

Econometric Analysis of Productivity Drivers in the Cement Industry: A Technology-Oriented Approach to Entrepreneurship and Strategic Management

Reza. Bakhtiari¹, Arshad. Farahmandian^{2*}, Mohammad Hasan. Abdollahi³

¹ Department of Industrial Management, Za.C., Islamic Azad University, Zanjan, Iran

² Department of Management, Za.C., Islamic Azad University, Zanjan, Iran

³ Department of Industrial Engineering, Za.C., Islamic Azad University, Zanjan, Iran

* Corresponding author email address: 4280924015@iau.ir

Article Info

Article type:

Original Research

How to cite this article:

Bakhtiari, R., Farahmandian, A., & Abdollahi, M. H. (2026). Econometric Analysis of Productivity Drivers in the Cement Industry: A Technology-Oriented Approach to Entrepreneurship and Strategic Management. *Journal of Technology in Entrepreneurship and Strategic Management*, 5(4), 1-23.



© 2026 the authors. Published by KMAN Publication Inc. (KMANPUB), Ontario, Canada. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License.

ABSTRACT

This study aimed to examine the relationships of technology orientation, organizational entrepreneurship, strategic management, and their composite index with physical labor productivity in Iranian cement companies. This applied study employed a documentary, correlational, and econometric design. The study population comprised cement-producing companies listed on the Tehran Stock Exchange and Iran Fara Bourse during fiscal years 2023–2026. A purposive sample was selected based on the simultaneous availability of production figures, workforce information, and documented managerial evidence, resulting in eight firm-period observations. Labor productivity was calculated by dividing annualized cement production by the reported number of employees. Technology orientation, organizational entrepreneurship, and strategic management were scored from zero to four based on documented evidence of implemented or ongoing initiatives disclosed in official corporate reports. Spearman rank correlations and separate ordinary least squares regression models were employed, with reporting-period type included as a control variable. HC3 heteroskedasticity-robust standard errors and the residual-degrees-of-freedom t distribution were used for statistical inference. Spearman correlations between labor productivity and technology orientation, organizational entrepreneurship, strategic management, and the composite index were 0.125, 0.222, –0.218, and 0.235, respectively; none was statistically significant. In the regression models, the estimated standardized coefficients for technology orientation, organizational entrepreneurship, strategic management, and the composite index were 0.002, 0.219, –0.068, and 0.126, respectively. The corresponding p-values were 0.987, 0.355, 0.831, and 0.699. Thus, none of the four research hypotheses was supported at the 0.05 significance level. Sensitivity analyses further indicated that the estimated relationships were dependent on sample composition, reporting-period type, and influential observations. The available evidence was insufficient to establish a definitive relationship between the examined managerial factors and labor productivity. Nevertheless, the findings indicate that a reliable assessment of technology, entrepreneurship, and strategic management effects requires a larger multi-year panel, control of firm-level technical characteristics, and consideration of the time lag between project implementation and productivity outcomes.

Keywords: Labor productivity; Cement industry; Technology orientation; Organizational entrepreneurship; Strategic management; Econometric analysis.

Extended Abstract

Introduction

The cement industry is a foundational component of national economic and infrastructural development because its products are extensively used in housing, transportation systems, public works, industrial facilities, and urban expansion. At the same time, cement manufacturing is a highly capital-intensive, energy-intensive, and technologically continuous activity in which productivity depends on the coordinated performance of kilns, mills, material-handling systems, energy infrastructure, maintenance operations, and human resources. Interruptions in electricity or fuel supply, equipment deterioration, unplanned shutdowns, inefficient maintenance, weak production planning, and insufficient integration between technical and managerial units can directly reduce output and increase the consumption of labor, energy, and capital. Accordingly, productivity in this industry cannot be understood only through nominal capacity or financial ratios. Earlier evidence from Iranian cement firms has shown considerable differences in energy efficiency across companies, indicating that firms operating in the same industry may differ substantially in their ability to convert inputs into productive outputs (Taghizadeh & Pourrabi, 2013). Studies applying data envelopment analysis and the Malmquist productivity index have similarly revealed variation in efficiency levels and productivity changes among cement companies listed on the Tehran Stock Exchange (Kaidpour et al., 2020).

Labor productivity, measured as physical output per employee, provides a practical indicator for examining the productive utilization of the workforce and operational capacity. Unlike financial measures, physical labor productivity is less directly affected by price inflation, accounting policies, and short-term changes in product prices. Nevertheless, labor productivity in the cement industry is influenced by numerous technical and organizational factors, including plant age, production technology, energy intensity, outsourcing, product composition, capacity utilization, maintenance quality, and managerial decisions. Technology orientation is one of the organizational factors that may explain differences in productivity. It refers not merely to the possession of modern equipment, but to a firm's willingness and capability to search for, absorb, deploy, and exploit technologies in alignment with operational and strategic objectives. Digital orientation has been conceptualized as a strategic orientation that shapes how firms integrate digital technologies with organizational goals and value-creation mechanisms (Kindermann et al., 2021). In cement manufacturing, technology orientation may be reflected in process automation, distributed control systems, online monitoring, predictive maintenance, digital production planning, energy management, process optimization, research and development, and the adoption of low-carbon technologies.

The expected productivity benefits of technology, however, are not automatic. Technological initiatives require financial investment, workforce training, process redesign, data integration, and organizational adaptation. Empirical research on energy-efficiency technologies in cement plants has shown that adoption decisions depend on feasibility, investment costs, implementation complexity, and payback periods (Cantini et al., 2021). The quantitative assessment of industrial energy efficiency also depends on the selection of appropriate system boundaries, baseline conditions, data aggregation levels, and measurement methods (Andrijevska & Volkova, 2025). Moreover, technological, economic, and regulatory barriers can delay or restrict the implementation of decarbonization technologies in the cement sector (Ige & Kabeya, 2025). Therefore, a firm may report several technology projects without achieving

an immediate increase in output per employee, particularly when projects are still under implementation or are intended to prevent operational decline rather than expand production.

The productivity effects of technology orientation may also depend on organizational transformation and innovation capabilities. Information technology capabilities improve performance when they support digital orientation and meaningful transformation in organizational processes rather than merely expanding technical infrastructure (Barba-Sanchez et al., 2024). Technology orientation may likewise influence innovation performance through digital innovation, suggesting that technical resources must be translated into new processes, products, and managerial practices before their performance effects become visible (Nassani et al., 2023). Meta-analytic evidence further indicates that digital transformation capabilities generate stronger efficiency and innovation outcomes when they are guided by a clear value-creation purpose and strategic vision (Chang et al., 2026).

Organizational entrepreneurship is another factor that may influence productivity by enabling firms to identify and exploit opportunities related to new products, new markets, commercialization, and value-chain development. In cement companies, entrepreneurial initiatives may include blended and specialized cement products, export-market expansion, pilot production, commercialization of technical knowledge, and the development of complementary business activities. Evidence from emerging markets suggests that international-market participation and new digital technologies can stimulate business innovation through entrepreneurial orientation (Dana et al., 2022). Digital entrepreneurial orientation and technological absorptive capacity have also been identified as complementary capabilities that strengthen digital innovation and business performance (Jang & Lee, 2025). However, entrepreneurial activities may initially increase production complexity and require experimentation, marketing, standardization, and logistical investment, meaning that their productivity effects may emerge only after a time lag.

Strategic management may provide the organizational mechanism through which technology and entrepreneurship are aligned with productivity objectives. Cement companies must allocate limited financial resources, specialized labor, shutdown time, and managerial attention among competing projects such as equipment modernization, energy-efficiency improvement, product development, market expansion, and environmental compliance. Strategic analysis of the Iranian cement industry has highlighted the simultaneous presence of opportunities associated with production capacity and raw-material availability and threats related to energy shortages, unstable markets, export competition, and policy uncertainty (Eskandari & Mohammadi-Nasab, 2023). Industry 4.0 frameworks developed for the cement sector have also emphasized organizational diagnosis, priority setting, and continuous Plan–Do–Check–Act cycles as prerequisites for effective technological transformation (Mahnashi et al., 2023). Production decisions are additionally affected by product mix, capacity limitations, carbon taxation, and carbon-credit costs (Tsai & Lin, 2024).

Environmental and sustainability considerations further reinforce the need for integrated productivity management. Studies of environmental efficiency have documented substantial heterogeneity among cement plants and significant potential for simultaneous production improvement and reduction of undesirable outputs (Tu et al., 2022). Sustainable factory design in Iran has similarly emphasized the integration of energy productivity, pollution control, and plant design (Eghbalian et al., 2024). Benchmarking research in Brazilian cement plants has shown that sustainability maturity varies across economic, managerial, and environmental dimensions (Santos Junior et al., 2026). Furthermore, evidence

from India suggests that market-based energy policies may produce heterogeneous productivity effects, with initially more efficient plants responding more favorably (Bansal et al., 2026). Against this background, the present study examined the relationships of technology orientation, organizational entrepreneurship, strategic management, and their composite index with physical labor productivity in Iranian cement companies.

Materials and Methods

This applied study used a documentary, correlational, and econometric design. The study population consisted of cement-producing companies listed on the Tehran Stock Exchange and Iran Fara Bourse during fiscal years 2023–2026. The unit of analysis was the firm–reporting-period observation. Companies were purposively selected according to the simultaneous availability of official production data, employee information, and sufficient documentary evidence for evaluating managerial orientations. Observations lacking cement-production figures, workforce data, or relevant managerial disclosures were excluded, and no statistical imputation was used for missing values.

The final sample included eight firm-period observations relating to Tehran Cement, Abyek Cement, Fars Cement, Shahroud Cement, Saveh Cement, Gharb Cement Industries, Arta Ardabil Cement, and Behbahan Cement. Five observations were derived from 12-month reports, one from a six-month report, and two from three-month reports. For interim reports, cement production was annualized by assuming a constant average monthly production rate. Physical labor productivity was then calculated as annualized cement output divided by the reported number of employees. The natural logarithm of labor productivity was used as the dependent variable in the regression analyses.

Technology orientation, organizational entrepreneurship, and strategic management were operationalized through documentary coding. Each construct consisted of four binary criteria scored as one when a clear implemented or ongoing action was documented and zero when no such evidence was found. Technology orientation covered automation or digitalization, energy- or process-improvement technologies, online monitoring or operational data systems, and research and development or pilot technical solutions. Organizational entrepreneurship covered new products or pilot production, entry into new markets, commercialization or innovation programs, and new value-chain activities. Strategic management covered explicit and trackable objectives, performance-monitoring mechanisms, risk-management systems, and resource-allocation or investment plans aligned with organizational goals. Each construct ranged from zero to four. A composite managerial index was calculated as the arithmetic mean of the three construct scores.

Descriptive statistics were first calculated for all variables. Because of the small sample and the discrete nature of the managerial scores, Spearman rank correlations were used to assess bivariate relationships. Four separate ordinary least squares models were then estimated for technology orientation, organizational entrepreneurship, strategic management, and the composite index. The managerial variables were standardized before entering the models. Reporting-period type was included as a control variable, coded one for annual reports and zero for interim reports. HC3 heteroskedasticity-robust standard errors and the residual-degrees-of-freedom *t* distribution were used. Leverage values, Cook's distance, and sensitivity analyses were examined to evaluate the influence of individual observations and model stability.

Findings

Estimated labor productivity ranged from 1,076.6 to 3,204.8 tons of cement per employee. The mean was 2,370.1 tons, the median was 2,486.3 tons, and the standard deviation was 729.4 tons per employee. The mean scores for technology orientation, organizational entrepreneurship, strategic management, and the composite managerial index were 2.375, 1.625, 3.500, and 2.500, respectively. Strategic management displayed a particularly restricted range, varying only between three and four.

The Spearman correlation between labor productivity and technology orientation was 0.125, with a p-value of 0.768. The correlation between productivity and organizational entrepreneurship was 0.222, with a p-value of 0.597. Strategic management was negatively correlated with productivity at -0.218 , with a p-value of 0.604. The composite managerial index had a positive correlation of 0.235 with labor productivity, with a p-value of 0.576. None of the correlations was statistically significant at the 0.05 level.

In the regression model for technology orientation, the standardized coefficient was 0.002, the HC3 robust standard error was 0.130, and the p-value was 0.987. The 95% confidence interval ranged from -0.333 to 0.337 , while the model R^2 was 0.073. Thus, technology orientation showed virtually no association with the logarithm of labor productivity.

