

Developing An Intelligent Strategic Model For Construction Management With A Sustainable Development Approach

Ali Taghipour

Department of Civil Engineering, Shab.C.,
Islamic Azad University, Shabestar, Iran.

Aydin Alizadeh

Department of Civil Engineering, Shab.C.,
Islamic Azad University, Shabestar, Iran.

Amir Hossein Farahinia *

Department of Architecture and Urban Planning,
Technical and Vocational University (TVU),
Tehran, Iran.

Abstract

The application of intelligent strategies and strategic frameworks in construction management enables process convergence, resource optimization, and the realization of sustainable development in complex projects. This study aims to propose an intelligent model for sustainable construction management by focusing on three core elements: intelligent construction patterns, technology and sustainability, and the outcomes of strategic decision-making. The research employed a mixed-methods design (qualitative–quantitative). In the qualitative phase, data were collected through document analysis and semi-structured interviews with 20 experts in civil engineering, architecture, and urban planning, and analyzed through a three-stage coding process (open, axial, and selective). In the quantitative phase, a Likert-scale questionnaire with acceptable reliability was administered for two selected variables—smart construction technology ($\alpha = 0.79$) and sustainable construction decision-making ($\alpha = 0.83$)—among 384 project managers and specialists. Data were analyzed using SPSS and a one-sample t-test. Findings revealed that within the smart construction technology domain, the criteria of information transparency ($t = 8.143$, $p = 0.012$), professional coordination ($t = 2.280$, $p = 0.000$), and optimal scheduling ($t = 1.331$, $p = 0.000$) exerted the strongest influence on intelligent construction patterns. In the sustainable construction decision-making domain, the indicators of sustainability perception, project resilience, and decision efficiency showed significant relationships with the study variables. The integrated analysis of qualitative and quantitative results demonstrated that the implementation of intelligent technologies contributes to sustainability and effective decision-making only when organized as an interconnected network of environmental dimensions, drivers, core components, human factors, and outcome-based elements. These findings form the foundation of the proposed intelligent strategic model for construction management with a sustainable development approach and provide practical guidance for improving project efficiency and sustainability.

Keywords: Strategy, Construction Management, Sustainable Development, Intelligent Systems

How to Cite: Taghipour,A. , Alizadeh,A. and Farahinia,A. H. (2025). Developing An Intelligent Strategic Model For Construction Management With A Sustainable Development Approach. Journal of Intelligent Strategic Management, 4(1), 427-446.

doi: bumara .3.2.15564.35879847078



Intelligent Strategic Management (JISM) in Development and Evolution is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

© Authors

* Corresponding Author: afarahinia@tvu.ac.ir

ارائه الگوی استراتژیک هوشمند در مدیریت ساخت با رویکرد توسعه پایدار

علی تقی پور

گروه مهندسی عمران، واحد شبستر، دانشگاه آزاداسلامی، شبستر، ایران.

آیدین علیزاده

گروه مهندسی عمران، واحد شبستر، دانشگاه آزاداسلامی، شبستر، ایران.

امیرحسین فرحی نیا *

گروه معماری و شهرسازی، دانشگاه ملی مهارت، تهران، ایران.

چکیده

کاربست راهکارهای هوشمند و چارچوب‌های استراتژیک در مدیریت ساخت، هم‌گرایی فرایندها، بهینه‌سازی منابع و تحقق توسعه پایدار در پروژه‌های پیچیده را ممکن می‌سازد. این پژوهش با هدف ارائه الگوی هوشمند مدیریت ساخت پایدار بر سه عنصر اصلی؛ «الگوهای ساخت هوشمند»، «فناوری و پایداری»، و «پیامدهای تصمیم استراتژیک»، تمرکز دارد. روش تحقیق به صورت تلفیقی (کیفی-کمی)، است. در مرحله کیفی، داده‌ها از طریق واکاوی اسناد مرتبط و مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با ۲۰ کارشناس حوزه‌های عمران، معماری و شهرسازی گردآوری و با کدگذاری سه مرحله‌ای (باز، محوری و انتخابی)، تحلیل شد. در مرحله کمی، پرسش‌نامه‌ای مبتنی بر مقیاس لیکرت با پایایی مناسب برای دو متغیر منتخب [فناوری هوشمند ساخت] (۰/۷۹) و [تصمیم‌گیری پایدار ساخت] (۰/۸۳)، در میان ۳۸۴ نفر از مدیران پروژه و کارشناسان توزیع گردید و داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و آزمون t تک‌نمونه‌ای مورد تحلیل قرار گرفت. یافته‌ها نشان داد که در محور {فناوری هوشمند ساخت}، معیارهای شفافیت اطلاعات $t = ۸/۱۴۳$ و $p = ۰/۰۱۲$ (=) هم‌هنگی حرفه‌ای $t = ۲/۲۸۰$ و $p = ۰/۰۰۰$ (=) و زمان‌بندی بهینه $t = ۱/۳۳۱$ و $p = ۰/۰۰۰$ (=) بیشترین اثرگذاری را در (الگوهای ساخت هوشمند)، داشتند. و در محور {تصمیم‌گیری پایدار ساخت}، معیارهای ادراک پایداری، تاب‌آوری پروژه و کارآمدی تصمیم، به‌طور معنادار با عناصر تحقیق مرتبط بودند. تحلیل تلفیقی نتایج کیفی و کمی، نشان داد پیاده‌سازی فناوری‌های هوشمند تنها زمانی به پایداری و تصمیم‌گیری مؤثر منجر می‌شود که به صورت یکپارچه و شبکه‌ای از محورهای محیطی، پیش‌ران‌ها، هسته‌ای، عوامل انسانی و دستاوردی سازمان‌دهی گردد. این یافته‌ها مبنای شکل‌گیری الگوی استراتژیک هوشمند در مدیریت ساخت با رویکرد توسعه پایدار است و راهنمایی برای بهبود کارآمدی و پایداری پروژه‌ها ارائه می‌کند.

کلیدواژه‌ها: استراتژیک، مدیریت ساخت، توسعه پایدار، هوشمند

استناد به این مقاله: تقی پور، علی و علیزاده، آیدین و فرحی نیا، امیرحسین . (۱۴۰۴). ارائه الگوی استراتژیک

هوشمند در مدیریت ساخت با رویکرد توسعه پایدار. مدیریت استراتژیک هوشمند، ۴(۱)، ۴۲۷-۴۴۶.



مدیریت استراتژیک هوشمند (JISM) در توسعه و تکامل تحت مجوز بین‌المللی کربیتو کامنز با شرایط انتساب-غیرتجاری ۴٫۰ منتشر می‌شود.

