برای همان سطح از ورودی‌ها منجر به خروجی بیشتر شود، یا می‌توان از ورودی‌های کمتری استفاده کرد تا همان سطح خروجی‌ها را تولید کند یا به ترکیبی از این دو حالت منجر گردد.

اولین مدل تحلیل پوششی داده‌ها CCR نام دارد که برای مقایسه واحدها با بازده ثابت بکار برده می‌شود. (چارنز و همکاران^۱ ۱۹۷۸). در سال ۱۹۸۴، بنکر، چارنز و کوپر^۲ با تغییر در مدل CCR مدلی جدیدی بنام BCC را عرضه کردند که به ارزیابی نسبی کارایی واحدهایی با بازده متغیر می‌پردازد. از آنجا که ماهیت قیمت‌گذاری ماشین‌های مجازی نسبت به ویژگی‌های آن (مانند اندازه حافظه، قدرت پردازنده و ...) بازده به مقیاس ثابت نیست، در این پژوهش از مدل BCC برای مقایسه کارایی ماشین‌های مجازی استفاده می‌شود و هر ماشین مجازی به‌عنوان یک DMU در نظر گرفته می‌شود.

۳. روش تحقیق

این پژوهش از نوع پژوهشهای کاربردی است که برای یافتن راه حلی درباره یک مشکل در جامعه، یک سازمان صنعتی یا اداری انجام می‌شود. قابل توجه است که در اینجا مشکل در یک سازمان به مفهوم یک عیب یا ایراد نیست، بلکه به معنای افزودن به مجموعه دانشی آن سازمان است. درواقع هدف تحقیق کاربردی، توسعه دانش کاربردی در یک زمینه خاص است. این نوع پژوهشها با استفاده از نتایج تحقیقات بنیادی، به منظور بهبود و به کمال رساندن رفتارها، روش‌ها، ابزارها، وسایل، تولیدات، ساختارها و الگوهای مورد استفاده جوامع انسانی انجام می‌شود.

¹ Charnes et al., 1978

² Cooper

در مقاله حاضر از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی عملکرد سرویس‌های ابری استفاده شده است. تحلیل پوششی داده‌ها فرصتهای زیادی را برای همکاری میان تحلیلگر و تصمیم گیرنده ایجاد میکند. این همکاریها می‌تواند در راستای انتخاب ورودی و خروجی واحدهای تحت ارزیابی و چگونگی عملکرد و الگویابی نسبت به مرز کارا باشد. داده‌های استفاده شده در این پژوهش از پایگاه داده معتبر ارائه شده توسط CloudHarmony^۱ برگرفته شده است. مشخصات نمونه‌های ماشین مجازی متعلق به ابرهای مختلف و توضیحات مربوط به معیارهای کارایی آنها به ترتیب در جداول (۱) و (۲) ارائه شده است.

۳-۱. مدل سیستم

هدف این تحقیق ارزیابی کارایی نسبی ماشین‌های مجازی و پیشنهاد قیمت مناسب برای نمونه‌های ناکارا به فراهم کنندگان ابر است. هر نمونه ماشین مجازی دارای مشخصات خاصی است، مشخصات برخی از ماشین‌های مجازی در جدول (۱)، ارائه شده است. در این مقاله نمونه‌های ماشین مجازی به‌عنوان DMUها در نظر گرفته می‌شوند که پارامتر قیمت بعنوان ورودی و سایر پارامترها به‌عنوان خروجی در نظر گرفته می‌شوند. مدل مورد نظر این تحقیق در شکل (۱)، نشان داده شده است. در این مدل مجموعه‌ای از فراهم کنندگان ابر (CSPs) مانند Amazon، GoGrid، SoftLayer و ... نمونه‌های متنوع ماشین مجازی را ارائه می‌دهند که از نظر کارایی و قیمت با یکدیگر متفاوت هستند. اطلاعات مربوط به نمونه‌های ماشین مجازی در مخزن سرویس^۲ ذخیره می‌شود و کارگزار ابر^۳ براساس این اطلاعات نمونه‌های ماشین مجازی را به کاربران^۴ پیشنهاد می‌کند. در مدل پیشنهادی، تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها برای رتبه‌بندی انواع ماشین‌های مجازی بر اساس معیارهای کیفیت سرویس (کارایی پردازنده و ...) و قیمت ارائه شده است. در واقع DEA از یک طرف لیستی از نمونه‌های ماشین مجازی رتبه بندی شده را به کاربران پیشنهاد می‌دهد و از طرف دیگر برای ماشین‌های مجازی ناکارا، پیشنهاداتی را برای اصلاح قیمت یا سایر ویژگی‌های آنها به ارائه کنندگان ارائه می‌دهد. سرویس‌های ابری مجموعه‌ای از خدمات محاسباتی هستند که از طریق اینترنت ارائه می‌شوند و به کاربران امکان می‌دهند بدون نیاز به زیرساخت‌های فیزیکی، به منابع پردازشی، ذخیره‌سازی داده‌ها، نرم‌افزارها و سایر خدمات دسترسی داشته باشند. این فناوری به کسب‌وکارها و افراد کمک می‌کند تا هزینه‌های خود را

