Industrial Management Studies
Vol. 21, No.69, Summer 2023; P 199-233
jims.atu.ac.ir
DOI: 10.22054/jims.2023.67648.2788

ATU PRESS

Original Research
Accepted: 31/05/2023
Received: 12/05/2022
eISSN: 2476-602X
ISSN: 2251/8029

Efficiency Evaluation of Cement Production Companies Using Non-Homogeneous Network DEA

Homa Abedi Dehkordi — Ph.D. candidate in industrial management, Department of industrial management, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Ghasem Tohidi * — Associated Professor, Department of Mathematics, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Shabnam Razavyan — Associated Professor, Department of Mathematics, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Mohammadali Keramati — Associated Professor, Department of Industrial Management , central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abstract

Cement production in Iran takes place across various geographical locations, each characterized by distinct weather conditions. The technology employed in cement production varies depending on the availability of raw materials, fuel sources, and essential resources like water. Consequently, diverse inputs and outputs assume significance in each production technology, resulting in non-homogeneity among cement factories. Despite these differences, all these facilities are engaged in cement production, warranting a comparative analysis of their efficiency. This study examines the operational processes of five different cement production technologies—dry, semi-dry, humid, semi-humid, and wet slurry—across four companies comprising a total of nine factories. The study evaluates their efficiency between 2017 and 2020 using network data envelopment analysis under non-homogeneous conditions across three modeling stages. An important aspect of this study is its focus on the entire supply chain, from raw materials to the final product. Although the raw materials employed vary among different cement production technologies, the end product remains largely consistent.

* Corresponding Author: gh_tohidi@iauctb.ac.ir

How to Cite: Abedi Dehkordi, H., Tohidi, Gh., Razavyan, Sh., Keramati, M. (2023). Efficiency Evaluation of Cement Production Companies Using Non-Homogeneous Network DEA, *Industrial Management Studies, 21(69),* 199-233.

Introduction

In certain real-world scenarios, even with similar production technologies, the assumption of homogeneous decision-making units may not hold true. Practical applications often involve supply chain structures that differ significantly from others. For instance, some supply chains may, at certain stages, eject intermediate products to meet specific needs, a phenomenon not universal to all supply chains, resulting in non-homogeneous chains. The cement industry, including Iran, constitutes one of the pivotal economic sectors. Therefore, mitigating shortcomings, including resource and material waste reduction, can have a substantial impact on this industry and consequently on the broader economy. Due to varying climatic conditions, cement production employs diverse technologies, primarily categorized as dry or wet processes. This study investigates the operational processes of five different cement production methods—dry, semi-dry, humid, semi-humid, and wet slurry—across four companies with a total of nine factories. Their performance between 2017 and 2020 is evaluated using network DEA under non-homogeneous conditions, encompassing three modeling stages.

Materials and Methods

In novel approaches, DEA is utilized to assess the performance of network decision-making units. The models typically assume homogeneity among decision-making units, which may not always align with real-world conditions. Practical situations often violate assumptions of unit homogeneity and uniformity in input and output parameters. Consequently, it is imperative to present and employ methods and models capable of accommodating non-homogeneous units. This study employs a scientific library research approach and practical purposive data collection to gather relevant information. This information informs specific adjustments to operational processes. Consequently, the development of a robust system for evaluating supply chain performance becomes essential. The study utilizes common models to evaluate efficiency under non-homogeneous conditions. Classification of operational processes and related data, followed by modeling using Lingo software, is employed in this research.

Discussion and Result:

This article consists of two parts. Initially, it introduces the fundamental performance evaluation model and subsequently delves into the three-stage model of data envelopment analysis (DEA) within the supply chain context. In the second part, the production processes of Portland cement are examined, covering dry, semi-dry, humid, semi-humid, and wet slurry processes. The proposed approach assesses the performance of four cement production companies over a four-year period. Efficiency calculations for

nine factories are conducted in three stages:

The first stage consists of three steps as follows:

- First step: Input and output parameters used across the entire production process are categorized based on the different production methods.
- Second step: Processes utilizing similar production steps, as determined in the first stage, are grouped into four categories.
- Third step: Efficiency assessments for factories sharing similar production stages from the previous step are conducted, resulting in the identification of nine categories.

Second stage: The efficiency of each category, characterized by a common feature from the previous step, is calculated.

Third stage: To determine the overall efficiency of each factory, the efficiencies of individual processes are multiplied.

Conclusions

The results indicate that the fourth cement production company exhibits the highest efficiency, while the first company has the lowest efficiency. Notably, the lowest efficiency for the years 2017 to 2020 was recorded by the first company in 2020, while the fourth company achieved the highest efficiency in the same year. Among the factories, the lowest efficiency was observed in 2017 for the first company's five semi-dry factories, the fourth company's four semi-humid factories in 2018, the fourth company's nine wet slurry factories in 2018, the third company's seven semi-humid factories in 2020, and the fourth company's four semi-humid factories in 2020, which recorded the highest efficiency. Further examination and identification of suitable solutions to enhance efficiency in cases with lower efficiency levels can follow this study.

Keywords: Efficiency, Network DEA, Non-homogeneous DEA, Supply Chain.

مقاله پژوهشی

تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۲/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۱۰

ISSN: 2251/8029

eISSN: 2476-602X

مطالعات مدیریت صنعتی

سال بیست و یکم، شماره ۶۹، تابستان ۱۴۰۲، ص ۱۹۹ تا ۲۳۳

jims.atu.ac.ir

DOI: 10.22054/jims.2023.67648.2788

ارزیابی کارایی شرکت‌های تولیدکننده سیمان با استفاده از رویکرد تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای ناهمگن

هما عابدی دهکردی — دانشجوی دکتری رشته مدیریت صنعتی، گرایش سیستم، دانشگاه آزاد واحد تهران مرکزی، تهران، ایران

قاسم توحیدی * — دانشیار گروه ریاضی کاربردی ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران

شبنم رضویان — دانشیار گروه ریاضی کاربردی ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران

محمدعلی کرامتی — دانشیار گروه مدیریت صنعتی ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران

چکیده

کارخانه‌های سیمان در گوشه و کنار ایران پراکنده شده است و بنابراین، محصول سیمان در شرایط آب و هوایی متفاوت تولید می‌گردد. فناوری‌های تولید سیمان با توجه به دسترسی به نوع مصالح، سوخت و ازجمله منبع مهمی چون آب متفاوت است. بر این اساس، ورودی‌ها و خروجی‌های متفاوتی در هر یک از فناوری‌ها قابل‌ملاحظه است که باعث ایجاد ناهمگنی مراحل تولید بین کارخانه‌های می‌شود و ازآنجاکه همگی کار تولید سیمان را انجام می‌دهند، لازم است با یکدیگر مقایسه شوند. در این پژوهش، فرآیندهای عملیاتی پنج شیوه خشک، نیمه‌خشک، مرطوب، مرطوب دوغابی و نیمه مرطوب در چهار شرکت دارای مجموعاً نه کارخانه موردمطالعه قرار گرفته است و کارایی آن‌ها با توجه به اطلاعات موجود از سال ۱۳۹۶ تا سال ۱۳۹۹ بر اساس تحلیل پوششی شبکه‌ای داده‌ها در شرایط ناهمگن و به‌صورت سه‌مرحله‌ای، پس از مدل‌سازی محاسبه گردید. از مهم‌ترین ویژگی‌های این پژوهش می‌توان به تمرکز بر زنجیره تأمین از مواد

* نویسنده مسئول: gh_tohidi@iauctb.ac.ir

خام متنوع تا محصول نهایی اشاره کرد. گرچه بر اساس فناوری‌های یادشده، مواد خام اولیه در فناوری‌های مختلف تولید سیمان متفاوت است، لیکن محصول نهایی تقریباً یکسان است.

کلیدواژه‌ها: کارایی، تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای، تحلیل پوششی داده‌های ناهمگن، زنجیره تأمین، سیمان.

۱. مقدمه

ارزیابی کارایی شیوه‌ای معمول در کسب‌وکار و تمدن بشری است (Farrell, 1957). تاکنون طیف گسترده‌ای از روش‌های محاسبه و تحلیل کارایی در سازمان‌های مختلف ابداع و به کار گرفته‌شده است. یک کسب‌وکار از طریق اندازه‌گیری کارایی زیرمجموعه‌های مختلف می‌تواند از اثربخشی شیوه‌های مدیریتی خودآگاه شود (Ye et al., 2018).

تاکنون، مدل‌های متعددی از تحلیل پوششی داده‌ها برای انواع مختلف مسائل در شرایط واقعی ارائه‌شده است (Song et al., 2018). در رویکردهای سنتی مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها، ساختارهای داخلی واحدهای تصمیم‌گیرنده نادیده گرفته می‌شد و این واحدها به‌عنوان جعبه سیاه مورد ملاحظه قرار می‌گرفت. در رویکردهای نوین، برای اندازه‌گیری کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده شبکه‌ای از تحلیل پوششی داده‌ها استفاده می‌شود. کائو و هوانگ[1] (۲۰۱۰) رویکردهای شبکه‌ای تحلیل پوششی داده‌ها را به سه دسته تقسیم کرده‌اند. در دسته اول، تشخیص فرآیندهای شبکه مورد ملاحظه قرار می‌گیرد، اما کارایی کلی و فردی به‌طور مستقل از طریق مدل‌های معمولی تحلیل پوششی داده‌ها محاسبه می‌شود. در دسته دوم، برای محاسبه کارایی، فعل‌وانفعالات بین فرآیندها به روشی پیوسته در نظر گرفته می‌شود. در دسته سوم، نوعی رابطه ریاضی بین کارایی کلی و کارایی مؤلفه‌ها در نظر گرفته می‌شود. بااین‌حال، مدل‌های ارائه‌شده در اینجا بر اساس فرض همگنی واحدهای تصمیم‌گیرنده است و ممکن است با واقعیت همخوانی چندانی نداشته باشد. بنابراین، در سال‌های اخیر، با تمرکز بر ناهمگنی واحدهای تصمیم‌گیرنده، پژوهش‌های گسترده‌ای صورت گرفته است (Jablonsky, 2019). در عمل نیز، کسب‌وکارها یا واحدهای تصمیم‌گیرنده مشابه از فرآیندهای اجرایی و ساختارهای متفاوتی استفاده می‌کنند (Zhu et al., 2019).