The standardized coefficient for organizational entrepreneurship was 0.219, with an HC3 robust standard error of 0.215 and a p-value of 0.355. Its 95% confidence interval ranged from -0.334 to 0.773 . The model R^2 was 0.350 and the adjusted R^2 was 0.090. Although the coefficient was positive and larger than the technology-orientation coefficient, it was not statistically significant.

Strategic management produced a standardized coefficient of -0.068 , an HC3 robust standard error of 0.304, and a p-value of 0.831. The 95% confidence interval extended from -0.849 to 0.713 , and the model R^2 was 0.087. Diagnostic analysis indicated that the Tehran Cement observation had a leverage value of one in this model, making robust inference particularly unstable.

The composite managerial index had a standardized coefficient of 0.126, an HC3 robust standard error of 0.308, and a p-value of 0.699. The 95% confidence interval ranged from -0.665 to 0.918 , while the model R^2 was 0.171. Sensitivity analyses showed that removing the reporting-period control reduced the coefficient to 0.061. Excluding the Behbahan Cement observation left the coefficient at 0.126 but reduced the p-value to 0.0965. Restricting the analysis to annual reports produced a coefficient of 0.124, but the standard error increased to 1.338. Cook's distance for Fars Cement was 1.474, indicating that this observation exerted substantial influence on the composite-index model. Overall, none of the four hypotheses was supported at the 0.05 significance level.

Discussion and Conclusion

The findings did not provide sufficient statistical evidence to confirm that technology orientation, organizational entrepreneurship, strategic management, or their composite index were significantly associated with physical labor productivity. Nevertheless, the direction and magnitude of the coefficients offer several useful interpretations. The technology-orientation coefficient was effectively zero, but this should not be interpreted as evidence that technology is irrelevant to cement-sector productivity. Many technology projects require installation, adjustment, training, and organizational adaptation before their operational benefits become visible. Some projects may also be defensive, designed to prevent equipment failure, production losses, or deterioration in quality rather than to increase immediate output per

employee. Consequently, their success may be reflected in avoided losses rather than observable productivity growth.

The positive coefficient for organizational entrepreneurship was larger than the technology-orientation coefficient, suggesting a possible relationship between opportunity-seeking activities and productivity. New products, export markets, commercialization initiatives, and value-chain expansion may improve the utilization of existing capacity and support output growth. However, such activities also create short-term costs related to experimentation, standardization, marketing, production adjustments, and logistics. Their effects may therefore appear first in sales, profitability, market share, or capacity utilization rather than in labor productivity.

The negative and nonsignificant coefficient for strategic management should not be interpreted as a harmful effect. The strategic-management scores had very limited variation, and the measure captured the documented presence of objectives, monitoring, risk-management mechanisms, and investment plans rather than the quality of their execution. Firms with similar formal structures may differ markedly in implementation quality, resource alignment, corrective-action speed, and goal achievement. In addition, firms facing operational difficulties may establish more formal strategic and control mechanisms, creating the possibility of reverse causality.

The positive composite-index coefficient is consistent with the idea that technology, entrepreneurship, and strategic management may function as complementary capabilities. However, the wide confidence interval and strong sensitivity to individual observations demonstrate that the current sample cannot support a precise estimate. The results were substantially affected by sample composition, reporting-period differences, restricted score variation, and influential cases.

In conclusion, the study provides an exploratory documentary framework for linking observable managerial actions to physical labor productivity in the cement industry. The available evidence was insufficient to establish definitive effects, but the results indicate that future evaluations should distinguish between planned, ongoing, and completed projects; incorporate implementation lags; measure the quality rather than merely the presence of strategic mechanisms; and control for plant-level technical and market characteristics. A larger multi-year panel would permit more reliable assessment of whether technology orientation, organizational entrepreneurship, and strategic management contribute to sustained productivity improvement in cement companies.

تحلیل اقتصادسنجی عوامل مؤثر بر بهره‌وری در صنعت سیمان با رویکرد فناوری محور در کارآفرینی و مدیریت استراتژیک

رضا بختیاری^۱، ارشد فرهنگیان^۲، محمدحسن عبدالهی^۳

۱. گروه مدیریت صنعتی، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران
۲. گروه مدیریت، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران
۳. گروه مهندسی صنایع، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران

*ایمیل نویسنده مسئول: 4280924015@iau.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله

پژوهشی/اصیل

نحوه استناد به این مقاله:

بختیاری، رضا، فرهنگیان، ارشد، و عبدالهی، محمدحسن. (۱۴۰۵). تحلیل اقتصادسنجی عوامل مؤثر بر بهره‌وری در صنعت سیمان با رویکرد فناوری محور در کارآفرینی و مدیریت استراتژیک. تکنولوژی در کارآفرینی و مدیریت/ستر/ترتیک، ۵(۴)، ۲۳-۱.



© ۱۴۰۵ تمامی حقوق انتشار این مقاله متعلق به نویسنده است. انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با گواهی (CC BY-NC 4.0) صورت گرفته است.

پژوهش حاضر با هدف تحلیل روابط فناوری محوری، کارآفرینی سازمانی، مدیریت استراتژیک و شاخص ترکیبی این عوامل با بهره‌وری فیزیکی نیروی کار در شرکت‌های صنعت سیمان ایران انجام شد. این پژوهش از نظر هدف کاربردی و از نظر روش، اسنادی، همبستگی و اقتصادسنجی بود. جامعه پژوهش را شرکت‌های تولیدکننده سیمان پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران و فرابورس ایران در سال‌های مالی ۱۴۰۲ تا ۱۴۰۴ تشکیل دادند. نمونه به صورت هدفمند و بر اساس دسترسی هم‌زمان به اطلاعات تولید، تعداد کارکنان و شواهد مدیریتی انتخاب شد و شامل هشت مشاهده شرکت-دوره بود. بهره‌وری نیروی کار از تقسیم تولید سالانه شده سیمان بر تعداد کارکنان محاسبه شد. فناوری محوری، کارآفرینی سازمانی و مدیریت استراتژیک بر اساس شواهد مستند اقدامات اجرا شده یا در حال اجرا در گزارش‌های رسمی شرکت‌ها، در دامنه صفر تا چهار امتیازدهی شدند. برای تحلیل داده‌ها از همبستگی اسپیرمن و مدل‌های جداگانه حداقل مربعات معمولی با کنترل نوع دوره گزارش استفاده شد. خطاهای استاندارد مقاوم HC۳ و توزیع t با درجات آزادی باقیمانده نیز برای استنباط آماری به کار رفتند. ضریب همبستگی بهره‌وری با فناوری محوری، کارآفرینی سازمانی، مدیریت استراتژیک و شاخص ترکیبی به ترتیب برابر با ۰/۱۲۵، ۰/۲۲۲، ۰/۲۱۸- و ۰/۲۳۵ بود و هیچ‌یک معنادار نبودند. در مدل‌های رگرسیونی، ضرایب استاندارد شده فناوری محوری، کارآفرینی سازمانی، مدیریت استراتژیک و شاخص ترکیبی به ترتیب ۰/۰۰۲، ۰/۲۱۹، ۰/۰۶۸- و ۰/۱۲۶ به دست آمدند. مقادیر احتمال متناظر برابر با ۰/۹۸۷، ۰/۳۵۵، ۰/۸۳۱ و ۰/۶۹۹ بودند؛ بنابراین هیچ‌یک از فرضیه‌ها در سطح ۰/۰۵ تأیید نشدند. تحلیل حساسیت نیز وابستگی نتایج به ترکیب نمونه، نوع دوره گزارش و مشاهدات اثرگذار را نشان داد. شواهد موجود برای تأیید اثر قطعی عوامل مدیریتی بر بهره‌وری نیروی کار کافی نبود؛ باین حال، نتایج نشان دادند که ارزیابی آثار فناوری، کارآفرینی و مدیریت استراتژیک مستلزم داده‌های پنلی گسترده‌تر، کنترل ویژگی‌های فنی شرکت‌ها و لحاظ وقفه زمانی اجرای پروژه‌هاست.

کلیدواژگان: بهره‌وری نیروی کار؛ صنعت سیمان؛ فناوری محوری؛ کارآفرینی سازمانی؛ مدیریت استراتژیک؛ تحلیل اقتصادسنجی.

مقدمه

صنعت سیمان یکی از صنایع پایه و راهبردی هر کشور به شمار می‌آید که عملکرد آن با توسعه زیرساخت‌ها، ساخت‌وساز شهری، اجرای طرح‌های عمرانی، توسعه شبکه‌های حمل‌ونقل و رشد بخش‌های مختلف اقتصادی ارتباطی مستقیم دارد. با این حال، ماهیت سرمایه‌بر، انرژی‌بر و پیوسته فرایند تولید سیمان سبب شده است که دستیابی به بهره‌وری پایدار در این صنعت به مسئله‌ای چندبعدی و پیچیده تبدیل شود. فرایند تولید سیمان از استخراج و آماده‌سازی مواد اولیه تا پخت کلینکر، آسیاب، ذخیره‌سازی، بسته‌بندی و حمل، به مجموعه‌ای از تجهیزات سنگین، سامانه‌های کنترلی، نیروی انسانی متخصص و منابع گسترده انرژی نیاز دارد. هرگونه اختلال در تأمین برق و سوخت، فرسودگی تجهیزات، توقف‌های اضطراری، ضعف نگهداری و تعمیرات، ناهماهنگی میان واحدهای عملیاتی یا ناتوانی در انطباق با تغییرات بازار می‌تواند میزان تولید قابل‌فروش را کاهش دهد و نسبت ستانده به منابع مصرف‌شده را تضعیف کند. از این رو، بهره‌وری در صنعت سیمان صرفاً حاصل افزایش ظرفیت اسمی یا افزودن تجهیزات جدید نیست، بلکه نتیجه تعامل میان قابلیت‌های فنی، تصمیم‌های مدیریتی، کیفیت تخصیص منابع، جهت‌گیری فناوریانه و توان سازمان در شناسایی و بهره‌برداری از فرصت‌های جدید است. مطالعات مربوط به کارایی انرژی نیز نشان داده‌اند که اختلاف عملکرد شرکت‌های سیمانی را نمی‌توان تنها با یک ورودی یا یک ستانده توضیح داد و ارزیابی معتبر مستلزم توجه هم‌زمان به ترکیب منابع، سطح تولید و کیفیت استفاده از ظرفیت‌های موجود است (Taghizadeh & Pourrabi, 2013).

بهره‌وری در مفهوم کلی، رابطه میان ستانده ایجادشده و منابع مصرف‌شده را نشان می‌دهد، اما انتخاب شاخص بهره‌وری می‌تواند نوع تفسیر مدیریتی نتایج را تغییر دهد. در مطالعات صنعتی، شاخص‌هایی مانند بهره‌وری کل عوامل تولید، کارایی انرژی، بهره‌وری سرمایه، گردش دارایی و بهره‌وری نیروی کار به کار گرفته می‌شوند. در صنعت سیمان، که قیمت فروش محصولات و هزینه نهاده‌هایی مانند انرژی، مواد اولیه، قطعات و حمل‌ونقل ممکن است تحت تأثیر تورم، سیاست‌گذاری و شرایط بازار دچار نوسان شوند، استفاده از شاخص‌های مالی به‌تنهایی نمی‌تواند تغییر واقعی در عملکرد تولیدی را به‌درستی منعکس کند. در چنین شرایطی، بهره‌وری فیزیکی نیروی کار، یعنی مقدار محصول تولیدشده به ازای هر نفر، می‌تواند تصویری نسبتاً شفاف از توان شرکت در تبدیل منابع انسانی و ظرفیت عملیاتی به ستانده واقعی فراهم سازد. البته این شاخص جانشین بهره‌وری کل عوامل تولید نیست و تفاوت شرکت‌ها از نظر سن خطوط تولید، سرمایه ثابت، کیفیت مواد اولیه، میزان برون‌سپاری، شدت انرژی و ترکیب محصول را به‌طور کامل کنترل نمی‌کند. با این حال، برای مقایسه اولیه شرکت‌ها و بررسی رابطه میان جهت‌گیری‌های مدیریتی و ستانده فیزیکی، شاخصی قابل فهم و قابل ردیابی محسوب می‌شود. پژوهش‌های داخلی مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها و شاخص مالم کوئیس نیز وجود تفاوت چشمگیر میان شرکت‌های سیمانی از نظر کارایی و تغییرات بهره‌وری را تأیید کرده‌اند و نشان داده‌اند که حتی در یک صنعت نسبتاً همگن، واحدهای تولیدی از نظر توان استفاده از منابع و حفظ رشد بهره‌وری عملکرد یکسانی ندارند (Kaidpour et al., 2020).

