E-ISSN: 2676-6159 | P-ISSN: 2538-5079

Journal of Decisions and Operations Research

www.journal-dmor.ir

J. Decis. Oper. Res. Vol. 6, Spec. Issue. (2022) 1–23.

Paper Type: Original Article

Calculate of Cost and Revenue Efficiency in Projects with Controllable and Uncontrollable Indicators in DEA and DEA-R: a (Case Study of Shiraz Road Construction Projects)

Ehsan Jamasb Ghalati [1,*] , Mohammad Reza Mozaffari [2], Kazem Etemad [3]

[1] *Department of Industrial Engineering, Zand University of Shiraz, Shiraz, Iran; ehsan.j1397@gmail.com.*

[2] *Department of Mathematical, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran; mozaffari854@yahoo.com.*

[3] *Department of Industrial Engineering, Zand Non-Profit University of Shiraz, Shiraz, Iran; etemad2007@gmail.com.*

Citation:

Jamasb Ghalati, E., Mozaffari, M. R., & Etemad, K. (2022). Calculate of cost and revenue efficiency in projects with controllable and uncontrollable indicators in DEA and DEA-R: a (case study of Shiraz road construction projects). *Journal of decisions and operations research,* 6 (Spec. Issue), 1-23.

Received: 21/03/2021 Reviewed: 22/04/2021 Revised: 13/09/2021 Accepted: 19/10/2021

Abstract

Purpose: This study was carried out to propose cost and revenue models for evaluating road and urban construction and development projects in Shiraz (Iran) using Data Envelopment Analysis (DEA) and DEA based ratio data, (DEA-R) techniques. Today, we are encountering controllable and uncontrollable data in some projects. In this research, cost and revenue efficiency models were proposed considering controllable and uncontrollable indicators.

Methodology: In this research, cost and revenue efficiency model with controllable and uncontrollable indicators in DEA and DEA-R is presented, also by measuring cost and revenue efficiency with controllable and uncontrollable indicators to compare the results between these two models Been paid.

Findings: By comparing the results between cost and revenue efficiency models with controllable and uncontrollable indicators in DEA and DEA-R, it was concluded that it is not possible to make a logical comparison between them. But the proposed models can be important in order to use the input to output ratios. In some decision-making units, similar behavior may be present in DEA and DEA-R, but it is not a criterion for general comparison.

Originality/Value: In this paper, a model for measuring cost and revenue efficiency with controllable and uncontrollable indicators was presented, which can be an introduction to provide more models for measuring cost and revenue efficiency under real conditions.

Keywords: DEA, DEA-R, Cost efficiency, Revenue efficiency, Project.

Corresponding Author: ehsan.j1397@gmail.com http://dx.doi.org/10.22105/dmor.2021.296381.1451

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).

Journal of Decisions and Operations Research

تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات

دوره ۶، شماره ویژه، (۱۴۰۰)، ۲۳-۱

www.journal-dmor.ir

نوع مقاله: پژوهشی

محاسبه کارایی هزینه و درآمد پروژه‌ها با شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل در DEA و DEA-R

(مطالعه موردی: پروژه‌های راه‌سازی شهر شیراز)

احسان جاماسب قلاتی[۱*]، محمدرضا مظفری[۲]، کاظم اعتماد[۳]

[۱]گروه مهندسی صنایع، دانشگاه زند شیراز، شیراز، ایران.

[۲]گروه ریاضی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران.

[۳]گروه مهندسی صنایع، موسسه آموزش عالی زند شیراز، شیراز، ایران.

چکیده

هدف: در این مقاله مدل‌های هزینه و درآمد برای ارزیابی پروژه‌های عمرانی راه و شهرسازی شهر شیراز با استفاده از تکنیک‌های *DEA* و *DEA-R* پیشنهاد می‌شود. امروزه در برخی از پروژه‌ها با داده‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل مواجه هستیم که در این مقاله مدل‌های کارایی هزینه و درآمد با شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل پیشنهادشده است.

روش‌شناسی پژوهش: در این پژوهش مدل کارایی هزینه و درآمد با شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل در *DEA* و *DEA-R* ارائه‌شده است، همچنین با سنجش کارایی هزینه و درآمد با شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل به مقایسه نتایج بین این دو مدل پرداخته‌شده است.

یافته‌ها: با مقایسه نتایج میان مدل‌های کارایی هزینه و درآمد با شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل در *DEA* و *DEA-R* این نتیجه حاصل شد که امکان مقایسه منطقی بین آن‌ها وجود ندارد، اما مدل‌های پیشنهادی به‌منظور این‌که از نسبت‌های ورودی به خروجی استفاده می‌کنند می‌توانند حائز اهمیت باشد. در برخی از واحدهای تصمیم‌گیرنده ممکن است، رفتار مشابه ای در *DEA* و *DEA-R* وجود داشته باشد اما ملاکی برای مقایسه کلی نمی‌باشد.

اصالت/ارزش افزوده علمی: در این مقاله مدلی جهت سنجش کارایی هزینه و درآمد با شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل ارائه شد که می‌تواند مقدمه‌ای برای ارائه مدل‌های بیشتر برای سنجش کارایی هزینه و درآمد تحت شرایط واقعی باشد.

کلیدواژه‌ها: *DEA*، *DEA-R*، کارایی هزینه، کارایی درآمد، پروژه.

۱- مقدمه

مدیریت علمی، در سازمان‌های پروژه محور کشور ما هنوز با نقاط مطلوب فاصله‌ای قابل‌توجه دارد. در شرایطی که استفاده بهینه از منابع جهت دستیابی به اهداف و دوام در عرصه اصلی رقابت اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد، تلاش در سازمان‌ها دراین‌ارتباط به نحوه ضعیفی سازمان‌دهی شده و بر مبنای شواهد علمی و تحقیقی استوار نمی‌باشد.

* نویسنده مسئول

ehsan.j1397@gmail.com

http://dx.doi.org/10.22105/dmor.2021.296381.1451

نقش ارزیابی عملکرد به‌عنوان یکی از وظایف مدیریت امری بدیهی و غیرقابل‌انکار است. جهانی‌شدن فعالیت‌های اقتصادی در آغاز هزاره سوم میلادی و پیامدهای بعدی آن، جدی‌تر شدن این وظیفه را بارز می‌نماید. کارایی[1] یکی از شاخص‌های کلیدی ارزیابی عملکرد است که درنتیجه ارزیابی مستمر واحدها قابل‌سنجش خواهد بود.

یکی از مهم‌ترین موضوعات که باید در مدیریت هر سازمانی موردتوجه جدی قرار گیرد و با شناخت مؤلفه‌های آن تحت کنترل و هدایت درآید، کارایی است. کارایی یعنی میزان ستاده‌هایی که در قبال داده‌هایی مشخص به دست می‌آوریم.

بررسی نتایج ارزیابی عملکرد و کارایی پروژه‌های[2] سازمان‌های پروژه محور توسط روشی مشخص، یک فرآیند مهم و راهبردی تلقی می‌شود. همچنین جهت تشویق نیروی کار پروژه‌ها، انتخاب روشی که پروژه‌ها را نسبت به یکدیگر موردسنجش قرار دهد، می‌تواند این نیازمندی را پوشش دهد؛ زیرا ارزیابی نسبی پروژه‌ها و مقایسه آن‌ها می‌تواند منجر به انگیزش بیشتر مدیران و تیم پروژه گردد و محیط شرکت‌ها و سازمان‌ها را رقابتی و پویاتر می‌نماید.

تحلیل پوششی داده‌ها روشی مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی است که برای ارزیابی کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیرنده که وظایف یکسانی انجام می‌دهند، به کار می‌رود و چون هدف آن بهینه‌سازی می‌باشد، نسبت به دیگر روش‌های تحلیل کارایی، برتری دارد. این روش برای سنجش کارایی واحدهایی با ورودی‌ها و خروجی‌های چندگانه استفاده می‌گردد و با مجموعه ورودی‌ها و خروجی‌های هر واحد تصمیم‌گیری، یک مقیاس عملکردی جامع ایجاد می‌نماید. این تکنیک ضمن شناسایی واحدهای کارا، الگوهایی را به‌عنوان گروه مرجع برای واحدهای ناکارا معرفی می‌نماید. لذا می‌توان برای ارزیابی کارایی پروژه‌های یک سازمان از این تکنیک استفاده نمود.

هدف از انجام این تحقیق ارائه مدلی برای سنجش کارایی هزینه و درآمد با شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل در *DEA* و *DEA-R* و مقایسه نتایج این دو می‌باشد. با توجه به این‌که در دنیای واقعی ممکن است شرایط خاص و ویژه‌ای بر پروژه‌ها حکم‌فرما باشد به ارائه مدلی برای سنجش کارایی هزینه و درآمد پروژه‌ها تحت شرایط واقعی پرداختیم که کارایی هزینه و درآمد را با شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل می‌سنجد.

تحقیق حاضر با توجه به هدف، تحقیقی کاربردی محسوب می‌شود و در رابطه میزان کنترل متغیرها از نوع توصیفی است. همچنین ازنظر نوع داده‌های مورداستفاده، تحقیق کمی محسوب می‌شود و به دلیل استفاده از اطلاعات مقالات، کتاب‌ها، پایان‌نامه‌ها، سایت‌ها و... از نوع کتابخانه‌ای و به دلیل مصاحبه با کارشناسان و جمع‌آوری اطلاعات به‌صورت حضوری از نوع میدانی محسوب می‌شود.

همچنین این تحقیق ازنظر قلمرو موضوعی دربرگیرنده محاسبه کارایی هزینه و درآمد پروژه‌های راه‌سازی با شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل به کمک تحلیل پوششی داده‌های کلاسیک و کسری می‌باشد. قلمرو زمانی بین سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۸۳ می‌باشد و قلمرو مکانی شامل ۳۰ پروژه راه‌سازی شهر شیراز می‌باشد.

۱-۱- ادبیات تحقیق

در عصر کنونی، تحولات شگرف دانش مدیریت وجود نظام ارزیابی را اجتناب‌ناپذیر نموده است. به‌گونه‌ای که فقدان ارزیابی در ابعاد مختلف سازمان اعم از ارزیابی استفاده از منابع و امکانات، کارکنان، اهداف و استراتژی‌ها به‌عنوان یکی از علائم بیماری‌های سازمان قلمداد می‌شود. هر سازمان به‌منظور آگاهی از میزان مطلوبیت و کیفیت فعالیت‌های خود به‌خصوص در محیط‌های پیچیده و پویا، نیاز مبرم به‌نظام ارزیابی دارد. از سوی دیگر فقدان وجود نظام ارزیابی و کنترل در یک سیستم به مبنای عدم برقراری ارتباط با محیط درون و برون‌سازمانی تلقی می‌گردد که پیامد آن کهولت و نهایتاً مرگ سازمان است. ممکن است بروز پدیده مرگ سازمانی به علت عدم وقوع یک‌باره آن از سوی مدیران عالی سازمان‌ها احساس نشود؛ لیکن، فقدان نظام کسب بازخورد امکان انجام عملیات لازم برای رشد، توسعه و بهبود فعالیت‌های سازمان را غیرممکن می‌نماید. سرانجام این پدیده مرگ سازمانی است.

[1] Efficiency

[2] Project

کارایی یکی از شاخص‌های کلیدی ارزیابی عملکرد است، درنتیجه با سنجش مداوم کارایی امکان ارزیابی مستمر واحدها وجود دارد. کارایی نشان می‌دهد که یک سازمان چه طور از منابع خود در راستای تولید نسبت به بهترین عملکرد، در مقطعی از زمان استفاده کرده است (ژو و همکاران[1]، ۲۰۱۶). یکی از معمول‌ترین مقیاس‌هایی که برای اندازه‌گیری کارایی استفاده می‌شود، نسبت خروجی به ورودی است (کوپر و همکاران[2]، ۲۰۰۶). در **معادله (۱)**، فرمول کارایی آورده شده است.

کارایی = مجموع ستانده‌ها/مجموع نهاده‌ها **(۱)**

کارایی هر واحد حاصل مقایسه شاخص‌های آن واحد با استانداردها می‌باشد. ازآنجایی‌که استاندارد شاخص‌ها می‌تواند از بیرون یا داخل جامعه باشد، کارایی مطلق و کارایی نسبی تعریف می‌شود. کارایی مطلق یعنی مقایسه شاخص‌ها با استانداردهای خارجی و کارایی نسبی یعنی مقایسه شاخص‌ها با استانداردهای داخلی که در این روش حداقل یک الگوی حقیقی برای کارا شدن وجود دارد.