بنابراین، ممکن است شرایطی پیش بیاید که در آن‌ها مفروضاتی ازجمله همگن و

1. Kao & Hwang

مشابه بودن ورودی‌ها و خروجی‌های واحدهای تصمیم‌گیرنده نقض شود. با توجه به این فرض که همه ورودی‌ها روی همه خروجی‌ها تأثیر می‌گذارد، چنانچه در یک محیط تولیدی یکی از ورودی‌ها اقلام بسته‌بندی باشد، واضح است که این ورودی تنها بر خروجی‌هایی که به بسته‌بندی نیاز دارد، تأثیر می‌گذارد. همین‌طور ممکن است برخی واحدهای تصمیم‌گیرنده، ترکیبی متفاوت ازآنچه در واحدهای دیگر تولید می‌شود، تولید کنند. به‌عنوان‌مثال، در کارخانه‌های فولادی، انواع ورق، لوله، پروفیل، نبشی و اقلام دیگر تولید می‌شود که طبعاً حاکی از نوعی ناهمگنی در سمت خروجی است. در شرایط ناهمگنی نمی‌توان به نتایج منطقی لازم دست‌یافت و درک درستی از عملکردهای برتر پیدا کرد. بر این اساس، به‌جای نادیده گرفتن ناهمگنی مشاهده‌شده، استفاده از مدل مناسب مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها پیشنهاد می‌شود (Zhu et al., 2019).

در این راستا، کوک و همکاران [1](۲۰۱۳) از مدل تحلیل پوششی داده‌ها برای ناهمگنی مشاهده‌شده در خروجی‌های چند واحد تصمیم‌گیرنده استفاده کردند.

و در ادامه، لی و همکاران [2](۲۰۱۶) مدلی مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها را برای ارزیابی کارایی بر اساس ناهمگنی مشاهده‌شده در ورودی ارائه کرده‌اند.

ژو و همکاران[3] (۲۰۱۷) به‌جای استفاده از اندازه‌گیری شعاعی، یک مدل کارایی متقاطع را برای تعیین رتبه واحدهای تصمیم‌گیرنده دارای ناهمگنی در سمت خروجی یا ورودی ارائه کرده‌اند. در تمامی بررسی‌های یادشده، یک جعبه سیاه برای فرآیندهای اجرایی واحدهای تصمیم‌گیرنده در نظر گرفته‌شده است؛ بدین معنا که فقط داده‌های ورودی و خروجی مدنظر قرار می‌گیرد. اینکه چگونه ورودی‌ها و خروجی‌ها دقیقاً به یکدیگر مرتبط هستند، در تحلیل مورد ملاحظه واقع نمی‌شود. نادیده گرفتن ارتباط فعالیت‌ها در میان بخش‌های داخلی را یکی از ضعف‌های عمده مدل تحلیل پوششی داده‌ها می‌توان تلقی کرد. ازاین‌رو، چنانچه تصور شود در چند واحد تصمیم‌گیرنده، ورودی‌ها و خروجی‌ها مشابه باشند، اما ساختار داخلی متفاوت باشد که در این صورت، واحدهای

1. Cook, et al.
2. Li, et al.
3. Zhu, et al.

مزبور همگن تلقی می‌شود و این به نحو آشکاری با شرایط واقعی فرق می‌کند.

نظام‌های کاری شبکه‌ای دارای ساختار سری، موازی و ترکیبی اغلب ناهمگن به شمار می‌آید. تحلیل کارایی در این نوع از مدل‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. دو و همکاران[1] (۲۰۱۵) و برات و همکاران[2] (۲۰۱۸) بر ناهمگنی در شرایط شبکه‌ای بودن نظام کاری واحدهای تصمیم‌گیرنده تمرکز کرده‌اند. مقاله سینگ و رنجن[3] (۲۰۱۷) نیز به ناهمگنی در نظام‌های کاری موازی برای ارزیابی عملکرد آموزش عالی پرداخته است.

هوانگ و همکاران[4] (۲۰۱۶) پژوهشی کاربردی را برای ارزیابی هتل‌های تایوان با فرض ناهمگنی واحدهای تصمیم‌گیرنده در چارچوب دو گروه هتل انجام داده‌اند. لی و همکاران[5] (۲۰۱۸) نیز به ارزیابی کارایی بیمارستان‌های ناهمگن هنگ‌کنگ پرداخته‌اند. سان و همکاران[6] (۲۰۱۷) از تحلیل پوششی داده‌ها در شرایط ناهمگنی واحدهای تصمیم‌گیرنده عملکرد نظام بانکی را ارزیابی کرده‌اند. چن و همکاران (۲۰۱۸) روشی را برای ارزیابی کارایی دو گروه غیر همگن پیشنهاد کرده‌اند و نحوه اجرای آن را در مثالی از محیط دانشگاهی نشان داده‌اند. رمضانیان و همکاران (۱۳۹۸) نیز در پژوهش خود با عنوان بررسی کارایی مدیریت بانک ها با استفاده از رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها (مطالعه موردی شعب مختلف بانک‌های تهران) بر اساس رویداد جعبه سیاه به ارزیابی کلی و جزئی ۱۹ شعبه از بانک‌های خصوصی پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که مدل‌های جمعی شبکه‌ای تعداد واحدهای کارایی کمتری را در مقایسه با مدل جمعی ساده دارند. همچنین کارایی به‌دست‌آمده در مدل جمعی شبکه‌ای در مقایسه با مدل جمعی ساده مقدار دقیق‌تری را در اختیار مدیران قرار می‌دهد که بتوانند با شناسایی ناکارایی هر بخش ضعف‌های آن را برطرف نمایند.

در عمل، در کسب‌وکارهای مختلف، نظام‌های کاری پیچیده است و مشتمل بر

1. Du و et al.
2. Barat, et al.
3. Singh & Ranjan
4. Huang, et al.
5. Li, et al.
6. Sun, et al.

زیرسیستم‌ها و فرآیندهای جزئی است و این امر محاسبات مربوط به کارایی را دشوار می‌سازد. در روش‌های کلاسیک از ساختار داخلی صرف‌نظر می‌شود، اما برای کنترل و مدیریت وضعیت، در نظر گرفتن این جزییات ضروری است (Kao, 2017).

ازآنجایی‌که تحلیل پوششی داده‌ها یکی از پرکاربردترین روش‌های سنجش کارایی می‌باشد، لذا با شناسایی نقاط قوت و ضعف، پیشنهادهایی جهت بهبود و یا برطرف نمودن ضعف کارایی سازمان‌ها ارائه داده و یاری‌رسان مدیران در این زمینه می‌باشد. بااین‌وجود در بعضی از مسائل دنیای واقعی، حتی باوجود داشتن تکنولوژی تولید یکسان، فرض همگن بودن واحدهای تصمیم‌گیرنده ممکن است برقرار نباشد. در کاربردهای عملی با ساختارهای زنجیره تأمین مواجه می‌شویم که در بعضی از مراحل با بقیه زنجیره‌های تأمین مشابه نیستند. به‌عنوان‌مثال، زنجیره‌های تأمین ممکن است در بخشی از مراحل بعضی از تولیدات میانی را در جهت ارضاء نیاز بازار به بیرون از زنجیره هدایت کنند درحالی‌که این موضوع لزوماً در مورد تمامی زنجیره‌ها رخ نمی‌دهد و این منجر به ایجاد زنجیره‌های ناهمگن در یک موضوع خاص می‌شود و یا اینکه در بین تعدادی از زنجیره‌های تأمین مشابه ممکن است در بعضی از مراحل علاوه بر عوامل میانی از ورودی‌های بیرونی هم استفاده می‌شود. در چنین حالتی نیز زنجیره‌های تأمین لزوماً همگن نیستند. با توجه به اهمیت مدیریت زنجیره تأمین در حوزه‌های صنعت، معدن و تجارت در این مقاله هدف بر آن است با به‌کارگیری رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها که یکی از رویکردهای نوین در ارزیابی کارایی شرکت‌ها محسوب می‌شود به ارزیابی کارایی و عملکرد زنجیره‌های تأمین ناهمگن پرداخته شود. بررسی و ارزیابی عملکرد این زنجیره‌ها منجر به ارائه مدل‌های جدید می‌گردد و نتایج حاصل از این ارزیابی‌ها می‌تواند در مدیریت و بهبود زنجیره‌های تأمین پیشنهادهای اجرایی مناسب را به مدیران مربوطه ارائه دهد. صنعت سیمان یکی از مهم‌ترین کسب‌وکارها در هر کشوری ازجمله ایران است. سیمان در اغلب فعالیت‌های سازه‌ای از مصالح پرکاربرد است. بنابراین، وجود هرگونه ضعف یا قوت در این بخش، تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر سایر فعالیت‌های اقتصادی بر جای خواهد گذاشت. در اقتصاد

رقابتی امروز، مدیریت زنجیره تأمین در صنعت سیمان به‌عنوان عاملی کلیدی برای دستیابی به اهدافی مانند ایجاد مزیت‌های رقابتی، بهبود کیفیت محصول و افزایش سودآوری قلمداد می‌گردد و ازاین‌رو، این صنعت بایستی خود را با استانداردهای بین‌المللی تطبیق دهد تا بیشترین ارزش‌افزوده را برای سهامداران حاصل کند و به بالاترین بازده سرمایه‌گذاری دست یابد (جمالی و کریمی اصل، ۱۳۹۷). از طرف دیگر، معادن مرتبط با سیمان در گوشه و کنار کشور وسیع ایران پراکنده شده است و بنابراین، محصول سیمان در اقلیم‌ها و شرایط آب و هوایی متفاوت تولید می‌گردد. فناوری‌های تولید سیمان با توجه به دسترسی به نوع مصالح، سوخت و ازجمله منبع مهمی چون آب متفاوت است و بر این اساس، ورودی‌ها و خروجی‌های متفاوتی در هر یک از فناوری‌ها قابل‌ملاحظه است که باعث ایجاد ناهمگنی بین کارخانه‌های می‌شود. گرچه بر اساس فناوری‌های یادشده، مواد خام اولیه در فناوری‌های مختلف تولید سیمان متفاوت است، لیکن محصول نهایی تقریباً یکسان است که باید با یکدیگر مقایسه شوند .در این پژوهش، فرآیندهای عملیاتی تولید سیمان در پنج شیوه‌ی خشک، نیمه‌خشک، مرطوب، مرطوب دوغابی و نیمه مرطوب در چهار شرکت دارای مجموعاً نه کارخانه موردبررسی قرار گرفته است و کارایی آن‌ها با توجه به اطلاعات موجود از سال ۱۳۹۶ تا سال ۱۳۹۹ بر اساس تحلیل پوششی شبکه‌ای داده‌ها در شرایط ناهمگن و به‌صورت سه‌مرحله‌ای ، پس از مدل‌سازی محاسبه گردیده است.