یکی از مهم‌ترین عواملی که می‌تواند تفاوت بهره‌وری میان شرکت‌های سیمانی را توضیح دهد، میزان فناوری‌محوری آن‌هاست. فناوری‌محوری به معنای صرف مالکیت تجهیزات یا استفاده از نرم‌افزار نیست، بلکه نوعی جهت‌گیری سازمانی است که آمادگی شرکت برای جست‌وجو، انتخاب، جذب، استقرار و بهره‌برداری از فناوری‌های مناسب را نشان می‌دهد. در این رویکرد، فناوری زمانی ارزش‌آفرین است که با فرایندهای تولید، مهارت‌های نیروی انسانی، نظام داده، برنامه‌های نگهداری و سازوکارهای تصمیم‌گیری سازمان هماهنگ شود. مفهوم جهت‌گیری دیجیتال نیز به‌عنوان نوعی جهت‌گیری راهبردی مطرح شده است که تعیین می‌کند سازمان چگونه فرصت‌های ناشی از فناوری‌های دیجیتال را شناسایی و آن‌ها را به اهداف، منابع و منطق خلق ارزش خود متصل می‌کند (Kindermann et al., 2021). در شرکت‌های

سیمانی، فناوری محوری می‌تواند در قالب نوسازی سامانه‌های کنترل توزیع‌شده، خودکارسازی فرایندهای بارگیری، پایش برخط مصرف انرژی و آلاینده‌گی، استفاده از سامانه‌های برنامه‌ریزی تولید، توسعه داشبوردهای مدیریتی، نگهداری پیش‌بینانه، کنترل هوشمند فرایند، بازیابی حرارت و اجرای پروژه‌های تحقیق و توسعه نمایان شود. این اقدامات از طریق کاهش توقفات ناخواسته، افزایش قابلیت اطمینان تجهیزات، بهبود کیفیت تصمیم‌گیری، کاهش ضایعات و کنترل دقیق‌تر مصرف منابع می‌توانند زمینه ارتقای بهره‌وری را فراهم کنند.

باین‌حال، در دسترس بودن یک فناوری لزوماً به بهبود عملکرد منجر نمی‌شود. اجرای هر فناوری مستلزم سرمایه‌گذاری، آموزش، تغییر فرایند، تأمین مهارت‌های مکمل و تحمل هزینه‌های دوره گذار است. مطالعات انجام‌شده در کارخانه‌های سیمان نشان داده‌اند که پذیرش راهکارهای بهبود کارایی انرژی به هزینه اجرا، پیچیدگی فنی، مدت بازگشت سرمایه و میزان اختلالی که در فرایند تولید ایجاد می‌کنند وابسته است؛ از این‌رو، شرکت‌ها اغلب اقدام‌هایی را ترجیح می‌دهند که ریسک اجرایی کمتر و بازده کوتاه‌مدت‌تری داشته باشند (Cantini et al., 2021). بررسی روش‌های کمی سنجش مصرف و صرفه‌جویی انرژی نیز نشان می‌دهد که برآورد آثار فناوری به مرز تحلیل، کیفیت داده‌ها، سطح تجمیع اطلاعات و انتخاب خط مبنا وابسته است و بدون تعریف دقیق این عناصر، ممکن است صرفه‌جویی برآوردشده با بهبود واقعی بهره‌وری فاصله داشته باشد (Andrijevska & Volkova, 2025). افزون بر این، موانع اقتصادی، سیاستی و فنی، از جمله هزینه بالای سرمایه‌گذاری، عدم قطعیت مقررات، محدودیت زیرساخت و ریسک فناوری، می‌توانند فرایند پذیرش فناوری‌های جدید در صنعت سیمان را کند سازند (Ige & Kabeya, 2025). بنابراین، اثر فناوری محوری بر بهره‌وری نه فقط به تعداد فناوری‌های به‌کارگرفته‌شده، بلکه به کیفیت انتخاب، نحوه استقرار و میزان هم‌راستایی آن‌ها با مسائل واقعی شرکت بستگی دارد.

پژوهش‌های جدید در حوزه تحول دیجیتال نیز بر این نکته تأکید دارند که برخورداری از قابلیت فناوری اطلاعات زمانی به بهبود عملکرد منجر می‌شود که به شکل‌گیری جهت‌گیری دیجیتال و تحول واقعی در فرایندها و ساختارهای سازمانی بینجامد. قابلیت فنی بدون تغییر در رویه‌های تصمیم‌گیری، تقسیم کار و نظام پاسخ‌گویی ممکن است تنها زیرساختی پرهزینه ایجاد کند و اثر مشخصی بر بهره‌وری نداشته باشد (Barba-Sanchez et al., 2024). همچنین شواهد نشان داده‌اند که فناوری محوری می‌تواند از طریق نوآوری دیجیتال بر عملکرد نوآوری سازمان اثر بگذارد؛ به بیان دیگر، فناوری هنگامی ارزشمند است که توان تبدیل اطلاعات، ابزارها و زیرساخت‌های فنی به محصولات، فرایندها و راه‌حل‌های جدید در سازمان وجود داشته باشد (Nassani et al., 2023). یافته‌های فراتحلیلی نیز حاکی از آن است که قابلیت تحول دیجیتال در سازمان‌هایی اثر قوی‌تری بر کارایی و نوآوری دارد که استفاده از فناوری را با هدف روشن ارزش‌آفرینی و چشم‌انداز راهبردی هدایت می‌کنند (Chang et al., 2026). این شواهد نشان می‌دهند که فناوری محوری را باید یک قابلیت سازمانی و راهبردی دانست، نه مجموعه‌ای از خریدهای تجهیزاتی پراکنده.

در کنار فناوری محوری، کارآفرینی سازمانی می‌تواند نقشی تعیین‌کننده در تبدیل ظرفیت‌های موجود به فرصت‌های جدید بهره‌وری داشته باشد. کارآفرینی سازمانی به فرایند شناسایی، ارزیابی و بهره‌برداری از فرصت‌های نو در درون یک بنگاه موجود اشاره دارد و ابعادی مانند نوآوری، پیش‌نگری، پذیرش ریسک و توسعه بازار را دربر می‌گیرد. در صنعت سیمان، این جهت‌گیری می‌تواند از طریق تولید سیمان‌های مرکب و ویژه، توسعه محصولات کم‌کربن، ورود به بازارهای صادراتی، اجرای پروژه‌های پایلوت، تجاری‌سازی دانش فنی، ایجاد فعالیت‌های مکمل در زنجیره ارزش و استفاده از فناوری برای ارائه خدمات جدید بروز یابد. پژوهش‌ها در بازارهای نوظهور نشان داده‌اند که فناوری‌های دیجیتال و دسترسی به بازارهای بین‌المللی می‌توانند از طریق تقویت جهت‌گیری کارآفرینانه، نوآوری کسب‌وکار را افزایش دهند (Dana et al., 2022). همچنین جهت‌گیری کارآفرینانه دیجیتال در تعامل با ظرفیت جذب فناوری می‌تواند نوآوری دیجیتال و عملکرد کسب‌وکار را تقویت کند؛ زیرا

سازمان برای بهره‌برداری از فرصت‌های فناورانه باید علاوه بر روحیه فرصت‌جویی، توان شناسایی، جذب و کاربرد دانش جدید را نیز داشته باشد (Jang & Lee, 2025).

رابطه کارآفرینی سازمانی با بهره‌وری در صنعت سیمان می‌تواند پیچیده و زمان‌مند باشد. ورود به بازار جدید یا توسعه محصول تازه ممکن است در مراحل اولیه هزینه‌های آزمایش، استانداردسازی، بازاریابی، بسته‌بندی و تغییر تنظیمات خط را افزایش دهد و حتی بهره‌وری کوتاه‌مدت را کاهش دهد. در مقابل، توسعه سیمان‌های مرکب با کلینکر فاکتور پایین‌تر، جذب ظرفیت بلااستفاده از طریق صادرات یا ایجاد فعالیت‌های مکمل می‌تواند در میان‌مدت استفاده از منابع موجود را بهبود بخشد. بنابراین، کارآفرینی سازمانی ممکن است ابتدا در شاخص‌هایی مانند فروش، تنوع محصول، سهم بازار یا حاشیه سود ظاهر شود و اثر آن بر تولید به‌ازای نیروی انسانی با وقفه زمانی آشکار گردد. این موضوع ضرورت تفکیک میان اقدام‌های کارآفرینانه در مرحله ایده، پایلوت، تجاری‌سازی و توسعه مقیاس را نشان می‌دهد. اگر یک شرکت صرفاً از نوآوری سخن بگوید، اما محصول، بازار، پروژه یا برنامه اجرایی مشخصی نداشته باشد، نمی‌توان آن را دارای جهت‌گیری کارآفرینانه بالفعل دانست. ازاین‌رو، سنجش کارآفرینی سازمانی بر پایه شواهد مستند اقدام‌های اجراشده یا در حال اجرا می‌تواند نسبت به ارزیابی‌های کلی و ادراکی، پیوند دقیق‌تری با عملکرد عینی سازمان برقرار کند. عامل سوم، مدیریت استراتژیک است که می‌تواند سازوکار اتصال فناوری و کارآفرینی به نتایج بهره‌وری باشد. مدیریت استراتژیک فرایندی مستمر برای تعیین جهت حرکت سازمان، شناسایی فرصت‌ها و تهدیدها، تخصیص منابع، تعیین اهداف، پایش عملکرد و اصلاح تصمیم‌هاست. در صنعت سیمان، شرکت‌ها با گزینه‌های متعددی مانند نوسازی تجهیزات، بهبود انرژی، توسعه محصول، افزایش ظرفیت، ورود به بازارهای صادراتی و کاهش آلاینده‌گی مواجه‌اند، درحالی‌که منابع مالی، زمان توقف، نیروی متخصص و ظرفیت مدیریتی آن‌ها محدود است. در چنین شرایطی، مدیریت استراتژیک باید مشخص کند که کدام پروژه‌ها با گلوگاه‌های واقعی شرکت ارتباط بیشتری دارند و چگونه باید منابع میان آن‌ها تخصیص یابد. تحلیل راهبردی صنعت سیمان ایران نشان داده است که فرصت‌های ناشی از ظرفیت تولید و دسترسی به مواد اولیه در کنار تهدیدهایی مانند محدودیت انرژی، مشکلات بازار، رقابت صادراتی و ناپایداری سیاستی قرار دارند و بهره‌برداری از مزیت‌های صنعت نیازمند انتخاب راهبردهای منسجم و قابل اجراست (Eskandari & Mohammadi-Nasab, 2023). بنابراین، وجود سند چشم‌انداز یا برنامه بلندمدت به‌تنهایی کافی نیست و کیفیت مدیریت استراتژیک باید در وجود اهداف قابل اندازه‌گیری، شاخص‌های عملکرد، سازوکار مدیریت ریسک و پروژه‌های اجرایی همسو با اولویت‌های سازمان مشاهده شود.

هم‌راستایی تحول فنی و تحول سازمانی در چارچوب مدیریت استراتژیک اهمیت ویژه‌ای دارد. الگوهای صنعت ۴.۰ در بخش سیمان نشان داده‌اند که حرکت به سوی هوشمندسازی باید با تشخیص وضعیت سازمان، تعیین اولویت‌ها و چرخه مستمر برنامه‌ریزی، اجرا، ارزیابی و اقدام اصلاحی همراه شود (Mahnashi et al., 2023). اگر فناوری بدون مالک فرایند، شاخص نتیجه و سازوکار بازخورد اجرا شود، ممکن است به افزایش پیچیدگی و هزینه منجر شود. همچنین اگر فرصت کارآفرینانه بدون ارزیابی فنی-اقتصادی و برنامه تخصیص منابع دنبال شود، احتمال شکست یا نیمه‌تمام ماندن پروژه افزایش می‌یابد. مدل‌های تصمیم‌گیری تولید در صنعت سیمان نیز نشان می‌دهند که شرکت‌ها باید هم‌زمان محدودیت ظرفیت، ترکیب محصول، هزینه‌های عملیاتی، مالیات کربن و اعتبارهای زیست‌محیطی را در تصمیم‌های خود لحاظ کنند (Tsai & Lin, 2024). این امر بیانگر آن است که بهره‌وری نتیجه یک تصمیم منفرد نیست، بلکه حاصل مجموعه‌ای از انتخاب‌های هماهنگ در حوزه تولید، انرژی، بازار، سرمایه‌گذاری و محیط‌زیست است.