به‌طورکلی، دو روش عمده برای اندازه‌گیری کارایی وجود دارد: روش پارامتریک و روش نا پارامتریک (امامی میبدی[3]، ۲۰۰۵). روش‌های پارامتری به روش‌هایی اطلاق می‌گردد که با استفاده از روش‌های مختلف آماری و اقتصادسنجی، تابع تولید مشخصی تخمین زده می‌شود سپس با به‌کارگیری این تابع، نسبت به تعیین کارایی اقدام می‌گردد. منظور از تابع تولید[4]، رابطه موجود میان منابع تولید مورداستفاده یک موسسه تولیدی (ورودی‌ها) از یک‌سو و کالاها و خدمات به‌دست‌آمده (خروجی‌ها) از سویی دیگر در یک واحد زمانی و بدون در نظر گرفتن قیمت تمام‌شده آن، می‌باشد. از مهم‌ترین روش‌های پارامتری می‌توان به روش تولید تابع مرزی قطعی[5]، روش تولید تابع مرزی قطعی آماری[6] و روش تولید تابع مرزی تصادفی[7] اشاره کرد (گیلک حکیم‌آبادی و همکاران[8]، ۲۰۰۶).

روش غیر پارامتری که فارل[9] برای اولین بار به‌منظور تخمین کارایی مطرح نمود، شکل مشخصی را برای تابع تولید در نظر نمی‌گیرد و مستقیماً با داده‌های مشاهده‌شده سروکار دارد. در *DEA* با استفاده از مجموعه‌ای از مشاهدات یک تابع تولید از روی‌داده‌های مشاهده‌شده ساخته می‌شود .این روش یک تابع مرزی به دست می‌دهد که تمام داده‌ها را شامل می‌شود، به همین دلیل آن را تحلیل پوششی داده می‌نامند از طرف دیگر، چون روش *DEA* مبتنی بر مجموعه‌ای از مسائل بهینه‌سازی است، در این مسائل هیچ‌گونه پارامتری جهت تخمین وجود ندارد، لذا این روش یک روش نا پارامتریک است (ولی زاده پلنگ سرائی[10]، ۲۰۲۰).

شالوده روش نا پارامتری برای اندازه‌گیری کارایی، با انتشار مقاله‌ای از فارل در سال ۱۹۵۷ بنیان نهاده شد. وی با یک رهیافت ریاضی روش جدیدی را برای اندازه‌گیری کارایی در مقابل روش‌های پارامتری معرفی نمود. موردی که وی برای اندازه‌گیری کارایی مدنظر قرارداد شامل یک ورودی و یک خروجی بود (ساکسیدهاران و سیوارامن[11]، ۲۰۱۸).

چارنز، کوپر و رودز[12] دیدگاه فارل را توسعه دادند و الگویی را ارائه کردند که توانایی اندازه‌گیری کارایی با چندین ورودی و خروجی را داشت. این الگو تحت عنوان تحلیل پوششی داده‌ها نام گرفت و اولین بار در رساله دکترای رودز[13] و به راهنمایی کوپر تحت عنوان ارزیابی پیشرفت تحصیلی دانش آموزان مدارس ملی آمریکا در سال ۱۹۷۶ در دانشگاه کارنگی[14] مورداستفاده قرار گرفت. ازآنجایی‌که مدل توسط چارنز، کوپر و رودز[15] ارائه گردید به مدل *CCR* که از حروف اول نام سه فرد فوق تشکیل‌شده است معروف گردید (تورس ساموئل و همکاران[16]، ۲۰۲۰).

---

[1] Zha
[2] Cooper et al.
[4] Emami Meybodi
[5] Production Function
[6] Determinstic Frontier Ananlysis
Statistical Deterministic Frontier
[7] Production Function Models
Stochastic Frontier Production
[8] Function Models
[9] Gilak Hakim Abadi et al.
[10] Farrel
[11] Vali Zadeh Palang Saraei
[12] Sakthidharan and Sivaraman
[13] Charnes-Cooper -Rhodes
[14] Charnes
[15] Carnegie Mellon University
[16] Charnes-Cooper -Rhodes
[17] Torres-Samuel et al.

سپس در سال ۱۹۸۴ بنکر، چارنز و کوپر[1] هم مقاله‌ای منتشر کردند که در آن مدلی به نام *BCC* که مخفف نام ایشان است مطرح گردید. در این مدل بحث بازده به مقیاس نیز به مدل *CCR*اضافه شد (تلس و همکاران[2]، ۲۰۲۰).

مدل‌های *DEA* به‌طورکلی هم می‌توانند اندازه کارایی را برای هر یک از *DMU*[3] های مورد ارزیابی، ارائه دهند و هم می‌توانند اطلاعات مفیدی در خصوص *DMU* های ناکارآمد، بر اساس اهداف و عوامل مورداستفاده در اندازه‌گیری کارایی فراهم آورد (کایدپور و همکاران[4]، ۲۰۲۰). دیسپیک و همکاران[5] (۲۰۰۷) با تلفیق تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل کسری مدل‌های *DEA-R* را پیشنهاد دادند و در ادامه در مدل‌های پیشنهادی رابطه بین کارایی حسابی، هندسی و هارمونیک موردمطالعه قرار گرفتند.

وی و همکاران[6] (a۲۰۱۱، b۲۰۱۱، c۲۰۱۱) مدل‌های برنامه‌ریزی خطی بر اساس ایده دیسپیک و همکاران (۲۰۰۷) را توسعه دادند و علاوه بر محاسبه ناکارایی کاذب مقدار ابر کارایی و رابطه بین، وزن‌ها در *DEA* و *DEA-R* را موردمطالعه قراردادند. آن‌ها ۲۱ مرکز درمانی در تایوان را با مدل‌های *DEA* و *DEA-R* ارزیابی و مقایسه کردند.

لیو و همکاران[7] (۲۰۱۱) مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها بدون ورودی آشکار را بر اساس مدل‌های تحلیل کسری ارائه نمودند. آن‌ها بر اساس نسبت‌های ورودی به خروجی علاوه بر تعریف مجموعه امکان تولید، رابطه بین مدل‌های تحلیل کسری را با مدل‌های ماهیت ورودی *BCC* به دست آوردند. آن‌ها ۱۵ موسسه تحقیقاتی در چین را بر اساس مدل‌های پیشنهادی ارزیابی کردند.

مظفری و همکاران[8] (۲۰۱۴) رابطه بین مدل‌های *DEA-R* و مدل‌های *DEA* را در ماهیت خروجی توسعه دادند و همچنین مدل‌های غیر شعاعی *DEA-R* را موردمطالعه قراردادند. توحید نیا و توحیدی[9] (۲۰۱۹) به ارائه مدل کارایی سود بر مبنای *DEA-R* پرداختند. در مدل سود پیشنهادی بر مبنای *DEA-R*، محدودیت‌های وزنی ازنظر نسبت ورودی و خروجی گنجانیده شده‌اند؛ بنابراین، هر یک از این نسبت‌ها بر امتیاز کارایی سود واحد مورد ارزیابی تأثیر می‌گذارد. مهم‌ترین مزیت استفاده از این نسبت‌ها در مدل این است که اگر در فرآیند تولید از ورودی برای تولید یک خروجی خاص استفاده نشود، به‌منظور درج چنین محدودیتی در مدل، می‌توانیم به‌راحتی نسبت متناظر آن‌ها را از مدل حذف کنیم. درحالی‌که مدل سود *DEA* فرض می‌کند که تمام ورودی‌ها در تولید همه خروجی‌ها نقش دارند.

مظفری و همکاران[10] (۲۰۲۰) روی‌های کارا را در *DEA-R* بر اساس ایده دیسپیک و همکاران (۲۰۰۷) و*لیو* همکاران (۲۰۱۱) موردمطالعه قراردادند. مظفری و همکاران (۲۰۲۰) پایداری زنجیره تأمین را با استفاده از مدل‌های *DEA-R* موردمطالعه قراردادند و فاکتورهای اجتماعی، اقتصادی و محیطی را در ارزیابی زنجیره تأمین به کار گرفتند.

انواع کارایی شامل: کارایی فنی[11]، تخصیصی[12]، اقتصادی[13]، هزینه و درآمد و... می‌شود.

کارایی فنی عبارت است از حداکثر تولید ممکن که می‌توان از مقدار مشخصی از عوامل تولید به دست آورد. کارایی تخصیصی نشان‌دهنده تخصیص بهینه عوامل موجود می‌باشد به طوریکه حداقل هزینه را برای بنگاه به همراه داشته باشد. می‌توان گفت که کارایی تخصیصی، نتیجه به‌کارگیری نهاده‌ها به نسبت مناسب می‌باشد که موجب می‌شود هزینه تولید حداقل گردد (چاوشی و همکاران[14]، ۲۰۱۹). کارایی اقتصادی از حاصل‌ضرب کارایی فنی و تخصیصی حاصل می‌شود. طبق تعریف، کارایی اقتصادی را توانایی بنگاه در به دست آوردن حداکثر سود ممکن با توجه به قیمت و سطوح نهاده‌ها می‌دانند و در حقیقت کارایی اقتصادی، در صورتی تحقق می‌یابد که علاوه بر عدم اتلاف منابع، بهترین استفاده از آن‌ها صورت گیرد که این امر، معمولاً مستلزم انتخاب ترکیبی از نهاده‌هاست که کمترین هزینه را در برداشته باشد.

در مدل کارایی هزینه هدف درواقع یافتن واحدی است که کمترین هزینه را برای خرید ورودی‌های بیشتر از ورودی‌های تحت ارزیابی، برای تولید خروجی‌هایی برابر با خروجی‌های واحد تحت ارزیابی، مصرف می‌کند. در مدل کارایی درآمد، در پی یافتن واحدی هستیم که

[1] Charnes-Cooper-Banker
[2] Telles et al.
[3] Decision making unit
[4] Kayedpour et al.
[5] Despić et al.
[6] Wei et al.
[7] Liu et al.
[8] Mozaffari et al.
[9] Tohidnia and Tohidi
[10] Mozaffari et al.
[11] Technical efficiency
[12] Allocation efficiency
[13] Economic efficiency
[14] Chavoshi et al.

با مصرف ورودی‌های برابر با ورودی‌های واحد تحت ارزیابی، بیشترین درآمد را از فروش خروجی‌های کمتر از خروجی‌های واحد تحت ارزیابی به دست آورد.

کارشناسان و مجربین مدیریت پروژه تاکنون تعاریف گوناگونی از پروژه داشته‌اند که معروف‌ترین آن تعریف سازمان استاندارد مدیریت پروژه (*PMBOK*) است: یک پروژه تلاشی موقتی است که به‌منظور خلق محصول، ارائه خدمت یا نتیجه‌ای یکتا برعهده‌گرفته می‌شود.

پروژه دنباله‌ای از فعالیت‌های منحصربه‌فرد، پیچیده و متصل به یک هدف است که باید بازمان، کیفیت و بودجه مشخص تکمیل شود هر پروژه از مراحلی تشکیل‌شده است که باید برای اتمام پروژه انجام شود. برنامه زمانی، هزینه و کیفیت به‌عنوان سه معیار اصلی، مستقیماً بر موفقیت پروژه تأثیر می‌گذارد (گلپیرا[1]، ۲۰۱۳). ماهیت پروژه از بسیاری جهات نظیر یک‌تکه ابر در آسمان است. همان‌طور که شکل، اندازه، حجم، رنگ، سرعت حرکات و سایر مشخصات ظاهری و درونی یک ابر در آسمان متفاوت است، پروژه نیز تحت تأثیر عوامل و متغیرهای مختلف سیاسی، اقتصادی، محیطی، فناوری، قانونی و اجتماعی که در محیط آن قرار دارند تغییر می‌کند (نادری پور[2]، ۲۰۱۱).

از مهم‌ترین ویژگی‌های پروژه می‌توان به منحصربه‌فرد بودن، دارای زمان شروع و پایان مشخص بودن، دارا بودن هدفی مشخص، ابزاری برای تغییر و متضمن شدن هزینه، منابع و زمان اشاره کرد. همچنین مدیریت پروژه دانش استفاده از مهارت، ابزار و تکنیک‌ها در فعالیت‌های پروژه برای تأمین الزامات پروژه می‌باشد (جافری و همکاران[3]، ۲۰۱۴).

سازمان پروژه محور، سازمانی است که فعالیت‌های آن اساساً از پروژه‌ها تشکیل‌شده و با انجام پروژه‌ها، مأموریت آن تحقق می‌یابد. سازمان‌های پروژه محور اغلب در چندین پروژه به‌صورت هم‌زمان درگیر هستند. چنین سازمانی به‌خودی‌خود هویتی دائمی و پایدار است که انجام مأموریتش در قالب پروژه‌ها صورت می‌گیرد.

مطابق نظرات محققین، مشخصه‌های سازمان پروژه محور موارد ذیل است (کافی[4]، ۲۰۱۳).