^۱ <http://blog.cloudharmony.com/2010/09/benchmarking-of-ec2s-newcluster.html>

^۲ Service repository

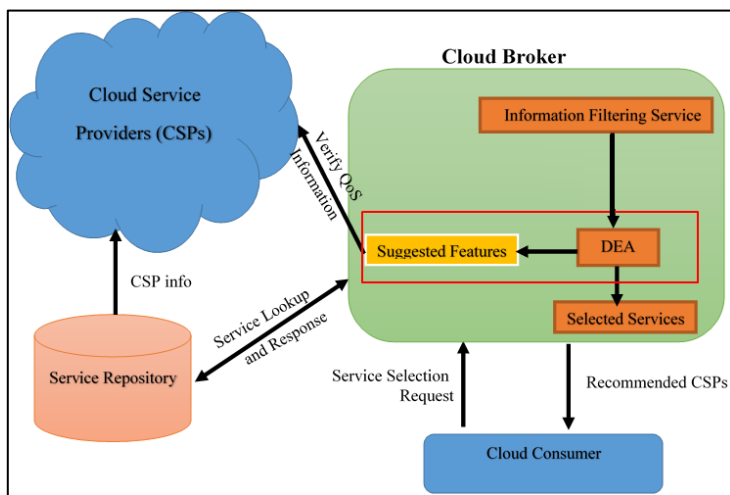
^۳ Cloud broker

^۴ Cloud consumer

کاهش دهند، بهره‌وری را افزایش دهند و به داده‌های خود از هر نقطه‌ای دسترسی داشته باشند. (ستاری و حبیبی ۱۴۰۳).

انواع سرویس‌های ابری:

۱. نرم‌افزار به‌عنوان سرویس^۱: کاربران می‌توانند بدون نیاز به نصب نرم‌افزار، از طریق اینترنت به برنامه‌های کاربردی دسترسی داشته باشند.
۲. پلتفرم به‌عنوان سرویس^۲: توسعه‌دهندگان می‌توانند از محیط‌های ابری برای ساخت، تست و اجرای نرم‌افزارها استفاده کنند.
۳. زیرساخت به‌عنوان سرویس^۳: سازمان‌ها می‌توانند منابع پردازشی مانند سرورها و ذخیره‌سازی را بدون نیاز به خرید سخت‌افزار مدیریت کنند.



شکل (۱): مدل سیستم (دوان^۴، ۲۰۱۶)

سنجش کارایی انواع ماشین‌های مجازی، به مشتریان ابر کمک می‌کند تا ماشین‌های مجازی مناسبی را با توجه به نیازمندی‌هایشان انتخاب کنند. همچنین انجام این پژوهش می‌تواند به فراهم کنندگان ابر

¹ Software as a Service

² Platform as a Service

³ Infrastructure as a Service

⁴ Duan, 2016

برای شناسایی انواع ماشین‌های مجازی که از نظر تناسب قیمت و کارایی مناسب نیستند کمک کند. فراهم کنندگان ابر می‌توانند انواع ماشین‌های مجازی ناکارا را با کاهش قیمت (دیدگاه ورودی محور)، جهت رسیدن به مرز کارایی اصلاح کنند تا رقابتی سالم در بین ارائه دهندگان سرویس‌های ابری ایجاد شود.

