Journal of Structural and Construction Engineering, 13(03), 2026, pp. 156-183

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

# Evaluation of Smart Technology Adoption Strategies in the Urban Construction Industry by Presenting a New SWOT-MCDM Model under Uncertainty (Case Study: Qom Province)

**Reza Bakhshipour[1], Seyed Mohammad Mirhosseini[2*], Ehsanullah Zeighami[3], Mohammad Ehsanifar[4]**

*1- PhD Student, Department of Civil Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran*
*2- Associate Professor, Department of Civil Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran*
*3- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran*
*4- Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran*

## ABSTRACT

*Smart technologies, particularly within the framework of the Fourth Industrial Revolution, hold significant potential for optimizing processes and improving workplace environments in the urban construction industry. However, studies show that the adoption rate of these technologies remains low—even in developed countries—and no comprehensive strategic analysis has yet been conducted within the urban context of Iran. The primary objective of this study is to evaluate the adoption strategies of smart technologies in urban construction through the development of a novel SWOT–MCDM-based model under conditions of uncertainty. To achieve this, a multi-stage approach was employed. In the first stage, through expert interviews and SWOT analysis, the key strengths, weaknesses, opportunities, and threats influencing adoption were identified. Next, the fuzzy Delphi method was used to screen and validate the identified factors. In the third stage, the fuzzy FUCOM method was applied to determine the relative importance of the decision criteria. This method offers reliable and precise weights with a minimal inconsistency rate. Subsequently, the fuzzy COCOSO method was used to evaluate and prioritize strategic alternatives. Unlike conventional ranking methods that only identify the top priority, this approach allows for the clustering of strategies into preference groups, the identification of non-dominated (efficient) options, and a more flexible and nuanced decision analysis. In the final step, sensitivity analysis was conducted in two ways: first, by varying the weights of the criteria; and second, by altering the decision-making method to assess the robustness and validity of the results. To validate the proposed model, Qom Province was selected as the case study due to its strategic position and ongoing smart city development programs. The results of this study can serve as a practical guide for urban policymakers in designing a roadmap for adopting smart technologies and investing in modern infrastructure.*

**All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.**

## ARTICLE INFO

**Receive Date:** 14 July 2025
**Revise Date:** 16 September 2025
**Accept Date:** 11 November 2025

**Keywords:**
*Evaluation*
*Strategy*
*Smart Technology Adoption*
*Urban Construction Industry*
*SWOT Matrix*
*Multi Criteria Decision Making (MCDM)*

**doi:** 10.22065/jsce.2025.497045.3614

*Corresponding author: S.Mohammad Mirhosseini
Email address: mo. mirhosseini@iau.ac.ir

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)
www.jsce.ir
Journal of Structural and Construction Engineering
JSCE
نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت

# ارزیابی استراتژی‌های پذیرش فناوری هوشمند در صنعت ساخت شهری با ارائه یک مدل جدید SWOT- MCDM در شرایط عدم قطعیت (مطالعه موردی: استان قم)

رضا بخشی‌پور[۱]، سید محمد میرحسینی*[۲]، احسان‌اله ضیغمی[۳]، محمد احسانی‌فر[۴]

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران
۲- دانشیار، گروه مهندسی عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران
۳- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران
۴- دانشیار، گروه مهندسی صنایع، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

## چکیده

*فناوری هوشمند، به‌ویژه در چارچوب انقلاب صنعتی چهارم، ظرفیت بالایی برای بهینه‌سازی فرآیندها و بهبود محیط کار در صنعت ساخت شهری دارند. با این حال، بررسی‌ها نشان می‌دهد که میزان پذیرش این فناوری‌ها، حتی در کشورهای توسعه‌یافته، همچنان پایین بوده و در ایران نیز مطالعه جامعی در زمینه تحلیل استراتژیک پذیرش این فناوری‌ها در بستر شهری انجام نشده است. هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی استراتژی‌های پذیرش فناوری هوشمند در صنعت ساخت شهری با ارائه یک رویکرد مدل جدید SWOT- MCDM در شرایط عدم قطعیت است. در این راستا، از یک رویکرد چندمرحله‌ای بهره گرفته شده است. در گام نخست، با انجام مصاحبه‌های تخصصی با خبرگان و استفاده از تحلیل SWOT ، نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدهای مؤثر شناسایی شد. سپس، برای غربالگری عوامل شناسایی‌شده، روش دلفی فازی به کار گرفته شد. در مرحله سوم، به منظور تعیین اهمیت نسبی معیارهای تصمیم‌گیری، از روش فوکام فازی استفاده شد که با حداقل نرخ ناسازگاری، وزن‌های قابل اعتماد و دقیقی برای معیارها ارائه می‌دهد. در ادامه، برای ارزیابی و اولویت‌بندی استراتژی‌های پیشنهادی، از روش کوکوسو فازی استفاده گردید. مزیت این روش نسبت به سایر روش‌های اولویت‌بندی در آن است که علاوه بر تعیین گزینه برتر، امکان گروه‌بندی استراتژی‌ها در خوشه‌های ترجیحی، شناسایی گزینه‌های غیرمسلط (کارآمد) و تحلیل انعطاف‌پذیر تصمیم‌گیری را نیز فراهم می‌کند. در گام پایانی، تحلیل حساسیت به دو صورت انجام شد: نخست، بر مبنای تغییرات وزن معیارها؛ و دوم، بر اساس تغییر روش تحلیل به‌منظور سنجش پایداری نتایج و اعتبار آن‌ها . برای آزمون عملی مدل پیشنهادی، استان قم به عنوان مطالعه موردی انتخاب شد. موقعیت راهبردی این شهر و برنامه‌های فعال در حوزه هوشمندسازی، آن را به گزینه‌ای مناسب برای اعتبارسنجی یافته‌ها تبدیل کرده است. نتایج پژوهش می‌تواند به عنوان راهنمایی مؤثر برای سیاست‌گذاران شهری در تدوین نقشه راه پذیرش فناوری‌های هوشمند و سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های نوین مورد استفاده قرار گیرد.*

**کلمات کلیدی: ارزیابی، استراتژی، پذیرش فناوری هوشمند شهری، صنعت ساخت ، ماتریس SWOT، تصمیم گیری چند معیاره (MCDM)**

| سابقه مقاله: | | | | | شناسه دیجیتال: | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| دریافت | بازنگری | پذیرش | انتشار آنلاین | چاپ | doi: | 10.22065/jsce.2025.497045.3614 |
| ۱۴۰۴/۰۴/۲۵ | ۱۴۰۴/۰۶/۲۵ | ۱۴۰۴/۰۸/۲۰ | ۱۴۰۴/۰۸/۲۰ | ۱۴۰۵/۰۳/۳۱ | | 10.22065/jsce.2025.497045.3614 |

*نویسنده مسئول: سید محمد میرحسینی
پست الکترونیکی: mo.mirhosseini@iau.ac.ir

## ۱- مقدمه

مراکز شهری یا به‌طور خلاصه شهرها، اکوسیستم‌های پیچیده‌ای هستند که توسط انسان‌های دارای علایق و گرایشات متنوع برپا گشته و در بردارنده مجموعه‌ای تعاملات و ارتباطات بین فردی و بین گروهی میان این افراد در راستای دستیابی به محیطی مطلوب و پایدار برای رشد و دستیابی به کیفیت زندگی مناسب و استاندارد می‌باشد. امروزه توجه و تمرکز بر توسعه پروژه‌های شهرهای هوشمند و فناوری ها و سیستم‌های مرتبط با این پدیده در جهان و همچنین در ایران روند پرشتابی به خود گرفته و دولت‌ها در تلاشند تا زیرساخت‌های لازم در جهت ایجاد شهرهایی با مختصات و ویژگی‌های قابل وصف در قالب یک شهر هوشمند را فراهم آورند [۱]. از سویی یک شهر در صورتی می‌تواند شهر هوشمند در نظر گرفته شود که توسعه اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی آن متعادل و همراستا بوده و این توسعه از مسیر فرآیندهای دموکراتیک و حاکمیت مشارکتی دولت و شهروندان به دست آمده باشد. مفهوم شهر هوشمند، به عنوان ابزاری برای ارتقای کیفیت زندگی شهروندان، اهمیت فزاینده‌ای در دستور کار سیاست‌گذاران پیدا کرده است. مفهوم شهرهای هوشمند طی چند سال گذشته به عنوان الگویی برای پرداختن به موضوعاتی از جمله افزایش جمعیت جهانی، چالش‌های زیست محیطی و افزایش نقش فناوری سیستم اطلاعات در جامعه، بیش از پیش مورد توجه قرار داده است. امروزه، ۵۴ درصد از جمعیت جهان در مناطق شهری زندگی می‌کنند و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۳۰ این نسبت به ۶۰ درصد افزایش یابد. در ایران بیش از ۶۳/۵ میلیون یعنی حدود ۷۵ درصد جمعیت در شهرها زندگی می‌کنند که این موجب بحران عمده زیست محیطی و جمعیتی شده است [۲].

از سوی دیگر تحولات اقتصادی پس از انقلاب صنعتی موجب تغییرات شدیدی در اندازه شهرها و نسبت جمعیت ساکنان آنها شده است. در این حین شاهد رشد فزاینده‌ی شهرهای هوشمند با کمک فناوری‌ها بوده‌ایم. فناوری اطلاعات و ارتباطات به‌طور فزآینده‌ای به عنوان ابزاری برای ایجاد شهرهای هوشمند پایدار مورد توجه قرار گرفته است. از آنجاکه حدود ۹۰ درصد داده‌های دیجیتال در سراسر جهان طی دو سال گذشته ثبت شده است؛ بسیاری از شهرداری‌ها در سراسر جهان شروع به استفاده از کلان داده‌ها برای کمک به توسعه و پایداری شهرهای هوشمند کرده‌اند [۳]. آنها همچنین شناخت ویژگی‌های کلیدی شهر هوشمند، استانداردها، ارزش‌ها و مشخصات برنامه‌های نوآورانه شهر که به پایداری، چرخه طولانی خدمات، حاکمیت، بهبود کیفیت زندگی و استفاده هوشمندانه از منابع طبیعی و شهری می‌انجامد را مد نظر قرار داده‌اند.

امروزه توسعه فناوری اطلاعات در ایران توسط دولت و بخش خصوصی برای شناسایی، انتقال، جذب، بومی‌سازی و همراهی با دانش جهانی هوشمندسازی مورد توجه قرار گرفته است و اکنون در راه ایجاد تحول هوشمند، به عنوان فرآیندی برای به کارگیری فناوری‌ها و زیرساخت‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات برای پاسخگویی به چالش‌های شهری است [۴]. شهرهایی مانند تهران، مشهد، تبریز، اراک، قم، اصفهان، شیراز، جزیره کیش، ارومیه و دیگر شهرها وارد این روند شده‌اند. با بررسی‌های بعمل آمده مشخص گردید که شهرهای هوشمند در حال افزایش هستند، زیرا تحول دیجیتالی شهرها می‌تواند کیفیت زندگی و رفاه مردم را بهبود بخشد [۵]. شهرهای هوشمند با حمایت صنعت ساخت شهری فعال می‌شوند که زیربنای ایجاد، توسعه و استفاده مجدد از محیط می‌باشند. علیرغم اهمیت شهرهای هوشمند در اقتصاد هر کشور، صنعت ساخت شهری از طریق آلودگی هوایی و صوتی، تولید زباله و استفاده نامطلوب از انرژی در مرحله ساخت شهری، تأثیر قابل توجهی بر محیط زیست گذاشته است [۶]. هدف از مفهوم ساخت هوشمند استفاده از فناوری هوشمند برای کاهش مصرف انرژی، بهبود راحتی و رضایت کاربران می‌باشد. ساخت هوشمند به طورکلی به ساختی با یک پلتفرم خدمات یکپارچه برای مدیریت هوشمند تأسیسات انرژی، نظارت بر مصرف، اتخاذ سیستم‌های امنیتی و نظارت تصویری گفته می‌شود. بالتا اوزکان[1] و همکاران (۲۰۱۳)، ساخت هوشمند را به عنوان یک محل سکونت مجهز به شبکه ارتباطی، حسگرها، لوازم خانگی و دستگاه‌هایی توصیف می‌کنند که می‌توان از راه دور نظارت، دسترسی یا کنترل نمود و خدماتی را ارائه می‌دهند که به نیازهای ساکنان پاسخ می‌دهند. همچنین ساخت هوشمند را می‌توان اینگونه توضیح داد که به‌طور انعطاف‌پذیری با اکوسیستم متصل و در تعامل است و قادر به تولید، ذخیره و مصرف انرژی به‌طور کارآمدتری می‌باشد [۷]. شهر هوشمند باید همسو با مؤلفه‌های توسعه پایدار (جامعه، محیط زیست، اقتصاد) باشد [۸]. کارشناسان صنعت و دانشگاه روی این موضوع اتفاق

[1] Balta-Ozka

نظر دارند که شهرهای هوشمند راه حلی ایده‌آل برای مقابله با چالش‌های ناشی از شهرنشینی، رشد جمعیت، آلودگی محیط زیست و بهینه‌سازی مصرف انرژی ارائه می‌نمایند [۹]. هوشمندسازی شهر به بهبود استانداردهای زندگی شهری از نظر اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی کمک می‌کند. شهر هوشمند برای بهبود مزیت رقابتی شهرها، افزایش پایداری و قابلیت زندگی شهروندان در دنیای واقعی ایجاد و به عنوان وسیله‌ای مناسب برای مدیریت چالش‌های شهری و محیط زیست مورد استفاده قرار گرفته است [۱۰]. به دلیل آنکه شهرهای هوشمند از منابع خود به نحو احسن استفاده کنند نتایج آن منجر به استفاده و بهره‌برداری از دارایی‌های مشهود (زیرساخت‌های حمل و نقل، شبکه‌های توزیع انرژی، منابع طبیعی) و نامشهود (سرمایه انسانی، سرمایه فکری شرکت‌ها و سرمایه سازمان در ادارات دولتی) می‌گردد [۱۱ و ۱۲]. در این میان، فناوری‌های هوشمند نقش حیاتی در ارتقای عملکرد صنعت ساخت شهری ایفا می‌کنند، زیرا با ایجاد زیرساخت‌های دیجیتال و ابزارهای پیشرفته، امکان مدیریت یکپارچه پروژه‌ها، هماهنگی میان ذی‌نفعان، پایش لحظه‌ای مصرف انرژی، کاهش ضایعات، بهینه‌سازی فرآیندهای اجرایی و پیش‌بینی مشکلات احتمالی فراهم می‌کنند. این فناوری‌ها شامل سیستم‌های مدیریت هوشمند ساخت، حسگرها، شبکه‌های ارتباطی، نرم‌افزارهای تحلیلی و ابزارهای کنترل از راه دور هستند که باعث می‌شوند فرآیندهای ساخت با دقت و کارآمدی بیشتری انجام شود و منابع انسانی و مصالح به شکل بهینه مورد استفاده قرار گیرند. همچنین، پروژه‌های مجهز به فناوری‌های هوشمند می‌توانند با زیرساخت‌های شهری و سیستم‌های خدماتی شهر در تعامل باشند و از این طریق، بهره‌وری انرژی، ایمنی، کیفیت خدمات و رضایت کاربران افزایش یابد [۱۳]. از منظر پژوهشی، اهمیت و نقش فناوری‌های هوشمند تنها به مرحله اجرا محدود نمی‌شود، بلکه در کلیه مراحل چرخه حیات پروژه از طراحی، اجرا، بهره‌برداری تا نگهداری قابل مشاهده است. به‌کارگیری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان[1] (BIM) امکان تحلیل و شبیه‌سازی دقیق پیش از آغاز عملیات اجرایی را فراهم می‌سازد و از بروز تعارضات طراحی و خطاهای اجرایی می‌کاهد. همچنین، استفاده از هوش مصنوعی[2] و الگوریتم‌های یادگیری ماشین[3] قابلیت تحلیل کلان‌داده‌های پروژه را ایجاد کرده و زمینه پیش‌بینی پیشرفت، بهینه‌سازی زمان‌بندی و کاهش تأخیرات را فراهم می‌کند. افزون بر این، اینترنت اشیا[4] (IoT) با اتصال حسگرها و تجهیزات کارگاهی، امکان پایش لحظه‌ای ایمنی، ردیابی تجهیزات و مدیریت هوشمند ماشین‌آلات را مهیا می‌سازد. در مرحله بهره‌برداری نیز، ساخت هوشمند با استفاده از سیستم‌های خودکار مدیریت انرژی، روشنایی و تهویه، هزینه‌های عملیاتی را کاهش داده و سطح رضایت ذی‌نفعان و بهره‌برداران را ارتقا می‌دهند. بنابراین، ادغام فناوری‌های هوشمند در صنعت ساخت شهری نه‌تنها به ارتقای کیفیت پروژه‌ها و افزایش بهره‌وری منجر می‌شود، بلکه نقش بسزایی در کاهش اثرات زیست‌محیطی، تقویت پایداری، ارتقای تاب‌آوری شهری و تسهیل فرآیندهای مدیریت شهری ایفا می‌کند. این تحول فناورانه، پارادایمی نوین در مدیریت پروژه‌های ساخت ایجاد می‌کند. بنابراین، صنعت ساخت به‌عنوان ستون اصلی تحقق شهرهای هوشمند، با پذیرش و ادغام فناوری‌های هوشمند می‌تواند نه‌تنها مشکلات سنتی خود همچون بهره‌وری پایین و اتکای زیاد به نیروی‌کار را برطرف سازد، بلکه به یکی از پیشران‌های اصلی توسعه پایدار شهری نیز تبدیل گردد [۱۳ و ۱۴]. در همین راستا، با وجود تمامی این مزایا، واقعیت آن است که صنعت ساخت شهری در مقایسه با سایر صنایع، در پذیرش و به‌کارگیری فناوری‌های جدید از جمله فناوری‌های هوشمند عقب‌مانده است. بدین منظور با بررسی مطالعات انجام شده مشخص گردید که اگرچه صنعت ساخت شهری به عنوان عقب مانده در پذیرش فناوری هوشند شناخته شده است، اما مطالعات محدودی وجود دارد که دو نکته مهم زیر را در نظر گرفته باشند:

۱) ارائه برنامه‌های استراتژیک پیش‌روی ذینفعان و همکاران اتخاذ فناوری هوشمند در صنعت ساخت شهری؛

۲) به تدوین برنامه‌های استراتژیک پذیرش فناوری های هوشمند در صنعت ساخت شهری بپردازد که نتایج آن منجر آغاز تحول دیجیتال درصنعت ساخت گردد [۱۴].