©نویسندگان

* نویسنده مسئول: afarahinia@tvu.ac.ir

مقدمه

پروژه‌های ساخت‌وساز در جهان معاصر صرفاً فرایندهایی برای تولید کالبد فیزیکی یا ایجاد زیرساخت‌های عمرانی نیستند؛ بلکه بازتاب‌دهنده نظام‌هایی گسترده‌اند که در آن‌ها فناوری، سیاست‌گذاری، اقتصاد و ملاحظات محیط‌زیستی در ارتباطی پیچیده و چندلایه با یکدیگر عمل می‌کنند (Kiani Mavi et al., 2021). در این شبکه پیچیده و پویا، کوچک‌ترین تغییر در هر مؤلفه می‌تواند واکنش‌های زنجیره‌ای ایجاد کرده و رفتار کل سیستم را دگرگون کند (Alghamdi, 2025; Dobrucali et al., 2024). روش‌های، با تمرکز محدود بر زمان، هزینه و کیفیت، دیگر توانایی مواجهه با پیچیدگی‌ها و ناپایداری‌های پروژه‌های امروز را ندارند (Omran et al., 2022). ظهور فناوری‌های دیجیتال و ابزارهای تحلیلی پیشرفته، زمینه را برای شکل‌گیری رویکرد «مدیریت ساخت هوشمند»، فراهم کرده است. تبیینی که نه تنها عملیات اجرایی را دقیق‌تر می‌سازد، بلکه امکان رصد، تحلیل و پیش‌بینی رفتار کل سامانه پروژه را فراهم می‌آورد (Seo & 2025). مدل‌سازی اطلاعات ساخت، حسگرهای هوشمند، کلان‌داده و الگوریتم‌های یادگیری ماشین داده‌هایی تولید می‌کنند که مدیران پروژه را قادر می‌سازند تصمیم‌ها را بر مبنای شواهد واقعی، تحلیل لحظه‌ای ریسک و پایش یکپارچه عملکرد اتخاذ کنند (Wang et al., 2025). در واقع، فرایند ساخت از روشی مبتنی بر تجربه و شهود به نظامی واکنش‌پذیر، آینده‌نگر و داده‌محور تبدیل می‌شود که هم انعطاف در برابر تغییرات ناگهانی دارد و هم پایداری پروژه را حفظ می‌کند (Pereira et al., 2025). امروزه، پروژه‌های عمرانی با چالش‌های فناورانه پیچیده و ضرورت توسعه پایدار روبه‌رو هستند (Al-Otaibi et al., 2025). موفقیت این پروژه‌ها تنها به بهره‌وری فنی یا سود اقتصادی محدود نمی‌شود؛ بلکه باید با حداقل آسیب زیست‌محیطی، عدالت اجتماعی و ایمنی همراه باشد (Hariram et al., 2023). مدیریت ساخت در چنین شرایطی نیازمند رویکردی استراتژیک است که با استفاده از تحلیل داده، تصمیم‌گیری تطبیقی و انعطاف‌پذیری بتواند ریسک‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و فناورانه را به‌طور هم‌زمان مدیریت کند (Banihashemi et al., 2021). در حوزه مدیریت ساخت و برنامه‌ریزی استراتژیک، اندیشمندانی چون هنری مینتربرگ^۱ استراتژیک را نه محصول یک فرایند خطی، بلکه نتیجه تعامل الگوهای نوظهور و ساختارمند در رفتار سازمان می‌داند؛ نگرشی که به مدیران پروژه امکان می‌دهد از چارچوب‌های سخت‌گیرانه فاصله گرفته و شکل‌گیری استراتژیک را در بستر تغییرات واقعی محیط دنبال کنند. به‌بیانی مدیریت استراتژیک زمانی مؤثر است که مدیران بتوانند فرضیات خود را درباره محیط پروژه بازنگری کرده و مسیرهای قابل‌بديل را در مواجهه با عدم قطعیت‌ها تشخیص دهند

^۱ Henry Mintzberg

(Mintzberg, 1994). بر باور دیویید جی. تیس، سازمان‌ها زمانی قادر به خلق مزیت رقابتی پایدارند که بتوانند منابع و فرایندهای خود را متناسب با شرایط متغیر محیطی بازپیکربندی کنند. زیرا پروژه‌ها همواره با تغییرات سریع در فناوری، مقررات، هزینه‌ها و ریسک‌ها مواجه‌اند و توانمندی بازآرایی منابع، اساس ایجاد استراتژیک‌های هوشمند و انعطاف‌پذیر را تشکیل می‌دهد. (Teece, 2007). پیتر فردیناند دراکر^۱ مدیریت مؤثر را وابسته به تصمیم‌سازی مبتنی بر اطلاعات و تحلیل تغییرات محیطی می‌داند و تأکید دارد که مدیران باید روندهای کلیدی را شناسایی کرده و پیامدهای بلندمدت آن‌ها را در طراحی استراتژیک لحاظ کنند (Drucker, 1999). طوری که بنت فلینبرگ^۲ و بسیاری از پیشگامان مکتب «مدیریت ریسک و پیچیدگی»، نقش تحلیل عدم قطعیت‌ها و سناریوسازی را در جلوگیری از شکست پروژه‌های بزرگ مطرح کرده‌اند. آن‌ها نشان می‌دهند که پروژه‌های عمرانی و زیربنایی، به دلیل مقیاس و پیچیدگی بالا، بیش از سایر حوزه‌ها نیازمند ابزارهای آینده‌پژوهی هستند که بتوانند پیامدهای پنهان تصمیمات امروز را آشکار کنند. در نظریه «پروژه‌های بزرگ»، او تأکید می‌کند که انعطاف‌پذیری استراتژیک و پیش‌بینی آینده‌های ممکن، از ضروریات مدیریت ساخت هوشمند در محیط‌های پرتلاطم است (Flyvbjerg, 2014).

به‌طور خاص، پروژه‌های ساخت‌وساز در محیط‌های معاصر، سامانه‌هایی پیچیده و چندلایه هستند که در آن تعامل متقابل عوامل اقتصادی، فناورانه، اجتماعی و زیست‌محیطی، منطق تصمیم‌گیری و کارایی پروژه‌ها را تعیین می‌کند. شواهد تجربی نشان می‌دهد که رویکردهای سنتی مدیریت ساخت، که عمدتاً بر زمان، هزینه و کیفیت متمرکز هستند، قادر به پاسخ‌گویی به چالش‌های ناشی از ناپایداری‌های محیطی، تغییرات فناوری و فشارهای اجتماعی-اقتصادی نیستند. این محدودیت‌ها، همراه با پیچیدگی سیستمیک پروژه‌ها و افزایش عدم قطعیت‌ها، موجب کاهش انعطاف‌پذیری و تاب‌آوری سازمانی شده و ریسک‌های تجمعی پروژه را تشدید می‌کند. یکی از چالش‌های اصلی، فقدان چارچوب‌های یکپارچه و هوشمند است که بتواند تعامل میان مؤلفه‌های کلیدی پروژه را تحلیل کرده و تصمیم‌گیری تطبیقی را در رویارویی شرایط پر عدم قطعیت امکان‌پذیر سازد. پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهند که ترکیب مدل‌سازی اطلاعات ساخت (BIM)، کلان‌داده، الگوریتم‌های یادگیری ماشین و سناریوسازی آینده‌پژوهانه می‌تواند قابلیت پیش‌بینی عملکرد پروژه و مدیریت ریسک را به‌طور قابل‌توجهی افزایش دهد، اما اغلب این رویکردها تنها به بُعد فناوری محدود مانده و ابعاد استراتژیک، سازمانی و توسعه پایدار

¹ David J. Teece

² Peter Ferdinand Drucker

³ Bent Flyvbjerg

نادیده گرفته شده‌اند. پرسش محوری این پژوهش آن است که - چگونه می‌توان با طراحی یک الگوی استراتژیک هوشمند، مدیریت ساخت را در مواجهه با نوسانات اقتصادی، تغییرات فناورانه و الزامات محیط‌زیستی بهینه کرد، به گونه‌ای که انعطاف‌پذیری، تاب‌آوری و توسعه پایدار پروژه‌ها تضمین شود؟ - هدف تحقیق ارائه یک الگوی استراتژیک هوشمند در مدیریت ساخت با رویکرد توسعه پایدار است که ضمن تحلیل عوامل کلیدی و تأثیرگذار، امکان تصمیم‌گیری منعطف، هماهنگی میان ذی‌نفعان، کاهش ریسک‌های جمعی و ارتقای تاب‌آوری سازمانی را فراهم می‌آورد.