جدول (۱): مشخصات نمونه‌های ماشین مجازی

Providers	Services	Virtual Cores	Memory (In Gb)	Price/H(\$)	Cpu Performance	Disk I/O Consistency	Disk Performance	Memory Performance
C1	C1S1	۱	۱/۶	۴/۴	-/۹۲	۷۴	۲۷/۰۸	۶۴
	C1S2	۴	۷/۵	-/۱۷	۶۳/۴۴	۶۶	۵۶/۸۲	۹۱
	C1S3	۴	۱۵	-/۳۶	۵/۱۵	۶۶	۱۰۹	۹۱
	C1S4	۴	۱۵	-/۲۹	۱۲۶/۶۶	۹۳/۸۹	۱۱۰/۳۳	۱۰۴
	C1S۵	۸	۳۰	-/۵۹	۳۳۱/۷۷	۵۳/۲۸	۶۷/۲۲	۱۰۴
C2	C2S1	۲	۷/۵	-/۱۶	۶۵/۷۲	۱۱۴/۴۴	۹۷/۳۸	۱۴۴/۸۶
	C2S2	۴	۱۵	-/۴۲	۱۱۱/۹۵	۱۱۹/۶۳	۱۰۰/۵	۱۳۱/۸۱
C3	C3S1	۸	۳۰	-/۶۳	۲۴۴/۳۶	۷۷/۴۶	۷۳/۴۴	۱۲۵/۵۹
	C3S2	۲	۴	-/۱۲	۷۷/۴۹	۲۳/۴۳	۴۰/۲۳	۸۰/۶۷
	C3S3	۴	۱۵	-/۴۵	۱۵۲/۹۶	۲۹/۰۷	۴۲/۴۷	۹۰/۸۳
	C3S4	۸	۳۰	-/۹	۳۴۹/۷۲	۳۵/۳۵	۵۵/۰۷	۸۳/۹۲
C4	C4S1	۱	۲	-/۰۶	۴/۶۶	۶۲/۰۸	۵۶/۰۸	۷۸/۵۱
	C4S2	۲	۴	-/۱۲	۵/۴۵	۷۸/۵۶	۱۰۹/۲	۸۴/۲
	C4S3	۴	۸	-/۲۴	۵/۵۳	۷۳/۹۲	۱۱۰/۷۸	۷۶/۰۴
	C4S4	۸	۱۶	-/۴۲	۶/۱۹	۷۴/۵۳	۱۳۰/۸۴	۹۰/۳۷
	C4S۵	۱۶	۳۲	-/۹	۶/۸۲	۷۱/۴۵	۱۴۴/۷۹	۱۰۰/۸۷
C۵	C۵S1	۲	۳/۵	-/۱۲	۴۴/۵۳	۶۷/۸۷	۸۳/۷۳	۵۳/۲۷
	C۵S2	۴	۷	-/۲۴	۸۲/۲	۶۷/۹۷	۷۸/۴۹	۸۶۱
	C۵S3	۸	۱۴	-/۴۸	۱۴۰/۸۹	۹۶	۱۳۳	۷۰/۹۱
C6	C6S1	۲	۲	-/۱۲	۵۴/۹۶	۶۸/۴۱	۶۲/۴۶	۶۳/۰۴
	C6S2	۴	۴	-/۲۴	۴۱/۸۵	۷۰/۲۹	۶۳/۱	۶۳/۴۴
	C6S3	۸	۸	-/۴۸	۸۲/۸۴	۷۲/۵۶	۷۸/۱۲	۶۳/۴۸
	C6S4	۸	۱۴/۵	-/۹	۸۱/۲۱	۱۰۰/۱۵	۷۸/۶۶	۷۰/۰۹
C۷	C۷S1	۴	۲	-/۳۶	۵/۱۱	۴۱/۰۷	۷۲/۴۵	۹۵/۷۴
	C۷S2	۸	۱۶	-/۵	۵۸/۴۲	۳۱/۲۲	۶۸/۴۵	۷۸/۱۵
CA	CAS1	۴	۱۶	-/۵۶	۱۷/۳۴	۴۳/۰۲	۱۴۱/۲۳	۵۱/۷۱
	CAS2	۸	۶۴	۱/۶۵	۳۷/۰۵	۳۶/۱۵	۱۰۲/۷۴	۱۳۲/۸۷
	CAS3	۱۶	۱۲۸	۲/۵۲	۷۱/۱۱	۳۹/۶۶	۹۹/۱۵	۱۳۵/۸۸
C9	C9S1	۲	۴	-/۱۱	۲۳/۴۳	۸۹/۳۱	۱۷۳/۴۹	۸۹/۸۴
	C9S2	۴	۸	-/۲۱	۴۲/۰۵	۵۹/۶۳	۱۷۴/۵	۹۷/۱۶
	C9S3	۸	۱۶	-/۳۴	۷۵/۸۹	۶۴/۶۴	۱۷۴/۱۲	۱۰۰/۱۴
C۱۰	C۱۰S1	۱	۱	-/۰۶	۴/۴۲	۱۰۸/۱۹	۸۹/۱۲	۷۹/۷۲
	C۱۰S2	۲	۲	-/۱۲	۴/۸۷	۱۳۳/۶۱	۸۲/۰۱	۸۳/۷۴
	C۱۰S3	۴	۴	-/۲۴	۹/۲۸	۱۶۱/۱۴	۸۶/۱۵	۹۶/۱۲
	C۱۰S4	۸	۸	-/۴۸	۲۳/۲	۱۳۰/۶۸	۱۲۲/۶۲	۸۹/۷۴
C۱۱	C۱۱S1	۱	۱	-/۳۷۸	۵/۴۸	۳۴/۴۷	۸۹/۱۲	۸۴/۱۲
	C۱۱S2	۲	۲	-/۵۶	۵/۳۸	۴۷/۱۷	۸۴/۵۶	۸۱/۲۳
	C۱۱S3	۸	۸	-/۲۳۲	۵/۳۳	۹۵/۳۸	۷۸/۱۵	۸۲/۱۶
	C۱۱S4	۱۶	۱۶	-/۴۴۴	۶/۳	۱۰۶/۰۶	۸۲/۱۴	۷۸/۳۸