در این راستا، با توجه به اهمیت مطالب ارائه شده، هدف محقق پر کردن شکاف دانشی است که قوت‌ها، ضعف‌ها، فرصت‌ها و تهدیدات را در زمینه پذیرش فناوری هوشمند در صنعت ساخت شهری شناسایی نموده و با توجه به این موارد استراتژی منعطفی جهت توسعه و تشخیص استراتژیک پذیرش فناوری هوشمند در صنعت ساخت شهری را ارائه نماید چرا که مدیریت استراتژیک هنر و علم

[1] Building Information Modeling (BIM)
[2] Artificial Intelligence (AI)
[3] Machine Learning Algorithms
[4] Internet of Things (IOT)

فرمول‌بندی، پیاده‌سازی و ارزیابی تصمیم‌های چندکارکردی است که سازمان را در راستای برآورده‌سازی اهداف خود توانمند می‌کند. بنابر این تعریف، مدیریت راهبردی بر یکپارچگی مدیریت پروژه، هزینه، زمان، کیفیت و توسعه تمرکز می‌کند. به اعتقاد بسیاری از پژوهشگران مهم‌ترین و اساسی‌ترین گام در فرآیند مدیریت استراتژیک فاز تدوین استراتژی‌ها است. این فاز، ابتدا چشم‌انداز پیاده‌سازی و پذیرش فناوری هوشمند در صنعت ساخت شهری تهیه شده، سپس محیط پیرامونی، تجزیه و تحلیل و فرصت‌های موجود و تهدیدهایی که در پیاده‌سازی و پذیرش فناوری هوشمند در صنعت ساخت شهری وجود دارد شناسایی می‌شوند. در ادامه پتانسیل‌های درونی و همچنین کاستی‌ها و ضعف‌های آن استخراج می‌شوند. سپس با توجه به تحلیل‌های مربوط به شرایط داخلی و خارجی با در نظر گرفتن ماموریت‌های پیاده‌سازی و پذیرش فناوری هوشمند در صنعت ساخت شهری، اهداف استخراج می‌شوند. بعد از این گام، با اتکا بر عوامل داخلی (قوت - ضعف) و عوامل محیطی (فرصت - تهدید) به استخراج استراتژی‌ها اقدام می‌شود. این استراتژی‌ها اغلب از درون ماتریسی به نام سوات[1] (فرصت، تهدید، قوت و ضعف) استخراج می‌شوند، سپس برای اولویت‌بندی استراتژی‌های شناسایی شده از ابزارهای متفاوتی استفاده می‌شود. در سال‌های اخیر، ابزارهای متفاوتی برای اولویت‌بندی استراتژی‌ها ارائه شده است اما ذکر این نکته الزامی است که اکثر پژوهش‌های صورت گرفته فقط بر حسب نتایج اولویت‌بندی به معرفی بهترین استراتژی‌ها پرداخته و بحث یافتن مطلوب‌ترین گزینه تصمیم گیرنده از مجموعه استراتژی موجود، گروه‌بندی استراتژی‌های جایگزین به مجموعه‌های مختلف ترجیحی و در نهایت یافتن گزینه‌های کارآمد یا غیر مسلط نپرداخته‌اند. بدین‌منظور، در پژوهش حاضر برای نخستین بار، برای ارزیابی استراتژی‌های پذیرش فناوری های هوشمند در صنعت ساخت شهری به صورت منعطف از مدلی نوین و خلاقانه استفاده می‌گردد که این امر با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) برای اولویت‌بندی استراتژی‌ها برای برنامه‌ریزی بودجه مناسب و تعیین نقشه راه توسعه پذیرش فناوری هوشمند در صنعت ساخت شهری انجام می‌شود.

## ۲- بررسی پیشینه ادبیات پیرامون پذیرش فناوری هوشمند در صنعت ساخت شهری

بررسی پیشینه ادبیات پیرامون پذیرش فناوری هوشمند در صنعت ساخت شهری نشان می‌دهد که اکثر پژوهش‌ها بر بررسی چالش‌ها و استراتژی‌های پیرامون آن به منظور پذیرش فناوری هوشمند در صنعت ساخت پرداخته‌اند. به عنوان مثال، گامبی و توینو مورینزی[2] (۲۰۲۵)، در پژوهشی تحت عنوان «چارچوب آمادگی SMME برای پذیرش تولید هوشمند با استفاده از رئالیسم انتقادی: مرحله دانش و ساخت» بیان داشتند که تولید هوشمند[3] (SM) به عنوان یک راه حل مناسب برای شرکت‌های کوچک، متوسط و خرد[4] (SMME) برای پایدار ماندن و رقابت جهانی پدیدار شده است. با این حال، بسیاری از SMMEها برای SM آماده نیستند و چارچوب‌های موجود برای پذیرش SM برای پشتیبانی از SMMEها نامناسب هستند، زیرا به پیش‌شرط‌های خاص زمینه نمی‌پردازند. هدف این مطالعه، توسعه تجربی یک چارچوب مفهومی مناسب برای پشتیبانی از آمادگی SMME برای پذیرش SM بود. یک چرخه تحقیق واقع‌گرایی انتقادی با استفاده از رویکرد توسعه نظریه نوظهور برای این مطالعه انتخاب شد. یک طرح تحقیق کیفی، با استفاده از مطالعات موردی متعدد، اتخاذ شد. این مطالعه نشان داد که یک چارچوب آمادگی SMME مناسب برای پذیرش SM باید شایستگی دانش[5] (SMKC)، مزیت نسبی SM (SMRA)[6] و سازگاری را به عنوان پیش‌شرط‌های پذیرش SM و همچنین یادگیری دیجیتال خودراهبر[7] (SDDL)، نوآوری مدل کسب و کار[8] (BMI)، جهت‌گیری کارآفرینی[9] (EO) و فرهنگ نوآوری[10] (CoI) را به عنوان عوامل مؤثر بر این پیش‌شرط‌ها در نظر بگیرد. علاوه بر این، این مطالعه نشان داد که CoI یک ساختار پایدار با قدرت‌های مولد در حوزه واقعی است؛ SDDL، BMI و EO مکانیسم‌های علّی غالب در حوزه واقعی هستند، زمانی که قدرت‌های مولد CoI فعال یا برانگیخته می‌شوند و SMKC، SMRA و SMC اقدامات (پیش‌شرط‌هایی) هستند که در حوزه تجربی، زمانی

[1] SWOT (Strength, Weakness, Opportunity and Threat)
[2] Gumbi & Twinomurinzi
[3] Smart manufacturing (SM)
[4] small, medium and micro enterprises (SMMEs)
[5] SM Knowledge Competence (SMKC
[6] SM Relative Advantage (SMRA)
[7] Self-Directed Digital Learning (SDDL)
[8] Business Model Innovation (BMI
[9] Entrepreneurial Orientation (EO)
[10] Culture of Innovation (CoI)

که مکانیسم‌های علّی فعال می‌شوند، برانگیخته می‌شوند. یافته‌ها همچنین تفاوت‌های اجتماعی و شناختی شدیدی را بین SMMEهای با فناوری پیشرفته و SMMEهای بدون فناوری پیشرفته برجسته کردند [۱۵]. شاه[1] و همکاران (۲۰۲۴)، در پژوهشی تحت عنوان «عوامل مؤثر بر پذیرش اینترنت اشیاء صنعتی برای شرکت‌های کوچک و متوسط تولیدی و صنعتی در کشورهای در حال توسعه» بیانن داشتند که شرکت‌های کوچک و متوسط به طور پیوسته در جهت پیاده‌سازی فناوری‌های دیجیتال و هوشمند، از جمله اینترنت اشیاء صنعتی[2] (IIoT) برای بهبود محصولات و خدمات خود حرکت می‌کنند. پذیرش IIoT به تولیدکنندگان و تولیدکنندگان این امکان را می‌دهد که تصمیمات سریعی برای بهبود بهره‌وری و کیفیت در زمان واقعی بگیرند. برای این منظور، دوران انقلاب صنعتی دیجیتال از IR 1.0 تا IR 5.0 به طور خلاصه توضیح داده شده است. در این مطالعه تحقیقاتی، نویسندگان بررسی‌ها، نظرسنجی‌ها و مطالعات تحقیقاتی فنی موجود در مورد فناوری‌های IIoT برای شرکت‌های تولیدی و صنعتی کوچک و متوسط را بررسی و تجزیه و تحلیل کرده‌اند تا نگرانی‌های مطرح شده را برجسته کنند. چهل و هفت عامل مؤثر شناسایی و بر اساس چارچوب TOEI به چهار گروه طبقه‌بندی شده‌اند. بر اساس عوامل مؤثر شناسایی شده، مدل پذیرش IIoT برای شرکت‌های تولیدی و صنعتی کوچک و متوسط ارائه شده است تا فناوری‌های جدید IIoT را در محیط‌های تجاری خود اتخاذ کنند. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای عوامل مؤثر بر پذیرش IIoT برای افزایش کارایی، بهره‌وری و رقابت‌پذیری برای شرکت‌های کوچک و متوسط تولیدی و صنعتی در کشورهای در حال توسعه انجام شده است. مدل پیشنهادی پذیرش IIoT به سیاست‌گذاران و ذینفعان آینده کمک می‌کند تا سیاست‌ها و استراتژی‌هایی را برای پذیرش و اجرای موفقیت‌آمیز IIoT در شرکت‌های کوچک و متوسط تولیدی و صنعتی در کشورهای در حال توسعه تدوین کنند. همچنین، توصیه‌هایی برای تشویق پذیرش IIoT در محیط‌های تولیدی و صنعتی پیشنهاد شده است تا تولیدکنندگان و تولیدکنندگان بتوانند به راحتی و به سرعت به تقاضاهای بسیار متغیر، روندهای محصول، شکاف‌های مهارتی و سایر چالش‌های غیرمنتظره در آینده پاسخ دهند [۱۶]. کیسی[3] و همکاران (۲۰۲۳)، در پژوهشی تحت عنوان «فناوری‌های نوظهور در صنعت ساخت: چالش‌ها و استراتژی‌ها در غنا» بیان داشتند که فناوری‌های نوآورانه تأثیر قابل توجهی در چندین بخش در سطح جهان گذاشته است. با این حال، صنعت ساخت بدون شک در مورد استفاده از فناوری عقب مانده است. بنابراین، این مطالعه با هدف بررسی چالش‌ها و استراتژی‌های ذینفعان در استفاده از بکارگیری فناوری نوظهور در صنعت ساخت انجام شده است. همچنین مطالعه حاضر، از یک فلسفه تحقیق عمل‌گرایی همراه با یک استراتژی تحقیقاتی کمی در تعیین فناوری‌های نوظهور در صنعت ساخت استفاده کرد و در عین حال به چالش‌ها و استراتژی‌های ذینفعان توجه داشت. داده‌ها از مجموع ۸۰ ذینفع ساخت از طریق یک بررسی پرسشنامه ساختاریافته به دست آمد. تجزیه و تحلیل با استفاده از آمار توصیفی و با استفاده از رتبه‌بندی میانگین نمره و آزمون تی تک نمونه‌ای[4] انجام شد. نتایج مطالعه حاضر، چالش‌های ذینفعان را در مورد فناوری‌های نوظهور در زمینه صنعت ساخت محاسبه کرد و استراتژی‌هایی را برای تقویت پذیرش این فناوری‌های نوظهور در یک کشور در حال توسعه توصیه کرد [۱۷]. از طرفی دیگر، اجیدیکه و مومو[5] (۲۰۲۳)، در پژوهشی تحت عنوان «مزایای بکارگیری فناوری‌های هوشمند در صنعت ساخت کشورهای در حال توسعه» بیان داشتند که فناوری هوشمند به دلیل دیجیتالی شدن و مزایای قابل توجهی که در صنعت ساخت دارد، با استقبال گسترده‌ای روبه‌رو شده است. در سال‌های اخیر، ساخت هوشمند به یک روند جدید در توسعه شهری تبدیل شده است. بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که علاقه بکارگیری از این فناوری در صنعت ساخت روبه رشد است. با این حال، در کشورهای در حال توسعه، متخصصان ساخت کمتر به پذیرش و به‌کارگیری این فناوری توجه کرده‌اند. بنابراین، هدف این مقاله شناسایی مزایای ناشی از پذیرش فناوری هوشمند در صنعت ساخت است. بر همین اساس، یک بررسی سیستماتیک مقالات منتشر شده در مجلات و کنفرانس‌های معتبر انجام شده است. در مجموع ۵۵ مقاله شامل کنفرانس‌ها و مقالات مجلات بازیابی شده از پایگاه داده اسکوپوس[6] برای مطالعه استفاده شد. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که فناوری ساخت هوشمند می‌تواند مزایایی مانند مصرف بهینه انرژی، کاهش هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری، ایجاد فرصت‌های شغلی، بهبود خدمات سلامت، پایش لحظه‌ای، افزایش ایمنی و امنیت، و موارد دیگر را به همراه داشته باشد. برای اینکه این فناوری در کشورهای در حال توسعه جای خود را پیدا کند، آگاهی کامل از مزایای آن

[1] Shah
[2] Industrial Internet of Things (IIoT)
[3] Kissi
[4] One Sample t-Tset
[5] Ejidike & Mewomo
[6] Scopus