۱. مدیریت بر مبنای پروژه را به‌عنوان راهبرد اصلی تعریف می‌کند.
۲. از طرح‌ها و پروژه‌ها در اجرای فرآیندهای پیچیده استفاده می‌کند.
۳. یک مجموعه از انواع پروژه‌ها را مدیریت می‌کنند.
۴. دارای سازمان مرکزی مانند دفتر پروژه برای یکپارچه کردن فعالیت‌ها باشند.

مراحل پروژه شامل تقسیم‌بندی‌هایی است که در خلال پروژه، برای کنترل‌های اضافی برای مدیریت اثربخش اتمام خروجی‌های پروژه موردنیاز است. مراحل پروژه عموماً به‌صورت متناوب تمام می‌شوند، اما ممکن است همپوشانی در بین مراحل در برخی از پروژه‌ها به وجود بیاید. طبیعت سطح بالای مراحل پروژه آن‌ها را یک جزء از چرخه عمر پروژه کرده است. مراحل پروژه شامل: مرحله آغازین، برنامه‌ریزی، اجرا، پایش و کنترل و اختتام پروژه می‌باشد.

۲-۱- پژوهش‌های پیشین

ورتینگتن وهرلی[5] (۲۰۰۲) کارایی هزینه در بیمه‌های عمومی استرالیا را با استفاده از کارایی هزینه، فنی و تخصیصی بررسی کردند. ورودی‌های این پژوهش شامل نیروی کار، سرمایه فیزیکی، سرمایه مالی می‌باشند و خروجی‌ها شامل درآمد خالص دریافتی و درآمدهای سرمایه‌گذاری شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد منبع اصلی ناکارایی هزینه، ناکارایی تخصیصی است. همچنین سهم ناکارایی تخصیصی از فنی بیشتر است.

وفادار اصغری و همکاران[6] (۲۰۱۳) به ارزیابی کارایی و رتبه‌بندی پروژه‌های مسکن مهر استان سیستان و بلوچستان پرداخت. وی شاخص‌های منابع انسانی، منابع فیزیکی، منابع مالی را به‌عنوان ورودی و تولید مسکن و اشتغال‌زایی را به‌عنوان خروجی برگزید. وی

[1] Golpîra
[2] Naderi pour
[3] Jaferi et al.
[4] Kafi
[5] Worthington and Hurley
[6] Vafadar asghari et al.

سپس به کمک مدل *CCR* و *BCC* و راسل به ارزیابی کارایی پروژه‌های مسکن مهر پرداخت که نتایج حاکی از آن بود که پروژه‌های شهرهای چابهار، خاش، زاهدان و کنارک کارا و شهرهای ایرانشهر، زابل و سراوان ناکارا بودند. وی در آخر پیشنهاد داد که شهرهای ناکارا جهت استفاده‌ی بهینه از منابع انسانی موجود، به‌عنوان یکی از منابع ورودی، توجه و تعهد بیشتری به مقوله‌ی تخصص گرایی داشته باشند.

کلانتری و همکاران[1] (۲۰۱۸) به ارزیابی کارایی فنی و کارایی درآمد پالایشگاه‌های گاز کشور طی سال ۹۴-۹۰ پرداختند. شاخص‌های انتخابی در کارایی فنی شامل خوراک گاز ورودی به‌عنوان ورودی و گاز تحویلی به خط انتقال گاز، مجموع محصولات جانبی و گاز مشعل به‌عنوان خروجی بود. همچنین شاخص‌ها در کارایی درآمد شامل حقوق و دستمزد و هزینه استهلاک به‌عنوان ورودی و درآمد تحقق‌یافته به‌عنوان خروجی بود. نتایج نشان داد که پالایشگاه گاز فجر جم بیشترین کارایی و پالایشگاه بید بلند کمترین کارایی را دارد. آن‌ها در آخر نتیجه گرفتند بزرگ‌ترین زمینه مشکلات بهره‌وری پالایشگاه‌های گاز کشور، عدم استفاده از تکنولوژی‌های روز و محدودیت‌های ناشی از تحریم‌های اقتصادی است.

رحیمی و نجفی[2] (۲۰۱۹) به‌اندازه گیری کارایی و رتبه‌بندی ۲۷ پروژه حوزه صنعت ساخت پرداختند. مدل آن‌ها دارای شش شاخص نهاده و یک ستاده بود که به روش *CCR* خروجی محور حل‌شده بود. سپس مدل را به کمک روش اندرسون پیترسون رتبه‌بندی کردند. همچنین مدل را به کمک روش تاپسیس نیز حل کردند؛ که مقایسه نتایج بین مدل تحلیل پوششی و تاپسیس حاکی از آن بود که در این دو روش در رتبه‌بندی واحدهای کارا تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند ولی در رتبه‌بندی واحدهای ناکارا متفاوت با یکدیگر عمل نموده‌اند. همچنین نتایج حاکی از آن بود که در صورت اصلاح فرآیندها در ۹ پروژه فوق مبلغ درآمد کل می‌توانست از مبلغ ۲۹۰۷۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰ به مبلغ ۲۹۳۸۶۳۸۳۶۵۰۰۰۰ تغییر یابد. لذا استفاده از نرم‌افزارهای مناسب تجزیه‌وتحلیل کارایی و متخصصان رشته مهندسی صنایع به‌عنوان تحلیلگر توصیه گشت.

کاماروالدین و همکاران[3] (۲۰۱۹) به سنجش کارایی هزینه، درآمد و سود بانک‌های اسلامی کشور مالزی بین سال‌های ۲۰۰۶-۲۰۱۵ پرداختند. شاخص‌های ورودی شامل میزان سپرده و تعداد نیروی انسانی بود و خروجی‌های شامل مقدار درآمد و مقدار وام پرداختی بود. نتایج نشان داد میزان کارایی بانک‌های اسلامی کشور مالزی نسبت به بانک‌های اسلامی سایر کشورها به‌طور معناداری پایین‌تر است.

نگوین و فام[4] (۲۰۲۰) به مقایسه کارایی هزینه بین روش *DEA* و *SFA* در بانک‌های ویتنام پرداختند. شاخص‌ها شامل: اندازه بانک، نسبت وام به سپرده، نسبت هزینه به درآمد، میزان بهره‌وری نیروی کار، نسبت وام غیر مؤثر، سطح رقابتی بانک‌ها، نرخ رشد بانکی، تورم و نرخ رشد اقتصادی بود. سپس به مقایسه کارایی هزینه ۳۴ بانک ویتنامی در پنج فاکتور بهترین و بدترین بانک، رتبه‌بندی، توزیع، استواری نتایج در طول زمان و تعیین‌کننده بودن کارایی مرزی پرداختند. نتایج نشان داد کارایی هزینه حاصل از روش *SFA*نسبت به مدل *DEA* دارای تناقض کمتری است. بااین‌حال نتایج کارایی مبتنی بر*DEA* ازنظر رتبه‌بندی و ثبات در طول زمان نتایج درست‌تری را نشان می‌دهد.

۲- مفاهیم اولیه

در این بخش مفاهیم اولیه *DEA-R* و کارایی هزینه و درآمد به‌صورت مختصر بیان می‌گردد.

۲-۱- DEA-R

R تلفیقی از تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل کسری می‌باشد که اولین بار توسط دیسپیک و همکاران (۲۰۰۷) ارائه گردید. به‌طورکلی در مدل‌های *DEA-R* داده‌ها نسبتی نیستند، بلکه از نسبت‌های ورودی به خروجی (مدل ماهیت ورودی) یا بلا عکس (مدل ماهیت خروجی) برای ارزیابی واحدهای تصمیم‌گیرنده استفاده می‌شود. به دلیل این‌که در تحلیل پوششی داده‌ها، کارایی به‌صورت مجموعه وزن‌دار شده خروجی‌ها به ورودی‌ها (مدل ماهیت ورودی) تعریف می‌شود، ازاین‌رو استفاده از عدد غیر ارشمیدسی اپسیلن برای جلوگیری از صفر شدن وزن‌ها امری ناگزیر می‌باشد.

[1] Kalantari et al.
[2] Rahimi and Najafi
[3] Kamarudin et al.
[4] Nguyen and Pham

اما در *DEA-R* با تعریف کارایی به‌صورت مجموع وزن‌دار شده نسبت‌های ورودی به خروجی (مدل ماهیت ورودی) نیازی به استفاده از اپسیلن وجود ندارد؛ بنابراین ارزیابی واحدهای تصمیم‌گیرنده بر اساس مدل‌های برنامه‌ریزی خطی و رفتار مشابه با برخی مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها انجام می‌شود. دیسپیک و همکاران مدل برنامه‌ریزی خطی را برای تجزیه‌وتحلیل کارایی به کاربردند و مدل *DEA-R* با ماهیت ورودی برای ارزیابی کارایی یك واحد DMU_0 را به‌صورت **مدل (۲)** ارائه دادند:

$$
\begin{aligned}
& Max \ \ \Delta \\
& s.t \quad \sum_{i=1}^{m}\sum_{r=1}^{s} w_{ir}\left(\frac{\frac{x_{ij}}{y_{rj}}}{\frac{x_{io}}{y_{ro}}}\right) \geq \Delta, \quad j=1,3,\ldots,n, \\
& \sum_{i=1}^{m}\sum_{r=1}^{s} w_{ir} = 1, \\
& w_{ir} \geq 0 \qquad\qquad i=1,2,\ldots,m, r=1,2,\ldots,s.
\end{aligned} \tag{۲}
$$

مدل (۲) یك مسئله برنامه‌ریزی خطی است. دوگان مسئله ۲ با در نظر گرفتن متغیرهای دوگان λ_j برای همه واحدهای تصمیم‌گیری ورودی و خروجی متناظر DMU_S و γ_R متغیر اختصاصی داده‌شده به ترکیب محدب محدودیت‌ها مدل زیر به دست می‌آید:

$$
\begin{aligned}
& Min \ \ \gamma_R \\
& s.t \quad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j \left(\frac{\frac{x_{ij}}{y_{rj}}}{\frac{x_{io}}{y_{ro}}}\right) \leq \gamma_R, \qquad i=1,2,\ldots,m, r=1,2,\ldots,r, \\
& \sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1, \qquad\qquad j=1,2,\ldots,n. \\
& \lambda_j \geq 0
\end{aligned} \tag{۳}
$$

واحد تصمیم‌گیری DMU_0 یك *CCR-R-I* کارا است اگر و فقط اگر مقدار بهینه تابع هدف **مدل‌های (۲)** و **(۳)** برابر یك شود، یعنی $\gamma_R^* = \Delta^* = 1$. به γ_R^* کارایی تکنیکی *DEA-R* می‌گویند. **مدل‌های (۲)** و **(۳)** مدل‌های اولیه و دوگان مدل با ماهیت ورودی *DEA-R* هستند) مظفری و همکاران، ۲۰۱٤).

۲-۲- کارایی هزینه

در مدل کارایی هزینه (**مدل (٤)**) به‌منظور محاسبه کارایی هزینه DMU_0 هدف درواقع یافتن واحدی است که کمترین هزینه را برای خرید ورودی‌های بیشتر از ورودی‌های تحت ارزیابی، برای تولید خروجی‌هایی برابر با خروجی‌های واحد تحت ارزیابی، مصرف می‌کند. مدل اولیه کارایی هزینه برای ارزیابی واحدها به‌صورت زیر است:

$$
\begin{aligned}
& Min \qquad \sum_{i=1}^{m} c_{i_0} x_i, \\
& s.t \qquad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} \leq x_i, \qquad (i=1,2,\ldots,m), \\
& \qquad\quad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} \geq y_{r_0}, \quad (r=1,2,\ldots,s), \\
& \qquad\quad \lambda_j \geq 0, \qquad\qquad (j=1,2,\ldots,n).
\end{aligned} \tag{۴}
$$

در این مدل $Min \sum_{i=1}^{m} c_{i0} x_i$ تابع هدف است و هدف آن به دست آوردن واحدی است که کمترین هزینه را دارد. خطوط بعدی محدودیت‌ها را نشان می‌دهند و همان‌طور که مشخص است هر برنامه‌ریزی خطی دارای یک سری شروط است که متغیرها را در حد مجاز آن محدود می‌کند.

اگر (λ^*, x^*) جواب بهینه مسئله بالا باشند، کارایی هزینه کلی واحد صفر به‌صورت **مدل (۵)** تعریف می‌شود:

$$CE = \frac{\sum_{i=1}^{m} C_{i0} X_i^*}{\sum_{i=1}^{m} C_{i0} X_{i0}} = \frac{\omega^*}{\sum_{i=1}^{m} C_{i0} X_{i0}} \le 1. \qquad (۵)$$
$$0 \le CE \le 1.$$

واضح است که مقدار CE_{DEA} همیشه کمتر یا مساوی یك است. DMU را در صورتی کارای هزینه‌ای می‌نامند، اگر و فقط اگر $CE = 1$ باشد (سلیمانی چمخورامی و قبادی[1]، ۲۰۲۱).