منبع: یافته‌های تحقیق

جدول (۲): معیارهای کیفیت سرویس ماشین‌های مجازی

شماره ویژگی	ویژگی کیفیت سرویس	توضیحات
۱	Virtual Cores	تعداد هسته‌های پردازنده
۲	Memory (In Gb)	اندازه حافظه اصلی
۳	Price/H	قیمت ماشین مجازی در هر ساعت
۴	Cpu Performance	تعداد کارهایی که یک کامپیوتر می‌تواند در یک بازه زمانی معین انجام دهد. (پردازش و تنظیم کلیه برنامه‌های کاربردی)
۵	Disk I/O Consistency	میانگین زمان لازم برای عملکرد I/O در دیسک (اندازه‌گیری در عملیات I/O)
۶	Disk Performance	تعداد عملیات انجام شده بر روی دیسک در مدت زمان معینی (اندازه‌گیری شده در عملیات I/O)
۷	Memory Performance	رابطه بین سرعت و تأخیر

منبع: یافته‌های تحقیق

۲-۳. بکارگیری مدل BCC

مدل BCC یک مدل برنامه‌ریزی غیر خطی است که برای خطی کردن آن دو شیوه ورودی محور (حداکثر کردن صورت و ثابت نگه داشتن مخرج کسر) یا خروجی محور (حداقل کردن مخرج و ثابت نگه داشتن صورت کسر) وجود دارد. مدل نسبت BCC برای ارزیابی کارایی واحد تحت بررسی (واحد) در رابطه (۱)، نشان داده شده است.

$$Max: \frac{\sum_{r=1}^S u_r y_{ro} + w}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}} \quad s.t. \quad \frac{\sum_{r=1}^S u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \leq 1, j = 1, 2, \dots, n \quad u_r \geq 0, v_i \geq 0 \quad (1)$$

• مدل پوششی BCC ورودی محور

هرگاه که ورودی‌ها حداقل سازی شوند تا خروجی در سطح کنونی‌اش ثابت بماند، مدل DEA ورودی‌گرا خواهد بود. رابطه (۲) تابع هدف و محدودیت‌های مدل BCC ورودی محور را نشان می‌دهد. در واقع تابع هدف بازدهی یک DMU را از طریق کاهش ورودی در حالی که مقدار خروجی در سطح ثابتی نگه داشته افزایش می‌دهد.

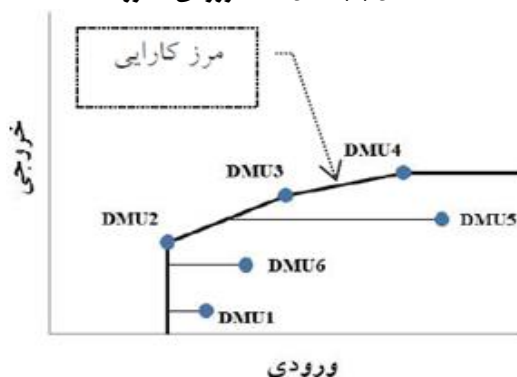
$$\theta^* = \min \theta \quad (2)$$

$$s.t. \quad \begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq \theta x_{io} & i=1, 2, 3, \dots, m; \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{ro} & r=1, 2, 3, \dots, S; \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 & \lambda_j \geq 0 \quad j=1, 2, 3, \dots, n \end{cases}$$

همانطور که قبلاً ذکر شده است DMU_0 یکی از n تعداد DMU تحت ارزیابی می‌باشد، در رابطه (۲)، X_{io} و y_{io} به ترتیب نشان‌دهنده i امین و r امین خروجی DMU_0 می‌باشند. نمره بازدهی DMU_0

توسط θ^* نشان داده می‌شود. اگر $\theta^* = 1$ باشد، آنگاه سطح ورودی کنونی را نمی‌توان کاهش داد که نشان‌دهنده آنست که DMU_0 روی مرز کارایی قرار دارد. در غیر اینصورت ($\theta^* < 1$)، DMU_0 ناکارآمد خواهد بود و جا برای افزایش بازدهی از طریق کاهش ورودی وجود خواهد داشت در حالی که مقدار سطح خروجی مقدار ثابتی در نظر گرفته می‌شود. همانطور که در شکل (۲)، نشان داده شده $DMU_{2,3,4}$ روی مرز کارایی قرار دارند و $DMU_{1,5,6}$ ناکارا هستند و در دیدگاه ورودی-محور می‌توان با کاهش ورودی آن‌ها را به مرز کارایی رساند.