۲. پیشینه پژوهش

در این مقاله، پیشینه پژوهش مبتنی بر دو قسمت می‌باشد. ابتدا به مدل اساسی اولیه در حوزه ارزیابی عملکرد و سپس به مدل سه مرحله‌ای تحلیل پوششی داده‌ها در زنجیره تأمین اشاره می‌شود. در قسمت دوم، فرآیند تولید سیمان پرتلند، در قالب فرآیندهای خشک، نیمه‌خشک، مرطوب، مرطوب دوغابی و نیمه مرطوب مورد ملاحظه و بررسی قرار می-گیرد.

۲. ۱ مدل اولیه و مدل سه مرحله‌ای تحلیل پوششی داده‌ها:

مدل کلاسیک تحلیل پوششی داده‌ها ابتدا توسط چارنز و همکاران[1] (۱۹۷۸) ارائه شد و در آن، همگنی واحدهای تصمیم‌گیرنده به‌عنوان پیش‌فرض لحاظ گردید. مدل پیشنهادی آن‌ها تحت عنوان مدل CCR به شرح زیر است:

$$\max \theta_q = \frac{\sum_{k=1}^{r} u_k y_{kq}}{\sum_{j=1}^{m} v_j x_{jq}}$$

$$s.t.$$

$$\frac{\sum_{k=1}^{r} u_k y_{ki}}{\sum_{j=1}^{m} v_j x_{ji}} \le 1, i = 1,...,n$$

$$v_j \ge \varepsilon,\ j = 1,...,m$$

$$u_k \ge \varepsilon, k = 1,...,r$$

این مدل خطی نیست و ازاین‌رو، لازم است با استفاده از روش پیشنهادی چارنز- کوپر به مدلی خطی به‌صورت زیر تبدیل شود:

$$\max \theta_q = \sum_{k=1}^{r} u_k y_{kq}$$

$$st:$$

$$\sum_{k=1}^{r} u_k y_{ki} - \sum_{j=1}^{m} v_j x_{ji} \le 0, i = 1,...,n$$

$$\sum_{j=1}^{m} v_j x_{jq} = 1$$

$$v_j \ge \varepsilon,\ j = 1,...,m$$

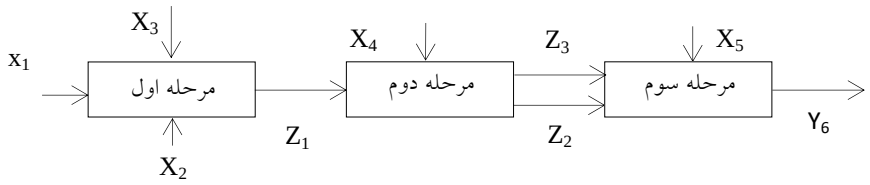
$$u_k \ge \varepsilon, k = 1,...,r$$

1- Charnes, et al.

برای سیستم‌هایی که از چند فرآیند تشکیل شده‌اند، استفاده از مدل کلاسیک تحلیل پوششی داده‌ها به علت نادیده گرفتن فرآیندهای داخلی سیستم مناسب نمی‌باشد. به‌منظور تحلیل دقیق‌تر، سیستم های چند مرحله‌ای در این حوزه مورداستفاده قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه، مطالعه موردی در این پژوهش ارزیابی کارخانه‌های تولید سیمان بوده و فرآیند تولید سیمان در قالب زنجیره تأمین سه مرحله‌ای می‌باشد. لذا، از مدل‌های شبکه سه مرحله-ای برای ارزیابی سیستم استفاده می‌شود.

کارایی پنج فرآیند عملیاتی تولید سیمان، (خشک، نیمه‌خشک، مرطوب، مرطوب دوغابی و نیمه مرطوب) در چهار شرکت دارای مجموعاً نه کارخانه طی چهارسال از سال ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ بر اساس تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای در شرایط ناهمگن و به‌صورت سه‌مرحله‌ای، پس از مدل‌سازی محاسبه گردیده است. برای نمونه، نحوه محاسبه کارایی در زنجیره تأمین سه مرحله‌ای در یکی از این فرآیندها موردبررسی قرار می‌گیرد.

شکل۱: زنجیره تأمین سه مرحله‌ای



در این زنجیره ورودی‌های اولیه با x_i، خروجی‌های واسطه با z_f و خروجی نهایی با y_r نشان داده می‌شود در شکل ۱ ورودی‌های مرحله اول x_1, x_2, x_3 با یکدیگر ترکیب و خروجی میانی z_1 را تولید می‌کند. در مرحله دوم، خروجی میانی z_1 با ورودی جدید x_4 ترکیب و خروجی‌های میانی مرحله دوم و ورودی‌های مرحله سوم را تولید می‌کنند و درنهایت خروجی‌های میانی مرحله دوم z_2, z_3 با ورودی مرحله سوم x_5 ترکیب و خروجی نهایی y_6 تولید می‌شود. مدل (۱) فرآیند ۳ مرحله‌ای در زنجیره تأمین سه

مرحله‌ای را نشان می‌دهد.

مدل (۱) تحت بازده به مقیاس ثابت و ورودی گرا CCR برای اندازه‌گیری کارایی DMU_k می‌باشد که در آن v_i وزن‌های متغیر ورودی، u_r وزن‌های متغیر خروجی، w_f وزن محصولات میانی می‌باشد.

$$
\begin{aligned}
&E_k = \max \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rk} \\
&st: \\
&\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ik} = 1 \\
&\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \le 0,\ j = 1,\ldots,n \\
&\sum_{f=1}^{g} w_f z_{fj}^{(1)} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^{(1)} \le 0,\ j = 1,\ldots,n \\
&\sum_{f=1}^{g} w_f z_{fj}^{(2)} - (\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^{(2)} + \sum_{f=1}^{g} w_f z_{fj}^{(1)}) \le 0,\ j = 1,\ldots,n \\
&\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}^{(3)} - (\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}^{(3)} + \sum_{f=1}^{g} w_f z_{fj}^{(2)}) \le 0,\ j = 1,\ldots,n \\
&u_r, v_i, w_f \ge \varepsilon, r = 1,\ldots,s, i = 1,\ldots,m,\ f = 1,\ldots,g
\end{aligned}
\qquad (۱)
$$

با حل مدل (۱) و به‌دست‌آمده آوردن وزن‌های بهینه v_i^*، u_r^* و w_f^*، از رابطه (۲) کارایی نسبی کل سیستم و کارایی مراحل (۱)،(۲) و (۳) به ترتیب از روابط (۳)، (۴) و (۵) محاسبه می‌شود.

$$
E_K = \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r^* y_{rk}}{\sum_{i=1}^{m} v_i^* x_{ik}} \qquad (۲)
$$

$$E_k^{(1)} = \frac{\sum_{f=1}^{g} w_f^* z_{fk}^{(1)}}{\sum_{i=1}^{m} v_i^* x_{ik}^{(1)}} \quad (۳)$$

$$E_k^{(2)} = \frac{\sum_{f=1}^{g} w_f^* z_{fk}^{(2)}}{\sum_{i=1}^{m} v_i^* x_{ik}^{(2)} + \sum_{f=1}^{g} w_f^* z_{fk}^{(1)}} \quad (۴)$$

$$E_K^{(3)} = \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r^* y_{rk}^{(3)}}{\sum_{i=1}^{m} v_i^* x_{ik}^{(3)} + \sum_{f=1}^{g} w_f^* z_{fk}^{(2)}} \quad (۵)$$

۲. ۲ فرآیند تولید سیمان پرتلند

ازنظر شیمیایی اجزای اصلی سیمان شامل ترکیبی از سیلیکات کلسیم و مقدار کمی کلسیم آلومینات است که با آب واکنش داده و سخت می‌شود. کلسیم به‌عنوان منبع سیلیس و آلومینا از سنگ‌آهک و رس، یا خاکستر و شیل حاصل می‌شود. ترکیب این مواد با اضافه کردن درصدی ژیپس یا بلور سولفات کلسیم برای دیرگیر کردن، سیمان را به‌وجود می‌آورد. گرچه بسیاری از تولیدکنندگان سیمان کارخانه خود را در نزدیکی معادن سنگ‌آهک بنا می‌کنند، ولی بسیاری از آن‌ها از معادن دیگر هم استفاده می‌کنند. از این گذشته در هر معدن، مواد یکدست نیست و در قسمت‌های مختلف آن مواد مختلفی وجود دارد. سنگ‌آهک معادن مختلف ازنظر کیفیت، ضخامت و ترکیبات شیمیایی با یکدیگر تفاوت داشته که این امر منجر به تفاوت در کیفیت سیمان‌های مختلف می‌شود. در برخی

از کشورها سنگ‌آهک کربنیک منبع اصلی مواد خام سیمان به شمار می‌رود. منابع اصلی دیگر سنگ‌آهک، سنگ‌آهک دوران کرتاسه (دوران دوم زمین‌شناسی) یا همان چالک است. چالک یا گچ یک ماده متخلل بوده و اغلب دارای رطوبت بالایی است درنتیجه استفاده از این ماده منجر به تولید نیمه‌خشک سیمان می‌گردد. سنگ شیل به‌عنوان ماده‌ای دیگر در تولید سیمان، یک نوع سنگ رسوبی خالص است که از ذرات ریز (اندازه ذرات کمتر از ۱,۲۷۵ میلی‌متر) سیلت، رس وکوارتز تشکیل شده است. ژیپس، بلور سولفات کلسیم معدنی نرم است که از کلسیم کربنات آبدار تشکیل شده است و در انتها به ترکیبات افزوده می‌شود.