فشارهای زیست‌محیطی و الزامات پایداری نیز اهمیت مدیریت یکپارچه فناوری و بهره‌وری را افزایش داده‌اند. صنعت سیمان یکی از صنایع با مصرف بالای انرژی و انتشار قابل‌توجه آلاینده‌هاست و حرکت به سوی تولید پایدار، شرکت‌ها را ناگزیر می‌کند که بهره‌وری اقتصادی را با کارایی انرژی و عملکرد زیست‌محیطی هماهنگ سازند. ارزیابی کارایی زیست‌محیطی صنعت سیمان چین با لحاظ خروجی‌های نامطلوب،

ناهمگنی چشمگیری میان واحدهای تولیدی نشان داده و بر وجود ظرفیت قابل توجه برای بهبود همزمان تولید و کاهش آثار زیست محیطی تأکید کرده است (Tu et al., 2022). در ایران نیز رویکردهای طراحی مبتنی بر معیارهای پایداری نشان داده اند که بهبود معماری کارخانه، مدیریت مصرف انرژی و کاهش آلاینده‌گی می‌تواند در قالب یک نظام یکپارچه طراحی و بهره‌برداری دنبال شود (Eghbalian et al., 2024). ارزیابی بلوغ پایداری در کارخانه‌های سیمان برزیل نیز نشان داده است که واحدهای تولیدی ممکن است در ابعاد اقتصادی، زیست محیطی و مدیریتی سطوح متفاوتی از بلوغ داشته باشند و مقایسه آن‌ها باید با استفاده از معیارهای چندبعدی انجام شود (Santos Junior et al., 2026). بنابراین، بهره‌وری معاصر در صنعت سیمان نمی‌تواند از پایداری، انرژی و قابلیت انطباق راهبردی جدا در نظر گرفته شود.

از سوی دیگر، سیاست‌های انرژی و محیط‌زیستی می‌توانند بر انگیزه شرکت‌ها برای سرمایه‌گذاری و بهبود بهره‌وری اثر بگذارند. شواهد حاصل از صنعت سیمان هند نشان داده است که ابزارهای سیاستی مبتنی بر بازار الزاماً اثر یکسانی بر بهره‌وری کل عوامل تولید ندارند و واحدهایی که پیش از اجرای سیاست از کارایی بیشتری برخوردار بوده‌اند، ممکن است پاسخ مثبت‌تری نشان دهند (Bansal et al., 2026). این یافته بر اهمیت قابلیت‌های اولیه شرکت، کیفیت مدیریت و سطح آمادگی فناوریانه تأکید می‌کند. به بیان دیگر، سیاست یا فناوری مشابه ممکن است در دو شرکت نتایج متفاوتی ایجاد کند، زیرا ظرفیت جذب، کیفیت اجرا و ساختار تصمیم‌گیری آن‌ها یکسان نیست. از این رو، تحلیل بهره‌وری باید علاوه بر متغیرهای بیرونی، به ویژگی‌های مدیریتی و سازمانی شرکت‌ها نیز توجه کند.

با وجود گسترش مطالعات مربوط به کارایی انرژی، تحول دیجیتال، کارآفرینی و مدیریت راهبردی، چند شکاف اساسی در ادبیات مشاهده می‌شود. نخست، بخش مهمی از مطالعات صنعت سیمان بر شاخص‌های فنی، مالی، انرژی یا زیست محیطی تمرکز کرده‌اند و عوامل مدیریتی را مستقیماً وارد تحلیل بهره‌وری نکرده‌اند. دوم، پژوهش‌های فناوری محوری و کارآفرینی سازمانی غالباً بر داده‌های پرسشنامه‌ای و ادراک مدیران استوارند و فاصله میان ادعای مدیریتی و اقدام اجرا شده را کمتر بررسی کرده‌اند. سوم، مطالعات تحول دیجیتال و صنعت ۴.۰ بیشتر به طراحی چارچوب، سنجش آمادگی یا تبیین عملکرد نوآوری پرداخته‌اند و ارتباط آن‌ها با تولید فیزیکی به‌ازای نیروی کار در سطح شرکت کمتر آزمون شده است. چهارم، بسیاری از پژوهش‌ها فناوری، کارآفرینی و مدیریت استراتژیک را به‌صورت جداگانه بررسی کرده‌اند، درحالی‌که اثر واقعی آن‌ها ممکن است ماهیتی مکمل داشته باشد. فناوری بدون فرصت‌جویی سازمانی ممکن است به بهبود محدود فرایند منجر شود، کارآفرینی بدون ظرفیت فناوریانه ممکن است در مرحله ایده باقی بماند و هر دو بدون مدیریت استراتژیک ممکن است با تخصیص پراکنده منابع و نبود پایش نتیجه مواجه شوند.

در صنعت سیمان ایران، این شکاف‌ها با محدودیت دسترسی به داده‌های یکپارچه شرکت‌ها تشدید می‌شود. گزارش‌های رسمی شرکت‌ها اطلاعاتی درباره تولید، نیروی انسانی، پروژه‌های فنی، برنامه‌های توسعه، مدیریت ریسک و اقدامات بازار ارائه می‌کنند، اما کیفیت و میزان افشای اطلاعات میان شرکت‌ها یکسان نیست. با این حال، این گزارش‌ها یکی از معدود منابعی هستند که امکان پیوند دادن داده عینی تولید با شواهد مستند مدیریتی را فراهم می‌کنند. استفاده از این منابع می‌تواند جهت‌گیری‌های مدیریتی را از سطح نگرش و ادعا به سطح اقدام‌های قابل مشاهده منتقل کند. در چنین رویکردی، صرف اشاره به فناوری، نوآوری یا راهبرد برای امتیازدهی کافی نیست و باید شواهدی از اجرای پروژه، توسعه محصول، ورود به بازار، تعیین هدف، پایش عملکرد یا تخصیص منابع وجود داشته باشد. این شیوه سنجش، اگرچه همچنان به کیفیت افشا وابسته است، می‌تواند چارچوبی اولیه برای بررسی تجربی ارتباط میان اقدامات مدیریتی و بهره‌وری فیزیکی شرکت‌های سیمانی فراهم سازد.

بر این اساس، هدف پژوهش حاضر تحلیل رابطه فناوری محوری، کارآفرینی سازمانی، مدیریت استراتژیک و شاخص ترکیبی این جهت‌گیری‌ها با بهره‌وری فیزیکی نیروی کار در شرکت‌های صنعت سیمان ایران با استفاده از شواهد مستند گزارش‌های رسمی و مدل‌های اقتصادسنجی است.

روش پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر شیوه گردآوری داده‌ها، اسنادی است. از نظر روش تحلیل نیز در زمره پژوهش‌های همبستگی-اقتصادسنجی قرار می‌گیرد. داده‌های مورد نیاز از گزارش‌های رسمی شرکت‌های تولیدکننده سیمان استخراج شدند و از پرسش‌نامه یا ارزیابی ادراکی مدیران و کارکنان استفاده نشد.

در این پژوهش، متغیر وابسته بر مبنای اطلاعات فیزیکی تولید و نیروی انسانی محاسبه شد و متغیرهای مدیریتی با استفاده از شواهد مستند اقدام‌های اجراشده یا در حال اجرای شرکت‌ها سنجیده شدند. واحد تحلیل «شرکت-دوره گزارش» است؛ بنابراین هر مشاهده، اطلاعات مربوط به یک شرکت در یک دوره مالی مشخص را دربر می‌گیرد.

ماهیت پژوهش مقطعی و اکتشافی است. در نتیجه، روابط برآوردشده بیانگر همراهی آماری متغیرها هستند و نباید به‌عنوان اثر علی قطعی فناوری محوری، کارآفرینی سازمانی یا مدیریت استراتژیک بر بهره‌وری تفسیر شوند.

جامعه پژوهش شامل شرکت‌های تولیدکننده سیمان پذیرفته‌شده در بورس اوراق بهادار تهران و فرابورس ایران در سال‌های مالی ۱۴۰۲ تا ۱۴۰۴ است. با توجه به ماهیت اسنادی پژوهش، واحد تحلیل «شرکت-دوره گزارش» در نظر گرفته شد.

مشاهدات به‌صورت هدفمند و بر اساس معیارهای ازپیش‌تعیین‌شده انتخاب شدند. معیارهای ورود به نمونه شامل دسترسی عمومی به گزارش رسمی شرکت، افشای مقدار تولید سیمان، ارائه تعداد کارکنان با تعریفی قابل تشخیص، وجود شواهد متنی کافی برای سنجش جهت‌گیری‌های مدیریتی و نبود هم‌پوشانی زمانی میان گزارش‌های انتخاب‌شده یک شرکت بود. مشاهددهایی که فاقد یکی از اطلاعات اصلی شامل تولید سیمان، تعداد کارکنان یا شواهد مدیریتی بودند، از نمونه کنار گذاشته شدند. برای مقادیر مفقود نیز از میانگین‌گذاری، جایگزینی آماری یا برآورد ذهنی استفاده نشد.

بر این اساس، نمونه نهایی شامل هشت مشاهده شرکت-دوره مربوط به هشت شرکت سیمان تهران، سیمان آبیک، سیمان فارس، سیمان شاهرود، سیمان ساوه، صنایع سیمان غرب، سیمان آرتا اردبیل و سیمان بهبهان بود. از مجموع هشت مشاهده، پنج مورد مربوط به گزارش‌های ۱۲ ماهه، یک مورد مربوط به گزارش شش‌ماهه و دو مورد مربوط به گزارش‌های سه‌ماهه بود؛ بنابراین حجم نمونه پژوهش برابر با $N=8$ است.

اطلاعات تولید سیمان، تعداد کارکنان، دوره مالی و شواهد مربوط به فناوری محوری، کارآفرینی سازمانی و مدیریت استراتژیک از گزارش‌های رسمی شرکت‌ها استخراج شد. برای هر مشاهده، اطلاعات مورد استفاده، صفحه گزارش و شواهد مربوط به امتیازدهی ثبت و کنترل شدند.

استفاده از گزارش‌های رسمی این امکان را فراهم می‌کند که متغیرهای پژوهش بر مبنای اطلاعات افشاشده و قابل ردیابی سنجیده شوند. با این حال، میزان و کیفیت افشای اطلاعات در همه شرکت‌ها یکسان نیست. از این رو، امتیاز پایین یک شرکت ممکن است ناشی از فقدان اقدام یا افشا نشدن اقدام در گزارش باشد. بنابراین متغیرهای مدیریتی این پژوهش، جهت‌گیری‌های افشاشده و قابل مشاهده را اندازه‌گیری می‌کنند و لزوماً تمام قابلیت‌های پنهان شرکت را پوشش نمی‌دهند.

متغیر وابسته پژوهش، بهره‌وری فیزیکی نیروی کار است. این متغیر از نسبت مقدار تولید سالانه‌شده سیمان به تعداد کارکنان محاسبه شد. برای گزارش‌های ۱۲ ماهه، مقدار تولید اعلام‌شده بدون تغییر استفاده شد. برای گزارش‌های سه‌ماهه و شش‌ماهه، تولید با فرض ثبات متوسط تولید ماهانه به مقیاس ۱۲ ماهه تبدیل شد:

$$AnnualizedOutput_i = CementOutput_i \times (12/Months_i)$$

در این رابطه، $AnnualizedOutput_i$ تولید سالانه‌شده مشاهده i ، $CementOutput_i$ مقدار تولید سیمان گزارش‌شده و $Months_i$ تعداد ماه‌های دوره گزارش است. سپس بهره‌وری فیزیکی نیروی کار از رابطه زیر به دست آمد:

$$LP_i = AnnualizedOutput_i / Employees_i$$

در رابطه فوق، LP_i بهره‌وری نیروی کار برحسب تن سیمان به‌ازای هر نفر و $Employees_i$ تعداد کارکنان گزارش‌شده شرکت است. برای کاهش چولگی متغیر وابسته و تفسیر نسبی‌تر ضرایب، لگاریتم طبیعی بهره‌وری در مدل‌های رگرسیونی استفاده شد:

$$\ln LP_i = \ln(LP_i)$$

برای هر یک از سه سازه مدیریتی، چهار معیار دودویی تعریف شد. هر معیار در صورت وجود شاهد مشخص از اقدام اجراشده یا در حال اجرا، امتیاز یک و در صورت فقدان شاهد، امتیاز صفر دریافت کرد. صرف اشاره کلی به اهمیت فناوری، نوآوری، راهبرد یا ریسک، بدون وجود اقدام مشخص، در امتیازدهی لحاظ نشد.

