Comparative Utilization of Blockchain-Based Consensus Algorithms in the Digital Economy for Achieving Elite Consensus in Strategic Urban Planning

Theoretical and Fundamental

Sanaz Saeidi Mofrad[1], Hadi Farhangdoust[2*]

1- Associated professor, Department of Urbanism, Ma.C., Islamic Azad University, Mashhad, Iran
2- Master of Islamic Architecture, Department of Islamic Art and Architecture, Faculty of Islamic Art and Architecture, Imam Reza International University, Mashhad, Iran

ARTICLE INFO

Article History

Received: 2025-05-21
Revised: 2025-07-30
Accepted: 2025-08-09

Keywords

Consensus Models
Consensus Process
Data-Driven Methods
Distributed Decision-Making
Elite Participation

ABSTRACT

Introduction

The increasing complexity of decision-making processes necessitates a more structured and data-driven approach in urban planning. Traditionally, urban planning decisions have been centralized, with limited input from relevant experts, leading to suboptimal decisions that may not reflect urban environments' dynamic and multi-dimensional nature. This research addresses the critical need for sustainable environmental interventions from consultation-based decision-making processes with urban elites. The key challenge highlighted in this study is the shift from centralized decision-making to a more inclusive, evidence-based, decentralized consensus-building framework that continuously and sustainably integrates expert knowledge.

The central aim of this study is to explore the potential of blockchain-based consensus algorithms in enhancing the effectiveness of decision-making in strategic urban planning. The goal is to identify how these data-driven, decentralized systems can be adapted to the unique needs of urban planning processes that rely heavily on expert consensus, especially when addressing complex urban challenges. Specifically, the research investigates the adaptability of blockchain consensus mechanisms as the origin framework (source context), compared to the expert-based consensus mechanisms employed in urban planning, which serve as the target context. This comparative approach is essential to determine whether blockchain's systematic data validation can be integrated into urban planning's diverse and environmental data, ensuring decision-making is not only data-driven but also contextually sensitive.

The necessity of this research arises from the pressing need to move away from centralized urban decision-making, which often neglects the diverse perspectives of urban elites and experts. In many urban governance models, a top-down approach fails to consider the varying complexities of urban spaces, leading to policies ill-suited to local conditions. Given the high costs and long-term implications of urban planning decisions, there is an urgent need for a methodological shift that fosters transparency, accountability, and adaptability. Blockchain offers a promising avenue by facilitating a distributed decision-making framework that could potentially resolve these issues, providing a more effective way to ensure sustainable urban interventions and long-term city resilience.

* Corresponding author: h.farhangdoust@imamreza.ac.ir

Materials and Methods

Methodologically, the research employs a comparative analysis to assess the potential compatibility between blockchain-based consensus algorithms and expert-based urban planning mechanisms. The study follows a structured approach by first identifying the core capabilities of both the blockchain and urban planning consensus processes. This leads to identifying three structural equations reflecting the consensus processes in the blockchain and urban planning contexts. These equations serve as the basis for understanding the relationships between different factors and their role in achieving consensus within each system. Subsequently, the research investigates the validity and relevance of these structural equations to ensure their applicability in real-world scenarios. Through this process, the study identifies key factors crucial to bridging the gap between these two distinct approaches.

As the study progresses, it focuses on reducing the complexity of integrating these systems by employing De Morgan's laws, which facilitate the identification of necessary and sufficient conditions within the consensus-building process. These conditions help define the essential components that must be present for a successful alignment between blockchain and urban planning mechanisms. The research then presents a simplified version of the general structural equation, further refining it to enhance precision and applicability. Developing twenty distinct scenarios based on the relationships between these necessary and sufficient conditions allows for exploring various urban planning contexts, ensuring that the proposed model can be adjusted to suit different urban environments.

A key contribution of this study is the formulation of an adaptable consensus equation, which includes an initial constraint coefficient (λ) and environmental adjustment factors (μ). These components allow for the flexibility required to adjust the model to the specific conditions of various urban contexts. This adaptable equation reflects the unique environmental factors influencing urban planning and the need for a tailored approach in each decision-making process. By introducing these adjustment factors, the model emphasizes the importance of considering local conditions in urban planning decisions, thereby improving the overall transparency and responsiveness of the decision-making process.

The results of this research underscore the importance of integrating blockchain technology into the decision-making process in urban planning. The adaptability of blockchain-based consensus models ensures that urban planning decisions are grounded in data and responsive to urban environments' changing needs and conditions. By incorporating expert insights and environmental data, this model offers a more flexible, dynamic, and efficient framework for urban governance. Furthermore, the research highlights the need for ongoing consultations with urban elites, ensuring that urban planning decisions are continually refined and improved in line with emerging challenges and opportunities.

Findings

Ultimately, the findings of this study provide valuable insights into the potential applications of blockchain in urban planning, particularly in creating more transparent, accountable, and data-driven decision-making processes. The implications of these findings extend beyond theoretical frameworks, offering practical tools for urban planners and decision-makers who seek to integrate new technologies into their governance models. The proposed adaptable consensus equation can serve as a standard tool for enhancing decision-making in urban planning, improving the quality of decisions, and ensuring that urban interventions are both sustainable and effective in addressing the complexities of modern cities.

Conclusion

This research contributes significantly to the field by bridging the gap between blockchain technology and urban planning decision-making. It offers a novel perspective on how decentralized systems can enhance consensus-building and provides a comprehensive methodology for integrating these systems into urban governance. The proposed model has the potential to reshape how cities approach planning, making the process more inclusive, transparent, and adaptable to the ever-changing urban landscape.

COPYRIGHTS

©2022 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Saeidi Mofrad S. Farhangdoust H. Comparative Utilization of Blockchain-Based Consensus Algorithms in the Digital Economy for Achieving Elite Consensus in Strategic Urban Planning. Urban Economics and Planning Vol 6(3):196-239. [In Persian]

DOI: 10.22034/UEP.2025.525325.1648

بهره‌گیری تطبیقی از الگوریتم‌های اجماع‌سازی مبتنی بر بلاک‌چین در اقتصاد دیجیتال، برای ایجاد اجماع نظر نخبگانی در شهرسازی راهبردی

نظری و بنیادین

ساناز سعیدی مفرد[۱]؛ هادی فرهنگ‌دوست[۲*]

۱- دانشیار گروه شهرسازی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران
۲- کارشناس ارشد معماری اسلامی، گروه هنر و معماری اسلامی، دانشکدهٔ هنر و معماری اسلامی، دانشگاه بین‌المللی امام رضا(ع)، مشهد، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ‌های مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۳۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۸

کلمات کلیدی

تصمیم‌گیری توزیع‌شده
روش‌های داده‌محور
فرایند اجماع
مدل‌های اجماع‌سازی
مشارکت نخبگان

چکیده

مقدمه

در حوزهٔ شهرسازی، پیچیدگی فزایندهٔ فرایندهای تصمیم‌گیری، نیازمند رویکردی ساختاریافته و مبتنی بر داده است. تصمیمات شهرسازی به طور سنتی به صورت متمرکز اتخاذ شده‌اند، که این امر منجر به تصمیماتی شده است که بازتاب‌دهندهٔ پویایی‌های چندبعدی محیط‌های شهری نیستند. این پژوهش، نیاز حیاتی به مداخلات پایدار محیطی را که از فرایندهای تصمیم‌سازی مشورتی با نخبگان شهری ناشی می‌شود، بررسی می‌کند. چالش اساسی که در این مطالعه به آن پرداخته شده، گذار از تصمیم‌گیری متمرکز به یک چهارچوب اجماع‌سازی جامع، مبتنی بر داده و توزیع‌شده است که به ادغام مستمر دانش نخبگان در فرایند تصمیم‌سازی می‌پردازد.

هدف محوری این پژوهش، بررسی قابلیت‌های الگوریتم‌های اجماع‌سازی مبتنی بر بلاک‌چین در بهبود فرایند تصمیم‌گیری در شهرسازی راهبردی است. این پژوهش تلاش می‌کند تا دریابد که چگونه این سیستم‌های داده‌محور و غیرمتمرکز می‌توانند برای پاسخ‌گویی به نیازهای خاص فرایندهای شهرسازی که بر اجماع نخبگان متکی هستند، سازگار شوند. به طور خاص، این پژوهش به مقایسهٔ سازگاری مکانیزم‌های اجماع بلاک‌چین به عنوان چهارچوب مبدأ (بستر اولیه) با مکانیزم‌های اجماع‌سازی نخبگان شهری به عنوان چهارچوب مقصد (بستر هدف) می‌پردازد. این رویکرد تطبیقی، برای بررسی امکان ادغام سیستماتیک صحت‌سنجی داده‌محور بلاک‌چین با داده‌های متنوع و محیطی شهرسازی ضروری است، به گونه‌ای که فرایند تصمیم‌گیری علاوه بر اتکا بر داده‌ها، به زمینه نیز حساس باشد.

ضرورت این پژوهش از نیاز فزاینده به گذار از تصمیم‌گیری‌های شهری متمرکز، که اغلب دیدگاه‌های متنوع نخبگان شهری را نادیده می‌گیرد، نشئت می‌گیرد. بسیاری از مدل‌های حکمرانی شهری که بر رویکردهای بالا به پایین متکی هستند، قادر به در نظر گرفتن پیچیدگی‌های متنوع فضاهای شهری نیستند و در نتیجه، به سیاست‌هایی منجر می‌شوند که متناسب با شرایط محلی طراحی نشده‌اند. با توجه به هزینه‌های بالای اصلاح و پیامدهای بلندمدت تصمیمات شهری، تغییر رویکردی که موجب افزایش شفافیت، پاسخ‌گویی و انعطاف‌پذیری شود، ضروری است. فناوری بلاک‌چین، با ارائهٔ چهارچوبی برای تصمیم‌گیری توزیع‌شده، می‌تواند این مشکلات را حل کند و شیوه‌ای اثربخش‌تر برای ایجاد مداخلات پایدار و ارتقای تاب‌آوری شهری ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش از یک روش تحلیلی تطبیقی بهره می‌گیرد تا امکان سازگاری بین الگوریتم‌های اجماع‌سازی بلاک‌چینی و مکانیزم‌های اجماع‌سازی در شهرسازی را ارزیابی کند. رویکرد پژوهش، ابتدا به شناسایی توانمندی‌های کلیدی هر دو بستر اجماع می‌پردازد. در مرحلهٔ بعد، سه معادلهٔ ساختاری که

* نویسندهٔ مسئول: h.farhangdoust@imamreza.ac.ir

بازتاب‌دهندۀ فرایندهای اجماع در هر دو حوزه هستند، استخراج شده‌اند. این معادلات به عنوان چهارچوبی برای درک روابط بین عوامل کلیدی و نقش آن‌ها در دستیابی به اجماع عمل می‌کنند. سپس، اعتبار این معادلات ساختاری برای کاربردهای واقعی ارزیابی شده و عوامل کلیدی که در همگرایی این دو سیستم ضروری هستند، شناسایی شده‌اند.

در ادامه، برای کاهش پیچیدگی فرایند ادغام این دو سیستم، از قوانین دمورگان استفاده شده است تا شرایط لازم و کافی در فرایند اجماع‌سازی به حداقل ترکیب‌های ممکن تقلیل یابد. این گام، موجب شفاف‌سازی مؤلفه‌های ضروری برای موفقیت مکانیزم تطبیقی پیشنهادی می‌شود. سپس، معادلۀ کلی به‌دست‌آمده با هدف ساده‌سازی و افزایش دقت در مدل‌سازی اصلاح شده است. تدوین ۲۰ سناریوی متفاوت بر مبنای روابط بین این شرایط لازم و کافی، امکان بررسی طیف وسیعی از بسترهای شهری را فراهم کرده و نشان داده است که مدل پیشنهادی، قابلیت انطباق با محیط‌های شهری گوناگون را دارد.

یکی از دستاوردهای مهم این پژوهش، تدوین یک معادلۀ اجماع‌سازی تطبیقی است که شامل یک ضریب الزام اولیه (λ) و ضرایب تعدیل‌کننده محیطی (μ) می‌شود. این ضرایب، امکان تنظیم مدل نسبت به شرایط محیطی مختلف را فراهم کرده و قابلیت انعطاف‌پذیری مورد نیاز را برای پاسخ‌گویی به مقتضیات خاص هر فضای شهری تأمین می‌کنند. معادلۀ پیشنهادی، بر اهمیت شرایط محیطی در تصمیمات شهرسازی تأکید داشته و نقش قابل توجهی در افزایش شفافیت و انطباق‌پذیری فرایند تصمیم‌سازی ایفا می‌کند.

یافته‌ها

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد بهره‌گیری از فناوری بلاک‌چین در فرایند تصمیم‌گیری شهرسازی می‌تواند به بهبود کارایی و دقت در تصمیمات منجر شود. مکانیزم‌های اجماع مبتنی بر بلاک‌چین، این امکان را فراهم می‌کنند که تصمیمات شهری علاوه بر اتکا بر داده‌های محیطی، همواره قابل تنظیم و تطبیق با شرایط متغیر شهرها باشند. از طریق ادغام بینش‌های نخبگان و داده‌های محیطی، مدل پیشنهادی می‌تواند به ایجاد یک چهارچوب تصمیم‌گیری کارآمدتر، منعطف‌تر و پویاتر در حکمرانی شهری کمک کند. افزون بر این، یافته‌ها بر اهمیت استمرار مشورت با نخبگان شهری تأکید دارند، به گونه‌ای که تصمیمات شهرسازی به صورت پویا، متناسب با چالش‌ها و فرصت‌های نوظهور تنظیم شوند.

در نهایت، نتایج این پژوهش دارای دلالت‌های مهمی برای استفاده از بلاک‌چین در حکمرانی شهری هستند، به‌ویژه در زمینۀ ایجاد فرایندهای تصمیم‌گیری شفاف، پاسخ‌گو و مبتنی بر داده. این یافته‌ها، نه‌تنها یک چهارچوب نظری نوین را برای تلفیق سیستم‌های غیرمتمرکز با مکانیزم‌های تصمیم‌سازی شهری ارائه می‌دهند، بلکه ابزارهای عملیاتی مورد نیاز را برای مدیران و برنامه‌ریزان شهری فراهم می‌کنند تا بتوانند فناوری‌های نوین را در مدل‌های حکمرانی خود ادغام کنند. معادلۀ اجماع‌سازی تطبیقی پیشنهادی، می‌تواند به عنوان یک ابزار استاندارد برای بهبود فرایندهای تصمیم‌گیری در شهرسازی به کار گرفته شود و از این طریق، کیفیت تصمیمات شهری را ارتقا دهد و در نهایت، مداخلات شهری را در جهت پاسخ‌گویی به پیچیدگی‌های شهرهای مدرن کارآمدتر و پایدارتر سازد.

نتیجه‌گیری

این پژوهش، با پیوند دادن فناوری بلاک‌چین و فرایند تصمیم‌سازی در شهرسازی، به طور قابل توجهی در این حوزۀ علمی نوآوری ایجاد کرده است. مدل پیشنهادی، نه‌تنها رویکردی جدید را برای ارتقای اجماع‌سازی غیرمتمرکز ارائه می‌کند، بلکه یک روش‌شناسی جامع برای تلفیق این رویکردها در سیستم‌های حکمرانی شهری ارائه می‌دهد. این مدل، می‌تواند شیوۀ برنامه‌ریزی شهری را متحول کرده و آن را به فرایندی شفاف‌تر، جامع‌تر و سازگارتر با محیط‌های پیچیده و پویای شهری تبدیل کند.

مقدمه

شهرسازی راهبردی، رویه‌ای برآمده از فرایندگرایی دوران پسانوگرایی است که رویه‌های تصمیم‌گیری را به سمت همه‌جانبه‌نگری در موضوعات شهری سوق داده است. بر همین‌اساس، بسترسازی برای تضارب آرا در تصمیم‌گیری‌ها شهری، یکی از پیش‌نیازهای کاهش آزمون و خطا، و افزایش دقت محسوب می‌شود. به صورتی که علاوه بر مشاهدات میدانی مسئولان و سامانه‌های روابط عمومی، نیاز به حضور نخبگان شهری در فرایندهای تصمیم سازی به عنوان پشتوانه‌های فکری تصمیمات راهبردی مسئولان، یکی از روش‌های مهم در قابلیت اجرایی تصمیمات با حداقل هزینهٔ اجرایی و حداکثر برآورده‌سازی نیازها، شناخته شده است.

در این بین، مسئله ایجاد اجماع نظر بین نخبگان، با توجه به تنوع موضوعات شهری، همچنین تعدد رشته‌های علمی مورد نیاز برای بیان و حل مسئله، موجب ایجاد نیاز به سازوکارهایی شده است که به صورت علمی بتواند این نظرات را دسته‌بندی، و نسبت هدف و موضوع اجماع‌سازی، با فرایندی داده‌محور و مبتنی بر شواهد، ارتباط‌سنجی کند. شباهت این بستر و فرایند مد نظر بر دستیابی به اجماع در آن، با الگوریتم اجماع (Consensus Algorithm) در اقتصادی دیجیتال، از جنبهٔ فرایندی، در حد بالا ای است، زیرا اجماع در اقتصاد دیجیتال، به منظور رسیدن به توافق به صورت غیرمتمرکز و مبتنی بر داده‌های مشهود، در مورد وضعیت و اطلاعات دفتر کل[1] توزیع‌شده (DLT)[2]، توسط سیستم‌های بلاک‌چین (Blockchain) ایجاد می‌شود. همچنین، کاربردها و ویژگی الگوریتم اجماع بلاک‌چینی، باعث شده که معمولاً در شبکه‌هایی همچون رمزارزها پیاده‌سازی می‌شود که فرایندها و کاربران زیادی را، مشابه با نخبگانِ مورد مشورت در شهرسازی راهبردی، در بر دارند. از سویی دیگر، یک مکانیزم اجماع بلاک‌چین‌ای در اقتصاد دیجیتال، به‌مراتب از اعتبارسنج‌ها و حساب‌رسان انسانی، برای تعیین اعتبار و پایایی ارزش رمزارزها، سریع‌تر و بهینه‌تر عمل می‌کند. پس می‌توان انتظار داشت در اجماع نظرسازی نخبگان شهری نیز تعیین اعتبار و وزن‌دهی به نظرات نخبگان، به صورت داده‌محور، قابل پایش و نسبت به موضوع مورد اجماع، منعطف باشد.

پژوهش حاضر یک زمینهٔ نوین تحقیقاتی را مطرح و تلاش دارد تا امکان استفاده از ساختارهای اجماع مبتنی بر بلاک‌چین را، در روش‌های اجماع نخبگان شهری، به واسطهٔ شباهت زمینه هر دو بخش در، داده‌محوری و غیر متمرکز بودن داده‌های مد نظر برای اجماع‌سازی (Dyer & et al, 2024)، بررسی کرده و ظرفیت‌های اجماع‌سازی را در این بستر جدید، مبتنی بر روش‌شناسی، تحلیل کند. به بیانی دیگر، پژوهش حاضر بر پایهٔ یک ایده و فرض شکل گرفته است که به بررسی فرایندهای اجماع‌سازی بلاک‌چین نه از منظر فنی، بلکه از منظر روش‌شناسی داده‌محور پرداخته و تلاش کند تا مدل‌های اجماع غیرمتمرکز را در چهارچوبی تطبیقی تحلیل کند و بسنجد که آیا این مدل‌ها می‌توانند در فرایندهای شهرسازی راهبردی شهری نیز موجب اجماع‌سازی در نظرات نخبگان در صورت شواهدمحور بودن نظرات آن‌ها شوند؟

بررسی خلأ مطالعاتی این ایده نشان می‌دهد اگر چه به صورت کلی و در زمینهٔ پایداری شهری، مورد بررسی کلی قرار گرفته (Rida, 2024)، ولی به صورت کلی بیشتر تحقیقات پیشین دربارهٔ بلاک‌چین، بر ابعاد فنی، رمزنگاری و امنیت و در حوزه‌های شفافیت اقتصاد دیجیتال و امنیت فضای سایبری آن متمرکز بوده‌اند. اما توسعهٔ فناوری‌های نوین در تحلیل داده‌های شهری، هوش مصنوعی و شبکه‌های بلاک‌چین باعث شده است که نیاز به بازتعریف روش‌های اجماع‌سازی اجتناب‌ناپذیر باشد (Singh, Sajid, Gupta, & Haidri, 2022). بنابراین، فرض گرفتن مدل‌های سنتی به عنوان رویکردهای قطعی، مانع از توسعهٔ بین‌رشته‌ای در این زمینه می‌شود.

در حالی که در حوزهٔ مد نظر این پژوهش، نیاز به تمرکززدایی از کانون‌های تصمیم‌گیری با اتکا به نظرات مشورتی نخبگان (Sharma, 2020)، ایده این پژوهش را به سمت تطبیق عینی ظرفیت این ابزارهای بیان مسئله الگوریتمیک، برای اجماع‌سازی در شهرسازی راهبردی شهری سوق داده، که در نهایت، یافته‌ها و نتایجی دارد که در حیطهٔ مدیریت رفتار سازمانی، برای ساختار بخشی به فرایند اجماع‌سازی، به عنوان یک رویه قابل تصویب و قانونی‌سازی می‌نگرد. بر این‌اساس، می‌توان گفت که برای ارائهٔ مدلی که بتواند انعطاف‌پذیری را در کنار دقت داده‌محور ایجاد کند، نخست توجه به مصداق‌های عملی برای استفادهٔ تطبیقی از ظرفیت‌های الگوریتم‌های اجماع‌سازی بلاک‌چینی در اجماع‌سازی نظرات نخبگان، است که شامل ارکان تطبیق زیر است:

بستر (رکن) مبدأ: تعیین الگوریتم‌های اجماع‌سازی بلاک‌چینی به صورتی که شیوهٔ کار با داده‌های اجماع‌سازی‌اش، قابلیت استفاده در بستر مقصد را نیز داشته باشد.

بستر (رکن) مقصد: تعیین الگوریتم‌های اجماع‌سازی نظرات نخبگان در شهرسازی راهبردی به صورتی که دارای روشی مشابه به حداقل یکی از الگوریتم‌های بلاک‌چینی برای اجماع‌سازی نظرات نخبگان در شهرسازی راهبردی باشند.

بر این‌اساس، هدف اصلی این پژوهش بررسی امکان‌سنجی تطبیق الگوریتم‌های اجماع‌سازی مبتنی بر بلاک‌چین با فرایندهای اجماع‌سازی نخبگان در شهرسازی راهبردی است. این هدف از آن جهت دارای اهمیت است که می‌تواند به بهبود روش‌های تصمیم‌گیری جمعی و تقویت قابلیت تحلیل داده‌محور (Li, Li, & Kou, 2022) در نظام‌های شهرسازی کمک کند. بر این‌اساس، سؤالات اصلی مد نظر این پژوهش، شامل موارد زیر است:

۱. زمینهٔ به‌کارگیری روش‌های اجماع بلاک‌چینی چه اشتراکاتی با زمینهٔ به‌کارگیری روش‌های اجماع‌سازی نظرات نخبگان در شهرسازی راهبردی شهری دارد؟ (جدول ۶)

۲. چه میزان از ظرفیت‌های اجماع‌سازی به صورت بالفعل و بدون نیاز به تغییر در الگوریتم‌های اجماع بلاک‌چینی، قابلیت استفاده در فرایند اجماع‌سازی نظرات نخبگان در شهرسازی راهبردی شهری را دارد؟ (جدول ۱۲)

۳. چه میزان از ظرفیت‌های اجماع‌سازی به صورت بالقوه و نیازمند به تغییر در الگوریتم‌های اجماع بلاک‌چینی، قابلیت استفاده در فرایند اجماع‌سازی نظرات نخبگان در شهرسازی راهبردی شهری را دارد؟ (جدول ۱۱)

۴. مدل اجماع داده‌های غیر متمرکز در شهرسازی راهبردی شهری، بر اساس استفاده از ظرفیت‌های بالقوه و بالفعلِ روش‌های اجماع بلاک‌چینی، دارای چه عوامل و ارتباط‌هایی است؟ (جدول ۲۱)

با دستیابی به این هدف پژوهشی، چندین نوآوری کلیدی شکل خواهد گرفت (Moore, 2016): نخست، ریل‌گذاری روش‌شناسانه در استفاده از الگوریتم‌های اجماع‌سازی سایر رشته‌ها، برای شهرسازی راهبردی شهری است. دوم، ارائهٔ مدل‌های ارزیابی فرایند تأثیرپذیری اجماع بلاک‌چینی بر تصمیمات نخبگان به صورتی که برای بسترهای مختلف تصمیم‌سازی، بتوان فرایندهای جدیدی ایجاد کرد. این شفافیت در فرایند بهره‌گیری از الگوریتم‌های اجماع، راه را برای ایجاد ابزارهای تحلیلی جدید برای بررسی میزان اثربخشی این الگوریتم‌ها در انواع مداخلات شهری نیازمند به مشورت نخبگانی، هموار می‌کند.

از جنبهٔ روش‌شناسی، نمونه‌گیری از منابع به تناسب نقش آن‌ها در شکل‌گیری ابعاد مدل‌های اجماع بلاک‌چینی همچون اثبات سهام و اثبات کار، که تا کنون تنها در حوزهٔ رمزارزها و توزیع داده‌های دیجیتال در بسترهای مالی همچون بورس به کار گرفته می‌شدند (Whig, 2023)، در تحلیل داده‌های ورودی برای اجماع نظر نخبگان شهری و انتقال روش‌های بیان و حل مسئلهٔ الگوریتمیک در فرایندهای تصمیم‌گیری مبتنی بر داده (Kolb, Abdelbaky, Katz, & Culler, 2020)، بوده است. زیرا به خلاف روش‌های سنتی مشورتی که بر فرایندهای کیفی و شهودی همچون اکثریت‌یابی در نظام رأی‌گیری و ادغام نظرات در نظام گزینه‌سازی (Mirmohammadi & jelokhni-niaraki,

2018)، متکی هستند، در اینجا تلاش می‌شود که از دقت (Rigor) و اعتبار(Truthworthness) مبتنی بر شواهد داده‌محور برای کاهش سوگیری‌های زمینه‌ای (فردی، محیطی و سازمانی) بهره گرفته شود.

در زمینهٔ نمونه‌گیری، جامعه و ویژگی‌های مورد مطالعه در واحدهای تطبیق مکانی و زمانی این پژوهش، امکان بررسی اثرگذاری تغییرات احتمالی در پارامترهای تصمیم‌گیری، سطح مداخلهٔ نخبگان، و قابلیت پذیرش این روش‌ها در سناریوهای مختلف شهرسازی را، به عنوان کاربرد اصلی آن فراهم می‌کند (Foroughi, Andrade, Roders, & Wang, 2023). به صورتی که تعمیم‌پذیری یافته‌های این پژوهش به واسطهٔ بررسی اصول اساسی الگوریتم‌های اجماع‌سازی و عدم محدودیت آن به یک حوزهٔ خاص، نه‌تنها برای حوزهٔ شهرسازی کاربرد دارند (Alqahtany, Rezgui, & Li, 2014)؛ بلکه می‌توانند در سایر زمینه‌های تصمیم‌گیری جمعی، از جمله تصمیم‌سازی غیر متمرکز در سیاست‌گذاری عمومی، مدیریت تصمیم‌گیری در کسب‌وکارهای دیجیتال در نهادهای مالی همچون بورس و سیستم‌های مشارکتی مبتنی بر اجتماع نخبگان در تصمیم‌سازی نیز (Büyüközkan & Tüfekçi, 2021)، برای تحلیل‌های مبتنی بر روش‌های داده‌محور، و امکان بهره‌گیری از فناوری‌های نرم‌افزاری همچون هوش مصنوعی در رابطهای کاربری مبتنی بر شواهد، مورد استفاده قرار گیرند.

در تعیین قلمرو پژوهش، می‌توان گفت که علاوه بر اینکه توانایی بسط و گسترش روش‌های اعتبارسنجی روایی (دقت) و پایایی (اعتبار) را در روش تحقیق بهبود می‌بخشد، می‌تواند مورد استفاده توسط شرکت‌های فعال در زمینهٔ نرم‌افزارهای پژوهشی برای ایجاد ابزارهای مبتنی بر آن قرار گیرد. همچنین، می‌تواند در عرصهٔ نرم‌افزارهای اتوماسیون اداری در نهادهای مشورتی همچون شوراهای شهری نیز، راه‌کاری مبتنی بر مستندات زمینه‌ای، در مدل‌سازی پشتوانهٔ نظری مشورت‌دهی‌ها محسوب شود. در نهایت، پژوهش به دلیل باز بودن، ظرفیت پژوهش را برای توسعهٔ نظریات جدید در حوزهٔ مدیریت داده‌های تصمیم‌گیری و سنجش روایی و پایایی داده‌ها در فرایندهای شهری (Bibri , 2021) افزایش می‌دهد.