ضروری است. این آگاهی نه تنها باعث ارتقای دانش متخصصان ساخت می‌شود، بلکه شانس موفقیت در اجرا و پیاده‌سازی فناوری هوشمند را افزایش می‌دهد. بنابراین، این مطالعه تلاش می‌کند تا تصویری روشن از مزایای ساخت هوشمند در کشورهای در حال توسعه ارائه دهد و در عین حال، پیشنهاد می‌کند که همکاری نزدیک‌تری بین پژوهشگران و فعالان صنعت ساخت شکل گیرد [۱۸]. هوانگ[1] و همکاران (۲۰۲۲)، در پژوهشی تحت عنوان «چالش‌ها و استراتژی‌های پذیرش فناوری‌های هوشمند در صنعت ساخت» اظهار داشتند که اگرچه فناوری‌های هوشمند مرتبط با انقلاب صنعتی چهارم پتانسیل بهبود عملکرد صنایع را با بهینه‌سازی فرآیندهای کاری و بهبود محیط کار دارند، پذیرش این فناوری‌ها در صنعت ساخت هنوز در مراحل اولیه خود است. از این رو، این مطالعه با هدف (۱) بررسی چالش‌ها در پذیرش فناوری‌های هوشمند، (۲) پیشنهاد استراتژی‌های مؤثر برای ترویج پذیرش فناوری‌های هوشمند، و (۳) بررسی اینکه آیا تفاوت‌های قابل توجهی در درک چالش‌ها و استراتژی‌ها توسط سازمان‌ها وجود دارد یا خیر؟ برای دستیابی به اهداف، ابتدا یک بررسی جامع ادبیات و مصاحبه‌های آزمایشی با کارشناسان صنعت ساخت انجام شد و سپس یک نظرسنجی و مصاحبه‌های پس از نظرسنجی انجام شد. یافته‌ها نشان داد که عمده‌ترین چالش‌های پیش رو، به اشتراک‌گذاری داده‌ها و اطلاعات، انطباق با مقررات و مالکیت داده‌ها است، در حالی‌که مؤثرترین استراتژی‌ها آموزش نیروی کار ماهر، ارائه مشوق‌های دولتی و ارتباطات و مدیریت تغییر است. علاوه بر این، بحرانی بودن چالش‌های نظارتی بین سازمان‌هایی با اندازه‌های مختلف به طور متفاوتی درک شد [۱۹]. دیکسون و یوموکارفور[2] (۲۰۲۱)، در پژوهشی تحت عنوان «عوامل تعیین کننده پذیرش فناوری هوشمند در مرحله ساخت پروژه‌ها» تأکید کردند که روند کند پذیرش این فناوری‌ها در صنعت ساخت، چالشی جدی در مسیر تحقق انقلاب صنعتی نوین به شمار می‌آید. در بریتانیا، درک جامع و روشنی از عوامل مؤثر بر نوآوری در مرحله ساخت پروژه‌ها در چارچوب چرخه عمر پروژه وجود ندارد و این موضوع به‌عنوان یکی از خلأهای مهم پژوهشی مطرح است. در پاسخ به این خلأ، مطالعه‌ی حاضر با رویکرد مطالعه محدوده‌ای[3] طراحی شده و هدف آن، شناسایی و ارزیابی عوامل تأثیرگذار بر نوآوری در مرحله ساخت پروژه‌ها بوده است. روش تحقیق شامل مصاحبه‌های اکتشافی غیرساختاریافته و در ادامه، پرسش‌نامه‌ای ساختاریافته با مشارکت متخصصان صنعت ساخت در بریتانیا بوده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که تقاضای کارفرما نقش محوری در تعیین سطح نوآوری و میزان استفاده از فناوری در پروژه‌ها دارد. با این حال، ساختار صنعت ساخت بریتانیا به‌گونه‌ای است که بیش از ۹۹ درصد از آن را شرکت‌های کوچک و متوسط[4] (SMEs) تشکیل می‌دهند؛ شرکت‌هایی که اغلب در مقیاسی محدود برای کارفرمایانی فعالیت می‌کنند که نه بودجه کافی و نه انگیزه لازم برای ترویج نوآوری در پروژه‌ها دارند. در نتیجه، این بنگاه‌ها با فناوری‌های پیشرفته هوشمند کمتر مواجه می‌شوند و از مهارت‌های لازم برای تأثیرگذاری مؤثر بر تصمیمات نوآورانه کارفرمایان نیز برخوردار نیستند. در مقابل، شرکت‌های بزرگ ساخت— به‌ویژه آن‌هایی که در مناقصات دولتی حضور دارند— پیشرفت‌های قابل توجهی در حوزه تحقیق، توسعه و پیاده‌سازی فناوری‌های نوین ساخت داشته‌اند. با وجود محدودیت در حجم نمونه، که به‌طور طبیعی امکان تعمیم نتایج به کل جامعه آماری را کاهش می‌دهد، یافته‌های این مطالعه حاکی از آن است که نابرابری ساختاری یکی از موانع اصلی نوآوری در مرحله ساخت پروژه‌ها محسوب می‌شود و این مسئله به تشدید شکاف مهارتی در صنعت ساخت نیز انجامیده است. بر این اساس، پیشنهاد شده است دولت بریتانیا با همکاری شرکت‌های بزرگ فعال در صنعت و از طریق نهادهایی نظیر هیئت آموزش صنعت ساخت[5] (CITB) با طراحی و اجرای مشوق‌های مالی و برنامه‌های آموزشی هدفمند، نسبت به توانمندسازی و ارتقای مهارت نیروی کار، به‌ویژه در شرکت‌های کوچک و متوسط اقدام نماید [۲۰]. انجی[6] و همکاران (۲۰۲۱)، در پژوهشی تحت عنوان «تأثیر فناوری هوشمند بر پروژه‌های ساخت: بهبود در عملکرد پروژه» بیان داشتند که عدم آگاهی از مزایای استفاده از فناوری هوشمند منجر به پذیرش کم آن در صنعت ساخت شده است. از این رو، هدف مطالعه حاضر بررسی همبستگی بین فناوری هوشمند و بهبود عملکرد پروژه می‌باشد. بدین منظور، ابتدا با مرور ادبیات، انجام مصاحبه‌ها و نظرسنجی مشخص شد که فناوری‌های هوشمندی که باعث پیشرفت می‌شوند شامل وسایل نقلیه خودران، رباتیک، تولید افزودنی مواد و سامانه‌های مجازی-فیزیکی[7] هستند. سیستم‌ها و اینترنت اشیا، با پروژه‌هایی که بیشترین سود را از نظر بهره‌وری، کیفیت

[1] Hwang
[2] Dixon & Umeokafor
[3] Scoping Study
[4] small and medium sized enterprises (SMEs)
[5] Construction Industry Training Board (CITB)
[6] Ngo
[7] Cyber-Physical Systems

و همکاری دارند. چندین همبستگی نیز در بین رتبه‌بندی مزایای درک شده و فناوری‌ها یافت شد. این یافته‌ها به درک بهتر فناوری‌های هوشمند در پروژه‌ها و بهبود عملکرد پروژه‌ها اجازه می‌دهد و پایه‌ای را برای تسهیل تحول دیجیتال صنعت ساخت ایجاد می‌کند [۲۱]. گانسا[1] و همکاران (۲۰۲۰)، در پژوهشی تحت عنوان «موانع پذیرش فناوری هوشمند در فرآیندهای مدیریت پروژه‌های ساخت» بیان داشتند که بیشترین موانع گزارش شده در این زمینه شامل فرآیندهای طولانی مدت تأیید برای فناوری نوین هوشمندسازی ساخت، ساختار و سازماندهی صنعت ساخت، هزینه‌های بالای روش‌ها و منابع ساخت هوشمند، عدم آشنایی با فناوری ساخت هوشمند و دشواری‌های فنی در طول فرآیند ساخت می‌باشند [۲۲].

بررسی پژوهش‌ها نشان می‌دهد که اکثر پژوهش‌های انجام شده بر روی بحث چالش‌ها و استراتژی‌های پذیرش فناوری هوشمند در صنعت ساخت شهری تاکیده داشته‌اند و یک بررسی جامع و دقیق وضعیت فعلی، برنامه‌های استراتژیک مناسب به منظور رشد و پیشرفت پروژه‌های ساخت شهری ارائه ننموده‌اند. بدین منظور، با توجه به شکاف مطالعاتی پی‌برده شده و اهمیت آن، در پژوهش حاضر از تحلیل SWOT به منظور تجزیه و تحلیل استراتژی پذیرش فناوری هوشمند در صنعت ساخت شهری استفاده شده است. تحلیل SWOT یکی از قدرتمندترین ابزارها برای سازمان‌های امروزی است. این ماتریس به تحلیل‌گران کمک می‌کند که فرصت‌ها را کشف و با شناخت تهدیدها آن‌ها را مدیریت و با تمرکز بر نقاط قوت و کاهش نقاط ضعف در مناسب‌ترین جایگاه قرار دهند. با این‌که در قدرتمند و سودمند بودن ابزار سوات شکی نیست ولی با بررسی‌های انجام شده طی چند دهه اخیر مشخص گردیده است که مانند هر تکنیکی محدودیت‌هایی نیز دارد که در ادامه، به مزیت‌ها و معایب آن به ترتیب اشاره می‌شود. از جمله مزیت‌های روش سوات می‌توان به اتخاذ استراتژی متناسب با اهداف واقع‌بینانه، بهره‌وری موثر از منابع سازمان با شناخت ضعف‌ها و قوت‌ها، شناخت وضعیت موجود و ترسیم چشم‌انداز آینده، استفاده مطلوب از فرصت‌های احتمالی، اندیشیدن تدابیر و راهکارهای لازم در مقابل تهدیدات پیش رو با استفاده از توانمندی‌های مثبت سازمان و استفاده از فرصت‌ها برای غلبه بر ضعف‌ها اشاره نمود. همچنین، از جمله محدودیت‌های آن می‌توان به ارزیابی‌های ذهنی و گاها ارائه استراتژی‌های متناقض اشاره نمود و بدین منظور، در ادامه پژوهش بعد از تحلیل SWOT به برطرف نمودن محدودیت‌های پژوهش با ترکیب SWOT با روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در شرایط عدم قطعیت پرداخته شد. ترکیب ماتریس SWOT و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره یک رویکرد کارآمد برای بهبود فرآیندهای تصمیم‌گیری در شرکت‌ها و صنایع مختلف است. این ترکیب نه تنها امکان تحلیل جامع‌تر شرایط را فراهم می‌کند، بلکه به مدیران کمک می‌کند تا با استفاده از داده‌ها در شرایط عدم قطعیت و مشارکت بیشتر ذینفعان، گزینه‌های بهتری را انتخاب کنند. به طور کلی، با تلفیق روش‌های MCDM و SWOT ذینفعان یا تصمیم‌گیرندگان می‌توانند با اولویت دادن به این استراتژی‌ها که تأثیر بسزایی در توسعه فناوری هوشمند در صنعت ساخت دارند، تصمیمات صحیحی اتخاذ کنند.

## ۳- روش‌شناسی پژوهش

روش پژوهش کوششی نظام‌مند جهت دستیابی به هدف پژوهش است که دارای گام‌های مشخصی می‌باشد. اولین گام در تدوین روش تحقیق تعیین نوع آن است. نوع تحقیق براساس هدف، شیوه گردآوری داده‌ها و ماهیت آن تعیین می‌شود. دومین گام در تدوین روش تحقیق، بیان شیوه تجزیه و تحلیل داده‌ها است. روش تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد پژوهشگر با استفاده از چه روش‌هایی داده‌های گردآوری شده را تحلیل خواهد کرد. همانطور که قبلا گفته شد، هدف مطالعه حاضر، ارزیابی استراتژی‌های پذیرش فناوری هوشمند در صنعت ساخت شهری با ارائه یک مدل جدید SWOT- MCDM در شرایط عدم قطعیت می‌باشد. در راستای تحقق هدف اصلی، پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی، شیوه گردآوری داده‌ها توصیفی- پیمایشی و ماهیت داده‌ها یک تحقیق آمیخته (کیفی- کمی) است. در روند تهیه و تولید داده‌ها ابتدا در بخش کیفی، نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدید از طریق مصاحبه‌های عمیق با خبرگان شناسایی گردیدند و سپس از روش دلفی فازی برای جمع‌آوری و پالایش نظرات خبرگان به کار گرفته شد تا اطمینان حاصل شود عوامل و معیارهای استراتژیک با کمترین سوگیری و بالاترین دقت شناسایی، مورد غربالگری و تأیید قرار گرفته‌اند. این روش به ویژه در شرایط عدم قطعیت، امکان تلفیق دیدگاه‌های مختلف فراهم می‌آورد و پارامترهای به کار رفته در آن بر اساس مصاحبه‌های عمیق با خبرگان و هم‌راستا با اهداف پژوهش می‌باشد. در ادامه

[1] Ghansah

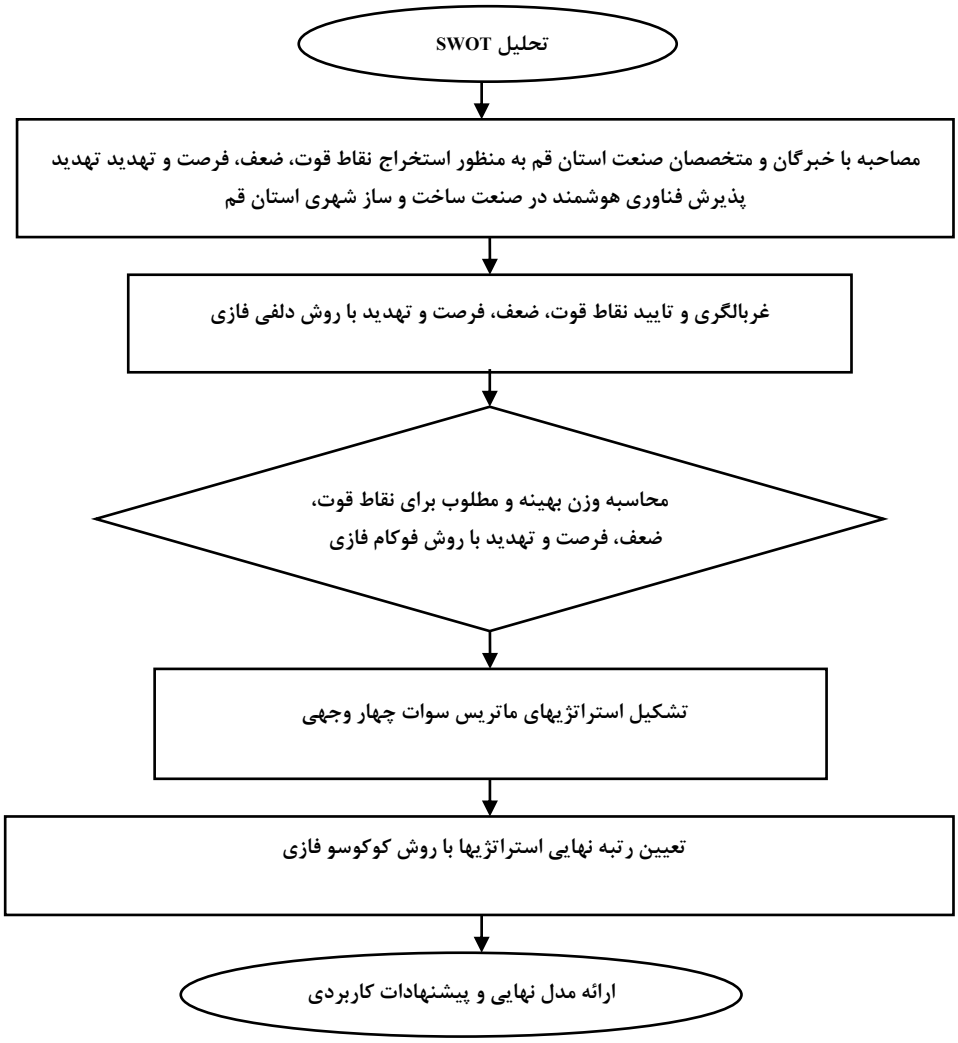
با استفاده از عوامل شناسایی شده (نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدید) ماتریس سوات و راهبردهای جایگزین تشکیل می‌گردد. بر این اساس، پذیرش فناوری هوشمند صنعت ساخت شهری استان قم دارای چهار استراتژی شدکه عبارتند از: راهبردهای قوت - فرصت (SO) که استفاده مناسب از فرصت‌ها با بهره‌برداری از نقاط قوت صنعت است. راهبردهای ضعف – فرصت (WO) که به دنبال بهره برداری مناسب از فرصت های محیطی با توجه به ضعفهای صنعت است. راهبردهای قوت - تهدید (ST) که در ارتباط با کاهش یا حذف اثرات تهدیدهای محیطی از طریق استفاده مطلوب از نقاط قوت صنعت است و در نهایت، راهبردهای ضعف- تهدید (WT) که با در نظر گرفتن نقاط ضعف صنعت اثرات تهدیدهای محیطی را کاهش می‌دهد. سپس، بعد از تشکیل ماتریس SWOT عوامل شناسایی شده در قسمت کیفی از جمله نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدید توسط روش فوکام فازی مورد ارزیابی قرار گرفتند و وزن هریک از عوامل و زیر معیارهای آن مشخص گردیدند. بدین منظور، یک پرسش نامه محقق ساخته مقایسات زوجی در قالب چهار بعد نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدید به همراه زیر معیارهای شناسایی شده هر بعد (نتایج غربالگری عوامل در دلفی فازی) طراحی گردید و در اختیار خبرگان پژوهش در مرحله کمی قرار گرفت و از آنها درخواست شد نظرشان را دربارهٔ هر معیار در قالب متغیرهای کلامی مندرج در پرسشنامه بیان کنند. در این پژوهش تعداد عوامل کمی زیاد می‌باشد روش فوکام[1] فازی با کاهش تعداد مقایسات زوجی باعث دقت بیشتر نتایج و دقت بیشتر در پر کردن مقایسات زوجی توسط خبره می‌شود. در نهایت بعد از تحلیل نتایج روش فوکام فازی، روش کوکوسو[2] فازی برای اولویت‌بندی استراتژی‌ها با توجه به معیارهای وزنی استخراج شده به کار گرفته شده است. این روش به دلیل ترکیب چند شاخص تصمیم‌گیری چندمعیاره و توانایی مقابله با عدم قطعیت، توانمندی بالایی در ارائه رتبه‌بندی قابل اعتماد به همراه دقت بالا از گزینه‌های استراتژیک دارد. همچنین جهت پایداری رتبه گزینه‌ها تحلیل حساسیت بر اساس تغییرات وزن معیارها و همچنین تحلیل حساسیت بر اساس تغییر روش تجزیه و تحلیل انجام شده است. برای اعتباربخشی به این روش، در ادامه به تبیین منطق و پارامترهای کلیدی هر یک پرداخته می‌شود [۲۳ و ۲۴]:

۱) روش FUCOM فازی و پارامترهای مربوطه: روش FUCOM به‌عنوان یک روش نوین وزن‌دهی، با هدف کاهش تعداد مقایسات و دستیابی به سازگاری کامل در ارجحیت معیارها طراحی شده است. در این روش، ابتدا معیارها بر اساس اولویت نسبی توسط خبرگان رتبه‌بندی می‌شوند. سپس، نسبت ارجحیت زوجی[3] (CPR) بین معیارهای متوالی محاسبه می‌گردد که این نسبت‌ها پارامترهای اصلی مدل محسوب می‌شوند. در گام بعد، با حل یک مدل برنامه‌ریزی خطی، وزن‌های نهایی به‌گونه‌ای به‌دست می‌آیند که مقدار انحراف از سازگاری کامل[4] (DFC) به حداقل برسد. در این مطالعه، مقدار DFC به دست آمده که نشان‌دهنده انسجام قابل قبول در قضاوت‌های کارشناسی و پایایی بالای وزن‌ها است.