معیارهای فناوری محوری عبارت بودند از: (۱) اجرای اتوماسیون یا دیجیتالی‌سازی؛ (۲) استفاده از فناوری بهبود انرژی یا فرایند؛ (۳) استفاده از پایش برخط، سامانه داده یا نرم‌افزار عملیاتی؛ و (۴) اجرای تحقیق و توسعه، پایلوت یا راه‌حل فنی جدید.

معیارهای کارآفرینی سازمانی عبارت بودند از: (۱) ارائه محصول جدید یا اجرای پایلوت؛ (۲) ورود محقق‌شده به بازار یا مقصد صادراتی جدید؛ (۳) تجاری‌سازی یا اجرای برنامه نوآوری و تحقیق و توسعه؛ و (۴) ایجاد ظرفیت، فعالیت یا حلقه جدید در زنجیره ارزش.

معیارهای مدیریت استراتژیک عبارت بودند از: (۱) وجود اهداف صریح و قابل پیگیری؛ (۲) استفاده از شاخص‌ها و سازوکار پایش عملکرد؛ (۳) وجود سازوکار مدیریت ریسک؛ و (۴) وجود برنامه سرمایه‌گذاری، تخصیص منابع یا پروژه اجرایی همسو با اهداف.

$$TO_i = \sum(t_{ij}), j = 1, \dots, 4$$

$$EO_i = \sum(e_{ij}), j = 1, \dots, 4$$

$$SM_i = \sum(s_{ij}), j = 1, \dots, 4$$

دامنه تغییر هر یک از سه متغیر از صفر تا چهار است. برای بررسی وضعیت کلی جهت‌گیری‌های مدیریتی، شاخص ترکیبی از میانگین امتیازهای سه سازه محاسبه شد:

$$ORI_i = (TO_i + EO_i + SM_i) / 3$$

وزن هر سه سازه در شاخص ترکیبی برابر در نظر گرفته شد تا نتیجه به انتخاب وزن‌های ذهنی اضافی وابسته نباشد. شاخص ترکیبی جایگزین سه سازه اصلی نیست و صرفاً تصویری خلاصه از وضعیت هم‌زمان آن‌ها ارائه می‌کند.

معیارهای سنجش متغیرهای مدیریتی با استفاده از مبانی نظری فناوری محوری، کارآفرینی سازمانی، مدیریت استراتژیک و مصادیق صنعت سیمان تدوین شدند. قواعد امتیازدهی پیش از استخراج نهایی داده‌ها تعیین شد و فقط اقدام‌های اجراشده یا در حال اجرا در امتیازدهی منظور شدند.

برای کاهش هم پوشانی مفهومی، یک شاهد تنها زمانی در بیش از یک متغیر امتیاز دریافت کرد که برای هر سازه معنای مستقل داشت. برای نمونه، نوسازی یک سامانه کنترل به فناوری محوری امتیاز می‌دهد؛ اما تنها زمانی به کارآفرینی سازمانی نیز مربوط می‌شود که به محصول جدید، بازار جدید، تجاری سازی یا توسعه زنجیره ارزش منجر شده باشد.

برای تحلیل داده‌ها، Syntax سازگار با نرم افزار IBM SPSS Statistics نسخه ۲۹ تدوین شد. مقادیر گزارش شده با محاسبات آماری معادل و بازیابی مستقل کنترل شدند. Syntax شامل ورود هشت مشاهده، محاسبه تولید سالانه شده، بهره‌وری، لگاریتم بهره‌وری، شاخص ترکیبی، استانداردسازی متغیرهای مدیریتی، آمار توصیفی، همبستگی اسپیرمن، مدل‌های رگرسیونی مقاوم، شاخص‌های نفوذ و تحلیل‌های حساسیت است.

ابتدا میانگین، میانه، انحراف معیار، کمینه و بیشینه متغیرها محاسبه شد. سپس با توجه به حجم محدود نمونه و ماهیت گسسته امتیازهای مدیریتی، از ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن برای بررسی رابطه دو متغیره استفاده شد.

برای کنترل بخشی از تفاوت گزارش‌های سالانه و میان دوره‌ای، متغیر مجازی نوع دوره گزارش تعریف شد؛ این متغیر برای گزارش‌های ۱۲ ماهه برابر یک و برای گزارش‌های سه یا شش ماهه برابر صفر در نظر گرفته شد. مدل عمومی پژوهش به صورت زیر است:

$$\ln LP_i = \beta_0 + \beta_1 Z(\text{Orientation}_i) + \beta_2 \text{AnnualReport}_i + \varepsilon_i$$

در این مدل، Orientation_i در چهار برآورد به ترتیب فناوری محوری، کارآفرینی سازمانی، مدیریت استراتژیک و شاخص ترکیبی است. ضریب β_1 تغییر لگاریتم بهره‌وری در برابر یک انحراف معیار افزایش در جهت گیری مدیریتی را نشان می‌دهد.

با توجه به محدود بودن حجم نمونه و احتمال ناهمسانی واریانس، از خطاهای استاندارد مقاوم HC۳ استفاده شد. مقادیر احتمال و فاصله‌های اطمینان ۹۵ درصد بر مبنای توزیع t و درجات آزادی باقیمانده محاسبه شدند. در مدل‌های اصلی، سه پارامتر شامل عرض از مبدأ، متغیر مدیریتی و متغیر کنترل برآورد شد؛ بنابراین درجه آزادی باقیمانده برابر با پنج بود.

سطح ۰.۰۵ به عنوان معیار اصلی معناداری آماری در نظر گرفته شد. با این حال، به دلیل حجم نمونه بسیار محدود، تفسیر نتایج بر جهت ضریب، اندازه برآورد، فاصله اطمینان و حساسیت نتایج متمرکز شد. برای ارزیابی نفوذ مشاهدات نیز اهرم آماری و فاصله کوک بررسی شدند. تحلیل حساسیت مدل شاخص ترکیبی شامل حذف متغیر کنترل، حذف مشاهده سال مالی ۱۴۰۴ و محدود کردن تحلیل به گزارش‌های ۱۲ ماهه بود.

یافته‌ها

نمونه نهایی شامل هشت مشاهده شرکت-دوره مربوط به هشت شرکت سیمانی بود. اطلاعات تولید، تعداد کارکنان، تولید سالانه شده و بهره‌وری محاسبه شده در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۱

مشخصات هشت مشاهده و بهره‌وری فیزیکی نیروی کار

شرکت	سال مالی	دوره	تولید گزارش شده (تن)	کارکنان	تولید سالانه شده (تن)	بهره‌وری (تن/انفر)
سیمان تهران	۱۴۰۳	۱۲ ماهه	۳۰۶۱۷۳۰	۱۳۱۸	۳۰۶۱۷۳۰	۲۳۳۳/۰
سیمان آبیک	۱۴۰۳	۱۲ ماهه	۳۰۱۰۱۴۲	۹۶۶	۳۰۱۰۱۴۲	۳۱۱۶/۱
سیمان فارس	۱۴۰۳	۱۲ ماهه	۶۴۹۶۱۴	۳۳۱	۶۴۹۶۱۴	۱۹۶۲/۶

سیمان شاهرود	۱۴۰۲	۱۲ ماهه	۱'۵۵۲'۶۳۵	۵۸۶	۱'۵۵۲'۶۳۵	۲'۶۴۹/۵
سیمان ساوه	۱۴۰۳	شش ماهه	۱'۲۳۲'۲۳۷	۷۶۹	۲'۴۶۴'۴۷۴	۳'۲۰۴/۸
صنایع سیمان غرب	۱۴۰۳	سه ماهه	۲۰۴'۷۳۵	۴۵۷	۸۱۸'۹۴۰	۱'۷۹۲/۰
سیمان آرتا اردبیل	۱۴۰۳	سه ماهه	۲۱۶'۹۴۳	۳۰۶	۸۶۷'۷۷۲	۲'۸۳۵/۹
سیمان بهبهان	۱۴۰۴	۱۲ ماهه	۴۷۹'۱۰۰	۴۴۵	۴۷۹'۱۰۰	۱'۰۷۶/۶

بهره‌وری فیزیکی نیروی کار از ۱۰۷۶٫۶ تا ۳۲۰۴٫۸ تن سیمان به‌ازای هر نفر تغییر داشت. میانگین بهره‌وری برابر با ۲۳۷۰٫۱ تن، میانه آن ۲۴۸۶٫۳ تن و انحراف معیار آن ۷۲۹٫۴ تن به‌ازای هر نفر بود. بیشترین مقدار برآوردی بهره‌وری مربوط به سیمان ساوه و کمترین مقدار مربوط به سیمان بهبهان بود. باین‌حال، مقدار سیمان ساوه بر اساس سالانه‌سازی گزارش شش ماهه محاسبه شده است و نباید به‌عنوان تولید واقعی ۱۲ ماهه یا رتبه‌بندی قطعی عملکرد شرکت‌ها تفسیر شود.

میانگین امتیاز فناوری‌محوری برابر با ۲٫۳۷۵، میانگین کارآفرینی سازمانی برابر با ۱٫۶۲۵، میانگین مدیریت استراتژیک برابر با ۳٫۵۰۰ و میانگین شاخص ترکیبی برابر با ۲٫۵۰۰ بود. امتیاز مدیریت استراتژیک فقط میان سه و چهار تغییر داشت؛ بنابراین محدودیت دامنه این متغیر می‌تواند توان آماری مدل را کاهش دهد.

جدول ۲

آمار توصیفی متغیرهای پژوهش

متغیر	میانگین	انحراف معیار	میانه	کمینه	بیشینه
بهره‌وری نیروی کار	۲۳۷۰٫۱	۷۲۹٫۴	۲۴۸۶٫۳	۱۰۷۶٫۶	۳۲۰۴٫۸
فناوری‌محوری	۲٫۳۷۵	۱٫۱۸۸	۲٫۵۰۰	۰	۴
کارآفرینی سازمانی	۱٫۶۲۵	۱٫۰۶۱	۱٫۵۰۰	۰	۳
مدیریت استراتژیک	۳٫۵۰۰	۰٫۵۳۵	۳٫۵۰۰	۳	۴
شاخص ترکیبی	۲٫۵۰۰	۰٫۵۳۵	۲٫۶۶۷	۱٫۶۶۷	۳

علاوه بر این، ضریب همبستگی اسپیرمن میان بهره‌وری و فناوری‌محوری برابر با ۰٫۱۲۵ بود که از نظر آماری معنادار نبود ($p=۰.۷۶۸$). همبستگی بهره‌وری با کارآفرینی سازمانی برابر با ۰٫۲۲۲ ($p=۰.۵۹۷$)، با مدیریت استراتژیک برابر با ۰٫۲۱۸ ($p=۰.۶۰۴$) و با شاخص ترکیبی برابر با ۰٫۲۳۵ ($p=۰.۵۷۶$) به دست آمد.

هیچ‌یک از ضرایب همبستگی در سطح پنج درصد معنادار نبودند. علامت مثبت فناوری‌محوری، کارآفرینی سازمانی و شاخص ترکیبی با انتظار نظری همسو بود؛ اما اندازه روابط ضعیف و عدم قطعیت آن‌ها زیاد بود. علامت منفی مدیریت استراتژیک نیز با توجه به دامنه محدود امتیازها و تفاوت ساختاری شرکت‌ها، شواهدی برای اثر منفی علی محسوب نمی‌شود.

برای هر یک از سه جهت‌گیری مدیریتی و شاخص ترکیبی، یک مدل جداگانه حداقل مربعات برآورد شد. در تمام مدل‌ها، لگاریتم طبیعی بهره‌وری متغیر وابسته و نوع دوره گزارش متغیر کنترل بود. متغیرهای مدیریتی پیش از ورود به مدل استاندارد شدند.