۳. روش پژوهش

این پژوهش ازنظر روش کاربردی است. به‌طور ویژه، با استفاده از رویکرد پیشنهادی در این پژوهش برای ارزیابی کارایی بنگاه‌های مختلف سود جست و وضعیت کارایی هر بنگاه و فرآیندهای آن را محاسبه و با بقیه مقایسه نمود. ازنظر گردآوری اطلاعات، این پژوهش کتابخانه‌ای و میدانی است. با استفاده از این اطلاعات می‌توان به اصلاح بخش‌های مشخصی از فرآیندهای اجرایی پرداخت. مدل‌های مورداستفاده در این پژوهش از بررسی پیشینه موضوع حاصل شده است و در انجام پژوهش به عملکرد چهار شرکت تولید سیمان طی بازه‌ای چهارساله با اعداد و ارقام تغییریافته و بعضاً فرضی در کارخانه‌های و فرآیندهای مختلف پرداخته شده است. در این پژوهش، از مدل‌های رایج در ارزیابی کارایی در شرایط ناهمگن، از طریق دسته‌بندی فرآیندهای اجرایی و داده‌های مربوط استفاده شده است و با استفاده از نرم‌افزار لینگو مدل‌سازی انجام شده است.

۳. ۱ محاسبه کارایی

برای محاسبه کارایی ۹ کارخانه، ۳ مرحله انجام شده است که مرحله اول در ۳ گام به‌صورت زیر اجرا شده است:

مرحله اول: همگن‌سازی، مرحله همگن‌سازی در ۳ گام به‌صورت زیر انجام شده

است:

گام اول: ورودی‌ها و خروجی‌هایی که در کل مراحل تولید در پنج فرآیند استفاده شده است، بر اساس فرآیندهای تولیدی مختلف تفکیک می‌شود. گام دوم: با توجه به گام ۱ فرآیندهایی که از مراحل تولیدی مشابه استفاده کرده‌اند در ۴ دسته قرار داده می‌شود. گام سوم: به‌منظور ارزیابی کارخانه‌های دارای فناوری‌های مشابه، کارخانه‌هایی را که دارای مراحل تولیدی مشابه هستند، دسته‌بندی کرده که درنهایت ۹ دسته مشخص می‌شود.

مرحله دوم: کارایی هر دسته که در مرحله قبل دارای ویژگی مشترکی هستند، محاسبه می‌شود.

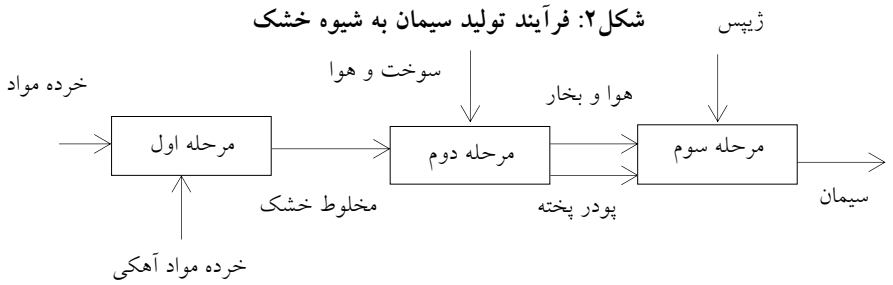
مرحله سوم: برای محاسبه کارایی کل هر کارخانه، کارایی فرآیندها در هم ضرب شده است:

$$E_k = E_K^1 \times E_K^2 \times E_K^3$$

۳. ۲ زنجیره‌های تأمین فرآیند تولید سیمان

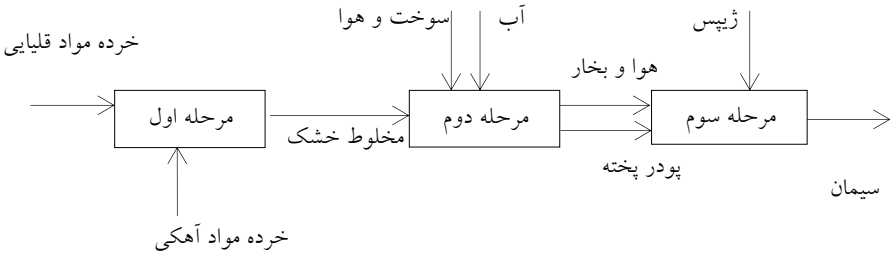
در این پژوهش عملکرد چهار شرکت تولید سیمان طی چهار سال در قالب فرآیندهای خشک، نیمه‌خشک، مرطوب، مرطوب دوغابی و نیمه مرطوب مورد ملاحظه و بررسی قرار گرفته است. برخی از این شرکت‌ها فقط از یک شیوه تولید و برخی دیگر از هر دو شیوه تولید استفاده می‌کنند. زنجیره‌های تأمین به‌صورت زیر نشان داده‌شده که نشان‌دهنده روش‌های مختلف تولید سیمان از طریق پنج روش با به‌کارگیری ورودی‌ها و خروجی‌های متفاوت در هر مرحله می‌باشد.

شکل۲: فرآیند تولید سیمان به شیوه خشک



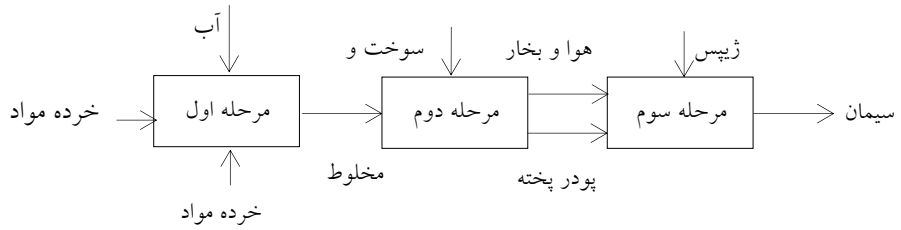
در فرایند تولید سیمان با استفاده از فرآیند تولید خشک، در مرحله اول خرده مواد آهکی و خرده مواد قلیایی به‌عنوان ورودی مرحله اول با یکدیگر ترکیب می‌شود و مخلوط خشک به‌عنوان خروجی مرحله اول تولید می‌شود، در مرحله دوم، مخلوط خشک، خروجی مرحله اول با سوخت و هوا به‌عنوان ورودی مرحله دوم ترکیب و طی آن هوا و بخار و پودر پخته به‌عنوان خروجی مرحله دوم تولید می‌شود و با ژیپس که ورودی مرحله سوم است، ترکیب و درنهایت سیمان تولید می‌شود.(شکل ۲)

شکل ۳: فرآیند تولید سیمان به شیوه نیمه‌خشک



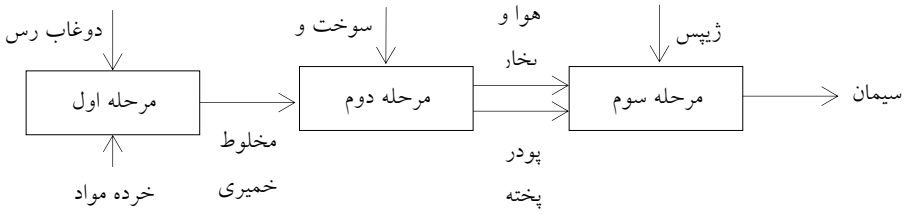
در فرآیند تولید سیمان با استفاده از فرآیند تولید نیمه‌خشک، در مرحله اول خرده مواد آهکی و خرده مواد قلیایی به‌عنوان ورودی مرحله اول با یکدیگر ترکیب می‌شود و مخلوط خشک به‌عنوان خروجی مرحله اول تولید می‌شود، در مرحله دوم، مخلوط خشک، خروجی مرحله اول با سوخت و هوا و آب به‌عنوان ورودی مرحله دوم ترکیب و طی آن هوا و بخار و پودر پخته به‌عنوان خروجی مرحله دوم تولید می‌شود و با ژیپس که ورودی مرحله سوم است، ترکیب و درنهایت سیمان تولید می‌شود. (شکل ۳)

شکل٤: فرآیند تولید سیمان به شیوه مرطوب



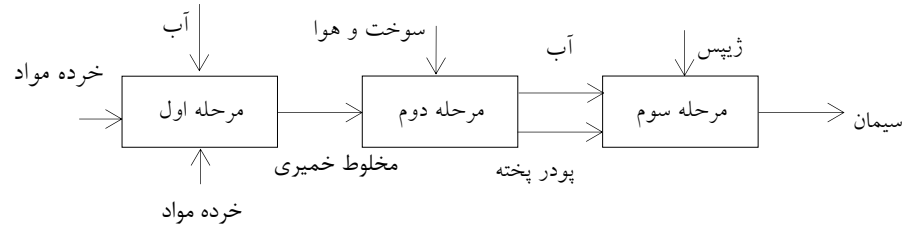
در فرآیند تولید سیمان با استفاده از فرآیند تولید مرطوب، در مرحله اول خرده مواد آهکی، خرده مواد قلیایی و آب به‌عنوان ورودی مرحله اول با یکدیگر ترکیب می‌شود و مخلوط خمیری به‌عنوان خروجی مرحله اول تولید می‌شود، در مرحله دوم، مخلوط خمیری، خروجی مرحله اول با سوخت و هوا به‌عنوان ورودی مرحله دوم ترکیب و طی آن هوا و بخار و پودر پخته به‌عنوان خروجی مرحله دوم تولید می‌شود و با ژیپس که ورودی مرحله سوم است، ترکیب و درنهایت سیمان تولید می‌شود. (شکل ۴)