۲) روش CoCoSo فازی و پارامترهای به‌کاررفته: روش CoCoSo یک روش ترکیبی در تصمیم‌گیری چندمعیاره است که از سه مدل رایج SAW ، WPM و WASPAS بهره می‌برد. مهم‌ترین پارامترهای این روش عبارت‌اند از: ۱) روش نرمال‌سازی: در این پژوهش از نرمال‌سازی خطی فازی برای یکسان‌سازی مقیاس معیارها استفاده شده است، که یکی از رایج‌ترین روش‌ها در MCDM فازی به شمار می‌رود. ۲) تابع امتیازدهی: برای محاسبه امتیاز نهایی گزینه‌ها، از تابع امتیاز خطی مثلثی استفاده شد که در آن هر عدد فازی به یک مقدار قطعی تبدیل می‌شود. ۳) ضرایب وزنی ترکیب نتایج: $(\lambda, \omega)$ این ضرایب در معادلات نهایی CoCoSo به‌صورت پیش‌فرض و برابر ۰/۵ لحاظ شدند تا تلفیق متعادلی بین اجزای مدل ایجاد گردد و از اعمال هرگونه سوگیری در رتبه‌بندی جلوگیری شود. بر اساس مقایسه تطبیقی انجام‌شده با سایر روش‌ها نتایج حاصل از CoCoSo به منظور اعتبارسنجی نتایج پژوهش انجام شد.

در تحقیق حاضر، مراحل مورد نظر در شکل ۱ نمایش داده شده است:

[1] FUCOM
[2] COCOSO
[3] Comparative Priority Ratios (CPR)
[4] Deviation from Full Consistency (DFC)




شکل۱: الگوریتم کلی تحقیق.

## ۱-۳- خبرگان پژوهش در مرحله کیفی و کمی پژوهش

این پژوهش به منظور ارزیابی استراتژی‌های پذیرش فناوری هوشمند در صنعت ساخت شهری با مدل جدید SWOT-MCDM در شرایط عدم قطعیت، در دو مرحله کیفی و کمی انجام شده است. حال به معرفی خبرگان در دو مرحله کیفی و کمی پرداخته شده است:

### ۱-۱-۳- خبرگان پژوهش در مرحله کیفی پژوهش

همان‌گونه که اشاره شد، بخش اول پژوهش حاضر به مرحله کیفی اختصاص دارد که در آن نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدها از طریق مصاحبه‌های عمیق با خبرگان شناسایی شد. سپس این عوامل با استفاده از روش دلفی فازی مورد غربالگری و تأیید قرار گرفتند. این مرحله نیازمند مشارکت گروهی از خبرگان با تخصص و تجربه مرتبط در حوزه فناوری‌های هوشمند در صنعت ساخت شهری و مدیریت پروژه می‌باشد. با توجه به ماهیت کیفی و تخصصی روش دلفی فازی، تعداد ۲۰ خبره با تخصص و تجربه مرتبط در حوزه فناوری‌های هوشمند و در شهرداری استان قم انتخاب شد. انتخاب ۲۰ نفر مطابق با استانداردهای علمی و مطالعات مشابه است؛ به طوری که اوکولی و پاولوفسکی[1]

[1] Okoli & Pawlowski

(۲۰۰۴) در مطالعه خود توصیه کرده‌اند که تعداد خبرگان در روش دلفی معمولاً بین ۵ تا ۳۰ نفر باشد. این تعداد برای پوشش دیدگاه‌های متنوع و تخصصی مرتبط با موضوع پژوهش کافی است و در عین حال مدیریت فرایند جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها را با کیفیت و دقت لازم ممکن می‌سازد [۲۵]. در این مرحله، خبرگان با تجربه‌های متنوع از مدیریت پروژه‌های فناوری محور و ساخت شهری در شهرداری استان قم، به ارائه نظرات خود پرداختند تا عوامل کلیدی SWOT به صورت جامع و معتبر تعیین گردد. انتخاب شهرداری استان قم به عنوان حوزه مطالعه و تحقیق در زمینه فناوری‌های هوشمند و ساخت، بر اساس مجموعه‌ای از دلایل استراتژیک و عملی صورت گرفته است که عبارت‌اند از [۲۶]:

۱) اهمیت موقعیت جغرافیایی و فرهنگی استان قم: استان قم به عنوان یکی از شهرهای کلیدی ایران با جایگاه ویژه مذهبی، فرهنگی و زیارتی، نقش مهمی در توسعه شهری و عمرانی کشور ایفا می‌کند. این جایگاه موجب افزایش تقاضا برای پروژه‌های عمرانی و ساخت‌وساز با کیفیت بالا شده است که به‌کارگیری فناوری‌های هوشمند می‌تواند پاسخگوی نیازهای این توسعه پایدار باشد.

۲) سرعت بالای رشد و توسعه شهری: با توجه به روند رو به رشد جمعیت و توسعه سریع شهر قم، چالش‌های متعدد مدیریتی و اجرایی در پروژه‌های ساخت‌وساز مطرح است. استفاده از فناوری‌های نوین و هوشمندسازی می‌تواند به بهبود کارایی، کاهش هزینه‌ها و افزایش کیفیت پروژه‌ها کمک کند.

۳) تعهد و تمایل شهرداری به هوشمندسازی و نوآوری: شهرداری قم به عنوان نهاد متولی مدیریت شهری، سیاست‌ها و برنامه‌های خود را به سمت بهره‌برداری از فناوری‌های نوین جهت ارتقاء خدمات شهری و بهبود فرآیندهای ساخت معطوف کرده است. این تعهد، موقعیت مناسبی برای انجام پژوهش‌های کاربردی در این حوزه فراهم می‌آورد.

۴) دسترسی به منابع انسانی متخصص و بومی: وجود تعداد قابل توجهی از خبرگان و متخصصان حوزه فناوری‌های هوشمند و ساخت در قم، امکان بهره‌مندی از دانش و تجربه تخصصی را برای تحلیل جامع و عملیاتی فراهم کرده است.

۵) قابلیت تعمیم نتایج پژوهش: با توجه به شباهت‌های ساختاری و چالش‌های مشترک سایر کلان‌شهرها و شهرهای متوسط ایران، یافته‌های حاصل از این مطالعه می‌تواند به عنوان مدلی کاربردی و قابل تعمیم برای سایر مناطق مورد استفاده قرار گیرد.

در ادامه اطلاعات آماری خبرگان در جدول۱ ارائه شده است:

**جدول۱: اطلاعات آماری خبرگان در مرحله کیفی.**

| | مشخصه | تعداد (۲۰ نفر) | درصد |
|---|---|---|---|
| میانگین سابقه کاری | بالای ۲۰ | ۱۵ | ۷۵٪ |
| | ۱۰- ۲۰ | ۳ | ۱۵٪ |
| | ۵-۱۰ | ۲ | ۱۰٪ |
| سطح تحصیلات | دکتری | ۱۰ | ۵۰٪ |
| | کارشناسی ارشد | ۱۰ | ۵۰٪ |
| حوزه تخصص | مدیریت پروژه ساخت | ۱۲ | ۶۰٪ |
| | فناوری نوین | ۶ | ۳۰٪ |
| | برنامه‌ریزی و اقتصاد شهری | ۲ | ۱۰٪ |
| سطح مسئولیت | مدیر پروژه | ۱۰ | ۵۰٪ |
| | مشاور ارشد فناوری | ۶ | ۳۰٪ |
| | کارشناس فنی | ۴ | ۲۰٪ |

### ۲-۱-۳- خبرگان پژوهش در مرحله کمی پژوهش

انتخاب خبرگان پژوهش در مرحله کمی پیش از توزیع پرسشنامه‌ها امری ضروری است. در این مرحله تعداد خبرگان باید طوری انتخاب شوند که نماینده‌ی کل جامعه منتخب بوده و پاسخ‌های جمع‌آوری‌شده از اعتبار و صحت لازم برخوردار باشند. جامعه آماری این تحقیق از میان متخصصان شهرداری، کارفرمایان، مشاوران و پیمانکاران فعال در صنعت ساخت شهری استان قم انتخاب گردیده است. در

انتخاب شرکت‌ها، تنها از شرکت‌های معتبر، بزرگ و با سابقه استفاده شده است. پیمانکاران اصلی این تحقیق از میان پیمانکاران و مشاوران واجد شرایط که مطابق با قوانین و مقررات سازمان برنامه و بودجه فعالیت می‌کنند، برگزیده شده‌اند. در ادامه، برای جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز، دو روش اصلی وجود دارد: جمع‌آوری اطلاعات از تمام اعضای جامعه آماری و جمع‌آوری اطلاعات از طریق نمونه‌گیری. نمونه‌گیری به معنای انتخاب درصدی از یک جامعه به‌عنوان نماینده آن است. انجام تحقیق بر روی تمامی اعضای جامعه آماری، به‌ویژه زمانی که تعداد آن‌ها زیاد است، معمولاً زمان‌بر و پرهزینه خواهد بود؛ بنابراین، برای جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز، استفاده از نمونه‌گیری یک روش کارآمد و اقتصادی است. در روش تخمین، محقق بر اساس عوامل مختلف به‌طور شخصی حجم نمونه را برآورد می‌کند. در برخی موارد، حداقل اندازه نمونه به‌طور مشخص تعیین شده است، به‌طوری که محقق می‌تواند با در نظر گرفتن این معیارها، حجم نمونه آماری را به‌گونه‌ای تخمین بزند که از حداقل لازم کمتر نشود. برای مثال، در تحقیقاتی که نیاز به طبقه‌بندی جامع برای نمونه‌گیری دارند، حداقل تعداد نمونه برای هر طبقه بین ۱۵ تا ۲۰ نفر است [۲۷]. بنابراین، با توجه به چهار گروه متخصصان شهرداری، کارفرمایان، مشاوران و پیمانکاران فعال در صنعت ساخت شهری استان قم مجموعاً حداقل ۶۰ تا ۸۰ نفر نیاز خواهد بود. در ادامه، استفاده از روش‌های آماری مورد توجه قرار می‌گیرد. این روش مقداری است که با توجه به شرایط تحقیق و تعداد کل جامعه آماری، که به دلیل محدودیت منابع اطلاعاتی ممکن است قابل دسترس نباشد، تعیین می‌شود. این روش با رابطه (۱) مشخص است:

$$n = \frac{n^2 pq}{d^2} \qquad (۱)$$

که در آن P درصد افرادی است که دارای ویژگی مورد نظر در جامعه آماری هستند. همچنین، $q$ درصد افرادی است که فاقد ویژگی مورد نظر هستند که برابر با $q = 1 - p$. $d$ تفاوت میان نسبت واقعی ویژگی در جامعه و میزان تخمین زده‌شده از سوی محقق است. با انتخاب احتمال صحت گفتار افراد برابر با نود درصد مقدار t بر اساس جدول۲ که خروجی ازمنحنی گوس می باشد، ۱/۶۴ و d= ۰/۰۵ می‌باشد. صحت مورد نظر در جامعه آماری (میزان تجربه در پروژه‌های هوشمند ساخت شهری) است که شاخص ۵ سال برای آن مناسب است.

**جدول۲: رابطه t با درصد احتمال صحت گفتار [۲۷].**

| ردیف | ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ٥ | ٦ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| در صد احتمال صحت گفتار | ٦٨٪٣٠. | ٩٥٪ | ٩٥٪٥٠. | ٩٩٪ | ٩٩٪٧٠. | ٩٩٪٩٠. |
| مقدار T | ١ | ١/٩٦ | ٢ | ٢/٥٨ | ٣ | ٣/٢٩ |

به عبارت دیگر افراد بالای ۵ سال تجربه کاری در پروژه‌های هوشمند ساخت شهری برابر p و درصد افراد تجربه کمتر از ۵ سال دارند برابر q می باشد. با این حال، این مقادیر در جامعه آماری مورد نظر به‌طور دقیق مشخص نمی‌باشد. از این‌رو، برای برآورد حجم نمونه، می‌توان از تخمین حجم نمونه در جامعه آماری استفاده کرد و سپس با اندازه‌گیری مقادیر p و q در نمونه به‌دست‌آمده، حجم نمونه مورد نیاز را محاسبه نمود. اگر این حجم نمونه کمتر از یا برابر با حجم نمونه اخذ شده باشد، به‌عنوان حجم نمونه مناسب در نظر گرفته می‌شود. در این تحقیق، ۱۶۰ پرسشنامه توزیع شد که در نهایت ۱۴۰ پرسشنامه دریافت گردید. از میان ۱۴۰ پاسخ‌دهنده، ۱۳۰ نفر دارای بیش از پنج سال تجربه کاری بودند. بنابراین $p = 0/93, q = 0/07$ . بر اساس فرضیات قبلی، تعداد نمونه مناسب برابر با ۷۰ نفر است، که این تعداد کمتر از تعداد نمونه واقعی (۱۳۰ نفر) می‌باشد. بنابراین، حجم نمونه ۱۳۰ نفر به‌عنوان حجم نمونه مناسب در نظر گرفته می‌شود.

## ۲-۳- معرفی روش دلفی فازی به منظور شناسایی نقاط قوت، ضعف، تهدیدها و فرصت‌های پذیرش فناوری هوشمند در ساخت شهری

روش دلفی فازی یکی از رویکردهای پیشرفته در جمع‌آوری و تحلیل نظرات خبرگان است که بر پایه منطق فازی و سیستم‌های استنتاج فازی طراحی شده و هدف آن دستیابی به اجماع میان صاحب‌نظران با دقت بالاتر است. در این روش، به‌جای استفاده از داده‌های قطعی، از اعداد فازی بهره گرفته می‌شود تا بازتاب دقیق‌تری از دیدگاه‌های ذهنی و زبانی افراد حاصل گردد. به‌طور سنتی، تکنیک دلفی بر پایه نظرات کیفی پاسخ‌دهندگان شکل می‌گیرد و از عبارات کلامی برای سنجش دیدگاه‌ها استفاده می‌شود. با این حال، این عبارات به‌دلیل ذهنی بودن، در انتقال دقیق تمایلات فکری افراد محدود هستند. برای مثال، برداشت فردی سخت‌گیر از واژه «زیاد» می‌تواند با درک فردی دیگر کاملاً متفاوت باشد. چنانچه این تفاوت‌ها با استفاده از مقادیر قطعی نادیده گرفته شوند، نتایج تحلیل ممکن است دچار انحراف و اریب گردد. از این‌رو، به‌کارگیری طیف‌های فازی برای تبدیل داده‌های زبانی به مقادیر قابل‌تحلیل، راهکاری مؤثر در رفع این نارسایی محسوب می‌شود. نسخه سنتی تکنیک دلفی، همواره با چالش‌هایی نظیر دشواری در دستیابی به اجماع، هزینه‌های اجرایی بالا، و خطر حذف نظرات برخی از مشارکت‌کنندگان مواجه بوده است. به‌منظور غلبه بر این مشکلات، ایده تلفیق روش دلفی با نظریه فازی را ایشیکاوا[1] و همکاران (۱۹۹۳) گسترش دادند و الگوریتمی را برای پیش‌بینی ضریب نفوذ فناوری کامپیوتر در سازمان‌ها توسعه دادند که نمونه‌ای موفق از کاربرد عملی دلفی فازی به شمار می‌رود. در ادامه، گام‌های روش دلفی فازی ارائه شده است که عبارتند از [۲۸و ۲۹]:

۱) شناسایی نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدید از طریق مصاحبه‌های عمیق با خبرگان صنعت ساخت ؛

۲) جمع آوری نظرهای متخصصان تصمیم گیرنده: در این گام بعد از شناسایی نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدیدگروه تصمیم‌گیری متشکل از خبرگان مرتبط با موضوع پژوهش تشکیل شده و پرسشنامه‌ها به منظور تعیین مرتبط بودن عوامل شناسایی شده با موضوع اصلی پژوهش و غربالگری برای آن‌ها ارسال می شود که در آن متغیرهای زبانی جدول ۳، برای بیان اهمیت هر شاخص به کار می‌روند. در این پژوهش از اعداد فازی مثلثی استفاده شده است.