۳-۲- کارایی درآمد

در مدل کارایی درآمد، در پی یافتن واحدی هستیم که با مصرف ورودی‌های برابر با ورودی‌های واحد تحت ارزیابی، بیشترین درآمد را از فروش خروجی‌های کمتر از خروجی‌های واحد تحت ارزیابی به دست آورد. مدل کارایی درآمد (**مدل (٦)**) به‌صورت زیر است (کوپر، ۲۰۰۷).

$$\begin{aligned} Max \quad & \psi = \sum_{r=1}^{s} p_r y_r, \\ s.t \quad & \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} \le x_{i_0}, \qquad (i = 1,2,...,m), \\ & \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} \ge y_r, \qquad (r = 1,2,...,s), \\ & \lambda_j \ge 0, \qquad (j = 1,2,...,n). \end{aligned} \qquad (۶)$$

این مدل هم یک برنامه‌ریزی خطی است و $Max = \sum_{i=1}^{m} p_{r_0} y_r$ تابع هدف است و هدف آن پیدا کردن واحدی است که بیشترین درآمد را دارد. خطوط بعدی هم محدودیت‌های مربوط به آن را نشان می‌دهند.

اگر (λ^*, y^*) جواب بهینه مسئله بالا باشند، کارایی درآمد کلی واحد صفر به‌صورت **مدل (۷)** تعریف می‌شود:

$$RE = \frac{\sum_{i=1}^{m} p_{r_0} y_r^*}{\sum_{i=1}^{m} p_{r_0} y_{r_0}} = \frac{\psi^*}{\sum_{i=1}^{m} p_{r_0} y_{r_0}} \ge 1. \qquad (۷)$$
$$0 \le RE \le 1.$$

مقدار RE_{DEA_O} همیشه بیشتر یا مساوی یك است. DMU_0 را در صورتی کارایی درآمدی می‌نامند، اگر و فقط اگر $RE = 1$ باشد (رحیمی[2]، ۲۰۲۰).

۴-۲- مدل کارایی هزینه در DEA-R

با توجه به بردار هزینه $c = (c_1, c_2, c_3, ... c_m)^T$ فرمول کارایی هزینه مدل $DEA\text{-}R$ به شرح زیر (**مدل (۸)**) خواهد بود:

[1] Soleimani –Chamkhorami and Ghobadi

[2] Rahimi

$$
\begin{aligned}
&Max \quad \theta \\
&s.t \qquad \sum_{i=1}^{m}\sum_{r=1}^{s} w_{ir}\left(\frac{\frac{x_{ij}}{1}}{\frac{y_{rj}}{y_{ro}}}\right) \geq \theta, \qquad j=1,2,...,n, \\
&\qquad \sum_{r=1}^{s} w_{ir} = c_i, \qquad i=1,2,...m.\ r=1,2,...,s. \\
&\qquad w_{ir} \geq 0
\end{aligned} \tag{۸}
$$

با در نظر گرفتن متغیرهای $\lambda_j (j=1,2,...,n)$ و $x_i (i=1,2,...,m)$ متناظر با اولین و دومین گروه از محدودیت‌های ۸، دوگان **مدل (۸)** را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$
\begin{aligned}
&Min\ \ W_R = \sum_{i=1}^{m} c_i x_i, \\
&s.t \qquad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j \left(\frac{x_{ij}}{y_{rj}}\right) \leq \frac{x_i}{y_{ro}}, \qquad i=1,2,...,m, \\
&\qquad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1, \qquad s=1,2,...,s, \\
&\qquad \lambda_j \geq 0, \qquad j=1,2,...,n.
\end{aligned} \tag{۹}
$$

در **مدل (۹)** ملاحظه می‌شود که مدل کارایی هزینه در *DEA-R* بر اساس نسبت ورودی به خروجی و بر اساس ایده مظفری و همکاران (۲۰۱۴) انجام‌شده است. باملاحظه قید اول **مدل (۹)** داریم:

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j \left(\frac{x_{ij}}{y_{rj}}\right) \leq \frac{x_i}{y_{ro}}.$$

یعنی امکان تولید خروجی کمتر از y_{ro} با در نظر گرفتن متغیر x_i برای ورودی‌ها به خروجی‌ها مدل‌سازی شده است. همچنین باملاحظه مقدار تابع هدف **مدل (۹) حداقل** ورودی برای DMU_O به‌شرط آن‌که در محدودیت‌های آن صدق کند به‌صورت مینیموم سازی در نظر گرفته‌شده است.

با توجه به تابع هدف بهینه **مدل (۸)** مقدار کارایی هزینه یك واحد تصمیم‌گیری DMU_O از مدل $DEA-R$ توسط نسبت زیر (**مدل (۱۰)**) تعریف می‌شود که همیشه کمتر یا مساوی با یك است:

$$CE_{DEA-R} = \frac{C^T X^*}{C^T X_0} = \frac{\omega^*}{C^T X_0} \leq 1. \tag{۱۰}$$

واضح است که مقدار CE_{DEA-R_0} همیشه کمتر یا مساوی یك است. *DMU* را در صورتی کارای هزینه‌ای می‌نامند، اگر و فقط اگر *CE=1* باشد (مظفری و همکاران، ۲۰۱۴).

۵-۲- مدل کارایی درآمد در DEA-R

در مدل کارایی درآمد (**مدل (۱۱)**) فرض می‌کنیم بردار معین $P=(p_1,p_2,...,p_s)^T$ داشته باشیم، کارایی درآمد مدل $DEA-R$ را می‌توان به‌صورت مشابه مدل کارایی هزینه ارائه داد:

$$
\begin{aligned}
&Max \ \sum_{i=1}^{m}\sum_{r=1}^{s} w_{ir}\left(\frac{\frac{y_{rj}}{1}}{\frac{x_{ij}}{x_{io}}}\right), \\
&s.t \qquad \sum_{i=1}^{m}\sum_{r=1}^{s} w_{ir} = p_r, \qquad r=1,2,...,s, \\
&\qquad w_{ir} \geq 0, \qquad i=1,2,...,m,\ j=1,2,...,n.
\end{aligned} \tag{۱۱}
$$

مدل (۱۱) را به‌سادگی می‌توان به مسئله برنامه‌ریزی خطی تبدیل کرد:

$$\begin{aligned} &Max\ \ \psi_R^* = \sum_{r=1}^{s} p_r y_r, \\ &s.t \qquad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j \left(\frac{y_{rj}}{x_{ij}}\right) \geq \frac{y_r}{x_{io}}, \qquad i = 1,2,...,m, \\ &\qquad\quad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1, \qquad\qquad r = 1,2,...,s, \\ &\qquad\quad \lambda_j \geq 0, \qquad\qquad j = 1,2,...,n. \end{aligned} \tag{۱۲}$$

در **مدل (۱۲)** در قید متناظر با $\sum_{j=1}^{n} \lambda_j \left(\frac{y_{rj}}{x_{ij}}\right) \leq \left(\frac{y_r}{x_{io}}\right)$ امکان‌پذیری ورودی‌ها و همچنین اصل شمول مشاهدات و تحدب که در مقاله لی و همکاران (۲۰۱۱) اشاره‌شده است نیز مشاهده می‌شود. از طرفی حداکثر کردن مقدار خروجی با در نظر گرفتن ورودی DMU_O هدف اصلی **مدل (۱۲) می**باشد. به‌طورکلی ساختار **مدل‌های (۹)** و **(۱۲)** بر اساس مدل‌های تحلیل کسری و در نظر گرفتن $D\tilde{M}U_j = \frac{x_i}{y_j}$ برای کارایی هزینه و $D\tilde{M}U_j = \frac{y_j}{x_i}$ برای کارایی درآمد مدل‌سازی شده است.

مقدار کارایی درآمد به‌صورت **مدل (۱۳)** است:

$$RE_{DEA-Ro} = \frac{p^T y^*}{p^T y_0} = \frac{\psi^*}{p^T y_0} \geq 1. \tag{۱۳}$$

مقدار RE_{DEA-R_O} همیشه بیشتر یا مساوی یك است. واحد DMU_0 را کارا می‌گوییم اگر و فقط اگر $\psi^* = 1$.

۳- مدل کارایی هزینه و درآمد با شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل در DEA و DEA-R

۳-۱- مدل کارایی هزینه و درآمد با شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل در DEA

در بعضی از پروژه‌ها ممکن است محدودیت در استفاده از بعضی از شاخص‌ها وجود داشته باشد، به این صورت که امکان کاهش یا افزایش مقدار بعضی از شاخص‌ها محیا نباشد که برای این منظور می‌توان از مدل پیشنهادی زیر استفاده کرد. در این مدل مقدار بعضی از شاخص‌ها می‌تواند ثابت و بقیه شاخص‌ها می‌توانند متغیر باشند.

از شاخص‌ها می‌تواند ثابت و بقیه شاخص‌ها می‌توانند متغیر باشند.

۳-۱-۱- مدل کارایی هزینه با شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل

مدل‌های (۱۴) و **(۱۵)** بر اساس **مدل (۴)** مدل‌سازی شده‌اند؛ اما ورودی‌ها به دسته I_1 و I_2 افراز شده‌اند به‌طوری‌که $I = I_1 \cup I_2$. به‌طور مشابه برای خروجی‌ها هم $O = O_1 \cup O_2$.

از طرفی چون ورودی‌های دسته I_1 غیرقابل‌کنترل می‌باشند، ازاین‌رو اصل امکان‌پذیری برای ورودی‌های دسته I_1 وجود ندارد، بنابراین قید متناظر آن‌ها به‌صورت تساوی در نظر گرفته‌شده است (با ورودی‌های بیشتر از ورودی‌های قابل‌کنترل امکان تولید وجود ندارد).

به‌طور مشابه برای خروجی‌های دسته دوم که غیرقابل‌کنترل هستند (O_1) با خروجی‌های کمتر از خروجی قابل‌کنترل امکان تولید وجود ندارد.

قضیه: **مدل (۱۵)** همواره شدنی است:

اثبات: فرض کنیم $\left(\begin{matrix} x_{\alpha_i} & , & x_{\alpha_i} \\ \alpha_i \in I_1 , & & \alpha_i \in I_2 \end{matrix}\right)$ و $\bar{s} = (\bar{\lambda}_1, \bar{\lambda}_2, ... \bar{\lambda}_n)$ برابر باشد با $\left(\begin{matrix} e_o, & x_{\alpha_i} & , & x_{\alpha_i} \\ & \alpha_i \in I_1 , & & \alpha_i \in I_2 \end{matrix}\right)$ پس داریم:

$$
\begin{aligned}
Min \quad & \sum c_{\alpha_i} x_{\alpha_i} + \sum c_{\beta_i} x_{\beta_i}, \\
& (\alpha_i \in I_1) \quad (\beta_i \in I_2), \\
st. \quad & \sum_{j=1}^{n} \bar{\lambda}_j x_{\alpha_i j} = x_{\alpha_{io}}, \qquad (\alpha_i \in I_1), \\
& \sum_{j=1}^{n} \bar{\lambda}_j x_{\beta_i j} \le x_{\beta io}, \qquad (\beta_i \in I_2), \\
& \sum_{j=1}^{n} \bar{\lambda}_j y_{\alpha_r j} = y_{\alpha_r 0}, \quad (\alpha_r \in O_1), \\
& \sum_{j=1}^{n} \bar{\lambda}_j y_{\beta_r j} \ge y_{\beta_r 0}, \quad (\beta_r \in O_2), \\
& \lambda_j \ge 0 \ , \ x_{\alpha_i} \ge 0 \ , x_{\beta_i} \ge 0.
\end{aligned}
\tag{۱۴}
$$

و $\sum_{j=1}^{n} \bar{\lambda}_j x_{\alpha_{ij}} = \bar{x}_{\alpha_{io}}$ ، پس $\bar{s}$ یک جواب شدنی در **معادله (۱۵)** می‌باشد.