شکل ۱. چهارچوب آگاهی‌بخش از سیر تحول محتوا و مراحل پژوهش

پیشینه‌شناسی

طی تاریخ، فرایندهای تصمیم‌گیری شهری همواره با چالش‌های متعددی مواجه بوده‌اند. در گذشته، تصمیم‌گیری‌ها عمدتاً متمرکز و توسط گروه‌های کوچکی از نخبگان انجام می‌شد که این امر به نادیده گرفتن دیدگاه‌های متنوع و کاهش کارایی در اجرای برنامه‌های شهری می‌انجامید. با گذر زمان و افزایش پیچیدگی مسائل شهری، نیاز به مشارکت گسترده‌تر نخبگان و ایجاد اجماع در تصمیم‌گیری‌ها بیش از پیش احساس شد. این نیاز به‌ویژه در جوامعی مانند ایران، که با ناپایداری در توسعه مواجه بوده‌اند، مشهود است. مطالعات نشان می‌دهد فقدان اجماع نخبگان راهبردی و ضعف در فرایندهای مشارکتی از عوامل اصلی ناپایداری توسعه در جمهوری اسلامی ایران بوده است (Gheisari, Zaker Esfahani, & Jalalzadeh , 2022).

با ظهور فناوری‌های نوین مانند بلاک‌چین، امکان بهره‌گیری از الگوریتم‌های اجماع‌سازی برای بهبود فرایندهای تصمیم‌گیری فراهم شده است. الگوریتم‌های اجماع در بلاک‌چین، که ابتدا برای تأیید تراکنش‌های مالی توسعه یافتند، می‌توانند به عنوان ابزاری برای ایجاد توافق میان نخبگان در مسائل شهری مورد استفاده قرار گیرند. این الگوریتم‌ها با فراهم کردن بستری شفاف و غیرمتمرکز، امکان استفاده از داده‌های گسترده‌تر و کاهش تمرکزگرایی در فرایند تصمیم‌گیری را فراهم می‌کنند.

در دهه‌های اخیر، تلاش‌های متعددی برای بهبود فرایندهای اجماع‌سازی در تصمیم‌گیری‌های شهری صورت گرفته است. ابتدا، تمرکز بر افزایش مشارکت نخبگان از طریق تشکیل شوراها و کمیته‌های مشورتی بود. سپس، با پیشرفت فناوری، استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل‌سازی شهری برای تسهیل درک مشترک از مسائل شهری مورد توجه قرار گرفت.بررسی پیشینه موضوع نشان می‌دهد در سال‌های اخیر، پژوهش‌ها به سمت تطبیق الگوریتم‌های اجماع بلاک‌چین با فرایندهای تصمیم‌گیری شهری و اجماع‌سازی نخبگان متمرکز شده‌اند (Hosseinpour, 2025).

جدول ۱. آسیب‌شناسی عدم دستیابی به اجماع‌سازی در شهرسازی راهبردی شهری و بلاک‌چین

دوره	در راهبرد	در موضوع	در هدف	در مسئله
نوگرایی (۱۹۰۰ _ ۱۹۶۵)	تصمیم‌گیری متمرکز	اجماع نهادی محدود	فقدان تحلیل سیستماتیک	عدم انعطاف نظریه‌ها
	عدم توجه به فرایندهای غیرمتمرکز	رویکردهای کلان‌محور	غلبه تصمیم‌گیری‌های فردمحور	نادیده گرفتن پویایی‌های اجتماعی
	انحصار قدرت در فرایندهای شهری	بی‌توجهی به مشورت نخبگان	تحلیل‌های غیر داده‌محور	تأکید بر مدل‌های سلسله‌مراتبی
دلیل‌های عدم دستیابی ◀	رویکردهای مدیریتی در این دوره مبتنی بر تصمیم‌گیری‌های سلسله‌مراتبی بود، لذا نیاز به روش‌های داده‌محور در تصمیم‌سازی شهری احساس نمی‌شد. به دلیل سلطهٔ تفکر اثبات‌گرایی، روش‌های کمی و کنترل‌شده در علوم اجتماعی غالب بوده و روش‌های اجماع چندرشته‌ای جایگاهی نداشتند. اهمیت مشورت نخبگان در فرایندهای تصمیم‌سازی نادیده گرفته می‌شد، زیرا الگوهای تصمیم‌گیری بر پایهٔ کنترل و تمرکز اداری استوار بود.			
پسانوگرایی (۱۹۶۶-۱۹۸۵)	شکل‌گیری نهادهای مشورتی	گسترش تحلیل‌های کیفی	ورود دیدگاه‌های انتقادی	پذیرش تنوع نظریه‌ها
	چالش در تعریف فرایندهای اجماع	رشد مطالعات تطبیقی	کاهش قطعیت در فرایندهای تصمیم‌گیری	تضعیف روش‌های کمی در برنامه‌ریزی
	تأکید بر عدم قطعیت در تحلیل‌های شهری	رویکردهای مشارکتی اولیه	اولویت داده‌های تجربی بر روش‌های تحلیلی	وابستگی به مدل‌های انتقادی
دلیل‌های عدم دستیابی ◀	ورود تفکر نسبی‌گرایانه باعث تضعیف تلاش‌ها برای ایجاد مدل‌های استاندارد در اجماع‌سازی شد. تمرکز بر تحلیل‌های کیفی و انتقادی، موجب بی‌توجهی به روش‌های کمی و تحلیل داده‌محور در فرایندهای اجماع شد. نظریه‌پردازان این دوره بیشتر به مقایسهٔ تطبیقی می‌پرداختند، اما چهارچوب عملیاتی برای پیاده‌سازی راهبردهای اجماع ارائه نمی‌شد.			
پسا پسانوگرایی (۱۹۸۶-۲۰۰۰)	توسعهٔ مدل‌های داده‌محور	پذیرش فرایندهای غیرمتمرکز	بهبود مدل‌های اجماع‌سازی	تأکید بر روش‌های میان‌رشته‌ای
	توجه به داده‌های چندرشته‌ای	بهره‌گیری از روش‌های ترکیبی	سنجش میزان اعتبار فرایندهای تصمیم‌سازی	افزایش تعاملات بین حوزه‌های علمی
	گسترش مدل‌های اجماع در حوزهٔ سیاست‌گذاری	ارتباط میان تحلیل‌های کلان و داده‌های خرد	ورود ابزارهای محاسباتی به فرایندهای برنامه‌ریزی	ظهور نظریه‌های جدید در مشارکت نخبگان
دلیل‌های عدم دستیابی ◀	وابستگی به نظریه‌های انتقادی قبلی موجب شد که فرایندهای داده‌محور به‌کندی جای خود را در مطالعات شهری باز کنند. پژوهش‌های مرتبط با الگوریتم‌های اجماع‌سازی هنوز در مراحل ابتدایی بوده و کاربردهای عملی آن‌ها محدود به علوم کامپیوتر بود. عدم همکاری گسترده میان حوزه‌های مهندسی، شهرسازی و اقتصاد موجب شد که فرایندهای اجماع‌سازی بلاک‌چینی به عنوان یک ابزار مدیریتی شناخته نشوند.			
معاصر (۲۰۰۰-۲۰۲۵)	تحلیل الگوریتم‌های اجماع	استفاده از کلان‌داده‌ها	ادغام روش‌های کلاسیک و مدرن	تحلیل تطبیقی راهبردهای اجماع
	کاربرد بلاک‌چین در تصمیم‌گیری	مقایسهٔ مدل‌های اجماع سنتی و دیجیتال	افزایش مشارکت نخبگان شهری	پذیرش فناوری‌های نوین در برنامه‌ریزی
	شفافیت در فرایندهای تصمیم‌گیری	بهره‌گیری از سیستم‌های هوشمند	تحلیل داده‌های شهری مبتنی بر اجماع	ترکیب هوش مصنوعی با اجماع‌سازی
دلیل‌های عدم دستیابی ◀	پیچیدگی الگوریتم‌های بلاک‌چین و عدم تطابق مستقیم آن‌ها با مدل‌های سنتی تصمیم‌گیری، روند پذیرش آن‌ها در علوم اجتماعی را کند کرد. چالش‌های فنی و محاسباتی در زمینهٔ استفاده از الگوریتم‌های اجماع در فرایندهای شهری موجب شد که پذیرش آن‌ها تنها در حوزهٔ اقتصاد دیجیتال و بورس مطرح شود. نیاز به تحلیل‌های میان‌رشته‌ای و هم‌زمانی پیشرفت فناوری موجب شد که تحقیقات کاربردی در این حوزه به‌کندی پیش رود.			

(Chinnasamy, et al., 2021); (Viale, 2025); (Bao & Robinson, 2022); (Taghvaei & Shafiei, 2022); (Bina, 2020); (Pourahmad, Ziari, Hataminejad, & Parsa, 2018); (Rajabi Jurshari, Amir Azodi, Sarvar, & Tavakoli Nia, 2023); (Lotfi & Mohammedi Kazem Abadi, 2021); (Zabidian Torghi, Urban planning process for making cities smart in Iran, 1403); (IMNA News Agency, 2024); (Sajadian, Firoozi, & PourAhmad, 2022); (Zabidian Torghi, Urban planning process for making cities smart in Iran, 1403); (Hosseini, Laali Niyat, & Heidarinia, 2020); (Mosaddegh, Nazmfar, & Norouzi Sani, 2021); (Baradaran Khanian, Panahi, & Asgharpur, 2023); (Entezarian & mehraeen, 2024); (Fadayi, Gorji, & Samiee, 2021); (Afzali, Modiri, & Farhudi, 2019);

فرایند اجماع‌سازی در شهرسازی راهبردی، به‌ویژه در سطح نخبگان، همواره با چالش‌های نظری و عملی متعددی روبه‌رو بوده است. ادبیات این حوزه را می‌توان به سه جریان اصلی تقسیم کرد: رویکردهای کلاسیک به تصمیم‌گیری جمعی، پارادایم‌های داده‌محور و فناورانه در مدیریت شهری، و پژوهش‌های نوظهور در زمینه به‌کارگیری بلاک‌چین در حوزه‌های غیرمالی.

جریان اول: مدل‌های کلاسیک اجماع‌سازی و نقد آن‌ها مطالعات بنیادین در حوزهٔ اجماع‌سازی شهری عمدتاً بر مدل‌های تصمیم‌گیری جمعی متمرکز بوده‌اند که از روش‌های کیفی بهره می‌برند. روش‌هایی نظیر تحلیل دلفی، گروه‌های کانونی و مدل‌سازی سیاست‌گذاری شهری در این دسته قرار می‌گیرند. این رویکردها، اجماع‌سازی را فرایندی خطی و سلسله‌مراتبی در نظر می‌گیرند که در آن، نخبگان شهری به صورت ایزوله و اغلب در ساختارهای نهادگرایانه سنتی به تصمیم‌گیری می‌پردازند.

جریان دوم: ظهور پارادایم داده‌محور و شهرهای هوشمند: با توسعهٔ فناوری‌های نوین، پارادایم جدیدی مبتنی بر تحلیل داده‌های شهری، هوش مصنوعی و شبکه‌های اطلاعاتی در مدیریت شهری ظهور کرد. پژوهشگران در این حوزه، بر اهمیت تصمیم‌گیری مبتنی بر شواهد (Evidence-Based Decision Making) برای کاهش خطا و افزایش دقت تأکید دارند. با این‌حال، بسیاری از این مطالعات نیز با چالش‌هایی مواجه بوده‌اند. برخی محققان معتقدند که وابستگی بیش از حد به سیستم‌های داده‌محور ممکن است به نادیده گرفتن ابعاد کیفی، اجتماعی و انسانی مسائل شهری منجر شده و انعطاف‌پذیری لازم

در تصمیم‌گیری را کاهش دهد.

جریان سوم: کاربرد بلاک‌چین در اجماع‌سازی غیرمتمرکز: ظهور فناوری بلاک‌چین، که ابتدا برای تأیید تراکنش‌های مالی در رمزارزها طراحی شده بود، افق جدیدی را برای ایجاد توافق در شبکه‌های غیرمتمرکز گشود. ویژگی‌هایی همچون شفافیت، تغییرناپذیری، امنیت و قابلیت ردیابی، این فناوری را به ابزاری بالقوه برای تحول در فرایندهای اجماع‌سازی تبدیل کرده است. تحقیقات اولیه در این حوزه عمدتاً بر ابعاد فنی، رمزنگاری و امنیت متمرکز بوده‌اند. با این‌حال، در سال‌های اخیر، پژوهش‌ها به سمت تطبیق الگوریتم‌های اجماع بلاک‌چین با فرایندهای تصمیم‌گیری در حوزه‌هایی نظیر زنجیرهٔ تأمین، رأی‌گیری الکترونیکی و مدیریت شهری حرکت کرده‌اند.

با وجود این پیشرفت‌ها، یک خلأ مطالعاتی مشخص در این زمینه وجود دارد. اغلب پژوهش‌ها یا به بررسی فنی الگوریتم‌ها پرداخته‌اند یا کاربرد بلاک‌چین در شهر هوشمند را به صورت کلی و در سطح زیرساخت‌هایی مانند مدیریت انرژی یا حمل‌ونقل بررسی کرده‌اند. کمتر مطالعه‌ای به صورت مشخص به امکان‌سنجی «تطبیق روش‌شناسانه» الگوریتم‌های اجماع بلاک‌چین با فرایندهای پیچیده و کیفی «اجماع نخبگان شهری» پرداخته است. این پژوهش در صدد است تا با تمرکز بر این خلأ، مدلی مفهومی و عملیاتی برای این انطباق ارائه دهد. جدول ۲، خلاصه‌ای از پژوهش‌های منتخب در این سه جریان و قوت‌ها و ضعف‌های آن‌ها را ارائه می‌دهد.

جدول ۲. مرور تحلیلی ادبیات پژوهش در حوزهٔ اجماع‌سازی شهری و فناوری بلاک‌چین

پژوهشگر(ان) و سال	حوزهٔ اصلی	یافته‌های کلیدی	قوت‌ها	ضعف‌ها/خلأ تحقیقاتی
(Susskind, 1999)	اجماع‌سازی در برنامه‌ریزی شهری (رویکرد کلاسیک)	ارائهٔ چهارچوب برای مذاکره و دستیابی به توافق در مسائل عمومی شهری از طریق فرایندهای ساختاریافته.	تمرکز بر جنبه‌های انسانی و مذاکره‌ای تصمیم‌گیری و ارائهٔ راهکارهای عملی برای مدیریت تعارض.	فرایندها عمدتاً خطی، متمرکز و فاقد سازوکار برای بهره‌گیری از داده‌های کلان و فناوری‌های نوین هستند.
(Hollands, 2015)	نقد پارادایم شهر هوشمند	شهرهای هوشمند اغلب تحت سلطهٔ شرکت‌های بزرگ فناوری بوده و رویکردی از بالا به پایین دارند که به نیازهای واقعی شهروندان بی‌توجه است.	دیدگاه انتقادی و توجه به ابعاد اجتماعی و سیاسی فناوری در شهر؛ هشدار نسبت به کاهش مشارکت شهروندی.	عدم ارائهٔ مدل جایگزین مشخص برای یکپارچه‌سازی فناوری به شیوه‌ای دموکراتیک و مشارکتی.
(Shen & Pena-Mora, 2018)	کاربرد بلاک‌چین در شهرها (مرور سیستماتیک)	بلاک‌چین می‌تواند شفافیت، امنیت و کارایی را در خدمات شهری (مانند انرژی، حمل‌ونقل و املاک) افزایش دهد.	ارائهٔ یک نمای کلی و جامع از کاربردهای بالقوهٔ بلاک‌چین در زیرساخت‌های شهری.	تمرکز بیشتر بر جنبه‌های فنی و زیرساختی است تا فرایندهای حاکمیتی و تصمیم‌سازی نخبگانی.
(Salimitari, Chatterjee, & Fallah, 2020)	الگوریتم‌های اجماع بلاک‌چین برای شبکه‌های IoT	الگوریتم‌های مختلف اجماع (PoW, PoS, BFT) دارای مزایا و معایب متفاوتی از نظر مصرف انرژی، مقیاس‌پذیری و امنیت هستند.	تحلیل تطبیقی و فنی دقیق الگوریتم‌ها که برای انتخاب مکانیزم مناسب در بسترهای مختلف کاربردی است.	بررسی الگوریتم‌ها صرفاً از منظر فنی (علوم کامپیوتر) و عدم تطبیق آن‌ها با فرایندهای تصمیم‌گیری اجتماعی و انسانی.
(Foroughi, Andrade, Roders, & Wang, 2023)	مشارکت عمومی و اجماع‌سازی در برنامه‌ریزی میراث شهری	موفقیت در اجماع‌سازی نیازمند ترکیب فرایندهای بالا به پایین (نهادی) و پایین به بالا (مشارکتی) و ایجاد اعتماد بین ذی‌نفعان است.	تأکید بر اهمیت بافت اجتماعی و فرهنگی در فرایندهای اجماع و تحلیل موانع مشارکت.	عدم ارائهٔ راهکارهای فناورانه مشخص برای تسهیل فرایندهای مشارکتی و غلبه بر موانع شناسایی‌شده.
(Büyüközkan & Tüfekçi, 2021)	چهارچوب تصمیم‌گیری برای انتخاب پلتفرم‌های بلاک‌چین تجاری	ارائهٔ یک مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره برای ارزیابی و انتخاب پلتفرم بلاک‌چین مناسب برای کاربردهای سازمانی.	ارائهٔ یک روش‌شناسی ساختاریافته برای انتخاب فناوری که می‌تواند در نهادهای شهری نیز به کار رود.	مدل ارائه‌شده برای زمینهٔ تجاری طراحی شده و معیارهای آن مستقیم با پیچیدگی‌های تصمیم‌گیری نخبگان شهری تطابق ندارد.
(Yu, Chen, Jin, & Zhang, 2025)	تحول دیجیتال و تاب‌آوری نوآوری شهری	تحول دیجیتال از طریق بهینه‌سازی تخصیص منابع و تقویت زیرساخت‌های دانش‌بنیان، تاب‌آوری نوآوری در شهرها را افزایش می‌دهد.	ارتباط مستقیم بین دیجیتالی‌شدن و بهبود ظرفیت‌های نوآورانه شهری را نشان می‌دهد.	تمرکز بر «نوآوری» به عنوان خروجی است و به فرایند «اجماع‌سازی» که پیش‌نیاز بسیاری از نوآوری‌های پایدار است، نمی‌پردازد.

مطالعات پیشین در حوزهٔ اجماع‌سازی در شهرسازی راهبردی (جدول ۲) بیشتر بر مدل‌های کلاسیک تصمیم‌گیری جمعی (Collective Decision-Making Models) متمرکز بوده‌اند که عمدتاً از روش‌های کیفی مانند تحلیل دلفی (Delphi Analysis) یا مدل‌سازی سیاست‌گذاری شهری (Urban Policy Modeling) استفاده کرده‌اند (Moroni & Chiffi, 2022). در این مطالعات، اجماع‌سازی اغلب به عنوان یک فرایند خطی و سلسله‌مراتبی در نظر گرفته شده که در آن نخبگان شهری به صورت ایزوله تصمیم‌گیری می‌کنند (Susskind, 1999; Agbodzakey , 2024). در نتیجه، مطالعات موجود عمدتاً به رویکردهای نهادگرایانه سنتی تمایل داشته و کمتر به نقش فناوری‌های نوین داده‌محور در بهبود فرایند اجماع‌سازی توجه کرده‌اند (Slomp, 2024).

رویکردهای پیشین به تأثیر متقابل میان رشته‌های مختلف علمی در شکل‌گیری اجماع نخبگان بی‌توجه بوده‌اند. مدل‌های موجود عمدتاً از منظر مدیریت شهری و سیاست‌گذاری عمومی طراحی شده‌اند و کمتر به تحلیل داده‌های کلان، هوش مصنوعی و شبکه‌های اجتماعی در فرایند اجماع پرداخته‌اند (Shahat Osman & Elragal, 2021). علاوه بر این، بسیاری از پژوهش‌ها به دلیل نوظهور بودن فناوری بلاک‌چین، هنوز در مراحل اولیه قرار دارند و نیاز به مطالعات بیشتری برای تطبیق این الگوریتم‌ها با نیازهای خاص حوزهٔ شهرسازی وجود دارد. همچنین، عدم تعامل کافی بین حوزه‌های فناوری و شهرسازی به کمبود پژوهش‌های میان‌رشته‌ای منجر شده است که این امر خود باعث عدم تناسب راهبردهای موجود با شرایط معاصر می‌شود.

در نهایت، برای رفع این کمبودها، ضروری است که برای محدودسازی مسئلهٔ پژوهش، پژوهش‌های با تمرکز بر تطبیق الگوریتم‌های اجماع بلاک‌چین با فرایندهای اجماع‌سازی نخبگان در شهرسازی راهبردی انجام شود. به همین‌دلیل، نیاز به داده‌محور بودن و انعطاف برآمده از تنوع داده‌ها در مورد

موضوع اجماع، در الزامات مشورت‌گیری با نخبگان، به عنوان شاخصی برای کارایی نظرات اجماع‌شده آن‌ها در نظر گرفته نشده است[۳]. در حالی که این پژوهش‌ها باید با در نظر گرفتن ویژگی‌های خاص مسائل شهری صورت گیرند تا راهبردهای مؤثر و کارآمدی برای بهبود فرایندهای تصمیم‌گیری شهری ارائه شود.

روش تحقیق

بهترین روش تحقیق برای دستیابی به هدف این پژوهش، روش مطالعات تطبیقی با رویکرد تحلیل تطبیقی کیفی (Qualitative Comparative Analysis - QCA) مبتنی بر رویه‌های داده‌محور است[۴]. این رویه‌ها، ابتدا با تحلیل تطبیقی چندبعدی (Multidimensional Comparative Analysis) امکان مقایسهٔ تطبیقی الگوریتم‌های اجماع‌سازی بلاک‌چینی با مدل‌های سنتی تصمیم‌گیری جمعی را فراهم می‌کند. سپس، به تحلیل دقیق عملکرد هر یک در بستر شهرسازی راهبردی شهری می‌پردازد. در نهایت، شهرسازی راهبردی و تصمیم‌گیری نخبگانی به طور کلی به عنوان یک سیستم پیچیده در نظر گرفته می‌شوند که با استفاده از مدل‌های سیستم‌های پیچیده، رفتارها و ویژگی‌های الگوریتم‌های اجماع را در مسیر ایجاد چهارچوب نظری، به گونه‌ای سوق می‌دهند که امکان بهره‌گیری برنامه‌سازان نرم‌افزاری و هوش مصنوعی، در این زمینه فراهم شود.

پژوهش حاضر به دلیل کلی بودن، نه‌تنها به بررسی یک الگوریتم خاص نمی‌پردازد، بلکه مجموعه‌ای از الگوریتم‌های اجماع‌سازی را از جنبهٔ روش‌شناسی داده‌محور تحلیل و از جنبهٔ امکان‌سنجی سازگاری آن‌ها در بسترهای مختلف شهرسازی راهبردی، مقایسه می‌کند. زیرا این پژوهش در پی درک جامع‌تری از نحوهٔ تعامل میان داده‌های ورودی، فرایند تحلیل و تطبیق روش‌های اجماع‌سازی بلاک‌چین در حوزهٔ برنامه‌ریزی شهری است، که گستردگی و موضوع‌محور بودن را نشان می‌دهد (Liu, Lu, Zhu, Paik, & Staples, 2023). به صورتی که با توجه به تنوع الگوریتم‌های اجماع‌سازی، تفاوت‌های موجود در مکانیسم‌های تصمیم‌گیری نخبگان شهری و پیچیدگی روش‌های تحلیل داده، نیازمند تحلیل حجم وسیعی از منابع و مطالعات تطبیقی است (Bhushan, et al., 2020).

جدول ۳. طرح پژوهش (Ragin, The Logic of Qualitative Comparative Analysis, 1998; Rihoux & Ragin, 2009; Mello, 2021; Roig Tierno, (Gonzalez Cruz, & Llopis Martinez, 2017; Rutten, 2024

هدف	شرح اقدام	بخش مربوطه
تعیین سطح سازگاری	طراحی پژوهش (شناسایی مشکلات سازنده «مسئلهٔ پژوهش»، بیان «مسئلهٔ پژوهش» از ابعاد مختلف و بیان «هدف پژوهش» و «سؤالات پژوهش» بر اساس «مسئلهٔ پژوهش» و مشخص کردن «رویکرد کلی» پژوهش و تعیین «رکن مبدأ» و «رکن مقصد» در تطبیق به عنوان رکن‌های سازنده «ارکان تطبیق»، با ذکر دلایل انتخاب مشخص)؛	مقدمه
	نمونه‌گیری (تعیین قلمرو پژوهش، جامعه و ویژگی‌های مورد مطالعه در واحدهای تطبیق مکانی و زمانی، نمونه‌گیری از منابع به تناسب نقش آن‌ها در شکل‌گیری ابعاد بررسی‌شده در بخش قبلی در ارتباط با شکل‌گیری رکن‌های سازنده «ارکان تطبیق»)؛	شکل ۱ جدول ۱
	جمع آوری داده‌ها (بررسی «جنبهٔ روش‌شناسی» و «جنبهٔ محتواشناسی» «مفاهیم ایجادی» «موضوع پژوهش» با مقیاس دو ارزشی)؛	جدول ۶
تعیین سطح قابلیت انطباق	راهبری نظری (فرموله کردن روابط بین متغیرهای مستقل، وابسته، تعدیل و کنترل با استفاده از جدول ارزش برای نمایش داده‌ها، به منظور انتخاب خصوصیات «نظریه‌های راهنما» با توجه به موضوع و ماهیت پژوهش در هر یک از «ارکان تطبیق»)؛	جدول ۷
	عامل‌یابی (تعیین علل و نقش «عوامل کلیدی» ایجاد خصوصیات اصلی «ارکان تطبیق» مورد بررسی بر اساس «نظریه‌های راهنما»ی تعیین و انتخاب شده در مرحلهٔ قبلی)؛	جدول ۸ جدول ۹
	انطباق با بستر (فرایند نظام‌مند کشف ویژگی‌های مرتبط در داده‌ها با جهت‌گیری منجر به دستیابی به «شواهد زمینه‌ای» علل حضور یا غیبت «عوامل کلیدی» ایجاد خصوصیات اصلی «ارکان تطبیق» بر اساس نظریه‌های راهنما به دو صورت: جمع متغیرها [معنای متفاوت علامت جمع در معادله‌ها با تأکید بر شرط بودن برای ظهور پدیده] و ضرب متغیرها [معنای متفاوت علامت ضرب در معادله‌ها با تأکید بر ظهور معلول حاصل حضور یا عدم حضور مورد])؛	جدول ۱۰
	وزن‌دهی به «عوامل کلیدی» (بر اساس ترکیب‌سازی منطقی از «عوامل کلیدی» استحصال‌شده در مرحلهٔ قبلی [ترکیب علل پیشگفته با رویکردی کل‌نگرانه] با تمرکز روی تحلیل در سطحی کلان‌تر و تشکیل جدول وزن‌دهی بر اساس حضور و غیبت «عوامل کلیدی» در هر یک از ارکان تطبیق)؛	جدول ۱۱ جدول ۱۲ جدول ۱۳
الزام‌سنجی پیاده‌سازی	معادله‌یابی (کاهش ترکیب‌ها [بازشناسی عامل لازم و کافی از علل لازم و ناکافی برای تقلیل ترکیب‌ها]، و پالایش آن‌ها برای آشکارسازی «اصول حاکم» و روشن کردن ماهیت و چگونگی ارتباط «عوامل کلیدی» در قالب «معادلات ساختاری»)؛	جدول ۱۴ جدول ۱۵ جدول ۱۶
	تعریف و نام‌گذاری «معادلات ساختاری» (ارائهٔ تعاریفی برای هر یک از «معادلات ساختاری» به شکل کوتاه و اثربخش و در ادامه انتخاب یک عنوان برای هر حالت ممکن و معنادار از ترکیب «عوامل کلیدی» و «اصول حاکم» به صورتی که بیان‌کنندهٔ «الزام اصلی» [شناسایی الزام یک عبارت بولی برای ظهور دیگری] برای هر یک از «معادلات ساختاری» باشد)؛	جدول ۱۷ جدول ۱۸ جدول ۱۹
	معادلهٔ تقلیلی (پیاده‌سازی قانون دمورگان [راه میانبری برای رسیدن به «الزام اصلی» با نگارش «معادلات ساختاری» به شکل منفی یا تغییر منطقی علامات جبری «معادلات ساختاری»] برای دست یافتن به استنباط‌های اولیه و نوشتن «معادلهٔ تقلیلی»، از طریق تقلیل «معادلات ساختاری» تا رسیدن به پوشش محتوایی و تقریباً هم اندازه در همهٔ حوزه‌های معناداری «اصول حاکم» در «ارکان تطبیق»)؛	جدول ۲۰ معادله ۱
کاربردی‌سازی یافته‌ها	ساختاردهی به «عوامل کلیدی» (ترسیم شبکهٔ «عوامل لازم» و «عوامل کافی» و تحلیل آن با «معادلهٔ تقلیلی» به صورت تفسیر نتایج تحلیل بولی با ایجاد شرط لازم و کافی «عوامل کلیدی» به منظور افزایش هم‌معنایی و هم‌سویی «عوامل کلیدی» با «موضوع پژوهش» با نمایش انواع مسیرعلی منجر به ظهور معلول)	جدول ۲۱
	معادلهٔ تطبیقی (ارائهٔ معادلهٔ تطبیقی» بر اساس ارتقای «معادلهٔ تقلیلی» و فاکتورگیری [فاکتور گرفتن از عوامل مشترک برای نشان دادن شرایط لازم و شرایط علی معادل] در نتایج وزن‌دهی به «عوامل کلیدی» در مرحلهٔ قبلی)	معادلهٔ ۱۰
راهنمای برچسب‌گذاری ◀ نقش بنیادین — نقش پایه ای — نقش ساختاری — نقش کاربردی		