**جدول۳: عبارات زبانی و اعداد دلفی فازی [۲۸].**

| عبارات زبانی | اعداد فازی مثلثی |
|---|---|
| خیلی کم | (۰ ،۰ ،۰/۲۵) |
| کم | (۰ ،۰/۲۵ ،۰/۵) |
| متوسط | (۰/۲۵ ،۰/۵ ،۰/۷۵) |
| زیاد | (۰/۵ ،۰/۷۵ ،۱) |
| خیلی زیاد | (۰/۷۵ ،۱ ،۱) |

تایید و غربالگری عوامل: این کار از طریق مقایسه مقدار ارزش اکتسابی هر شاخص با مقدار آستانه $S$ صورت می پذیرد. مقدار آستانه با استنباط ذهنی تصمیم‌گیرنده معین می‌شود و مستقیم بر روی تعداد عواملی که غربال می‌شوند تاثیرخواهد داشت هیچ راه ساده و قانونی برای تعیین مقدار آستانه وجود ندارد. در این پژوهش مقدار ۰/۷ به عنوان مقدار آستانه در نظر گرفته شده است این مقدار به معنی موافقت ۷۰ درصدی خبره‌ها با معیارها است [ ۲۹ و ۳۰].

۳) برای این کار ابتدا باید مقادیر فازی مثلثی نظرهای خبرگان محاسبه شده سپس برای محاسبه میانگین نظرات n پاسخ دهنده، میانگین فازی آن ها محاسبه شود. محاسبه عدد فازی $\tau$ برای هر یک از شاخص‌ها با استفاده از روابط زیر صورت می‌گیرد [۲۷]:

$$\tilde{\tau}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}), \qquad i = 1,...,n \quad j = 1,...,m. \tag{۲}$$

$$a_j = \sum \frac{a_{ij}}{n} \tag{۳}$$

[1] Ishikawa

$$b_j = \sum \frac{b_{ij}}{n} \quad (۴)$$

$$c_j = \sum \frac{c_{ij}}{n} \quad (۵)$$

۴) در روابط بالا اندیس i به فرد خبره و اندیس j به شاخص تصمیم‌گیری اشاره دارد. همچنین مقدار دیفازی شده میانگین عدد فازی از رابطه (۶) بدست می‌آید.

$$crisp = \frac{a+b+c}{3} \quad (۶)$$

## ۲-۲-۳- معرفی روش فوکام فازی به منظور محاسبه وزن بهینه و مطلوب به نقاط قوت، ضعف، تهدیدها و فرصت‌های پذیرش فناوری هوشمند در ساخت شهری

روش فوکام[1] از روش‌های نوین تصمیم‌گیری چند معیاره است مراحل این روش در ادامه آورده شده است [۲۳]:

**گام اول:** اولویت‌بندی معیارها بر اساس اهمیتی که دارند. در این بخش از نظر خبره مشخص می‌شوند که اولویت‌بندی هر کدام از معیارها چگونه می‌باشد؟ به بیان ریاضی این رتبه‌بندی در رابطه (۷) بیان شده است.

$$c_{j(1)} \succ c_{j(2)} \succ \ldots \succ c_{j(k)} \quad (۷)$$

**گام دوم:** مقایسه زوجی هر معیار $c_j$ نسبت به معیار $c_{j+1}$ که از تقسیم امتیاز فازی دو معیار حاصل می‌شود.

**گام سوم:** در این گام بر اساس رابطه (۸)، مدل بهینه‌سازی حل می‌شود و اوزان نهایی معیارها حاصل می‌شود در این رابطه Z مقدار تابع هدف می‌باشد یعنی همان نرخ ناسازگاری که باید مینیمم شود. $\tilde{w}_k$ وزن معیار Kام، $\tilde{\varphi}_{k/(k+1)}$ مقایسه زوجی معیار K نسبت به معیار بعدی خود یعنی K+1 است.

$$\text{Min } Z$$
$$\text{s.t:}$$
$$\left|\tilde{w}_k - \tilde{w}_{k+1} \otimes \tilde{\varphi}_{k/(k+1)}\right| \le Z, \quad \forall_j \quad (۸)$$
$$\left|\tilde{w}_k - \tilde{w}_{k+2} \otimes \tilde{\varphi}_{k/(k+1)} \otimes \tilde{\varphi}_{k+1/(k+2)}\right| \le Z, \quad \forall_j,$$
$$\sum_{j=1}^{n} p(\tilde{w}_j) = 1, \quad \tilde{w}_j \ge 0,$$
$$w_j^l \le w_j^m \le w_j^u, w_j^l \ge 0, \quad \forall_j$$

در رابطه (۸) مقدار $\rho$ بر اساس رابطه (۹) حاصل می‌شود. در این رابطه $p(\tilde{w}_j)$ در واقع غیرفازی شده وزن معیارها می‌باشد.

$$p(\tilde{w}_j) = \frac{w_j^l + 4w_j^m + w_j^u}{6} \quad (۹)$$

[1] Full consistency method (FUCOM)

### ۳-۲-۳- معرفی روش کوکوسو فازی به منظور چهار راهبرد

روش کوکوسو فازی جهت رتبه‌بندی گزینه‌های پژوهش مورد استفاده قرار می‌گیرد مراحل این روش بر اساس پژوهش یولوتاس[1] و همکاران (۲۰۲۱) آورده شده است [۲۴].

**گام اول**: تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری: فرض کنید ماتریس تصمیم‌گیری نظرات افراد به شرح زیر باشد:

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \cdots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}, \quad \forall i = 1,2,...,m; \quad j = 1,2,...,n. \tag{۱۰}$$

$\tilde{D}$ هر ستون نشان دهنده یک خبر و هر سطر نماینده یک معیار است. Xij بیانگر کمیت گزینه iام در معیار jام است. در این پژوهش جهت ارزیابی معیارها از نظر هر خبره از عبارات کلامی واعداد فازی جدول ۴ استفاده شده است.

**جدول۴: عبارات کلامی و اعداد فازی [۲۵].**

| کد | اولویت‌ها | معادل فازی اولویت ها | | |
|---|---|---|---|---|
| | | حد پایین (L) | حد متوسط (m) | حد بالا (u) |
| ۱ | خیلی کم | ۱ | ۱ | ۳ |
| ۲ | کم | ۱ | ۳ | ۵ |
| ۳ | متوسط | ۳ | ۵ | ۷ |
| ۴ | زیاد | ۵ | ۷ | ۹ |
| ۵ | خیلی زیاد | ۷ | ۹ | ۱۱ |

**گام دوم:** نرمال‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری: نرمال‌سازی تقریبا در تمام روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره صورت می‌گیرد. در این گام بر اساس رابطه (۱۱) ماتریس تصمیم نرمال می‌شود.

$$\tilde{r}_{ij} = (r_{ij}^{l}, r_{ij}^{m}, r_{ij}^{u}) = \frac{\tilde{z}_{ij} - \min(\tilde{z}_{ij})}{\max(\tilde{z}_{ij}) - \min(\tilde{z}_{ij})} \tag{۱۱}$$

**گام سوم:** محاسبه مقادیر جمع وزنی و ضرب وزنی: در این گام بر اساس روابط (۱۲) و (۱۳) مقادیر جمع وزنی (S) و توان وزنی (P) برای هر گزینه محاسبه می‌شود. در این روابط Wj وزن خبره می‌باشد و به عنوان ورودی وارد روش کوکوسو فازی می‌گردد.

$$\tilde{S}_{ij} = (S_{ij}^{l}, S_{ij}^{m}, S_{ij}^{u}) = \sum_{j=1}^{n} \tilde{W}_{jc} \tilde{r}_{ij} \tag{۱۲}$$

$$\tilde{P}_{ij} = (P_{ij}^{l}, P_{ij}^{m}, P_{ij}^{u}) = \sum_{j=1}^{n} (\tilde{r}_{ij})^{\tilde{W}_{jc}} \tag{۱۳}$$

**گام چهارم:** تعیین نمره ارزیابی معیارها بر اساس سه استراتژی: در این بخش امتیاز معیارها ها بر اساس سه استراتژی از روابط (۱۴) تا (۱۶) حاصل می‌شود. رابطه (۱۴) میانگین حسابی امتیازات WSM و WPM را بیان می‌کند، در حالی که رابطه (۱۵) در مقایسه با بهترین‌ها، نمرات نسبی WSM و WPM را بیان می‌کند. رابطه (۱۶) مصالحه‌ای بین مدل‌های WSM و WPM است. در این رابطه $\lambda$ توسط تصمیم گیرنده تعیین می‌شود اما در حالت ۰/۵ انعطاف پذیری زیادی دارد.

[1] Ulutaş

$$k_{ia} = \frac{\tilde{P}_i + \tilde{S}_i}{\sum_{i=1}^{m} (\tilde{P}_i + \tilde{S}_i)} \quad (۱۴)$$

$$k_{ib} = \frac{\tilde{S}_i}{\min(\tilde{S}_i)} + \frac{\tilde{P}_i}{\min(\tilde{P}_i)} \quad (۱۵)$$

$$k_{ic} = \frac{\lambda \tilde{S}_i + (1-\lambda)\tilde{P}_i}{\lambda \max(\tilde{S}_i) + (1-\lambda)\max(\tilde{P})} \; ; 0 \le \lambda \le 1 \quad (۱۶)$$

**گام پنجم: غیرفازی سازی** $k_{ia}$ ، $k_{ib}$ و $k_{ic}$

**گام ششم:** در این گام با استفاده از روابط (۱۷) تا (۱۹) مقادیر فازی محاسبه شده در گام چهارم غیرفازی می‌شوند.

$$k_{ia} = \frac{k^{l}_{ia} + k^{m}_{ia} + k^{u}_{ia}}{3} \quad (۱۷)$$

$$k_{ib} = \frac{k^{l}_{ib} + k^{m}_{ib} + k^{u}_{ib}}{3} \quad (۱۸)$$

$$k_{ic} = \frac{k^{l}_{ic} + k^{m}_{ic} + k^{u}_{ic}}{3} \quad (۱۹)$$

**گام هفتم:** تعیین امتیاز نهایی و رتبه بندی: در این بخش بر اساس رابطه (۲۰) امتیاز نهایی محاسبه می‌شود. این رابطه بیانگر جمع میانگین هندسی و میانگین حسابی سه استراتژی مرحله قبل می‌باشد. امتیاز (k) هر گزینه ای بزرگتر باشد نشان از برتری آن گزینه دارد.

$$k_i = (k_{ia} k_{ib} k_{ic})^{\frac{1}{3}} + \frac{1}{3}(k_{ia} + k_{ib} + k_{ic}) \quad (۲۰)$$

## ۴-مطالعه موردی و تحلیل یافته‌ها پیرامون ارزیابی استراتژی‌های پذیرش فناوری هوشمند در صنعت ساخت شهری استان قم با ارائه یک مدل جدید SWOT- MCDM در شرایط عدم قطعیت

استان قم، به عنوان یکی از مراکز فرهنگی و مذهبی ایران، در سال‌های اخیر به سمت هوشمندسازی در صنعت ساخت حرکت کرده است [۳۱]. این روند به ویژه با توجه به نیازهای روزافزون شهری و افزایش جمعیت اهمیت بیشتری یافته است. هوشمندسازی ساخت در قم نه تنها موجب افزایش راحتی و آسایش ساکنین می‌شود بلکه می‌تواند به مدیریت منابع و کاهش مصرف انرژی کمک کند. با توجه به اقلیم خشک و کم آبی استان، استفاده از فناوری‌های نوین نیز بسیار حائز اهمیت است. با وجود پیشرفت‌های صورت گرفته، چالش‌هایی نیز وجود دارد. نیاز به آموزش و فرهنگ‌سازی در میان شهروندان برای پذیرش این فناوری ضروری است. همچنین، همکاری بین دستگاه‌ها و نهادهای مختلف برای موفقیت این طرح‌ها بسیار مهم است چراکه پذیرش فناوری هوشمند در صنعت ساخت شهری استان قم می‌تواند به عنوان یک گام مهم در راستای توسعه پایدار شهری تلقی شود. با توجه به تلاش‌های شهرداری و شرکت‌های فعال در این حوزه، انتظار می‌رود که قم به یک شهر هوشمند تبدیل شود که نه تنها نیازهای ساکنین خود را برآورده کند بلکه الگوی مناسبی برای سایر شهرها باشد. از طرفی، مسئله مهم و قابل توجه اینست که صنعت ساخت شهری استان قم با چندین ذینفع سر و کار داشته و مقاومت کلی در برابر تغییرات جدید دارد که این مسئله موجب عدم پذیرش فناوری هوشمند در صنعت ساخت شهری گردیده است. بر این اساس، در پژوهش حاضر، به ارزیابی

استراتژی‌های پذیرش فناوری هوشمند در صنعت ساخت شهری استان قم با استفاده از مدل SWOT-MCDM در شرایط عدم قطعیت، موضوعی مهم و رو به رشد پرداخته شده است. این ارزیابی می‌تواند به شناسایی نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدها در پذیرش فناوری‌های نوین کمک کند و همچنین به تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره در این زمینه بپردازد. استفاده از مدل SWOT-MCDM می‌تواند به شناسایی دقیق‌تر موانع و فرصت‌های موجود در پذیرش فناوری هوشمند در صنعت ساخت شهری استان قم کمک کند. در ادامه به تحلیل و بررسی یافته‌ها به صورت گام به گام پرداخته می‌شود:

## ۱-۴- نتایج روش دلفی فازی

در پژوهش حاضر در راستای تحقق اهداف پژوهش در گام اول به شناسایی نقاط قوت، ضعف، تهدیدها و فرصت‌های پذیرش فناوری هوشمند در ساخت شهری و سپس تشکیل ماتریس راهبردهای حاصل از ماتریس SWOT پرداخته شد. بدین منظور، در قالب مصاحبه از خبرگان بخش کیفی درخواست شد به سوالات پژوهش با هدف تشکیل ماتریس تحلیل SWOT و با توجه به توضیحات ذکر شده در مورد ویژگی ها و مزایای تحلیلSWOT پاسخ دهند. بعد از انجام هر مصاحبه، متن هر مصاحبه بلافاصله توسط محقق مورد مطالعه قرار گرفت و اطلاعات هر مصاحبه یادداشت و مکتوب شد. در نهایت براساس بررسی مصاحبه‌های انجام شده و ثبت یافته‌ها، مولفه‌های ماتریس SWOT شناسایی شدند. سپس عوامل شناسایی شده در قالب چهار بعد نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدید در اختیار اعضای گروه خبره قرار گرفت و از آنها درخواست شد نظرشان را دربارهٔ هر معیار در قالب متغیرهای کلامی مندرج در پرسشنامه بیان کنند. در ادامه، بعد از یکپارچه‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری میانگین فازی از امتیازات اخذ می‌شود و سپس توسط رابطه (۶) میانگین فازی به عدد قطعی تبدیل می‌شود. در ادامه، مقدار آستانه عدد ۰/۷ به منظور غربالگری وتائید نهایی نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدید شناسایی شده در نظر گرفته می‌شود و نتایج نهایی منجر به تائید ۴۸ عامل نهایی مطابق جدول ۵ می‌گردد.