پیشینه پژوهش

تحقق ساخت‌وساز پایدار نیازمند مدیریتی هماهنگ، مشارکتی و برخوردار از انسجام نهادی است. ضعف ساختارهای مدیریتی و گسست میان نهادهای شهری، مسیر توسعه پایدار را دشوار کرده و ظرفیت هدایت هوشمند تولید محیط مصنوع را کاهش می‌دهد. نبود تعامل سازمانی، کم‌رنگ بودن آگاهی ذی‌نفعان و فقدان سازوکارهای تاب‌آور، چالش‌های اصلی در تنظیم فرایندهای ساخت‌وساز محسوب می‌شوند و گذر از این وضعیت با تقویت حکمروایی شهری و بازآرایی ساختار مدیریت امکان‌پذیر است (کازمیان و همکاران، ۱۴۰۰). پایداری در مدیریت پروژه زمانی معنا پیدا می‌کند که فرایندهای اجرایی با منطق تغییر، مسئولیت‌پذیری و بهره‌وری هم‌سو باشند (Du Plessis, 2007). پروژه‌های مسکن قابل‌استطاعت به دلیل ماهیت اجتماعی و اقتصادی خود، ظرفیت بالایی برای جذب اصول پایداری دارند و می‌توانند پیوندی میان نیازهای گروه‌های کم‌درآمد و الزامات توسعه پایدار ایجاد کنند. تقویت مدیریت ذی‌نفعان، ارتقای توان تیم پروژه و توجه به طراحی و فناوری سازگار با محیط، بنیان حرکت به سوی مدیریت پایدار را شکل می‌دهد (صالحی‌میشانی و همکاران، ۱۴۰۰). ساخت‌وساز پایدار فراتر از استفاده از مصالح دوستدار محیط‌زیست، نیازمند یکپارچگی مدیریت پروژه با اصول پایداری در تمام مراحل اجراست. انتخاب مکان، مصالح و روش‌های ساخت مبتنی بر ارزیابی چرخه عمر، کنترل منابع و هزینه، تضمین سلامت کاربران و دوام بنا، بنیان تحقق کارایی و کیفیت بلندمدت پروژه را شکل می‌دهد. ترکیب مدیریت هوشمند با نوآوری در طراحی و فرایندها، مسیر تحقق ساختمان‌های سبز و توسعه پایدار شهری را تسهیل می‌کند (Kumar & Gupta, 2014). هوشمندسازی مدیریت پروژه نیز زمانی معنا پیدا می‌کند که فرایندهای برنامه‌ریزی، سازمان‌دهی و تصمیم‌گیری با ظرفیت‌های هوش مصنوعی پیوند بخورند. پیچیدگی روزافزون پروژه‌های عمرانی، نیاز به ابزارهای تحلیلی و خودکار را افزایش داده و نقش فناوری‌های هوشمند را در بهینه‌سازی منابع و پیش‌بینی وضعیت تقویت می‌کند (Naji & Elsheikh, 2023). این فناوری‌ها با تولید بینش، خودکارسازی وظایف و ارتقای دقت تصمیم‌گیری، توان تحول‌آفرینی در چرخه مدیریت پروژه را دارند (عباسی، ۱۴۰۲). تسلط

مدیران پروژه بر دانش فنی، مهارت‌های عملی و ویژگی‌های شخصی، ظرفیت تصمیم‌گیری هوشمند و بهینه‌سازی منابع را در اجرای پروژه‌های پایدار تقویت می‌کند. چارچوب‌های توانمندی تکنولوژیک مسیر ارتقای کارایی، هماهنگی فرایندها و پیاده‌سازی موفق فناوری‌های نوین را فراهم کرده و بنیان تحقق مدیریت پروژه هوشمند و توسعه پایدار را شکل می‌دهند (Wei et al., 2024). یکپارچه‌سازی فناوری‌های نوین مدل‌سازی با مدیریت ساخت، مسیر حرکت پروژه‌ها را به سوی کارایی و شفافیت هوشمند هدایت می‌کند (Moshood et al., 2024). تلفیق مدل‌سازی اطلاعات ساختمان با واقعیت‌افزوده، داده‌های عظیم و سامانه‌های ابری، امکان مشاهده دقیق، تحلیل پیشرفته و تصمیم‌سازی لحظه‌ای را فراهم می‌آورد و بهره‌گیری از مدل‌های سه‌بعدی و محیط‌های هوشمند، ظرفیت سازمان‌دهی بهتر فضا، افزایش امنیت و بهبود کیفیت طراحی و ساخت را تقویت می‌کند (Dandekar et al., 2025). پیچیدگی روزافزون پروژه‌های مهندسی، ضرورت تحول دیجیتال و بهره‌گیری از فناوری‌های هوشمند را تقویت کرده است. ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره با تکنیک‌های هوشمند، چارچوبی کارآمد برای تحلیل، پیش‌بینی و مدیریت فرایندهای ساخت فراهم می‌کند و استفاده از داده‌های عظیم، بینایی رایانه‌ای، پردازش زبان طبیعی و یادگیری ماشین، ظرفیت ارتقای دقت، سرعت و پایداری پروژه‌ها را افزایش می‌دهد. این فناوری‌ها در مدیریت فضاهای زیرسطحی و برنامه‌ریزی پیچیده، مسیر توسعه ساخت‌وساز هوشمند و پایدار را هموار می‌سازند (Lin et al., 2025). تاب‌آوری شهری نیز زمانی تحقق می‌یابد که توسعه فیزیکی و رشد مورفولوژی با ساختارهای طبیعی، تاریخی و اجتماعی شهر هم‌سو باشد. نادیده گرفتن بافت تاریخی، طراحی خودرومحور و گسترش پراکنده، آسیب‌پذیری اجتماعی و کالبدی شهرها را افزایش می‌دهد. برنامه‌ریزی و مدیریت شهری مبتنی بر الگوهای پایدار بافت و توجه به کیفیت ساختمان‌ها، فضاهای عمومی و تراکم کاربری‌ها، زمینه کاهش آسیب‌پذیری و ارتقای تاب‌آوری جامعه را فراهم کرده و مسیر توسعه پایدار شهری را هموار می‌کند (دبده و همکاران، ۱۴۰۳).

با وجود پیشرفت‌های فناوری و بهره‌گیری از روش‌های هوشمند در مدیریت ساخت، همچنان فقدان یک چارچوب استراتژیک و یکپارچه برای هدایت پروژه‌های عمرانی با رویکرد توسعه پایدار و تاب‌آور محسوس است. از این رو، ضرورت ارائه یک الگوی استراتژیک هوشمند برای شناسایی عوامل کلیدی مؤثر و فراهم کردن امکان اتخاذ تصمیمات منعطف، هماهنگی میان ذی‌نفعان و ارتقای تاب‌آوری و پایداری پروژه‌ها در محیط‌های پیچیده و پرعدم قطعیت، امری مطلوب است.

روش

این پژوهش با بهره‌گیری از رویکرد تلفیقی (کیفی-کمی)، در پی ارائه الگوی استراتژیک هوشمند در مدیریت ساخت با رویکرد توسعه پایدار است. در مرحله کیفی، داده‌ها از طریق تحلیل اسناد و مطالعات مرتبط با مدیریت ساخت با محور فناوری‌های نوین، توسعه پایدار و همچنین انجام مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته با ۲۰ نفر از کارشناسان حوزه‌های عمران، معماری و شهرسازی جمع‌آوری شد. این مرحله به کاوش سه عنصر اصلی پژوهش به‌مثابه «الگوهای ساخت هوشمند»؛ «فناوری و پایداری»؛ و «پیامدهای تصمیم استراتژیک» می‌پردازد. هدف بررسی رابطه میان آن‌ها و تأثیر آن بر توسعه پایدار و کارآمدی پروژه‌های مدیریت ساخت است. در مرحله کمی، داده‌ها از طریق پرسش‌نامه‌ای مبتنی بر مقیاس لیکرت^۱ جمع‌آوری شد. این ابزار تحقیق در میان ۳۸۴ نفر از مدیران پروژه، کارشناسان عمران، معماری و شهرسازی و ذی‌نفعان مرتبط با پروژه‌های ساخت توزیع گردید. هدف تبیین نگرش مخاطبان نسبت به تأثیر الگوهای هوشمند مدیریت ساخت بر پایداری و کارآمدی پروژه‌ها بود. برای تعیین حجم نمونه، از فرمول کوکران^۲ و روش نمونه تصادفی ساده^۳ استفاده شد. این فرمول به‌منظور برآورد تعداد نمونه برای جوامع بزرگ و نامشخص بادر نظر گرفتن سطح اطمینان ۹۵ درصد و خطای ۵ درصد به کار گرفته شد.