بر این‌اساس، متغیرهای کلیدی عبارت‌اند از:

الف. متغیرهای مستقل (عوامل الگوریتمیک)

۱. نوع الگوریتم اجماع مورد استفاده (مثلاً: اثبات کار - PoW، اثبات سهام - PoS، تحمل خطای بیزانسی - PBFT و ...)
۲. سطح مشارکت‌پذیری الگوریتم (مشارکت عمومی، یا جمعی یا فردی)
۳. شفافیت و قابلیت ردیابی داده‌ها (میزان دسترسی نخبگان و شهروندان به داده‌ها و روندها)
۴. زمان و هزینهٔ پردازش اجماع (کارایی عملیاتی الگوریتم در شرایط واقعی)

ب. متغیرهای وابسته (عوامل اجماع نخبگانی)

۱. میزان دستیابی به اجماع نخبگانی (سطح توافق و هم‌گرایی بین نظرات نخبگان)
۲. گستردگی مشارکت در فرایند تصمیم‌سازی (پوشش گروه‌های مختلف نخبگانی، از جمله دانشگاهیان، مدیران شهری و ...)
۳. اعتبار و دقت تصمیمات نهایی حاصل از اجماع

ج. متغیرهای تعدیل‌گر

۱. قابلیت اجرایی تصمیمات نهایی در ساختار حکمرانی شهری (آیا تصمیمات قابل اجرا و پیاده‌سازی هستند؟)
۲. سطح تطابق فناوری بلاک‌چین با نظام شهرسازی/مدیریت شهری (تطابق زیرساختی و حقوقی برای پیاده‌سازی الگوریتم‌ها)

د. متغیرهای زمینه‌ای / کنترل

۱. سیاست‌ها و قوانین شهری حاکم بر مشارکت (چهارچوب قانونی و نهادی)
۲. سطح پذیرش فناوری‌های دیجیتال در شهرسازی (میزان آمادگی دیجیتال شهر/دولت محلی برای فناوری‌های نو)

پیشینهٔ نظری

یکی از پرسش‌های بنیادین در این پژوهش، چرایی و چگونگی هم‌نشینی مفاهیمی است که در نگاه اول ممکن است به حوزه‌های دانشی متفاوتی تعلق داشته باشند: شهرسازی راهبردی، فرایندهای مشورتی نخبگانی، و فناوری بلاک‌چین. این هم‌نشینی بر یک مبنای نظری مشخص و یک توالی منطقی استوار است که در ادامه تشریح می‌شود. هم‌نشینی مفاهیم این پژوهش از یک رابطهٔ علت و معلولی و فرایندی پیروی می‌کند:

۱. مسئله: شهرسازی راهبردی با مسائل پیچیده، چندعاملی و دارای عدم قطعیت بالا سروکار دارد. تصمیم‌گیری در این حوزه نیازمند فرایندی فراتر از تحلیل‌های فنی صرف است و باید بتواند دیدگاه‌های متعارض کنشگران متعدد را در یک چهارچوب منسجم تجمیع کند. این همان چالش دستیابی به اجماع است (Fasth, Bohman, Larsson, Ekenberg, & Danielson, 2020).
۲. سازوکار: سازوکار سنتی برای مواجهه با این مسئله، فرایندهای مشورتی نخبگان شهری بوده است. با این‌حال، همان‌طور که در ادبیات پژوهش اشاره شد، این فرایندها اغلب از ضعف‌هایی همچون عدم شفافیت، تمرکزگرایی، و آسیب‌پذیری در برابر سوگیری رنج می‌برند (Stapper, Van der Veen, & Janssen-Jansen, 2019).
۳. راه‌حل پارادایمیک: در اینجاست که فناوری بلاک‌چین وارد می‌شود. این فناوری نه به عنوان یک ابزار، بلکه به عنوان یک پارادایم روش‌شناختی برای طراحی یک سازوکار جایگزین مطرح می‌شود. الگوریتم‌های اجماع بلاک‌چین، مدلی ریاضی و منطقی برای دستیابی به توافق در یک شبکهٔ غیرمتمرکز ارائه می‌دهند (Cerf, Matz, & Berg, 2020, pp. 3-5)، که ویژگی‌های ذاتی آن (شفافیت، تغییرناپذیری و مقاومت در برابر دستکاری) دقیقاً پاسخ‌هایی به ضعف‌های سازوکار سنتی هستند (Bashir, 2023, pp. 119-121).

ممکن است این پرسش مطرح شود که چرا از میان فناوری‌های نوظهور، صرفاً بر بلاک‌چین تمرکز شده و به مفاهیمی همچون هوش مصنوعی یا دوقلوی دیجیتال (Digital Twin)، پرداخته نشده است. پاسخ در کانون اصلی مسئلهٔ این پژوهش نهفته است:

- هوش مصنوعی عمدتاً با تحلیل و پیش‌بینی سروکار دارد. ابزارهای هوش مصنوعی می‌توانند حجم عظیمی از داده‌های شهری را تحلیل کرده و الگوها را کشف کنند، اما ذاتاً یک مدل حکمرانی برای نحوهٔ توافق انسان‌ها بر سر نتایج آن تحلیل ارائه نمی‌دهند (Lartey & Law, 2025, pp. 4-5; Russell, 2019, pp. 179-181).
- دوقلوی دیجیتال یک ابزار قدرتمند برای شبیه‌سازی و تجسم سناریوهای مختلف شهری است. این فناوری می‌تواند پیامدهای یک تصمیم را به صورت بصری نمایش دهد، اما در مورد «فرایند» چگونگی انتخاب یک سناریو از میان سناریوهای متعدد توسط نخبگان، ساکت است (Charitonidou, 2022; Stufano Melone, Borgo, & Camarda, 2025).

در مقابل، مسئلهٔ اصلی این پژوهش، خودِ «فرایند اجماع‌سازی» است. سؤال محوری این است: چگونه می‌توان فرایندی طراحی کرد که در آن گروهی از نخبگان مستقل بتوانند به شیوه‌ای شفاف، قابل راستی‌آزمایی و غیرمتمرکز به یک تصمیم واحد و مورد اعتماد دست یابند؟ الگوریتم‌های اجماع بلاک‌چین به طور مستقیم برای حل این نوع از مسائل هماهنگی توزیع‌شده (Distributed Coordination)، طراحی شده‌اند. بنابراین، انتخاب این فناوری نه از باب کارکردهای تحلیلی یا بصری، بلکه به دلیل تناسب مستقیم مدل مفهومی و روش‌شناختی آن با مسئلهٔ محوری پژوهش بوده است. ایدهٔ بهره‌گیری از منطق اجماع توزیع‌شده محدود به حوزهٔ مالی و رمزارزها نمانده و در سال‌های اخیر در بسیاری از علوم دیگر برای حل مسائل مرتبط با اعتماد، شفافیت و هماهنگی به کار گرفته شده است (Gadekallu & et al., 2021). این کاربردها نشان‌دهندهٔ بلوغ و قابلیت تعمیم این پارادایم است (Antal & et al., 2021). جدول ۴، مروری بر این کاربردها در حوزه‌های مختلف علمی و فنی دارد.

جدول ۴. پیشینهٔ کاربرد فرایندهای اجماع مبتنی بر بلاک‌چین در شهرسازی و سایر علوم

حوزهٔ کاربرد	نمونهٔ کاربرد مشخص	هدف اصلی از به‌کارگیری اجماع بلاک‌چین	نتایج و دستاوردهای کلیدی گزارش‌شده
مدیریت زنجیرهٔ تأمین	ردیابی اصالت کالاها (مانند الماس یا مواد غذایی)	ایجاد یک تاریخچهٔ شفاف و غیرقابل دستکاری از مبدأ تا مقصد برای تمامی کنشگران زنجیره.	کاهش تقلب، افزایش اعتماد مصرف‌کننده، بهبود کارایی در لجستیک و قابلیت ردیابی فوری محصولات.
بهداشت و درمان	مدیریت سوابق الکترونیکی سلامت بیماران	فراهم کردن دسترسی کنترل‌شده و ایمن بیمار و مراکز درمانی به یک سابقهٔ پزشکی واحد و تغییرناپذیر.	افزایش امنیت داده‌های بیمار، تسهیل در اشتراک‌گذاری اطلاعات میان پزشکان، و توانمندسازی بیمار برای کنترل داده‌های خود.
مدیریت مالکیت معنوی	ثبت حق کپی‌رایت و اختراعات	ایجاد یک گواهی زمانی (Timestamp) انکارناپذیر برای اثبات زمان خلق یک اثر یا ایده.	حفاظت از حقوق مالکیت معنوی، ساده‌سازی فرایندهای ثبت و کاهش اختلافات حقوقی.

حوزهٔ کاربرد	نمونهٔ کاربرد مشخص	هدف اصلی از به‌کارگیری اجماع بلاک‌چین	نتایج و دستاوردهای کلیدی گزارش‌شده
سیستم‌های رأی‌گیری	رأی‌گیری الکترونیکی امن و شفاف	تضمین اینکه هر رأی به‌درستی شمرده شده، غیرقابل تغییر است و هویت رأی‌دهنده محرمانه باقی می‌ماند.	افزایش چشمگیر شفافیت و اعتماد عمومی به فرایند انتخابات، و کاهش امکان تقلب و دستکاری.
شهرسازی و مدیریت شهری	ثبت اسناد و املاک: پروژه‌هایی در کشورهایی مانند سوئد، گرجستان و هند.	جایگزینی سیستم‌های متمرکز و کاغذی ثبت املاک با یک دفتر کل توزیع‌شده برای کاهش فساد و افزایش سرعت تراکنش‌ها.	افزایش امنیت مالکیت، کاهش هزینه‌ها و زمان انجام معاملات ملکی، و افزایش شفافیت در مدیریت اراضی.
شهرسازی و مدیریت شهری	مشارکت شهروندی: پلتفرم‌های تصمیم‌گیری بودجه‌ریزی مشارکتی.	ایجاد بستری برای شهروندان تا پیشنهادهای خود را ثبت کنند و در مورد تخصیص بودجه رأی دهند به طوری که نتایج قابل راستی‌آزمایی باشد.	افزایش مشارکت و مشروعیت تصمیمات، و ایجاد اعتماد میان شهروندان و شهرداری از طریق شفاف‌سازی فرایند.
شهرسازی و مدیریت شهری	مدیریت انرژی: شبکه‌های هوشمند توزیع انرژی	امکان خرید و فروش مستقیم انرژی مازاد تولیدی (مثلاً از پنل‌های خورشیدی) میان همسایگان بدون نیاز به شرکت توزیع متمرکز.	بهینه‌سازی مصرف انرژی، کاهش وابستگی به شبکه سراسری، و ایجاد انگیزه‌های اقتصادی برای تولید انرژی پاک.
(Jones, 2025); (Cernansky, 2024); (Pandey, 2018); (Hua & et al., 2022); (Pueyo, 2025); (WNCT, 2025); (Krawitz, 2019); (Saeed, Wen, & Afzal, 2024); (Din & Su, 2024)			

چهارچوب نظری

ادبیات شهرسازی راهبردی سرشار از مباحثی است که بر ماهیت چندبعدی، پویا و ذی‌نفعان متعدد مسائل شهری تأکید دارند (Shmelev, 2020, pp. 133-135). این مسائل که غالباً تحت عنوان «مسائل بغرنج» (Wicked Problems) طبقه‌بندی می‌شوند، راه‌حل‌های بهینه واحدی ندارند و موفقیت در مدیریت آن‌ها بیش از آنکه به یک پاسخ فنی وابسته باشد، به کیفیت فرایند تصمیم‌گیری و میزان اجماع میان نخبگان و کنشگران کلیدی بستگی دارد (Head, 2022, pp. 37–60). فرایندهای مشورتی نخبگانی به عنوان سازوکاری برای مواجهه با این پیچیدگی‌ها ظهور کرده‌اند؛ با این‌حال، مدل‌های سنتی اجماع‌سازی مانند دلفی یا شوراهای متمرکز، اغلب با چالش‌هایی نظیر سوگیری‌های شناختی، عدم شفافیت فرایند، و دشواری در تلفیق نظرات تخصصی متنوع مواجه بوده‌اند (Fefer, De-Urioste Stone, Daigle, & Silka, 2016; Pacchi, 2018).

در سوی دیگر این طیف، فناوری بلاک‌چین یک پارادایم روش‌شناختی برای ایجاد توافق در یک شبکه غیرمتمرکز از عاملان مستقل ارائه می‌دهد که دارای اعتماد متقابل نیستند (Arafat, 2025; Swan, 2015, p. Preface). هستهٔ مرکزی این فناوری، الگوریتم‌های اجماع هستند (Hussein, Salama, & El-Rahman , 2023)، که مجموعه‌ای از قوانین ازپیش‌تعریف‌شده برای اعتبارسنجی و ثبت داده‌ها در یک دفتر کل توزیع‌شده و تغییرناپذیر را فراهم می‌آورند (Rehmani, 2021, pp. 61–78). شباهت فرایندی میان این دو بستر، نقطهٔ عزیمت این پژوهش است: هر دو سیستم در پی دستیابی به یک «حقیقت واحد» (Single Source of Truth) از طریق توافق جمعی هستند؛ یکی در حوزهٔ تراکنش‌های دیجیتال و دیگری در حوزهٔ سیاست‌گذاری‌های راهبردی شهری. برای برقراری پیوند روش‌شناختی میان این دو حوزه، می‌توان از نظریات میان‌رشته‌ای به عنوان پل مفهومی بهره گرفت:

- نظریهٔ حکمرانی شبکه‌ای (Network Governance Theory): این نظریه، مدیریت شهری را نه به عنوان یک فرایند سلسله‌مرتبی، بلکه به عنوان شبکه‌ای از تعاملات میان نهادهای دولتی، خصوصی و مدنی توصیف می‌کند (da Cruz , 2022). ساختار غیرمتمرکز و توزیع‌شده یک شبکهٔ بلاک‌چین، مدلی عملی برای تحلیل و پیاده‌سازی سازوکارهای حکمرانی شبکه‌ای است. در این مدل، نخبگان شهری همانند «گره‌ها» در شبکهٔ بلاک‌چین عمل می‌کنند و الگوریتم اجماع، قواعد حاکم بر تعاملات آن‌ها برای رسیدن به یک تصمیم جمعی را تعریف می‌کند.
- نظریهٔ انتخاب عمومی (Public Choice Theory) و نظریهٔ بازی‌ها (Game Theory): این نظریات بر تحلیل رفتار استراتژیک افراد در فرایندهای تصمیم‌گیری جمعی تمرکز دارند (Dhir, 2023; Abdelghaffar, 2024; Kurz, Maaser, & Mayer, 2023, pp. 9-11). الگوریتم‌های اجماع مانند اثبات کار یا اثبات سهام، اساساً مبتنی بر انگیزه‌های اقتصادی و نظریهٔ بازی‌ها هستند (Motepalli & Jacobsen, 2021). این الگوریتم‌ها با طراحی یک سیستم پاداش و جزا، مشارکت‌کنندگان را به رفتار صادقانه ترغیب می‌کنند. این منطق می‌تواند برای مدل‌سازی و مدیریت تضاد منافع میان نخبگان شهری و هدایت آن‌ها به سمت یک اجماع پایدار به کار گرفته شود.
- نظریهٔ سیستم‌های پیچیده (Complex Systems Theory): این نظریه، شهرها را به عنوان سیستم‌های انطباقی پیچیده (Complex Adaptive Systems) (White, Engelen, & Uljee, 2015)، در نظر می‌گیرد که رفتار کلان آن‌ها از تعاملات غیرخطی میان اجزای خرد پدیدار می‌شود (Yang, Yang, Zhao, & Yang, 2022). فرایندهای اجماع نخبگانی نیز از همین دینامیک پیروی می‌کنند. الگوریتم‌های بلاک‌چین ذاتاً برای مدیریت هماهنگی در سیستم‌های پیچیده و توزیع‌شده طراحی شده‌اند و می‌توانند بستری برای مدل‌سازی و هدایت فرایندهای اجماع در محیط‌های شهری، با تمام عدم قطعیت‌های آن، فراهم آورند.

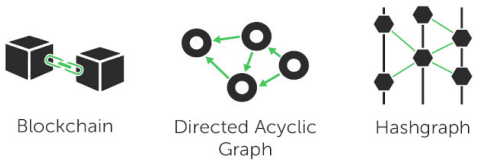
بنابراین، این پژوهش الگوریتم‌های بلاک‌چین را نه به عنوان یک راه‌حل فنی قطعی، بلکه به عنوان منبع الهامی روش‌شناختی برای بازطراحی فرایندهای اجماع نخبگان شهری به کار می‌گیرد. هدف، ایجاد سیستمی است که در آن شفافیت، پاسخ‌گویی و تصمیم‌گیری مبتنی بر شواهد، از طریق قواعدی الگوریتمیک تضمین شود. جدول ۵، سیر تکاملی این ایده را در بستر مطالعات پیشین نشان می‌دهد.

جدول ۵. سیر تکامل مفهومی پیوند میان فناوری‌های دیجیتال و اجماع‌سازی در شهرسازی

دوره	پارادایم حاکم بر اجماع شهری	فناوری دیجیتال موازی	سطح و نوع ارتباط	مبانی نظری پشتیبان و مطالعات کلیدی
دورهٔ پیشادیجیتال (تا ۱۹۸۰)	تصمیم‌گیری متمرکز و شوراهای کارشناسی بسته	سیستم‌های بایگانی فیزیکی و ارتباطات آنالوگ	ارتباط گسسته: فرایند مشورتی کاملاً انسانی و مبتنی بر جلسات حضوری بود.	نظریهٔ برنامه‌ریزی عقلانی جامع (Rational Comprehensive Planning)
دورهٔ گذار دیجیتال (۱۹۸۰ _ ۲۰۰۸)	ظهور مدل‌های مشارکتی اولیه (مانند برنامه‌ریزی حمایتی) و استفاده از سیستم‌های اطلاعاتی	پایگاه‌های داده متمرکز و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS)	سطح اطلاعاتی: فناوری برای تحلیل و به‌اشتراک‌گذاری داده‌ها به کار می‌رفت، اما فرایند اجماع همچنان غیرالگوریتمیک بود.	نظریهٔ برنامه‌ریزی ارتباطی (Communica-tive Planning Theory)، نظریهٔ یادگیری اجتماعی (Social Learning Theory)
عصر وب ۲.۰ و مشارکت الکترونیکی (۲۰۰۸ _ ۲۰۱۶)	گسترش پلتفرم‌های مشارکت شهروندی الکترونیکی (e-Participation)	رسانه‌های اجتماعی، پلتفرم‌های برون‌سپاری کارها (Crowdsourc-ing) و سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری گروهی (GDSS)	سطح تعاملی: فناوری برای گردآوری نظرات انبوه و تسهیل تعاملات به کار گرفته شد، اما چالش اعتبارسنجی و تجمیع نظرات پابرجا بود.	نظریهٔ دموکراسی مشورتی (Deliberative Democracy)، نظریهٔ خرد جمعی (Wisdom of Crowds)
عصر بلاک‌چین و قراردادهای هوشمند (۲۰۱۷-اکنون)	کاوش در مدل‌های حکمرانی غیرمتمرکز و تصمیم‌گیری داده‌محور الگوریتمیک	فناوری دفتر کل توزیع‌شده (DLT)، بلاک‌چین و قراردادهای هوشمند	سطح فرایندی و روش‌شناختی: بهره‌گیری از منطق الگوریتم‌های اجماع برای بازطراحی خودِ فرایند تصمیم‌گیری، افزایش شفافیت و خودکارسازی قواعد توافق.	نظریهٔ حکمرانی شبکه‌ای (Network Governance Theory)، نظریهٔ هزینهٔ تراکنش (Transaction Cost Economics)، نظریهٔ سیستم‌های پیچیده (Complex Systems Theory)

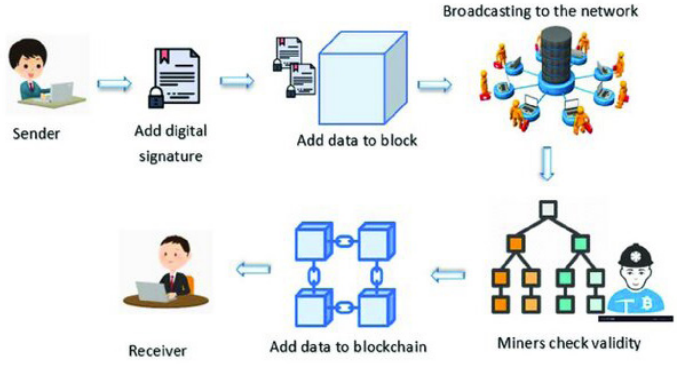
مبانی نظری

فناوری دفتر کل توزیع‌شده (DLT)، نوعی فناوری سازماندهی در فضای مجازی برای اطلاعات مختلفی است که به شکل غیرمتمرکز ذخیره می‌شوند. یکی از انواع این فناوری‌ها، بلاک‌چین است. در واقع به زبان ساده، همهٔ بلاک‌چین‌ها، DLT هستند، اما همهٔ DLT ها بلاک‌چین نیستند. دفاتر کل توزیع‌شده رایج‌تر، بلاک‌چین، دگ (DAG) و هش‌گراف (Hashgraph) هستند (شکل ۲). فناوری دفتر کل توزیع شده اساساً یک پایگاه داده است که در میان رایانه‌های مختلف در سراسر جهان به اشتراک گذاشته می‌شود[۵] و یک محیط غیر متمرکز را به جای یک نهاد متمرکز ایجاد می‌کند[۶]. در حال حاضر، پرکاربردترین نوع فناوری دفتر کل توزیع‌شده، بلاک‌چین است. بلاک‌چین چیزی فراتر از یک پایگاه داده بوده و در واقع یک سیستم کامل با قطعات متحرک و اجزائی است که با هم کار می‌کنند.



شکل ۲. شیوه‌های ایجاد اجماع بین اعضا (گره‌ها) ی مرتبط به موضوع اجماع‌سازی در مشهورترین فناوری‌های دفتر کل توزیع‌شده

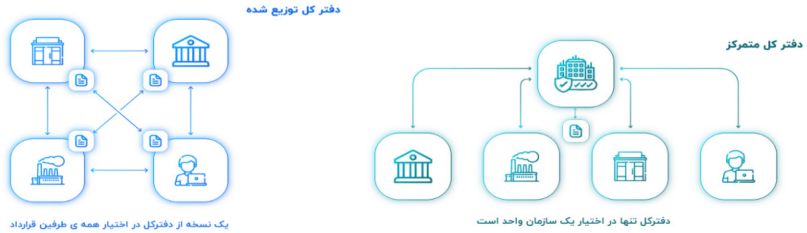
در فناوری بلاک‌چین باید همهٔ گره‌های شبکه توافق نظر داشته باشند؛ به این معنا که وقتی دادهٔ ورودی به شبکه ارسال می‌شود، باید توسط گره‌های شبکه تأیید شود[۷]. هر بار که تعدادی از داده‌ها توسط شبکه تأیید شود، آن‌ها در بلاک بعدی زنجیره قرار گرفته و در تاریخچهٔ شبکه ثبت می‌شوند. بلاک، قطعه‌ای از داده‌ها است که داده‌های مرتبط با یک موضوع مشخص در آن ثبت شده‌اند. به بیان دیگر، اگر یک سری داده غیر متمرکز از اعضای مؤثر و دخیل در موضوع اجماع، به عنوان ورودی به این فناوری ارسال شود، باید منتظر بماند تا آن داده‌ها از جنبهٔ اعتبار و دقتِ ازپیش‌تعریف‌شده به عنوان مقدار مجاز، توسط بلاک‌های مرتبط با آن موضوع، اعتبارسنجی شود و نتیجهٔ آن در دفتر کل توزیع شده ثبت شود.



شکل ۳. فرایند ایجاد و اعتبارسنجی داده‌های سازندهٔ بلاک‌ها در فناوری دفتر کل بلاک‌چین (Sunny & et al, 2022)

فناوری بلاک‌چین با ظهور بیت کوین به عنوان یک رمز ارز همتا برای همتا (Peer to peer)، شناخته شد. نحوهٔ کارکرد شبکهٔ بیت کوین به این‌صورت است که هر ده دقیقه یک سری تراکنش، به عنوان داده‌های ورودی جدید هَش (Hash)، یا در واقع در یک بلاک، به عنوان مجموعه داده کوچک، فشرده می‌شوند تا در صورت تأیید دقت و اعتبار آن، بلاک بعد (جدید)ی ایجاد شود. به همین‌دلیل است که به آن فناوری بلاک‌چین گفته می‌شود، زیرا در واقع یک زنجیره از بلاک‌ها است. کاربرانی که وظیفهٔ ایجاد بلاک‌های جدید را به عهده دارند ماینر (Miner) یا داده‌کاو نامیده می‌شوند و با کوین (سکهٔ مجازی)هایی که هنگام ایجاد هر بلاک جدید ضرب (تولید) می‌شوند، پاداش می‌گیرند که آن را پاداش بلاک می‌نامند و به عنوان انگیزه‌ای برای داده‌کاوها به منظور تداوم بلاک‌سازی در شبکه عمل می‌کند. بدون ماینرها، شبکه از دقت و اعتبار کافی برای تأیید صحت و ارزش بلاک‌های جدید، برخوردار نخواهد بود و از کار خواهد افتاد.

مشابه با تعریف دفتر کل (در دو نوع توزیع‌شده و توزیع‌نشده)، شهرسازی راهبردی شهری نیز متکی بر نظرات نخبگانی به قصد مداخلات مشارکتی و پایداری محیطی است. بر همین اساس است که داده‌های مد نظر برای اجماع نظرات نخبگان، در اختیار همهٔ طرفین و ذی‌نفعان قرار گرفته و با استفاده از نظرات آن‌ها، سرفصل‌های مشترک و تخصصی شکل‌دهنده به موضوع اجماع‌سازی، شکل می‌گیرد.



شکل ۴. مقایسهٔ ارتباط بین اعضای رأی‌دهنده برای تأیید نتایج الگوریتم‌های اجماع در فناوری‌های دفتر کل دیجیتال

بررسی پژوهش‌های مرتبط نشان می‌دهد در مبانی نظری، دو دیدگاه اصلی دربارهٔ استفاده از فناوری‌های نوین در اجماع‌سازی وجود دارد. گروهی از پژوهشگران معتقدند که سیستم‌های مبتنی بر الگوریتم‌های اجماع‌سازی قادر به افزایش دقت در تصمیم‌گیری‌های شهری هستند، زیرا از خطای انسانی و جهت‌گیری‌های شخصی جلوگیری می‌کنند (Shen & Pena-Mora, 2018). در مقابل، برخی مطالعات نشان داده‌اند وابستگی بیش‌ازحد به سیستم‌های داده‌محور، ممکن است انعطاف‌پذیری مورد نیاز در تصمیم‌گیری‌های شهری را کاهش دهد و موجب ایجاد نتایج غیرواقعی شود (Hollands, 2015).