شکل ۵: فرآیند تولید سیمان به شیوه مرطوب دوغابی



در فرآیند تولید سیمان با استفاده از فرآیند تولید مرطوب دوغابی، در مرحله اول خرده مواد آهکی و دوغاب رس به‌عنوان ورودی مرحله اول با یکدیگر ترکیب می‌شود و مخلوط خمیری به‌عنوان خروجی مرحله اول تولید می‌شود، در مرحله دوم، مخلوط خمیری، خروجی مرحله اول با سوخت و هوا به‌عنوان ورودی مرحله دوم ترکیب و طی آن هوا و بخار و پودر پخته به‌عنوان خروجی مرحله دوم تولید می‌شود و با ژیپس که ورودی مرحله سوم است، ترکیب و درنهایت سیمان تولید می‌شود. (شکل ۵)

شکل ٦: فرآیند تولید سیمان به شیوه نیمه‌مرطوب



در فرآیند تولید سیمان با استفاده از فرآیند تولید نیمه مرطوب، در مرحله اول خرده مواد آهکی، خرده مواد قلیایی و آب به‌عنوان ورودی مرحله اول با یکدیگر ترکیب می‌شود و مخلوط خمیری به‌عنوان خروجی مرحله اول تولید می‌شود، در مرحله دوم، مخلوط خمیری، خروجی مرحله اول با سوخت و هوا به‌عنوان ورودی مرحله دوم ترکیب و طی آن پودر پخته و آب به‌عنوان خروجی مرحله دوم تولید می‌شود و با ژیپس که ورودی مرحله سوم است، ترکیب و درنهایت سیمان تولید می‌شود. (شکل ۶)

٤. یافته‌ها

در این بخش راه‌حل پیشنهادی جهت ارزیابی عملکرد چهار شرکت تولید سیمان طی چهار سال پیاده‌سازی می‌شود. مشخصات کارخانه‌های مربوطه در جدول شماره ۱ آمده است. شرکت‌های اول، دوم و چهارم هرکدام دو کارخانه و شرکت سوم نیز سه کارخانه دارد که فناوری مورداستفاده در تمامی کارخانه‌های در این جدول درج شده است. با توجه به اینکه هرکدام از کارخانه‌های از فرآیندهای تولیدی متفاوت استفاده می‌کند، همین امر باعث ایجاد ناهمگنی بین فرآیندهای مورداستفاده شرکت‌ها شده، ولی ازآنجایی‌که همگی کار تولید سیمان را انجام می‌دهند، لازم است با یکدیگر مقایسه شوند. بنابراین این ارزیابی طی مراحل زیر انجام می‌شود.

جدول ۱: مشخصات شرکت‌ها، کارخانه‌های و فناوری‌های مربوط

ردیف	عنوان شرکت	عنوان کارخانه	نوع فناوری
۱	شرکت اول	کارخانه ۱	خشک
		کارخانه ۵	نیمه‌خشک
۲	شرکت دوم	کارخانه ۲	نیمه‌خشک
		کارخانه ۸	خشک
۳	شرکت سوم	کارخانه ۳	مرطوب دوغابی
		کارخانه ۶	مرطوب
		کارخانه ۷	نیمه مرطوب
۴	شرکت چهارم	کارخانه ۴	نیمه مرطوب
		کارخانه ۹	مرطوب دوغابی

مرحله اول : همگن‌سازی

برای ارزیابی کارایی فرآیندها، اقدام به همگن‌سازی فرآیندها در سه‌گام پرداخته شده است.

گام اول:

ابتدا مطابق جدول ۲ متغیرهای مربوط به ورودی‌ها و خروجی‌های هر یک از مراحل مربوط، دسته‌بندی می‌شود که مجموعاً ۱۲ ورودی و خروجی در فناوری‌های موردنظر در تولید سیمان استفاده شده است. در تمامی فناوری‌ها، سه مرحله در قالب مراحل اول، دوم و سوم به‌کاررفته و مدل‌سازی بر اساس آن انجام شده است. ورودی‌ها و خروجی‌های تمامی مراحل فرآیند تولید مشخص و تمامی مواد خام ورودی در ابتدای فرآیند با x_i و خروجی‌های واسطه با z_f و خروجی نهایی با y_r نشان داده شده است. در این گام، ورودی‌ها و خروجی‌هایی که در هر مرحله از فرآیندهای تولیدی مختلف استفاده شده است، بر اساس هر فرآیند تفکیک می‌شود به‌طوری‌که اگر در هر مرحله از آن ورودی یا خروجی استفاده شده باشد با عدد یک و اگر از این ورودی یا خروجی استفاده‌نشده باشد، با صفر نشان داده می‌شود. به‌طور مثال، در فرآیند تولید خشک از میان ورودی‌های مراحل اول در میان پنج فرآیند، از مواد قلیایی و مواد آهکی استفاده شده است. بنابراین این ورودی‌ها با عدد ۱ و سایر ورودی‌ها با صفر نشان داده می‌شود. خروجی مرحله اول مخلوط خشک است. پس مخلوط خمیری عدد صفرگذاشته و برای سایر مراحل نیز به همین صورت انجام می‌شود.

جدول ۲: دسته‌بندی متغیرهای مربوط به نوع فرآیندهای تولید سیمان

متغیرها	مرحله اول						مرحله دوم						مرحله سوم				
	ورودی					خروجی	ورودی					خروجی	ورودی				خروجی
	مواد قلیایی	مواد آهکی	آب ورودی	دوغاب رس	مخلوط خشک	مخلوط خمیری	مخلوط خشک	مخلوط خمیری	آب ورودی	سوخت و هوا	آب خروجی	هوا و بخار آب	پودر پخته	آب خروجی	هوا و بخار آب	ژیپس	پودر پخته	پودر سیمان
فناوری	x_1	x_2	x_3	x_6	z_4	z_1	z_4	z_1	x_3	x_4	z_5	z_3	z_2	z_5	z_3	x_5	z_2	y_6
خشک	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱
نیمه خشک	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱
مرطوب	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱
مرطوب دوغابی	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱
نیمه مرطوب	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱

گام دوم:

معادلات همگن مربوط به مجموعه شرکت‌های تحت بررسی اعم از فناوری‌های مورداستفاده و مراحل اجرایی فرآیندها با توجه به ورودی‌ها و خروجی‌های مشابه که در جدول ۲ انجام شد را می‌توان در قالب جدول ۳ دسته‌بندی کرد. همان‌طور که مشخص است فرآیندهای خشک و نیمه‌خشک به دلیل استفاده از ورودی‌ها و خروجی‌های مشابه در هر مرحله، دارای مراحل اولیه مشابه، فرآیندهای مرطوب و نیمه مرطوب دارای مراحل اولیه مشابه، و شرکت‌هایی با فناوری مرطوب دوغابی نیز دارای مراحل اول مشابه می‌باشند که آن‌ها را به ترتیب در دسته‌های اول، دوم و سوم قرار می‌دهیم و برای سایر مراحل نیز دسته‌بندی به‌صورت زیر انجام می‌دهیم.

جدول ۳. دسته‌بندی متغیرهای مربوط به نوع فرآیندهای تولید سیمان

فرآیندها / دسته معادلات	مرحله اول	مرحله دوم	مرحله سوم
اول	خشک، نیمه‌خشک	خشک	خشک، نیمه‌خشک، مرطوب، مرطوب دوغابی
دوم	مرطوب، نیمه مرطوب	نیمه‌خشک	نیمه مرطوب
سوم	مرطوب دوغابی	مرطوب، مرطوب دوغابی	--------
چهارم	--------	نیمه مرطوب	--------

گام سوم:

به‌منظور ارزیابی کارخانه‌های مورداستفاده از فناوری‌های اول، دوم، سوم مشابه، در جدول ۴ اقدام به دسته‌بندی این کارخانه‌های می‌کنیم. برای مثال با توجه به جدول ۳ مشاهده می‌شود که مراحل اول فناوری‌های خشک و نیمه‌خشک مشابه است، پس در دسته ۱-۱ قرار می‌گیرد که کارخانه‌های ۱،۲،۵،۸ را شامل می‌شود. همچنین مراحل اول فناوری مرطوب و نیمه مرطوب مشابه است، پس در دسته۲-۱ قرار می‌گیرد که کارخانه‌های ۴،۶ و ۷ را شامل می‌شود و مراحل اول شرکت‌های با فناوری مرطوب دوغابی دارای مراحل اول مشابه است پس در دسته ۳-۱ قرار می‌گیرند و شامل کارخانه‌های ۳ و ۹ می‌شود برای سایر مراحل نیز دسته‌بندی به همین صورت انجام می‌شود.

جدول ٤: دسته‌بندی مدل‌های محاسبه کارایی در قالب معادلات همگن

ردیف	عنوان شرکت	کارخانه	مرحله اول	مرحله دوم	مرحله سوم
۱	شرکت اول	کارخانه ۱: خشک	دسته ۱-۱	دسته ۱-۲	دسته ۱-۳
		کارخانه ۵: نیمه‌خشک	دسته ۱-۱	دسته ۲-۲	دسته ۱-۳
۲	شرکت دوم	کارخانه ۲: نیمه‌خشک	دسته ۱-۱	دسته ۲-۲	دسته ۱-۳
		کارخانه ۸: خشک	دسته ۱-۱	دسته ۱-۲	دسته ۱-۳
۳	شرکت سوم	کارخانه ۳: مرطوب دوغابی	دسته ۳-۱	دسته ۳-۲	دسته ۱-۳
		کارخانه ۶: مرطوب	دسته ۲-۱	دسته ۳-۲	دسته ۱-۳
		کارخانه ۷: نیمه مرطوب	دسته ۲-۱	دسته ۴-۲	دسته ۲-۳
۴	شرکت چهارم	کارخانه ۴: نیمه مرطوب	دسته ۲-۱	دسته ۴-۲	دسته ۲-۳
		کارخانه ۹: مرطوب دوغابی	دسته ۳-۱	دسته ۳-۲	دسته ۱-۳

مرحله دوم:

کارایی هر دسته را که در مرحله قبل انجام شد، محاسبه می‌کنیم. داده‌های ورودی و خروجی هر یک از فرآیندها بنا بر دسته‌بندی انجام شده و کارایی محاسبه‌شده در سال‌های از ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹، در قالب جداول ۵ تا ۱۳ نشان داده شده است. در هر یک از این جداول ذیل ورودی‌ها و خروجی‌ها، مقادیر واحد مورداستفاده، درج شده است و در ستون آخر نیز کارایی آن مرحله از فرآیند در سال محاسبه گردیده است.