در مدل‌های این بخش $x_{\alpha_i j}$ ، $I_1 = (1,2,...m)$ ورودی‌های غیرقابل‌کنترل و $x_{\beta_i j}$ ، $I_2 = (1,2,...q)$ ورودی‌های قابل‌کنترل و همچنین $y_{\alpha_r j}$ ، $o_1 = (1,2,...s)$ خروجی‌های غیرقابل‌کنترل و $y_{\beta_r j}$ ، $o_2 = (1,2,...,k)$ خروجی‌های قابل‌کنترل DMU_j ، $j = (1,2,...,n)$ می‌باشند.

$$
\begin{aligned}
Min \quad & \sum c_{\alpha_i} x_{\alpha_i} + \sum c_{\beta_i} x_{\beta_i}, \\
& (\alpha_i \in I_1) \quad (\beta_i \in I_2), \\
st. \quad & \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{\alpha_i j} = x_{\alpha_i}, \qquad (\alpha_i \in I_1), \\
& \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{\beta_i j} \le x_{\beta i}, \qquad (\beta_i \in I_2), \\
& \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{\alpha_r j} = y_{\alpha_r 0}, \quad (\alpha_r \in O_1), \\
& \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{\beta_r j} \ge y_{\beta_r 0}, \quad (\beta_r \in O_2), \\
& \lambda_j \ge 0 \ , \ x_{\alpha_i} \ge 0 \ , x_{\beta_i} \ge 0.
\end{aligned}
\tag{۱۵}
$$

با توجه به تابع هدف بهینه **مدل (۱۵)** مقدار کارایی هزینه یك واحد تصمیم‌گیری DMU_O از مدل $DEA-R$ توسط نسبت زیر (**مدل (۱۶)**) تعریف می‌شود که همیشه کمتر یا مساوی با یك است:

$$
CE_{DEA} = \frac{\sum_{\alpha i=1}^{m} c_{\alpha_{i0}} x_{\alpha_i^*} + \sum_{\beta_i=1}^{m} c_{\beta_{i0}} x_{\beta_i}^*}{\sum_{\alpha i=1}^{m} c_{\alpha_{i0}} x_{\alpha_{i\,0}} + \sum_{\beta_i=1}^{m} c_{\beta_{i0}} x_{\beta_{i\,0}}}.
\qquad 0 \le CE_{DEA} \le 1.
\tag{۱۶}
$$

مقدار CE_{DEA_0} همیشه کمتر یا مساوی یك است. DMU را در صورتی کارای هزینه‌ای می‌نامند، اگر و فقط اگر $CE=$ ۱ باشد.

۲-۱-۳- مدل کارایی درآمد با شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل

مدل کارایی درآمد با شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل (**مدل (۱۷)**) نیز مشابه مدل قبل به دست می‌آید.

$$
\begin{aligned}
Max \quad & \sum p_{\alpha_r} y_{\alpha_r} + \sum p_{\beta_r} y_{\beta_r}, \\
& (\alpha_r \in O_1), \quad (\beta_r \in O_2), \\
st. \quad & \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{\alpha_r j} = y_{\alpha_r 0}, \quad (\alpha_r \in O_1), \\
& \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y\beta_{\beta_r j} \geq y_{\beta_r 0}, \quad (\beta_r \in O_2), \\
& \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{\alpha_i j} = x_{\alpha_i}, \quad (\alpha_i \in I_1), \\
& \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x\beta_{\beta_i j} \leq x_{\beta_i}, \quad (\beta_i \in I_2), \\
& \lambda_j \geq 0 \ , \ y_{\alpha_r} \geq 0 \ , y_{\beta_r} \geq 0.
\end{aligned} \tag{۱۷}
$$

مقدار کارایی درآمد به‌صورت زیر (**مدل (۱۸)**) است:

$$
RE_{DEA} = \frac{\sum_{\alpha_r=1}^{m} p_{\alpha_r 0} y^*_{\alpha_r} + \sum_{\beta_r=1}^{m} p_{\beta_r 0} y^*_{\beta_r}}{\sum_{\alpha r=1}^{m} p_{\alpha_r 0} y_{\alpha_r 0} + \sum_{\beta_r=1}^{m} p_{\beta_r 0} y_{\beta r 0}}. \tag{۱۸}
$$

$$
0 \leq RE_{DEA} \leq 1.
$$

واضح است که مقدار RE_{DEA_O} همیشه بیشتر یا مساوی یك است. واحد DMU_0 را کارا می‌گوییم اگر و فقط اگر $\psi^* = 1$.

۲-۳- مدل کارایی هزینه و درآمد با شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل در DEA-R

فرض کنید $x_i = (x_{1i}, x_{2i}, ... x_{mi})$ با مصرف m ورودی، خروجی $y_j = (y_{1j}, y_{2j}, ... y_{sj})$ را برای DMU_i تولید می‌کند و $x_i \geq 0$ ، $y_j \geq 0$. از طرفی $o \in \{1,2,...,n\}$ و واحد تحت ارزیابی را DMU_0 در نظر می‌گیریم. با فرض اینکه نسبت‌های $\frac{x_i}{y_j}$ یا بالعکس $\frac{y_j}{x_i}$ تعریف‌شده باشد، مدل‌های پیشنهادی برای کارایی هزینه و درآمد با در نظر گرفتن شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل، **مدل پیشنهادی (۱۹)** می‌باشد.

$$
\begin{aligned}
Min \ & \sum_{\alpha_i \in I_1}^{n} c_{\alpha_i} x_{\alpha_i} + \sum_{\beta_i \in I_2}^{n} c_{\beta_i} x_{\beta_i}, \\
& \sum_{j=1}^{n} \mu_j \left(\frac{x_{\alpha_i j}}{y_{\alpha_r j}}\right) = \frac{x_{\alpha_i}}{y_{\alpha_r 0}}, \quad \alpha_i \in I_1, \alpha_r \in O_1, \\
& \sum_{j=1}^{n} \mu_j \left(\frac{x_{\beta_i j}}{y_{\beta_r j}}\right) \leq \frac{x_{\beta_i}}{y_{\beta_r 0}}, \quad \beta_i \in I_2, \beta_r \in O_2, \\
& \sum_{j=1}^{n} \mu_j = 1, \ \mu_j \geq 0.
\end{aligned} \tag{۱۹}
$$

به‌طور مشابه باملاحظه مدل‌های کارایی هزینه در DEA-R یعنی **معادلات (۹)** و **(۱۹)** پیشنهادشده است. چون ورودی‌های دسته I_1 و خروجی‌های دسته O_1 غیرقابل‌کنترل هستند بنابراین نسبت‌های آن‌ها نیز می‌تواند غیرقابل‌کنترل باشد ازاین‌رو اصل امکان‌پذیری برای ورودی‌ها و خروجی‌ها برای دسته I_1 و O_1 برقرار نمی‌باشد. پس قید متناظرآن ها به‌صورت تساوی در نظر گرفته‌شده است؛ بنابراین محدودیت‌های مدل کارایی هزینه با شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل به‌صورت مقابل می‌باشد.

$$
\sum_{j=1}^{n} \mu_j \left(\frac{x_{\alpha_{ij}}}{y_{\alpha_{rj}}}\right) = \frac{x_{\alpha_i}}{y_{\alpha_{ro}}},
$$

$$
\sum_{j=1}^{n} \mu_j \left(\frac{x_{\beta_j}}{y_{\beta_{rj}}}\right) = \frac{x_{\beta_i}}{y_{\beta_{ro}}}.
$$

قضیه: **مدل (۱۹)** همواره شدنی است:

با در نظر گرفتن $\bar{s}=(\bar{\mu}_j,\bar{x}_{\alpha_i},\bar{x}_{\beta_i})=(e_o,x_{\alpha_{io}},x_{\beta_{io}})$ و جایگذاری در محدودیت‌های **مدل (۱۸)** ملاحظه می‌شود که جواب $\bar{s}$ در تمام محدودیت‌های **مدل (۱۸)** صدق می‌کند. پس مدل همواره شدنی است.

تعریف: DMU_0 را کارای هزینه در *DEA-R* گویند هرگاه **مدل (۲۰)** برقرار باشد:

$$CE_{DEA-R}=\frac{\sum_{\alpha i=1}^{m}c_{\alpha_{i0}}x^{*}_{\alpha_i}+\sum_{\beta_i=1}^{m}c_{\beta_{i0}}x^{*}_{\beta_i}}{\sum_{\alpha i=1}^{m}c_{\alpha_{i0}}x_{\alpha_{i0}}+\sum_{\beta_i=1}^{m}c_{\beta_{i0}}x_{\beta_{i0}}}.$$
$$0\le CE_{DEA-R}\le 1. \qquad (۲۰)$$

قضیه: **مدل (۱۹)** همواره شدنی است:

فرض کنید $(\bar{\mu}_1,\bar{\mu}_2,...\bar{\mu}_n)=e_o,\bar{x}=x_{i0}$ $i\in I_1,i\in I_2$ باشد. با جایگذاری در قیدهای **مدل (۱۴)** داریم $\frac{x_{i0}}{y_{r0}}=\frac{x_{i0}}{y_{r0}}$ $i\in I_1,r\in o_1$ و $\frac{x_{i0}}{y_{r0}}\le\frac{x_{i0}}{y_{r0}}$ $i\in I_1,r\in o_1$ پس در قیدها صدق می‌کند؛ بنابراین جواب شدنی مدل می‌باشد.

مدل کارایی درآمد:

مشابه با مدل کارایی هزینه، مدل کارایی درآمد با شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل (**مدل (۲۱)**) به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\begin{aligned}
&max\ \sum_{\alpha_r\in o_1}^{n}p_{\alpha_r}y_{\alpha_r}+\sum_{\beta_r\in o_2}^{n}p_{\beta_r}y_{\beta_r},\\
&\sum_{j=1}^{n}\mu_j\left(\frac{y_{\alpha_r j}}{x_{\alpha_i j}}\right)=\frac{y_{\alpha_r}}{x_{\alpha_{io}}},\qquad \alpha_i\in I_1,\alpha_r\in O_1,\\
&\sum_{j=1}^{n}\mu_j\left(\frac{y_{\beta_r j}}{x_{\beta_i j}}\right)\ge\frac{y_{\beta_r}}{x_{\beta_{io}}},\qquad \beta_i\in I_2,\beta_r\in O_2,\\
&\sum_{j=1}^{n}\mu_j=1,\ \mu_j\ge 0.
\end{aligned} \qquad (۲۱)$$

تعریف: DMU_0 را کارای درآمد در *DEA-R* گویند هرگاه:

$$RE_{DEA-R}=\frac{\sum_{\alpha_r=1}^{m}p_{\alpha_{r0}}y_{\alpha_r^{*}}+\sum_{\beta_r=1}^{m}p_{\beta_{r0}}y^{*}_{\beta_r}}{\sum_{\alpha r=1}^{m}p_{\alpha_{r0}}y_{\alpha_{r0}}+\sum_{\beta_r=1}^{m}p_{\beta_{r0}}y_{\beta r0}}.$$
$$0\le RE_{DEA-R}\le 1. \qquad (۲۲)$$

قضیه: مدل (۲۲) همواره شدنی است.

فرض کنید $(\bar{\mu}_1,\bar{\mu}_2,...\bar{\mu}_n)=e_o,\bar{y}_r=y_{r0}$ $r\in o_1,r\in o_2$ باشد، با جایگذاری در **مدل (۲۱)** ملاحظه می‌شود که در قیدهای مربوطه صدق می‌کند.

۴- مطالعه کاربردی

مطالعه موردی این پژوهش شامل ۳۰ پروژه راه‌سازی بین سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۸۳ واقع در شهر شیراز می‌باشد. گفتنی است که برای یکسان‌سازی هزینه‌ها و درآمدها، کلیه این ارقام با ضرب‌در نرخ تورم، به سال ۹۸ آورده شده‌اند. همچنین پس از مطالعات کتابخانه‌ای و مصاحبه با چند کارشناس فنی در حوزه راه‌سازی به ۹ شاخص ورودی و ۱ خروجی دست‌یافتیم که به شرح زیر است.