مفاهیم ایجادی

در مرحلهٔ جمع‌آوری داده‌ها، یک رویه اصلی در تعاریف موجود این است که مدل‌های اجماع‌سازی عمدتاً در حوزه‌های اقتصادی و مدیریتی بررسی شده‌اند، نه در شهرسازی راهبردی (Jiang , Geertman, & Witte, 2021). علاوه بر این، روش‌های سنتی تحلیل نظرات نخبگان، از مدل‌های داده‌محور کمتر استفاده کرده‌اند. برای اصلاح این کمبودها، مطالعات جدید پیشنهاد می‌کنند که روش‌های یادگیری ماشینی و تحلیل شبکه‌های پیچیده برای سنجش و یکپارچه‌سازی دیدگاه‌های مختلف نخبگان (Zheng, et al., 2024)، مبتنی بر روش‌های الگوریتمی و داده‌محوری به کار گرفته شوند.

بر این‌اساس می‌توان گفت که مسئلهٔ پژوهش حاضر شامل مصادیقی از نوع «مفاهیم ایجادی» است که دربردارندهٔ موضوعات زیر است. ارتباط این موضوعات با مسئلهٔ پژوهش به میزان زیادی معتبر است، اما چالش‌هایی مانند تناسب مدل‌های اجماع‌سازی در بورس با ساختارهای تصمیم‌گیری شهری و نحوهٔ تطبیق داده‌های کلان شهری با رویکردهای اجماع‌سازی بلاک‌چینی، نیازمند بررسی‌های دقیق‌تری است.

در این مرحله از روش تحقیق مطالعهٔ انطباقی با بهره‌گیری از روش جبر بولی (Boolean Algebra)، که در آن همهٔ متغیرها به صورت صفر و یک معرفی می‌شوند، برای یک مرحله جلوتر رفتن و فراهم کردن مقدمات راهبری نظری، و استفاده از «متغیرهای فاصله‌ای»، باید هر متغیر را به یک متغیر اسمی چندمقوله‌ای تبدیل و سپس به هر مقوله، صفر یا یک داد. بنابراین، مفاهیم ایجادی (جدول ۶) که به صورت متغیر اسمی چندمقوله‌ای بیان شده‌اند، به طور مستقیم بیان‌کنندهٔ نیاز چند حوزهٔ کلیدی در برنامه‌ریزی راهبردی شهری، به این مفاهیم هستند. بر همین‌اساس در ادامه، برخی اصطلاحات کلیدی در منابع کتابخانه‌ای که به توصیف این مصادیق کمک می‌کنند، ارائه می‌شوند:

جدول ۶. جدول ارزش مفاهیم ایجادکنندهٔ ارکان انطباق

مفهوم ایجادی	تعریف	مهم‌ترین خصوصیات مد نظر از جنبهٔ		مقیاس‌دهی دو ارزشی: دارد (۱) ندارد (۰)							
		روش‌شناسی	محتواشناسی	أ	ب	ج	۱	۲	a	b	c
اجماع‌سازی نظرات (⩲)	فرایند دسته‌بندی و وزن‌دهی نظرات تخصصی نخبگان در شهرسازی راهبردی برای تصمیم‌گیری شفاف داده‌محور	نقش نخبگان در فرایند تصمیم‌گیری (A)	میزان مشارکت نخبگان مورد نیاز برای اجماع‌سازی (B)	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۰
				۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰
		سیستم‌های تصمیم‌گیری مبتنی بر توافق جمعی (C)	دقت و اعتبار نظرات در ارتباط با موضوع اجماع (D)	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۰
				۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰	۱
		مکانیسم‌های مشارکت نخبگان در تصمیم‌سازی مشورتی (E)	شفافیت فرایند تصمیم‌گیری و فرایند اخذ نظرات نخبگان (F)	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱
				۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۰

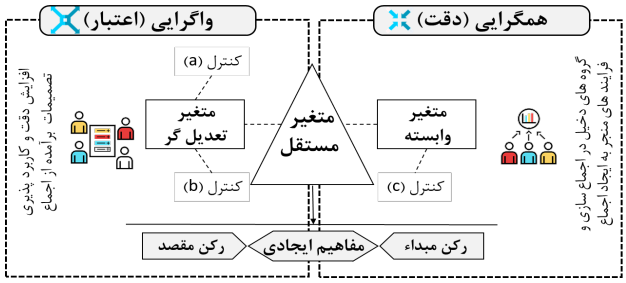
مفهوم ایجادی	تعریف	مهم‌ترین خصوصیات مد نظر از جنبهٔ		مقیاس‌دهی دو ارزشی: دارد (۱) ندارد (۰)							
		روش‌شناسی	محتواشناسی	أ	ب	ج	۱	۲	a	b	c
داده‌محوری در تصمیم‌گیری (※)	استفاده از داده‌های معتبر، تحلیل کلان‌داده و روش‌های نرم‌افزاری بر مبنای مدیریت دانش نخبگانی همچون یادگیری ماشین برای هدایت فرایندهای تصمیم‌گیری و کاهش سوگیری‌های انسانی.	استفاده از تحلیل داده زمینه‌ای در فرایندهای اجماع (G)	دسترسی به داده‌های معتبر تحلیل‌پذیر در موضوع اجماع (H)	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۰
				۱	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۰
		تصمیم‌گیری مبتنی بر شواهد در اجماع‌سازی (I)	کاهش خطا در تصمیم‌گیری (J)	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۰
				۱	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۰
		شاخص‌های مبتنی بر داده برای ارزیابی اجماع (K)	افزایش دقت پیش‌بینی و کاهش زمان تصمیم‌گیری (L)	۱	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۱
				۱	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۱
تنوع رشته‌های علمی دخیل در اجماع (⊞)	استفاده از روش‌های تحلیل شبکه‌ای در ارتباط‌شناسی نخبگان، میزان نفوذ آن‌ها و نحوهٔ تأثیرگذاری بر فرایند اجماع‌سازی به منظور رسیدن به دقت و اعتبار مورد نیاز برای اشباع	روش‌های تلفیقی بین‌رشته‌ای در اجماع‌سازی (M)	وزن‌دهی به نظرات بر اساس تخصص (N)	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰
				۰	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۱
		تراکم شبکهٔ نخبگان در فرایند تصمیم‌گیری (O)	سطح تنوع نظرات مورد اجماع (P)	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۰	۰
				۱	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۱
		ارتباط‌سنجی بین رشته‌ها و شواهد علمی با موضوع اجماع (Q)	میزان انسجام و همگرایی در نتایج حاصل از مشورت نخبگان (R)	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۰
				۱	۰	۰	۱	۱	۰	۰	۱
مدل‌های تصمیم‌گیری غیر متمرکز (⌘)	استفاده از روش‌های توزیع‌شده برای تصمیم‌گیری برای امکان مشارکت گسترده و توزیع تأثیرگذاری نظرات نخبگان در فرایندهای تصمیم‌سازی	تعداد مشارکت‌کنندگان در هر فرایند تصمیم‌گیری (S)	کاهش تمرکزگرایی و گسترش هسته‌های مشورتی (T)	۰	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۰
				۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۰
		استقلال مناطق مختلف در تصمیم‌گیری‌های محلی (U)	قابلیت تعامل میان گروه‌های مختلف (V)	۰	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰
				۱	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۱
		سطح رضایت عمومی از تصمیمات اتخاذشده (W)	پذیرش و اقبال اجتماعی تصمیمات اتخاذشده (X)	۰	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۱
				۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰	۰

(Arakawa & Bader, 2022); (Korherr, Kanbach, Kraus, & Mikalef, 2022); (Sniderman & et. al, 2024); (Elragal & Elgendy, 2024); (Castells, 2015); (Fukuyama, 2018); (Koutsikouri, Hylving, Bornemark, & Lindberg, 2024); (Dahl, 2020); (Sprenger & Hartmann, 2019); (Stone, 2024); (Fung, Graham, & Weil, 2008); (Surowiecki, 2005)

در این بخش، به منظور راهبری نظری از طریق فرموله کردن این روابط (جدول ۷)، نیاز داریم که رابطهٔ بین متغیرهای مستقل را یک بار نسبت به متغیر وابسته و یک بار نسبت به متغیر تعدیل‌گر در نظر بگیریم، به صورتی که بر اساس ماهیت متغیرهای مستقل و وابسته می‌توان گفت که بیشترین تأثیرگذاری آن، در تعیین خصوصیات گروه‌های دخیل در اجماع‌سازی و فرایندهای به ایجاد اجماع منجر است. پس به رکن مبدأ، یعنی الگوریتم‌های اجماع بلاک‌چینی، بیشترین تأثیرگذاری را دارد. در سمت دیگر، با توجه به اینکه، کانون توجه مفاهیم ایجادی، بر افزایش دقت و کاربردپذیری تصمیمات برآمده از اجماع است، می‌توان گفت که با ماهیت ارتباط بین متغیرهای مستقل و تعدیل‌گر، بیشترین همخوانی و تأثیرگذاری را دارد.

در ادامه، باید ارتباط این دو فرمول ایجادشده برای مدل‌سازی حوزهٔ تمرکز (جدول ۷) را، با در نظر گرفتن تأثیرات زمینه‌ای که متغیرهای کنترل می‌گذارند، دقیق‌تر کنیم. با همان تفسیر بالا، می‌توان گفت که متغیرهای کنترل a و b، از آنجا که به کاربرد و دقت تصمیمات برآمده از اجماع در شهرسازی راهبردی تأکید دارند، پس باید در فرمول رکن مقصد، بروز کنند. و به‌عکس؛ یعنی از آنجا که کانون تمرکز متغیر کنترل c، بر مراحل و فرایندهای منجر به اجماع‌سازی است، پس باید در فرمول رکن مبدأ، مد نظر قرار گیرد.

جدول ۷. مدل‌سازی حوزهٔ تمرکز (بالا) و جدول توزیع (پایین) برای فرموله کردن روابط ارکان انطباق



▼جدول ۶◀		مفاهیم ایجادی				فرمول اولیه پیش‌بینی خصوصیات «نظریه‌های راهنما» در:			
		⁜	※	⧉	⌘	رکن مبدأ c- (أ ∣ب ∣ج)			رکن مقصد (a+b)-(أ ∣ب ∣ج)
مستقل	أ	B-C-D-E-F	H-I-J-K-L	M-O-P-R	T-V	▼گزینه‌های قابل طرح برای خصوصیات نظریه‌های راهنما، به تفکیک متغیرهای مستقل، با شکست فرمول کلی ▼			
	ب	C-D-E	G-H-I-J-L	M-Q	U-W				
	ج	B-C-D-E-F	H-I-J-K-L	P-Q	S-T-U-V-W-X	فرمول c- (أ) B+C+F+H+I+J+M+O+p+t+W	⊟	⊖	(أ)-(a+b) C+D+K+L+P+R+V
وابسته	۱	A-B-C-D-E-F	G-J-K	M-N-P-R	S-T-V-X				
تعدیل	۲	A-B-C-D-E-F	G-I-J-K-L	M-N-O-P-Q-R	S-T-V-X	فرمول c- (ب) C+G+H+I+J+M+Q+U	⊠	⊗	(ب)-(a+b) C+D+L+W
کنترل	a	B-E	H-I	N-O	U-X				
	b	B-F	G-J	M-Q	S-T	فرمول c- (ج) B+C+F+H+I+J+P+Q+S+T+U+X	⊞	⊕	(ج)-(a+b) C+D+K+L+P+V+W
	c	D-E	K-L	N-C-R	V-W				

عوامل کلیدی نظریه‌های راهنما

در روش تحقیق مطالعهٔ انطباقی، به نظریه‌هایی که به صورت میانجی‌گرانه، توانایی ارتباط‌دهی ارکان تطبیق به یکدیگر را دارند، راهنما گفته می‌شود[۸] (Zarandi, 2024). به منظور عامل‌یابی از طریق تعیین علل و نقش عوامل کلیدیِ خصوصیات ارکان تطبیق، با استفاده از جدول ۷، چند گزینه ایجاد شده است. این گزینه‌ها، بر اساس پیاده‌سازی فرمول اولیه پیش‌بینی خصوصیات نظریه‌های راهنما، در هر یک از رکن‌های مبدأ و مقصد ایجاد شده‌اند. در ادامه با توجه به، باهم‌آیی خصوصیات روش‌شناسی و محتواشناسی در هر یک از این گزینه‌ها، به تأثیر آن‌ها بر ایجاد خصوصیات نظریه‌های راهنما در جدول ۸ و پیش‌بینی دوسویه خصوصیات نظریات راهنما بر اساس انطباق غیر جبری، خواهیم پرداخت؛ به این معنا که با تعویض رکن مبدأ و مقصد، به دنبال شناسایی کامل توانایی‌های هر دو رکن برای تأثیرگذاری بر خصوصیات نظریات راهنما هستیم.

جدول ۸. عامل‌یابی و نام‌گذاری پیشنهادی برای هر یک از گزینه‌های نظریه‌های راهنما از جدول ۷

گزینه	عوامل کلیدی (۵)	خصوصیات روش‌شناسی (⚖)	خصوصیات محتواشناسی (⚚)
⊞ – همپوشانی تصمیم‌گیری	تحلیل ساختاری، گره‌های تصمیم، توزیع نظرات، تقاطع داده‌ها، همپوشانی تحلیل، روابط متقابل، فرایند چندلایه، همگرایی نظرات، وزن‌دهی سلسله‌مراتبی، تعدیل متغیرها	بهره‌گیری از شبکه‌های چندعاملی در تعیین همپوشانی نظرات نخبگان و تنظیم وزن‌دهی به متغیرهای تأثیرگذار در فرایندهای تصمیم‌گیری برای کاهش سوگیری‌ها و تنظیم همگرایی روش‌های مقایسه‌ای	تجمیع داده‌های تخصصی برای تحلیل همپوشانی میان نظرات مختلف و تعدیل وزن نظرات بر اساس قابلیت اجرایی و پذیرش اجتماعی در تصمیم‌گیری‌های راهبردی و تقاطع تحلیل‌های محتوایی
⊠ – داده‌کاوی ساختاری	داده‌کاوی، تحلیل خوشه‌ای، توزیع متمرکز، کنترل ورودی، شبیه‌سازی الگوها، ارزیابی سناریو، مقیاس‌پذیری داده‌ها، تحلیل تقاطعی، تنظیم معیارهای تصمیم‌گیری، استنتاج سیستمی	بهره‌گیری از خوشه‌بندی داده‌ها برای دسته‌بندی نظرات نخبگان و کنترل میزان تنوع ورودی در فرایند اجماع‌سازی برای استخراج الگوهای کارآمد در تصمیم‌گیری‌های شهری	تنظیم استانداردهای کیفی برای پایش ورودی‌های تحلیلی و استفاده از تحلیل سیستمی در ارزیابی پذیرش اجتماعی نظرات متخصصان در فرایند تصمیم‌گیری نخبگان
⊞ – تحلیل ماتریسی	شفافیت اطلاعات، تحلیل ماتریسی، همسوسازی شاخص‌ها، مقایسهٔ همبستگی‌ها، کنترل پارامترها، پردازش تطبیقی، استخراج داده‌های معنادار، تنظیم ضرایب وزنی، تحلیل انعطاف‌پذیری، ارزیابی شبکه‌های تصمیم‌گیری	تحلیل تطبیقی روابط بین‌رشته‌ای در ایجاد سیستم‌های اجماع و سنجش دقت اطلاعات ورودی از نظر تعاملات بین نخبگان برای افزایش قابلیت انطباق‌پذیری در تصمیم‌گیری	تنظیم روابط متقابل بین حوزه‌های دانش مختلف و بررسی میزان تأثیرپذیری پارامترهای تخصصی در بهینه‌سازی ساختارهای تصمیم‌گیری شهری

گزینه	عوامل کلیدی (۵)	خصوصیات روش‌شناسی (⊞)	خصوصیات محتواشناسی (⊤)
⊖ - تطبیق اطلاعات	مقایسهٔ الگوریتمی، تطبیق دینامیک داده‌ها، تنظیم ضرایب اعتبار، فیلترگذاری اطلاعات، تنظیم معیارهای دقت، ارزیابی میانگین تصمیمات، پردازش چندمرحله‌ای، تحلیل محتوایی تصمیمات، تلفیق داده‌های متنوع، ایجاد همخوانی مدل‌های تصمیم‌گیری	تنظیم ماتریس مقایسه‌ای برای تحلیل داده‌های ورودی و ترکیب فرایندهای تحلیلی در تصمیم‌گیری‌های راهبردی برای ایجاد سازگاری داده‌محور میان روش‌های تحلیل اجماع	تنظیم مکانیسم‌های داده‌محور برای تفکیک اطلاعات و ایجاد پیوستگی در تصمیم‌گیری‌های چندعاملی با ارزیابی شاخص‌های تأثیرگذار در پذیرش اجتماعی
⊗ - مدل‌سازی ترکیبی	تحلیل سیستمی، طبقه‌بندی دانش، تنظیم قواعد تصمیم‌گیری، استفاده از مدل‌های تلفیقی، پایش تطبیقی داده‌ها، تنظیم مقیاس اعتبار، مقایسهٔ روش‌های استنتاج، ایجاد مدل‌های تطبیقی، ارزیابی روش‌های مقایسه‌ای، تعدیل پارامترهای تصمیم‌گیری	ایجاد مدل‌های ترکیبی برای بررسی دقت داده‌های ورودی و تنظیم معیارهای استاندارد برای مقایسهٔ میزان پذیرش تصمیم‌گیری‌های نخبگان در محیط‌های اجماع چندمرحله‌ای	تنظیم فرایندهای تحلیل کیفی برای ارزیابی قابلیت انطباق روش‌های تصمیم‌گیری و ایجاد همبستگی میان شاخص‌های کلیدی برای ارتقای شفافیت در تصمیمات راهبردی
⊕ - همگرایی شاخص‌ها	همگرایی متغیرها، تعامل سیستمی، توزیع اطلاعات، تنظیم قوانین فرایند، کنترل همبستگی شاخص‌ها، تحلیل چندسطحی، مقایسهٔ روش‌های مشارکتی، ارزیابی تطبیقی شاخص‌ها، پالایش اطلاعات، تحلیل سناریوهای تصمیم‌گیری	ایجاد مدل‌های همبسته برای تحلیل فرایندهای تصمیم‌گیری غیرمتمرکز و استفاده از شاخص‌های تلفیقی در ارزیابی روش‌های اجماع برای تنظیم میزان قابلیت اجرای تصمیمات راهبردی	تلفیق روش‌های داده‌محور برای تنظیم شاخص‌های کلیدی تصمیم‌گیری و ارزیابی میزان همگرایی داده‌های ورودی در سیستم‌های مشارکتی برای ایجاد تصمیم‌گیری جامع‌تر

جدول ۹. پیش‌بینی خصوصیات بر اساس انطباق دوطرفه غیر جبری نظریات راهنمای هم‌تراز

گزینه	خصوصیات لازم (○) و کافی (●)	تعیین ارکان و جهت انطباق			خصوصیات لازم (○) و کافی (●)	گزینه
⊡ - همپوشانی تصمیم‌گیری	خوشه‌بندی عوامل اثرگذار، ارزیابی مدل‌های نظری، تعیین محدودهٔ اثرگذاری، تفکیک نظرات مرتبط، استفاده از الگوریتم‌های چندمرحله‌ای، ایجاد ساختار تصمیم‌گیری	رکن مبدأ با فرمول c- (أ)	⇐	رکن مقصد با فرمول (a+b)-(أ)	طراحی فرایند توزیع داده، تحلیل انطباقی متغیرها، بهینه‌سازی روش‌های تحلیلی، استفاده از ساختارهای سلسله‌مراتبی، تنظیم محدودهٔ تأثیرگذاری نظرات، تفکیک داده‌های کلان	⊖ - تطبیق اطلاعات
	ایجاد سازگاری در سطح تحلیل‌ها، کنترل توزیع اطلاعات، تنظیم پارامترهای سیستمی، تحلیل پایداری الگوریتم‌ها، ارزیابی کیفیت اجماع، تنظیم معیارهای پذیرش نتایج	رکن مقصد با فرمول c- (أ)	⇒	رکن مبدأ با فرمول (a+b)-(أ)	بررسی دقت داده‌ها، تنظیم چهارچوب تحلیل کیفی، مقایسه شاخص‌های فرایندی، استفاده از روش‌های استنتاجی، تحلیل تطبیقی مدل‌های پیش‌بینی، تعیین مقیاس اثرگذاری	
⊠ - داده‌کاوی ساختاری	مدل‌سازی احتمالاتی، ارزیابی سطح ارتباطات، تحلیل وابستگی‌های داده‌ای، توزیع متغیرهای تأثیرگذار، پردازش مبتنی بر الگوهای رفتاری، مقایسهٔ تطبیقی شاخص‌های کلیدی	رکن مبدأ با فرمول c- (ب)	⇐	رکن مقصد با فرمول (a+b)-(ب)	تنظیم پارامترهای ورودی، ایجاد سیستم‌های کنترلی، شبیه‌سازی داده‌های تصمیم‌گیری، تحلیل پویایی نظرات، ارزیابی میزان مقبولیت اجتماعی، تعیین مسیرهای بهینهٔ تحلیل	⊗ - مدل‌سازی ترکیبی
	ایجاد چهارچوب‌های ترکیبی، ارزیابی انطباق‌پذیری روش‌ها، تنظیم ساختارهای غیرمتمرکز، سنجش پایداری سیستم‌های تصمیم‌گیری، تحلیل مقیاس‌پذیری، تنظیم مدل‌های پیش‌بینی	رکن مقصد با فرمول c- (ب)	⇒	رکن مبدأ با فرمول (a+b)-(ب)	پردازش داده‌های تخصصی، تحلیل فرایندهای مدل‌سازی، بررسی قابلیت ترکیب مدل‌ها، تعدیل معیارهای اجماع، مقایسهٔ نرخ پذیرش تصمیمات، تنظیم روابط میان پارامترها	
⊞ - تحلیل ماتریسی	شناسایی تعاملات همپوشان، تنظیم شاخص‌های کلیدی، پردازش داده‌های پویای شهری، شبیه‌سازی رفتار تصمیم‌گیرندگان، همسوسازی داده‌های ورودی، ارزیابی میزان خطای تصمیم	رکن مبدأ با فرمول c- (ج)	⇐	رکن مقصد با فرمول (a+b)-(ج)	تحلیل ساختارهای انطباقی، مقایسهٔ روش‌های تحلیل داده، طراحی مسیرهای منطقی برای تصمیم‌سازی، سنجش تأثیرگذاری روش‌های تحلیل، تنظیم استراتژی‌های چندبعدی، کنترل ورودی‌های تطبیقی	⊕ - همگرایی شاخص‌ها
	تنظیم ساختارهای غیرخطی، ارزیابی پویایی سیستم‌های اجماع، مقایسهٔ نرخ پذیرش اجتماعی، تنظیم مسیرهای تحلیل انعطاف‌پذیر، بررسی قابلیت ترکیب مدل‌های اجماع، ایجاد فرایندهای استانداردسازی نتایج	رکن مقصد با فرمول c- (ج)	⇒	رکن مبدأ با فرمول (a+b)-(ج)	استفاده از سیستم‌های داده‌کاوی، ارزیابی نقش اطلاعات در اجماع، تنظیم فرایند تحلیل چندمعیاره، مقایسهٔ میزان دقت روش‌های پیش‌بینی، بررسی همبستگی مدل‌های محاسباتی، تحلیل میزان همگرایی تصمیمات	

در ادامه به منظور انطباق با بستر، نیاز داریم از آنجا که هر یک از متغیرهای مستقل، توانایی ایجاد متغیر وابسته را در رکن مبدأ و متغیر تعدیل را در رکن مقصد، به صورت جداگانه دارند، فرمول‌های پیش بینی خصوصیات نظریه راهنما که در جدول ۷، بر اساس جمع غیر جبری و اولیه در نظر گرفته شده‌اند را در جدول ۱۰، به صورت جمع جبری و تکمیل شده در نظر بگیریم، زیرا هر یک از متغیرهای مستقل به‌تنهایی نیز امکان ایجاد متغیرهای وابسته و تعدیل را ممکن می‌سازد.

معادله در حالت کلی برای حالتی که تمرکز بر تأثیرگذاری بیشتر متغیرها در رکن مبدأ باشد، به صورت (a+b)-۱=c- (أ|ب|ج)، است؛ به این معنا که تأثیر متغیر (های) مستقل در بستر مبدأ، بعد از خالص‌سازی توسط حذف اثر متغیر کنترل (c)، منجر به ایجاد خصوصیاتی دقیق ای در متغیر وابسته (۱) می‌شود که بعد از حذف اثر متغیرهای کنترل (a) و (b)، دارای اعتبار بالایی برای انطباق با بستر مقصد خواهد بود. همچنین، برای حالتی که تمرکز بر تأثیرگذاری بیشتر متغیرها در رکن مقصد باشد، فرمول تکمیل‌شده به شکل،

c-۲=(a+b)-(أ|ب|ج)، در نظر گرفته می‌شود؛ به این معنا که متغیر (های) مستقل در بستر مقصد، بعد از خالص‌سازی اثر متغیرهای کنترل (a) و (b)، منجر به ایجاد خصوصیات دقیقی در متغیر تعدیل‌گر (۲) می‌شود که بعد از حذف اثر متغیر کنترل (c)، با اعتبار بالایی می‌تواند در در بستر مقصد پیاده‌سازی شود.