جدول ۵. مقادیر متغیرها و کارایی محاسبه‌شده برای دسته ۱-۱

کارخانه‌ها / متغیرها		مواد آهکی	مواد قلیایی	مخلوط خشک	کارایی
		X_2	X_1	Z_4	
خشک: ۱	۱۳۹۶	۴	۱	۴	۱
	۱۳۹۷	۵	۲	۵	۰/۸۳۳
	۱۳۹۸	۵	۳	۶	۱
	۱۳۹۹	۶	۳	۶	۰/۷۷
نیمه‌خشک: ۲	۱۳۹۶	۴	۲	۴	۰/۷۷
	۱۳۹۷	۴	۳	۴	۰/۷۱۴
	۱۳۹۸	۶	۳	۵	۰/۶۴۱
	۱۳۹۹	۵	۳	۵	۰/۷۱۴
نیمه‌خشک: ۵	۱۳۹۶	۳	۱	۳	۰/۹
	۱۳۹۷	۴	۲	۳	۰/۵۷۷
	۱۳۹۸	۵	۳	۴	۰/۵۷۱
	۱۳۹۹	۵	۳	۵	۰/۷۱۴
خشک: ۸	۱۳۹۶	۴	۲	۴	۰/۷۷
	۱۳۹۷	۴	۳	۵	۰/۸۹۲
	۱۳۹۸	۵	۴	۷	۱
	۱۳۹۹	۵	۳	۷	۱

جدول ٦. مقادیر متغیرها و کارایی محاسبه‌شده برای دسته۲-۱

کارخانه‌های / متغیرها		مواد آهکی	مواد قلیایی	آب ورودی	مخلوط خمیری	کارایی
		X_2	X_1	X_3	Z_1	
نیمه مرطوب: ۴	۱۳۹۶	۴	۳	۲	۶	۱
	۱۳۹۷	۵	۵	۴	۸	۱
	۱۳۹۸	۶	۴	۴	۸	۰/۸۵۷
	۱۳۹۹	۵	۳	۳	۷	۱
مرطوب: ۶	۱۳۹۶	۴	۳	۲	۵	۰/۸۳۳
	۱۳۹۷	۵	۳	۳	۶	۰/۸۵۷
	۱۳۹۸	۶	۳	۴	۷	۰/۸۷۵
	۱۳۹۹	۶	۴	۴	۸	۰/۹۲۳
نیمه مرطوب: ۷	۱۳۹۶	۵	۳	۳	۷	۱
	۱۳۹۷	۶	۳	۴	۸	۱
	۱۳۹۸	۶	۳	۳	۷	۰/۹۳۳
	۱۳۹۹	۴	۲	۲	۵	۱

جدول ۷. مقادیر متغیرها و کارایی محاسبه‌شده برای دسته ۳-۱

کارخانه‌های / متغیرها		مواد آهکی	دوغاب رس	مخلوط خمیری	کارایی
		X_2	X_6	Z_1	
مرطوب دوغابی: ۳	۱۳۹۶	۴	۲	۴	۰/۸۵۷
	۱۳۹۷	۵	۳	۵	۰/۷۹
	۱۳۹۸	۵	۲	۵	۱
	۱۳۹۹	۶	۴	۵	۰/۶۲۵
مرطوب دوغابی: ۹	۱۳۹۶	۵	۳	۶	۰/۹۴۷
	۱۳۹۷	۵	۲	۵	۱
	۱۳۹۸	۶	۳	۷	۱
	۱۳۹۹	۶	۴	۸	۱

جدول ۸. مقادیر متغیرها و کارایی محاسبه‌شده برای دسته۱-۲

متغیرها / کارخانه‌های		مخلوط خشک	سوخت و هوا	هوا و بخار آب	پودر پخته	کارایی
		Z_4	X_4	Z_3	Z_2	
خشک: ۱	۱۳۹۶	۴	۲	۲	۲	۱
	۱۳۹۷	۵	۲	۲	۳	۱
	۱۳۹۸	۶	۳	۲	۴	۰/۸۹
	۱۳۹۹	۶	۳	۳	۴	۱
خشک: ۸	۱۳۹۶	۴	۲	۲	۳	۱
	۱۳۹۷	۵	۳	۲	۳	۰/۸
	۱۳۹۸	۷	۴	۳	۴	۰/۸۵۷
	۱۳۹۹	۷	۳	۳	۴	۱

جدول ۹. مقادیر متغیرها و کارایی محاسبه‌شده برای دسته ۲-۲

متغیرها / کارخانه‌های		مخلوط خشک	آب ورودی	سوخت و هوا	هوا و بخار آب	پودر پخته	کارایی
		Z_4	X_3	X_4	Z_3	Z_2	
نیمه‌خشک: ۲	۱۳۹۶	۴	۱	۳	۳	۳	۱
	۱۳۹۷	۴	۱	۳	۳	۴	۱
	۱۳۹۸	۵	۳	۴	۵	۵	۱
	۱۳۹۹	۵	۲	۳	۵	۴	۱
نیمه‌خشک: ۵	۱۳۹۶	۳	۱	۲	۳	۲	۱
	۱۳۹۷	۳	۱	۲	۳	۳	۱
	۱۳۹۸	۴	۲	۳	۴	۳	۱
	۱۳۹۹	۵	۲	۳	۳	۲	۰/۶

جدول ۱۰. مقادیر متغیرها و کارایی محاسبه‌شده برای دسته ۳-۲

متغیرها / کارخانه‌های		مخلوط خمیری	سوخت و هوا	هوا و بخار آب	پودر پخته	کارایی
		Z_1	X_4	Z_3	Z_2	
مرطوب دوغابی: ۳	۱۳۹۶	۴	۱	۳	۳	۱
	۱۳۹۷	۴	۱	۳	۳	۱
	۱۳۹۸	۵	۳	۴	۵	۱
	۱۳۹۹	۵	۲	۳	۵	۱
مرطوب: ۶	۱۳۹۶	۳	۱	۲	۳	۱
	۱۳۹۷	۳	۱	۲	۳	۱
	۱۳۹۸	۴	۲	۳	۴	۱
	۱۳۹۹	۵	۲	۳	۳	۰/۶
مرطوب دوغابی: ۹	۱۳۹۶	۶	۳	۲	۵	۰/۷۸
	۱۳۹۷	۵	۲	۱	۵	۱
	۱۳۹۸	۷	۳	۲	۶	۰/۸۹
	۱۳۹۹	۸	۴	۳	۷	۰/۸۳

جدول ۱۱. مقادیر متغیرها و کارایی محاسبه‌شده برای دسته٤-۲

متغیرها / کارخانه‌های		مخلوط خمیری	سوخت و هوا	آب خروجی	پودر پخته	کارایی
		Z_1	X_4	Z_5	Z_2	
نیمه مرطوب: ۴	۱۳۹۶	۷	۲	۲	۶	۱
	۱۳۹۷	۸	۳	۳	۷	۱
	۱۳۹۸	۷	۲	۲	۷	۱
	۱۳۹۹	۵	۲	۱	۵	۱
نیمه مرطوب: ۷	۱۳۹۶	۷	۲	۲	۶	۱
	۱۳۹۷	۸	۳	۳	۷	۱
	۱۳۹۸	۷	۲	۲	۷	۱
	۱۳۹۹	۵	۲	۱	۵	۱

جدول ۱۲. مقادیر متغیرها و کارایی محاسبه‌شده برای دسته ۱-۳

کارخانه‌ها / متغیرها		هوا و بخار آب	پودر پخته	ژیپس	پودر سیمان	کارایی
		Z_3	Z_2	X_5	Y_6	
خشک: ۱	۱۳۹۶	۲	۲	۲	۲	۰/۶۲
	۱۳۹۷	۲	۳	۳	۳	۰/۷۳۵
	۱۳۹۸	۲	۴	۳	۴	۰/۸۱۲
	۱۳۹۹	۳	۴	۴	۴	۰/۷۰۳
نیمه‌خشک: ۵	۱۳۹۶	۳	۲	۲	۲	۰/۵
	۱۳۹۷	۳	۳	۳	۳	۰/۶۲
	۱۳۹۸	۴	۳	۲	۴	۰/۸۹
	۱۳۹۹	۳	۲	۲	۴	۱
خشک: ۲	۱۳۹۶	۳	۳	۲	۳	۰/۶۷
	۱۳۹۷	۳	۴	۳	۴	۰/۷۱
	۱۳۹۸	۵	۵	۲	۵	۰/۹۱
	۱۳۹۹	۵	۴	۳	۵	۰/۷۷
نیمه‌خشک: ۸	۱۳۹۶	۲	۳	۲	۳	۰/۷۶۳
	۱۳۹۷	۲	۳	۳	۴	۰/۹۸
	۱۳۹۸	۳	۴	۳	۵	۰/۸۸۶
	۱۳۹۹	۳	۴	۳	۴	۰/۷۱
مرطوب دوغابی: ۳	۱۳۹۶	۲	۵	۲	۴	۰/۸۵
	۱۳۹۷	۳	۶	۳	۵	۰/۷۶
	۱۳۹۸	۲	۵	۳	۵	۰/۹.
	۱۳۹۹	۳	۶	۲	۵	۰/۸۸
مرطوب: ۶	۱۳۹۶	۳	۴	۲	۵	۱
	۱۳۹۷	۳	۵	۳	۵	۰/۸۱۴
	۱۳۹۸	۴	۵	۲	۵	۰/۹۱
	۱۳۹۹	۴	۶	۲	۶	۱
مرطوب دوغابی: ۹	۱۳۹۶	۲	۵	۳	۵	۰/۹
	۱۳۹۷	۱	۵	۳	۵	۱
	۱۳۹۸	۲	۶	۲	۵	۱
	۱۳۹۹	۳	۷	۲	۶	۱