شکل (۲): مدل BCC ورودی محور



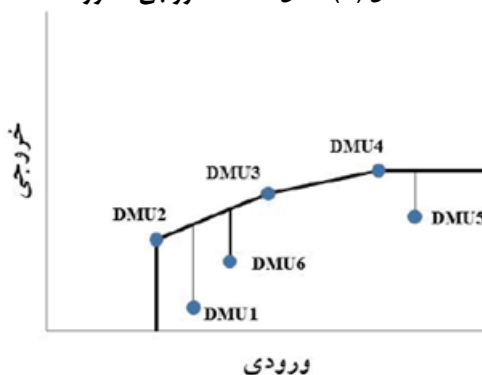
• مدل پوششی BCC خروجی محور

این مدل متعمم ورودی‌گرا است که در آن خروجی‌ها در حالی حداکثرسازی می‌شوند که سطح ورودی ثابت باقی بماند. تابع هدف مدل خروجی‌گرای BCC تحت محدودیت‌ها در رابطه (۳)، آورده شده است.

$$\begin{aligned} \theta^* &= \text{Max } \theta \\ \text{s.t. } \begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq x_{i0} & i=1,2,3,\dots,m; \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq x_{i0} & i=1,2,3,\dots,m; \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad \lambda_j \geq 0 & j=1,2,3,\dots,n \end{cases} \end{aligned} \quad (3)$$

در این مدل، نمادها دارای معنای رایج خود می‌باشند. اگر نمره بازدهی $\theta^* = 1$ باشد، آنگاه بدون تغییر ورودی جاری نمی‌توان سطح خروجی فعلی را افزایش داد و گفته می‌شود که DMU روی مرز کارایی قرار دارد. در غیر این صورت ($\theta^* < 1$)، DMU_0 ناکارآمد خواهد بود و امکان افزایش کارآمدی از طریق افزایش خروجی وجود خواهد داشت در حالی که مقدار ورودی ثابت بماند. همانطور که در شکل (۳)، نشان داده شده $DMU_{2,3,4}$ روی مرز کارایی قرار دارند و $DMU_{1,5,6}$ ناکارا هستند و در دیدگاه خروجی-محور می‌توان با افزایش خروجی آن‌ها را به مرز کارایی رساند.

شکل (۳): مدل BCC خروجی محور



۴. یافته‌ها

در این پژوهش برای پیاده سازی مدل BCC از نرم افزار متلب نسخه R2019a استفاده شده است. همانطور که پیشتر ذکر شد، هدف این تحقیق ارزیابی عملکرد ماشین‌های مجازی است بنابراین ماشین‌های مجازی به عنوان DMU در نظر گرفته شده اند. مجموعه داده مورد آزمایش شامل ۳۹ ماشین مجازی است که مشخصات آن‌ها در جدول (۱)، نشان داده شده است. هر ماشین مجازی دارای ۷ ویژگی می‌باشد که پارامتر قیمت (Price/H) به‌عنوان ورودی و سایر ویژگی‌ها به‌عنوان خروجی DMUها در نظر گرفته شده اند. برای محاسبه کارایی و رتبه‌بندی DMUها دو رویکرد BCC (ورودی محور-IO) و BCC (خروجی محور-OO) و همچنین CCR پایه پیاده‌سازی شده که نتایج آن در جدول (۳)، نمایش داده شده است.

جدول (۳): نتایج محاسبه کارایی ماشین‌های مجازی بر اساس مدل‌های مختلف تحلیل پوششی داده‌ها

Providers	Services	CCR	BCC-IO	BCC-OO
۱C	۱S۱C	۰/۰۱۲۶	۰/۰۱۳۲	۰/۵۳۴۴
	۲S۱C	۱	۱	۱
	۳S۱C	۰/۸۰۵۶	۰/۸۰۵۶	۰/۸۳۷۳
	۴S۱C	۱	۱	۱
	۵S۱C	۰/۹۸۳۱	۱	۱
۲C	۱S۲C	۱	۱	۱
	۲S۲C	۰/۷۰۴۵	۱	۱
۳C	۱S۳C	۰/۹۲۰۶	۱	۱
	۲S۳C	۱	۱	۱
	۳S۳C	۰/۷۰۱۵	۰/۷۷۶۶	۰/۸۲۵۳
	۴S۳C	۰/۶۴۴۴	۱	۱

