Applied Research in Sustainable Industry Management
Original Research Article/ Vol.۰۲, No.۰٤, Winter ۲۰۲٦, P: ۷۵-۹۵

Presenting a sustainable digital transformation management model in the construction industry

Abdoljavad mansouri
Ebrahim niknaghsh*
shahram bandpey
Ali mehdizadeh ashrafi

Department of Industrial Management, FI.C., Islamic Azad University, firoozkooh, Iran
Department of Industrial Management, FI.C., Islamic Azad University, firoozkooh, Iran
Department of business Management, FI.C., Islamic Azad University, firoozkooh, Iran
Department of public Management, FI.C., Islamic Azad University, firoozkooh, Iran

Received: ۲۰۲۵/۱۰/۰۲ Accepted: ۲۰۲۵/۰۲/۱۹ eISSN: ۳۱۱۵-۸٤۷۱ ISSN:۳۱۱۵-۸٤۷۱

Abstract

Introduction:
The present study aims to design and present a comprehensive model for managing sustainable digital transformation in the construction industry. This research is of a mixed (quantitative-qualitative) and applied-developmental type, in which first, with a qualitative approach based on the fuzzy Delphi method, the key factors of sustainable digital transformation are identified and a consensus of experts is reached on them, and then, using a quantitative method and confirmatory factor analysis and structural equation modeling, the relationships between the factors and their relative importance are examined and prioritized. The statistical population of the research in the qualitative stage includes ۲۵ construction industry experts who are selected using the purposive-snowball sampling method to collect the consensus and precise views of the experts. In the quantitative phase, the statistical population includes ۲۵۰ managers, engineers, and experts in the field of construction and sustainability, and data are collected through a researcher-made questionnaire based on the output of the fuzzy Delphi. To ensure the validity and reliability of the tools, expert verification was used in the qualitative phase, and in the quantitative phase, construct validity was measured with confirmatory factor analysis and factor loading indices and convergent and divergent validity.

Methodology:
This applied, mixed-methods (qualitative–quantitative) study aims to develop a sustainable digital transformation management model for the construction industry. In the qualitative phase, key factors are identified through literature review, semi-structured interviews with experts in BIM, IoT, and sustainability management, and two to three rounds of the fuzzy Delphi method to achieve consensus among ۲۵ purposively selected specialists. In the quantitative phase, a researcher-made

* Corresponding Author: eniknaghsh@iau.ac.ir

questionnaire based on Delphi results is distributed to ۲۵۰ construction experts and managers using a five-point Likert scale. Data are analyzed through confirmatory factor analysis (CFA), reliability and validity tests, and structural equation modeling (SEM/PLS) to examine relationships among factors. If necessary, fuzzy multi-criteria decision-making methods (e.g., AHP, VIKOR, TOPSIS) are applied for prioritization. Tool validity is confirmed by CVR, CVI, and CFA, and reliability by Cronbach's alpha and composite reliability. Finally, integrating qualitative and quantitative findings, the final model and prioritization of key factors are presented as a practical guide for industry managers and policymakers.

Results and Discussion:

The results of the research show that in managing sustainable digital transformation in the construction industry, energy consumption optimization plays a major role in promoting sustainability with the highest weight and importance and has a higher priority than other factors. This finding indicates that focusing on digital technologies for monitoring and controlling energy throughout the building life cycle can have a significant impact on reducing carbon emissions and operating costs. After that, sustainable materials were identified as the second critical factor; the use of materials with environmental characteristics and recyclability, together with data-driven management, plays an effective role in reducing waste and increasing resource efficiency.

Conclusion:

that many domestic and foreign studies have emphasized the role of digital technologies such as BIM, IoT, and digital twin in improving the sustainability of buildings, but often have not paid sufficient attention to prioritizing the factors and their systematic combination. In the present study, using the fuzzy Delphi method and confirmatory factor analysis, ۵ main factors of sustainable digital transformation were identified and prioritized, which shows that energy optimization is of the highest importance, sustainable materials are of the second importance, and the building life cycle is of the third importance. These results are in line with studies such as Petri et al. (۲۰۲۵) and Berges-Álvarez et al. (۲۰۲٤) that have emphasized the role of digital technologies in reducing energy consumption and life cycle assessment, but the present study, by providing an optimal prioritization framework, helps project managers and policymakers make practical decisions. Based on the findings, it is suggested that organizations and companies active in the construction industry focus on optimizing energy consumption through digital technologies, using recyclable and environmentally sustainable materials, and data-driven management of the building life cycle.

Keywords:

Sustainable digital transformation, construction industry, Fuzzy Delphi, Energy Optimization

.

نشریه علمی پژوهش‌های کاربردی در مدیریت صنعت پایدار
فصلنامه پژوهش‌های کاربردی در مدیریت صنعت پایدار ـ سال دوم ـ شماره ۴ ـ زمستان ۱۴۰۴

ارائه مدل مدیریت تحول دیجیتال پایدار در صنعت ساختمان

عبدالجواد منصوری گروه مدیریت صنعتی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران
ابراهیم نیک نقش * گروه مدیریت صنعتی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران
شهرام بندپی گروه مدیریت بازرگانی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران
علی مهدی زاده اشرفی گروه مدیریت دولتی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران

این مقاله مستخرج از رساله دکتری عبدالجواد منصوری به راهنمایی دکتر ابراهیم نیک نقش و مشاوره دکتر علی مهدی زاده اشرفی در دانشکده مدیریت و حسابداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه. است. (در صورت نیاز درج شود)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۳۰ eISSN: ۳۱۱۵-۸۴۷۱ ISSN:۳۱۱۵-۸۴۷۱

چکیده

هدف این مقاله طراحی و ارائه یک مدل جامع برای مدیریت تحول دیجیتال پایدار در صنعت ساختمان است. بدین‌منظور، عوامل کلیدی تحول دیجیتال پایدار با استفاده از روش آمیخته و به‌کارگیری تکنیک دلفی فازی در مرحله کیفی و مدل‌سازی معادلات ساختاری مبتنی بر SmartPLS در مرحله کمی بررسی شد. جامعه آماری در بخش کیفی شامل ۱۵ تا ۲۵ نفر از خبرگان صنعت ساختمان و فناوری‌های دیجیتال و در بخش کمی شامل ۱۵۰ تا ۲۵۰ نفر از مدیران و متخصصان حوزه ساختمان بود که داده‌ها از طریق پرسشنامه محقق‌ساخته گردآوری شد.نتایج نشان داد بهینه‌سازی مصرف انرژی بیشترین تأثیر و بالاترین اولویت را در تحقق پایداری پروژه‌های ساختمانی دارد و پس از آن، استفاده از مصالح پایدار و مدیریت چرخه عمر ساختمان در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند.براساس نتایج، پیشنهاد می‌شود مدیران و سیاست‌گذاران صنعت ساختمان تمرکز بیشتری بر به‌کارگیری فناوری‌های دیجیتال در مدیریت انرژی، انتخاب مصالح قابل‌بازیافت و برنامه‌ریزی داده‌محور چرخه عمر پروژه‌ها داشته باشند تا مسیر تحول دیجیتال پایدار در این صنعت تسهیل شود.