جدول ۳

نتایج مدل‌های OLS با خطاهای استاندارد مقاوم HC3

مدل	ضریب جهت گیری B	SE(HC3)	p	فاصله اطمینان ۹۵٪	ضریب کنترل دوره	p کنترل	R ²	R ² تعدیل شده
فناوری محوری	۰/۰۰۲	۰/۱۳۰	۰/۹۸۷	۰/۳۳۳ تا ۰/۳۳۷	۰/۱۸۹-	۰/۶۱۱	۰/۰۷۳	۰/۲۹۸-
کارآفرینی سازمانی	۰/۲۱۹	۰/۲۱۵	۰/۳۵۵	۰/۷۷۳ تا ۰/۳۳۴-	۰/۳۹۶-	۰/۳۳۶	۰/۳۵۰	۰/۰۹۰
مدیریت استراتژیک	۰/۰۶۸-	۰/۳۰۴	۰/۸۳۱	۰/۸۴۹ تا ۰/۷۱۳	۰/۰۸۷-	۰/۸۷۹	۰/۰۸۷	۰/۲۷۸-
شاخص ترکیبی	۰/۱۲۶	۰/۳۰۸	۰/۶۹۹	۰/۶۶۵ تا ۰/۹۱۸	۰/۲۹۵-	۰/۵۸۰	۰/۱۷۱	۰/۱۶۰-

ضریب فناوری محوری برابر با ۰/۰۰۲ بود. این مقدار عملاً نزدیک به صفر است و نشان می‌دهد در نمونه حاضر، افزایش یک انحراف معیار در امتیاز فناوری محوری با تغییر قابل توجهی در لگاریتم بهره‌وری همراه نبوده است. خطای استاندارد مقاوم برابر با ۰/۱۳۰، مقدار احتمال برابر با ۰/۹۸۷ و فاصله اطمینان ۹۵ درصد از ۰/۳۳۳- تا ۰/۳۳۷ بود. مقدار R² مدل برابر با ۰/۰۷۳ بود. بنابراین شواهد آماری کافی برای تأیید فرضیه نخست به دست نیامد.

ضریب کارآفرینی سازمانی برابر با ۰/۲۱۹ بود. علامت ضریب با جهت مورد انتظار فرضیه دوم همسو است؛ اما مقدار احتمال برابر با ۰/۳۵۵ بود و فاصله اطمینان ۹۵ درصد، از ۰/۳۳۴- تا ۰/۷۷۳، صفر را دربر گرفت. مقدار R² این مدل برابر با ۰/۳۵۰ بود. با توجه به حجم نمونه بسیار محدود، این مقدار نباید به تنهایی به عنوان قدرت توضیحی قطعی مدل تفسیر شود. در نتیجه، شواهد آماری کافی برای تأیید فرضیه دوم به دست نیامد.

ضریب مدیریت استراتژیک برابر با ۰/۰۶۸-، خطای استاندارد مقاوم برابر با ۰/۳۰۴ و مقدار احتمال برابر با ۰/۸۳۱ بود. فاصله اطمینان ۹۵ درصد نیز از ۰/۸۴۹- تا ۰/۷۱۳ تغییر داشت و صفر را دربر گرفت. مقدار R² مدل برابر با ۰/۰۸۷ بود. بنابراین شواهد آماری کافی برای تأیید فرضیه سوم به دست نیامد.

بررسی تشخیصی نشان داد در این مدل، مشاهده سیمان تهران دارای اهرم آماری برابر با یک است. در نتیجه، برآورد HC3 این مدل به ساختار نمونه و خطاهای عددی حساس است و باید با احتیاط بیشتری از سایر مدل‌ها تفسیر شود. علامت منفی ضریب نیز به هیچ وجه اثبات کننده اثر منفی مدیریت استراتژیک نیست؛ زیرا دامنه امتیازهای این سازه محدود و حجم نمونه بسیار کوچک است.

ضریب شاخص ترکیبی برابر با ۰/۱۲۶ بود. علامت این ضریب با فرضیه چهارم همسو است؛ اما خطای استاندارد مقاوم برابر با ۰/۳۰۸ و مقدار احتمال برابر با ۰/۶۹۹ بود. فاصله اطمینان ۹۵ درصد از ۰/۶۶۵- تا ۰/۹۱۸ تغییر داشت و طیف گسترده‌ای از اثر منفی تا اثر مثبت را پوشش داد. مقدار R² مدل نیز برابر با ۰/۱۷۱ بود. بنابراین شواهد آماری کافی برای تأیید فرضیه چهارم به دست نیامد.

برای ارزیابی پایداری نتیجه شاخص ترکیبی، مدل بدون متغیر کنترل، مدل پس از حذف مشاهده سال مالی ۱۴۰۴ و مدل محدود به گزارش‌های ۱۲ ماهه برآورد شد. نتایج در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۴

تحلیل حساسیت مدل شاخص ترکیبی

تحلیل	n	ضریب B	SE(HC۳)	p	فاصله اطمینان ۹۵٪	R ²
مدل اصلی با کنترل نوع دوره	۸	۰/۱۲۶	۰/۳۰۸	۰/۶۹۹	۰/۶۶۵ تا ۰/۹۱۸	۰/۱۷۱
بدون کنترل نوع دوره	۸	۰/۰۶۱	۰/۱۰۴	۰/۵۸۲	۰/۱۹۵ تا ۰/۳۱۶	۰/۰۲۸
حذف مشاهده سیمان بهبهان، سال ۱۴۰۴	۷	۰/۱۲۶	۰/۰۵۸	۰/۰۹۶۵	۰/۰۳۶ تا ۰/۲۸۸	۰/۳۰۲
فقط گزارش‌های ۱۲ ماهه	۵	۰/۱۲۴	۱/۳۳۸	۰/۹۳۲	۴/۱۳۳ تا ۴/۳۸۲	۰/۱۰۸

در مدل بدون کنترل نوع دوره، ضریب شاخص ترکیبی از ۰/۱۲۶ به ۰/۰۶۱ کاهش یافت و همچنان معنادار نبود. پس از حذف مشاهده سیمان بهبهان مربوط به سال مالی ۱۴۰۴، ضریب شاخص ترکیبی برابر با ۰/۱۲۶ باقی ماند، اما مقدار احتمال به ۰/۰۹۶۵ کاهش یافت. این نتیجه در سطح پنج درصد معنادار نیست و تغییر محسوس مقدار احتمال پس از حذف یک مشاهده، حساسیت مدل به ترکیب نمونه را نشان می‌دهد.

در تحلیل محدود به پنج گزارش ۱۲ ماهه، ضریب مثبت باقی ماند، اما خطای استاندارد به ۱/۳۳۸ افزایش یافت و فاصله اطمینان بسیار گسترده شد. همچنین در مدل شاخص ترکیبی، فاصله کوک سیمان فارس برابر با ۱/۴۷۴ بود که از آستانه تقریبی ۴ تقسیم بر ۸، یعنی ۰/۵، بیشتر است. بنابراین سیمان فارس یک مشاهده اثرگذار در این مدل محسوب می‌شود. اثرگذار بودن یک مشاهده الزاماً به معنای اشتباه بودن داده آن نیست؛ بلکه نشان می‌دهد موقعیت آن مشاهده تأثیر زیادی بر خط رگرسیون دارد.

جدول ۵

نتیجه آزمون فرضیه‌های پژوهش

فرضیه	ضریب	p	نتیجه
رابطه مثبت فناوری محوری با بهره‌وری	۰/۰۰۲	۰/۹۸۷	شواهد کافی برای تأیید به دست نیامد
رابطه مثبت کارآفرینی سازمانی با بهره‌وری	۰/۲۱۹	۰/۳۵۵	شواهد کافی برای تأیید به دست نیامد
رابطه مثبت مدیریت استراتژیک با بهره‌وری	۰/۰۶۸	۰/۸۳۱	شواهد کافی برای تأیید به دست نیامد
رابطه مثبت شاخص ترکیبی با بهره‌وری	۰/۱۲۶	۰/۶۹۹	شواهد کافی برای تأیید به دست نیامد

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی رابطه فناوری محوری، کارآفرینی سازمانی، مدیریت استراتژیک و شاخص ترکیبی این سه جهت‌گیری با بهره‌وری فیزیکی نیروی کار در شرکت‌های صنعت سیمان ایران انجام شد. یافته‌ها نشان داد که رابطه فناوری محوری با بهره‌وری نیروی کار مثبت، اما بسیار ضعیف و از نظر آماری نامعنا بود. ضریب همبستگی اسپیرمن میان این دو متغیر برابر با ۰/۱۲۵ و ضریب رگرسیونی استاندارد شده فناوری محوری در مدل کنترل شده برابر با ۰/۰۰۲ به دست آمد. همچنین فاصله اطمینان گسترده ضریب، صفر را دربر گرفت و شواهد کافی برای تأیید فرضیه نخست فراهم نشد. این یافته را نباید به معنای بی‌اثر بودن فناوری در صنعت سیمان تفسیر کرد، بلکه می‌توان آن را نشانه‌ای از پیچیدگی رابطه میان سرمایه‌گذاری فناورانه و پیامدهای بهره‌وری دانست. فناوری زمانی می‌تواند بر تولید به‌ازای نیروی انسانی اثر بگذارد که از مرحله خرید و استقرار اولیه عبور کرده، در فرایندهای عملیاتی تثبیت شده و با مهارت کارکنان، نگهداری تجهیزات، معماری داده و

تصمیم‌های مدیریتی هماهنگ شده باشد. مفهوم جهت‌گیری دیجیتال نیز فناوری را نه به‌عنوان مجموعه‌ای از ابزارها، بلکه به‌عنوان یک جهت‌گیری راهبردی معرفی می‌کند که باید با اهداف سازمان و منطق خلق ارزش پیوند داشته باشد (Kindermann et al., 2021). بنابراین، ممکن است شرکت‌های نمونه پروژه‌های فناورانه متعددی را گزارش کرده باشند، اما این پروژه‌ها هنوز به مرحله‌ای نرسیده باشند که آثار آن‌ها در شاخص تولید سالانه‌شده به‌ازای هر نفر مشاهده شود.

یکی از تبیین‌های مهم برای ضریب نزدیک به صفر فناوری محوری، وجود وقفه زمانی میان اجرای فناوری و تحقق بهره‌وری است. پروژه‌هایی مانند نوسازی سامانه کنترل، نصب تجهیزات پایش برخط، تغییر اتوماسیون، اجرای نرم‌افزارهای عملیاتی یا بهبود تجهیزات فرایندی معمولاً در مراحل اولیه با توقف نصب، هزینه آموزش، تنظیم سامانه، خطاهای راه‌اندازی و بازطراحی رویه‌های کاری همراهند. ازاین‌رو، آثار مثبت آن‌ها ممکن است در دوره مالی جاری ظاهر نشود و به دوره‌های بعد منتقل شود. بررسی فناوری‌های بهبود کارایی انرژی در صنعت سیمان نیز نشان داده است که اثر واقعی هر مداخله به سهولت اجرا، دوره بازگشت، هزینه عملیاتی و شرایط فنی کارخانه وابسته است و صرف در دسترس بودن فناوری به تحقق صرفه‌جویی منجر نمی‌شود (Cantini et al., 2021). همچنین سنجش صرفه‌جویی و کارایی انرژی به انتخاب خط مبنا، سطح تجمیع داده، مرز تحلیل و کیفیت اطلاعات بستگی دارد؛ بنابراین ممکن است بخشی از آثار فناوری در شاخص بهره‌وری نیروی کار منعکس نشود یا تحت تأثیر روش اندازه‌گیری قرار گیرد (Andrijevskaia & Volkova, 2025). در پژوهش حاضر نیز متغیر فناوری محوری بر پایه وجود شواهد اقدام‌های اجراشده یا در حال اجرا سنجیده شد و میان پروژه‌های تازه آغازشده، نیمه‌تمام و به بهره‌برداری رسیده تمایز زمانی دقیقی وجود نداشت. این موضوع می‌تواند رابطه مشاهده‌شده را تضعیف کرده باشد.

تبیین دیگر آن است که بخشی از پروژه‌های فناوری در صنعت سیمان ماهیتی دفاعی و حفاظتی دارند. هدف این پروژه‌ها ممکن است جلوگیری از خرابی، حفظ کیفیت، کاهش ریسک توقف یا کنترل مصرف انرژی باشد، نه افزایش فوری مقدار تولید به‌ازای کارکنان. در چنین حالتی، پیامد موفق فناوری در جلوگیری از افت عملکرد ظاهر می‌شود و نه الزاماً در رشد آشکار شاخص بهره‌وری. موانع فنی، اقتصادی و سیاستی پذیرش فناوری‌های کاهش انتشار و بهبود عملکرد نیز می‌توانند باعث شوند شرکت‌ها فناوری‌ها را به‌صورت محدود، تدریجی یا ناقص اجرا کنند (Ige & Kabeya, 2025). علاوه بر این، وجود علیت معکوس محتمل است؛ به این معنا که شرکت‌هایی با بهره‌وری کمتر، فرسودگی بیشتر یا مشکلات عملیاتی شدیدتر ممکن است پروژه‌های فناورانه بیشتری آغاز کرده باشند. در چنین وضعیتی، فناوری محوری بالا واکنشی به بهره‌وری پایین است و همین امر می‌تواند رابطه مقطعی مثبت را تضعیف کند. یافته‌های مربوط به قابلیت تحول دیجیتال نیز نشان می‌دهند که اثر فناوری بر کارایی و نوآوری در سازمان‌هایی قوی‌تر است که تحول دیجیتال را با هدف ارزش‌آفرینی و چشم‌انداز راهبردی هدایت می‌کنند (Chang et al., 2026). بنابراین، نبود رابطه معنادار در نمونه حاضر می‌تواند ناشی از تفاوت شرکت‌ها در کیفیت بهره‌برداری راهبردی از فناوری باشد.