۴C	۱S۴C	۰/۹۹۵	۱	۱
	۲S۴C	۰/۸۲۰۸	۰/۸۲۴۱	۰/۸۵۱۲
	۳S۴C	۰/۷۲۶۸	۰/۷۳۶	۰/۷۸۲
	۴S۴C	۰/۸۱۲۱	۰/۸۱۹۲	۰/۸۹۸۵
	۵S۴C	۰/۷۵۵۶	۱	۱
۵C	۱S۵C	۰/۸۸۰۷	۰/۹۱۲	۰/۹۳۱۹
	۲S۵C	۰/۷۵۷۳	۰/۸۵۹۸	۰/۸۹۲۴
	۳S۵C	۰/۷۱۸۳	۱	۱
۶C	۱S۶C	۰/۹۴۵۳	۰/۹۹۳۵	۰/۹۹۴۹
	۲S۶C	۰/۵۸۱۶	۰/۶۲۷۹	۰/۷۰۲۶
	۳S۶C	۰/۵۸	۰/۶۸۳۷	۰/۷۵۵۸
	۴S۶C	۰/۳۵۷۹	۰/۳۷۶	۰/۸۸۵۱
۷C	۱S۷C	۰/۳۰۹۶	۰/۳۳۷	۰/۷۱۵۵
	۲S۷C	۰/۳۲۳۸	۰/۳۲۳۸	۰/۶۵۴۹
۸C	۱S۸C	۰/۵۶۱۹	۰/۵۷۹۳	۰/۸۲۲۱
	۲S۸C	۰/۷۴۹۹	۰/۷۶۶۳	۰/۹۷۴۳
	۳S۸C	۰/۹۸۲	۱	۱
۹C	۱S۹C	۱	۱	۱
	C9S2	۰/۸۶۹۲	۱	۱
	۳S۹C	۱	۱	۱
۱۰C	۱S۱۰C	۱	۱	۱
	۲S۱۰C	۰/۷۳۹۱	۱	۱
	۳S۱۰C	۰/۵۷۱۹	۱	۱
	۴S۱۰C	۰/۴۶۹۸	۱	۱
۱۱C	۱S۱۱C	۰/۲۱۲	۰/۲۲۵	۰/۶۷۴۸
	۲S۱۱C	۱	۱	۱
	۳S۱۱C	۱	۱	۱
	۴S۱۱C	۱	۱	۱

منبع: یافته‌های تحقیق

ماشین‌های مجازی (DMU هایی) که مقدار کارایی بدست آمده برای آنها برابر ۱ است، به عنوان DMU های کارا شناخته می‌شوند و DMU هایی که مقدار کارایی آنها کوچکتر از ۱ است، ناکارا می‌باشند.

۴-۱. میزان همبستگی رتبه‌بندی‌های مدل BCC نسبت به مدل پایه CCR

در مباحث آماری، ضریب همبستگی پیرسون^۱ یا ضریب همبستگی حاصل ضرب-گشتاور پیرسون میزان

^۱ Correlation Coefficient

همبستگی خطی بین دو متغیر تصادفی را می‌سنجد. مقدار این ضریب بین ۱- تا ۱ تغییر می‌کند که «۱» به معنای همبستگی مثبت کامل، «۰» به معنی نبود همبستگی، و «۱-» به معنی همبستگی منفی کامل است. در این تحقیق، برای بررسی میزان همبستگی اندازه کارایی‌های به‌دست آمده از ضریب همبستگی پیرسون نشان داده شده در رابطه ۴ استفاده شده است.

$$r = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{[n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2][n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2]}} \quad (4)$$

ضرایب همبستگی رویکردهای ورودی‌محور و خروجی‌محور مدل BCC با مدل متعارف CCR محاسبه شده و نتایج به‌دست آمده، در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول (۴): ضرایب همبستگی رویکردهای ورودی‌محور و خروجی‌محور مدل BCC با مدل متعارف CCR

مدل	BCC-IO	BCC-OO
مقدار ضریب همبستگی	۰/۸۶۳۱	۰/۷۸۷۵

منبع: یافته‌های تحقیق

هر چه مقدار این شاخص بزرگتر باشد، نشان‌دهنده ارتباط یا وابستگی بیشتر بین دو متغیر است. با توجه به بالا بودن این میزان همبستگی می‌توان نتیجه گرفت که بین اندازه کارایی‌های به‌دست آمده از رویکرد ورودی‌محور مدل BCC و رویکرد متعارف مدل CCR، همبستگی زیادی وجود دارد.

۴-۲. پیشنهاد برای اصلاح قیمت نمونه‌های ماشین مجازی ناکارا

همان‌طور که پیشتر ذکر گردید، در این تحقیق برای سنجش کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده، از مدل‌های ورودی‌محور و خروجی‌محور BCC استفاده شده است. بعد از اجرای مدل و مشخص شدن DMU کارا و ناکارا، پیشنهاد برای بهبود کارایی DMUهای ناکارا ارائه می‌گردد. DMUهای ناکارا آنهایی هستند که میزان کارایی آنها کمتر از ۱ است. برای بهبود کارایی این DMUها می‌بایست تغییراتی در اندازه ورودی‌ها یا خروجی‌های آنها داده شود. در مدل BCC ورودی - محور (IO-BCC)، راهکار بهبود کارایی یک واحد ناکارا عبارتست از کاهش ورودی‌های آن واحد (بدون تغییر در اندازه خروجی‌ها). از آنجا که در این تحقیق تنها ورودی DMUها قیمت ماشین مجازی است، با بکارگیری مدل BCC ورودی - محور می‌توان ماشین‌های مجازی ناکارا را با کاهش قیمت به مرز کارایی برسانیم. در واقع با بکارگیری تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها پیشنهاداتی به فراهم کنندگان ابر داده می‌شود تا با اصلاح قیمت ماشین‌های مجازی بتوانند در شرایط رقابتی بازار کنونی منابع بیشتری را به فروش برسانند.

در جدول ۵، به عنوان نمونه پیشنهاد برای اصلاح قیمت چند DUM ناکارا با رویکرد BCC ورودی محور (یعنی کاهش قیمت بدون تغییر در کارایی سرویس‌های ابر) ارائه گردیده است.