جدول ۱: فرمول کوکران

فرمول کوکران

$$n_0 = (Z^2 * p * (1 - p)) / e^2$$

- n_0 = حجم نمونه مورد نیاز

- Z = مقدار Z مربوط به سطح اطمینان (برای مقدار ۹۵ درصد $Z=1/96$ می‌باشد)

- p = برآورد درصد ویژگی جامعه (در این پژوهش برای بیشترین حجم نمونه، از مقدار ۰/۵ استفاده شده است)

- e = میزان خطای مجاز

(در این تحقیق مقدار ۰/۰۵ برای خطای ۵ درصد در نظر گرفته شده است)

$$n_0 = ((1/96)^2 * 0/5 * (1 - 0/5)) / (0/05)^2 = (3/8416 * 0/25) / 0/0025 = 384/16$$

¹ Likert Scale

² Cochran Formula

³ Simple Random Sample (SRS)

در تحلیل کمی، داده‌های گردآوری شده با استفاده از نرم‌افزار SPSS و از طریق آزمون تی تک‌نمونه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. ابزار سنجش، پرسش‌نامه‌ای مبتنی بر مقیاس لیکرت بود که در دو پله اجرا شد. نخست؛ اطلاعات پایه شامل ویژگی‌های فردی پاسخ‌دهندگان، حوزه فعالیت آن‌ها در پروژه‌های ساخت، میزان آشنایی با فناوری‌های هوشمند و تجربه عملی آنان در پروژه‌های پایدار گردآوری گردید. دوم؛ پرسش‌نامه در قالب دوازده گویه طراحی شد که سه عنصر اصلی (الگوهای ساخت هوشمند-فناوری و پایداری-پیامدهای تصمیم استراتژیک)، پژوهش را پوشش می‌داد. از میان این گویه‌ها ۲ متغیر منتخب، مبنی بر هشت گویه با محور [فناوری هوشمند ساخت]؛ شامل: (زمان‌بندی بهینه، کنترل کیفیت، مدیریت منابع، هماهنگی حرفه‌ای، شفافیت اطلاعات، کاهش خطا، ارتقای نظارت، و عملکرد محیطی) - با پایایی (۰/۷۹)، تبیین شد. چهار گویه دیگر با محوریت [تصمیم‌گیری پایدار ساخت]؛ شامل: (ادراک پایداری، سازگاری محیطی، کارآمدی تصمیم، و تاب‌آوری پروژه) - با پایایی (۰/۸۳)، بررسی شد.

برای ارزیابی روایی محتوایی پرسش‌نامه، از روش پنل خبرگان^۱ بهره گرفته شد؛ بدین ترتیب که ابزار تحقیق توسط ۱۲ نفر از ۲۰ بررسی و تأیید شد. برای سنجش پایایی ابزار تحقیق، آزمون *آلفای کرونباخ*^۲ در قالب یک پیش‌آزمون اجرا شد. نتایج به دست آمده نشان داد که مقدار *آلفا* برای مباحث‌های مرتبط با [فناوری هوشمند ساخت] - بیانگر انسجام درونی مناسب و هماهنگی قابل قبول میان گویه‌های این محور است. و برای مباحث [تصمیم‌گیری پایدار ساخت] - نیز نشان‌دهنده پایایی مطلوب و قابل اتکای این بخش از ابزار سنجش می‌باشد. سپس داده‌های کیفی پژوهش به کمک روش کدگذاری سه‌مرحله‌ای (کدگذاری باز، محوری و انتخابی)، مورد واکاوی قرار گرفت. در کدگذاری باز، مفاهیم اولیه و کدهای مرتبط با سه عنصر اصلی پژوهش، یعنی {الگوهای ساخت هوشمند، فناوری و پایداری و پیامدهای تصمیم استراتژیک}، از مصاحبه‌ها استخراج و در قالب طبقات مفهومی تنظیم شد. در کدگذاری محوری، ارتباط میان این طبقات بررسی و شبکه‌ای از مقولات اصلی و فرعی که ساختار الگوی مفهومی تحقیق را شکل می‌دادند، تدوین گردید. سپس در کدگذاری انتخابی، نیز یافته‌ها در قالب الگوی منسجم سازمان یافت که رابطه میان به کارگیری فناوری‌های هوشمند، فرایندهای مدیریت ساخت و پیامدهای آن بر پایداری و تصمیم‌گیری استراتژیک را تبیین می‌کرد. در پایان، نتایج دو مرحله کیفی و کمی تلفیق شده و برای ارائه تحلیلی جامع از سازوکارهای اثرگذاری الگوی استراتژیک هوشمند بر مدیریت ساخت با رویکرد توسعه پایدار تفسیر شد.

¹ Expert Panel

² Cronbach's Alpha

یافته‌ها

برای اطمینان از مناسب بودن حجم نمونه و بررسی اینکه آزمون‌های آماری پژوهش از قدرت تشخیص کافی برخوردار هستند، در ابتدای مرحله تحلیل کمی، محاسبات توان آماری^۱ انجام شد. این برآورد با بهره‌گیری از نرم‌افزار G*Power و با تنظیم پارامترهایی شامل سطح اطمینان ۹۵ درصد، اندازه اثر متوسط (۰/۳) و تعداد ۳۸۴ پاسخ‌دهنده صورت گرفت. نتایج به دست آمده نشان داد که میزان توان آزمون در تمامی شاخص‌ها بالاتر از سطح قابل قبول ۰/۸۰ بوده و در برخی مؤلفه‌ها حتی به حدود ۰/۹۰ و بیشتر نیز رسیده است. این مقدار توان آماری نشان می‌دهد که نمونه گردآوری شده قابلیت نمایندگی مطلوب جامعه هدف را داشته و احتمال خطای نوع دوم (β)، در حد بسیار کم قرار دارد. به بیانی، آزمون‌های t تک نمونه‌ای به کاررفته از حساسیت مناسبی برای تشخیص وجود یا عدم وجود تفاوت معنادار برخوردارند برپایه (جدول ۱).

جدول ۲: خروجی تحلیل Power آزمون t تک نمونه‌ای براساس اندازه اثر و سطح اطمینان

نوع آزمون	اندازه اثر مفروض	حجم نمونه	سطح اطمینان	توان آماری (Power)
t تک نمونه‌ای	متوسط (۰/۳)	۳۸۴	۹۵ درصد	حدود (۰/۹۲)

برای تحلیل داده‌های حاصل از پرسش‌نامه، به منظور ارزیابی تأثیر دو متغیر منتخب پژوهش بر شکل‌گیری الگوی استراتژیک هوشمند در مدیریت ساخت با رویکرد توسعه پایدار، از آزمون t تک نمونه‌ای استفاده شد. نتایج حاصل از این تحلیل، براساس متغیرهای منتخب معیارسنجی انجام گرفت - الف) محور [فناوری هوشمند ساخت] - با هشت معیار شامل: ۱. زمان بندی بهینه، ۲. کنترل کیفیت، ۳. مدیریت منابع، ۴. هماهنگی حرفه‌ای، ۵. شفافیت اطلاعات، ۶. کاهش خطا، ۷. ارتقای نظارت و ۸. عملکرد محیطی برپایه (جدول ۲). و ب) محور [تصمیم‌گیری پایدار ساخت] - با چهار معیار شامل: ۱. ادراک پایداری، ۲. سازگاری محیطی، ۳. کارآمدی تصمیم و ۴. تاب‌آوری پروژه برپایه (جدول ۳). نشان‌دهنده وجود رابطه‌ای معنادار میان این دو متغیر با محورهای حاصله با سه عنصر بنیادی پژوهش (الگوهای ساخت هوشمند، فناوری و پایداری، و پیامدهای تصمیم استراتژیک)، است.