جدول ۱۰. دستیابی به شواهد زمینه‌ای حضور یا غیبت عوامل کلیدی بر اساس جمع و ضرب جبری روابط متغیرها

معادل سازی	رکن مبدأ (⊞|⊠|⊟) =۱-(a+b)	رکن مقصد (⊕|⊗|⊖) =۲-c	معادل سازی	فرمول نهایی	دسته‌بندی
■ = ۱-(a+b)	■=⊞	◆=⊕	◆ = ۲-c	■ + ◆ = ⊞ + ⊕	①
	■=⊠	◆=⊗		■ + ◆ = ⊠ + ⊗	②
	■=⊟	◆=⊖		■ + ◆ = ⊟ + ⊖	③
	■=(⊞ | ⊠)	◆=(⊕ | ⊗)		■ + ◆ = (⊞ | ⊠) + (⊕ | ⊗)	④
	■=(⊞ | ⊟)	◆=(⊕ | ⊖)		■ + ◆ = (⊞ | ⊟) + (⊕ | ⊖)	⑤
	■ = (⊠ | ⊟)	◆=(⊗ | ⊖)		■ + ◆ = (⊠ | ⊟) + (⊗ | ⊖)	⑥
	■=(⊞ | ⊠ | ⊟)	◆=(⊕ | ⊗ | ⊖)		■ + ◆ = (⊞ | ⊠ | ⊟) + (⊕ | ⊗ | ⊖)	⑦

▼ شواهد زمینه‌ای علل حضور و غیبت عوامل کلیدی، بر اساس تحلیل و تفسیرِ فرمول‌های نهایی ▼

دسته	شواهد زمینه‌ای رکن مبدأ	عوامل کلیدی رکن مبدأ	شواهد زمینه‌ای رکن مقصد	عوامل کلیدی رکن مقصد
①	رمزگذاری داده‌ها، گواه اثبات صحت داده، الگوریتم توافق، زمان‌سنجی توزیع، هش‌گذاری داده‌ها، زنجیرهٔ تأیید بلوکی، تصدیق تراکنش توزیع شده، تأیید چندمرحله‌ای اقدامات منجر به ایجاد بلوک اجماع	فرایند رمزگذاری داده‌ها به عنوان مکانیسم پایه برای تضمین اعتبار داده‌ها و ایجاد بستری شفاف در ثبت داده‌های ورودی که بر مبنای تصدیق چندمرحله‌ای تنظیم می‌شود و کاهش خطا را از طریق زمان‌سنجی توزیع فراهم می‌آورد	شاخص‌های چندرشته‌ای، شبکهٔ مشارکتی، تلفیق نظرات، تعامل نخبگان، پایگاه دانش شهری، وزن‌دهی موضوعات، دسته‌بندی سرفصل‌ها، نظارت تطبیقی، همگرایی شاخص‌ها، استانداردهای موضوعی	پایگاه دانش شهری به عنوان بستری برای تلفیق نظرات و تنظیم وزن‌دهی موضوعات برای دستیابی به دسته‌بندی تخصصی و افزایش همگرایی شاخص‌ها از طریق تعامل مستقیم میان نخبگان، ایجاد می‌شود.
②	مدل‌سازی تراکنش، انتخاب تصادفی، خوشه‌بندی داده‌ها، تأیید سیستمی، تحلیل رفتار شبکه، اعتبارسنجی تطبیقی، توزیع منصفانه، کدگذاری توزیع‌شده، کاهش مصرف انرژی، پروتکل اثبات سهام	مدل‌سازی تراکنش در کنار انتخاب تصادفی به عنوان مکانیسمی برای افزایش پایایی و ایجاد پراکنش توزیع داده‌ها که اعتبارسنجی تطبیقی و کاهش مصرف انرژی را فراهم می‌آورد	طبقه‌بندی موضوعی، فرایند نظارت همتا، توزیع تصمیم بین نخبگان، سناریوهای چندرشته‌ای بیان و حل مسئله، تعیین فرایندهای مشورتی متناسب، بررسی سازگاری تخصص با موضوع اجماع، وزن‌دهی مشورتی به عوامل سازنده موضوع اجماع	طبقه‌بندی موضوعی به عنوان سازوکار اولیه در تلفیق نظرات برای توزیع نظرات نخبگان و تعامل میان‌رشته‌ای که با ارزیابی تطبیقی، سازگاری تصمیمات را افزایش می‌دهد
③	تجمیع تراکنش‌ها، تحلیل توزیع، هش ترکیبی، توافق جمعی، کدگذاری چندلایه، ارزیابی دقیق، ذخیره‌سازی توزیع‌شده، نظارت خودکار، تحلیل یکپارچه، شبکهٔ غیرمتمرکز	تحلیل توزیع در کنار تجمیع تراکنش‌ها به عنوان روشی برای ارزیابی دقیق اطلاعات و ذخیره‌سازی توزیع‌شده که بررسی صحت فرایند را تسهیل و توافق جمعی را فراهم می‌آورد	خوشه‌بندی مشورتی، شبکه توزیع دانش، ارزیابی چندلایه، بررسی تطبیقی، تحلیل نظرات، کدگذاری موضوعی، پردازش اجماع، تلفیق مشورتی، تنظیم سازگاری، طبقه‌بندی مشارکتی	خوشه‌بندی مشورتی به عنوان مکانیزمی برای پردازش اجماع و تنظیم سازگاری در طبقه‌بندی مشارکتی، که از تحلیل چندلایه و بررسی تطبیقی برای تلفیق نظرات بهره می‌برد
④	اثبات زمان سپری‌شده، اعتبارسنجی داده‌ها، تحلیل تقاطعی، تراکنش‌های توزیع‌شده، بهینه‌سازی مصرف، الگوریتم انتخاب، سازگاری داده‌ها، ارزیابی گره‌ها، ثبت مداوم، مکانیزم همتا	اثبات زمان سپری‌شده به عنوان مکانیسمی برای ارزیابی گره‌ها و ثبت مداوم تراکنش‌ها که سازگاری داده‌ها را افزایش و بهینه‌سازی زمان ـ فرایند را تضمین می‌کند	تعامل چندرشته‌ای، اجماع تدریجی، مقایسه نظریه‌ها، داده‌های چندسطحی، اعتبارسنجی موضوعی، تلفیق تحلیلی، شبکه توزیع نظرات، بررسی تصمیمات، ارزیابی مشارکتی، تحلیل رفتاری	تعامل چندرشته‌ای به عنوان بستری برای تلفیق تحلیلی و مقایسهٔ نظریه‌ها که ارزیابی مشارکتی را تسهیل و شبکهٔ توزیع نظرات را بهبود می‌بخشد
⑤	پروتکل رأی‌گیری، تحلیل سلسله‌مراتبی، خوشه‌بندی دینامیک، کدگذاری پیشرفته، ارزیابی مبتنی بر شواهد، استانداردهای اعتبارسنجی، توزیع اطلاعات، الگوریتم توافق، پالایش اطلاعات، فرایند تصمیم‌گیری تطبیقی	تحلیل سلسله‌مراتبی برای پالایش اطلاعات و توزیع اطلاعات از طریق پروتکل رأی‌گیری که استانداردهای اعتبارسنجی را تضمین و فرایند تصمیم‌گیری تطبیقی را فراهم می‌کند	سنجش اعتبار نظرات، شبکهٔ ارتباطی، تحلیل چندمرحله‌ای، بررسی تطبیقی، تنظیم شاخص‌ها، پایش مداوم، ارزیابی غیرمتمرکز، اعتبارسنجی مشارکتی، دسته‌بندی داده‌ها، شبکهٔ هوشمند	سنجش اعتبار نظرات در کنار تحلیل چندمرحله‌ای و ارزیابی غیرمتمرکز برای دسته‌بندی داده‌ها و تنظیم شاخص‌ها که پایش مداوم را تسهیل می‌کند
⑥	تحلیل تطبیقی، داده‌کاوی هوشمند، اعتبارسنجی سلسله‌مراتبی، شبکهٔ اطلاعات، اجماع تدریجی، همگرایی مقطعی، ارزیابی موضوعی، پردازش داده‌های چندلایه، تنظیم ضریب وزنی، سازگاری شبکه‌ای	تحلیل تطبیقی برای اعتبارسنجی سلسله‌مراتبی و پردازش داده‌های چندلایه که همگرایی مستمر را افزایش و تنظیم ضریب وزنی را بهبود می‌بخشد	ارزیابی خوشه‌ای، شبکه دانش نخبگان، تعامل چندسطحی، تنظیم نظریه‌های مشورتی، تحلیل شاخص‌های کلیدی، اجماع سازگار، همگرایی مشارکتی، بررسی اطلاعات، پالایش شاخص‌ها، طبقه‌بندی دانش	ارزیابی خوشه‌ای برای تنظیم نظریه‌های مشورتی و همگرایی مشارکتی که بررسی اطلاعات را تسهیل و پالایش شاخص‌ها را امکان‌پذیر می‌سازد
⑦	پردازش همزمان، همگرایی داده‌ها، ارزیابی چندمعیاره، تحلیل شبکه‌ای، کدگذاری توزیع‌شده، ثبت دیجیتال، اعتبارسنجی مقطعی، پالایش داده‌ها، بهینه‌سازی مسیر، تنظیم معیارهای تصمیم‌گیری	پردازش همزمان برای ارزیابی چندمعیاره و پالایش داده‌ها که بهینه‌سازی مسیر و اعتبارسنجی مستمر را فراهم می‌کند	تحلیل چندسطحی، دسته‌بندی نظریه‌ها، تلفیق داده‌ها، شبکهٔ تصمیم‌گیری، ارزیابی میان‌رشته‌ای، بررسی شاخص‌ها، تنظیم وزن‌دهی، سنجش مشارکتی، تحلیل خوشه‌ای	تحلیل چندسطحی برای ارزیابی میان‌رشته‌ای و تنظیم وزن‌دهی که بررسی شاخص‌ها و تلفیق داده‌ها را ممکن می‌سازد

همان‌طور که در جدول ۱۰ مشاهده می‌شود، معادلات بر اساس جبر بولی، پیاده سازی شده‌اند. در معادلهٔ بول، علامت «جمع» متغیرها با جمع در معنای ریاضی تفاوت دارد؛ یعنی «حسابی» نیست و علامتی منطقی به معنای «یا» است. بر این‌اساس، معنای معادله (a+b)-c=۱- (أ اب اج) در رکن مبدأ این است که «أ» یا «ب» یا «ج» یا هر دو یا سه متغیر، می‌توانند متغیر «۱» را ایجاد کنند. از دیدگاه «راگین» در جهان واقعی ترکیبات علّی گوناگون می‌توانند معلول واحدی را ایجاد کنند (Rihoux & Ragin, 2009). از سوی دیگر جمع متغیرها به این مفهوم است که اگر حتی یک علت وجود داشته باشد، برای ایجاد معلول کفایت میکند[9]. «ضرب» بولی نیز یک عمل ریاضی نیست و به ترکیب خاصی از شروط علّی اشاره دارد؛ یعنی علل فقط روی معلول اثر نمی‌گذارند، بلکه روی یکدیگر نیز تأثیر دارند. این اثر متقابل به صورت ضرب متغیرها نشان داده می‌شود. در جدول ۱۰، با فرض سه متغیر مستقل، ۷ترکیب علّی، شامل پیاده‌سازی جمع و ضرب متغیرها ایجاد شده است.

وزن‌دهی به عوامل کلیدی

در ابتدای این مرحله، نیاز به تفکیک دو نوع عامل کلیدی وجود دارد. نخست، عوامل کلیدی پیش‌گفته در جدول ۱۰، هستند که بر اساس مراحل طی‌شده، پیش‌بینی‌کننده خصوصیات مورد نیاز برای امکان‌پذیری انطباق است. دوم، عوامل کلیدی موجود و استحصال شده از الگوریتم‌های بلاک‌چینی (در رکن مبدأ: جدول ۱۱) و فرایندهای اجماع شهرسازی راهبردی (در رکن مقصد: جدول ۱۲) است. مورد نخست به ظرفیت‌های بالقوه و مورد دوم به ظرفیت‌های بالفعل اشاره می‌کند.

جدول ۱۱. عوامل کلیدی بالفعل در بستر (رکن) مبدأ: الگوریتم‌های اجماع در فناوری بلاک‌چین[10]

الگوریتم اجماع		عوامل کلیدی در فرایند اجماع
اثبات کار[1] (۱۹۹۱)	هابر و استورنتا	تعیین دشواری اجماع در هر سناریو، تحلیل زمان و کار مورد نیاز برای سناریوهای اجماع، انتخاب زنجیرهٔ طولانی‌تر اجماع، رأی‌دهی برگشت‌ناپذیر
اثبات سهام[2] (۲۰۱۲)	کینگ و نادال	توزیع مشارکت در اجماع، وزن‌دهی بر اساس قدمت تأثیر داده بر موضوع اجماع، کفایت حداقل میزان تأثیر داده مرتبط برای حضور در فرایند اجماع، کاهش زمان دستیابی به اجماع، تأیید چندمرحله‌ای نتایج اجماع در هر مرحله
اثبات سهام نمایندگی (واگذار) شده[3] (۲۰۱۴)	لریمر	کاهش بار محاسباتی اجماع با رأی‌گیری محدود از شاخص ترین عناصر سهیم، بررسی متقابل سطح نمایندگی شده با سهم موجود آن داده در فرایند اجماع، تمرکززدایی در رأی‌گیری اجماع، اعتبارسنجی موازی و هم‌زمان رأی‌ها
اثبات زمان سپری‌شده[4] (۲۰۱۶)	شرکت اینتل	کاهش رقابت با توزیع یکنواخت قدرت تأثیر بر اجماع، تضمین اعتبار نتایج با جلوگیری از تصمیم‌گیری متمرکز
تحمل خطای بیزانسی[5] (۱۹۸۲)	لمپورت	تعیین حد تحمل خطا در ایجاد اجماع، ارتباطات چندلایه بین عوامل ایجاد اجماع، تدوین مدل اعتماد به فرایند بهره‌گیری از داده‌ها، مقیاس‌پذیری نسبی اجماع حاصل‌شده، تعیین شیوهٔ رأی‌گیری، تحلیل میزان اعتمادپذیری اجماع بر اساس میزان اتکأ بر داده‌ها، مدیریت تضادهای پیرامون موضوع اجماع با رأی‌گیری چندگانه
اثبات کار/سهام ترکیبی[6] (۲۰۱۴)	ناکاموتو، کینگ	ترکیب مدل‌های اجماع، الگوریتم چندلایه ایجاد اجماع، انگیزه دوگانه نقش بیشتر برای سهم بیشتر در فرایند اجماع، انتخاب ترجیحی رأی‌دهندگان با شاخص میزان فعالیت و سهم
اثبات فعالیت[7] (۲۰۱۴)	بنتئو و همکارن	رأی‌دهی اولیه برای تعیین نوع داده‌های اجماع، رأی‌دهی مضاعف در مراحل بعد از رأی‌دهی اولیه، حفظ پویایی فرایند اجماع‌سازی با انتخاب پویای داده‌های اجماع، سازگاری با موضوعات کلان به دلیل ایجاد فرایند انعطاف‌پذیر
اثبات سوزاندن[8] (۲۰۱۲)	استوارت	ایجاد انگیزهٔ پایدار در طرفین اجماع، کاهش تمرکز بر بخش خاصی از فرایند اجماع با توزیع وقت-بخش، تعامل‌پذیری اجماع جدید با موارد و موضوعات قبلی، تحلیل اثرات عملی اجماع برای حفظ ارزش دارایی و حذف دارایی‌های غیرضروری، حداقل سازی هزینه‌های پیاده‌سازی اجماع
گواه اثبات سهام استیجاری[9] (۲۰۱۳)	ایال و همکاران	واگذاری سهم رأی‌دهی در فرایند اجماع به سایر رأی‌دهندگان، کاهش تمرکز با توزیع تأثیر بر فرایند اجماع، تشویق حضور بلندمدت رأی‌دهندگان با ارزیابی عملکرد آن‌ها در مراحل اجماع
اثبات ظرفیت[10] (۲۰۱۴)	ناکاموتو، جامعه بین کوین	سناریوسازی فرایندهای اجماع به صورت پیش‌دستانه، استفاده از ظرفیت رأی‌دهندگان آزادمانده در فرایند رأی‌گیری برای مراحل دیگر اجماع، باز بودن ورودی داده تا رسیدن به حد مطلوبیت تأثیر بر فرایند بدون پردازش مداوم، توزیع داده مرتبط دانسته شده به موضوع در بین رأی‌دهندگان، تأیید ارتباط داده با موضوع اجماع بر اساس توان تأثیرگذاری، حفظ تعادل داده‌ها بر اساس طیف‌های گوناگون میزان تأثیر بر فرایند اجماع
اثبات اعتبار[11] (۲۰۱۴)	وود	اعتبارسنجی نتایج هر مرحله فرایند اجماع با اهداف اجماع، جلوگیری از انحراف مفهومی فرایند اجماع، کنترل صحت و دقت مورد نیاز در داده‌ها با مراجع رسمی، سرعت بالای پردازش و کاهش هزینهٔ محاسباتی به واسطهٔ تصمیم‌گیری متمرکز، کاهش مراحل اجماع به واسطه داده‌های معتبر و عدم نیاز به توزیع غیر متمرکز رأی‌دهندگان، سیاست‌های تعامل مستقیم رأی‌دهندگان برای هم‌افزایی و کاهش زمان رأی‌دهی
اثبات شهرت[12] (۲۰۱۳)	لریمر	تأیید داده‌ها مبتنی بر شهرت (کثرت استفاده) در ارتباط با موضوع اجماع، شبکه‌سازی از داده‌های شناخته‌شده برای استفادهٔ درست در فرایندسازی اجماع، ارزیابی عملکرد قبلی با تحلیل سابقهٔ اجماع‌سازی با داده‌های شناخته‌شده، تضمین حداقل سطح مشارکت رأی‌دهندگان مرتبط با توزیع داده‌ها در فرایند اجماع با ایجاد انگیزه برای رأی‌دهندگان چندرشته‌ای
اثبات وزن[13] (۲۰۱۷)	تیم توسعهٔ الگوراند	وزن‌دهی بر اساس ظرفیت تأثیرگذاری در اجماع، توزیع داده‌های اجماع بین رأی‌دهندگان بر اساس ارزیابی توانایی پردازش آن‌ها، پردازش خودکار داده‌ها بر اساس سیاست تقسیم وظایف و تعیین سهم مشارکت، مقیاس‌پذیری نتایج اجماع بر اساس بررسی قابلیت اعتبار اجماع، تنظیم و تعدیل موازنهٔ سهم ـ وزن برای حضور حتمی همهٔ داده‌های مرتبط دانسته شده
اثبات ذخیره‌سازی[14] (۲۰۱۴)	پِنِت	فرایند اجماع توزیع‌شده براساس تضمین حضور دائمی داده و رأی‌دهندهٔ متنوع، بررسی صحت داده‌های اجماع برای کاهش مراحل و زمان اجماع، کاهش نرخ خطای اجماع

1) Proof of Work (PoW) (Haber & Stornetta, 1991) 2) Proof of Stake (PoS) (King & Nadal, 2012) 3) Delegated Proof of Stake (DPoS) (Larimer, 2022) 4) Proof of Elapsed Time (PoET) (Higgins, 2022; McFarlane, 2024; Investopedia Team, 2023) 5) Byzantine Fault Tolerance (BFT) (Lamport, 1982) 6) Hybrid PoW/PoS (PoWS) (Vasin, 2023; Nakamoto, 2008; King & Nadal, 2012) 7) Proof of Activity (PoA) (Bentov, Lee, Mizrahi, & Rosenfeld, 2014) 8) Proof of Burn (PoB) (Proof of burn, 2018; Karantias, Kiayias, & Zindros, 2019) 9) Leased Proof of Stake (LPoS) (Eyal, Gencer, Sirer, & Renesse, 2016) 10) Proof of Capacity (PoC) (Nakamoto, 2008) 11) Proof of Authority (PoA) (Wood, 2014, p. 14) 12) Proof of Reputation (PoR) (Coinbase, 2025) 13) Proof of Weight (PoWe) (Gilad, Hemo, Micali, Vlachos, & Zeldovich, 2017) 14) Proof of Storage (PoSt) (Benet, 2014; Protocol Labs, 2017)

جدول ۱۲. عوامل کلیدی بالفعل در بستر (رکن) مقصد: فرایندهای اجماع شهرسازی راهبردی

نظریهٔ قابل استفاده در اجماع			عوامل کلیدی در فرایند اجماع
انتخاب عمومی[1] (۱۹۶۲)		بوکانان	تصمیم‌گیری جمعی، هزینه‌های تصمیم‌گیری، تعاملات غیرمتمرکز، رأی‌گیری اکثریتی، فرایندهای توافق، تضاد منافع
تعادل عمومی[2] (۱۹۷۲)		آرو	سازوکارهای تخصیص منابع، نظریهٔ تصمیم‌گیری، بازارهای اطلاعاتی، تئوری بازی، کارایی در سیستم‌های توزیع‌شده
حکمرانی شبکه‌ای[3]	(۱۹۹۹)	رودس	شبکه‌های تصمیم‌گیری، مشارکت بین نهادی، مدیریت ارتباطات، فرایندهای تصمیم‌گیری پیچیده، نقش فناوری در حکمرانی
	(۲۰۲۰)	کاپوکا	
یادگیری اجتماعی[4] (۱۹۷۷)		بندورا	تعاملات اجتماعی، اثر متقابل فناوری و فرهنگ، انتشار نوآوری، تأثیرگذاری اجتماعی، تصمیم‌گیری تطبیقی
سیستم پیچیده[5] (۱۹۸۴)		پرایگوژین	خودسامان‌دهی، عدم قطعیت، تعاملات غیرخطی، کلان‌داده‌ها، مدل‌سازی شبکه‌ای، پویایی فرایندهای تصمیم‌گیری
قرارداد اجتماعی[6] (۱۹۷۱)		رالز	نقش مشارکت عمومی در حکمرانی، اعتماد عمومی، مشروعیت سیاست‌ها، توزیع عادلانه قدرت
سرمایه اجتماعی[7] (۱۹۹۳)		پوتنام	تعاملات اجتماعی و همکاری بین افراد، همبستگی گروهی، شبکه‌های نخبگان، اعتماد در فرایندهای تصمیم‌گیری
اقتصاد رفتاری[8] (۲۰۰۳)		کانمن	تصمیم‌گیری در شرایط پیچیده، سوگیری‌های شناختی، تصمیم‌گیری تحت عدم قطعیت، تحلیل داده‌های تجربی
خودکارآمدی[9] (۱۹۹۷)		شوارتز	میزان پذیرش نوآوری در تصمیم‌گیری، تطبیق‌پذیری، پذیرش فناوری، اعتماد به سیستم‌های دیجیتال
انتخاب عقلانی[10] (۱۹۷۶)		بِکِر	حداکثرسازی مطلوبیت با توازن میان انگیزه‌ها (منافع شخصی) و محدودیت‌ها، تصمیم‌گیری تحت عدم قطعیت، اثرات جانبی سیاست‌ها، نقش انتظارات در تصمیم‌گیری
بازی‌ها[11] (۱۹۵۱)		نَش	تعامل میان تصمیم‌گیرندگان برای محاسبهٔ سود و زیان مدل‌های توزیع منابع، مدل‌های چندعاملی انگیزه‌های همکاری، نقش اطلاعات در مذاکرات، نقش اعتماد در تعاملات
اقتصاد رفاه[12] (۱۹۲۰)		پیگو	تخصیص بهینهٔ منابع با تحلیل اثرات خارجی و سیاست‌های عمومی، تحلیل هزینه ـ فایده در سیاست‌گذاری، سیاست‌های جبرانی، تنظیم مقررات
اقتصاد اطلاعات[13] (۱۹۷۰)		آکرلوف	نقش سیگنال‌دهی، مخاطرات اخلاقی و عدم تقارن اطلاعات در گزینش معکوس گزینه‌ها، نقش واسطه‌های اطلاعاتی در سیاست‌گذاری، مخاطرات‌اخلاقی تصمیم‌گیری با اطلاعات ناقص
اقتصاد نهادگرایی[14] (۱۹۹۰)		نورث	محدودیت‌های قانونی در تصمیم‌گیری، تحلیل سیاست‌گذاری برای انتخاب تنظیمات تطبیقی بین توسعهٔ پایدار و تغییرات قانونی

1) Public Choice Theory (PCT) (Buchanan & Tullock, 1999, pp. 19-25) 2) General Equilibrium Theory (PET) (Arrow & Debreu, 1954) 3) Network Governance Theory (NGT) (Rhodes, 2007); (Kapucu & Hu, 2020) 4) Social Learning Theory (SLT) (Bandura, Dorothea, & Ross, 1961) 5) Complex Systems Theory (CST) (Prigogine & Stengers, 1985) 6) Social Contract Theory (SCT) (Rawls, 2020, pp. 3-53) 7) Social Capital Theory (SCAT) (Putnam, 1995) 8) Behavioral Economics Theory (BET) (Kahneman, 2013) 9) Self-Efficacy Theory (SET) (Schwarzer & Jerusalem, 1995) 10) Rational Choice Theory (RCT) (Becker, 2013, pp. 5-14) 11) Game Theory (GT) (Nash, 1950) 12) Welfare Economics Theory (WET) (Pigou, 2013) 13) Economics of Information Theory (EIT) (Akerlof, 1970) 14) Institutional Economics Theory (IET) (North, 1990)

تا این مرحله، عوامل کلیدی، ابتدا در نظریه‌های راهنما به عنوان توان بالقوه مورد نیاز برای انطباق (جدول ۹)، سپس در دو رکن انطباق به عنوان توان بالفعل موجود در آن‌ها (جدول‌های ۱۱ و ۱۲)، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. حالا به منظور ترکیب‌سازی منطقی علل پیش‌گفته آن‌ها که برآمده از شواهد زمینه‌ای (جدول ۱۰) بود، می‌توان جدول وزن‌دهی به توان ارکان انطباق را ایجاد کرد (جدول ۱۳)، به صورتی که اگر عوامل کلیدی بالقوه در الگوریتم‌های بلاک‌چینی، به صورت بالفعل در الگوهای اجماع‌سازی حضور داشته باشند (←)، بالاترین آمادگی برای استفادهٔ انطباقی از توان رکن مبدأ در بستر رکن مقصد وجود دارد، و به‌عکس؛ یعنی اگر روش‌های اجماع‌سازی دارای توان بالفعلی باشند که به صورت کامل، توسط یکی از الگوریتم‌های اجماع بلاک‌چینی، پوشش داده نشده باشد، موجب ایجاد یک ترکیب جدید (پیشنهادی) از آن‌ها می‌شود (→).

به بیانی واضح‌تر، در ارتباط‌هایی با علامت (←)، فرض بر این است که عوامل کلیدی (جدول ۱۱)، بر اساس سنجش توان آن‌ها توسط پژوهشگران، دارای توان بالقوه‌ای هستند که در هر بار در چهارچوب یکی از گزینه‌های (جدول ۹)، یعنی (⊟، ⊠، ⊞)، ارزیابی شده‌اند. وجود توان، با عدد ۱ و نبود توان با عدد ۰ گزارش شده است. سپس با در نظرگرفتن شواهد زمینه‌ای مرتبط به آن گزینه در (جدول ۱۰)، عوامل کلیدی حاصل‌شده از به‌کارگیری الگوریتم‌های اجماع در چهارچوب آن گزینه را (موارد دارای عدد ۱)، با عوامل کلیدی موجود در (جدول ۱۲) در چهارچوب گزینهٔ هم‌طبقه از گزینه‌های (جدول ۹) یعنی (⊖، ⊗، ⊕)، انطباق داده شده است. به صورتی که، توان بالفعل در اجماع‌سازی شهرسازی راهبردی، در صورت احراز شدن با عدد ۱ و در صورت احراز نشدن با عدد ۰ گزارش شده است. عکس این مسیر، در ارتباط‌هایی با علامت (→)، طی شده است.

جدول ۱۳. وزن‌دهی بر اساس حضور و غیبت عوامل کلیدی در هر یک از ارکان تطبیق نظریات هم‌ترازشده

گزینه (جدول ۹)	عوامل کلیدی (جدول ۱۱ و جدول ۱۲)												شواهد زمینه‌ای مبدأ و مقصد (جدول ۱۰)		عوامل کلیدی (جدول ۱۱ و جدول ۱۲)																			گزینه (جدول ۹)
PoW	PoS	DPoS	PoET	BFT	PoWS	PoA	BoB	LPoS	PoC	PoR	PoA	PoWe	PoSt	رکن مبدأ (ظرفیت بالقوه)	②، ①، ④، ③، ⑤	رکن مقصد (ظرفیت بالفعل)	PCT	PET	NGT	SLT	CST	SCT	SCAT	BET	SET	RCT	GT	WET	EIT	IET	رکن مقصد (ظرفیت بالقوه)	④، ⑤، ①، ⑦، ③	رکن مبدأ (ظرفیت بالفعل)	⊟ – همپوشانی تصمیم‌گیری
۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۰				۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱				
PoW	PoS	DPoS	PoET	BFT	PoWS	PoA	PoB	LPoS	PoC	PoR	PoA	PoWe	PoSt	رکن مبدأ (ظرفیت بالقوه)	⑤، ⑦، ③، ②، ①	رکن مقصد (ظرفیت بالفعل)	PCT	PET	NGT	SLT	CST	SCT	SCAT	BET	SET	RCT	GT	WET	EIT	IET	رکن مقصد (ظرفیت بالقوه)	⑥، ④، ①، ②، ③	رکن مبدأ (ظرفیت بالفعل)	⊠ – داده کاوی ساختاری
۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱				۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱				
PoW	PoS	DPoS	PoET	BFT	PoWS	PoA	PoB	LPoS	PoC	PoR	PoA	PoWe	PoSt	رکن مبدأ (ظرفیت بالقوه)	③، ⑥، ②، ⑤، ④	رکن مقصد (ظرفیت بالفعل)	PCT	PET	NGT	SLT	CST	SCT	SCAT	BET	SET	RCT	GT	WET	EIT	IET	رکن مقصد (ظرفیت بالقوه)	①، ③، ⑤، ②، ⑦	رکن مبدأ (ظرفیت بالفعل)	⊞ – تحلیل ماتریسی
۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۱				۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱				
PoW	PoS	PET	PCT	SLT	CST	SCT	SCAT	BET	SET	RCT	GT	WET	EIT	IET	رکن مقصد (ظرفیت بالقوه)	⑤، ⑦، ③، ②، ①	رکن مبدأ (ظرفیت بالفعل)	PoW	PoS	PET	PCT	SLT	CST	SCT	SCAT	BET	SET	RCT	GT	WET	EIT	IET	رکن مقصد (ظرفیت بالقوه)	④، ⑤، ①، ⑦، ③	رکن مبدأ (ظرفیت بالفعل)	⊖ – تطبیق اطلاعات
۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱				۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱				
PoW	PoS	PET	PCT	SLT	CST	SCT	SCAT	BET	SET	RCT	GT	WET	EIT	IET	رکن مقصد (ظرفیت بالقوه)	⑦، ⑤، ③، ②، ①	رکن مبدأ (ظرفیت بالفعل)	PoW	PoS	PET	PCT	SLT	CST	SCT	SCAT	BET	SET	RCT	GT	WET	EIT	IET	رکن مقصد (ظرفیت بالقوه)	⑤، ⑦، ③، ②، ①	رکن مبدأ (ظرفیت بالفعل)	⊗ – مدل‌سازی ترکیبی
۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰				۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱				
PoW	PoS	DPoS	PoET	BFT	PoWS	PoA	PoB	LPoS	PoC	PoR	PoA	PoWe	PoSt	رکن مبدأ (ظرفیت بالقوه)	⑥، ④، ①، ②، ③	رکن مقصد (ظرفیت بالفعل)	PCT	PET	NGT	SLT	CST	SCT	SCAT	BET	SET	RCT	GT	WET	EIT	IET	رکن مقصد (ظرفیت بالقوه)	④، ⑥، ②، ①، ③	رکن مبدأ (ظرفیت بالفعل)	⊕ – همگرایی شاخص‌ها
۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱				۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۱				

اشباع نظری

همان‌گونه که در جدول ۱۳ ملاحظه می‌شود، منطق حاکم بر روش بولی، «ترکیبی» است؛ یعنی «علل در ترکیب با هم» به صورت یک کل عمل می‌کنند. به عنوان مثال، معنای عبارت (⊟ ⇠ ⊖) این نیست که فقط در بودن همهٔ قابلیت‌های بالقوه، شاهد احراز شدن همهٔ قابلیت بالفعل در سوی دیگر معادله باشیم، بلکه به این معناست که قابلیت‌های بالقوه در الگوریتم‌های بلاک‌چینی (با ارزش ۱)، در نبود قابلیت‌های بالقوه (با ارزش ۰)، به بروز و احراز قابلیت‌های بالفعل (با ارزش ۱) منجر می‌شوند، و به‌عکس؛ معنای عبارت (⊟ ⇢ ⊖) این نیست که فقط در بروز و احراز شدن همهٔ قابلیت‌های بالفعل، شاهد پوشش داده شدن همهٔ قابلیت بالقوه در سوی دیگر معادله باشیم. بلکه به این معناست که قابلیت‌های بالفعل در اجماع‌سازی شهرسازی راهبردی (با ارزش ۱)، در نبود قابلیت‌های بالقوه (با ارزش ۰)، به پوشش دادن به قابلیت‌های بالقوهٔ الگوریتم‌های بلاک‌چینی (با ارزش ۱) منجر می‌شوند.