ورودی‌ها:

- ***نیروی انسانی:*** *مجموع نفر/ساعت کار هر پروژه را به‌عنوان معیار فنی نیروی انسانی برگزیدیم. همچنین میانگین هزینه هر نفر/ساعت نیروی انسانی را به‌عنوان قیمت انتخاب کردیم.*
- ***ماشین‌آلات:*** *برای انتخاب شاخص ماشین‌آلات، مجموع ماشین / ساعت کار هر پروژه را به‌عنوان معیار فنی و میانگین هزینه هر ماشین/ساعت کار را به‌عنوان قیمت برگزیدیم.*

مواد و مصالح:

- *آسفالت: مقدار کل آسفالت به‌کاررفته در پروژه به‌عنوان معیار فنی انتخاب شد. همچنین قیمت هر تن اسفالت در سال ۹۸ نیز به‌عنوان قیمت تعیین شد.*
- *اساس: مقدار کل اساس به‌کاررفته در پروژه به‌عنوان معیار فنی انتخاب شد. همچنین قیمت هر تن اساس در سال ۹۸ نیز به‌عنوان قیمت تعیین شد.*
- *زیراساس: مقدار کل زیراساس به‌کاررفته در پروژه به‌عنوان معیار فنی انتخاب شد. همچنین قیمت هر تن زیراساس در سال ۹۸ نیز به‌عنوان قیمت تعیین شد.*
- *سابگرید: مقدار کل سابگرید به‌کاررفته در پروژه به‌عنوان معیار فنی انتخاب شد. همچنین قیمت هر تن سابگرید در سال ۹۸ نیز به‌عنوان قیمت تعیین شد.*
- *راکفیل: مقدار کل راکفیل به‌کاررفته در پروژه به‌عنوان معیار فنی انتخاب شد. همچنین قیمت هر تن راکفیل در سال ۹۸ نیز به‌عنوان قیمت تعیین شد.*
- *کانیو: مقدار کل کانیو به‌کاررفته در پروژه به‌عنوان معیار فنی انتخاب شد. همچنین قیمت هر متر کانیو در سال ۹۸ نیز به‌عنوان قیمت تعیین شد.*

هزینه بالاسری: مجموع روزهای یک پروژه را به‌عنوان معیار فنی هزینه بالاسری انتخاب کردیم و متوسط هزینه یک روز بالاسری که از تقسیم مجموع هزینه بالاسری تمام پروژه‌ها بر مجموع زمان تمام پروژه‌ها بود را به‌عنوان قیمت برگزیدیم که معادله آن به‌صورت **معادله (۲۳)** است.

$$\text{قیمت شاخص بالاسری در یک روز} = \frac{\text{مجموع هزینه بالاسری تمام پروژه‌ها}}{\text{مجموع زمان تمام پروژه‌ها}} \quad (۲۳)$$

خروجی‌ها:

راه ساخته‌شده: مساحت هر پروژه راه‌سازی به‌عنوان معیار فنی انتخاب شد. همچنین برای تعیین قیمت راه ساخته‌شده از میانگین‌گیری استفاده کردیم، به این صورت که از مجموع مبلغ قرارداد تمام پروژه‌ها تقسیم‌بر مجموع مساحت راه ساخته‌شده به‌عنوان قیمت استفاده کردیم که معادله آن به‌صورت **معادله (۲۴)** است.

$$\text{قیمت شاخص راه ساخته‌شده} = \frac{\text{مبلغ قرارداد تمام پروژه‌ها}}{\text{مجموع مساحت راه ساخته‌شده}} \quad (۲۴)$$

لازم به ذکر است که جهت یکسان‌سازی در هزینه‌ها و درآمدهای کلیه پروژه‌هایی که قبل از سال ۹۸ به پایان رسیده‌اند ارقام مربوط به هزینه‌ها و درآمدها با ضرب‌در نرخ تورم به سال ۹۸ آورده شده‌اند.

پس از مطالعات کتابخانه‌ای و مصاحبه با کارشناسان فنی یکی از شرکت‌های حوزه راه‌سازی به ۹ شاخص ورودی و ۱ خروجی دست‌یافتیم که در **جدول ۱** آورده شده است. همچنین داده‌های این شاخص‌ها نیز در **جدول ۲** آورده شده است.

جدول ۱- معرفی شاخص‌ها.

Table 1- Introduction of indicators.

نوع شاخص	نام شاخص	علامت اختصاری	قیمت (هزینه یا درآمد) هر واحد
	مقدار کار نیروی انسانی	I1	13000
ورودی	مقدار کار ماشین‌آلات	I2	80000
	هزینه بالاسری	I3	500000
	آسفالت	I4	200000
	اساس	I5	30000
	زیراساس	I6	12000
	سابگرید	I7	10000
	راکفیل	I8	30000
	کانیو	I9	26000
خروجی	مقدار راه ساخته‌شده	O1	140000

۱-۴- محاسبه کارایی هزینه و درآمد با شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل در DEA

در پروژه‌های واقعی ممکن است موقعیتی پیش آید که استفاده از بعضی از منابع باید مقدار ثابتی باشد و استفاده بیشتر یا کمتر از آن مجاز نباشد. مثلاً در یک پروژه آب‌رسانی به یک روستا باید دقیقه x مقدار لوله استفاده شود. برای سنجش کارایی پروژه‌ها در این‌گونه مواقع می‌توان از مدل تحلیل پوششی با شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل (**مدل (۷)** و **(۸)**) استفاده کرد.

در این بخش شرایط فرضی را در نظر می‌گیریم که استفاده از منابع آسفالت و اساس را غیرقابل‌کنترل (ثابت) و بقیه شاخص‌ها را قابل‌کنترل (قابل‌تغییر) در نظر می‌گیریم. نتایج کارایی هزینه و درآمد با متغیرهای قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل در **جدول ۳** آورده شده است. در کارایی هزینه نتایج حاکی از کارا بودن ۸ پروژه است و ٪۷۰ پروژه‌ها نیز کارایی مناسب بالای ٪۹۰ دارند. پروژه شماره ۱۴ با کارایی ۰٫۸۳۷۵ نیز پایین‌ترین نرخ کارایی هزینه رادار است. واحدهای مرجع در کارایی هزینه در **جدول ۴** آورده شده است.

جدول ۲- داده‌های جمع‌آوری‌شده.

Table 2- Data collected.

نام پروژه	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	O1
1	56701	11550	390	4600	8100	15200	17280	3672	3200	36000
2	58826	175691	538	6747	13248	24653	27187	5435	4907	48000
3	17861	5210	174	2004	3595	7190	7459	1499	1170	14000
4	205069	37794	1572	14894	26784	56544	60710	13786	10471	124000
5	46438	11157	368	5506	9526	19958	18325	3663	3192	37800
6	164055	41323	1189	14597	31718	62899	65587	13023	11349	112000
7	219244	39270	1105	13340	30240	61056	64512	13954	11627	120000
8	92876	21371	603	7326	15725	32760	31974	6962	5242	54600
9	48423	8651	300	2898	7137	14757	13910	3033	2442	25200
10	82004	19822	692	11354	18993	38653	36654	7718	7096	69420
11	74420	16170	497	4830	9612	19872	19872	4085	3400	45000
12	44554	8225	287	2513	4137	8699	8486	1916	2161	22100
13	14364	2464	135	1374	1935	3917	3732	783	939	9600
14	243657	55889	1197	17442	37440	73632	71136	15912	10516	130000
15	23625	4572	149	2092	3570	6720	7080	1530	1167	12500
16	38805	6675	221	2145	4117	8935	8234	1675	1849	18250
17	72420	12679	440	5341	10397	19152	18970	4225	3851	38000
18	154794	28803	942	10868	25402	44906	43092	10121	9828	94500
19	51031	8663	367	4922	10195	17626	19008	4039	3520	36000
20	31249	5955	198	1717	4992	9370	9216	1714	1593	16000
21	239089	38372	1258	15282	33396	68448	63480	13020	12062	115000
22	30831	7363	256	3795	6534	14040	12420	2708	2380	22500
23	21277	5651	198	2229	4391	9111	8536	1657	1429	17100

جدول ۲- ادامه.

Table 2- Continued.

نام پروژه	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	O1
24	83791	17983	453	7283	12768	25992	26676	5426	4940	47500
25	23594	3593	158	1699	3662	7930	7325	1528	1369	14000
26	104424	18143	613	7558	13260	25896	26520	7293	5893	65000
27	56764	12436	394	5083	8323	15341	14688	3815	3083	34000
28	151817	27027	834	13455	23717	46656	46656	9171	7416	81000
29	142225	35372	1047	15698	30744	55944	58464	12209	11200	105000
30	43408	10798	301	3691	5851	11066	11321	2838	2685	26500

جدول ۳- کارایی هزینه با شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل.

Table 3- Cost efficiency with controllable and uncontrollable indicators.

شماره پروژه	میزان کارایی هزینه	میزان کارایی درآمد	شماره پروژه	میزان کارایی هزینه	میزان کارایی درآمد
1	0. 9455	1	16	0. 8588	0. 9863
2	0. 9178	1	17	0. 8717	0. 9402
3	0. 9139	1	18	1	1
4	0. 9385	1	19	1	1
5	0. 9975	1	20	1	1
6	0. 9088	1	21	0. 874	0. 9281
7	0. 9759	1	22	0. 9581	1
8	0. 8602	0. 9327	23	0. 9577	1
9	0. 9348	0. 9721	24	0. 8645	1
10	1	1	25	0. 9817	1
11	1	1	26	1	1
12	1	1	27	0. 895	1
13	1	1	28	0. 9128	1
14	0. 8375	1	29	0. 9526	1
15	0. 8791	1	30	0. 8719	1

جدول ۴- واحدهای مرجع در کارایی هزینه با شاخص‌های قابل‌تغییر و غیرقابل تغییر.

Table 4- Reference units in cost efficiency with variable and non-variable indicator.

شماره پروژه	واحد مرجع ۱	ضریب واحد مرجع ۱	واحد مرجع ۲	ضریب واحد مرجع ۲	واحد مرجع ۳	ضریب واحد مرجع ۳
1	13	0. 830	19	0. 272	26	0. 281
2	10	0. 087	13	0. 367	19	1. 068
3	10	0. 034	13	0. 443	19	0. 206
4	13	0. 347	19	0. 525	26	1. 566
5	10	0. 136	13	1. 389	19	0. 418
6	18	0. 208	19	2. 292	20	0. 614
7	11	1. 041	18	0. 635	20	0. 823
8	19	1. 355	20	0. 384		
9	18	0. 159	19	0. 074	20	0. 470
10	10	1				
11	11	1				
12	12	1				
13	13	1				
14	19	3. 225	20	0. 914		
15	10	0. 169	19	0. 036		
16	18	0. 046	19	0. 039	26	0. 192
17	10	0. 065	13	0. 410	19	0. 822
18	18	1				

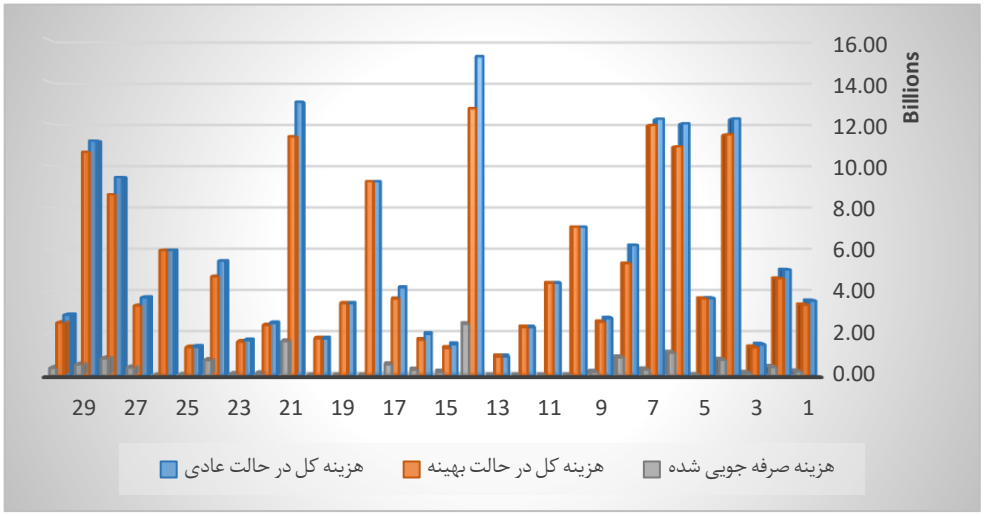
جدول ۴- ادامه.

Table 4- Continued.

شماره پروژه	واحد مرجع ۱	ضریب واحد مرجع ۱	واحد مرجع ۲	ضریب واحد مرجع ۲	واحد مرجع ۳	ضریب واحد مرجع ۳
19	19	1				
20	20	1				
21	19	2. 681	20	1. 214		
22	10	0. 293	19	0. 095		
23	13	0. 029	19	0. 317	26	0. 083
24	10	0. 406	13	0. 527	19	0. 396
25	18	0. 081	19	0. 110	26	0. 038
26	26	1				
27	10	0. 183	13	1. 510	19	0. 188
28	10	0. 918	19	0. 617	2. 286	
29	10	0. 392	19	2. 286		
30	13	1. 876	19	0. 171	26	0. 036

شکل ۱- هزینه در کارایی هزینه با شاخص‌های قابل کنترل و غیر قابل کنترل.

Figure 1- Cost in cost efficiency with controllable and uncontrollable indicators.