جدول (۵): نتیجه اصلاح قیمت نمونه‌های ماشین مجازی بر اساس رویکرد ورودی محور مدل BCC

DMU #	Price/H(\$)	New price/H (\$)	EFF	New EFF
۳	۰/۳۶	۰/۰۵۹۱	۰/۸۳۷۴	۱
۱۰	۰/۴۵	۰/۰۹۸	۰/۸۲۵۳	۱
۲۷	۱/۶۵	۰/۶۲۳۶	۰/۹۷۴۳	۱

منبع: یافته‌های تحقیق

۵. نتیجه گیری و پیشنهادات

در حال حاضر از نظر اقتصادی، وضعیت بلوغ سرویس‌های زیرساخت ابری در سطحی است که تنوع و انعطاف پذیری بسیاری بالایی در ارائه نمونه‌های محاسباتی مشاهده می‌شود. سرویس دهندگان طیف گسترده‌ای از مدل‌های قیمت گذاری و ارائه سرویس را بصورت پویا ارائه می‌کنند تا مشتریان بتوانند بر حسب نیاز و شرایط خود از آنها استفاده کنند و با ارائه منابع بیشتر به کاربران سود خود را افزایش دهند. از طرف دیگر تنوع ابرها و سرویس‌های ارائه شده توسط آنها باعث ایجاد یک فضای رقابتی خواهد شد. زیرا کاربران بدنال بدست آوردن سرویس‌هایی با قیمت ارزانتر هستند که بتواند نیازمندی‌های آنها را برآورده کند. در این مقاله از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی عملکرد سرویس‌ها استفاده شده است. مدل‌های متعارف تحلیل پوششی داده‌ها برای سنجش و ارزیابی کارایی واحد تحت بررسی، از دو رویکرد مجزا استفاده می‌کنند: کاهش اندازه ورودی‌ها بدون تغییر در اندازه خروجی‌ها و (رویکرد ورودی محور) و افزایش اندازه خروجی‌ها بدون تغییر در اندازه ورودی‌ها (رویکرد خروجی محور). در این مقاله، دو رویکرد ورودی-محور و خروجی-محور مدل BCC برای رتبه بندی ماشین‌های مجازی بکار گرفته شده است. برای اصلاح قیمت نمونه‌های ماشین مجازی از مدل ورودی محور BCC استفاده شده است. نتایج نشان داد که باید موارد زیر را برای اصلاح قیمت در نظر گرفت:

تحلیل هزینه‌ها: بررسی دقیق هزینه‌های ارائه خدمات، از جمله نیروی کار، زیرساخت‌ها و هزینه‌های عملیاتی، برای شناسایی نقاط ضعف و کاهش هزینه‌های غیرضروری.

ارزیابی ارزش خدمات: تعیین میزان ارزشی که مشتریان از سرویس دریافت می‌کنند و تنظیم قیمت‌ها بر اساس این ارزش.

بررسی رقا: تحلیل قیمت‌گذاری رقا و مقایسه با خدمات ارائه‌شده برای تنظیم قیمت‌های رقابتی و جذاب.

بهبود کیفیت خدمات: افزایش کیفیت سرویس‌ها برای توجیه قیمت‌های بالاتر و افزایش رضایت مشتریان.

استفاده از مدل‌های قیمت‌گذاری هوشمند: بهره‌گیری از روش‌هایی مانند قیمت‌گذاری مبتنی بر ارزش، قیمت‌گذاری بسته‌ای، و قیمت‌گذاری روانی برای افزایش سودآوری بدون کاهش مشتریان همچنین با بکارگیری تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی نمونه‌های ماشین مجازی نتایج زیر حاصل شده است:

- از آنجاکه نتایج اجرای مدل‌های CCR, BCC مشابه نبود بنابراین قیمت‌گذاری ماشین‌های مجازی بازده به مقیاس متغیر است.
- بین اندازه کارایی‌های به‌دست آمده از رویکرد ورودی‌محور BCC و رویکرد متعارف مدل CCR, همبستگی بالاتری نسبت به رویکرد خروجی‌محور BCC وجود دارد.
- با رتبه بندی انجام شده توسط این پژوهش، مشتریان ابر می‌توانند انواع ماشین‌های مجازی مورد نیاز خود را به راحتی انتخاب کنند.
- سرویس دهندگان ابر می‌توانند قیمت نمونه‌های ماشین مجازی که روی مرز کارایی قرار ندارند را (در دیدگاه ورودی محور) کاهش دهند تا مشتریان بیشتری را برای استفاده از سرویس‌های خود جذب نمایند.