واژگان کلیدی:. تحول دیجیتال پایدار، صنعت ساختمان، دلفی فازی
طبقه‌بندی JEL:

* نویسنده مسئول: Emali Address :eniknaghsh@iau.ac.ir

۱. مقدمه

در این پژوهش، تحول دیجیتال پایدار در صنعت ساختمان به‌عنوان یک رویکرد مدیریتی نظام‌مند و هدفمند تعریف می‌شود که در آن به‌کارگیری فناوری‌های دیجیتال نوین (نظیر BIM، اینترنت اشیاء، دوقلوی دیجیتال، تحلیل داده و هوش مصنوعی) صرفاً با هدف دیجیتال‌سازی فرایندها انجام نمی‌شود، بلکه به‌صورت یکپارچه و داده‌محور در راستای تحقق اهداف پایداری زیست‌محیطی، اقتصادی و عملیاتی در طول چرخه عمر ساختمان هدایت می‌گردد.بر این اساس، تحول دیجیتال پایدار فراتر از اتوماسیون یا بهبود کارایی کوتاه‌مدت بوده و بر بهینه‌سازی مصرف انرژی، مدیریت چرخه عمر ساختمان، استفاده از مصالح پایدار، کاهش انتشار کربن و پشتیبانی از تصمیم‌گیری‌های بلندمدت مبتنی بر داده تمرکز دارد. در این رویکرد، فناوری‌ها نقش ابزار و توانمندساز دارند و ارزش آن‌ها زمانی محقق می‌شود که به بهبود واقعی شاخص‌های پایداری در مراحل طراحی، ساخت، بهره‌برداری، نگهداری و بازیافت ساختمان منجر شوند.بنابراین، تفاوت اصلی تحول دیجیتال پایدار با دیجیتال‌سازی سنتی در جهت‌گیری راهبردی آن به سمت پایداری و مدیریت چرخه عمر است؛ به‌گونه‌ای که موفقیت تحول دیجیتال نه با میزان استفاده از فناوری، بلکه با میزان کاهش مصرف منابع، انرژی و اثرات زیست‌محیطی سنجیده می‌شود.(لی و همکاران[۱]، ۲۰۲۵)

چشم انداز راهبردی سازمان ها در حوزه بازاریابی، شرکتها را به شرایطی رسانده است که آنها را ملزم می کند نه تنها در عرصه رقابتی مرسوم بلکه در عرصه بازاریابی مبتنی بر دیجیتال نیز حضور فعال داشته باشند. (التمیمی و مرادی،۱۴۰۴). مزیت رقابتی زمانی به دست می آید که یک سازمان برای مشتریان،ارزش آفرینی کند. این امر فقط در مورد هزینه تولید صادق نمی باشد، بلکه اغلب در مورد راه حلهای بازار نیز صدق می کند که یک سازمان باید رهبری بازار را به دست آورد. بنابراین سازمانها قادر خواهند بود از قابلیت ها و شایستگی های خود برای ارتقاء رشد کسب و کار استفاده نماید.(لاتی و دانشمندفر، ۱۴۰۳) و صنعت ساختمان یکی از گسترده‌ترین و پیچیده‌ترین صنایع هر کشور بوده و نقشی حیاتی در رشد اقتصادی، توسعه زیرساخت‌ها و ارتقای کیفیت زندگی ایفا می‌کند. با این حال، این صنعت به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی، منابع طبیعی و تولیدکنندگان پسماند و کربن شناخته می‌شود. بر اساس گزارش‌های بین‌المللی، حدود ۳۵ تا ۴۰ درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم مربوط به چرخه عمر ساختمان‌هاست. از سوی دیگر، ناکارآمدی فرآیندهای طراحی، ساخت و بهره‌برداری، دوباره‌کاری‌های گسترده، اتلاف انرژی، نبود شفافیت اطلاعات و ضعف در مدیریت چرخه عمر بنا، این صنعت را به یکی از

[۱] Lee et al.,

چالش‌برانگیزترین بخش‌ها از منظر توسعه پایدار تبدیل کرده است. در چنین شرایطی، حرکت به سمت تحول دیجیتال پایدار نه یک انتخاب، بلکه یک ضرورت استراتژیک برای آینده صنعت ساختمان به شمار می‌رود.(اسمیت و جانسون[۱]،۲۰۲۴))

تحول دیجیتال به‌عنوان موج بزرگ تغییر در صنایع مختلف، توانسته است فرآیندهای سنتی را به سیستم‌های هوشمند، کارآمد و پایدار تبدیل کند. فناوری‌هایی مانند مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM)، دوقلوی دیجیتال[۲] ، اینترنت اشیا ، تحلیل کلان‌داده‌ها، هوش مصنوعی و اتوماسیون ساخت این امکان را فراهم کرده است که تمامی مراحل چرخه عمر ساختمان از طراحی تا تخریب، به‌صورت داده‌محور، قابل ردیابی و کارآمد مدیریت شود. این فناوری‌ها با فراهم‌کردن امکان شبیه‌سازی عملکرد انرژی، پایش مصرف منابع، مدیریت هوشمند تجهیزات، پیش‌بینی خرابی‌ها و کاهش دوباره‌کاری، نقش بسزایی در کاهش کربن عملیاتی و نهفته و بهبود کیفیت ساخت دارند. اما سؤال اساسی اینجاست که آیا هر نوع تحول دیجیتال الزاماً به پایداری منجر می‌شود؟ پاسخ، چندان ساده نیست.واقعیت آن است که بسیاری از پروژه‌های ساختمانی اگرچه فناوری‌های دیجیتال را وارد فرآیندهای خود می‌کنند، اما این اقدامات فاقد یک رویکرد مدیریتی پایدار و یکپارچه هستند. در اغلب موارد، اقدامات دیجیتال‌سازی بدون راهبرد مشخص، بدون مدل بلوغ، و بدون تمرکز بر خروجی‌های سبز اجرا می‌شود. در نتیجه، تحول دیجیتال به‌صورت جزیره‌ای و تک‌بعدی رخ می‌دهد و به ارتقای عملکرد محیط‌زیستی و کاهش کربن منجر نمی‌شود. این شکاف میان «دیجیتال‌سازی» و «پایداری» یکی از مهم‌ترین چالش‌های کنونی صنعت ساختمان است. به بیان دیگر، تحول دیجیتال اگر به‌صورت هدفمند و مبتنی بر اصول پایداری مدیریت نشود، نه‌تنها اثرگذاری کافی نخواهد داشت، بلکه ممکن است هزینه‌های سازمان را افزایش داده و پیچیدگی‌های جدیدی ایجاد کند. (لی و چانگ[۳]،۲۰۲۳)

از سوی دیگر، مدیریت تحول دیجیتال پایدار مستلزم شناسایی دقیق عواملی است که بیشترین نقش را در کاهش اثرات زیست‌محیطی دارند. برای مثال، برخی فناوری‌ها مانند BIM و دوقلوی دیجیتال بیشتر در کاهش دوباره‌کاری‌ها و مدیریت مصالح مؤثرند، در حالی که اینترنت اشیا و مدیریت داده نقش برجسته‌ای در بهینه‌سازی انرژی عملیاتی ایفا می‌کنند. نبود یک مدل جامع برای اولویت‌بندی این عوامل موجب شده است که سازمان‌ها نتوانند به‌درستی تشخیص دهند کدام فناوری‌ها باید در

---

[۱] Smith & Janson.
[۲] Digital Twin
[۳] Lee & chang

اولویت سرمایه‌گذاری قرار گیرند و چگونه باید تحول دیجیتال را در راستای اهداف پایداری هدایت کرد.(حسینی و نادری، ۱۴۰۴)