جدول ۱۳. مقادیر متغیرها و کارایی محاسبه‌شده برای دسته ۲-۳

کارخانه‌ها / متغیرها		آب خروجی	پودر پخته	ژیپس	پودر سیمان	کارایی
		z_5	z_2	x_5	y_6	
نیمه مرطوب: ۴	۱۳۹۶	۲	۵	۳	۶	۱
	۱۳۹۷	۳	۸	۴	۷	۰/۷۹۵
	۱۳۹۸	۳	۸	۳	۷	۰/۹۰۳
	۱۳۹۹	۱	۷	۲	۶	۱
نیمه مرطوب: ۷	۱۳۹۶	۲	۶	۳	۶	۰/۹۱
	۱۳۹۷	۳	۷	۴	۷	۰/۸۵۴
	۱۳۹۸	۲	۷	۳	۶	۰/۸۳۳
	۱۳۹۹	۱	۵	۲	۵	۱

برای محاسبه هر یک از موارد کارایی ارائه‌شده در جداول ۵ تا ۱۳، مدل‌سازی لازم انجام می‌شود که در اینجا به‌عنوان نمونه محاسبه کارایی کارخانه ۴ در سال ۱۳۹۶ برای دسته ۲-۳ نمایش داده می‌شود.

$$\max 6y_6$$
$$st:$$
$$2z_5 + 5z_2 + 3x_5 = 1$$
$$6y_6 - 2z_5 - 5z_2 - 3x_5 \le 0$$
$$7y_6 - 3z_5 - 8z_2 - 4x_5 \le 0$$
$$7y_6 - 3z_5 - 8z_2 - 3x_5 \le 0$$
$$6y_6 - z_5 - 7z_2 - 2x_5 \le 0$$
$$6y_6 - 2z_5 - 6z_2 - 3x_5 \le 0$$
$$7y_6 - 3z_5 - 7z_2 - 4x_5 \le 0$$
$$6y_6 - 2z_5 - 7z_2 - 3x_5 \le 0$$
$$5y_6 - z_5 - 5z_2 - 2x_5 \le 0$$
$$y_6 \ge 0$$
$$z_2 \ge 0$$
$$z_5 \ge 0$$
$$x_5 \ge 0$$

مرحله سوم:

برای محاسبه کارایی کل هر کارخانه، کارایی فرآیندهای سه‌گانه مربوط در هم ضرب می‌شود و برای محاسبه کارایی هر شرکت در هرسال، میانگین حسابی کارایی کارخانه‌های محاسبه می‌گردد. برای محاسبه کارایی هر شرکت طی چهار سال نیز، میانگین حسابی کارایی شرکت‌ها محاسبه می‌شود. همان‌طور که در جدول ۱۴ مشاهده می‌شود، بیشترین موارد دارای کارایی صددرصد یا یک متعلق به مرحله دوم و کمترین تعداد نیز متعلق به مرحله اول است. یک دلیل می‌تواند این امر باشد که معمولاً در مرحله اول فرآیند تولید از مواد خام بیشتری به‌عنوان ورودی استفاده می‌شود و به علت ناخالصی یا ناهمگن بودن مواد، ممکن است بخشی از منابع هدر برود یا غیرقابل استفاده باشد. درعین‌حال، در مرحله دوم، از ورودی‌های همگن‌تری استفاده می‌شود و طبعاً بهتر می‌توان فرمولاسیون را اعمال کرد. در چهار کارخانه تولیدی طی ۳۶ مورد ارزیابی‌شده، تمامی فرآیندها از کارایی صددرصد برخوردار است و کارایی کل نیز صددرصد شده است. در ۳۳ مورد از ۳۶ مورد ارزیابی‌شده، حداقل یک‌بار کارایی مراحل تولید صددرصد بوده است.

جدول ١٤. مقادیر کارایی محاسبه‌شده برای فرآیندهای شرکت‌های چهارگانه در سال‌های ١٣٩٦ تا ١٣٩٩

سال	عنوان شرکت	کارخانه	کارایی مرحله اول	کارایی مرحله دوم	کارایی مرحله سوم	کارایی کل
۱۳۹۶	شرکت اول	کارخانه ۱: خشک	1	1	۰/۶۲	۰/۶۲
		کارخانه ۵: نیمه‌خشک	۰/۷۷	1	۰/۵	۰/۳۹
	شرکت دوم	کارخانه ۲: نیمه‌خشک	۰/۷۷	1	۰/۶۷	۰/۵۲
		کارخانه ۸: خشک	۰/۷۷	1	۰/۷۶۳	۰/۵۹
	شرکت سوم	کارخانه ۳: مرطوب دوغابی	۰/۸۵۷	1	۰/۸۵	۰/۷۳
		کارخانه ۶: مرطوب	۰/۸۳۳	1	1	۰/۸۳
		کارخانه ۷: نیمه مرطوب	1	1	۰/۹۱	۰/۹۱
	شرکت چهارم	کارخانه ۴: نیمه مرطوب	1	1	1	۱
		کارخانه ۹: مرطوب دوغابی	۰/۹۴۷	۰/۷۸	۰/۹	۰/۶۶
۱۳۹۷	شرکت اول	کارخانه ۱: خشک	۰/۸۳۳	1	۰/۷۳۵	۰/۶۱

سال	عنوان شرکت	کارخانه	کارایی مرحله اول	کارایی مرحله دوم	کارایی مرحله سوم	کارایی کل
		کارخانه ۵: نیمه‌خشک	۰/۷۱۴	1	۰/۶۲	۰/۴۴
	شرکت دوم	کارخانه ۲: نیمه‌خشک	۰/۷۱۴	1	۰/۷۱	۰/۵۱
		کارخانه ۸: خشک	۰/۸۹۲	۰/۸	۰/۹۸	۰/۷۰
	شرکت سوم	کارخانه ۳: مرطوب دوغابی	۰/۷۹	1	۰/۷۶	۰/۶۰
		کارخانه ۶: مرطوب	۰/۸۵۷	۰/۸۳	۰/۸۱۴	۰/۵۸
		کارخانه ۷: نیمه مرطوب	1	1	۰/۸۵۴	۰/۸۵
	شرکت چهارم	کارخانه ۴: نیمه مرطوب	1	1	۰/۷۹۵	۰/۸۰
		کارخانه ۹: مرطوب دوغابی	1	1	1	۱
۱۳۹۸	شرکت اول	کارخانه ۱: خشک	1	۰/۸۹	۰/۸۱۲	۰/۷۲
		کارخانه ۵: نیمه‌خشک	۰/۶۴۱	1	۰/۸۹	۰/۵۷
	شرکت دوم	کارخانه ۲: نیمه‌خشک	۰/۶۴۱	1	۰/۹۱	۰/۵۸
		کارخانه ۸: خشک	1	۰/۸۵۷	۰/۸۸۶	۰/۷۶
	شرکت سوم	کارخانه ۳: مرطوب دوغابی	1	۰/۸۳	۰/۹	۰/۷۵
		کارخانه ۶: مرطوب	۰/۸۷۵	1	۰/۹۱	۰/۸۰
		کارخانه ۷: نیمه مرطوب	۰/۹۳۳	1	۰/۸۳۳	۰/۷۸
	شرکت چهارم	کارخانه ۴: نیمه مرطوب	۰/۸۵۷	1	۰/۹۰۳	۰/۷۷
		کارخانه ۹: مرطوب دوغابی	1	۰/۸۹	1	۰/۸۹
۱۳۹۹	شرکت اول	کارخانه ۱: خشک	۰/۷۷	1	۰/۷۰۳	۰/۵۴
		کارخانه ۵: نیمه‌خشک	۰/۷۱۴	۰/۶	1	۰/۴۳
	شرکت دوم	کارخانه ۲: نیمه‌خشک	۰/۷۱۴	1	۰/۷۷	۰/۵۵
		کارخانه ۸: خشک	1	1	۰/۷۱	۰/۷۱
	شرکت سوم	کارخانه ۳: مرطوب دوغابی	۰/۶۲۵	1	۰/۸۸	۰/۵۵
		کارخانه ۶: مرطوب	۰/۹۲۳	۰/۸۳	1	۰/۷۷
		کارخانه ۷: نیمه مرطوب	1	1	1	۱
	شرکت چهارم	کارخانه ۴: نیمه مرطوب	1	1	1	۱
		کارخانه ۹: مرطوب دوغابی	1	۰/۸۳	1	۰/۸۳

جدول ۱۵. مقادیر کارایی محاسبه‌شده برای شرکت‌های چهارگانه در سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹

سال	شرکت اول	شرکت دوم	شرکت سوم	شرکت چهارم
۱۳۹۶	۰/۵۰	۰/۵۵	۰/۸۲	۰/۸۳
۱۳۹۷	۰/۵۳	۰/۶۰	۰/۶۸	۰/۹۰
۱۳۹۸	۰/۶۵	۰/۶۷	۰/۷۷	۰/۸۳
۱۳۹۹	۰/۴۸	۰/۶۳	۰/۷۷	۰/۹۲
میانگین کل	۰/۵۴	۰/۶۱	۰/۷۶	۰/۸۷

همان‌طور که مشاهده می‌شود شرکت تولید سیمان چهارم بالاترین و شرکت اول از کمترین کارایی برخوردار است. کمترین کارایی در سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ شرکت اول کمترین در سال ۱۳۹۹ و در همین سال، شرکت چهارم بالاترین کارایی را به ثبت رسانده است. کمترین کارایی ثبت‌شده در خصوص کارخانه‌های، مربوط به کارخانه ۵ نیمه‌خشک شرکت اول است و کارخانه‌های ۴ نیمه‌مرطوب از شرکت چهارم در سال ۱۳۹۶، ۹ مرطوب دوغابی شرکت چهارم در سال ۱۳۹۷، ۷ نیمه‌مرطوب شرکت سوم در سال ۱۳۹۹ و ۴ نیمه‌مرطوب شرکت چهارم در سال ۱۳۹۹ از بیشترین کارایی برخوردار است.