بنابراین در این مقایسهٔ کیفی به قصد معادله‌یابی، شرایط زمینه‌ای متأثر از «حضور و غیاب سایر شرایط» مورد توجه قرار می‌گیرند. در این مسیر، پژوهشگران، با توجه به انطباق خصوصیات نظریه راهنمای مورد استفاده (جدول ۹) با شواهد زمینه‌ای مرتبط با آن (جدول ۱۰)، حضور یا فقدان یک قابلیت (جدول‌های ۱۱ و ۱۲) را بررسی کرده، و علل پیش‌گفته (جدول ۸) را با رویکردی کل‌نگرانه (جدول ۷)، ترکیب کرده‌اند. به این‌صورت، با ترکیب گزینه‌های هم‌تراز (مثلاً گزینهٔ ⊟ و ⊖) می‌توان به علل لازم (ترکیب‌های با علامت ⇠) و کافی (ترکیب‌های با علامت ⇢) در جدول ۱۴ دست پیدا کرد.

در مرحلهٔ بعد، موارد باقی‌مانده، دارای توان بالقوه در رکن مبدأ و بالفعل در رکن مقصد، البته به صورت هم‌زمان، برای اجماع‌سازی هستند. روند این تقلیل به این صورت است که، در جبر بولی راه به حداقل رساندن ترکیبات معنادار از طریق ادغام آن‌ها است. برای مثال، ادغام دو عبارت Abc و ABc می‌توان نتیجه گرفت که Ac عنصر مشترک است. به بیانی دیگر، می‌توان با ترکیب علل لازم و کافی به صورت جمع غیر جبری این معادلات، با خنثی شدن مواردی که دارای علامت + و – به صورت هم‌زمان در معادلات جبری، و حذف شدن مواردی که در هر دو ترکیب علامت- دارند، به معادلهٔ ساختاری دست پیدا کرد که نشان‌دهندهٔ ارتباط بین اجزای باقی مانده است.

به بیانی دیگر، برای کاهش پیچیدگی، می‌توان ترکیب متغیرها را کاهش و معادلهٔ ساختاری را جایگزین آن‌ها کرد. این روند از جدول ۱۰ که در آن، با وجود ۳ متغیر مستقل، ۷ ترکیب به دست آمد، آغاز شده و فرایندی را طی کرده تا به جدول‌های ۱۴ـ ۱۶، منجر شده است. لذا اگر ۷ عبارت بالا را در هم ادغام کنیم، ترکیبی مختصرتر از علل، به صورت ۳ ترکیب معنادار زیر، به دست می‌آید:

- جمع موارد هم‌جنس (دارای علامت +) و هم‌نام: در صورتی که هر دو مورد، دارای علامت + باشند، یکی از آن‌ها در فرمول باقی می‌ماند تعبیر این اقدام این است که این موارد، می‌توانند، در نقش ظرفیت بالقوه و بالفعل، تأثیر یکسانی داشته باشند. یعنی هم شرط لازم هستند و هم شرط کافی.

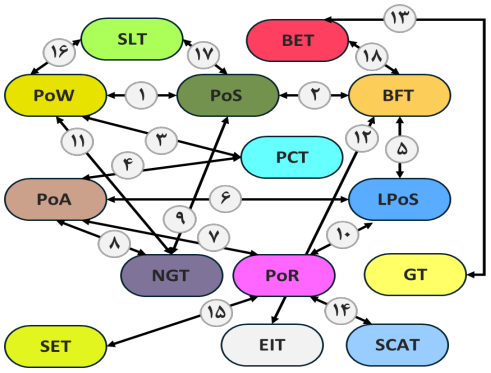
- جمع موارد هم‌جنس (دارای علامت -) و هم‌نام: در صورتی که هر دو داری علامت – باشند، هر دو از فرمول حذف میشوند. تعبیر این اقدام این است که این موارد نمی‌توانند در هیچ‌یک از نقش‌های ظرفیت بالقوه و بالفعل، تأثیر یکسانی داشته باشند. یعنی نه شرط لازم هستند نه شرط کافی.
- جمع موارد ناهم‌جنس (دارای علامت‌های - و +) و هم‌نام: هر دو مورد به واسطهٔ خنثی شدن اثر یکدیگر، حذف می‌شوند. تعبیر این اقدام این است که این موارد نمی‌توانند در یکی از نقش‌های ظرفیت بالقوه و بالفعل، تأثیر هم‌تراز با نقش دیگر، داشته باشند. یعنی شرط لازم هستند، ولی کافی نیستند.

جدول ۱۴. دستیابی به معادلهٔ ساختاری اول (*)

ارتباط	ماهیت‌شناسی		اصول حاکم		معادله‌یابی (جدول ۱۳)	
⊟ ⊖	تراکم شبکهٔ رأی‌دهندگان، توزیع مشارکت، کاهش خطا، وزن‌دهی تخصصی، تجمیع داده‌ها	▶ علل لازم	سیستم‌های تصمیم‌گیری، تحلیل شبکه‌ای، مشارکت نخبگان، کاهش خطا	⊟	PoW+PoS+DPoS-PoET+B-FT+PoWS+PoA-PoB+LPoS-PoC+PoA+PoR+PoWe-PoSt	
				⊖	PCT-PET+NGT+SLT+CST-SCT+SCAT+BET+SET-RCT+GT+WET+EIT-IET	
⊖ ⊟	انسجام نتایج، کنترل توزیع داده، ارتباط چندرشته‌ای، تنظیم شاخص‌ها	علل کافی ▶	تحلیل تطبیقی داده‌ها، کنترل ورودی، بهینه‌سازی شاخص‌ها، ارزیابی دقیق	⊟	PCT-PET+NGT+SLT-CST+SCT+SCAT+BET+-SET+RCT+GT-WET+EIT-IET	
				⊖	PoW+PoS-DPoS+PoET+B-FT-PoWS+PoA-PoB+LPoS-PoC+PoA+PoR-PoWe+PoSt	

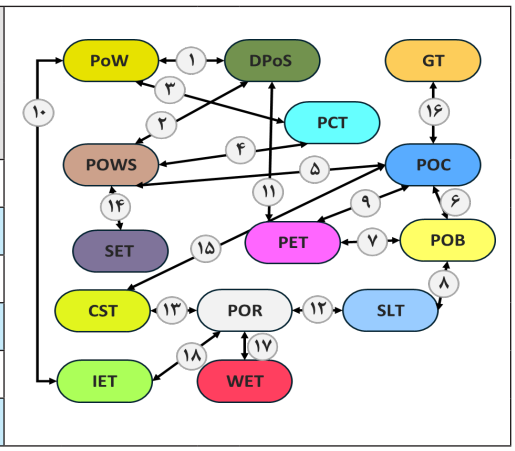
ترکیب (⊟ + ⊖) ◀ رابطه‌یابی معادلات‌ساختاری ▼ شرح روابط

جمع رکن‌های مبدأ				PoW+ PoS+ BFT+ PoA+ LPoS+ PoA+ PoR	
جمع رکن‌های مقصد				PCT+NGT+SLT+ SCAT+ BET+ SET+ GT+ EIT	
۱	اجماع ترکیبی	۷	استانداردسازی	۱۳	توازن رأی‌دهندگان
۲	تطبیق‌پذیری	۸	مقیاس‌پذیری	۱۴	پیوستگی تصمیمات
۳	اجماع شبکه‌ای	۹	تعامل مستمر	۱۵	استقلال رأی
۴	توزیع دانش اجماع‌شده	۱۰	تطابق داده‌محور	۱۶	قابلیت بازتوزیع
۵	اثربخشی تصمیم	۱۱	تحلیل مشارکتی	۱۷	پذیرش اجتماعی
۶	تنوع نظرات	۱۲	مدل‌سازی اجماع	۱۸	تعامل چندسطحی



جدول ۱۵. دستیابی به معادلهٔ ساختاری دوم (*)

ارتباط	ماهیت‌شناسی		اصول حاکم		معادله‌یابی (جدول ۱۳)
⊠ ⊗	تنظیم شاخص‌ها، ارزیابی مشارکتی، پراکنش داده‌ها، همبستگی تأثیر داده‌ها	▶ علل لازم	تحلیل داده زمینه‌ای، روش‌های بین‌رشته‌ای، شفافیت فرایند	⊠	PoW-PoS+DPoS+PoET-BFT+PoWS-PoA+PoB-LPoS+PoC-PoA+PoR-PoWe+PoSt
				⊗	PCT+PET-NGT+SLT+CST+SCT-SCAT+BET+-SET-RCT+GT+WET-EIT+IET
⊗ ⊠	تعامل چندسطحی داده‌ها، تطابق تخصصی داده‌ها با موضوع اجماع، انسجام رویه در انتخاب نخبگان، تنظیم شواهد مراحل اجماع	علل کافی ▶	نوع مکانیسم مشورتی، توزیع تراکم رأی‌دهندگان، تصمیم‌گیری مبتنی بر شواهد، شاخص‌گذاری اجماع	⊠	PoW-PoS+DPoS-PoET+BFT+PoWS-PoA+PoB-LPoS+PoC-PoA+PoR+PoWe-PoSt
				⊗	PCT+PET-NGT+SLT+CST-SCT+SCAT-BET+-SET-RCT+GT+WET-EIT+IET

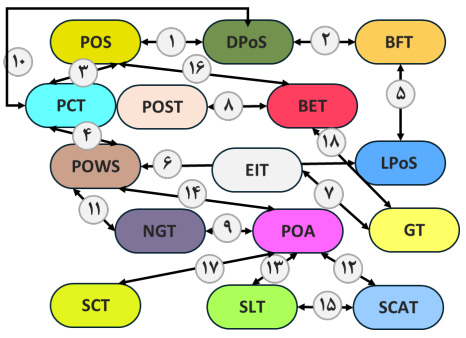


ترکیب (⊠ + ⊗) ◀رابطه یابی معادلات‌ساختاری◀ شرح روابط		جمع رکن‌های مبدأ		PoW+ DPoS+ PoWS+ PoB+ PoC+ PoR	
		جمع رکن‌های مقصد		PCT+ PET+ SLT+ CST+ SET+ GT+ WET+ IET	
۱	مقیاس‌پذیری نتایج	۷	تمرکززدایی در اجماع	۱۳	بهینه‌سازی تعامل
۲	سازگاری‌نتایج-تصمیم	۸	صحت‌سنجی فرایند	۱۴	پرکارآمدی فرایندها
۳	پایایی‌داده‌های‌اجماع	۹	مشارکت تنظیم‌شده	۱۵	سهولت ادراک نتایج
۴	انعطاف فرایند اجماع	۱۰	تحلیل کارایی اجماع	۱۶	شاخص‌گذاری اجماع
۵	مقاومت دربرابر خطا	۱۱	توزیع داده تأییدشده	۱۷	بازتوزیع نتایج ـ اهداف
۶	تنوع داده‌های ورودی	۱۲	همبستگی تصمیمات	۱۸	تصمیم‌سازی داده‌محور

جدول ۱۶. دستیابی به معادلهٔ ساختاری سوم (**)

ارتباط	ماهیت‌شناسی	اصول حاکم	معادله‌یابی (جدول ۱۳)	
⊕⇠⊞	شبکهٔ توزیع تخصص رأی‌دهندگان، تنوع ورودی متناسب با نوع و عمق موضوع، همگرایی اجماع-تصمیم	▶ علل لازم	توزیع تراکم رأی‌دهندگان، تصمیم مبتنی بر شواهد، مشارکت چند رشته، تنظیم شاخص‌ها	⊞ PoW+PoS+DPoS-PoET+BFT+PoWS+PoA-PoB+L-PoS+PoC+PoA-PoR+PoWe+PoSt
				⊕ PCT+PET+NGT+SLT-CST+SCT+SCAT+BET+-SET-RCT+GT+WET+EIT+IET
⊕⇢⊞	تطابق داده‌محور بین رأی‌دهندگان، کنترل جنس داده‌های ورودی و خروجی، تنظیم فرایند	علل کافی ▶	تحلیل داده زمینه‌ای، تلفیق نظرات، بهینه‌سازی شاخص‌ها، شفافیت فرایند	⊞ PoW+PoS+DPoS-PoET+BFT+PoWS-PoA+PoB+L--PoS-PoC+PoA+PoR-PoWe+PoSt
				⊕ PCT-PET+NGT+SLT-CST+SCT+SCAT+BET-SET+RCT+GT-WET+EIT-IET

ترکیب (⊞ + ⊕) ◀رابطه‌یابی معادلات‌ساختاری◀ شرح روابط		جمع رکن‌های مبدأ		PoS+ DPoS+ BFT+ PoWS+ LPoS+ PoA+ PoSt	
		جمع رکن‌های مقصد		PCT+ NGT+ SLT+ SCT+ SCAT+ BET+ GT+ EIT	
۱	پایداری ساختار اجماع	۷	ترکیب رأی‌دهندگان	۱۳	یادگیری مشارکتی
۲	تحمل خطا در اجرا	۸	هم‌افزایی دانشی	۱۴	ساختار اختصاصی
۳	تحلیل تطبیقی	۹	کنترل کیفیت ورودی	۱۵	ضریب نفوذ اجماع
۴	تنظیم چندسطحی	۱۰	پویایی فرایند اجماع	۱۶	تنظیم فرایند-ارزیابی
۵	پایداری تصمیمات	۱۱	شواهد چندرشته‌ای	۱۷	توازن بازیگران اجماع
۶	هم‌افزایی نظری	۱۲	تنوع داده	۱۸	تطابق داده-اطلاعات



در ادامه، خصوصیات هر یک از معادله‌های ساختاریِ به‌دست‌آمده، در نظر گرفته شده و ضمن تعریف و نامگذاری آن‌ها، متناسب با ماهیت آن‌ها، عوامل کلیدی برای پیاده‌سازی آن‌ها و حوزه‌های معناداری هر یک در زمینهٔ اجماع‌سازی، بر اساس فرمول رکن مبدأ و مقصد آن‌ها، مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۱۷. بررسی حالت ممکن و معنادار معادلات ساختاری حاصل‌شده از جدول‌های ۱۴ـ۱۶

عنوان		تعریف	عوامل کلیدی	حوزه‌های معناداری
*	همپوشانی ساختاری	انطباق میان الگوریتم‌های اجماع بلاک‌چینی مبتنی بر اثبات کار، سهام، بیزانسی و فعالیت با نظریات تصمیم‌گیری شهری در چهارچوب نظریه‌های انتخاب عمومی، شبکه‌ای و سرمایه اجتماعی، به منظور ایجاد بستر تصمیم‌سازی با تمرکز بر داده‌های غیرمتمرکز و تعامل چندنهادی بدون سلطهٔ ساختارهای متمرکز	تصمیم‌سازی نخبگانی، حکمرانی مشارکتی، اعتبار داده‌محور، انعطاف ساختاری	تعامل چندنهادی، اجماع غیرمتمرکز، انسجام شبکه‌ای، پویایی داده، شفافیت فرایند
PoW+ PoS+ BFT+ PoA+ LPoS+ PoA+ PoR				PCT+NGT+SLT+ SCAT+ BET+ SET+ GT+ EIT
⁂	پایداری تطبیقی	این معادله ترکیب الگوریتم‌های مبتنی بر اثبات کار نمایندگی، سوزاندن و ظرفیت را با نظریات اقتصاد کلان، رفاه و نهادگرایی تطبیق داده و بر قابلیت تطبیق‌پذیری اجماع‌های دیجیتال با فرایندهای تصمیم‌سازی چندمرحله‌ای اقتصادی و نهادی، جهت افزایش پایداری فرایند اجماع نخبگانی تأکید دارد	قابلیت تطبیق، تحلیل چندلایه، انعطاف نهادی، شفافیت اقتصادی، توازن مشارکتی	اقتصاد داده‌بنیان، حکمرانی نهادگرا، توسعهٔ پایدار شهری، مدل‌های تصمیم جمعی
PoW+ DPoS+ PoWS+ PoB+ PoC+ PoR				PCT+ PET+ SLT+ CST+ SET+ GT+ WET+ IET
⁂	انسجام توزیعی	این معادله تبیین‌کنندهٔ هماهنگی میان الگوریتم‌های اثبات سهام و ذخیره‌سازی با نظریات حکمرانی شبکه‌ای، قرارداد اجتماعی و یادگیری اجتماعی بوده که هدف آن تضمین انسجام فرایند تصمیم‌سازی نخبگان بر بستر توزیع شده داده‌ها با تمرکز بر کاهش تعارض‌های ذی‌نفعان و تسهیل فرایند اجماع است	توزیع داده، تقاطع منافع، یادگیری مشارکتی، تنظیم قواعد، شفافیت نهادی	سیاست‌گذاری شهری، یادگیری نهادی، مشارکت اجتماعی، انسجام تصمیم‌گیری
PoS+ DPoS+ BFT+ PoWS+ LPoS+ PoA+ PoSt				PCT+ NGT+ SLT+ SCT+ SCAT+ BET+ GT+ EIT

در ادامه، اصول حاکم (جدول‌های ۱۴ـ ۱۶) شناسایی‌شده برای هر یک از معادلات ساختاری را با ترکیب عوامل کلیدی و حوزهٔ معناداری (جدول ۱۷)، به صورتی که بیان‌کنندهٔ الزام اصلی در فرایند شناسایی و ظهور دیگر عبارت‌ها، از عبارت جبر بولی آن‌ها باشد، برای هر یک از معادلات ساختاری، و همچنین برای معادلات ترکیبی باشد، ارائه شده است. به بیانی دیگر، ترکیب معادلات ساختاری پژوهش جاری بر مبنای روابط جبری بولی و با هدف کاهش پیچیدگی، بر اساس جمع و حذف علل لازم و کافی در تطبیق میان الگوریتم‌های اجماع بلاک‌چین و نظریات اجماع نخبگان طراحی شده است (جدول ۱۸).

در این ترکیب‌بندی، با تجمیع شرایط هم‌نام و هم‌جنس و حذف موارد ناهمجنس، سه معادلهٔ کلیدی ⁂ و ⁂ به گونه‌ای تحلیل شده‌اند که بتوانند بیانگر الزام اصلی، یعنی کشف روابط ضروری و کافی برای پیاده‌سازی ظرفیت‌های بالفعل و بالقوهٔ الگوریتم‌های بلاک‌چین در اجماع نخبگان شهری، برای نوشتن تحلیل نقش‌های هر عامل در جدول ۱۸ باشند.

جدول ۱۸. الزام‌شناسی معادلات ساختاری منفرد حاصل‌شده در جدول ۱۷، برای ظهور معادلات ترکیبی

منفرد	(ترکیب ⁂ و ⁂) ≡ ∴	(ترکیب ⁂ و ⁂) ≡ ∷	(ترکیب ⁂ و ⁂) ≡ ⁜	(ترکیب ⁂ و ⁂) ≡ ※
*	الزام به تقاطع میان اثبات کار، سهام، تحمل خطای بیزانسی با حکمرانی شبکه‌ای، سرمایهٔ اجتماعی و بازی‌ها برای ایجاد اجماع داده‌محور	-	الزام به همگرایی اثبات سهام، اثبات فعالیت و اعتبار با سرمایه اجتماعی و خودکارآمدی برای بهبود دقت و شفافیت تصمیم‌سازی	الزام به یکپارچه‌سازی همهٔ الگوریتم‌ها و نظریات اجتماعی و اقتصادی جهت ایجاد ساختار جامع در فرایند اجماع غیرمتمرکز نخبگان شهری
⁂	الزام به تلاقی اثبات کار، سهام نمایندگی‌شده، شهرت با انتخاب عمومی و سیستم پیچیده برای تحقق مشارکت نخبگان	الزام به تمرکز روی ارتباط اثبات ظرفیت و سوزاندن با تعادل عمومی و رفاه اقتصادی برای کاهش سوگیری‌ها	-	الزام به ادغام تمام الگوریتم‌های ترکیبی اثبات سهام و نظریات نهادی، رفاهی و پیچیدگی برای افزایش شفافیت و دقت در فرایند اجماع
⁂	-	الزام به تحلیل ارتباط اثبات ذخیره‌سازی، سهام نمایندگی‌شده با حکمرانی شبکه‌ای و سرمایه اجتماعی برای انسجام تصمیم‌گیری	الزام به ترکیب اثبات فعالیت، ذخیره‌سازی، PoW/PoS با اقتصاد رفتاری و بازی برای بهبود مدل‌های تحلیل داده	الزام به تلفیق تمام الگوریتم‌های مبتنی بر اثبات و نظریات یادگیری و قرارداد اجتماعی برای تقویت غیرمتمرکزسازی و شفافیت فرایندهای اجماع

در ادامه، برای افزایش دقت در دستیابی به معادلهٔ تقلیلی در مراحل بعدی، تعیین دقیق نحوهٔ وزن‌دهی به هر الگوریتم یا نظریهٔ اجماع، برای اولویت‌بندی در روند تقلیل ترکیبات، در یک ستون اضافی تحت عنوان «وزن‌دهی به اولویت کاربردپذیری»، که بر اساس وزن‌های کمی (از ۱ تا ۵) برای هر الگوریتم و نظریه اجماع در هر معادلهٔ ساختاری، میزان تأثیر هر عامل کلیدی را نمایش می‌دهد. بر این‌اساس، در ادامه، برای آشکارسازی نقش هر یک از عوامل کلیدی این ترکیبات در کاهش یا افزایش کارایی معادلات تطبیقی، به تفکیک تأثیر هر یک از آن‌ها از طریق وزن‌دهی‌های جدول ۱۹، پرداخته می‌شود. این وزن‌دهی بر مبنای ۱ (کمترین کاربردپذیری در تطبیق با فرایند اجماع نخبگان شهری) تا ۵ (بیشترین کاربردپذیری) صورت گرفته است.

معیارهای وزن‌دهی شامل این موارد بوده است:
- هم‌راستایی ماهیتی با تصمیم‌گیری‌های مشورتی نخبگان شهری
- سطح داده‌محوری و قابلیت غیرمتمرکزسازی
- سابقهٔ کاربرد در محیط‌های مشابه تصمیم‌سازی جمعی
- قابلیت تفسیر نتایج در بسترهای چندرشته‌ای

از آنجا که، هدف پژوهش بر بررسی اثرات مستقل و مطلق هر عامل بر مبنای معیار کاربردپذیری خود عامل بوده، نه مقایسهٔ نسبی صرف، در این جدول، فرمول محاسبهٔ «درصد اثرگذاری مستقل بر کارایی» به این صورت است:

$$\text{درصد اثر گذاری هر عامل} = \frac{\text{وزن دهی عامل کلیدی}}{\text{حداکثر وزن دهی ممکن در هر معادله ساختاری}} \times ۱۰۰$$

که در آن:
- وزن‌دهی عامل کلیدی: عدد بین ۱ تا ۵ است که بر اساس میزان کاربردپذیری آن عامل در تطبیق تعیین شده.
- حداکثر وزن‌دهی ممکن: عدد ۵ (بالاترین مقدار ممکن برای هر عامل) ضرب در تعداد الگوریتم‌ها و نظریات موجود در آن معادله است. مثلاً در معادلهٔ ساختاری منفرد *، برابر ۷۰ است.

دلیل اصلی اینکه، جمع درصد اثرگذاری مستقل بیشتر یا کمتر از ۱۰۰ درصد می‌شود، به ماهیت تجمیعی و مستقل بودن اثرات هر عامل کلیدی بازمی‌گردد:

۱. هر عامل اثر مستقل دارد: هر الگوریتم یا نظریه به عنوان یک متغیر مستقل و تأثیرگذار در فرایند تطبیق عمل می‌کند. اثرگذاری هر عامل به طور جداگانه محاسبه می‌شود، زیرا هر یک از آن‌ها بخشی از ساختار اجماع را تقویت می‌کند و به صورت موازی عمل می‌کنند.

۲. اثرگذاری به صورت نسبی و بدون نرمال‌سازی مجموع محاسبه شده است. در این روش، درصد اثرگذاری فقط بازتاب‌دهندهٔ نسبت قدرت هر عامل به حداکثر ممکن است و مجموع آن‌ها به معنای ۱۰۰ درصد بودن سیستم کلی نیست، بلکه نشان‌دهندهٔ سهم نسبی هر عامل از منظر قابلیت کاربرد آزاد و مستقل است.

۳. تداخل مثبت عوامل: برخی از الگوریتم‌ها و نظریات ممکن است تأثیرات هم‌افزا داشته باشند (مثلاً ترکیب PoS و NGT) لذا مجموع اثرات آن‌ها لزوماً به عددی محدود به ۱۰۰ درصد ختم نمی‌شود.

۴. مبنای مقیاس مستقل برای هر ردیف: درصد اثرگذاری برای تحلیل داخلی هر ردیف و معادلهٔ ساختاری خاص است و هدفش نمایش میزان اهمیت هر عامل به‌تنهایی، بدون توجه به محدودیت جمع کل، است.

همچنین، در صورتی که بخواهیم مجموع درصد اثرگذاری هر معادله به ۱۰۰ درصد محدود شود، می‌توان از فرمول زیر، برای محاسبهٔ «درصد اثرگذاری نرمال بر کارایی» استفاده کرد:

$$\text{درصد اثر گذاری نرمال شده} = \frac{\text{وزن دهی عامل کلیدی}}{\text{مجموع وزن دهی همه عوامل در همان معادله ساختاری}} \times ۱۰۰$$

که در آن:
- وزن‌دهی عامل کلیدی: عدد بین ۱ تا ۵ است که بر اساس میزان کاربردپذیری آن عامل در تطبیق تعیین شده.
- مجموع وزن‌دهی همهٔ عوامل: شامل جمع همهٔ وزن‌دهی‌های انجام‌شده به عوامل کلیدی موجود در آن معادله است. مثلاً در معادلهٔ ساختاری منفرد *، برابر ۵۶ است.