چالش دیگر، نبود شفافیت در چارچوب‌های مدیریتی است. بسیاری از سازمان‌های فعال در صنعت ساختمان فاقد یک نقشه راه مشخص برای مدیریت تحول دیجیتال پایدار هستند. این ضعف موجب شده است که تصمیم‌گیری‌های کلان سازمانی بر اساس تجربه یا سلیقه انجام شود، نه بر مبنای تحلیل داده، روش‌های علمی یا الزامات پایداری. همچنین در کشورهای در حال توسعه، موانعی همچون مقاومت فرهنگی، ضعف زیرساخت‌های دیجیتال، نبود استانداردهای پایدار، عدم‌یکپارچگی داده‌ها و هزینه‌های اولیه بالا، سرعت تحول دیجیتال پایدار را محدود کرده است.(عبدالهی و مرادی، ۱۴۰۳)

بنابراین، مسئله اصلی پژوهش این است که چه عواملی مدیریت تحول دیجیتال پایدار در صنعت ساختمان را شکل می‌دهند و اهمیت نسبی هر یک از این عوامل چیست؟ پاسخ علمی به این سؤال، مستلزم یک رویکرد نظام‌مند برای شناسایی، دسته‌بندی و اولویت‌بندی عوامل کلیدی است. ابزارهایی مانند دلفی فازی امکان اجماع خبرگان را فراهم می‌کنند و تحلیل عاملی قابلیت کشف ساختارهای زیرین و عوامل بنیادین را به‌صورت آماری ایجاد می‌کند. ترکیب این دو روش می‌تواند مدلی معتبر، قابل‌اعتماد و کاربردی برای مدیریت تحول دیجیتال پایدار ارائه دهد.

در مجموع، با توجه به فشارهای جهانی برای کاهش انتشار کربن، تغییر قوانین زیست‌محیطی، ضرورت کاهش هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری و حرکت صنعت ساختمان به سمت هوشمندسازی، توسعه یک چارچوب علمی و اجرایی برای مدیریت تحول دیجیتال پایدار ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. پژوهش حاضر با هدف رفع این خلأ و ایجاد یک مدل یکپارچه برای هدایت دیجیتال‌سازی سبز در صنعت ساختمان انجام می‌شود، مدلی که بتواند راهنمایی عملی برای شرکت‌های ساختمانی، سیاست‌گذاران و مدیران پروژه در مسیر دستیابی به ساخت‌وساز پایدار باشد.

۲. پیشینه پژوهش

حسینی، محمدرضا؛ نادری، زهرا (۲۰۲۵) در مطالعه خود تحت عنوان امکان‌سنجی پیاده‌سازی دوقلوی دیجیتال در مدیریت شهری ایران به بررسی الزامات، چالش‌ها و زیرساخت‌های موردنیاز برای پیاده‌سازی دوقلوی دیجیتال در شهرهای ایران پرداخته است. نتایج نشان می‌دهد که نبود یکپارچگی داده، ضعف قوانین مرتبط و کمبود مهارت‌های فنی مهم‌ترین موانع توسعه فناوری‌های دیجیتال در بخش ساختمان و شهرسازی هستند. این مطالعه اهمیت ایجاد چارچوب بومی برای

دیجیتال‌سازی پایدار را برجسته می‌کند. عبدالهی، مهدی؛ مرادی، سارا (۲۰۲۴) در مطالعه خود تحت عنوان تحلیل کتاب‌سنجی روند جهانی ساختمان‌های پایدار و هوشمند در بازه ۲۰۲۰–۲۰۲۴ به مطالعه مروری کتاب‌سنجی، روند چندساله تحقیقات حوزه پایداری و هوشمندسازی ساختمان را بررسی کرده و نشان می‌دهد که فناوری‌هایی مانند BIM و Digital Twin بیشترین رشد را داشته‌اند. پژوهش همچنین تأکید می‌کند که پیوند تحول دیجیتال و پایداری در ایران کمتر مورد توجه عملی قرار گرفته است. کریمی، الهام؛ رضایی، علیرضا (۲۰۲۴) در تحقیق خود تحت عنوان استراتژی‌های نوآورانه طراحی ساختمان‌های هوشمند با رویکرد پایداری به شناسایی فناوری‌های دیجیتال مؤثر در کاهش مصرف انرژی و مدیریت هوشمند ساختمان پرداخته است. نتایج نشان می‌دهد که ادغام IoT، هوش مصنوعی و سیستم‌های کنترل انرژی می‌تواند عملکرد سبز ساختمان‌ها را بهبود دهد. فتحی، احسان؛ آقاجانی، ندا (۲۰۲۳) در تحقیق خود با عنوان مروری بر نقش BIM در ساخت‌وساز پایداربه مطالعه نقش BIM را در کاهش مصرف مصالح، کاهش خطاهای طراحی و پیش‌بینی عملکرد انرژی ساختمان بررسی می‌کند. پژوهش نشان می‌دهد که BIM می‌تواند کربن نهفته و عملیاتی را در پروژه‌های ساختمانی کاهش دهد؛ اما موانع اجرایی در ایران زیاد است. سلطانی، امیر؛ محمدی، پریسا (۲۰۲۳) به شناسایی و اولویت‌بندی عوامل حاکمیتی مؤثر بر پیاده‌سازی BIM در ایران (رویکرد دلفی فازی) پرداختند آنها با استفاده از روش دلفی فازی، عوامل مدیریتی، قانونی و نهادی مؤثر بر پذیرش BIM رتبه‌بندی شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد حمایت مدیریتی و استانداردهای ملی مهم‌ترین عوامل در پذیرش تحول دیجیتال هستند. یوسفی، مریم؛ آذری، وحید (۲۰۲۳) به طراحی مدل هوشمندسازی ساختمان‌های اداری بر پایه IoT (دلفی فازی + تحلیل عاملی)پرداختند پژوهش نشان می‌دهد که شهر هوشمند و ساختمان هوشمند بدون وجود یک مدل داده‌محور قابل تحقق نیست. نتایج این پژوهش برای طراحی مدل تحول دیجیتال پایدار کاربرد مستقیم دارد.

اسمیت و جانسون (۲۰۲۴) – «کاربرد دوقلوی دیجیتال برای کاهش کربن در پروژه‌های ساختمانی»نشان دادند که که استفاده از دوقلوی دیجیتال در مراحل طراحی و ساخت، امکان پایش لحظه‌ای مصرف انرژی و اتلاف مصالح را فراهم می‌کند. نتایج بیان می‌کند که تلفیق داده‌های زمان‌واقعی با مدل‌سازی اطلاعات ساختمان موجب کاهش خطا، افزایش دقت طراحی و کاهش قابل‌توجه کربن نهفته و عملیاتی می‌شود. پژوهش همچنین تأکید می‌کند که یکپارچه‌سازی دوقلوی دیجیتال با هوش مصنوعی می‌تواند تصمیم‌گیری پایدار را در پروژه‌ها تسریع کند. لی و چانگ (۲۰۲۳) – «نقش فناوری‌های تحول دیجیتال در بهینه‌سازی چرخه عمر ساختمان» به بررسی تأثیر مجموعه‌ای از فناوری‌های دیجیتال شامل BIM، IoT و هوش مصنوعی در کاهش مصرف انرژی