**جدول۵: نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدیدهای نهایی.**

| معیار | زیرمعیار | کد زیرمعیار |
|---|---|---|
| قوت | استفاده از نرم افزارهای مهندسی در طراحی و کنترل ساخت | S1 |
| | وجود یک نظام مهندسی پویا و تلاش مهندسان قمی در این حوزه | S2 |
| | بومی سازی نرم افزارها و تکنولوژی های موجود در سطح جهان | S3 |
| | توان شرکت های دانش بنیان و بکارگیری آنها در راستای اهداف پارک علم و فناوری استان | S4 |
| | فعالیت مرکز تحقیقات شهر هوشمند در شهر قم | S5 |
| | وجود دانشگاه‌ها جهت ایجاد و توسعه فناوری های نوین | S6 |
| | طراحی الگوی بومی شهر هوشمند قم از سوی مرکز تحقیقات شهر هوشمند | S7 |
| | اجرای زیرساخت اولیه اتصال سخت‌افزارهای شبکه اینترنت اشیاء (گیتوی Gateway و آنتن‌ها) مبتنی بر پروتکل LoRaWAN در جهت ایجاد چتر لورا در ۵ نقطه سطح شهر قم | S8 |
| | فارغ التحصیلان دانشگاهی هوش مصنوعی، | S9 |
| | برگزاری و اجرای دوره های آموزشی و سمینار در سازمان های نظام مهندسی و شهرداری قم | S10 |
| | تمایل (هرچند محدود) مدیران و برنامه ریزان شهری به ساخت هوشمند | S11 |
| | مشارکت بخش خصوصی در سطح استان | S12 |
| ضعف | عدم وجود نمایندگی شرکت‌های معتبر برای ضمانت قطعات و تعمیر سیستم های هوشمند | W1 |
| | نبود مرجع واحد برای کنترل و نظارت سیستم های هوشمند | W2 |
| | هزینه های بالای تجهیزات و فناوری های هوشمند | W3 |
| | عدم رشد فرهنگ جامعه در بکارگیری از فناوری هوشمند | W4 |
| | کمبود دانش فنی مشکلات زیرساختی | W5 |

| | | |
|---|---|---|
| | عدم هماهنگی بین سازمان های مدیریتی و نهادها مرتبط | W6 |
| | فقدان یک رویکرد یکپارچه جامع و استراتژیک جهت ساخت شهری هوشمند | W7 |
| | عدم آگاهی و آموزش بسیاری از پیمانکاران و مهندسان از فناوری های نوین | W8 |
| | عدم اطمینان از بازگشت سرمایه در پروژه‌های هوشمند از سوی سرمایه گذار | W9 |
| | نبود زیرساخت‌های دیجیتال و فناوری اطلاعات و اینترنت مناسب | W10 |
| | عدم حمایت مسئولین شهری شامل شهرداری نظام مهندسی شورای شهر و راه و شهرسازی | W11 |
| | ضعف در تبلیغات و فرهنگ سازی جهت آگاهی و مشارکت ذینفعان جهت استقبال و مشارکت در ساخت هوشمند | W12 |
| فرصت | افزایش تقاضا برای ساختمان‌های پایدار | O1 |
| | رشد جمعیت و نیاز به مسکن | O2 |
| | ارتقای سطح کیفیت زندگی | O3 |
| | افزایش استفاده از BIM (مدل‌سازی اطلاعات ساختمان) در صنعت ساخت ایران | O4 |
| | توسعه استفاده از داده‌های کلان (Big Data) در صنایع مختلف | O5 |
| | ارائه تسهیلات دولتی به شرکت های توسعه دهنده تکنولوژی های دانش بنیان و جدید در سال های اخیر در کشور | O6 |
| | تغییرات نگرش و استقبال مناسب مدیران سازمان های ذینفع از هوشمندسازی | O7 |
| | بهبود برخی قوانین یا دستورالعمل های مصوب | O8 |
| | ایجاد تسهیل صدور مجوزات گمرکی در جهت ورود تجهیزات برند و فناور در سطح پروژه های هایتک | O9 |
| | توجه مسئولین و سیاستگذاران و عموم مردم به تحقق توسعه پایدار | O10 |
| | رشد تولید مصالح پایدار و با کیفیت در ایران | O11 |
| | ساخت و توسعه تکنولوژی های نوظهور همچون هوش، رباتیک، واقعیت افزوده (AR) و واقعیت مجازی، پرینت سه بعدی در ساخت در سطح جهان | O12 |
| تهدید | تورم | T1 |
| | تحریم ها | T2 |
| | عدم صدور مجوز فعالیت شرکت های خارجی و همکاری با شرکت های داخلی از سوی دولت و ارگان های نظارتی | T3 |
| | نبود دید و علم هوشمند سازی در بین مدیران ارشد و میانی سازمان های ذینفع | T4 |
| | نوسانات هزینه های واردات و صادرات | T5 |
| | عدم اولویت هوشمند سازی از سوی خانواده های ایرانی | T6 |
| | نوسانات بازار ساخت | T7 |
| | محدودیت واردات از برندهای معتبر | T8 |
| | نوسان بازارهای مالی و ارز | T9 |
| | محدودیت بودجه های دولت | T10 |
| | محدودیت در منابع انسانی متخصص جهت استفاده و پیاده سازی تکنولوژی های نوظهور | T11 |

## ۴-۲- نتایج روش فوکام فازی

### ۴-۲-۱- نتایج اهمیت‌سنجی زیرمعیارها قوت

**گام اول:** مرتب کردن زیرمعیارهای قوت بر اساس اهمیت: اولین گام در این روش این است که زیرمعیارهای قوت بر اساس درجه اهمیتشان که توسط دلفی فازی محاسبه شد اولویت‌بندی اولیه می‌شوندکه در جدول ۶ آورده شده است.

**جدول۶: اولویت‌بندی اولیه زیرمعیارهای قوت.**

| کدمعیار | معیار |
|---|---|
| S10 | برگزاری و اجرای دوره های آموزشی و سمینار در سازمان های نظام مهندسی و شهرداری قم |
| S8 | اجرای زیرساخت اولیه اتصال سخت‌افزارهای شبکه اینترنت اشیاء (گیتوی Gateway و آنتن‌ها) مبتنی بر پروتکل LoRaWAN در جهت ایجاد چتر لورا در ۵ نقطه سطح شهر قم |
| S11 | تمایل (هرچند محدود) مدیران و برنامه ریزان شهری به ساخت هوشمند |
| S3 | بومی سازی نرم افزارها و تکنولوژی های موجود در سطح جهان |
| S4 | توان شرکت های دانش بنیان و بکارگیری آنها در راستای اهداف پارک علم و فناوری استان |
| S9 | فارغ التحصیلان دانشگاهی هوش مصنوعی، |
| S2 | وجود یک نظام مهندسی پویا و تلاش مهندسان قمی در این حوزه |
| S12 | مشارکت بخش خصوصی در سطح استان |
| S1 | استفاده از نرم افزارهای مهندسی در طراحی و کنترل ساخت |
| S6 | وجود دانشگاه‌ها جهت ایجاد و توسعه فناوری های نوین |
| S7 | طراحی الگوی بومی شهر هوشمند قم از سوی مرکز تحقیقات شهر هوشمند |
| S5 | فعالیت مرکز تحقیقات شهر هوشمند در شهر قم |

**گام دوم:** تشکیل ماتریس مقایسات زوجی: در این گام هر معیار نسبت به معیار اول یعنی S10 که اولویت اول را دارد مقایسه می‌شود نتایج در جدول ۷ آورده شده است. این مقایسه نیز از تقسیم امتیاز فازی هر معیار در معیار S10 حاصل می‌شود.

**جدول۷: مقایسه معیارها با بااهمیت‌ترین معیار.**

| | S10 | S8 | S11 | S3 | S4 | S9 | S2 | S12 | S1 | S6 | S7 | S5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\tilde{\varphi}_{k/k+1}$ | (۱,۱,۱) | (۱/۰۳۹ , ۱/۱۷۶ , ۱/۶۶۷) | (۱/۰۸۱ , ۱/۱۷۶ , ۱/۶۶۷) | (۱/۰۶۷ , ۱/۲۱۲ , ۱/۷۳۹) | (۱/۰۸۱ , ۱/۲۱۲ , ۱/۷۳۹) | (۱/۰۳۹ , ۱/۲۳۱ , ۱/۷۷۸) | (۱/۱۱۱ , ۱/۲۳۱ , ۱/۷۷۸) | (۱/۰۵۳ , ۱/۲۵ , ۱/۸۱۸) | (۱/۰۶۷ , ۱/۲۵ , ۱/۸۱۸) | (۱.۱۲۷,۱.۳۳۳,۲) | (۱.۱۲۷,۱.۳۳۳,۲) | (۱/۱۷۶ , ۱/۴۰۴ , ۲/۱۰۵) |

**گام سوم:** حل مدل بهینه‌سازی و تعیین اوزان معیارها: در این گام بر اساس رابطه (۸)، مدل بهینه‌سازی تشکیل و توسط نرم‌افزار لینگو نسخه ۱۸ اجرا می‌شود که خروجی آن وزن معیارها می‌باشد و در جدول ۸ آورده شده است. همچنین بر اساس رابطه (۹) وزن فازی، غیرفازی می‌شود. بر این اساس برگزاری و اجرای دوره های آموزشی و سمینار در سازمان های نظام مهندسی و شهرداری قم با وزن ۰/۱۱۵۲ رتبه اول را کسب کرده است.

جدول۸: وزن زیرمعیارهای قوت.

| کد معیار | معیار | وزن فازی | وزن غیرفازی | رتبه |
|---|---|---|---|---|
| S1 | استفاده از نرم افزارهای مهندسی در طراحی و کنترل ساخت | (۰/۰۸۲۱ , ۰/۰۸۲۱ , ۰/۰۳۷۴) | ۰/۰۷۴۷ | ۱۰ |
| S2 | وجود یک نظام مهندسی پویا و تلاش مهندسان قمی در این حوزه | (۰/۰۸۴۹ , ۰/۰۸۴۹ , ۰/۰۳۹۹) | ۰/۰۷۴۷ | ۹ |
| S3 | بومی سازی نرم افزارها و تکنولوژی های موجود در سطح جهان | (۰/۰۹۴۷ , ۰/۰۹۴۷ , ۰/۰۴۸۲) | ۰/۰۸۷۰ | ۴ |
| S4 | توان شرکت های دانش بنیان و بکارگیری آنها در راستای اهداف پارک علم و فناوری استان | (۰/۰۹۱۵ , ۰/۰۹۱۵ , ۰/۰۴۵۴) | ۰/۰۸۳۸ | ۵ |
| S5 | فعالیت مرکز تحقیقات شهر هوشمند در شهر قم | (۰/۰۸۷۸ , ۰/۰۸۷۸ , ۰/۰۲۹) | ۰/۰۷۸۰ | ۷ |
| S6 | وجود دانشگاه‌ها جهت ایجاد و توسعه فناوری های نوین | (۰/۰۷۵۶ , ۰/۰۷۵۶ , ۰/۰۳۲۷) | ۰/۰۶۸۵ | ۱۱ |
| S7 | طراحی الگوی بومی شهر هوشمند قم از سوی مرکز تحقیقات شهر هوشمند | (۰/۰۷۵ , ۰/۰۷۵ , ۰/۰۳۰۹) | ۰/۰۶۷۷ | ۱۲ |
| S8 | اجرای زیرساخت اولیه اتصال سخت‌افزارهای شبکه اینترنت اشیاء (گیتوی Gateway و آنتن‌ها) مبتنی بر پروتکل LoRaWAN در جهت ایجاد چتر لورا در ۵ نقطه سطح شهر قم | (۰/۱۰۳۶ , ۰/۱۰۳۶ , ۰/۰۶) | ۰/۰۹۶۳ | ۲ |
| S9 | فارغ التحصیلان دانشگاهی هوش مصنوعی | (۰/۰۸۹ , ۰/۰۸۹ , ۰/۰۴۳۱) | ۰/۰۸۱۴ | ۶ |
| S10 | برگزاری و اجرای دوره های آموزشی و سمینار در سازمان های نظام مهندسی و شهرداری قم | (۰/۱۲۰۸ , ۰/۱۲۰۸ , ۰/۰۸۷) | ۰/۱۱۵۲ | ۱ |
| S11 | تمایل (هرچند محدود) مدیران و برنامه ریزان شهری به ساخت هوشمند | (۰/۰۹۸۳ , ۰/۰۹۸۳ , ۰/۰۵۲۹) | ۰/۰۹۰۷ | ۳ |
| S12 | مشارکت بخش خصوصی در سطح استان | (۰/۰۸۵۳ , ۰/۰۸۵۳ , ۰/۰۳۹۲) | ۰/۰۷۷۶ | ۸ |

### ۴-۲-۲- نتایج مقایسه زوجی معیارهای اصلی

به طریق مشابه برای معیارهای اصلی نیز مدل بهینه‌سازی تشکیل شد. سپس توسط نرم‌افزار لینگو حل گردید که اوزان نهایی در جدول ۹ آورده شده است. بر این اساس نقاط قوت با وزن ۰/۳۱۶۹ رتبه اول را کسب کرده است.

جدول۹: وزن و رتبه معیارهای اصلی.

| کدمعیار | نام معیار | وزن فازی | وزن قطعی | رتبه |
|---|---|---|---|---|
| S | نقاط قوت | (۰/۱۹۴۳ , ۰/۳۳۸۵ , ۰/۳۵۲۹) | ۰/۳۱۶۹ | ۱ |
| W | نقاط ضعف | (۰/۰۹۲۴ , ۰/۲۷۲۳ , ۰/۳۱۵۴) | ۰/۲۴۹۵ | ۲ |
| O | نقاط فرصت | (۰/۱۶۴۶ , ۰/۲۳۶۴ , ۰/۲۳۶۴) | ۰/۲۲۴۴ | ۳ |
| T | نقاط تهدید | (۰/۱۲۹۴ , ۰/۲۲۲۸ , ۰/۲۲۲۸) | ۰/۲۰۷۲ | ۴ |

### ۴-۲-۳- وزن نهایی زیرمعیارها

وزن نهایی زیرمعیارها از ضرب وزن معیارهای اصلی در وزن نسبی زیرمعیارها که از روش فوکام فازی بدست آمده حاصل می‌شود که در جدول ۱۰ آورده شده است.

**جدول۱۰: وزن نهایی زیرمعیارها.**

| معیار | وزن معیار | زیرمعیار | وزن نسبی زیرمعیار | وزن نهایی زیرمعیار |
|---|---|---|---|---|
| قوت | ۰/۳۱۶۹ | استفاده از نرم افزارهای مهندسی در طراحی و کنترل ساخت | ۰/۰۷۴۷ | ۰/۰۲۳۷ |
| | | وجود یک نظام مهندسی پویا و تلاش مهندسان قمی در این حوزه | ۰/۰۷۷۴ | ۰/۰۲۴۵ |
| | | بومی سازی نرم افزارها و تکنولوژی های موجود در سطح جهان | ۰/۰۸۷۰ | ۰/۰۲۷۶ |
| | | توان شرکت های دانش بنیان و بکارگیری آنها در راستای اهداف پارک علم و فناوری استان | ۰/۰۸۳۸ | ۰/۰۲۶۶ |
| | | فعالیت مرکز تحقیقات شهر هوشمند در شهر قم | ۰/۰۷۸۰ | ۰/۰۲۴۷ |
| | | وجود دانشگاه‌ها جهت ایجاد و توسعه فناوری های نوین | ۰/۰۶۸۵ | ۰/۰۲۱۷ |
| | | طراحی الگوی بومی شهر هوشمند قم از سوی مرکز تحقیقات شهر هوشمند | ۰/۰۶۷۷ | ۰/۰۲۱۴ |
| | | اجرای زیرساخت اولیه اتصال سخت‌افزارهای شبکه اینترنت اشیاء (گیتوی Gateway و آنتن‌ها) مبتنی بر پروتکل LoRaWAN در جهت ایجاد چتر لورا در ۵ نقطه سطح شهر قم | ۰/۰۹۶۳ | ۰/۰۳۰۵ |
| | | فارغ التحصیلان دانشگاهی هوش مصنوعی، | ۰/۰۸۱۴ | ۰/۰۲۵۸ |
| | | برگزاری و اجرای دوره های آموزشی و سمینار در سازمان های نظام مهندسی و شهرداری قم | ۰/۱۱۵۲ | ۰/۰۳۶۵ |
| | | تمایل (هرچند محدود) مدیران و برنامه ریزان شهری به ساخت هوشمند | ۰/۰۹۰۷ | ۰/۰۲۸۸ |
| | | مشارکت بخش خصوصی در سطح استان | ۰/۰۷۷۶ | ۰/۰۲۴۶ |
| ضعف | ۰/۲۴۹۵ | عدم وجود نمایندگی شرکت‌های معتبر برای ضمانت قطعات و تعمیر سیستم های هوشمند | ۰/۰۶۷۷ | ۰/۰۱۶۹ |
| | | نبود مرجع واحد برای کنترل و نظارت سیستم های هوشمند | ۰/۰۶۷۵ | ۰/۰۱۶۸ |
| | | هزینه های بالای تجهیزات و فناوری های هوشمند | ۰/۱۰۵۳ | ۰/۰۲۶۳ |
| | | عدم رشد فرهنگ جامعه در بکارگیری از فناوری هوشمند | ۰/۰۶۹۰ | ۰/۰۱۷۲ |
| | | کمبود دانش فنی مشکلات زیرساختی | ۰/۰۶۷۴ | ۰/۰۱۶۸ |
| | | عدم هماهنگی بین سازمان های مدیریتی و نهادها مرتبط | ۰/۰۷۱۸ | ۰/۰۱۷۹ |
| | | فقدان یک رویکرد یکپارچه جامع و استراتژیک جهت ساخت شهری هوشمند | ۰/۱۱۴۹ | ۰/۰۲۸۷ |
| | | عدم آگاهی و آموزش بسیاری از پیمانکاران و مهندسان از فناوری های نوین | ۰/۰۸۱۴ | ۰/۰۲۰۳ |
| | | عدم اطمینان از بازگشت سرمایه در پروژه‌های هوشمند از سوی سرمایه گذار | ۰/۰۹۵۴ | ۰/۰۲۳۸ |
| | | نبود زیرساخت‌های دیجیتال و فناوری اطلاعات و اینترنت مناسب | ۰/۰۶۷۸ | ۰/۰۱۶۹ |
| | | عدم حمایت مسئولین شهری شامل شهرداری نظام مهندسی شورای شهر و راه و شهرسازی | ۰/۰۶۸۱ | ۰/۰۱۷۰ |
| | | ضعف در تبلیغات و فرهنگ سازی جهت آگاهی و مشارکت ذینفعان جهت استقبال و مشارکت در ساخت هوشمند | ۰/۱۲۱۷ | ۰/۰۳۰۴ |
| فرصت | ۰/۲۲۴۴ | افزایش تقاضا برای ساختمان‌های پایدار | ۰/۱۲۰۳ | ۰/۰۲۷۰ |
| | | رشد جمعیت و نیاز به مسکن | ۰/۱۱۱۳ | ۰/۰۲۵۰ |
| | | ارتقای سطح کیفیت زندگی | ۰/۰۸۱۴ | ۰/۰۱۸۳ |
| | | افزایش استفاده از BIM (مدل‌سازی اطلاعات ساختمان) در صنعت ساخت ایران | ۰/۰۷۳۷ | ۰/۰۱۶۵ |
| | | توسعه استفاده از داده‌های کلان (Big Data) در صنایع مختلف | ۰/۰۶۴۶ | ۰/۰۱۴۵ |
| | | ارائه تسهیلات دولتی به شرکت های توسعه دهنده تکنولوژی های دانش بنیان و جدید در سال های اخیر در کشور | ۰/۰۶۷۱ | ۰/۰۱۵۱ |
| | | تغییرات نگرش و استقبال مناسب مدیران سازمان های ذینفع از هوشمندسازی | ۰/۰۶۸۸ | ۰/۰۱۵۴ |
| | | بهبود برخی قوانین یا دستورالعمل های مصوب | ۰/۰۹۱۶ | ۰/۰۲۰۶ |
| | | ایجاد تسهیل صدور مجوزات گمرکی در جهت ورود تجهیزات برند و فناور در سطح پروژه های هایتک | ۰/۰۷۶۱ | ۰/۰۱۷۱ |
| | | توجه مسئولین و سیاستگذاران و عموم مردم به تحقق توسعه پایدار | ۰/۰۷۲۸ | ۰/۰۱۶۳ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | رشد تولید مصالح پایدار و با کیفیت در ایران | ۰/۰۹۹۶ | ۰/۰۲۲۳ |
| | | ساخت و توسعه تکنولوژی های نوظهور همچون هوش، رباتیک، واقعیت افزوده (AR) و واقعیت مجازی، پرینت سه بعدی در ساخت در سطح جهان | ۰/۰۷۰۹ | ۰/۰۱۵۹ |
| تهدید | ۰/۲۰۷۲ | تورم | ۰/۱۰۸۵ | ۰/۰۲۲۵ |
| | | تحریم ها | ۰/۰۷۳۷ | ۰/۰۱۵۳ |
| | | عدم صدور مجوز فعالیت شرکت های خارجی و همکاری با شرکت های داخلی از سوی دولت و ارگان های نظارتی | ۰/۰۷۶۴ | ۰/۰۱۵۸ |
| | | نبود دید و علم هوشمند سازی در بین مدیران ارشد و میانی سازمان های ذینفع | ۰/۰۸۰۹ | ۰/۰۱۶۸ |
| | | نوسانات هزینه های واردات و صادرات | ۰/۰۸۸۲ | ۰/۰۱۸۳ |
| | | عدم اولویت هوشمند سازی از سوی خانواده های ایرانی | ۰/۱۲۸۸ | ۰/۰۲۶۷ |
| | | نوسانات بازار ساخت | ۰/۱۰۳۸ | ۰/۰۲۱۵ |
| | | محدودیت واردات از برندهای معتبر | ۰/۰۷۲۶ | ۰/۰۱۵۰ |
| | | نوسان بازارهای مالی و ارز | ۰/۰۷۱۷ | ۰/۰۱۴۹ |
| | | محدودیت بودجه های دولت | ۰/۰۷۳۱ | ۰/۰۱۵۲ |
| | | محدودیت در منابع انسانی متخصص جهت استفاده و پیاده سازی تکنولوژی های نوظهور | ۰/۱۲۰۳ | ۰/۰۲۴۹ |