¹ Statistical Power

جدول ۳: نتایج آماری؛ فناوری هوشمند ساخت

حجم نمونه	عنصر						معیار سنجش	مقیاس
	پیامدهای تصمیم استراتژیک		فناوری و پایداری		الگوهای ساخت هوشمند			
	سطح معنی داری	آزمون تی	سطح معنی داری	آزمون تی	سطح معنی داری	آزمون تی		
۳۸۴	۰/۰۴۲	۰/۸۱۷	۰/۰۵۰	-۱/۰۱۲	۰/۰۰۰	۱/۳۳۱	زمان بندی بهینه	
	۰/۰۵۳	-۱/۵۴۰	۰/۰۵۴	-۱/۳۹۰	۰/۰۶۷	-۱/۲۱۰	کنترل کیفیت	
	۰/۰۵۷	-۳/۱۶۰	۰/۰۶۳	-۳/۲۶۱	۰/۰۵۹	-۱/۰۱۰	مدیریت منابع	
	۰/۰۸۱	-۰/۵۳۹	۰/۰۷۵	-۲/۲۸۰	۰/۰۰۰	۲/۲۸۰	هماهنگی حرفه‌ای	
	۰/۰۰۰	۰/۳۳۰	۰/۰۱۱	۰/۷۱۱	۰/۰۱۲	۸/۱۴۳	شفافیت اطلاعات	
	۰/۰۷۲	-۲/۸۲۴	۰/۰۷	-۳/۷۴۱	۰/۰۵۵	-۰/۱۳۸	کاهش خطا	
	۰/۰۴۸	۲/۱۰۰	۰/۰۰۰	۱/۶۰۰	۰/۰۶۰	-۰/۰۲۲	ارتقای نظارت	
	۰/۰۳۱	۴/۱۳۱	۰/۰۵۴	-۵/۵۱۰	۰/۰۷۸	-۱/۴۶۷	عملکرد محیطی	

فناوری هوشمند ساخت

باتمركزبر جدول فوق برای متغیر منتخب پژوهش با محور [فناوری هوشمند ساخت] - معیار «زمان بندی بهینه»، برای عنصر (الگوهای ساخت هوشمند)؛ برابر $t = 1/331$ با $p = 0/000$ است که نشان می دهد میانگین پاسخ ها به طور معناداری بالاتر از مقدار مورد آزمون بوده و زمان بندی بهینه نقشی قابل اتکاء در تقویت الگوهای ساخت هوشمند دارد (معنادار؛ جهت مثبت). در عنصر (فناوری و پایداری)؛ $t = -1/012$ با $p = 0/050$ است که دلالت بر اثر ضعیف یا مرزی دارد و نشان می دهد تأثیر زمان بندی بر پایداری از نظر آماری قاطع نیست (در آستانه معنی داری؛ جهت منفی). برای عنصر (پیامدهای تصمیم استراتژیک)؛ $t = 0/817$ با $t = 0/042$ است که بهبود زمان بندی را به بهبود کیفیت تصمیم گیری استراتژیک مرتبط می سازد (معنادار؛ جهت مثبت). در «کنترل کیفیت»، مقادیر برای (الگوهای ساخت هوشمند)؛ $t = -1/210$ با $p = 0/067$ (فناوری و پایداری)؛ $t = -1/390$ با $p = 0/054$ و (پیامدهای تصمیم استراتژیک)؛ $t = -1/540$ با $p = 0/053$ گزارش شده اند. طوری که در هیچ یک $p < 0/05$ نیست (همگی غیر معنادار و جهت منفی)، این نتوانسته است رابطه آماری معناداری با هر یک از سه عنصر نشان دهد. برای «مدیریت منابع»، نتایج نشان می دهد $t = -1/010$ با $p = 0/059$ در (الگوهای ساخت هوشمند)؛ (غیر معنادار)، $t = -3/261$ با $p = 0/063$ در (فناوری و پایداری)؛ (ت بزرگ اما p اندکی بالاتر از $0/05$ عملاً مرزی/غیر قطعی)، و $t = -3/160$ با $p = 0/057$ در (پیامدهای تصمیم استراتژیک)؛ (غیر قطعی). به طور کلی نشانه هایی از مقدار t منفی و قابل توجه وجود دارد اما سطوح p آماری، تأیید قاطع اثر را فراهم نمی کند؛ یعنی مدیریت منابع در این داده ها اثری قوی ولی از نظر نمونه p قطعی ندارد. در «هماهنگی حرفه ای»، برای (الگوهای ساخت هوشمند)؛ $t = 2/280$ با $p = 0/000$ است که دلالت بر نقش قوی هماهنگی بین حرفه ای در تقویت الگوهای ساخت دار د (معنادار و مثبت). اما برای (فناوری و پایداری)؛ $t = -2/280$ با $p = 0/075$ $p = 0/081$ (جهت منفی و غیر معنادار) و برای (پیامدهای تصمیم استراتژیک)؛ $t = -0/539$ با $p = 0/081$ (غیر معنادار)، بنابراین اثر هماهنگی محدود به بُعد الگوهاست و در سایر ابعاد تأیید آماری ندارد. «شفافیت اطلاعات»؛ در همه جا نمایانگر اثر مثبت و به طور کلی معنادار است: برای (الگوهای ساخت هوشمند)؛ $t = 8/143$ با $p = 0/012$ (معنادار، اثر بسیار قوی)، برای (فناوری و پایداری)؛ $t = 0/711$ با $p = 0/011$ (معنادار، هر چند t کوچک تر اما p کمتر از $0/05$) و برای (پیامدهای تصمیم استراتژیک)؛ $t = -0/330$ با $p = 0/000$ (معنادار). بدین ترتیب شفافیت اطلاعات یکی از معدود شاخص هایی است که در هر سه عنصر نقش معنادار دارد و تقویت آن به طور هم زمان بر الگوها، پایداری و تصمیم گیری تأثیر مثبت می گذارد. در «کاهش خطا»، مقادیر به ترتیب برای سه عنصر $t = -0/138$ با $p = 0/055$ ؛ $t = -3/741$ با $p = 0/070$ و $t = -2/824$ با $p = 0/072$ همه با جهت منفی و $p < 0/05$ که بیانگر عدم وجود اثر معنادار آماری کاهنده خطا در این داده ها است. برای «ارتقای نظارت»،

مشاهده می‌شود $t = -0/022$ با $p = 0/060$ در (الگوهای ساخت هوشمند)؛ (غیر معنادار)، $t = 1/600$ با $p = 0/000$ در (فناوری و پایداری)؛ (معنادار و مثبت) و $t = 2/100$ با $p = 0/048$ و $p =$ (پیامدهای تصمیم استراتژیک)؛ (معنادار و مثبت). این الگو نشان می‌دهد که ارتقای نظارت به‌ویژه در تقویت عنصر پایداری و نیز در بهبود کیفیت تصمیم‌گیری استراتژیک نقش معناداری ایفاء می‌کند، اگرچه اثر آن بر ساختار الگوها در این نمونه قوی نیست. و در نهایت «عملکرد محیطی»، برای (الگوهای ساخت هوشمند)؛ برابر $t = 1/467$ با $p = 0/078$ $p =$ (غیر معنادار)، برای (فناوری و پایداری)؛ $t = -5/510$ با $p = 0/054$ (ت بزرگ و منفی) اما p اندکی بالاتر از آستانه؛ غیر قطعی)، و برای (پیامدهای تصمیم استراتژیک)؛ $t = 4/131$ $t =$ $p = 0/031$ (معنادار و مثبت). عملکرد محیطی در پیش‌بینی پیامدهای تصمیم‌گیری استراتژیک تأثیر مثبت و معنادار نشان می‌دهد.