و ارتقای پایداری در چرخه عمر ساختمان بررسی شد. یافته‌ها نشان داد که دیجیتالی‌سازی، شفافیت اطلاعات و کنترل عملیات را افزایش داده و منجر به کاهش هزینه‌ها و انتشار آلاینده‌ها در مراحل طراحی تا بهره‌برداری می‌شود. نویسندگان تأکید کردند که آینده ساخت‌وساز پایدار به شدت وابسته به قابلیت مدیریت داده و تصمیم‌گیری دیجیتال است. احمد و بیکر (۲۰۲۳) در مطالعه خود «تحول دیجیتال و نقش آن در مدیریت مصالح پایدار در صنعت ساخت» بر این موضوع متمرکز است که چگونه فناوری‌های دیجیتال مانند سیستم‌های ردیابی هوشمند و مدل‌سازی اطلاعات مصالح می‌توانند کارایی زنجیره تأمین را بهبود داده و از هدررفت و دوباره‌کاری جلوگیری کنند. نتایج نشان می‌دهد که بهره‌گیری از تحلیل داده و شبیه‌سازی سه‌بعدی در انتخاب مصالح مناسب و کاهش پسماند نقش مهمی دارد. همچنین استفاده از IoT امکان کنترل وضعیت انبار و جلوگیری از اتلاف منابع را فراهم می‌کند. گارسیا و سالازار (۲۰۲۲) – «مدل دیجیتال‌سازی پروژه‌های ساخت برای بهبود عملکرد زیست‌محیطی»یک مدل یکپارچه دیجیتال‌سازی ارائه شد که شامل BIM، سنسورهای هوشمند و یادگیری ماشین است. نتایج نشان داد که این مدل باعث بهبود عملکرد زیست‌محیطی پروژه‌ها و کاهش انتشارات CO_2 می‌شود. پژوهش همچنین تأکید کرد که ادغام سیستم‌های هوشمند با فرایندهای مدیریت پروژه می‌تواند نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی عملیاتی داشته باشد. لی و ژائو (۲۰۲۱) – «تأثیر BIM و اینترنت اشیا بر پایداری پروژه‌های ساختمانی» نشان داد که ترکیب BIM با IoT می‌تواند نظارت پیوسته بر مصرف انرژی، عملکرد تجهیزات و میزان پسماند ساختمانی را فراهم آورد. پژوهش تأکید کرد که داده‌های به‌دست‌آمده از سنسورها می‌تواند برای تصمیم‌گیری بهتر در کاهش مصرف انرژی و بهبود راندمان عملیاتی استفاده شود. این روش به ویژه در پروژه‌های بزرگ تأثیر قابل‌توجهی دارد. براون و هریس (۲۰۲۰) –«نقش هوش مصنوعی در تحقق ساخت‌وساز سبز» نشان داد که الگوریتم‌های یادگیری ماشین قادرند عملکرد انرژی ساختمان را پیش‌بینی کرده و پیشنهادهای خودکار برای طراحی پایدار ارائه دهند. براساس یافته‌ها، هوش مصنوعی با ترکیب شبیه‌سازی و داده‌های تاریخی پروژه‌ها می‌تواند به کاهش خطا و کاهش مصرف انرژی کمک کند. نویسندگان نتیجه گرفتند که AI یکی از مؤثرترین ابزارهای عصر جدید ساخت‌وساز پایدار است. مارتینز و کاستا (۲۰۱۹) در مطالعه خود تحت عنوان «ارزیابی اثر دیجیتالی‌سازی بر مدیریت هوشمند پسماند ساختمانی» تأکید شد که فناوری‌های دیجیتال، بخصوص RFID و سیستم‌های ردیابی هوشمند، می‌توانند در کاهش پسماند و بهبود مدیریت چرخه مواد نقش داشته باشند. نتایج نشان داد دیجیتالی‌سازی امکان برنامه‌ریزی دقیق‌تر، زمان‌بندی بهتر و کاهش فشار زیست‌محیطی ناشی از ضایعات ساختمانی را فراهم می‌کند.

۳. روش[۱]

این پژوهش از نوع آمیخته (کمی–کیفی) و کاربردی–توسعه‌ای است و با هدف ارائه مدل مدیریت تحول دیجیتال پایدار در صنعت ساختمان انجام می‌شود. در مرحله کیفی، عوامل اولیه تحول دیجیتال پایدار از طریق مطالعه پیشینه، مصاحبه نیمه‌ساختاریافته با خبرگان صنعت ساختمان، مدیران پروژه و متخصصین فناوری‌های نوین استخراج می‌شود و با استفاده از روش دلفی فازی در دو یا سه دور، اجماع خبرگان بر روی عوامل کلیدی حاصل می‌گردد. جامعه آماری مرحله کیفی شامل ۲۵ نفر از خبره‌ترین فعالان حوزه BIM، IoT و مدیریت پایداری است که با روش نمونه‌گیری هدفمند–گلوله برفی انتخاب می‌شوند. در مرحله کمی، پرسشنامه محقق‌ساخته بر مبنای خروجی دلفی فازی طراحی و بین ۲۵۰ نفر از متخصصین و مدیران پروژه‌های ساختمانی توزیع می‌شود و داده‌ها با مقیاس لیکرت پنج‌درجه‌ای جمع‌آوری می‌شوند. تحلیل داده‌ها شامل تحلیل عاملی تأییدی (CFA) برای ارزیابی ساختار عوامل، آزمون پایایی و روایی سازه‌ای، و مدل‌سازی معادلات ساختاری (SEM/PLS) برای تعیین شدت و جهت روابط میان عوامل است. همچنین، در صورت نیاز، اولویت‌بندی عوامل با تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی (مانند AHP، VIKOR یا TOPSIS فازی) انجام خواهد شد. روایی ابزارها از طریق تأیید خبرگان (CVR، CVI) و تحلیل CFA و پایایی از طریق آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی (CR) تضمین می‌شود. در نهایت، با تلفیق نتایج کیفی و کمی، مدل نهایی تحول دیجیتال پایدار در صنعت ساختمان ارائه و اولویت‌بندی عوامل اصلی مشخص می‌شود که می‌تواند راهنمای علمی و کاربردی برای مدیران، سیاست‌گذاران و فعالان صنعت ساختمان باشد.

٤. یافته‌ها

برای اجرای روش‌های آماری و محاسبه آماره آزمون مناسب و استنتاج منطقی درباره سوالات پژوهش مهم‌ترین عمل قبل از هر اقدامی، انتخاب روش آماری مناسب برای پژوهش است برای این منظور آگاهی از توزیع داده‌ها از اولویت اساسی برخوردار است. برای همین منظور در این پژوهش از آزمون معتبر کولموگروف- اسمیرنوف برای بررسی فرض نرمال بودن داده‌های پژوهش استفاده‌شده است. هدف از تست نرمالیته این است که اگر توزیع داده ها از توزیع نرمال تبعیت کنند

---

۲. Method

میتوان از آماره های پارامتریک در آزمونهای آماری استفاده کرد . با توجه به اینکه در این پژوهش از روش مدل‌سازی معادلات ساختاری مبتنی بر حداقل مربعات جزئی (PLS-SEM) استفاده شده است و این روش ماهیتی واریانس‌محور و ناپارامتریک دارد، فرض نرمال بودن داده‌ها شرط الزامی برای برآورد مدل محسوب نمی‌شود. بنابراین انجام آزمون کولموگروف–اسمیرنوف در این پژوهش صرفاً با هدف توصیف ویژگی‌های آماری داده‌ها و بررسی شکل توزیع متغیرها صورت گرفته است و نتایج آن نقشی در انتخاب روش تحلیل یا اعتبار مدل نداشته است. انتخاب PLS-SEM مستقل از نتایج آزمون نرمالیتی و بر اساس ماهیت پژوهش، پیچیدگی مدل، تعداد سازه‌ها و اهداف پیش‌بینی‌محور تحقیق انجام شده است.