فرضیه دوم به رابطه کارآفرینی سازمانی و بهره‌وری نیروی کار مربوط بود. ضریب همبستگی اسپیرمن این رابطه برابر با ۰/۲۲۲ و ضریب رگرسیونی استانداردشده برابر با ۰/۲۱۹ به دست آمد. اگرچه این ضرایب از نظر جهت با انتظار نظری همسو و از ضریب فناوری محوری بزرگ‌تر بودند، از نظر آماری معنادار نشدند. این نتیجه نشان می‌دهد که در نمونه محدود پژوهش، شرکت‌هایی که شواهد بیشتری از توسعه محصول، بازار، تجاری‌سازی یا فعالیت جدید در زنجیره ارزش گزارش کرده بودند، تا حدی بهره‌وری بالاتری داشتند، اما شدت این همراهی برای نتیجه‌گیری قطعی کافی نبود. کارآفرینی سازمانی در صنعت سیمان می‌تواند از طریق ایجاد محصولات مرکب و ویژه، ورود به بازارهای صادراتی، جذب ظرفیت بلااستفاده، تجاری‌سازی دانش فنی و توسعه فعالیت‌های مکمل بر بهره‌وری اثر بگذارد. فناوری‌های دیجیتال و حضور در بازارهای بین‌المللی نیز می‌توانند از طریق تقویت جهت‌گیری کارآفرینانه، نوآوری کسب‌وکار را افزایش دهند (Dana et al., 2022). همچنین

مکمل بودن جهت‌گیری کارآفرینانه دیجیتال و ظرفیت جذب فناوری می‌تواند عملکرد نوآوری و کسب‌وکار را تقویت کند (Jang & Lee, 2025). بر این اساس، علامت مثبت ضریب کارآفرینی سازمانی با مبانی نظری و شواهد پیشین سازگار است، هرچند محدودیت داده‌ها مانع از تأیید آماری آن شده است.

نامعناداری رابطه کارآفرینی سازمانی با بهره‌وری را می‌توان با ماهیت مرحله‌ای و پرهزینه اقدامات کارآفرینانه توضیح داد. توسعه محصول جدید یا ورود به بازار تازه در مراحل اولیه نیازمند آزمایش‌های فنی، تنظیم فرایند تولید، دریافت استاندارد، آموزش، بازاریابی، بسته‌بندی و هزینه‌های لجستیکی است. این اقدامات ممکن است در کوتاه‌مدت پیچیدگی عملیات را افزایش دهند و حتی تولید به‌زای نفر را کاهش دهند، درحالی‌که منافع آن‌ها در دوره‌های بعد یا در شاخص‌هایی مانند فروش، حاشیه سود، سهم بازار و استفاده از ظرفیت ظاهر شود. افزون بر این، همه فرصت‌های کارآفرینانه از نظر اثر بر بهره‌وری یکسان نیستند. برای نمونه، تولید سیمان مرکب با کلینکر فاکتور کمتر ممکن است استفاده مؤثرتری از منابع فراهم کند، اما توسعه یک فعالیت جدید در زنجیره ارزش ممکن است در آغاز به نیروی انسانی و سرمایه بیشتری نیاز داشته باشد. ازاین‌رو، قرار دادن انواع اقدامات کارآفرینانه در یک امتیاز ترکیبی صفر تا چهار، اگرچه برای یک مطالعه مقدماتی مناسب است، تفاوت در مرحله بلوغ، اندازه سرمایه‌گذاری و کیفیت اجرای آن‌ها را نشان نمی‌دهد.

فرضیه سوم درباره رابطه مدیریت استراتژیک با بهره‌وری بود. یافته‌ها نشان دادند که ضریب همبستگی اسپیرمن میان مدیریت استراتژیک و بهره‌وری برابر با $0.218-$ و ضریب رگرسیونی برابر با $0.068-$ بود که هیچ‌یک معنادار نبودند. این علامت منفی با انتظار نظری پژوهش همسو نبود، اما با توجه به محدودیت دامنه متغیر، حجم بسیار کوچک نمونه و وجود یک مشاهده با اهرم آماری کامل، نباید به‌عنوان نشانه‌ای از اثر منفی مدیریت استراتژیک تفسیر شود. امتیاز مدیریت استراتژیک فقط بین سه و چهار تغییر داشت و بیشتر شرکت‌ها شواهدی از هدف‌گذاری، مدیریت ریسک، پایش عملکرد یا برنامه سرمایه‌گذاری گزارش کرده بودند. محدودیت دامنه موجب کاهش قدرت متغیر در تمایز میان شرکت‌ها می‌شود و می‌تواند رابطه واقعی را پنهان کند. افزون بر این، وجود اهداف، برنامه‌ها و کمیته‌ها لزوماً نشان‌دهنده کیفیت اجرای راهبرد نیست. دو شرکت ممکن است هر دو امتیاز مشابهی دریافت کنند، اما از نظر میزان تحقق اهداف، سرعت اصلاح انحراف، پیوند بودجه با اولویت‌ها و کیفیت تصمیم‌گیری تفاوت‌های اساسی داشته باشند.

این یافته با مطالعات راهبردی صنعت سیمان قابل تبیین است؛ زیرا این مطالعات نشان می‌دهند شرکت‌های سیمانی با مجموعه‌ای از فرصت‌ها و تهدیدهای هم‌زمان، از جمله محدودیت انرژی، نوسان بازار، رقابت صادراتی، فرسودگی تجهیزات و سیاست‌های متغیر مواجه‌اند و صرف تدوین برنامه راهبردی برای غلبه بر این مسائل کافی نیست (Eskandari & Mohammadi-Nasab, 2023). مدیریت استراتژیک زمانی می‌تواند بر بهره‌وری اثر بگذارد که اهداف کمی به پروژه‌های مشخص، بودجه، مسئول اجرایی، زمان‌بندی و سازوکار اقدام اصلاحی متصل شوند. چارچوب صنعت ۴.۰ در بخش سیمان نیز بر ضرورت تشخیص سازمانی و اجرای چرخه برنامه‌ریزی، اجرا، ارزیابی و اصلاح تأکید دارد (Mahnashi et al., 2023). بنابراین، ممکن است متغیر مورد استفاده در پژوهش حاضر بیشتر وجود ساختارهای رسمی مدیریت استراتژیک را اندازه‌گیری کرده باشد، درحالی‌که کیفیت اجرای راهبرد و میزان تحقق آن‌ها سنجیده نشده است. همچنین احتمال دارد شرکت‌هایی که با مشکلات بهره‌وری روبه‌رو بوده‌اند، نظام‌های رسمی کنترل و مدیریت ریسک بیشتری ایجاد کرده باشند و این علیت معکوس به شکل‌گیری ضریب منفی منجر شده باشد.

فرضیه چهارم به رابطه شاخص ترکیبی فناوری‌محوری، کارآفرینی سازمانی و مدیریت استراتژیک با بهره‌وری اختصاص داشت. ضریب همبستگی شاخص ترکیبی با بهره‌وری برابر با $0.235+$ و ضریب رگرسیونی آن برابر با $0.126+$ بود. هر دو ضریب مثبت بودند، اما از نظر آماری معنادار نشدند و فاصله اطمینان مدل، دامنه گسترده‌ای از اثر منفی تا مثبت را پوشش داد. علامت مثبت این رابطه از دیدگاه نظری قابل انتظار

است؛ زیرا فناوری، کارآفرینی و راهبرد می‌توانند قابلیت‌هایی مکمل باشند. فناوری زیرساخت و ابزار بهبود را فراهم می‌کند، کارآفرینی فرصت‌های محصول و بازار را شناسایی می‌کند و مدیریت استراتژیک منابع و اقدامات را با اهداف هماهنگ می‌سازد. شواهد مربوط به تحول دیجیتال نشان داده‌اند که قابلیت‌های فناوری اطلاعات زمانی عملکرد سازمان را بهبود می‌دهند که از مسیر جهت‌گیری دیجیتال و تحول سازمانی به تغییر واقعی در کسب‌وکار منجر شوند (Barba-Sanchez et al., 2024). فناوری محوری نیز از طریق نوآوری دیجیتال می‌تواند عملکرد نوآوری را تقویت کند (Nassani et al., 2023). بنابراین، مثبت بودن ضریب شاخص ترکیبی با این دیدگاه سازگار است که اثر مدیریتی نه از یک عامل منفرد، بلکه از هماهنگی میان قابلیت‌های فنی، فرصت‌جویی و سازوکار راهبردی ناشی می‌شود.

باین‌حال، تحلیل حساسیت نشان داد که نتیجه شاخص ترکیبی به ترکیب نمونه و نوع دوره گزارش وابسته است. حذف مشاهده مربوط به سال مالی ۱۴۰۴ مقدار احتمال را به‌طور قابل‌توجهی کاهش داد، اگرچه رابطه همچنان در سطح پنج درصد معنادار نبود. محدود کردن تحلیل به گزارش‌های ۱۲ ماهه نیز موجب افزایش شدید خطای استاندارد و گسترش فاصله اطمینان شد. وجود فاصله کوک بالا برای یکی از شرکت‌ها نشان داد که خط رگرسیون به برخی مشاهدات اثرگذار وابستگی زیادی دارد. این وضعیت با حجم نمونه هشت‌مشاهده‌ای قابل انتظار است و نشان می‌دهد نتیجه‌گیری درباره روابط مدیریتی در صنعت سیمان باید بر داده‌های گسترده‌تر استوار شود. مطالعات کارایی شرکت‌های سیمانی در ایران نیز ناهمگنی قابل‌توجهی در بهره‌وری و کارایی شرکت‌ها نشان داده‌اند (Kaidpour et al., 2020). این ناهمگنی می‌تواند ناشی از تفاوت در عمر خط، ظرفیت اسمی و عملی، کیفیت مواد اولیه، شدت انرژی، توقفات، ترکیب محصول، برون‌سپاری و بازار باشد؛ عواملی که در مدل حاضر به دلیل محدودیت حجم نمونه کنترل نشدند.

یافته کلی پژوهش مبنی بر نبود شواهد کافی برای تأیید قطعی روابط، با مطالعاتی که بر ناهمگنی آثار سیاست‌ها و قابلیت‌های مدیریتی تأکید کرده‌اند هم‌راستا است. بررسی ابزارهای سیاستی مبتنی بر بازار در صنعت سیمان هند نشان داد که اثر سیاست انرژی بر بهره‌وری کل عوامل تولید یکسان نیست و واحدهایی که از ابتدا کارتر بوده‌اند، پاسخ مثبت‌تری نشان می‌دهند (Bansal et al., 2026). این نتیجه بیانگر آن است که وضعیت اولیه کارخانه و ظرفیت جذب آن می‌تواند اثر فناوری یا سیاست را تعدیل کند. ارزیابی بلوغ پایداری در کارخانه‌های سیمان نیز سطوح متفاوتی از بلوغ در ابعاد مدیریتی، اقتصادی و زیست‌محیطی نشان داده است (Santos Junior et al., 2026). بنابراین، انتظار یک اثر یکنواخت از فناوری محور، کارآفرینی یا مدیریت استراتژیک در میان همه شرکت‌ها واقع‌بینانه نیست. شرکت‌ها ممکن است امتیاز مدیریتی مشابهی داشته باشند، اما به دلیل تفاوت در سرمایه ثابت، کیفیت اجرا و محدودیت‌های عملیاتی، نتایج بهره‌وری متفاوتی تجربه کنند.