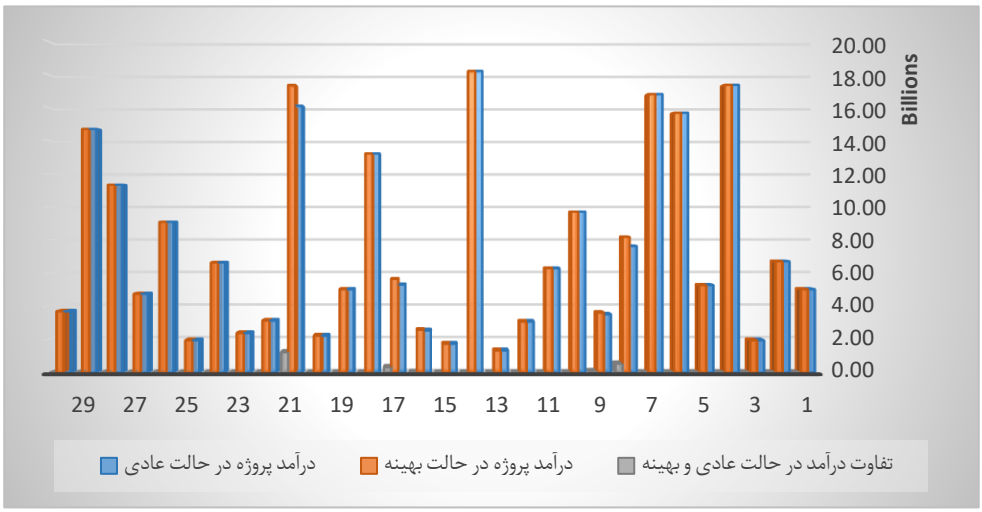
شکل ۱ به مقایسه انواع هزینه‌ها در کارایی هزینه با شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل می‌پردازد. نتایج نشان می‌دهد به‌طور مثال پروژه شماره ۱۵، با الگو قرار دادن پروژه‌های شماره ۱۰ و ۱۹ با ضرایب ۰/۱۶۹ و ۰/۰۳۶ و رساندن نهاده‌های خود به ترتیب به ۱۵٦٦٥، ۳٦٥٤، ۱۲۹، ۲۰۹۲، ۳۵۷۰، ۷۱۵۳، ٦۸٦٥، ۱٤٤٦، ۱۳۲۳ می‌تواند کارای هزینه شود و مبلغ ۱۸۱۷۵۸۰۰۰، در هزینه‌های خود صرفه‌جویی ایجاد کند و یا پروژه شماره ۲۹ با الگو قرار دادن پروژه‌های ۱۰ و ۱۹ با ضرایب ۰/۳۹۲ و ۲/۲۸٦ و رسانده نهاده‌های خود به ۱٤۸۷۷۰، ۲۷٥٦۳، ۱۱۰۷، ۱٥٦۹۸، ۳۰۷٤٤، ٥٥٤۳۰، ٥۷۸۰٦، ۱۲۲٥٥، ۱۰۸۲٥ می‌تواند کارا شود و به مقدار ٥۳۰۱۷۳۰۰۰، در هزینه‌های خود صرفه‌جویی کند. در **جدول ۵** هزینه‌ها در حالت عادی، بهینه و میزان هزینه‌ای که می‌توانستیم صرفه‌جویی کنیم آورده شده است.

جدول ۵- انواع هزینه‌ها در کارایی هزینه با شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل.

Table 5- Types of costs in cost efficiency with controllable and uncontrollable indicators.

نام پروژه	هزینه در شرایط عادی	هزینه در شرایط بهینه	مقدار هزینه صرفه جویی	نام پروژه	هزینه در شرایط عادی	هزینه در شرایط بهینه	مقدار هزینه صرفه جویی شده
1	3567673000	3373049000	194624000	16	1989266000	1708239000	281027000
2	5044436000	4629324000	415112000	17	4202277000	3662585000	539692000
3	1480890000	1353046000	127844000	18	9251579000	9251540000	39000
4	12228678000	11476482000	752196000	19	3443882000	3443882000	0
5	3682862000	3673234000	9628000	20	1771642000	1771642000	0
6	12000404000	10905942000	1094462000	21	13025505000	11384452000	1641053000
7	12218173000	11923282000	294891000	22	2508163000	2402922000	105241000
8	6213530000	5344417000	869113000	23	1686687000	1614800000	71887000
9	2735862000	2557416000	178446000	24	5463367000	4722581000	740786000
10	7084301000	7001400000	82901000	25	1372153000	1346491000	25662000
11	4412054000	4412054000	0	26	5972312000	5972312000	0
12	2310246000	2310246000	0	27	3721602000	3330628000	390974000
13	916430000	916430000	0	28	9449156000	8624534000	824622000
14	15194468000	12724942000	2469526000	29	11176963000	10646790000	530173000
15	1499987000	1318229000	181758000	30	2893233000	2522166000	371067000

در کارایی درآمد نیز ۲۵ پروژه کارای درآمد شدند و تمام پروژه‌ها کارایی مناسب بالای ۹۰% را کسب کرده‌اند. پروژه شماره ۲۱ با میزان کارایی ۰/۹۲۸۱ کمترین مقدار کارایی را داراست.



شکل ۲- درآمد در کارایی درآمد با شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل.

Figure 2- Income in revenue efficiency with controllable and non-controlable indicators.

شکل ۲ نشان‌دهنده انواع درآمدها در کارایی درآمد با واحدهای قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد به‌طور مثال پروژه شماره ۱۶ می‌تواند با الگو قرار دادن پروژه‌های شماره ۱۱، ۱۳، ۲۰ با ضرایب ۰/۲۶۳، ۰/۴۶۳، ۰/۱۳۹ می‌تواند ۲۵۳ مترمربع راه بیشتری بسازد و درآمد خود را ۳۵۴۲۰۰۰۰ تومان افزایش دهد. در **جداول (۶)** و **(۷)** واحدهای مرجع و مقدار درآمد در حالت عادی، بهینه و درآمد حاصله اضافی در حالت بهینه آورده شده است.

جدول ۶- واحدهای مرجع و ضرایب آن‌ها.

Table 6- Reference units and their coefficients.

شماره پروژه	واحد مرجع ۱	ضریب ۱	واحد مرجع ۲	ضریب ۲	واحد مرجع ۳	ضریب ۳	واحد مرجع ۴	ضریب ۴	واحد مرجع ۵	ضریب ۵	واحد مرجع ۶	ضریب ۶
1	1	1										
2	2	1										
3	3	1										
4	4	1										
5	5	1										
6	6	1										
7	7	1										
8	11	0. 054	14	0. 133	18	0. 213	20	0. 016	23	1. 074		
9	7	0. 011	11	0. 113	19	0. 010	20	0. 75	25	0. 511		
10	10	1										
11	11	1										
12	12	1										
13	13	1										
14	14	1										
15	15	1										
16	11	0. 263	13	0. 463	20	0. 139						
17	5	0. 134	11	0. 062	13	0. 388	18	0. 121	19	0. 319	27	0. 175
18	18	1										
19	19	1										
20	20	1										
21	5	0. 792	11	0. 048	14	0. 026	18	0. 726	19	0. 208		
22	22	1										
23	23	1										
24	24	1										
25	25	1										
26	26	1										
27	27	1										
28	28	1										
29	29	1										
30	30	1										

جدول ۷- درآمدها در مدل کارایی درآمد با شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل.

Table 7- Revenues in the revenue efficiency model with controllable and uncontrollable indicators.

نام پروژه	درآمد در شرایط عادی	درآمد در شرایط بهینه	مقدار درآمد اضافی حاصله در حالت بهینه	نام پروژه	درآمد در شرایط عادی	درآمد در شرایط بهینه	مقدار درآمد اضافی حاصله در حالت بهینه
1	5040000000	5040000000	0	16	2555000000	2590420000	35420000
2	6720000000	6720000000	0	17	5320000000	5658100000	338100000
3	1960000000	1960000000	0	18	13230000000	13230000000	0
4	17360000000	17360000000	0	19	5040000000	5040000000	0
5	5292000000	5292000000	0	20	2240000000	2240000000	0
6	15680000000	15680000000	0	21	16100000000	17348800000	12488000000
7	16800000000	16800000000	0	22	3150000000	3150000000	0
8	7644000000	8195880000	551880000	23	2394000000	2394000000	0
9	3528000000	3629220000	101220000	24	6650000000	6650000000	0
10	9718800000	9718800000	0	25	1960000000	1960000000	0
11	6300000000	6300000000	0	26	9100000000	9100000000	0
12	3094000000	3094000000	0	27	4760000000	4760000000	0
13	1344000000	1344000000	0	28	11340000000	11340000000	0
14	18200000000	18200000000	0	29	14700000000	14700000000	0
15	1750000000	1750000000	0	30	3710000000	3710000000	0

۲-۴- کارایی هزینه و درآمد با شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل در DEA-R

نتایج نشان می‌دهد که ۱۲ پروژه کارای هزینه هستند. ٪۷۳ پروژه‌ها نیز کارایی بالای ٪۹۰ را کسب کرده‌اند و پروژه شماره ۱٤ با کارایی ۰٫۸٤۵۱ کمترین مقدار کارایی را داراست. نتایج مقدار کارایی هزینه واحدها با مدل با شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل با استفاده از *DEA-R* به شرح زیر است:

جدول ۸- مقدار کارایی هزینه با استفاده از شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل در DEA-R.

Table 8- Amount of cost efficiency using controllable and uncontrollable indicators in DEA-R.

شماره پروژه	کارایی	شماره پروژه	کارایی
1	0. 9455	16	0. 8588
2	0. 9178	17	0. 8717
3	0. 9139	18	1
4	0. 938	19	1
5	0. 9975	20	1
6	0. 9088	21	0. 8858
7	0. 9759	22	1
8	0. 868	23	0. 9577
9	0. 9348	24	0. 8645
10	1	25	0. 9817
11	1	26	1
12	1	27	0. 895
13	1	28	1
14	0. 8451	29	1
15	1	30	0. 8719

نتایج محاسبه کارایی درآمد واحدها نیز نشان می‌دهد که ۲۳ پروژه کارای درآمد هستند و تمام پروژه‌ها دارای کارایی مناسب بالای ٪۹۰ هستند. پروژه شماره ۸ با کارایی ٪۰٫۹۳۸۷ نیز کمترین کارایی را داراست. نتایج مقدار کارایی درآمد واحدها با مدل با شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل با استفاده از *DEA-R* در **جدول ۹** آورده شده است.

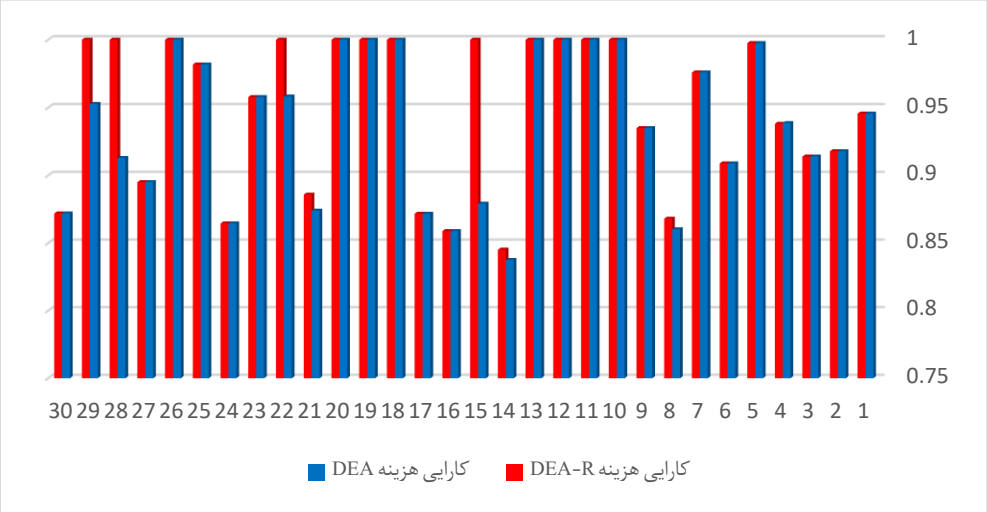
جدول ۹-مقدار کارایی درآمد با استفاده از شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل در DEA-R.

Table 9- Amount of revenue efficiency using controllable and uncontrollable indicators in DEA-R.