نتایج اقتصادی مهم سرویس‌های ابری:

- کاهش هزینه‌های زیرساختی: سازمان‌ها به جای سرمایه‌گذاری سنگین در خرید و نگهداری سخت‌افزار، می‌توانند از منابع ابری استفاده کنند و هزینه‌های عملیاتی را کاهش دهند.
- افزایش بهره‌وری: با استفاده از سرویس‌های ابری، شرکت‌ها می‌توانند سریع‌تر به داده‌ها و نرم‌افزارهای مورد نیاز دسترسی داشته باشند و فرآیندهای کاری را بهینه کنند.
- انعطاف‌پذیری و مقیاس‌پذیری: امکان افزایش یا کاهش منابع پردازشی بر اساس نیازهای کسب‌وکار، بدون نیاز به سرمایه‌گذاری اضافی.
- کاهش هزینه‌های نیروی انسانی: با استفاده از خدمات ابری، نیاز به تیم‌های فناوری اطلاعات داخلی کاهش می‌یابد و هزینه‌های مربوط به مدیریت زیرساخت‌ها کمتر می‌شود.
- افزایش چابکی سازمانی: شرکت‌هایی که از رایانش ابری استفاده می‌کنند، می‌توانند سریع‌تر به تغییرات بازار واکنش نشان دهند و خدمات جدیدی ارائه دهند.
- در نهایت می‌توان گفت که این فناوری به سازمان‌ها کمک می‌کند تا هزینه‌های خود را بهینه کنند و ارزش بیشتری از منابع فناوری اطلاعات خود به دست آورند.

۶. تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافع توسط نویسنده بیان نشده است.

References

- Ahmed, U., Al-Saidi, A., Petri, I. and Rana, Q. (2021) QoS-aware trust establishment for cloud federation. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 34(3), e6598. Retrieved from <http://doi.org/10.1002/cpe.6598/>
- Banker, R. D., A. Charnes, W. and Cooper, W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science*, 30(9), 1031-1142. Retrieved from <http://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078/>
- Charnes, A, and Cooper, W. (1978). Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8/](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8/)
- Duan, Q. (2016). Cloud service performance evaluation: status, challenges, and opportunities – a survey from the system modeling perspective. *Digital Communications and Networks*, 3(2), 101-111. Retrieved from <http://doi.org/10.1016/j.dcan.2016.12.002/>
- Fargzadeh, N. (2021). Investigation of performance Isolation application in basic cloud services. *Arman Process Journal*, 2(1), 9-17. (In Persian)
- Garg, S.K., Versteeg, S. and Buyya, R. (2013). A framework for ranking of cloud computing services, *Future Generation Computer Systems*, 29(4), 1012-1023. Retrieved from <http://doi.org/10.1016/j.future.2012.06.006/>
- Ghasemzadeh Dehabadi, A. (2024). Investigating the impact of using the Internet of Things and cloud computing on the productivity and management of land resources. *Journal of New Achievements in Electrical, Computer and Technology*, 4(11), 34-47. (In Persian)
- Hosseinneshad Gregar, M., Abdollahi Azgomi, M. and Ebrahimi Dishabi, M.R. (2023). A trust evaluation model for cloud computing using Bayesian network: Scientific of electronic and cyber defense, 10(4), 53-61. Retrieved from <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23224347.1401.10.4.6.6/> (In Persian)
- Li, W., Cao, J., Zhao, H., Guo, C., Luo, F. and Tang, W. (2023). Multi-cloud service provision based on decision tree and two-layer Restricted Monte Carlo Tree Search: *Internet of Things*, 22(7), 100751. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100751/>
- Li, A., Kandula, X. and Zhang, M. (2010). Cloudcmp: comparing public cloud providers: In: *Proceedings of the 10th ACM SIGCOMM, conference on internet measurement*, ACM, 1-14. Retrieved from <https://doi.org/10.1145/1879141.1879143/>
- Lugo, J., Arevalo, L., Compean, L., Garcia, C. and Carretero, J. (2025). An avatar cloud service-based method for supervising and interacting with

- containerized applications. Expert Systems with Applications, 269(9), 126447. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2025.126447/>
- Sattari, S. and Habibi, F. (2024). A review of the philosophy of cloud computing: The 6th international conference on science engineering and the role of technology in new businesses. (In Persian)
 - Sivakami, R. and Ramaiah, S. (2016). CCDEA Consumer and Cloud-DEA Based Trust Assessment Model for the Adoption of Cloud Services. Cybernetics and Information Technologies, 16(3), 52-69. Retrieved from <https://doi.org/10.1515/cait-2016-0034/>
 - Thomas, M. and Chandrasekaran, K. (2017). Dynamic partner selection in Cloud Federation for ensuring the quality of service for cloud consumers. International Journal of Modeling Simulation and Scientific Computing, 8(3). Retrieved from <http://doi.org/10.1142/s1793962317500362/>
 - Vimercati, S., Foresti, S., Piuri, V. and Samarati, P. (2019). A fuzzy-based brokering service for cloud plan selection, IEEE Systems Journal, 13 (4) 4101–4109. Retrieved from <http://doi.org/10.1109/JSYST.2019.2893212/>