در ادامه، می‌توان با بررسی جزییات بیشتر، موارد دارای کارایی کم را آسیب‌شناسی کرد و نسبت به تعیین راهکارهای مناسب برای بهبود کارایی در آن‌ها اقدام نمود.

بحث و نتیجه‌گیری

کسب‌وکارهای مختلف با توجه به نیاز مشتریان و نیز دسترسی به مواد اولیه و منابع اقدام به برنامه‌ریزی در خصوص تولید و ارائه خدمات مطابق با فناوری‌های ویژه می‌نمایند. به‌عبارت‌دیگر، اقتضای بازار موجب خلق یا به‌کارگیری یک فناوری توسط کسب‌وکارها می‌شود. ازاین‌رو، تمایل به استفاده از یک فناوری یا جذابیت آن بستگی به نحوه رفتار آن در مقایسه با فناوری‌های دیگر دارد که در این زمینه، عوامل مهمی چون سرعت فناوری، ضایعات تولیدی و درمجموع، هزینه‌های تولید به مقیاس از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است.

در شرکت‌هایی چون سیمان که معدن‌محور است، در زمان‌های مختلف مواد اولیه برداشت‌شده از معدن با کیفیت و هزینه متنوع در اختیار چرخه تولید قرار می‌گیرد و چنین استنباط می‌شود که فرآیند همواره با بی‌ثباتی و ناهمگنی در خوراک اولیه مواجه است. بنابراین، تفاوت عملکرد یک کارخانه با فناوری مشخص در بازه‌های زمانی مختلف کاملاً امری بدیهی است. همان‌طور که مشاهده می‌شود شرکت تولید سیمان چهارم بالاترین و شرکت اول از کمترین کارایی برخوردار است. کمترین کارایی در سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ شرکت اول کمترین در سال ۱۳۹۹ و در همین سال، شرکت چهارم بالاترین کارایی را به ثبت رسانده است. کمترین کارایی ثبت‌شده در خصوص کارخانه‌های، مربوط به کارخانه ۵ نیمه‌خشک شرکت اول است و کارخانه‌های ۴ نیمه‌مرطوب از شرکت چهارم در سال ۱۳۹۶، ۹ مرطوب دوغابی شرکت چهارم در سال ۱۳۹۷، ۷ نیمه‌مرطوب شرکت سوم در سال ۱۳۹۹ و ۴ نیمه‌مرطوب شرکت چهارم در سال ۱۳۹۹ از بیشترین کارایی برخوردار است. در ادامه، می‌توان با بررسی جزییات بیشتر، موارد دارای کارایی کم را آسیب‌شناسی کرد و نسبت به تعیین راهکارهای مناسب برای بهبود کارایی در آن‌ها اقدام نمود.

تعارض منافع

در این پژوهش تعارض منافعی وجود ندارد

سپاسگزاری

از نظرات ارزشمند داوران محترم در راستای بهبود ساختار علمی و محتوایی مقاله قدردانی می‌گردد.

ORCID

Homa Abedi Dehkordi **http://orcid.org/0009-0007-9893-7158**
Ghasem Tohidi **http://orcid.org/0000-0002-8195-4257**
Shabnam Razvyan **http://orcid.org/0000-0002-9993-6487**
Mohammadali Keramati **http://orcid.org/0000-0002-6339-6562**

منابع

۱. جمالی، غلامرضا و کریمی اصل، الهام. (۱۳۹۷). موقعیت رقابتی زنجیره تأمین لارج در صنعت سیمان و تحلیل اهمیت عملکرد الزامات راهبردی مرتبط با آن، *مطالعات مدیریت صنعتی. سال شانزدهم، پاییز*، شماره ۵۰.

۲. رمضانیان، محمدرحیم، یاکیده، کیخسرو و اخوان دیلمی، لعبت. (۱۳۹۸). بررسی کارایی مدیریت بانک‌ها با استفاده از تکنیک DEA (مطالعه موردی شعب مختلف بانک‌های تهران). *مدیریت بهره‌وری، سال سیزدهم، شماره چهل‌ونه*، تابستان، ص‌ص: ۱۴۴-۱۲.

3. Bart, M., Tohidi, G., &Sanei, M. (2018). DEA for nonhomogeneous mixed networks. *Journal of Asia Pacific Management Review*, 24(2): 161–166. https://doi.org/10.1016/j.apmrv.2018.02.003
4. Charnes, A., Cooper, W., & Rhodes, E. **(**1978**)**. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2, 429–444. https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8
5. Chen, Y., WU, L. & LU, Bo. (2018). Data envelopment analysis procedure with two non-homogeneous DMU groups, *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 29(4): 780–788. DOI:10.21629/JSEE.2018.04.12
6. Cook, W., Harrison, J., Imanirad, R., Rouse, P., & Zhu, J. (2013). Data envelopment analysis with nonhomogeneous DMUs, *Journal of Operations Research*, 61(3), 666-676.DOI: https://doi.org/10.1016/j.omega.2013.09.004
7. Cook, WD., Tone, K., & Zhu. J. (2014). Data envelopment analysis Prior to choosing a model. *Journal of Omega*, 44, 1-4. DOI: https://doi.org/10.1016/j.omega.2013.09.004
8. Du, J., Chen, Y. & Huo, J. (2015). DEA for non-homogenous parallel networks, *Journal of Omega*, 56(1), 122– 132. DOI:10.1016/j.omega.2014.10.001
9. Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*, 120(3): 253 – 290. https://doi.org/10.2307/2343100
10. Huang, W., Chiu, H., Tu, H., Luo, Y., & Wang, Z. (2016). Using the non-homogeneous frontier two-stage DEA model to assess the efficiencies of expense utilization and operation of the Taiwanese hotel industry, *International Transactions in Operational Research*, 23(6): 1067–1087. https://doi.org/10.1080/01605682.2019.1578625
11. Jablonsky, J. (2019). Data Envelopment Analysis Models in Non-

Homogeneous Environment. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 67(6): 1535–1540. 10.11118/ actaun201967061535

12. Jamali,GH.,Karimi Asl, E.(2019). The competitive position of the large supply chain in the cement industry and the analysis of the importance of the performance of the strategic requirements related to it**.**Journal of industrial management , 16(50):53-77[In Persian] https://doi.org/10.22054/jims.2018.9106
13. Kao, C., Hwang, SN. (2010). Efficiency measurement for network systems IT impact on firm performance, *Journal of Decision Support Systems*, 48: 437-446. https://doi.org/10.1016/j.dss.2009.06.002
14. Li,W., Liang, L., Cook, W. D., & Zhu, J. (2016). DEA models for non-homogeneous DMUs with different input configurations, *European Journal of Operational Research*, 254(3), 946- 956. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.04.063
15. Li,Y., Lei, X., & Morton, A. (2018). Performance evaluation of nonhomogeneous hospitals: The case of Hong Kong hospitals, *Health Care Management Science*, 22(2): 215–228. 10.1007/s10729-018-9433-y
16. Ramezaniyan,M., Pakideh, K., &Akhavan Deylami, L.(2020). Investigating the efficiency of bank management using DEA technique (case study of different branches of Tehran banks. Journal of Productivity management, 13(49):123-144 [In Persian] 10.30495/qjopm.2019.666889
17. Singh, S. and Ranjan, P. (2018). Efficiency analysis of non-homogeneous parallel sub-unit systems for the performance measurement of higher education, *Annals of Operations Research*, 269(1–2): 641–666. https://doi.org/10.1007/s10479-017-2586-0
18. Song, M.L., Peng, L., Wang, J.L., & Zhao. J.J. (2018). Environmental efficiency and economic growth of China: a Ray slack-based model analysis. *European Journal of Operational Research269(1):51–63*. DOI: 10.1016/j.ejor.2017.03.073
19. Sun, J., Wang, C., JI, X., & WU, J. (2017). Performance evaluation of heterogeneous bank supply chain systems from the perspective of measurement and decomposition, *Journal of Computers & Industrial Engineering*, 113: 891–903. DOI:10.1016/j.cie.2017.05.028
20. Ye, C., Liangpeng, W., Bo, L. (2018). Data envelopment analysis procedure with two non-homogeneous DMU groups, *Journal of Systems Engineering and Electronics*, 29(4), 780 – 788. DOI:10.21629/JSEE.2018.04.12
21. Zhu, W., Yu, Y. & Sun, P. (2017). Data envelopment analysis cross-like efficiency model for non-homogeneous decision-making units: The

case of United States companies' low-carbon investment to attain corporate sustainability, *European Journal of Operational Research*. 269(1), 99-110.https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.08.007

References [In Persian]

1. Jamali, GH., Karimi asl ,E.(1397). Competitive positioning for LARG Supply Chain in Cement Industry and its Strategic Requirements Importance-Performance Analysis. *Journal of industrial management studies*. 16(50).53-77 [In Persian] Doi: https://doi.org/10.22054 /jims.2018 .9106
2. Ramazanian, MR., Yakideh, K.,& Deilami,L.(1398). Investigation of Bank Management Performance Using DEA Technique (Case Study of Different Branches of Tehran Banks). Journal of Productivity Management, 13(49), 123-144[In Persian] DOI:10.30495/qjopm. 2019.666889

استناد به این مقاله: عابدی دهکردی، هما.، توحیدی، قاسم.، رضویان، شبنم.، کرامتی، محمدعلی. (۱۴۰۲). ارزیابی کارایی شرکت‌های تولیدکننده سیمان با استفاده از رویکرد تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای ناهمگن، *مطالعات مدیریت صنعتی، ۲۱(۶۹)*، ۱۹۹-۲۳۳.

DOI: 10.22054/jims.2023.67648.2788

Industrial Management Studies is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.