## ۳-۴- نتایج روش کوکوسو چهار راهبرد

در این بخش از روش کوکوسو برای رتبه‌بندی چهار راهبرد استفاده می‌شود مراحل این روش در ادامه آورده شده است.

### ۱-۳-۴- تشکیل ماتریس تصمیم

در این گام ماتریس تصمیم ارزیابی چهار راهبرد تشکیل می‌شود. ماتریس تصمیم روش کوکوسو فازی ماتریسی متشکل ۴۷ زیرمعیار و ۶ راهبرد پژوهش است که هر راهبرد از نظر هر زیرمعیار بر اساس طیف ۱ تا ۵ فازی از نظر خبره‌ها ارزیابی می‌شود سپس نظرات با روش میانگین حسابی ادغام که تحت عنوان ماتریس تصمیم در جدول ۱۱ آورده شده است.

**جدول۱۱: ماتریس تصمیم کوکوسو چهار راهبرد.**

| | S1 | S2 | ... | T10 | T11 |
|---|---|---|---|---|---|
| SO | (۵/۳ , ۷/۳ , ۹/۳) | (۴/۷ , ۶/۷ , ۸/۷) | ... | (۴/۸ , ۶/۸ , ۸/۸) | (۵,۷,۹) |
| ST | (۴/۹ , ۶/۹ , ۸/۹) | (۴/۹ , ۶/۹ , ۸/۹) | ... | (۲/۴ , ۳/۹ , ۵/۹) | (۳/۱ , ۴/۷ , ۶/۷) |
| WO | (۳/۷ , ۵/۳ , ۷/۳) | (۳/۳ , ۴/۹ , ۶/۹) | ... | (۳/۹ , ۵/۷ , ۷/۷) | (۳/۲ , ۴/۷ , ۶/۷) |
| WT | (۳/۵ , ۴/۸ , ۶/۸) | (۲/۹ , ۴/۶ , ۶/۶) | ... | (۳/۱ , ۴/۵ , ۶/۵) | (۳/۱ , ۴/۷ , ۶/۷) |

### ۲-۳-۴- نرمال‌سازی ماتریس تصمیم

در این گام بر اساس رابطه (۱۱)، ماتریس تصمیم نرمال می‌شود که در جدول ۱۱ آورده شده است.

### ۳-۳-۴- محاسبه ضرب وزنی (S) و توان وزنی (P)

در این بخش با استفاده از روابط (۱۲) و (۱۳) مقادیر ضرب وزنی (S) و توان وزنی (P) محاسبه می‌شود به برای محاسبه S باید وزن نهایی زیرمعیارها را در ماتریس نرمال ضرب کرد. سپس از اعداد ماتریس حاصل جمع سطری گرفت و برای محاسبه P نیز باید اعداد ماتریس نرمال را به توان وزن معیارها رساند سپس از اعداد ماتریس حاصل جمع سطری گرفت. نتایج به ترتیب در جداول ۱۲ و۱۳ آورده شده است.

جدول۱۱: ماتریس نرمال کوکوسو چهار راهبرد.

| | S1 | S2 | ... | T10 | T11 |
|---|---|---|---|---|---|
| SO | (۰.۳۱,۰.۶۵۵,۱) | (۰/۳ , ۰/۶۳۳ , ۰/۹۶۷) | ... | (۰.۳۷۵,۰.۶۸۸,۱) | (۰.۳۲۲,۰.۶۶۱,۱) |
| ST | (۰/۲۴۱ , ۰/۵۸۶ , ۰/۹۳۱) | (۰.۳۳۳,۰.۶۶۷,۱) | ... | (۰,۰.۲۳۴,۰.۵۴۷) | (۰,۰.۲۷۱,۰.۶۱) |
| WO | (۰/۰۳۴ , ۰/۳۱ , ۰/۶۵۵) | (۰/۰۶۷ , ۰/۳۳۳ , ۰/۶۶۷) | ... | (۰/۲۳۴ , ۰/۵۱۶ , ۰/۸۲۸) | (۰/۰۱۷ , ۰/۲۷۱ , ۰/۶۱) |
| WT | (۰,۰.۲۲۴,۰.۵۶۹) | (۰,۰.۲۸۳,۰.۶۱۷) | ... | (۰/۱۰۹ , ۰/۳۲۸ , ۰/۶۴۱) | (۰,۰.۲۷۱,۰.۶۱) |

جدول۱۲: ضرب وزنی چهار راهبرد.

| | S1 | S2 | ... | T10 | T11 | S |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SO | (۰/۰۰۷ , ۰/۰۱۵ , ۰/۰۲۴) | (۰/۰۰۷ , ۰/۰۱۶ , ۰/۰۲۴) | ... | (۰/۰۰۶ , ۰/۰۱ , ۰/۰۱۵) | , ۰/۰۱۶ , ۰/۰۲۵) (۰/۰۰۸) | , ۰/۶۳ , ۰/۹۶۷) (۰/۳۰۶ |
| ST | (۰/۰۰۶ , ۰/۰۱۴ , ۰/۰۲۲) | (۰/۰۰۸ , ۰/۰۱۶ , ۰/۰۲۵) | ... | (۰,۰.۰۰۴,۰.۰۰۸) | (۰,۰.۰۰۷,۰.۰۱۵) | , ۰/۴۴۷ , ۰/۷۸۴) (۰/۱۵۲ |
| WO | (۰/۰۰۱ , ۰/۰۰۷ , ۰/۰۱۵) | (۰/۰۰۲ , ۰/۰۰۸ , ۰/۰۱۶) | ... | (۰/۰۰۴ , ۰/۰۰۸ , ۰/۰۱۳) | (۰,۰.۰۰۷,۰.۰۱۵) | , ۰/۳۵۱ , ۰/۶۸۸) (۰/۰۸ |
| WT | (۰,۰.۰۰۵,۰.۰۱۳) | (۰,۰.۰۰۷,۰.۰۱۵) | ... | (۰/۰۰۲ , ۰/۰۰۵ , ۰/۰۱) | (۰,۰.۰۰۷,۰.۰۱۵) | , ۰/۳۳۴ , ۰/۶۷۱) (۰/۰۷۲ |

جدول۱۳: توان وزنی چهار راهبرد.

| | S1 | S2 | ... | T10 | T11 | P |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SO | (۰.۹۷۳,۰.۹۹,۱) | (۰/۹۷۱ , ۰/۹۸۹ , ۰/۹۹۹) | ... | (۰.۹۸۵,۰.۹۹۴,۱) | (۰.۹۷۲,۰.۹۹,۱) | , ۴۶/۹۶۸) , ۴۶/۵۳۶ (۴۴/۸۵۳ |
| ST | (۰/۹۶۷ , ۰/۹۸۷ , ۰/۹۹۸) | (۰.۹۷۳,۰.۹۹,۱) | ... | (۰,۰.۹۷۸,۰.۹۹۱) | (۰,۰.۹۶۸,۰.۹۸۸) | , ۴۶/۷۳۴) , ۴۶/۱۲۴ (۲۸/۸۲۸ |
| WO | (۰/۹۲۳ , ۰/۹۷۳ , ۰/۹۹) | (۰/۹۳۶ , ۰/۹۷۳ , ۰/۹۹) | ... | (۰/۹۷۸ , ۰/۹۹ , ۰/۹۹۷) | (۰/۹۰۳ , ۰/۹۶۸ , ۰/۹۸۸) | , ۴۶/۶۱۹) , ۴۵/۹۴۲ (۳۴/۱۱۹ |
| WT | (۰,۰.۹۶۵,۰.۹۸۷) | (۰,۰.۹۷,۰.۹۸۸) | ... | (۰/۹۶۷ , ۰/۹۸۳ , ۰/۹۹۳) | (۰,۰.۹۶۸,۰.۹۸۸) | , ۴۶/۵۹۳) , ۴۵/۸۸۴ (۲۶/۷۶۷ |

### ۴-۳-۴- ارزیابی راهبردها بر اساس سه استراتژی

در این گام بر اساس روابط (۱۶)، (۱۷) و (۱۸) نمره ارزیابی راهبردها بر اساس سه استراتژی مشخص می‌شود که نتایج در جدول ۱۴ آورده شده است.

جدول۱۴: امتیاز چهار راهبرد بر اساس استراتژی‌ها.

| نام راهبرد | $K_a$ | $K_b$ | $K_c$ | $K_a$غیرفازی | $K_b$غیرفازی | $K_c$غیرفازی |
|---|---|---|---|---|---|---|
| SO | (۰/۲۳۸ , ۰/۲۵۳ , ۰/۳۵۵) | (۵/۹۰۶ , ۱۰/۴۵۳ , ۱۵/۱۲۱) | (۰.۹۴۲,۰.۹۸۴,۱) | ۰.۲۸۲ | ۱۰.۴۹۳ | ۰.۹۷۵ |
| ST | (۰/۱۵۳ , ۰/۲۵ , ۰/۳۵۲) | (۳/۱۸۳ , ۷/۹۰۸ , ۱۲/۵۸۲) | (۰/۶۰۵ , ۰/۹۷۲ , ۰/۹۹۱) | ۰.۲۵۱ | ۷.۸۹۱ | ۰.۸۵۶ |
| WO | (۰/۱۸ , ۰/۲۴۹ , ۰/۳۵) | (۲/۳۸۶ , ۶/۵۷۴ , ۱۱/۲۵۱) | (۰/۷۱۳ , ۰/۹۶۶ , ۰/۹۸۷) | ۰.۲۵۹ | ۶.۷۳۷ | ۰.۸۸۹ |
| WT | (۰/۱۴۱ , ۰/۲۴۸ , ۰/۳۵) | (۲,۶.۳۳۶,۱۱.۰۱۴) | (۰/۵۶ , ۰/۹۶۴ , ۰/۹۸۶) | ۰.۲۴۶ | ۶.۴۵۰ | ۰.۸۳۷ |

### ۵-۳-۴- امتیاز و رتبه‌نهایی راهبردها

در این گام بر اساس رابطه (۲۰) امتیاز نهایی هر راهبرد محاسبه و بر اساس آن رتبه‌بندی صورت می‌گیرد. نتایج در جدول ۱۵ آورده شده است. با توجه به نتایج، راهبرد SO رتبه اول را کسب کرده است. راهبرد ST رتبه دوم و راهبرد WO رتبه سوم را کسب کرده است.

جدول۱۵: امتیاز و رتبه نهایی چهار راهبرد.

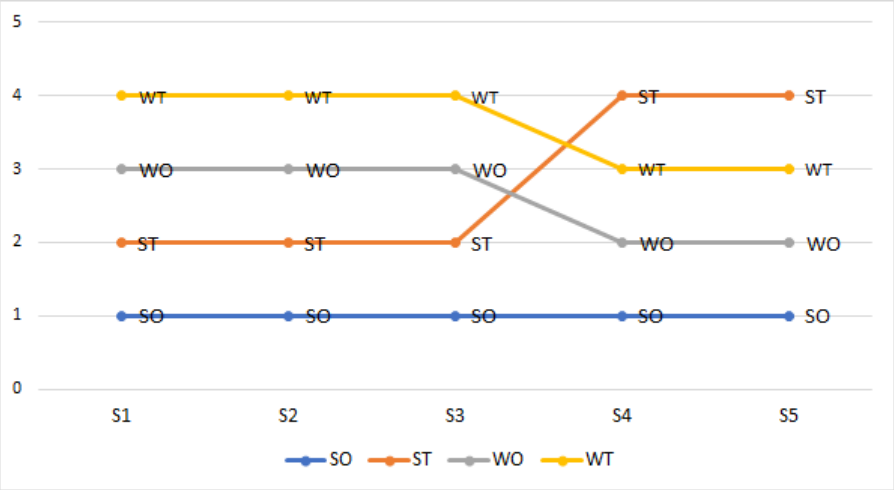
| نام راهبرد | امتیاز نهایی (K) | رتبه |
|---|---|---|
| SO | ۵/۳۴۰ | ۱ |
| ST | ۴/۱۹۲ | ۲ |
| WO | ۳/۷۸۷ | ۳ |
| WT | ۳/۶۱۱ | ۴ |

## ۵-تحلیل حساسیت

در این بخش جهت پایداری رتبه گزینه‌ها تحلیل حساسیت بر اساس تغییرات وزن معیارها و همچنین تحلیل حساسیت بر اساس تغییر روش تجزیه و تحلیل انجام می‌شود. تحلیل حساسیت بر اساس ۵ سناریوی زیر انجام می‌شود.

- سناریوی ۱ (S1)= معیارهای نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدید بر اساس روش فوکام فازی تعیین شد (سناریوی پیش فرض).
- سناریوی ۲ (S2)= وزن معیار قوت بیشترین مقدار (۷۰ درصد) و وزن معیارهای ضعف، فرصت و تهدید ۳۰ درصد.
- سناریوی ۳ (S3)= وزن معیار ضعف بیشترین مقدار (۷۰ درصد) و وزن معیارهای قوت، فرصت و تهدید ۳۰ درصد.
- سناریوی ۴ (S4)= وزن معیار فرصت بیشترین مقدار (۷۰ درصد) و وزن معیارهای قوت، ضعف و تهدید ۳۰ درصد.
- سناریوی ۵ (S5)= وزن معیار تهدید بیشترین مقدار (۷۰ درصد) و وزن معیارهای قوت، ضعف و فرصت ۳۰ درصد.

نتایج تحلیل حساسیت در شکل ۲ آورده شده است که استراتژی SO رتبه اول را کسب کرده است. مابقی استراتژی‌ها تنها در دو سناریوی ۳ و ۴ تغییرات جزیی داشته‌اند.