جدول ۱. نتایج رتبه‌بندی شرکت‌های بازاریابی شبکه‌ای با مدل

	آماره آزمون	سطح معناداری
فناوری‌های تحول دیجیتال	۱۸/۹۰۰	۷/۳۸۰
مدیریت چرخه عمر ساختمان	۱۷/۹۷۷	۵/۷۸۹
بهینه‌سازی انرژی و بهره‌وری	۲۱/۱۶۷	۱۰/۷۹۰
مدیریت مصالح پایدار	۱۸/۸۸۹	۷/۱۷۹
تصمیم‌گیری داده محور	۱۹/۸۸۰	۵/۸۹۹

با توجه به جدول آزمون اسمیرنف کولموگروف اگر سطح معنی‌داری برای کلیه متغیرهای مستقل و وابسته کوچک‌تر از سطح آزمون (۰,۰۵)باشد توزیع داده‌ها نرمال نمی‌باشد. با توجه به آزمون کولموگروف متغیر های این پژوهش با توجه به سطح معناداری بالای ۰/۰۵ کلیه داده های مربوط به پنج متغیر نرمال بوده و فرض صفر پذیرفته میشود .

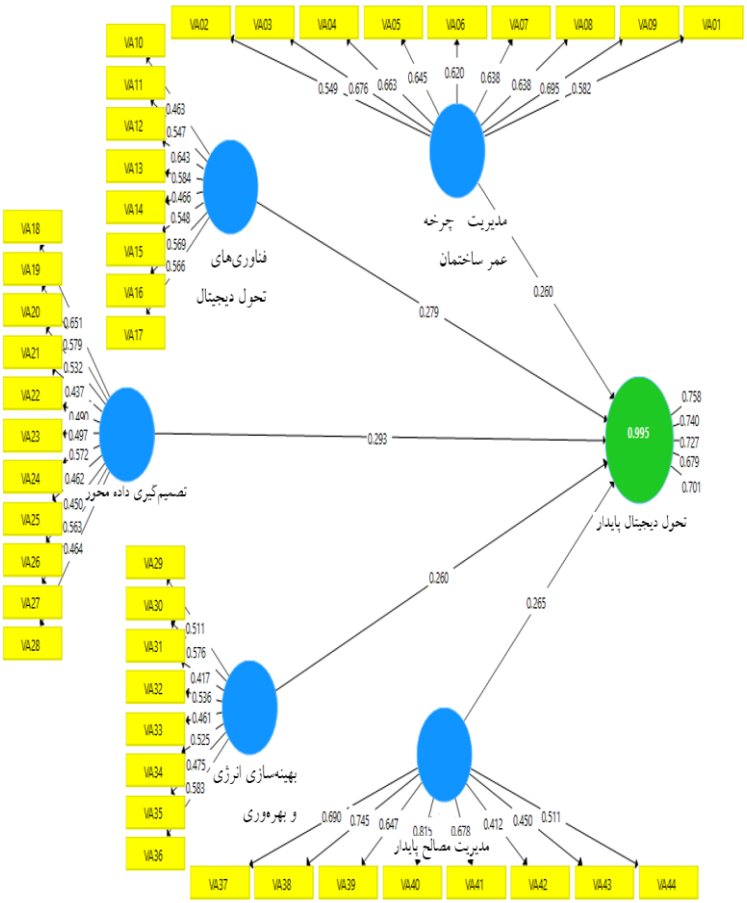
آمار استنباطی در یک پژوهش علی به معنای کشف الگوهای تأثیر سنجی در بین متغیرها در درون نمونه و تعمیم آن به جامعه هدف پژوهش می‌باشد. آزمون‌های مدل در نرم‌افزار SMART PLS به طور کلی به دو دسته آزمون‌های مدل بیرونی (اندازه‌گیری)، آزمون‌های مدل درونی (ساختاری) تقسیم می‌شود. با توجه به اینکه این نرم‌افزار واریانس محور است در آخر نیز آزمون‌های مربوط به برازش کیفیت مدل بیرونی، مدل درونی و مدل کلی اعمال شد. همچنین از آنجا که پرسشنامه تمامی متغیرها از نوع انعکاسی است، لذا آزمون‌های انعکاسی برای مدل بیرونی (اندازه‌گیری) اجرا شد.

آزمون‌های مدل بیرونی انعکاسی

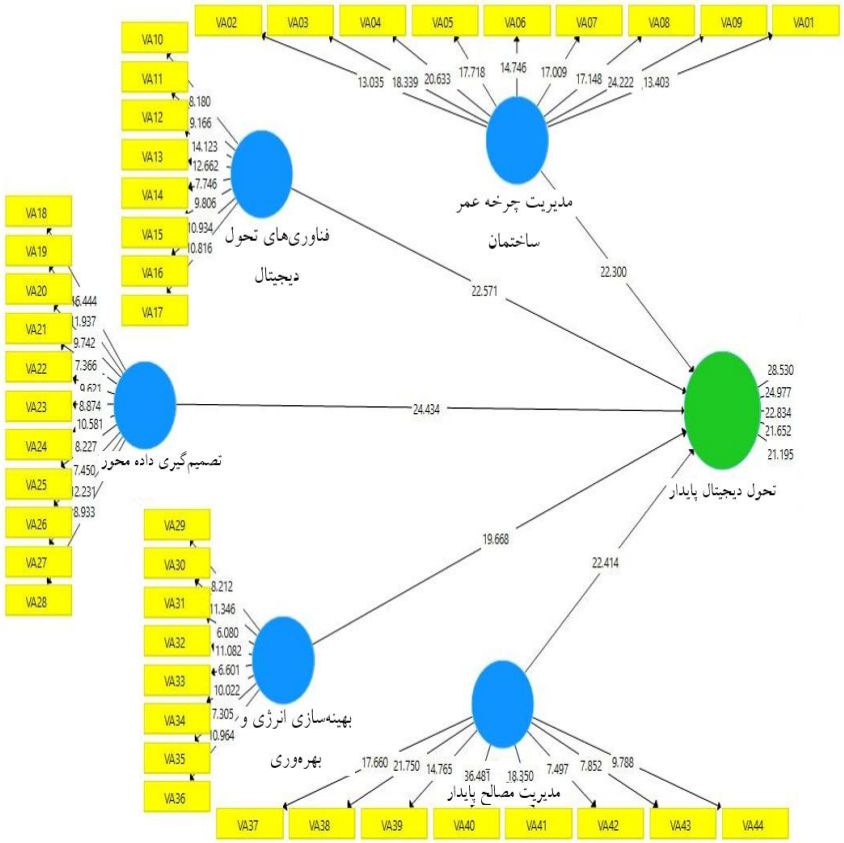
وظیفه اصلی مدل بیرونی (اندازه‌گیری)، بررسی روایی و پایایی سازه و حصول اطمینان از آن است. ابتدا محقق باید از تک بعدی بودن و هم‌جنس بودن سوالات اطمینان حاصل نماید. یعنی ابتدا باید آزمون همگن بودن اجرا شود و مدل اصلاح شود تا بتوانیم آزمون‌های روایی و پایایی را بر روی آن اجرا نماییم.