شماره پروژه	کارایی	شماره پروژه	کارایی
1	1	16	0. 9894
2	1	17	0. 9987
3	1	18	1
4	0. 9937	19	1
5	1	20	1
6	0. 9886	21	0. 9761
7	1	22	1
8	0. 9387	23	1
9	0. 9651	24	1
10	1	25	1
11	1	26	1
12	1	27	1
13	1	28	1
14	1	29	1
15	1	30	1

۳-۴- مقایسه نتایج کارایی هزینه و درآمد با شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل در DEA با DEA-R

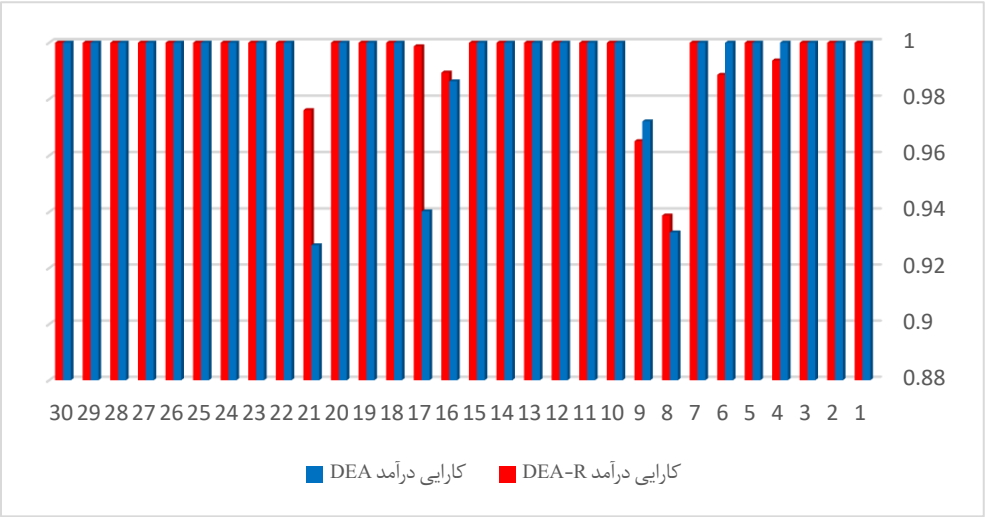
شکل‌های ۳ و **٤** به مقایسه نتایج کارایی هزینه و درآمد با شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل در *DEA* و *DEA-R* پرداخته است. مقایسه نتایج میان مدل کارایی هزینه و درآمد بر مبنای شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل در *DEA* و *DEA-R* نشان‌دهنده تفاوت میان نتایج این دو مدل است. به‌طور مثال در کارایی هزینه، کارایی واحدهای ۲۸ و ۲۹ به ترتیب برابر با ۰/۹۱۲۸ و ۰/۹۵۲٦ است ولی در مدل *DEA-R* این مقدار برای هر دو واحد برابر ۱ می‌باشد. در کارایی درآمد نیز به‌طور مثال کارایی واحد ٤ برابر ۱ است ولی در مدل *DEA-R*، ۰/۹۹۳۷ می‌باشد.



شکل ۳- مقایسه کارایی هزینه با شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل در DEA و DEA-R.

Figure 3 - Comparison of revenue efficiency DEA and DEA-R.

با ملاحظه نمودار فوق مقایسه‌ای منطقی برای کارایی هزینه در DEA و DEA-R برای شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل وجود ندارد اما مدل‌های پیشنهادی به‌منظور این‌که از نسبت‌های ورودی به خروجی استفاده می‌کنند می‌توانند حائز اهمیت باشد. در برخی از واحدهای تصمیم‌گیرنده ممکن است، رفتار مشابه ای در DEA و DEA-R وجود داشته باشد اما ملاکی برای مقایسه کلی نمی‌باشد.



شکل ۴- مقایسه کارایی درآمد با شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل در DEA و DEA-R.

Figure 4. Comparison of cost efficiency with controllable and uncontrollable indicators in DEA and DEA-R.

در **شکل ٤** ملاحظه می‌شود که مشابه با کارایی هزینه در برخی از واحدهای تصمیمی گیرنده رفتارهای مشابه ای برای کارایی درآمد وجود دارد اما ملاکی برای مقایسه کلی آن‌ها نمی‌باشد. به‌طورکلی حضور داده‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل امکان مقایسه کارایی هزینه (درآمد) در *DEA* و *DEA-R* را فراهم نمی‌کند.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در برخی از سازمان‌ها با شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل در ورودی‌ها و خروجی‌ها مواجه هستیم. ازاین‌رو استفاده از مدل‌های کلاسیک *DEA* برای محاسبه کارایی هزینه و درآمد مناسب نمی‌باشد؛ بنابراین تعدیل مدل‌های *DEA* می‌تواند منجر به نتیجه درستی شود. مدل*DEA-R* بر اساس نسبت‌های ورودی به خروجی یا بالعکس تعریف‌شده‌اند که داده‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل در مدل‌های کارایی هزینه و درآمد در *DEA-R* توانند حائز اهمیت باشند. لازم به ذکر است در *DEA-R* داده‌ها نسبتی نیستند اما نسبت‌های ورودی به خروجی یا بالعکس تعریف‌شده‌اند. در خاتمه مقایسه کارایی هزینه و درآمد بر اساس شاخص‌های قابل‌کنترل و غیرقابل‌کنترل در *DEA* و *DEA-R* انجام‌شده است. برای تحقیقات آتی محاسبه کارایی هزینه و درآمد در مدل‌های غیر شعاعی *DEA* و *DEA-R* پیشنهاد می‌شود.

منابع

Chavoshi, S. F., Mahmoud Zadeh, M., & Gholam Abri, A. (2019). Evaluation of e-commerce efficiency in Iranian provinces with data envelopment analysis approach. *Quarterly journal of economic research and policy*, *27*(89), 268-233**. (In Persian)**. https://www.sid.ir/FA/JOURNAL/ViewPaper.aspx?id=532552

Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2006). *Introduction to data envelopment analysis and its uses: with DEA-solver software and references*. Springer Science & Business Media. DOI:10.1007/0-387-29122-9

Despić, O., Despić, M., & Paradi, J. C. (2007). DEA-R: ratio-based comparative efficiency model, its mathematical relation to DEA and its use in applications. *Journal of productivity analysis*, *28*(1), 33-44. https://doi.org/10.1007/s11123-007-0050-x

Emami Meybodi, A. (2005). *Principles of measuring applied scientific efficiency and productivity*. Publications of the institute of business studies and research, Tehran, second edition. http://fipak.areeo.ac.ir/site/catalogue/18464709

Gilak Hakim Abadi, M. T., Asna Ashari, A., & Ahmadpour, H. (2016). Investigating the efficiency of commercial banks in Iran: a case study of Bank Saderat Mazandaran. *Journal of economic research*, *5*(3), 127-156**. (In Persian)**. https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=51303

Golpîra, H. (2013). Estimating duration of projects manual tasks using MODAPTS plus method. *International journal of research in industrial engineering*, *2*(1), 12-19.

Jaferi, F., Sajadi, S. M., Alinaghian, M., & Beyranvand, M. (2014). Investigation of project risk management in project-based organizations using the PMBOK Guideline case study: national gas company of lorestan province. *Journal of applied research on industrial engineering*, *1*(2), 50-58.

Kafi, F. (2010). *Identify and analyze the requirements of project-based organizations* (Master Thesis, Tarbiat Modares University). **(In Persian)**.https://elmnet.ir

Kalantari, N., Mohammadi Pour, R., Seyedi, M., Shiri, & Azizkhani, M. (2018). Evaluating the performance of the country's gas refineries in the fifth development plan with an efficiency approach and data envelopment analysis. *Journal of energy economics studies*, *14*(57). **(In Persian)**. http://iiesj.ir/article-1-923-fa.html

Kamarudin, F., Sufian, F., Nassir, A. M., Anwar, N. A. M., & Hussain, H. I. (2019). Bank efficiency in Malaysia a DEA approach. *Journal of central banking theory and practice*, *8*(1), 133-162. http://hdl.handle.net/10419/217668

Kayedpour, F., Sayadmanesh, SH., Salmani, Y., & Sadeghi, Z. (2020). Measure the effiviency and productivity of cement companies in Tehran stock exchange by data envelopment analysis and malmquist productivity index in gray environment. *Innovation management and operational strategies*, *1*(4), 363-382. **(In Persian)**. http://www.journal-imos.ir/article_127880.html

Liu, W. B., Zhang, D. Q., Meng, W., Li, X. X., & Xu, F. (2011). A study of DEA models without explicit inputs. *Omega*, *39*(5), 472-480. https://doi.org/10.1016/j.omega.2010.10.005

Mozaffari, M. R., Kamyab, P., Jablonsky, J., & Gerami, J. (2014). Cost and revenue efficiency in DEA-R models. *Computers & industrial engineering*, *78*, 188-194. https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.10.001

Mozaffari, M. R., Dadkhah, F., Jablonsky, J., & Wanke, P. F. (2020). Finding efficient surfaces in DEA-R models. *Applied mathematics and computation*, *386*, 125497. https://doi.org/10.1016/j.amc.2020.125497

Mozaffari, M. R., Ostovan, S., & Fernandes Wanke, P. (2020). A hybrid genetic algorithm-ratio DEA approach for assessing sustainable efficiency in two-echelon supply chains. *Sustainability*, *12*(19), 8075. https://doi.org/10.3390/su12198075

Naderi Pour, M. (2011). *Project management and application project planning and control*. Kohsar Publishing. **(In Persian)**. https://www.adinehbook.com/gp/product/9647652582

Nguyen, P. H., & Pham, D. T. B. (2020). The cost efficiency of Vietnamese banks–the difference between DEA and SFA. *Journal of economics and development*, *22*(2), 209-227. https://doi.org/10.1108/JED-12-2019-0075

Rahimi, R. (2020). Envelopment analysis of inverse data based on cost-effectiveness of the study: national Iranian gas company. *The first scientific conference on industrial management and engineering*. **(In Persian)**. https://civilica.com/doc/1044209/

Rahimi, Z., & Najafi, E. (2019). Measuring the efficiency and ranking of national projects in the construction industry using data envelopment analysis and TOPSIS techniques and comparing the results (case study, abadrahan pars company projects from 1393 to 1397). *International conference on industrial management and engineering strategies and challenges.* **(In Persian)**. https://civilica.com/doc/903466/

Sakthidharan, V., & Sivaraman, S. (2018). Impact of operating cost components on airline efficiency in India: a DEA approach. *Asia pacific management review*, *23*(4), 258-267. https://doi.org/10.1016/j.apmrv.2017.12.001

Torres-Samuel, M., Vásquez, C. L., Luna, M., Bucci, N., Viloria, A., Crissien, T., & Manosalva, J. (2020). Performance of education and research in Latin American countries through data envelopment analysis (DEA). *Procedia computer science*, *170*, 1023-1028. https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.079

Soleimani-Chamkhorami, K., & Ghobadi, S. (2021). Cost-efficiency under inter-temporal dependence. *Annals of operations research*, *302*, 289–312. https://doi.org/10.1007/s10479-021-03989-2

Tohidnia, S., & Tohidi, G. (2019). Measuring productivity change in DEA-R: a ratio-based profit efficiency model. *Journal of the operational research society*, *70*(9), 1511-1521. https://doi.org/10.1080/01605682.2018.1506561

Telles, E. S., Lacerda, D. P., Morandi, M. I. W. M., & Piran, F. A. S. (2020). Drum-buffer-rope in an engineering-to-order system: an analysis of an aerospace manufacturer using data envelopment analysis (DEA). *International journal of production economics*, *222*, 107500. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.09.021

Vafadar Asghari, M., Kord, B., & Salar Zehi, H. (2014). Evaluation of relative efficiency of Mehr housing projects using data envelopment analysis (DEA) technique; (Study of cities with more than 25,000 people in Sistan and Baluchestan province). *Economics and urban management*, *2*(5). (**In Persian**). http://ensani.ir/fa

Vali Zadeh Palang Saraei, F. (2020). A new approach to supplier selection: interval ranking of DEA whit double frontires. *Innovation management of operational strategies*, *1*(1), 17-37. **(In Persian)**. http://www.journal-imos.ir/article_120959.html

Wei, C. K., Chen, L. C., Li, R. K., & Tsai, C. H. (2011). Using the DEA-R model in the hospital industry to study the pseudo-inefficiency problem. *Expert systems with applications*, *38*(3), 2172-2176. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.08.003

Wei, C. K., Chen, L. C., Li, R. K., & Tsai, C. H. (2011). A study of developing an input-oriented ratio-based comparative efficiency model. *Expert systems with applications*, *38*(3), 2473-2477. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.08.036

Wei, C. K., Chen, L. C., Li, R. K., & Tsai, C. H. (2011). Exploration of efficiency underestimation of CCR model: Based on medical sectors with DEA-R model. *Expert systems with applications*, *38*(4), 3155-3160. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.08.108

Worthington, A. C., & Hurley, E. V. (2002). Cost efficiency in Australian general insurers: a non-parametric approach. *The British accounting review*, *34*(2), 89-108. https://doi.org/10.1006/bare.2002.0185

Zha, Y., Liang, N., Wu, M., & Bian, Y. (2016). Efficiency evaluation of banks in China: a dynamic two-stage slacks-based measure approach. *Omega*, *60*, 60-72. https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.12.008