از میان هشت معیار بررسی شده در متغیر [فناوری هوشمند ساخت]، سه معیار «شفافیت اطلاعات»، ($0/011 / 0/012 / 0/000$ در سه عنصر)، «ارتقای نظارت»، ($p = 0/000$) و $p = 0/048$ برای دو عنصر) و «زمان‌بندی بهینه»، ($p = 0/000$ و $0/042$ در دو عنصر)، بیشترین تعداد حالات معنادار را نشان دادند و می‌توان آن‌ها را به‌عنوان مؤلفه‌های کلیدی که بیشترین اثر را بر عناصر الگو دارند نام برد؛ سایر معیارها یا فاقد معناداری بودند یا صرفاً در مرز آستانه ($p \approx 0/05$)، قرار داشتند.

جدول ۴: نتایج آماری؛ تصمیم‌گیری پایدار ساخت

نوع نمونه	عنصر						معیار سنجش	پایه آماری
	پیامدهای تصمیم استراتژیک		فناوری و پایداری		الگوهای ساخت هوشمند			
۳۸	سطح	آزمون تی	سطح	آزمون تی	سطح	آزمون تی	ادراک	تصمیم‌گیری پایدار ساخت
	معنی‌داری	تی	معنی‌داری	تی	معنی‌داری	تی	پایداری	
	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۱/۳۱۱	۰/۰۰۰	۴/۳۳۲	سازگاری	
							محیطی	
							کارآمدی	
							تصمیم	
							تاب‌آوری	
							پروژه	

نتایج جدول فوق حاکی از آن است که برای متغیر منتخب پژوهش با محور [تصمیم گیری پایدار ساخت] - معیار «ادراک پایداری»، سه عنصر به ترتیب $t = 4/432$ با $p = 0/000$ ؛ $t = 1/311$ با $p = 0/000$ و $t = 0/00$ با $p = 0/000$ ، همگی با سطح معناداری بسیار بالا ثبت شده‌اند؛ بنابراین این معیار در هر سه عنصر پژوهش نقشی تقویت کننده و قابل اتکاء دارد. در «سازگاری محیطی»، مقدار نخست $t = -3/730$ با $p = 0/053$ ، اندکی بالاتر از سطح معنی داری است و تأیید نمی‌شود؛ اما دو مقدار بعدی ($t = 3/270$ با $p = 0/000$ و $t = 1/366$ با $p = 0/000$)، نشان‌دهنده ارتباط مثبت و معنادار با دو عنصر «فناوری و پایداری» و «پیامدهای تصمیم» است. برای «کارآمدی تصمیم»، سه مقدار ثبت شده ($t = 2/396$ با $p = 0/000$ ؛ $t = 1/600$ با $p = 0/022$ و $t = 4/025$ با $p = 0/009$)، همگی در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادارند؛ بنابراین این شاخص بر تمامی ابعاد اثرگذار است. و در «تاب‌آوری پروژه»، نتایج به ترتیب ($t = 3/211$ با $p = 0/000$ ؛ $t = -4/412$ با $p = 0/084$ و $t = 2/160$ با $p = 0/001$)، نشان می‌دهد که اثر آن در دو عنصر (الگوهای ساخت هوشمند)؛ و (پیامدهای تصمیم استراتژیک)؛ تأیید می‌شود، اما در عنصر (فناوری و پایداری)؛ از آستانه معنی داری فراتر است و تأیید نمی‌گردد.

در بخش نخست فرایند گردآوری و تفسیر داده‌ها، مصاحبه‌های نیمه ساختاریافته با کارشناسان حوزه‌های مرتبط، مبنای استخراج الگوی مفهومی قرار گرفت. در این مرحله، بیش از صد کد اولیه از متون مصاحبه‌ها شناسایی شد. این کدها پس از پالایش و ادغام، در قالب دو متغیر منتخب پژوهش با محور [فناوری هوشمند ساخت]، [تصمیم‌گیری پایدار ساخت]، و معیارهای سنجه تحلیل و سازمان یافتند. طوری که خروجی این روند بر پایه (جدول ۴)، ارائه شده و بیانگر سامانه‌ای نظام‌مند از روابط میان فرایندهای مدیریت ساخت، محورهای مفهومی، و سه عنصر بنیادی پژوهش یعنی الگوهای ساخت هوشمند، فناوری و پایداری، و پیامدهای تصمیم استراتژیک است.

جدول ۵: کدگذاری و الگوی مصاحبه‌ها

معیارهای سنجش	متغیر	تحلیل		عناصر اصلی		
		فرایند	محور	فناوری و پایداری	پیامدهای تصمیم استراتژیک	
زمان‌بندی بهینه	فناوری هوشمند ساخت	برنامه‌ریزی عملیاتی	محیط	همه‌پوشی منابع	اثر تصمیم	
کنترل کیفیت		نظارت کیفیت	محیط	کنترل استاندارد	کاهش خلاف	تصمیم پایدار
مدیریت منابع		تخصیص منابع	محیط	مدیریت مواد	بهره‌وری منابع	تصمیم مؤثر
همه‌پوشی حرفه‌ای		همه‌پوشی تیم	محیط	هم‌افزایی فعالیت	ارتباط حرفه‌ای	تصمیم همه‌پوشی
شفافیت اطلاعات		بهبود پروسه	پیش‌ران	اصلاح عملکرد	بهبود سیستم	تصمیم استراتژیک
		ارزیابی داده‌ها	پیش‌ران	تحلیل فعالیت	پایش منابع	تأثیر تصمیم
		مدیریت داده‌ها	هسته	اطلاعات روشن	دسترسی داده	بهبود تصمیم
کاهش خطا		بهبودسازی جریان	پیش‌ران	همه‌پوشی اطلاعات	کاهش سهو	تصمیم استوار
		ارتقای شفافیت	پیش‌ران	شفاف‌سازی عملیات	هم‌سویی فناوری	تصمیم مثمر
		پایش مداوم	پیش‌ران	تحلیل داده‌ها	کنترل منابع	تصمیم هم‌ساز
		اطلاع‌رسانی سریع	پیش‌ران	دسترسی اطلاعات	ارتقای سیستم	تصمیم واکنشی
		بهبود عملکرد	پیش‌ران	اصلاح خطا	کاهش اشتباه	تصمیم محکم
ارتقای نظارت		مدیریت ریسک	پیش‌ران	پیشگیری خطا	کاهش خطای عملیاتی	بهبود تصمیم
		کنترل خطا	پیش‌ران	شناسایی خطا	پایش فرایند	تصمیم گیرا
		کنترل هوشمند	پیش‌ران	نظارت مستمر	پایش سیستم	توسعه تصمیم
	ارزیابی عملکرد	هسته	تحلیل نظارت	ارتقای کیفیت	تأثیر تصمیم	
		همه‌پوشی عملیات	پیش‌ران	هم‌افزایی تیم	پایش منابع	تصمیم مستقر