آزمون همگن بودن سوالات (بارهای عاملی)

آزمون همگن بودن به معنای این است که کلیه سوالات اندازه‌گیری‌کننده یک متغیر یا مولفه، حول یک مفهوم می‌چرخند. اگر بار عاملی که همان ضریب هبستگی بین متغیر مکنون و آشکار (سوالات هر متغیر) است بالای ۰/۴ شود، می‌توان ادعا نمود آن سوال با سوالات دیگر همگن می‌باشد (زارعی و همکاران، ۱۴۰۰؛ شعبانی بهار و لقمانی، ۱۳۹۶). در غیر این صورت سوال باید از مدل پژوهش حذف گردیده و اصطلاحا مدل اصلاح گردد.



شکل ۱. مدل پژوهش در حالت تخمین ضرایب استاندارد (بار عاملی)



شکل ۲. مدل پژوهش در حالت تخمین ضرایب استاندارد(t-value)

با توجه به شکل فوق، نتایج حاکی از آن است که بار عاملی تمامی سوالات مدل از نقطه برش ۰/۴ بالاتر هستند. در ادامه به بررسی پایایی و روایی ابزار اندازه‌گیری پرداخته شد. پایایی شرط لازم ولی ناکافی است. پس ابتدا به بررسی پایایی ابزار اندازه‌گیری و سپس روایی ابزار اندازه‌گیری گردید.

الف: آزمون و تحلیل مسیر مدل

به منظور آزمون و تحلیل مسیر مدل در این بخش از آنجا که سازه های مدل مفهومی در بخش قبل مورد بررسی قرار گرفته اند و این سازه ها، سازه های مرتبه دوم می باشند در این بخش ابتدا به معرفی

سازه ها به صورت کلی می پردازیم و سازه ها را در جدول زیر معرفی می کنیم. سپس با تکیه بر روش آنالیز مسیر می پردازیم. آنالیز مسیر در این بخش با تکیه بر نرم افزار PLS انجام شده است. این نرم افزار هر یک از سازه های تحقیق را به صورت یک متغیر آنالیز می کند در این صورت با تکیه بر بخش های قبلی سازه های تشکیل شده در قالب یک متغیر مشاهده گر تحلیل می شود. همچنین از آنجا که تعداد سازه ها و مسیر ها در مدل مفهومی تحقیق زیاد است نرم افزار PLS مناسب ترین نرم افزار برای تحلیل مسیر در این تحقیق است. تمامی مضامین اصلی استخراج شده از مصاحبه ها و پرسشنامه در تجزیه وتحلیل آماری مورد تأیید واقع شده و مولفه ها ، ابعاد و شاخصهای شناسایی شده ازنظر نمونه بررسی شده نیز در بحث معیارهای الگوی تحول دیجیتال اثرگذار هستند.

جدول ۲. نتایج آزمون t برای مضامین اصلی

نتیجه تحلیل مسیر	آماره t	بار عاملی	نام مسیر
معنی داری	۲۲/۳۰۰	۰/۲۶۰	تحول دیجیتال پایدار<- مدیریت چرخه عمر ساختمان
معنی داری	۲۴/۴۳۴	۰/۲۹۳	تحول دیجیتال پایدار<- تصمیم گیری داده محور
معنی داری	۱۹/۶۶۸	۰/۲۶۰	تحول دیجیتال پایدار<- بهینه سازی انرژی و بهره وری
معنی داری	۲۲/۵۷۱	۰/۲۷۹	تحول دیجیتال پایدار<- فناوری های تحول دیجیتال
معنی داری	۲۲/۴۱۴	۰/۲۶۵	تحول دیجیتال پایدار<- مدیریت مصالح پایدار

با توجه به نتایج به دست آمده در جدول ۲، ضرایب مسیر مثبت و آماره t آن مسیرها بزرگتر از مقدار بحرانی است (۱/۹۶). لذا فرض صفر رد شده و در نتیجه ادعای مطرح شده تایید می گردد .

۳-۴-۴-دلفی فازی

روش دلفی برای نخستین بار توسط دالکی و هلمر در سال ۱۹۶۳ ارائه شد. این تکنیک، روشی پیمایشی مبتنی بر نظرهای متخصصان است و سه خصوصیت اصلی دارد که عبارت اند از :پاسخ بی نام، تکرار و بازخورد کنترل شده و درنهایت پاسخ گروهی آماری. این تکنیک، روشی نظام مند به منظور جمع آوری و هماهنگی قضاوتهای آگاهانه گروهی از متخصصان درباره سؤال یا موضوعی خاصی است (هسو و سانفورد،[۱] ۲۰۰۷). در بسیاری از موقعیت های واقعی، قضاوت متخصصان نمی‌تواند به صورت اعداد کمّی قطعی بیان و تفسیر شود؛ به عبارت دیگر داده ها و اعداد قطعی به منظور مدل کردن سیستمهای دنیای واقعی به علت ابهام و عدم قطعیت موجود در قضاوت تصمیم گیرندگان ناکافی است. در این راستا به منظور غلبه بر این مشکل «نظریه مجموعه های فازی» ابزار مناسبی برای مقابله با ابهام و عدم قطعیت موجود در فرآیند تصمیم گیری است. بنابراین در این پژوهش از روش دلفی فازی به منظور تأیید و غربالگری شاخصهای شناسایی شده استفاده گردیده است .

دلایل استفاده از روش دلفی عبارتند از:

- شناسایی شاخص¬های نهایی برگرفته از مصاحبه

- جمع آوری نظرهای متخصصان تصمیم گیرنده: در این گام بعد از شناسایی معیار های پژوهش، گروه تصمیم گیری متشکل از خبرگان مرتبط با موضوع پژوهش تشکیل شده و پرسشنامه ها به منظور تعیین مرتبط بودن شاخص¬های شناسایی شده با موضوع اصلی پژوهش و غربالگری برای آن ها ارسال میشود که در آن متغیرهای زبانی، برای بیان اهمیت هر شاخص به کار می روند.

---

[۱] Hsu and Sandford

- تایید و غربالگری شاخص ها: این کار از طریق مقایسه مقدار ارزش اکتسابی هر شاخص با مقدار آستانه یا S صورت می پذیرد. مقدار آستانه با استنباط ذهنی تصمیم گیرنده معین میشود و مستقیم بر روی تعداد عواملی که غربال میشوند تاثیرخواهد داشت.

در گام بعدی میانگین‌های فازی نمرات افراد حساب شده است برای محاسبه میانگین نظرات ۲۶ پاسخ‌دهنده، میانگین فازی بصورت زیر محاسبه گردیده است.

هر عدد فازی مثلثی برای هریک از شاخص‌ها به صورت زیرنمایش داده شده است:

رابطه ۱

$$\tau_j = (L_j, M_j, U_j)$$

$$L_j = \min(X_{ij})$$

$$M_j = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^{n} X_{ij}}$$

$$U_j = \max(X_{ij})$$

اندیس i به فرد خبره اشاره دارد. به طوری که

τ_j : میانگین فازی معیار j ام

X_{ij} : مقدار ارزیابی خبره i ام از معیار j ام

L_j : حداقل مقدار ارزیابی‌ها برای معیار j ام

M_j : میانگین هندسی مقدار ارزیابی خبرگان از عملکرد معیار j ام

U_j : حداکثر مقدار ارزیابی‌ها برای معیار j ام

در واقع این روش‌های تجمیع، روش‌هایی تجربی هستند که توسط پژوهشگران مختلف ارائه شده‌اند. برای نمونه یک روش مرسوم برای تجمیع مجموعه‌ای از اعداد فازی مثلثی را کمینه l و میانگین m و بیشینه u در نظر گرفته‌اند.