موضوع انرژی و محیط‌زیست نیز در تفسیر نتایج اهمیت دارد. بهره‌وری نیروی کار در صنعت سیمان فقط از تصمیم‌های نیروی انسانی و مدیریت داخلی تأثیر نمی‌پذیرد، بلکه محدودیت انرژی، انتشار آلاینده‌ها و الزامات محیط‌زیستی نیز بر تولید واقعی اثر دارند. مطالعات داخلی نشان داده‌اند که کارایی انرژی شرکت‌های سیمانی تفاوت قابل‌توجهی دارد و ارزیابی عملکرد باید ورودی‌های انرژی و ستانده را به‌طور هم‌زمان در نظر گیرد (Taghizadeh & Pourrabi, 2013). بررسی کارایی زیست‌محیطی صنعت سیمان چین نیز وجود ناهمگنی میان کارخانه‌ها و ظرفیت قابل‌توجه برای بهبود هم‌زمان تولید و کاهش خروجی‌های نامطلوب را تأیید کرده است (Tu et al., 2022). در ایران، رویکردهای مبتنی بر طراحی پایدار نیز نشان داده‌اند که مدیریت انرژی، معماری کارخانه و کاهش آلاینده‌گی باید به‌صورت یکپارچه مورد توجه قرار گیرند (Eghbalian et al., 2024). همچنین مدل‌های تصمیم‌گیری تولید نشان می‌دهند که مالیات کربن، هزینه اعتبارهای کربنی، محدودیت ظرفیت و ترکیب محصول می‌توانند تصمیم تولید را تغییر دهند (Tsai & Lin, 2024). در نتیجه، ممکن است اثر مثبت قابلیت‌های مدیریتی در شرکت‌هایی که با قطعی انرژی یا محدودیت‌های محیط‌زیستی شدید مواجه‌اند، در شاخص تولید به‌ازای نفر پنهان شود.

در مجموع، مهم‌ترین نتیجه پژوهش حاضر نه اثبات بی‌اثر بودن فناوری، کارآفرینی یا مدیریت استراتژیک، بلکه نشان دادن عدم کفایت شواهد موجود برای برآورد دقیق روابط است. ضرایب مثبت کارآفرینی سازمانی و شاخص ترکیبی با انتظار نظری سازگار بودند، اما عدم قطعیت بالای آن‌ها مانع از نتیجه‌گیری قطعی شد. ضریب نزدیک به صفر فناوری می‌تواند از وقفه زمانی، ماهیت دفاعی پروژه‌ها و تفاوت در کیفیت اجرا ناشی شود و ضریب منفی مدیریت استراتژیک نیز به احتمال زیاد تحت تأثیر محدودیت دامنه، کیفیت افشا و ساختار نمونه قرار داشته است. یافته‌ها نشان می‌دهند که تحلیل رابطه عوامل مدیریتی با بهره‌وری در صنعت سیمان نیازمند مدلی پویا، چندساله و چندسطحی است که مرحله اجرای پروژه‌ها، وضعیت اولیه کارخانه و ویژگی‌های فنی و بازار را هم‌زمان در نظر گیرد.

مهم‌ترین محدودیت پژوهش، حجم بسیار اندک نمونه شامل هشت مشاهده شرکت-دوره بود که قدرت آزمون آماری، دقت ضرایب و امکان تعمیم نتایج را کاهش داد. نمونه‌گیری به صورت هدفمند و بر مبنای دسترسی به اطلاعات انجام شد و نمونه را نمی‌توان نماینده تصادفی کل صنعت سیمان ایران دانست. سه مشاهده مبتنی بر گزارش‌های میان‌دوره‌ای بودند و تولید آن‌ها با فرض ثبات متوسط تولید ماهانه سالانه‌سازی شد؛ در حالی که فصل‌پذیری، محدودیت انرژی و توقفات تعمیراتی می‌توانند این فرض را نقض کنند. تعریف تعداد کارکنان نیز در همه گزارش‌ها یکسان نبود و ممکن است کارکنان پیمانکاری یا خدماتی به شیوه‌های متفاوتی محاسبه شده باشند. متغیرهای مدیریتی به شواهد افشاشده وابسته بودند و پایین بودن امتیاز لزوماً به معنای نبود اقدام نبود. همچنین متغیرهای مهمی مانند سن خط، ظرفیت عملی، سرمایه ثابت، شدت انرژی، میزان توقفات، ترکیب محصول، کلینکر فاکتور، صادرات و برون‌سپاری در مدل کنترل نشدند.

پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آینده از داده‌های پنلی حداقل پنج‌ساله و تعداد بیشتری از شرکت‌های سیمانی استفاده کنند تا امکان کنترل اثرات ثابت شرکت و تغییرات زمانی فراهم شود. تاریخ شروع، بهره‌برداری و تکمیل هر پروژه فناورانه یا کارآفرینانه ثبت و اثر آن با وقفه‌های یک و دو ساله بررسی شود. متغیرهای فنی و اقتصادی شامل سن خط، ظرفیت عملی، شدت انرژی، توقفات اضطراری، اثربخشی کلی تجهیزات، ترکیب محصول، کلینکر فاکتور، نسبت صادرات و سرمایه ثابت به مدل افزوده شوند. کدگذاری شواهد مدیریتی توسط دست‌کم دو ارزیاب مستقل انجام و توافق میان ارزیابان گزارش شود. همچنین کیفیت مدیریت استراتژیک بر اساس میزان تحقق هدف، پیوند بودجه با اولویت‌ها، پیشرفت پروژه‌ها و سرعت اقدام اصلاحی سنجیده شود. برای پروژه‌های مشخص نیز استفاده از طرح‌های قبل و بعد، مطالعه رویداد، تفاوت در تفاوت‌ها و تحلیل مرزی تصادفی می‌تواند شواهد معتبرتری درباره اثرات علی فراهم کند.

مدیران شرکت‌های سیمانی باید برای هر پروژه فناوری یا بهره‌وری، خط مبنای کمی، شاخص نتیجه، مسئول اجرایی، بودجه، زمان بهره‌برداری و دوره ارزیابی مشخص تعریف کنند. پروژه‌های دفاعی با هدف جلوگیری از افت تولید باید از پروژه‌های رشد، افزایش ظرفیت یا توسعه بازار تفکیک شوند تا موفقیت هر گروه با شاخص مناسب سنجیده شود. ابتکارهای کارآفرینانه بهتر است در مراحل ایده، پایلوت، ارزیابی فنی-اقتصادی، استانداردسازی، بازار آزمایشی و توسعه مقیاس مدیریت شوند. تصمیم‌گیری درباره فناوری، محصول یا بازار جدید باید با مشارکت واحدهای تولید، نگهداری، انرژی، فروش، مالی و راهبرد انجام شود. همچنین شاخص‌های مدیریت استراتژیک باید به معیارهای عملیاتی مانند توقف اضطراری، شدت انرژی، اثربخشی تجهیزات، تحویل به‌موقع، کلینکر فاکتور و تولید به‌ازای نفر متصل شوند تا فاصله میان برنامه‌های رسمی و نتایج عملیاتی کاهش یابد.

تقدیر و تشکر

از تمامی کسانی که در انجام این مطالعه همراهی نمودند تشکر و قدردانی می‌گردد.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافع وجود ندارد.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

موازن اخلاقی

در پژوهش حاضر تمامی موازن اخلاقی رعایت گردیده است.

شفافیت داده‌ها

داده‌ها و مآخذ پژوهش حاضر در صورت درخواست از نویسنده مسئول و ضمن رعایت اصول کپی رایت ارسال خواهد شد.

حامی مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

References

- Andrijevskaia, J., & Volkova, A. (2025). Industrial Energy Use, Efficiency, and Savings: Methods for Quantitative Analysis. *Energy Efficiency*, 18, 76. <https://doi.org/10.1007/s12053-025-10367-5>
- Bansal, S., Filippini, M., & Srinivasan, S. (2026). Market-Based Energy Policy Instruments and Total Factor Productivity in Developing Countries: Evidence from the Cement Industry in India. *Energy Economics*, 157, 109287. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2026.109287>
- Barba-Sanchez, V., Meseguer-Martinez, A., Gouveia-Rodrigues, R., & Raposo, M. L. (2024). Effects of Digital Transformation on Firm Performance: The Role of IT Capabilities and Digital Orientation. *Heliyon*, 10(6), e27725. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27725>
- Cantini, A., Leoni, L., De Carlo, F., Martini, C., Salvio, M., & Martini, F. (2021). Technological Energy Efficiency Improvements in Cement Industries. *Sustainability*, 13(7), 3810. <https://doi.org/10.3390/su13073810>
- Chang, W., Whang, J. B., & Lee, J. H. (2026). The Strategic Use of Digital Transformation Capability: A Meta-Analytic Approach. *European Journal of Innovation Management*, 29(5), 1535-1560. <https://doi.org/10.1108/EJIM-06-2025-0836>
- Dana, L. P., Salamzadeh, A., Mortazavi, S., & Hadizadeh, M. (2022). Investigating the Impact of International Markets and New Digital Technologies on Business Innovation in Emerging Markets. *Sustainability*, 14(2), 983. <https://doi.org/10.3390/su14020983>
- Eghbalian, P., Ghobadian, V., & Mahmoudi Zarandi, M. (2024). Increasing Energy Productivity and Reducing Pollution in the Design of Cement Factories in Iran: A LEED-Based Approach. *Armanshahr Architecture and Urban Development*, 17(47), 145-157. <https://doi.org/10.22034/AAUD.2024.421739.2833>
- Eskandari, N., & Mohammadi-Nasab, M. (2023). Strategic Analysis of the Cement Industry for Realizing the Vision of the Industry's Strategic Document on the 2025 Horizon. *Business Reviews*, 21(122), 105-134. <https://doi.org/10.22034/BS.2023.1988675.2737>
- Ige, O. E., & Kabeya, M. (2025). Decarbonizing the Cement Industry: Technological, Economic, and Policy Barriers to CO2 Mitigation Adoption. *Clean Technologies*, 7(4), 85. <https://doi.org/10.3390/cleantechnol7040085>
- Jang, S. H., & Lee, C. W. (2025). Digital Entrepreneurial Orientation, Technology Absorptive Capacity, and Digital Innovation on Business Performance. *Systems*, 13(4), 300. <https://doi.org/10.3390/systems13040300>
- Kaidpour, F., Sayadmanesh, S., Salmani, Y., & Sadeghi, Z. (2020). Measuring the Efficiency and Productivity of Cement Industry Companies Listed on the Tehran Stock Exchange Using Data Envelopment Analysis and the Malmquist Productivity Index in a Grey Environment. *Innovation Management and Operational Strategies*, 1(4), 363-382. <https://doi.org/10.22105/IMOS.2021.276467.1038>

- Kindermann, B., Beutel, S., Garcia de Lomana, G., Strese, S., Bendig, D., & Brettel, M. (2021). Digital Orientation: Conceptualization and Operationalization of a New Strategic Orientation. *European Management Journal*, 39(5), 645-657. <https://doi.org/10.1016/j.emj.2020.10.009>
- Mahnashi, I., Salah, B., & Ragab, A. E. (2023). Industry 4.0 Framework Based on Organizational Diagnostics and Plan-Do-Check-Act Cycle for the Saudi Arabian Cement Sector. *Sustainability*, 15(14), 11261. <https://doi.org/10.3390/su151411261>
- Nassani, A. A., Grigorescu, A., Yousaf, Z., Condrea, E., Javed, A., & Haffar, M. (2023). Does Technology Orientation Determine Innovation Performance Through Digital Innovation? A Glimpse of the Electronic Industry in the Digital Economy. *Electronics*, 12(8), 1854. <https://doi.org/10.3390/electronics12081854>
- Santos Junior, E. d., da Silva, D. C., Spitzack, H. H., de Sousa, P. R., de Carvalho, R. B., & da Veiga, C. P. (2026). Sustainability Maturity Assessment: Benchmarking in Brazilian Cement Plants Using Fuzzy Multi-Criteria Methods. *Process Integration and Optimization for Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s41660-026-00788-9>
- Taghizadeh, H., & Pourrabi, M. (2013). Evaluation of Energy Efficiency of Companies Listed on the Tehran Stock Exchange: Case Study of the Cement Industry. *Financial Knowledge of Securities Analysis*, 20(6).
- Tsai, W. H., & Lin, W. H. (2024). Production Decision Model for the Cement Industry in Pursuit of Carbon Neutrality: Analysis of the Impact of Carbon Tax and Carbon Credit Costs. *Sustainability*, 16(6), 2251. <https://doi.org/10.3390/su16062251>
- Tu, H., Dai, W., & Xiao, X. (2022). Study on the Environmental Efficiency of the Chinese Cement Industry Based on the Undesirable Output DEA Model. *Energies*, 15(9), 3396. <https://doi.org/10.3390/en15093396>