بازخورد مدیریت	پیش‌ران	اصلاح عملکرد	پایش داده	تصمیم استراتژیک
بهینه‌سازی محیط	پیش‌ران	کاهش مصرف	عملکرد محیط	تصمیم کارآمد
مدیریت انرژی	پیش‌ران	کاهش منابع	بهینه‌سازی محیط	صحت تصمیم
پایداری محیط	محیط	همبستگی محیط	کنترل اثرات	تصمیم سازمان‌یافته
زیست‌محیطی	پیش‌ران	بهینه‌سازی محیطی	پایداری زیستی	اثربخشی تصمیم
مدیریت منابع	پیش‌ران	تخصیص منابع	اخلاق حرفه‌ای	تصمیم‌سازی حرفه‌ای
سنجش پایداری	محیط	ارزیابی طرح	سازگاری محیط	تأثیر تصمیم
شاخص پایداری	محیط	تحلیل معیارها	بهینه‌سازی منابع	تصمیم متحد
ارزیابی اثر	محیط	تحلیل اثر	مدیریت محیط	تصمیم راهبردی
ارتقای پایداری	پیش‌ران	بهبود فرایند	هماهنگی محیط	تصمیم مقاوم
تطبیق محیط	محیط	تطبیق ساختار	هم‌سویی محیط	تصمیم موافق
هماهنگی محیطی	هسته	هماهنگی تیم	تطبیق فناوری	تصمیم هدفمند
یکپارچگی ساخت	هسته	هم‌افزایی عملیات	انطباق سیستم	تصمیم پایا
تصمیم ثمربخش	عامل انسانی	تحلیل گزینه	کارایی منابع	تصمیم نهایی استراتژیک
توانمندی پروژه	پیش‌ران	استحکام ساخت	انعطاف‌پذیری	نتیجه استراتژیک
ارتقای تاب‌آوری	پیش‌ران	تقویت ساختار	انعطاف پروژه	تصمیم باثبات
مدیریت بحران	دستاورد	مقاومت پروژه	پایداری سیستم	تصمیم کارساز

عملکرد محیطی

ادراک پایداری

سازگاری محیطی

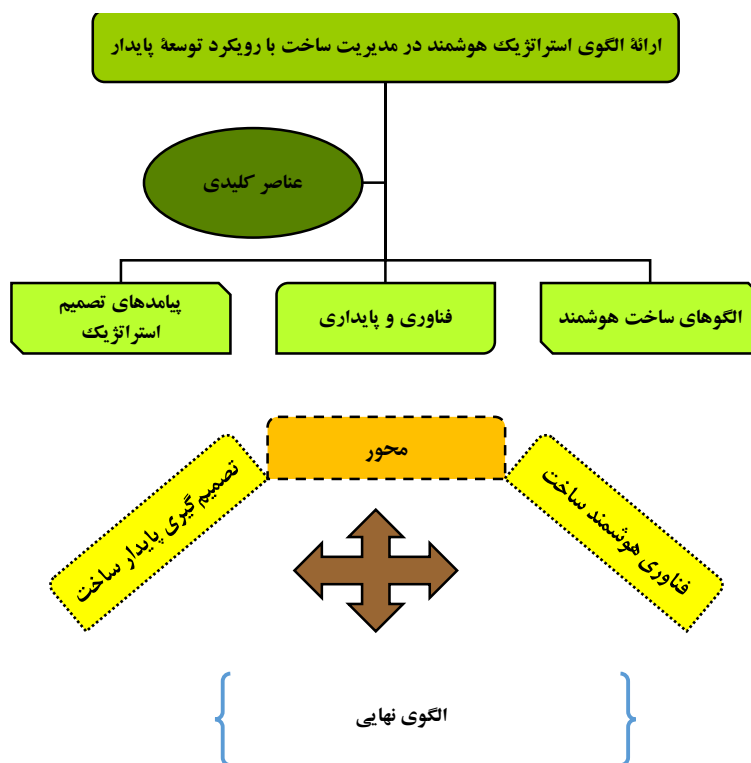
کارآمدی تصمیم

تاب‌آوری پروژه

تصمیم‌گیری پایداری ساخت

مطابق جدول فوق می‌توان اذعان داشت که رابطه دو متغیر منتخب پژوهش با محورهای [فناوری هوشمند ساخت] و [تصمیم‌گیری پایدار ساخت]، یک ساختار خطی یا تک‌مرحله‌ای نیست؛ بلکه شبکه‌ای چندبُعدی از محورهای محیطی، پیش‌ران‌ها، هسته‌ای، عوامل انسانی و دستاوردی را تشکیل می‌دهد. این ساختار، الگوی مفهومی پژوهش را پشتیبانی کرده و بیان می‌کند که پیاده‌سازی فناوری‌های هوشمند در مدیریت ساخت، تنها زمانی به پایداری و تصمیم‌گیری مؤثر منجر می‌شود که به صورت یکپارچه سازمان‌دهی شوند.

در نتیجه، ادغام کدهای کیفی و نتایج کمی پژوهش نیز این هم‌پوشانی را تأیید کرده و الگوی استراتژیک هوشمند در مدیریت ساخت با رویکرد توسعه پایدار براساس یافته‌های پژوهش شکل گرفت است برپایه (شکل ۱).



شکل ۱: فلوجارت پژوهش

بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های پژوهش نشان داد که تحقق مدیریت ساخت هوشمند با رویکرد توسعه پایدار، مستلزم تلفیق یکپارچه فناوری‌های نوین، تحلیل استراتژیک و سازوکارهای تصمیم‌گیری انعطاف‌پذیر است. نتایج مرحله کیفی آشکار ساخت که سه عنصر اصلی پژوهش «الگوهای

ساخت هوشمند»، «فناوری و پایداری» و «پیامدهای تصمیم استراتژیک» - تنها در صورتی کارکردی اثربخش خواهند داشت که به صورت شبکه‌ای و نه مجزاً به کار گرفته شوند. مصاحبه با کارشناسان بیانگر آن بود که اتکاء به فناوری بدون در نظر گرفتن ابعاد سازمانی، هماهنگی میان ذی‌نفعان و تحلیل پیامدهای تصمیم، ممکن است به پیچیدگی بیشتر و کاهش پایداری منجر شود. همچنین مشخص شد که ماهیت چندلایه و متغیر پروژه‌های ساختمانی، نیازمند ساختاری است که بتواند عدم قطعیت‌ها، ریسک‌های تجمعی و پیامدهای میان‌مدت و بلندمدت را به طور هم‌زمان تحلیل و مدیریت کند. در مرحله کمی، تحلیل آزمون t تک‌نمونه‌ای برای دو متغیر منتخب [فناوری هوشمند ساخت] و [تصمیم‌گیری پایدار ساخت]، شواهدی روشن از نقش معیارهای فناوری در تقویت الگوی ساخت هوشمند و پیامدهای تصمیم‌گیری ارائه داد. بالاتر بودن معنادار میانگین شاخص‌هایی همچون شفافیت اطلاعات، هماهنگی حرفه‌ای و زمان‌بندی بهینه، نشان داد که این معیارها هسته‌های اصلی شکل‌گیری ساختار هوشمند پروژه‌ها هستند و می‌توانند کارآمدی تصمیمات استراتژیک را به صورت مستقیم افزایش دهند. در مقابل، معیارهایی مانند کنترل کیفیت، مدیریت منابع و کاهش خطا در این مطالعه علی‌رغم اهمیت عملی، به دلایل آماری در سطح خطای انتخاب‌شده به آستانه معناداری نرسیدند؛ موضوعی که بیانگر نیاز به بازنگری سازمانی، ارتقای آموزش و بهبود یکپارچگی فرایندها پیش از حصول اثرگذاری کامل این شاخص‌هاست. نتایج مربوط به متغیر دوم، یعنی [تصمیم‌گیری پایدار ساخت]، اهمیت ادراک پایداری، سازگاری محیطی، تاب‌آوری پروژه و کارآمدی تصمیم را در شکل‌دهی الگوی استراتژیک آشکار کرد. این معیارها نه تنها نقش مستقیمی در کاهش ریسک و افزایش انعطاف‌پذیری داشتند، بلکه پیوند میان فناوری و پایداری را تقویت کرده و فرایند تصمیم‌سازی را از مرحله‌ای تکنیکی به سطحی آینده‌نگر و مبتنی بر تحلیل محیطی ارتقاء دادند. ترکیب این یافته‌ها با نتایج کیفی نشان می‌دهد که تصمیم‌گیری استراتژیک در مدیریت ساخت زمانی مؤثر خواهد بود که ضمن بهره‌گیری از داده‌های واقعی، پیامدهای بلندمدت سازمانی، محیطی و اجتماعی نیز در نظر گرفته شود. برآیند دو مرحله کیفی و کمی، الگوی نهایی پژوهش را تثبیت می‌کند: الگوی استراتژیک هوشمند در مدیریت ساخت، ساختاری شبکه‌ای است که از پنج محور اصلی - محیطی، پیش‌ران‌ها، محور هسته‌ای، عوامل انسانی و دستاوردی - تشکیل شده و در تعامل مستمر با یکدیگر عمل می‌کنند. این الگو نشان می‌دهد که فناوری هوشمند زمانی به پایداری منجر می‌شود که با هماهنگی سازمانی، تحلیل استراتژیک و سازوکارهای تصمیم‌گیری مبتنی بر پویایی‌های محیطی همراه باشد. از این رو، دستیابی به مدیریت ساخت پایدار صرفاً با افزودن فناوری امکان‌پذیر نیست؛ بلکه نیازمند تحول در ساختار مدیریت، تقویت حکمروایی پروژه، بهبود شفافیت اطلاعات و ارتقای تاب‌آوری در سطوح فردی و سازمانی است.