رابطه ۲ :

$$F_{AGR} = \left(min\{\mathrm{l}\}، \left\{\frac{\sum m}{n}\right\}، max\{u\}\right)$$

(سو۱ و همکاران، ۲۰۱۰)

در این مطالعه ما از روش میانگین فازی استفاده کرده‌ایم. میانگین فازی n عدد فازی مثلثی با **Error! Reference source not found.** محاسبه شده است

رابطه ۳ :

$$\tilde{F}_{AVE} = (\mathrm{L}،\mathrm{M}،\mathrm{U}) = \frac{\sum l_i^k}{n}، \frac{\sum m_i^k}{n}، \frac{\sum u_k^i}{n}$$

که در این رابطه عدد فازی مثلثی $\tilde{\mathrm{f}}_i = \left(l_i^k، m_i^k، u_i^k\right)$ معادل فازی دیدگاه خبره k ام پیرامون معیار i ام است.

برای فازی‌زدایی از روش مرکز سطح به صورت زیر استفاده شده است.

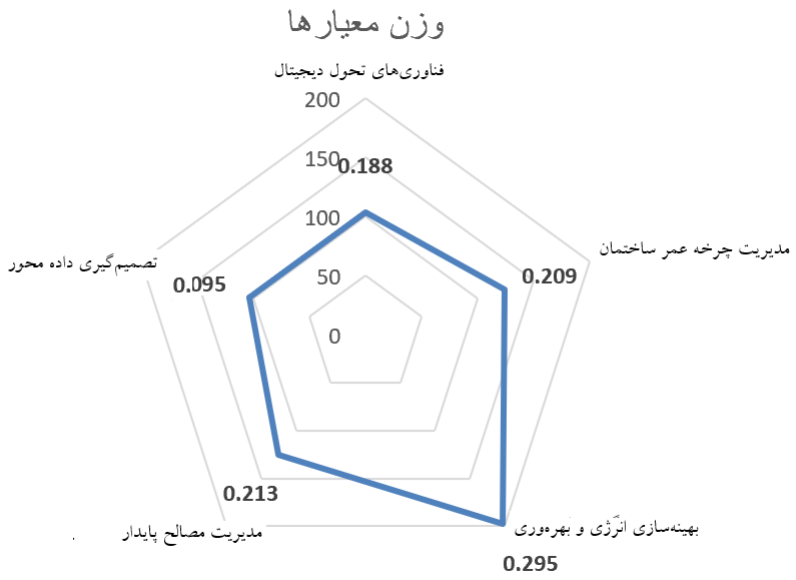
رابطه ۴ :

$$DF_{ij} = \frac{[(u_{ij} - l_{ij}) + (m_{ij} - l_{ij})]}{۳} + l_{ij}$$

نتیجه نهایی محاسبات با استفاده از نرم افزار اکسل به شرح جدول زیر میباشد :

جدول ۳. وزن معیارهای اصلی الگوی تحول دیجیتال پایدار

۱- Hsu et al



معیارها	نام معیارها	میانگین فازی			میانگین قطعی	وزن معیارها
C۱	فناوری‌های تحول دیجیتال	۰.۳۹٤۲۳۱	۰.۵۹٦۱۵٤	۰.۷٦۹۲۳۱	۱.۲٤٦۷۹۵	۰.۱۸۸
C۲	مدیریت چرخه عمر ساختمان	۰.٤۳۲٦۹۲	۰.٦۷۳۰۷۷	۰.۸٤٦۱۵٤	۱.۳۸۷۸۲۱	۰.۲۰۹
C۳	بهینه‌سازی انرژی و بهره‌وری	۰.٦۹۲۳۰۸	۰.۹٤۲۳۰۸	۱	۱.۹٦۷۹٤۹	۰.۲۹۵
C٤	مدیریت مصالح پایدار	۰.٤۵۱۹۲۳	۰.٦۸۲٦۹۲	۰.۸۳٦۵۳۸	۱.٤۱۳٤٦۲	۰.۲۱۳
C۵	تصمیم‌گیری داده محور	۰.۱۹۲۳۰۸	۰.۲۷۸۸٤٦	۰.٤۹۰۳۸۵	۰.٦۳٤٦۱۵	۰.۰۹۵

شکل ۳. نمودار رادار وزن معیارهای اصلی الگوی تحول دیجیتال پایدار

در شکل ۳ اهمیت معیارهای اصلی ارائه الگوی تحول دیجیتال پایدار از نظر نمونه آماری به ترتیب وزن آنها ،رتبه اول بهینه سازی انرژی ، مدیریت چرخه عمر ساختمان رتبه دوم ، مدیریت مصالح پایدار رتبه سوم ، فناوری های تحول دیجیتال رتبه چهارم، تصمیم گیری داده محور رتبه پنجم ، را کسب نموده اند. این توزیع وزنی بیانگر آن است که از دیدگاه خبرگان، معیارهای عملیاتی و اثرگذار مستقیم بر پایداری، اولویت بالاتری نسبت به عوامل زیرساختی و پشتیبان دارند.

۵. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که مسئله اصلی تحول دیجیتال پایدار در صنعت ساختمان، نه صرفاً به‌کارگیری فناوری‌های نوین، بلکه جهت‌دهی هوشمندانه آن‌ها به سمت عوامل کلیدی پایداری است. در این راستا، یافته‌های پژوهش به‌طور معناداری نشان می‌دهد که بهینه‌سازی مصرف انرژی با بیشترین وزن، مهم‌ترین مؤلفه در تحقق مدیریت تحول دیجیتال پایدار محسوب می‌شود. این نتیجه به‌صورت مستقیم به مسئله پژوهش پاسخ می‌دهد و تأکید می‌کند که بدون تمرکز بر انرژی، پیاده‌سازی فناوری‌های دیجیتال نمی‌تواند به پایداری واقعی منجر شود.برتری معیار بهینه‌سازی انرژی بیانگر آن است که فناوری‌های دیجیتال زمانی اثربخش خواهند بود که در خدمت پایش، کنترل و بهبود عملکرد انرژی در طول چرخه حیات ساختمان قرار گیرند. استفاده از ابزارهایی نظیر BIM ، اینترنت اشیاء و سیستم‌های هوشمند مدیریت انرژی، می‌تواند ضمن کاهش مصرف انرژی و انتشار کربن، هزینه‌های عملیاتی ساختمان را نیز به‌طور معناداری کاهش دهد. این یافته، شکاف موجود در بسیاری از پژوهش‌های پیشین را که صرفاً به معرفی فناوری‌ها پرداخته‌اند، پوشش می‌دهد.

در رتبه دوم، مدیریت چرخه عمر ساختمان قرار گرفته است که اهمیت نگاه بلندمدت و سیستمی به پایداری را برجسته می‌سازد. این نتیجه نشان می‌دهد که تصمیم‌گیری‌های دیجیتال باید فراتر از مرحله طراحی یا اجرا بوده و مراحل بهره‌برداری، نگهداری، بازسازی و بازیافت را نیز در بر گیرد. مدیریت داده‌محور چرخه عمر، امکان ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و اقتصادی پروژه را در بلندمدت فراهم کرده و از تصمیمات مقطعی و غیرپایدار جلوگیری می‌کند.

مدیریت مصالح پایدار به‌عنوان سومین عامل اولویت‌دار، نقش مکمل اما حیاتی در تحقق پایداری دیجیتال ایفا می‌کند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که به‌کارگیری مصالح با قابلیت بازیافت، دوام بالا

و اثرات زیست‌محیطی کمتر، زمانی بیشترین کارایی را دارد که با سیستم‌های دیجیتال برای ردیابی، تحلیل و بهینه‌سازی مصرف مصالح همراه شود. این هم‌افزایی میان مصالح پایدار و تحول دیجیتال، به کاهش ضایعات و افزایش بهره‌وری منابع منجر می‌شود.