جدول ۱۹. وزن‌دهی به عوامل کلیدی

عامل کلیدی (جدول ۱۷)	وزن	اثر نرمال	اثرمستقل	تأثیرگذاری بر کارایی فرایند تطبیق در معادلات ترکیبی (جدول ۱۸)
در معادلهٔ ساختاری منفرد * با حداکثر وزن‌دهی ممکن ۷۰= ۵✕۱۴				
PoW (اثبات کار)	۴	۷.۱۴%	۵.۷۱ %	افزایش دقت داده‌های ورودی، نیازمند بهینه‌سازی برای کاهش مصرف انرژی
PoS (اثبات سهام)	۵	۸.۹۳%	%۷.۱۴	ارتقای شفافیت و کاهش تمرکز، بسیار مؤثر در پذیرش نخبگان شهری
BFT (تحمل خطای بیزانسی)	۴	۷.۱۴%	۵.۷۱ %	تضمین پایداری اجماع با وجود تضاد نظرات، مؤثر در سیستم‌های مشارکتی
PoA (اثبات فعالیت)	۳	۵.۳۶%	%۴.۲۹	کاربرد متوسط در کنترل فعالانه فرایند رأی‌دهی نخبگان
LPoS (اثبات سهام استیجاری)	۳	۵.۳۶%	%۴.۲۹	بهبود پذیرش مشورتی در ساختارهای نمایندگی نخبگان، اما وابسته به نهادسازی
PoR (اثبات شهرت)	۴	۷.۱۴%	۵.۷۱ %	مؤثر در وزن‌دهی به نظرات معتبرتر نخبگان، تقویت شبکهٔ تصمیم‌گیری شهری
PCT (انتخاب عمومی)	۴	۷.۱۴%	۵.۷۱ %	تنظیم سیاست‌های کلی بر مبنای مصالح جمعی، تسهیل پذیرش اجتماعی
NGT (حکمرانی شبکه‌ای)	۵	۸.۹۳%	%۷.۱۴	افزایش انسجام شبکه‌ای نخبگان، بهبود قابلیت پیاده‌سازی اجماع
SLT (یادگیری اجتماعی)	۴	۷.۱۴%	۵.۷۱ %	کمک به انتقال تدریجی دانش و الگوهای رفتاری بین نخبگان
SCAT (سرمایه اجتماعی)	۳	۵.۳۶%	%۴.۲۹	تقویت ارتباطات بین نخبگان، اما وابسته به تعاملات واقعی شهری
BET (اقتصاد رفتاری)	۵	۸.۹۳%	%۷.۱۴	افزایش تطابق رفتار نخبگان با داده‌های ورودی، مؤثر در کاهش سوگیری
SET (خودکارآمدی)	۳	۵.۳۶%	%۴.۲۹	ایجاد اعتمادبه‌نفس نخبگان در مشارکت مؤثر، تأثیر محدودتر
GT (نظریه بازی‌ها)	۵	۸.۹۳%	%۷.۱۴	ارتقای تحلیل استراتژیک نخبگان در فضای تعارض منافع، بسیار مؤثر
EIT (اقتصاد اطلاعات)	۴	۷.۱۴%	۵.۷۱ %	افزایش دسترسی و شفافیت داده‌های ورودی، تسهیل تصمیم‌سازی
جمع کل	۵۶ از ۷۰	۱۰۰%	%۷۹.۹۸	عوامل با بیشترین تأثیر: PoS، NGT، BET، GT عوامل با کمترین تأثیر: PoA، LPoS، SCAT، SET

عامل کلیدی (جدول ۱۷)	وزن	اثر نرمال	اثرمستقل	تأثیرگذاری بر کارایی فرایند تطبیق در معادلات ترکیبی (جدول ۱۸)
در معادلهٔ ساختاری منفرد ⁂ با حداکثر وزن‌دهی ممکن ۷۰= ۵×۱۴				
PoW (اثبات کار)	۴	%۷.۴	۵.۷۱ %	مؤثر در ثبت دقیق داده‌های نخبگان ولی نیازمند هزینهٔ پردازشی زیاد
DPoS (اثبات سهام نمایندگی‌شده)	۵	%۹.۲۶	%۷.۱۴	تسهیل تفویض اختیار نخبگان، بسیار مناسب برای شوراهای شهری
PoWS (ترکیبی PoW/PoS)	۳	%۵.۵۵	%۴.۲۹	ارائهٔ انعطاف‌پذیری ولی با پیچیدگی زیاد برای تطبیق شهری
PoB (اثبات سوزاندن)	۲	%۳.۷	%۲.۸۶	تأثیر ضعیف، نیازمند تنظیم زمینه‌ای در شهرسازی راهبردی
PoC (اثبات ظرفیت)	۳	%۵.۵۵	%۴.۲۹	بهینه‌سازی ذخیره داده، متوسط در کاهش خطاها
PoR (اثبات شهرت)	۴	%۷.۴	۵.۷۱ %	مؤثر در وزن‌دهی دقیق نخبگان معتبر شهری
PCT (انتخاب عمومی)	۴	%۷.۴	۵.۷۱ %	تنظیم سیاست‌های مشارکتی نخبگان، کمک به پذیرش گسترده
PET (تعادل عمومی)	۴	%۷.۴	۵.۷۱ %	تثبیت توازن بین نخبگان و ذی‌نفعان شهری
SLT (یادگیری اجتماعی)	۳	%۵.۵۵	%۴.۲۹	ارتقای تعاملات یادگیری نخبگان، تأثیر متوسط
CST (سیستم‌های پیچیده)	۵	%۹.۲۶	%۷.۱۴	بسیار مؤثر در تنظیم تصمیم‌گیری چندعاملی شهری
SET (خودکارآمدی)	۳	%۵.۵۵	%۴.۲۹	تقویت مشارکت، اما با تأثیرگذاری محدود بر اجماع
GT (نظریه بازی‌ها)	۵	%۹.۲۶	%۷.۱۴	تحلیل دقیق استراتژی‌های نخبگان، مؤثر در تعارض‌زدایی
WET (اقتصاد رفاه)	۴	%۷.۴	۵.۷۱ %	مؤثر در ارزیابی پیامدهای رفاهی تصمیمات شهری
IET (اقتصاد نهادگرایی)	۵	%۹.۲۶	%۷.۱۴	تثبیت نهادهای شهری برای پایداری اجماع
جمع کل	۵۴ از ۷۰	۱۰۰%	%۷۷.۱۳	عوامل با بیشترین تأثیر: DPoS، CST، GT، IET عوامل با کمترین تأثیر: PoB، PoWS، PoC، SLT، SET
در معادلهٔ ساختاری منفرد ⁂ با حداکثر وزن‌دهی ممکن ۷۵= ۵×۱۵				
PoS (اثبات سهام)	۵	%۸.۲	%۶.۶	کاهش تمرکز و بهبود شفافیت، بسیار مؤثر در ساختار مشورتی
DPoS (اثبات سهام نمایندگی‌شده)	۴	%۶.۵۵	%۵.۳	تفویض اختیارات شهری با حداقل پیچیدگی، مناسب شوراها
BFT (تحمل خطای بیزانسی)	۴	%۶.۵۵	%۵.۳	کاهش خطای سیستمی، مؤثر در تصمیم‌سازی دقیق
PoWS (PoW/PoS ترکیبی)	۳	%۴.۹۲	۴	انعطاف‌پذیری بالا ولی با هزینهٔ پردازشی متوسط
LPoS (اثبات سهام استیجاری)	۳	%۴.۹۲	۴	تقویت ساختار نمایندگی نخبگان با پذیرش تدریجی
PoA (اثبات فعالیت)	۳	%۴.۹۲	۴	فعال‌سازی مداخله‌گرایانه نخبگان در فرایند رأی‌گیری
PoSt (اثبات ذخیره‌سازی)	۴	%۶.۵۵	%۵.۳	ارتقای ذخیره و شفافیت داده‌ها، مؤثر برای داده‌های حجیم شهری
PCT (انتخاب عمومی)	۴	%۶.۵۵	%۵.۳	تسهیل توافق نخبگان پیرامون مصالح عمومی شهری
NGT (حکمرانی شبکه‌ای)	۵	%۸.۲	%۶.۶	افزایش تعاملات نخبگان، بسیار مؤثر در شبکه‌سازی شهری
SLT (یادگیری اجتماعی)	۴	%۶.۵۵	%۵.۳	ارتقای انتقال دانش میان نخبگان، مؤثر در فرایند اجماع
SCT (قرارداد اجتماعی)	۴	%۶.۵۵	%۵.۳	تقویت مشروعیت تصمیمات نخبگان در فضای مشارکتی
SCAT (سرمایه اجتماعی)	۴	%۶.۵۵	%۵.۳	بهبود ارتباطات اجتماعی نخبگان، مؤثر در پذیرش تصمیمات
BET (اقتصاد رفتاری)	۵	%۸.۲	%۶.۶	تنظیم رفتارهای تصمیم‌گیرانه نخبگان، کاهش سوگیری
GT (نظریه بازی‌ها)	۵	%۸.۲	%۶.۶	افزایش استراتژی‌های منطقی در شرایط تعارضی
EIT (اقتصاد اطلاعات)	۴	%۶.۵۵	%۵.۳	بهبود دسترسی اطلاعات نخبگان، مؤثر در تحلیل داده‌ها
جمع کل	۶۱ از ۷۵	%۱۰۰	%۷۵.۵	عوامل با بیشترین تأثیر: GT، BET، NGT، PoS عوامل با کمترین تأثیر: PoA، LPoS، PoWS

نتیجه‌گیری کلی از جدول ۱۸، این است که:

- PoS، DPoS، BFT، GT، NGT و BET در تمامی معادلات به طور مشترک بیشترین درصد اثرگذاری را دارند.
- در فرایند تطبیق برای شهرسازی راهبردی، بالاترین کارایی از الگوریتم‌های اثبات سهام، نمایندگی‌شده و نظریه‌های حکمرانی شبکه‌ای و بازی‌ها حاصل می‌شود.
- عواملی همچون PoB (اثبات سوزاندن) و PoWS (اثبات ترکیبی) نیازمند بومی‌سازی بیشتر برای بهبود کارایی هستند.

یافته‌ها

راهکار دست یافتن به استنباط‌های اولیه و نوشتن معادلهٔ تقلیلی در این پژوهش، استفاده از قوانین دمورگان برای تبدیل معادلات ترکیبی، به معادلهٔ تقلیلی است. معادلهٔ تقلیلی نتیجه تحلیل بولی و جبری برای فشرده‌سازی عوامل کلیدی است. در این پژوهش، معادلهٔ تقلیلی، مجموعه‌ای از عوامل لازم و کافی را در حداقل ترکیب‌های ممکن نمایش داده و بر مؤلفه‌های ضروری در فرایند اجماع‌سازی تأکید دارد. ولی، فاقد عناصر تطبیقی و عوامل مداخله‌گر محیطی است. قوانین دمورگان دو قاعدهٔ منطقی در جبر بولی هستند که نحوهٔ توزیع نقیض (¬) روی عملگرهای منطقی AND (∧) و OR (∨) را توضیح می‌دهند. این قوانین به صورت زیر بیان می‌شوند:

۱. نقیض اجتماع برابر است با اشتراک نقیض‌ها:

$$\neg (A \vee B) = (\neg A) \wedge (\neg B)$$

۲. نقیض اشتراک برابر است با اجتماع نقیض‌ها:

$$\neg (A \wedge B) = (\neg A) \vee (\neg B)$$

اگر فرض کنیم ترکیب‌های (∴، ::، ⁜ و ※) در جدول ۱۸، به عنوان متغیرهای منطقی رفتار می‌کنند، می‌توانیم قوانین دمورگان را به این‌صورت بنویسیم:

قانون اول دمورگان:

$$\neg (\therefore \vee ::) \equiv (\neg \therefore \wedge \neg ::)$$
$$\neg (\therefore \vee \Subset) \equiv (\neg \therefore \wedge \neg \Subset)$$
$$\neg (\therefore \vee ※) \equiv (\neg \therefore \wedge \neg ※)$$
$$\neg (:: \vee \Subset) \equiv (\neg :: \wedge \neg \Subset)$$
$$\neg (:: \vee ※) \equiv (\neg :: \wedge \neg ※)$$
$$\neg (\Subset \vee ※) \equiv (\neg \Subset \wedge \neg ※)$$

قانون دوم دمورگان:

$$\neg (\therefore \wedge ::) \equiv (\neg \therefore \vee \neg ::)$$
$$\neg (\therefore \wedge \Subset) \equiv (\neg \therefore \vee \neg \Subset)$$
$$\neg (\therefore \wedge ※) \equiv (\neg \therefore \vee \neg ※)$$
$$\neg (:: \wedge \Subset) \equiv (\neg :: \vee \neg \Subset)$$
$$\neg (:: \wedge ※) \equiv (\neg :: \vee \neg ※)$$
$$\neg (\Subset \wedge ※) \equiv (\neg \Subset \vee \neg ※)$$

حالت کلی برای تقلیل این معادلات، مربوط به ترکیب ※ است، که خودش از سه ترکیب دیگر (∴، ::، ⁜)، ساخته شده است. بنابراین، برای ترکیب ※، راه دستیابی به استنباط اولیه در ارکان تطبیق و در نهایت، تفسیر منطقی آن‌ها، به صورت بیان شده در جدول ۲۰ خواهد بود. به بیانی دیگر، تدوین این قوانین برای ترکیب ※، امکان تحلیل دقیق‌تر رابطه‌های لازم (N) و کافی (S) بین این ترکیب‌ها را فراهم می‌آورد. با به‌کارگیری قوانین دمورگان، می‌توان بررسی کرد که چگونه عدم تحقق یک ترکیب، از طریق روابط منطقی، بر تحقق یا عدم تحقق سایر ترکیب‌ها تأثیر می‌گذارد. این روابط برای تنظیم معادلات تقلیلی و استنتاج در ساختاردهی به عوامل کلیدی پژوهش بسیار کاربردی هستند.

جدول ۲۰. ایجاد معادلات باز و ساختاری برای ترکیب ※

ترکیب (جدول ۱۸)	معادلهٔ باز حاصل‌شده از پیاده‌سازی قانون دمورگان	استنباط اولیه		استنتاج اولیه
		وضعیت رکن مبدأ	وضعیت رکن مقصد	تفسیر منطقی
قانون اول دمورگان				
ترکیب ※ (∴ و ⁜ و ⁂)	¬[(PoW ∨ PoS ∨ BFT ∨ PoA ∨ LPoS ∨ PoA ∨ PoR ∨ PoW ∨ DPoS ∨ PoWS ∨ PoB ∨ PoC ∨ PoR ∨ PoS ∨ DPoS ∨ BFT ∨ PoWS ∨ LPoS ∨ PoA ∨ PoSt)] ≡ (¬PCT ∧ ¬NGT ∧ ¬SLT ∧¬SCAT ∧ ¬BET ∧ ¬SET ∧ ¬GT ∧ ¬EIT ∧ ¬PET ∧ ¬CST ∧ ¬WET ∧ ¬IET ∧ ¬SCT ∧ ¬SCAT ∧ ¬BET ∧ ¬GT ∧ ¬EIT)	حذف هم‌زمان وابستگی به تمامی الگوریتم‌های ترکیبی با حفظ ساختار کلی غیرمتمرکز و مبتنی بر داده	ادغام تمامی نظریات رفتاری، نهادی و شبکه‌ای جهت تنظیم یکپارچهٔ فرایند اجماع تصمیم‌سازی شهری	تنظیم کلان فرایندهای داده‌محور با هم‌راستاسازی ساختارهای غیرمتمرکز بلاک‌چینی و نظریه‌های نهادی تصمیم‌سازی
معادلهٔ ساختاری برای ترکیب ※ (ترکیب سه‌گانه) بر اساس قانون اول دمورگان				¬ (∴ ∨ :: ∨ ⁜) ≡ (¬∴ ∧ ¬:: ∧ ¬⁜) ¬ (⁂ ∨ ⁜ ∨ ⁑) ≡ (¬⁂ ∧ ¬⁜ ∧ ¬⁑)
تفسیر روش‌شناسی: برای عدم تحقق اجماع کلان (حاصل از ترکیب‌های ∴، :: و ⁜)، ضروری است که هر سه ترکیب مستقلانه، غایب باشند. هر غیبت ترکیب به معنای نبود هم‌زمان برخی از الگوریتم‌های اجماع بلاک‌چینی و نظریات اجماع نخبگان است. این معادله برای شناسایی «عوامل لازم» کاربرد دارد؛ یعنی، غیبت هر یک از ترکیب‌ها مانع ظهور نتیجه کل می‌شود.				
قانون دوم دمورگان				
ترکیب ※ (∴ و ⁜ و ⁂)	¬ [(PoW ∧ PoS ∧ BFT ∧ PoA ∧ LPoS ∧ PoA ∧ PoR ∧ PoW ∧ DPoS ∧ PoWS ∧ PoB ∧ PoC ∧ PoR ∧ PoS ∧ DPoS ∧ BFT ∧ PoWS ∧ LPoS ∧ PoA ∧ PoSt)] ≡ (¬PCT ∨ ¬NGT ∨ ¬SLT ∨ ¬SCAT ∨ ¬BET ∨ ¬SET ∨ ¬GT ∨ ¬EIT ∨ ¬PET ∨ ¬CST ∨ ¬WET ∨ ¬IET ∨ ¬SCT ∨ ¬SCAT ∨ ¬BET ∨ ¬GT ∨ ¬EIT)	حداکثرسازی کنترل بر ورودی‌های بلاک‌چینی با ترکیب تمامی الگوریتم‌های اجماع در ساختاری یکپارچه و سخت‌گیرانه	تحدید دامنهٔ نظریات مختلف و حذف سیالیت تفسیری برای تصمیم‌گیری صلب و پایدار در چهارچوب شهری	تحکیم ساختار اجماع بلاک‌چینی به همراه کاهش تعامل‌پذیری تئوری‌های میان‌رشته‌ای به نفع شفافیت رویکرد داده‌محور
معادلهٔ ساختاری برای ترکیب ※ (ترکیب سه‌گانه) بر اساس قانون دوم دمورگان				¬ (∴ ∧ :: ∧ ⁜) ≡ (¬∴ ∨ ¬:: ∨ ¬⁜) ¬ (⁂ ∧ ⁜ ∧ ⁑) ≡ (¬⁂ ∨ ¬⁜ ∨ ¬⁑)
تفسیر روش‌شناسی: برای عدم تحقق اجماع ترکیبی، کافی است که غیبت یکی از ترکیب‌ها (∴، :: یا ⁜) رخ دهد. این معادله نشان‌دهنده «عامل کافی» است: حضور همه ترکیب‌ها الزاماً منجر به اجماع نمی‌شود، اما حذف یکی از آن‌ها اجماع را مختل می‌کند. این معادله برای تحلیل آسیب‌پذیری‌های محتمل در طراحی سازوکار تطبیقی قابل استفاده است.				

با ترکیب دو معادله ساختاری برای ترکیب ※ در جدول ۲۰، معادلهٔ تقلیلی کلی، به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$\neg(\because \wedge :: \wedge \# \wedge ※) \equiv (\neg\because \vee \neg:: \vee \neg\# \vee \neg※)$$

تفسیر روش‌شناسی کلی برای معادلهٔ تقلیلی کلی این است که، غیبت هر یک از معادلات ساختاری (* یا ‡ یا **) مانع از تحقق ترکیب ※، و در نتیجه، عدم تحقق کامل مدل اجماع می‌شود. این معادله امکان تشخیص ضعف‌ها در پیوند میان الگوریتم‌ها و نظریه‌ها را فراهم می‌آورد. به دیگر بیان، نشان‌دهندهٔ اهمیت «پیوستگی و حضور هم‌زمان» همهٔ سطوح الگوریتمی و نظری در فرایند تطبیقی است. از منظر راهبردی، این معادله به مثابه «معادلهٔ کنترلی» پژوهش تلقی شده و تعیین‌کنندهٔ حد نهایی همگرایی میان عوامل کلیدی است.

مرحلهٔ ساختاردهی به عوامل کلیدی در مطالعات تطبیقی، مرحله‌ای است که پس از شناسایی، عامل‌یابی، وزن‌دهی و معادله‌یابی انجام می‌شود. هدف این مرحله، ترسیم شبکه‌ای از روابط میان «عوامل لازم» و «عوامل کافی» است که از طریق معادلات ساختاری به دست آمده‌اند. این شبکه، به پژوهشگر امکان می‌دهد با تحلیل بولی، شرط‌های لازم و کافی را برای تحقق یا عدم تحقق پدیدهٔ مورد نظر (ایجاد اجماع نخبگان شهری با الهام از الگوریتم‌های بلاک‌چین) شناسایی کند. بر اساس نتایج مراحل قبلی، عوامل کلیدی مربوط به معادلهٔ تقلیلی کلی (در جدول ۲۰)، به دو دسته تقسیم شده‌اند:

الف- عوامل کلیدی مرتبط با الگوریتم‌های اجماع بلاک‌چین (رکن مبدأ):

- تمرکززدایی داده‌محور یا DDA (Decentralized Data Aggregation): به معنای توزیع، جمع‌آوری و پردازش داده‌ها میان نهادهای مستقل است. این عامل شامل استقلال گره‌های پردازشی، حذف کنترل مرکزی و افزایش امنیت و شفافیت اطلاعات است.
- کنترل توزیع‌شده یا DCM (Distributed Control Mechanism): به معنای تخصیص قدرت تصمیم‌گیری میان چندین نهاد مستقل است. این عامل از سازوکارهای اجماع، مکانیزم‌های رأی‌گیری غیرمتمرکز و توزیع متوازن اختیار بهره می‌برد.
- مقاومت در برابر دستکاری داده‌ها یا TRS (Tamper Resistance): توانایی فرایند اجماع در جلوگیری از تغییر غیرمجاز داده‌ها است. این عامل بر اتکاپذیری، ثبت دلیل تغییرات، غیرقابل بازگشت کردن آن‌ها توسط عوامل اجرایی و احراز صلاحیت افراد متقاضی تغییر در فرایندهای تصویب‌شده بر اساس اجماع، متکی است.
- پویایی مشارکت‌کنندگان یا DYP (Dynamic Participation): به انعطاف‌پذیری ساختار در پذیرش افراد جدید و تطبیق با تغییرات اشاره دارد. این عامل بر تعاملات باز برای انتخاب رشته‌ها و نخبه‌گزینی، حذف موانع ورود و تسهیل گردش نخبگان در فرایندهای رأی‌گیری و تصمیم سازی، متکی است.

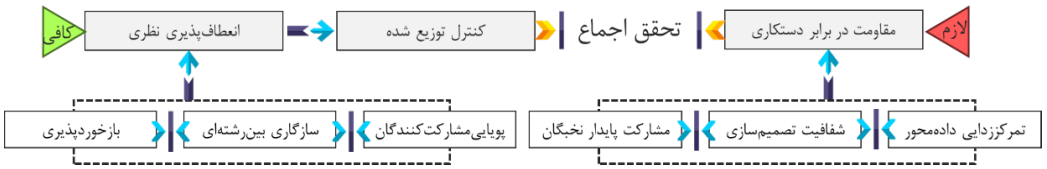
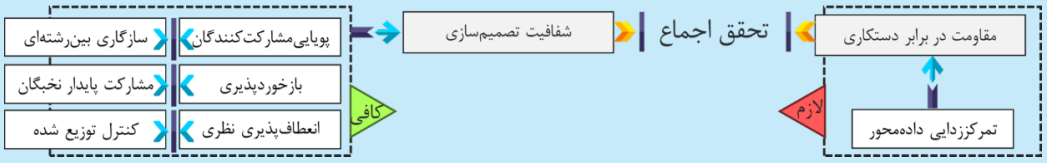
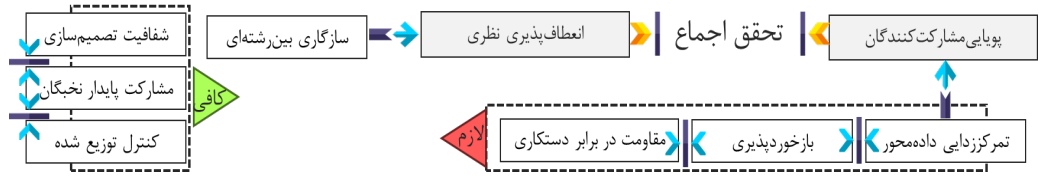
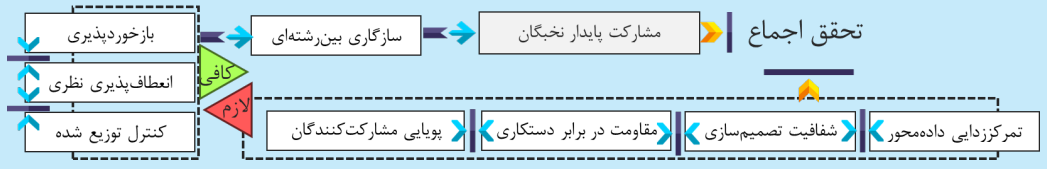
ب- عوامل کلیدی مرتبط با نظریات اجماع نخبگان شهری (رکن مقصد):

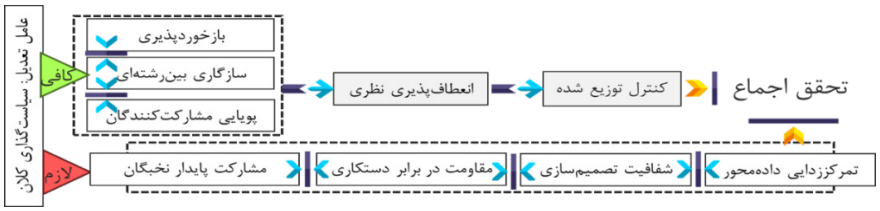
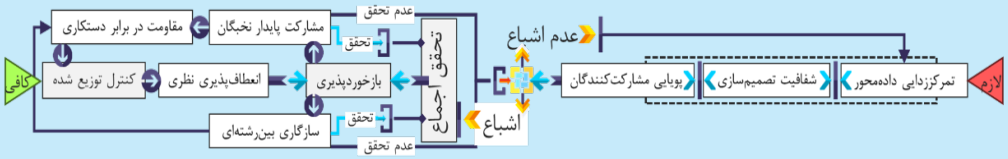
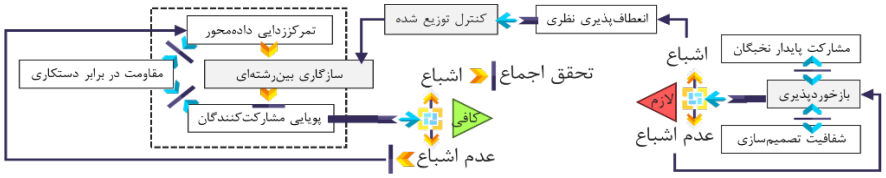
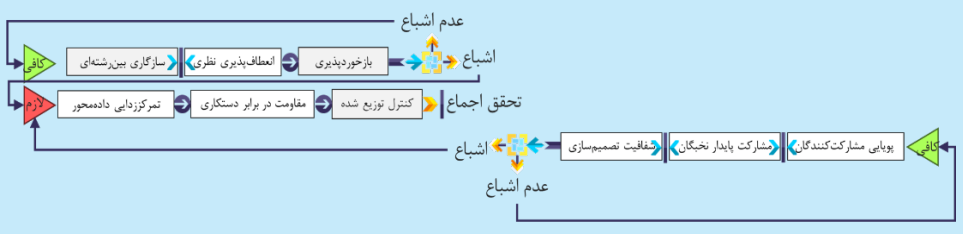
- شفافیت فرایند تصمیم‌سازی یا DMT (Decision-Making Transparency): یعنی امکان مشاهده، ارزیابی و پیگیری تمامی مراحل تصمیم‌گیری، تا میزان ارتباط آن‌ها با اجماع صورت گرفته مشخص شود. این عامل بر انتشار عمومی داده‌ها، مستندسازی فرایندها و امکان نظارت جمعی در اجرای تصمیمات، از طریق مقایسهٔ آن‌ها با فرایند اجماع، تأکید دارد.
- سازگاری بین‌رشته‌ای یا INC (Interdisciplinary Coherence): بر هم‌افزایی دانش میان حوزه‌های مختلف حاضر در فرایند اجماع، تأکید دارد. این عامل از روش‌شناسی تطبیقی، مدل‌های همکاری فرارشته‌ای و یکپارچگی دانش در تصمیم‌گیری حمایت می‌کند.
- انعطاف‌پذیری نظری یا THF (Theoretical Flexibility): به توانایی تغییر و تطبیق مدل‌های تصمیم‌گیری بر اساس پوشش داده تمام حالات ممکن از موضوع اجماع اشاره دارد. این عامل از روش‌های تحلیلی انطباق‌پذیر، ترکیب چندرویکردی و استفاده از سناریوسازی بهره می‌گیرد.
- مشارکت پایدار نخبگان یا SEP (Sustainable Elite Participation): به حضور مستمر و اثربخش خبرگان در تصمیم‌گیری‌ها اشاره دارد. این عامل بر تشویق تعاملات علمی بین نخبگان حاضر در اجماع، فراهم‌سازی دسترسی عادلانه نخبگان رشته‌های حاضر در اجماع به داده‌های لازم و مؤثر و حفظ انگیزه برای مشارکت همهٔ رشته‌های لازم، تأکید دارد.
- قابلیت بازخوردپذیری یا FBA (Feedback Adaptability): یعنی توانایی فرایند اجماع در دریافت، تحلیل و اعمال بازخوردهای جدید. این عامل بر به‌روزرسانی مستمر، مدل‌های یادگیری پویا و انطباق تصمیمات با داده‌های جدید متکی است.