در نهایت، نتایج این پژوهش می‌تواند راهنمای مدیران پروژه و سیاست‌گذاران عمرانی باشد تا با اتکاء به تحلیل داده‌محور، ساختارهای هماهنگ و تصمیم‌گیری چندبعدی، مسیر حرکت پروژه‌ها را به سوی کارایی بیشتر، کاهش ریسک، افزایش کیفیت تصمیمات و تحقق توسعه پایدار هدایت کنند. الگوی ارائه‌شده قابلیت به کارگیری در پروژه‌های مختلف عمرانی و شهری را داشته و می‌تواند مبنایی برای تدوین سیاست‌های آینده در زمینه مدیریت ساخت هوشمند در محیط‌های پرتلاطم و پیچیده باشد.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافی برای اعلام ندارند.

سپاسگزاری

از همه افرادی که در فرایند انجام این تحقیق همراه و پشتیبان ما بودند سپاسگزاریم.

منابع

- کاظمیان، غلامرضا. اصلی‌پور، حسین و تقی‌پوراختری، آرش. (۱۴۰۰). از منظر حکمروایی؛ تبیین چالش‌های مدیریت ساخت و ساز شهری تهران در مسیر تحقق توسعه پایدار. راهبرد، ۳۰(۴)، ۶۸۹-۶۵۳.
- صالحی‌میشانی، حیدر. احدنژادروشتی، محسن و مشکینی، ابوالفضل. (۱۴۰۰). تبیین پایداری در مدیریت پروژه (موردپژوهی؛ پروژه‌های مسکن قابل استطاعت شهر اصفهان). برنامه‌ریزی توسعه شهری و منطقه‌ای، ۴(۱۱)، ۱۵۶-۱۲۷.
- عباسی، کیا. (۱۴۰۲). هوشمندسازی فرایندهای مدیریت پروژه در پروژه‌های عمرانی. اولین کنفرانس بین‌المللی تحقیقات پیشرفته در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی. مونیخ-آلمان، ۱-۱۲.
- دبده، محمد. قراچمنی اصل، یاشار و فرح‌نیا، امیرحسین. (۱۴۰۳). تبیین مورفولوژی شهری بر تاب‌آوری جامعه در مدیریت پایداری توسعه شهری (گستره واکاوی: بافت شهری تاریخی کرمان). آلودگی‌های محیطی و توسعه پایدار شهری، ۱(۳)، ۱۱۲-۸۹.
- Alghamdi, A. (2025). Sustainable Practices In Construction Management And Environmental Engineering: A Review. Sustainability, 17(22), 1-20.
- Al-Otaibi, A., Bowan, P. A., Alabdullatief, A., Albaiz, M., & Salah, M. (2025). Barriers To Sustainable Building Project Performance In Developing Countries: A Case Of Ghana And The Kingdom Of Saudi Arabia. Sustainability, 17(8), 1-25.
- Banihashemi, S. A., Khalilzadeh, M., Zavadskas, E. K., & Antucheviciene, J. (2021). Investigating The Environmental Impacts Of Construction Projects In Time-Cost Trade-Off Project Scheduling Problems With CoCoSo Multi-Criteria Decision-Making Method. Sustainability, 13(19), 1-17.

- Dandekar, S.N., Kadu, A., Birdar, V., & Jasutkar, D. (2025). Smart Construction Management Through Integration With New Modelling Techniques. *Science And Engineering*, 11(1), 63-69.
- Dobrucali, E., Demirkesen, S., Zhang, C., Damci, A., & Besiktepe, D. (2024). Critical Success Factors Of Sustainability Implementation In The Construction Industry. *Buildings*, 14(11), 1-24.
- Drucker, P. F. (1999). *Management Challenges For The 21st Century*. Routledge.
- Du Plessis, C. (2007). A Strategic Framework For Sustainable Construction In Developing Countries. *Construction Management And Economics*, 25(1), 67-76.
- Flyvbjerg, B., Bruzelius, N., & Rothengatter, W. (2014). *Megaprojects And Risk: An Anatomy Of Ambition*. Cambridge University Press.
- Hariram, N. P., Mekha, K. B., Suganthan, V., & Sudhakar, K. (2023). Sustainalism: An Integrated Socio-Economic-Environmental Model To Address Sustainable Development And Sustainability. *Sustainability*, 15(13), 1-37.
- Kiani Mavi, R., Gengatharen, D., Kiani Mavi, N., Hughes, R., Campbell, A., & Yates, R. (2021). Sustainability In Construction Projects: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 13(4), 1-24.
- Kumar, B.S.C. & Gupta, S. K. (2014). Sustainable Construction Management. *Applied Engineering Research*, 9(22), 15573-15584.
- Lin, S.S, Shen, S.L., Zhou, A., & Chen. X.S. (2025). Smart Techniques Promoting Sustainability In Construction Engineering And Management. *Engineering*, 45, 262-282.
- Mintzberg, H. (1994). *The Fall And Rise Of Strategic Planning*. Harvard Business Review.
- Moshood, T.D., Rotimi, J.O. & Shahzad, W. (2024). Enhancing Sustainability Considerations In Construction Industry Projects. *Environ Dev Sustain*, 1-27.
- Naji, A.J., & Elsheikh, A. (2023). A Review Of Sustainability Applications In The Construction Industry: Perspectives And Challenges. *Vestnik MGSU*, 18(5), 771-784.
- Omrany, H., Al-Obaidi, K. M., Husain, A., & Ghaffarianhoseini, A. (2023). Digital Twins In The Construction Industry: A Comprehensive Review Of Current Implementations, Enabling Technologies, And Future Directions. *Sustainability*, 15(14), 1-26.
- Pereira, F., González García, M. d. l. N., & Poças Martins, J. (2025). BIM For Safety: Applying Real-Time Monitoring Technologies To Prevent Falls From Height In Construction. *Applied Sciences*, 15(4), 1-19.
- Seo, H. J., & Yoon, Y.-G. (2025). Analyzing Research Trends In Smart Construction Safety: A Topic Modeling Approach. *Buildings*, 15(4), 1-25.

- Teece, D. J. (2007). Explicating Dynamic Capabilities: The Nature And Microfoundations Of (Sustainable) Enterprise Performance. *Strategic Management*, 28(13), 1319–1350.
- Wang, J., Ma, Y., Li, R., & Zhang, S. (2025). Applications Of Building Information Modeling (BIM) And BIM-Related Technologies For Sustainable Risk And Disaster Management In Buildings: A Meta-Analysis (2014–2024). *Buildings*, 15(13), 1-30.
- Wei, F., Hwang, B.G., Zhu, H., & Ngo, J. (2024). Project Management For Sustainable Development: Critical Determinants Of Technological Competency For Project Managers With Smart Technologies. *Sustainable Development*, 32(4), 3654-3677.