در مقابل، فناوری‌های تحول دیجیتال و تصمیم‌گیری داده‌محور اگرچه از ارکان اساسی الگو محسوب می‌شوند، اما وزن پایین‌تر آن‌ها نشان می‌دهد که از دیدگاه خبرگان، این عوامل بیشتر نقش ابزار و توانمندساز را ایفا می‌کنند تا هدف نهایی. این نتیجه، دیدگاه فناورمحور صرف را به چالش کشیده و بر ضرورت رویکرد مسئله‌محور در مدیریت تحول دیجیتال پایدار تأکید دارد.

مقایسه نتایج این پژوهش با مطالعات پیشین نشان می‌دهد که اگرچه پژوهش‌هایی مانند Petri و همکاران (۲۰۲۵) و Berges-Álvarez و همکاران (۲۰۲۴) بر نقش فناوری‌های دیجیتال در کاهش مصرف انرژی و ارزیابی چرخه عمر تأکید کرده‌اند، اما نوآوری پژوهش حاضر در اولویت‌بندی کمی و سیستماتیک عوامل کلیدی و ارائه یک الگوی مدیریتی قابل‌اجرا نهفته است. این الگو می‌تواند به مدیران پروژه‌ها و سیاست‌گذاران کمک کند تا منابع مالی و فناورانه خود را به‌صورت هدفمند و اثربخش تخصیص دهند.

بر اساس یافته‌های پژوهش، پیشنهاد می‌شود:سازمان‌ها و شرکت‌های فعال در صنعت ساختمان، بهینه‌سازی مصرف انرژی را به‌عنوان محور اصلی تحول دیجیتال پایدار در نظر بگیرند.سرمایه‌گذاری در فناوری‌های دیجیتال با تمرکز بر مدیریت چرخه عمر ساختمان و مصالح پایدار انجام شود.سیاست‌گذاران، چارچوب‌های تصمیم‌گیری داده‌محور را در سطح کلان صنعت ساختمان توسعه دهند.

در پژوهش‌های آینده، الگوی پیشنهادی در پروژه‌های واقعی پیاده‌سازی شده و تأثیر آن بر شاخص‌های کمی پایداری (انرژی، هزینه، انتشار کربن) ارزیابی گردد.در مجموع، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که الگوی ارائه‌شده نه‌تنها پاسخ مناسبی به مسئله پژوهش می‌دهد، بلکه با ارائه یک چارچوب اولویت‌بندی‌شده، زمینه تصمیم‌گیری علمی، عملیاتی و پایدار را در مدیریت تحول دیجیتال صنعت ساختمان فراهم می‌آورد.

منابع

التمیمی, احمد شراد خضیر ، مرادی چالشتری،جواد . (۱۴۰۴). اثر استراتژی بازاریابی دیجیتال و قابلیت های نوآوری بر عملکرد استراتژیک کسب و کارهای ورزشی .فصلنامه پژوهش های کاربردی در مدیریت صنعت پایدار،۱(۲)، ۱-۳۰.

حسینی، محمدرضا، نادری، زهرا. (۱۴۰۴). امکان‌سنجی پیاده‌سازی دوقلوی دیجیتال در مدیریت شهری ایران. مجله مدیریت شهری ایران، ۱۲(۳)، ۴۵-۶۲.

عبدالهی، مهدی، مرادی، سارا. (۱۴۰۳). تحلیل کتاب‌سنجی روند جهانی ساختمان‌های پایدار و هوشمند در بازه ۲۰۲۰–۲۰۲۴. پژوهش‌های معماری و ساختمان هوشمند، ۷(۲)، ۲۳-۴۰.

کریمی، الهام، رضایی، علیرضا. (۱۴۰۳). استراتژی‌های نوآورانه طراحی ساختمان‌های هوشمند با رویکرد پایداری. فناوری‌های نوین در معماری و ساخت‌وساز، ۵(۱)، ۱۱-۲۸.

فتحی، احسان، آقاجانی، ندا. (۱۴۰۲). مروری بر نقش BIM در ساخت‌وساز پایدار. مجله مهندسی عمران و ساختمان پایدار، ۱۰(۴)، ۷۰-۵۵.

سلطانی، امیر، محمدی، پریسا. (۱۴۰۲). شناسایی و اولویت‌بندی عوامل حاکمیتی مؤثر بر پیاده‌سازی BIM در ایران (رویکرد دلفی فازی). مجله مدیریت فناوری و نوآوری، ۸(۳)، ۳۳-۵۰.

لاتی، مجتبی، دانشمند فرد ، پریسا.(۱۴۰۳). شناسایی عوامل مؤثر بر عملکرد کسب و کار با میانجیگری استراتژی های رقابتی.فصلنامه پژوهش های کاربردی در مدیریت صنعت پایدار،۴(۱)، ۶۸-۸۸

یوسفی، مریم، & آذری، وحید. (۱۴۰۲). طراحی مدل هوشمندسازی ساختمان‌های اداری بر پایه IoT (دلفی فازی + تحلیل عاملی). مجله سیستم‌های هوشمند و فناوری اطلاعات، ۶(۲)، ۱۵-۳۲.

Ahmed, S., & Baker, L. (۲۰۲۳). Digital transformation and sustainable material management in the construction industry. Journal of Construction Informatics, ۹(۱), ۳۳–٤۸.

Brown, T., & Harris, G. (۲۰۲۰). Artificial intelligence for green building design and energy efficiency. Journal of Green Construction, ۵(۲), ۵۵–۷۱.

Garcia, M., & Salazar, R. (۲۰۲۲). A digitalization model to improve environmental performance in construction projects. Sustainable Built Environment Journal, ۷(۳), ۱٤۲–۱۵۸.

Lee, K., & Chang, H. (۲۰۲۳). Digital transformation technologies for optimizing building lifecycle sustainability. International Journal of Building Performance, ۱۱(٤), ۲۰۱–۲۱۹.

Li, Y., & Zhao, W. (۲۰۲۱). Impact of BIM and IoT integration on construction sustainability. Automation in Construction, ۱۳۰, ۱۰۳–۱۱۸.

Li, Y., Zhao, X., Liu, C., & Zhang, Z. (۲۰۲۵). Applications of Digital Technologies in Promoting Sustainable Construction Practices: A Literature Review. Sustainability, ۱۷(۲), ٤۸۷. https://doi.org/۱۰,۳۳۹۰/su۱۷۰۲۰٤۸۷

Martinez, A., & Costa, P. (۲۰۱۹). Digital waste management systems in construction projects. Journal of Cleaner Production, ۲٤۰, ۱۱۸–۱۲۸.

Smith, J., & Johnson, P. (۲۰۲٤). Digital twins for carbon reduction in construction projects. Journal of Sustainable Construction Technology, ۱٤(۲), ۱۱۵–۱۲۹.

استناد به این مقاله: منصوری، عبدالجواد.، نیک نقش، ابراهیم.، بندپی، سهرام.ریا، مهدی زاده اشرفی، علی.(۱۴۰۴). ارائه مدل مدیریت تحول دیجیتال پایدار در صنعت ساختمان. *فصلنامه پژوهش های کاربردی در مدیریت صنعت پایدار*، ۲(۴)، ۷۵-۹۵.