**شکل۲: تحلیل حساسیت بر اساس ۴ استراتژی.**

در ادامه، نتایج تحلیل حساسیت شکل ۱، براساس ۴ استراتژی ارائه شده است:

۱) پایداری استراتژیSO : استراتژی SO (نقاط قوت + فرصت‌ها) در تمام سناریوها رتبه اول را حفظ کرده است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این استراتژی در برابر تغییرات وزن معیارها بسیار پایدار و مناسب‌ترین انتخاب کلی است.

۲) تغییر در رتبه سایر استراتژی‌ها:

- تنها در سناریوی S3 و S4 شاهد تغییر در رتبه سایر استراتژی‌ها مشاهده می‌گردد.
- در S3 ، WTبه جایگاه سوم می‌رسد و WO به چهارم نزول می‌کند.
- در S4 ، WTبه جایگاه دوم صعود می‌کند و ST به سوم نزول می‌کند.

۳) پایداری نسبی سایر استراتژی‌ها:

- ST تقریباً در بیشتر سناریوها رتبه دوم را دارد، به‌جز در S4 که WT جای آن را می‌گیرد.
- WO در دو سناریو رتبه سوم و در دو سناریو رتبه چهارم دارد.
- WT تنها در S3 و S4 به رتبه‌های بالاتر می‌رسد.

۴) جمع‌بندی نهایی: با توجه به تحلیل حساسیت میتوان جمع‌بندی نمود که:

- SO بهترین و پایدارترین استراتژی پیشنهادی است.
- ST نیز در بیشتر شرایط عملکرد مناسبی دارد.
- در شرایط خاصی که معیار ضعف یا فرصت اهمیت بیشتری دارند (S3, S4) باید به WT نیز توجه کرد.
- WO کم‌اثرترین استراتژی در سناریوهای حساس به ضعف یا فرصت است.

در ادامه با استفاده از دو روش تاپسیس فازی [۳۲] و SAW فازی [۳۳] به اعتبارسنجی نتایج پژوهش پرداخته می‌شود. نتایج نهایی در جدول ۱۶ آورده شده است که نشان می‌دهد رتبه‌بندی این دو روش دقیقا با رتبه‌بندی روش کوکوسو پژوهش در یک راستا می‌باشد.

**جدول۱۶: مقایسه رتبه‌ها در ۴ استراتژی.**

| SAW | TOPSIS | COCOSO | |
|---|---|---|---|
| ۱ | ۱ | ۱ | **SO** |
| ۴ | ۴ | ۴ | **ST** |
| ۲ | ۲ | ۲ | **WO** |
| ۳ | ۳ | ۳ | **WT** |

همان‌طور که در جدول ۱۶ مشاهده می‌شود، رتبه‌بندی نهایی استراتژی‌ها در هر سه روش کاملاً **منطبق و پایدار** است و این مسأله بیانگر پایداری و روایی مناسب نتایج حاصل از روش پیشنهادی است. به‌عبارت دیگر، روش کوکوسو توانسته است رتبه‌هایی تولید کند که با نتایج حاصل از روش‌های رایج و پذیرفته‌شده در ادبیات تصمیم‌گیری فازی سازگار باشد. از منظر نظری نیز، دلایل انتخاب رویکرد ترکیبی پیشنهادی به شرح زیر است:

- استفاده از دلفی فازی به‌منظور جمع‌بندی نظرات خبرگان در شرایط عدم قطعیت و از قضاوت‌های ذهنی؛
- بهره‌گیری از فوکام فازی به دلیل نرخ ناسازگاری پایین، تعداد کمتر مقایسه‌ها نسبت به روش‌هایی چون فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[1] (AHP)، روش بهترین- بدترین[2] و ثبات بیشتر در وزن‌دهی معیارها؛
- به‌کارگیری کوکوسو به عنوان روشی تلفیقی که مزایای برخی روش‌های‌تصمیم‌گیری را در خود دارد و توانایی تفکیک گزینه‌های نزدیک را داراست.

در مجموع، ترکیب به‌کاررفته در این پژوهش ضمن برخورداری از پشتوانه نظری قوی، در ارزیابی تجربی نیز نتایجی پایدار، معتبر و هم‌راستا با سایر روش‌های مرجع ارائه داده است و می‌تواند به‌عنوان الگویی مناسب در تصمیم‌گیری استراتژیک در پروژه‌های ساخت‌وساز مورد استفاده قرار گیرد.

## ۶-نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر، به‌منظور ارزیابی استراتژی‌های پذیرش فناوری هوشمند در صنعت ساخت شهری با ارائه یک مدل جدید SWOT- MCDM در شرایط عدم قطعیت صورت گرفت. بدین منظور، ارزیابی استراتژی‌های پذیرش فناوری هوشمند در صنعت ساخت‌وساز شهری، به‌ویژه از طریق SWOT-MCDM در شرایط عدم قطعیت، تأثیر متقابل پیچیده‌ای از نقاط قوت، ضعف، فرصت‌ها و تهدیدها را نشان می‌دهد. این رویکرد به ذینفعان در تصمیم‌گیری آگاهانه در میان عدم قطعیت‌های ذاتی پذیرش فناوری کمک می‌کند. یافته‌های تحقیق در گام اول منجر به شناسایی عوامل داخلی (قوت – ضعف) و خارجی (فرصت – تهدید) گردید. سپس در ادامه، به تدوین و ارزیابی استراتژی مناسب براساس ترکیب عوامل داخلی و خارجی پرداخته شد. براساس ماتریس اطلاعات ماتریس SWOT چهار نوع استراتژی قابل تدوین و اجرا شد از جمله:

۱) ترکیب نقاط قوت و فرصت‌ها (SO): این استراتژی که به آن استراتژی تهاجمی نیز گفته شد که با استفاده از نقاط قوت موجود از فرصت‌ها استفاده نمود.
۲) ترکیب نقاط قوت و تهدیدها (ST): این استراتژی که به آن استراتژی رقابتی نیز گفته شد از قدرت قوت ها برای کاهش اثرات تهدیدها استفاده نمود.
۳) ترکیب نقاط ضعف و فرصت‌ها (WO): این استراتژی که به آن استراتژی محافظه کارانه نیز گفته شد برای بهره‌مندی از فرصت‌ها توسط عوامل محیطی خارجی با رفع نقاط ضعف استفاده نمود.
۴) ترکیب نقاط ضعف و تهدیدها (WT): این استراتژی که به آن استراتژی کاهشی گفته شد برای کاهش نقاط ضعف و پیشگیری از تهدیدها احتمالی استفاده نمود.

در ادامه، بعد از تدوین استراتژی‌های مناسب و ارائه ماتریس SWOT به وزن‌دهی نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدید و اولویت‌بندی استراتژی‌های پذیرش فناوری هوشمند در صنعت ساخت شهری پرداخته شد. نتایج بررسی روش فوکام فازی نشان داد که برگزاری و اجرای دوره های آموزشی و سمینار در سازمان های نظام مهندسی و شهرداری قم (S10)، اجرای زیرساخت اولیه اتصال سخت‌افزارهای شبکه اینترنت اشیاء (گیتوی Gateway و آنتن‌ها) مبتنی بر پروتکل LoRaWAN در جهت ایجاد چتر لورا در ۵ نقطه سطح شهر قم (S8)، تمایل ( هرچند محدود) مدیران و برنامه ریزان شهری به ساخت هوشمند (S11) به عنوان مهمترین نقاط قوت در پذیرش فناوری هوشمند در

[1] Analytical Hierarchy Process (AHP)
[2] Best-Worst method

صنعت ساخت شهری استان قم هستند. سپس در ادامه، نقاط ضعف، فرصت و تهدید مشخص گردید و نتایج بررسی به ترتیب در جدول ۸ ارائه شد که عدم اولویت هوشمندسازی از سوی خانواده‌های ایرانی رتبه اول را کسب کرده است. بعد از وزن‌دهی به نقاط قوت، ضعف، فرصت و تهدید روش کوکوسو فازی پیاده‌سازی شد و نتایج بررسی نشان داد که راهبرد SO رتبه اول را کسب کرده است. راهبرد ST رتبه دوم و راهبرد WO رتبه سوم را کسب کرده است. بنابراین نتایج ارزیابی نشان شد که استراتژی‌های پذیرش فناوری هوشمند در صنعت ساخت شهری استان قم در وضعیت تهاجمی قرار دارد و با استفاده از نقاط قوت موجود از فرصت‌ها استفاده می‌نماید. در ادامه اجرا و پیاده‌سازی مدل جدید SWOT- MCDM در شرایط عدم قطعیت منجر به نتایج مهم ذیل گردید که در ادامه به ترتیب آورده شده است:

۱) شناسایی راهبردهای بالقوه پذیرش فناوری هوشمند در ساخت شهری استان قم در شرایط فعلی با استفاده از ماتریس SWOT
۲) اهمیت‌سنجی اجرای راهبردهای صنعت یادشده با استفاده از روش FUCOM در شرایط عدم قطعیت
۳) اولویت‌بندی اجرای راهبردهای صنعت یادشده با یک رویکرد ترکیبی توسعه یافته FUCOM- COCOSO در شرایط عدم قطعیت جهت رسیدن به استراتژیهای منعطف
۴) مطلوبیت‌سنجی اجرای راهبردهای منعطف در صنعت ساخت شهری استان قم با رویکرد ترکیبی در شرایط عدم قطعیت
۵) تعیین حد مجاز جایگاه راهبردها در ماتریس SWOT فازی، برای حفظ راهبردهای برتر فعلی پذیرش فناوری هوشمند در ساخت شهری استان قم و تعیین راهبردهای منعطف و جایگزین بالقوه در صورت تغییرات احتمالی آینده

## ۷-مراجع


[1] Habib, A., Alsmadi, D., & Prybutok, V. R. (2020). Factors that determine residents' acceptance of smart city technologies. *Behaviour & Information Technology,* 39(6), 610-623. (In Persian)

[2] Fallahi, A., faraji, A., & gharibi, A. (2021). Analysis of Key Barriers to theUse of the Internet of Things in Iranian Smart Cities (Structural Analysis Method). *Business Intelligence Management Studies*, *10*(38), 137-171. doi: 10.22054/ims.2021.63159.2037

[3] Ageed, Z. S., Zeebaree, S. R., Sadeeq, M. M., Kak, S. F., Rashid, Z. N., Salih, A. A., & Abdullah, W. M. (2021). A survey of data mining implementation in smart city applications. *Qubahan Academic Journal*, 1(2), 91-99.

[4] Gharibi, A., & Moghtaderi, F. (2021). *Smart transformation in Iran (Part 1).*

[5] Ellsmoor, J. (2019). *Smart cities: the future of urban development*. Forbes, May.

[6] Attoue, N., Shahrour, I., & Younes, R. (2018). Smart building: Use of the artificial neural network approach for indoor temperature forecasting. *Energies*, 11(2), 395.

[7] Balta-Ozkan, N., Davidson, R., Bicket, M., & Whitmarsh, L. (2013). Social barriers to the adoption of smart homes. *Energy policy*, *63*, 363-374.

[8] Nazmfar, H., eshgheichaharborj, A., & Esmaeili, A. (2018). Analysis of Urban Growth Indicators in Urmia. *Journal of Urban Ecology Researches*, *9*(17), 35-48. (In Persian)

[9] Karimi, Sh., Khameneh, A. H. (2022). A review of the barriers and challenges of adopting smart technology in project management processes. *The Fifth International Conference and the Sixth National Conference on Civil Engineering, Architecture, Art and Urban Design.* (In Persian)

[10] Apanaviciene, R., Vanagas, A., & Fokaides, P. A. (2020). Smart building integration into a smart city (SBISC): Development of a new evaluation framework. *Energies*, *13*(9), 2190.

[11] Shaikh, P. H., Nor, N. B. M., Nallagownden, P., Elamvazuthi, I., & Ibrahim, T. (2014). A review on optimized control systems for building energy and comfort management of smart sustainable buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *34*, 409-429.

[12] Hwang, B. G., Ngo, J., & Teo, J. Z. K. (2022). Challenges and strategies for the adoption of smart technologies in the construction industry: The case of Singapore. *Journal of Management in Engineering*, *38*(1), 05021014.

[13] Sepasgozar, S. M., Loosemore, M., & Davis, S. R. (2016). Conceptualising information and equipment technology adoption in construction: A critical review of existing research. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 23(2), 158-176.

[14] Byun, J., Kim, S., Sa, J., Kim, S., Shin, Y. T., & Kim, J. B. (2016). Smart city implementation models based on IoT technology. *Advanced Science and Technology Letters*, 129(41), 209-212.

[15] Gumbi, L., & Twinomurinzi, H. (2025). SMME readiness framework for smart manufacturing adoption using critical realism: Knowledge and construction phase. Journal of Innovation & Knowledge, 10(2), 100665.

[16] Shah, S., Hussain Madni, S. H., Hashim, S. Z. B. M., Ali, J., & Faheem, M. (2024). Factors influencing the adoption of industrial internet of things for the manufacturing and production small and medium enterprises in developing countries. IET Collaborative Intelligent Manufacturing, 6(1), e12093.
[17] Kissi, E., Aigbavboa, C., & Kuoribo, E. (2023). Emerging technologies in the construction industry: challenges and strategies in Ghana. *Construction Innovation*, 23(2), 383-405.
[18] Ejidike, C. C., & Mewomo, M. C. (2023). Benefits of adopting smart building technologies in building
[19] Zhu, H., Hwang, B. G., Ngo, J., & Tan, J. P. S. (2022). Applications of smart technologies in construction project management. *Journal of Construction Engineering and Management*, 148(4), 04022010
[20] Dixon, L. R., & Umeokafor, N. (2021). Determinants of smart technology adoption in the construction phase of projects: a scoping study of the United Kingdom. *Proceedings of the Construction Business and Project Management Conference: Conceptualising challenges and opportunities in the construction industry. 24 - 25 JUNE 2021 UCT Graduate School of Business, Academic Conference Centre Cape Town,* South Africa
[21] Ngo, J., Hwang, B. G., & Teo, J. (2021, October). Impact of smart technologies on construction projects: Improvements in project performance. *In Proc. of the Conference CIB W78 (Vol. 2021, pp. 11-15).*
[22] Ghansah, F. A., Owusu-Manu, D. G., & Ayarkwa, J. (2021). Project management processes in the adoption of smart building technologies: a systematic review of constraints. Smart and Sustainable Built Environment, 10(2), 208-226.
[23] Ocampo, L. (2022). Full consistency method (FUCOM) and weighted sum under fuzzy information for evaluating the sustainability of farm tourism sites. *Soft Computing*, *26*(22), 12481-12508
[24] Demir, G., Damjanović, M., Matović, B., & Vujadinović, R. (2022). Toward sustainable urban mobility by using fuzzy-FUCOM and fuzzy-CoCoSo methods: the case of the SUMP podgorica. *Sustainability*, *14*(9), 4972.
[25] Okoli, C., & Pawlowski, S. D. (2004). The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications. *Information & management*, *42*(1), 15-29.
[26] Houshang Bashartian, Behrouz Gorji, Maryam Naraghi (2019). Towards the Municipality and Smart City of Qom. Qom Province, https://www.qom.ir/uploads/media/files/report-map-smart-qom.pdf
[27] Yarahmadi, M., Mirhoseini, M., Komasi, M., & Ehsanifar, M. (2023). The Factors Affecting Human Resources Productivity in Urban Construction Projects A Comparison of Relative Importance Index and Fuzzy Logic Methods. *Fuzzy Optimization and Modeling Journal (FOMJ)*, *4*(3), 54-71.
[28] Moradpour, N., Pourahmad, A., Ziari, K., Hataminejad, H., & Sharifi, A. (2024). Downscaling urban resilience assessment: A spatiotemporal analysis of urban blocks using the fuzzy Delphi method and K-means clustering. *Building and Environment*, *263*, 111898.
[29] Habibi, A., Jahantigh, F. F., & Sarafrazi, A. (2015). Fuzzy Delphi technique for forecasting and screening items. *Asian Journal of Research in Business Economics and Management*, *5*(2), 130-143.
[30] Amirali Seifuddin Asl, Fatemeh Saghafi and Mohammad Mehdi Zolfagharzadeh. Extracting key indicators of research development using the Ishikawa Fuzzy Delphi method for the healthcare sector. 2016: 81 (25). 5-26.
[31] Saadabadi, Ali Asghar; Gholamreza Taleghani and Armin Golchin, 2013, Identifying and investigating obstacles to teamwork in knowledge-based organizations and science and technology parks with a fuzzy approach, Quarterly Journal of Government Organization Management 1 (3).
[32] Gupta, H., & Barua, M. K. (2018). A framework to overcome barriers to green innovation in SMEs using BWM and Fuzzy TOPSIS. *Science of the Total Environment*, *633*, 122-139.
[33] Lestari, P. F. I., Prabowo, T. T., & Utomo, W. M. (2020). The effectiveness of fuzzy-SAW method for the selection of new student admissions in vocational high school. *Lett. Inf. Technol. Educ*, *3*(1), 18-22.