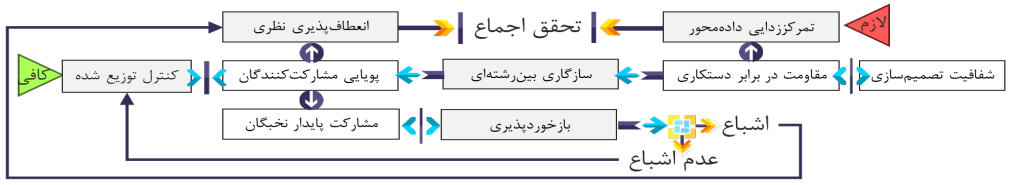
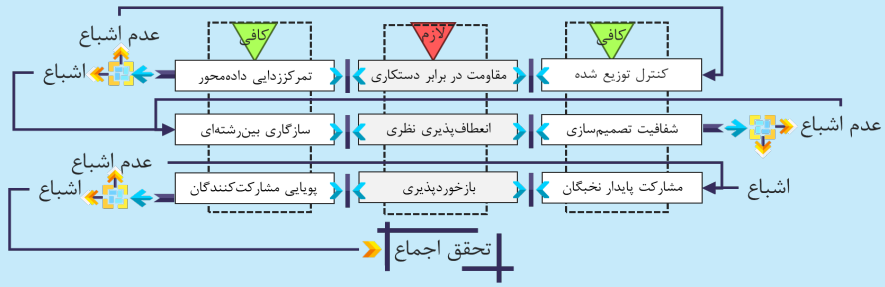
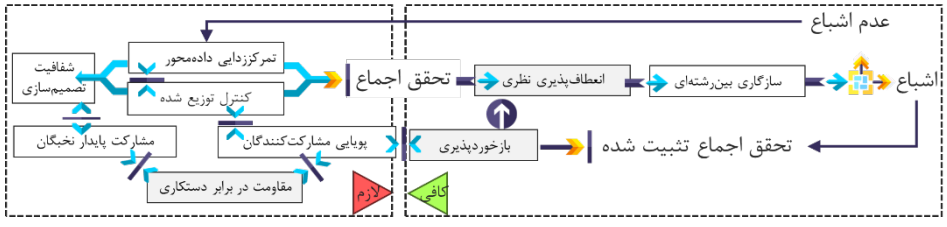
همچنین، می‌توان بر اساس جدول ۲۰ گفت که برخی عوامل باید همواره برای تحقق اجماع وجود داشته باشند، همان عوامل لازم برای تحقق عوامل کلیدی فوق هستند (Presence of Necessary Conditions) که شامل موارد (تمرکززدایی داده‌محور، مقاومت در برابر دستکاری داده‌ها، شفافیت فرایند تصمیم‌سازی، مشارکت پایدار نخبگان) هستند. به بیانی دیگر، عوامل لازم، برگرفته از ویژگی‌های بنیادی رکن‌های مبدأ و مقصد هستند و بدون حضور آن‌ها، اجماع نخبگان داده‌محور در شهرسازی راهبردی ممکن نخواهد بود.

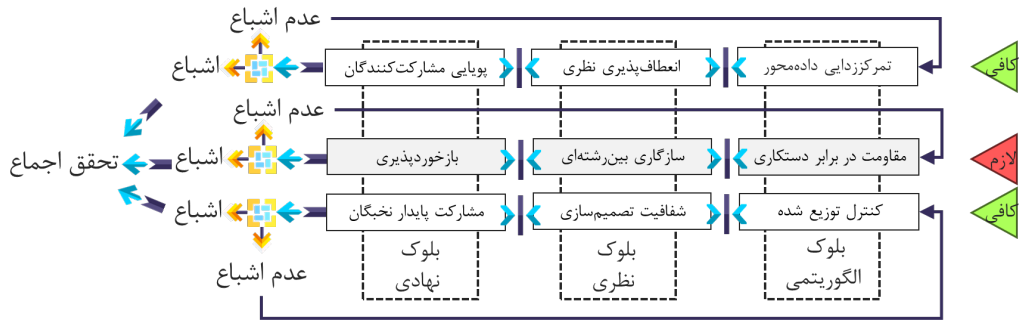
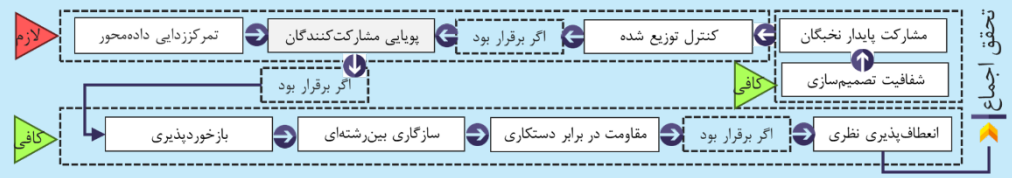
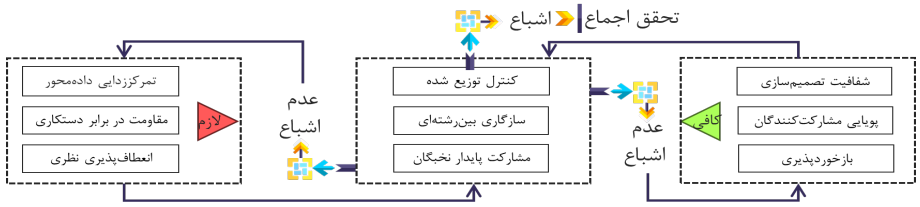
همچنین، ترکیب حضور برخی عوامل شامل (کنترل توزیع‌شده، پویایی مشارکت‌کنندگان، سازگاری بین‌رشته‌ای، انعطاف‌پذیری نظری، قابلیت بازخوردپذیری)، شرط کافی برای تحقق اجماع است (Presence of Sufficient Conditions)، هرچند عدم حضور یکی از آن‌ها، کل فرایند را مختل نکند. این در حالی است که عوامل کافی، بیشتر به قابلیت‌های نرم و فرایندی نظریات اجماع نخبگان شهری وابسته‌اند که فقدان آن‌ها فرایند اجماع را سخت می‌کند، ولی کاملاً متوقف نمی‌سازد. نتایج نشان می‌دهد تحقق پایدار اجماع، مستلزم برقراری حداقل شرایط لازم است، اما برای کارایی و انعطاف بیشتر، ترکیب عوامل کافی نیز حیاتی خواهد بود. در ادامه (جدول ۲۱)، چند سناریوی متفاوت برای شبکه شرط لازم و کافی طراحی و ارائه می‌شود.

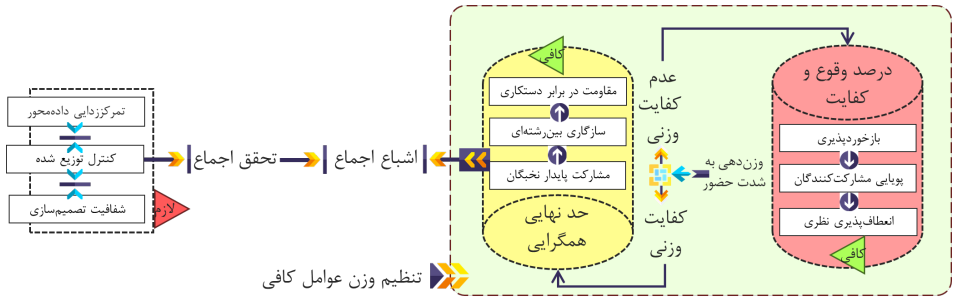
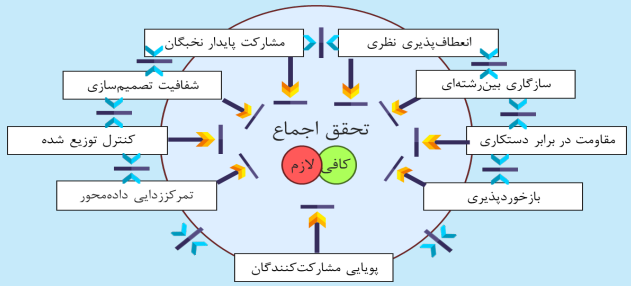
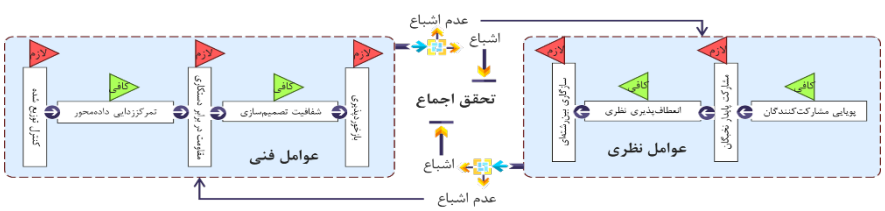
جدول ۲۱. سناریوهای تغییر آرایش و ارتباطات عوامل کلیدی ایجاد اجماع در شرایط مختلف

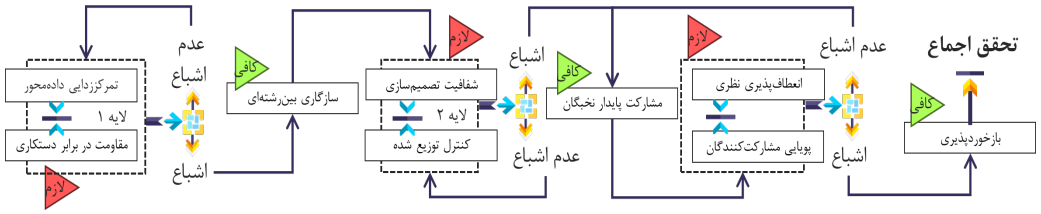
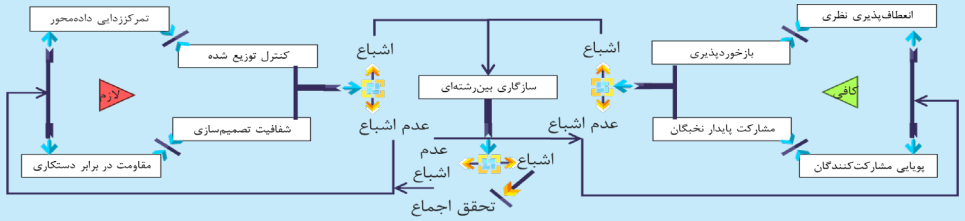
سناریو	کاربرد در شهرسازی راهبردی	داده‌های ورودی	شرایط روایی و پایایی	قوت‌ها و ضعف‌ها	سناریوی تکمیل‌کننده
سناریو ۱: حالت پایه Basic Mode) (Scenario	مناسب برای فرایندهای شهرسازی با موضوعات پیچیده دارای ذی‌نفعان متنوع	داده‌های کمی و کیفی نظرات نخبگان؛ کمیت متوسط، کیفیت نیازمند تنوع رشته‌ای	روایی بالا به دلیل حضور تمامی عوامل لازم، پایایی نیازمند مدیریت منابع داده	قوت: شمول جامع عوامل کلیدی؛ ضعف: احتمال طولانی شدن فرایند	سناریو ۱۰ (چندسویه چندلایه)؛ چون تقویت چندلایگی باعث رفع ضعف طولانی شدن می‌شود
عوامل لازم از سه ویژگی بلاک‌چینی + شفافیت و مشارکت پایدار تشکیل شده‌اند و عوامل کافی به انعطاف و تنوع نظری معطوف‌اند.					
					
سناریو ۲: عوامل نظری Theoretical) factors (Scenario	مناسب برای برنامه‌های راهبردی شهر که به اجماع بین رشته‌ای و تئوریک نیاز دارند	داده‌های کیفی با عمق تحلیلی بالا، مقیاس کوچک اما تخصصی	روایی بالا از نظر نظریه‌پذیری، پایایی پایین‌تر به دلیل وابستگی به نظرات کیفی	قوت: انعطاف در تحلیل چندرشته‌ای؛ ضعف: دشواری در کمی‌سازی نتایج	سناریو ۷ (عامل مرکزی چندوجهی)؛ چون امکان تجمیع دیدگاه‌های چندرشته‌ای در هستهٔ مرکزی را فراهم می‌کند
در این سناریو، «شفافیت تصمیم‌سازی» از عامل لازم به عامل کلیدی در مرکز اجماع ارتقا یافته و مشارکت پایدار و کنترل توزیع‌شده به سطح کافی منتقل شده‌اند، که تأکید بر نظریه‌محوری فرایند را افزایش می‌دهد.					
					
سناریو ۳: پویایی و بازخورد Dynamics) and feedback (Scenario	مناسب برای مأموریت‌هایی با ذی‌نفعان متعدد و در حال تغییر (مانند نوسازی شهری)	داده‌های به‌روز و مکرر، کمیت بالا، کیفیت وابسته به پایداری جمع‌آوری	روایی متوسط، اما پایایی به‌شدت وابسته به استمرار دریافت داده	قوت: انعطاف‌پذیری بالا؛ ضعف: احتمال افت کیفیت داده در بلندمدت	سناریو ۱۱ (حلقهٔ بازخوردی دوگانه)؛ چون بازخورد را در چند سطح تقویت می‌کند
در این آرایش، تمرکز بر تعامل مستمر و بازخورد منظم نخبگان است، در حالی که سایر عوامل در سطح کافی باقی می‌مانند.					
					
سناریو ۴: شرط ترکیبی Compound) Condition (Scenario	مناسب برای مأموریت‌هایی که چند عامل اصلی باید هم‌زمان رعایت شوند (مانند توسعهٔ پایدار)	داده‌های ترکیبی، کمیت زیاد، کیفیت وابسته به دقت گردآوری چندبعدی	روایی و پایایی بالا در صورت کنترل هم‌زمان منابع داده	قوت: قابلیت تعیین الزامات حداقلی؛ ضعف: دشواری مدیریت داده‌های چندمنبعی	سناریو ۱۸ (لایه‌ای تدریجی)؛ چون امکان فازبندی کنترل داده‌های چندبعدی را فراهم می‌کند
در این سناریو، شرط لازم از ترکیب سه عامل داده‌محور و مشارکتی تشکیل شده است. در صورتی که یکی از این عوامل غایب شود، اجماع محقق نخواهد شد. سایر عوامل کافی در جای خود باقی می‌مانند.					
					

سناریو	کاربرد در شهرسازی راهبردی	داده‌های ورودی	شرایط روایی و پایایی	قوت‌ها و ضعف‌ها	سناریوی تکمیل‌کننده
سناریو ۵: عامل کنترل‌کننده (Controlling Agent) (Scenario	مناسب برای مأموریت‌هایی با محدودیت‌های نهادی/قانونی (مثل قوانین شهری یا مقررات شورا)	داده‌های ساختاریافته، کمیت متوسط، کیفیت وابسته به‌وضوح قوانین موجود	روایی بالا به دلیل وضوح کنترل‌کننده، پایایی وابسته به ثبات مقررات	قوت: شفافیت در تصمیم‌سازی؛ ضعف: کاهش انعطاف‌پذیری	سناریو ۱۴ (عامل مرکزی)؛ چون در آن نقش کنترل‌کننده مستقیم به هستهٔ فرایند پیوند داده می‌شود
در این حالت، یک عامل کنترل‌کننده (نظیر سیاست‌گذاری کلان یا محدودیت‌های قانونی) به صورت واسطه در تأثیرگذاری عوامل کافی اضافه می‌شود و نقش تعدیل‌کنندگی ایفا می‌کند.					
					
سناریو ۶: حلقه بازخوردی (Feed back) Loop (Scenario	مناسب برای پروژه‌هایی با فرایند مستمر تصمیم‌سازی (مانند طرح‌های جامع و راهبردی بلندمدت)	داده‌های زمانی پیوسته، کمیت بالا، کیفیت نیازمند پایداری مشارکت	روایی بالا، پایایی مشروط به تداوم مشارکت داده‌دهندگان	قوت: امکان اصلاح مستمر تصمیمات؛ ضعف: نیاز به منابع پایدار برای داده	سناریو ۱۹ (چرخهٔ بسته)؛ زیرا حلقهٔ بازخوردی را به صورت بسته و مداوم تثبیت می‌کند
در این سناریو، «بازخوردپذیری» به جای نقش صرفاً کافی، تبدیل به عاملی می‌شود که پس از تحقق اجماع دوباره ورودی اجماع را تعدیل می‌کند و فرایند را پویا می‌سازد. نقش بازخورد و اصلاح تصمیمات برجسته است.					
					
سناریو ۷: عامل مرکزی چندوجهی (Multi-Faceted Central (Factor	مناسب برای مأموریت‌هایی که نیاز به هماهنگی بین سیاست‌گذاران، نخبگان و شهروندان دارند	داده‌های ترکیبی از نظرات رسمی، کارشناسی و مردمی؛ کمیت متوسط به زیاد، کیفیت وابسته به هماهنگی منابع	روایی بالا به دلیل تمرکز بر عامل مرکزی، پایایی وابسته به قدرت و ثبات آن عامل مرکزی	قوت: تمرکز و انسجام تصمیم‌سازی؛ ضعف: ریسک وابستگی بیش از حد به یک عامل	سناریو ۲ (تأکید بر عوامل نظری)؛ چون تمرکز روی نظریه‌پردازی چندوجهی را تقویت می‌کند
در این سناریو، «سازگاری بین‌رشته‌ای» به جای یک عامل کافی ساده، به مرکزیت شبکه ارتقا یافته و تمامی عوامل لازم و کافی حول آن تنظیم شده‌اند. تحقق اجماع در گرو عبور از این هسته میان‌رشته‌ای است.					
					
سناریو ۸: سلسله‌مراتبی (Hierarchical) Condition (Scenario	مناسب برای برنامه‌هایی که تقدم برخی سیاست‌ها بر سایرین مهم است (مثل طرح‌های مرحله‌ای توسعهٔ شهری)	داده‌های سلسله‌مراتبی، کمیت متوسط، کیفیت نیازمند وضوح اولویت‌بندی	روایی بالا در صورت تعریف شفاف تقدم‌ها، پایایی خوب با ساختار کنترل‌شده	قوت: شفافیت تقدم عوامل؛ ضعف: امکان ایستا شدن فرایند	سناریو ۱۸ (لایه‌ای تدریجی)؛ زیرا ترتیب‌بندی فرایند را تقویت می‌کند
در این ساختار، عوامل به صورت زنجیره‌ای و دارای اولویت قرار گرفته‌اند. هر عامل لازم پیش‌شرط ظهور عامل بعدی است. عوامل کافی همچون شاخه‌های جانبی بهبود کارایی را دنبال می‌کنند.					
					

سناریو	کاربرد در شهرسازی راهبردی	داده‌های ورودی	شرایط روایی و پایایی	قوت‌ها و ضعف‌ها	سناریوی تکمیل کننده
سناریو ۹: تقابل عوامل متضاد (Contradictory Factors Scenario)	مناسب برای مأموریت‌هایی با تضاد منافع بین نخبگان (مثلاً کاربری‌های متضاد شهری)	داده‌های کیفی متضاد، کمیت متوسط، کیفیت وابسته به پوشش کامل دیدگاه‌ها	روایی خوب با پوشش تضادها، پایایی چالش‌برانگیز در مدیریت تعارض	قوت: انعکاس تعارض‌های واقعی؛ ضعف: پیچیدگی در همگرایی نهایی	سناریو ۱۳ (زنجیره شرطی)؛ چون امکان مدیریت تعارض‌ها در مسیر زنجیره‌ای را فراهم می‌کند
در این سناریو، برخی عوامل مثل تمرکززدایی و انعطاف‌پذیری نظری ممکن است در تضاد عملکردی قرار گیرند. این تقابل برای ایجاد حالت‌های «تنش‌زا» در مدل تصمیم‌گیری طراحی شده و نیازمند ایجاد توازن است.					
					
سناریو ۱۰: چندسطحی چندلایه (Multi-Layered Scenario)	مناسب برای مأموریت‌های فراشهری یا منطقه‌ای که نیازمند همکاری چند سطح مدیریتی است	داده‌های چندسطحی (محلی، منطقه‌ای، ملی)، کمیت بالا، کیفیت نیازمند هماهنگی لایه‌ها	روایی قوی به دلیل پوشش چندسطحی، پایایی نیازمند مدیریت پیچیدگی داده‌ها	قوت: انعطاف در مدیریت چند سطح؛ ضعف: هزینهٔ بالای هماهنگی داده‌ها	سناریو ۱ (حالت پایه)؛ زیرا با افزودن چندلایگی، ساختار پایه تقویت می‌شود
در این سناریو، عوامل در سه لایه مستقل ولی مرتبط تنظیم شده‌اند: الگوریتمی (سخت‌افزاری و داده‌محور)، نظری (دانشی)، و فرایندی (نهادی ـ اجتماعی). اجماع منوط به تعامل موفق این سه لایه است.					
					
سناریو ۱۱: حلقهٔ بازخوردی دوگانه (Double) Feedback Loops (Scenario)	مناسب برای مأموریت‌هایی با فرایندهای دارای نظارت و بازنگری دوطرفه (مثلاً طرح‌های مشارکتی شهروندی)	داده‌های مکرر و به‌روز از ذی‌نفعان مختلف، کمیت بالا، کیفیت وابسته به استمرار تعامل	روایی بالا، پایایی بستگی به پایداری چرخهٔ بازخورد	قوت: شفافیت و بازنگری مستمر؛ ضعف: احتمال بروز فرسایش داده‌ای	سناریو ۳ (پویایی و بازخورد)؛ چون بازخوردپذیری را به یک سطح بالاتر توسعه می‌دهد
در این سناریو، بازخورد نه‌تنها پس از تحقق اجماع اعمال می‌شود، بلکه چرخه‌ای دوگانه با انعطاف‌پذیری نظری و پویایی مشارکت‌کنندگان ایجاد می‌کند. این ساختار بر پویایی مستمر فرایند اجماع تأکید دارد.					
					

سناریو	کاربرد در شهرسازی راهبردی	داده‌های ورودی	شرایط روایی و پایایی	قوت‌ها و ضعف‌ها	سناریوی تکمیل‌کننده
سناریو ۱۲: گسسته مستقل Discrete) Independent (Blocks	مناسب برای مأموریت‌های دارای بلوک‌های تصمیم‌سازی مستقل (مثل پروژه‌های چندکارکردی در شهر)	داده‌های مجزا برای هر بلوک، کمیت متوسط، کیفیت وابسته به صحت هر بلوک	روایی بالا در بلوک‌ها، اما وابستگی زیاد به هماهنگی بین بلوک‌ها برای پایایی	قوت: امکان استقلال تصمیم‌گیری؛ ضعف: دشواری در تجمیع نهایی داده‌ها	سناریو ۲۰ (خوشه‌ای مرکز گسسته)؛ چون هر خوشه داده مستقلی دارد و مناسب برای تکمیل بلوک‌های مستقل است
هر دسته از عوامل به صورت مستقل در قالب سه بلوک گسسته طراحی شده‌اند که خروجی کلی آن‌ها بر اجماع اثر می‌گذارد. درون بلوک‌ها روابط محکم است، ولی ارتباط بین بلوک‌ها فقط در مرحلهٔ خروجی برقرار می‌شود.					
					
سناریو ۱۳: زنجیرهٔ شرطی Conditional) Chain (Scenario	مناسب برای مأموریت‌های دارای مرحله‌بندی حساس (مثلاً طرح جامع که تحقق یک مرحله شرط ورود به بعدی است)	داده‌های شرطی‌شده به تحقق هر مرحله، کمیت وابسته به موفقیت قبلی، کیفیت وابسته به اعتبار مراحل	روایی قوی در صورت رعایت توالی؛ پایایی وابسته به کنترل تحقق هر مرحله	قوت: وضوح در روند تصمیم‌گیری؛ ضعف: احتمال قفل شدن فرایند در یک مرحله	سناریو ۸ (سلسله‌مراتبی)؛ زیرا تقدم و ترتیب مراحل را تقویت می‌کند
تحقق هر عامل، شرط تحقق عامل بعدی است. عدم تحقق یکی از عوامل، فرایند را متوقف می‌کند. بعد از تحقق اجماع، انعطاف‌پذیری نظری برای تنظیم تصمیم نهایی اعمال می‌شود.					
					
سناریو ۱۴: عامل کنترل‌کننده مرکزی Central) Controller (Scenario	مناسب برای مأموریت‌هایی که قوانین یا مقررات کلان نقش اصلی دارند (مانند طرح‌های مشورتی شورای شهر)	داده‌های ساختاریافته قانونی، کمیت متوسط، کیفیت بالا در صورت ثبات قوانین	روایی بالا به دلیل وجود چهارچوب قانونی مشخص، پایایی وابسته به پایداری کنترل‌کننده	قوت: وضوح چهارچوب؛ ضعف: انعطاف‌پذیری کم در مواجهه با تغییرات	سناریو ۵ (عامل کنترل‌کننده)؛ چون هر دو به حضور کنترل مرکزی تأکید دارند
در این سناریو، یک عامل کلیدی (مثلاً سیاست‌گذاری کلان یا نظام حقوقی) به عنوان واسطهٔ کلیهٔ عوامل عمل می‌کند و کنترل و تسهیل کنندهٔ اجماع است. نقش عوامل دیگر وابسته به حضور این عامل مرکزی است.					
					

سناریو	کاربرد در شهرسازی راهبردی	داده‌های ورودی	شرایط روایی و پایایی	قوت‌ها و ضعف‌ها	سناریوی تکمیل کننده
سناریو ۱۵: پویایی فازی Fuzzy) Dynamic (Scenario	مناسب برای مأموریت‌هایی با داده‌های مبهم و وزن‌دهی متغیر نظرات (مانند تصمیم‌سازی در مناطق با تعارض منافع)	داده‌های فازی و وزنی، کمیت بالا، کیفیت نیازمند صحت برآورد وزن‌ها	روایی خوب برای محیط‌های غیرقطعی؛ پایایی وابسته به دقت تعیین وزن	قوت: انعطاف بالا؛ ضعف: پیچیدگی تحلیلی و دشواری اجماع نهایی	سناریو ۹ (تقابل عوامل متضاد)؛ زیرا هر دو بر مدیریت داده‌های متضاد و غیرقطعی تأکید دارند
در این ساختار، تحقق اجماع با تحقق موارد لازم، قطعی است، ولی به صورت فازی و بر اساس وزن‌دهی به‌شدت حضور هر عامل کافی، حد نهایی همگرایی تعیین می‌شود. وزن عوامل کافی قابل تنظیم هستند و پویایی سیستم بسته به اهمیت عوامل کافی تغییر می‌کند.					
					
سناریو ۱۶: مدل ستاره‌ای Star) Topology (Scenario	مناسب برای مأموریت‌هایی که تمامی ذی‌نفعان وزن مساوی در تصمیم‌گیری دارند (مانند طرح‌های عدالت‌محور شهری)	داده‌های مستقل از هر نهاد/ ذی‌نفع، کمیت بالا، کیفیت وابسته به دقت جمع‌آوری متوازن	روایی بالا به دلیل مساوات، پایایی وابسته به تداوم تعامل همهٔ ذی‌نفعان	قوت: توزیع متعادل نقش نخبگان؛ ضعف: عدم اولویت‌بندی موضوعات خاص	سناریو ۲۰ (خوشه‌ای مرکز گسسته)؛ زیرا مدل مرکز گسسته نیز از استقلال ورودی‌ها بهره می‌برد
در این سناریو، تمام عوامل به طور مستقل و مساوی به مرکز متصل‌اند و هیچ ترتیبی یا تقدم و تأخری ندارند. تحقق اجماع منوط به تعامل متوازن همهٔ عوامل است. این مدل فاقد روابط زنجیره‌ای یا سلسله‌مراتبی است.					
					
سناریو ۱۷: پل Bridge) (Scenario	مناسب برای مأموریت‌هایی که نیاز به ایجاد تعامل میان دو گروه متضاد نخبگان دارند (مثلاً توسعه و محیط زیست)	داده‌های متضاد اما قابل پل زدن، کمیت متوسط، کیفیت وابسته به پوشش دیدگاه‌های دوگانه	روایی بالا در محیط‌های دوقطبی؛ پایایی بستگی به حفظ تعادل میان پل‌ها	قوت: تسهیل تعامل میان گروه‌های متضاد؛ ضعف: خطر گسست پل	سناریو ۹ (تقابل عوامل متضاد)؛ زیرا هر دو بر مدیریت شکاف‌های نظری و منافع تمرکز دارند
ایدهٔ اصلی این سناریو، ایجاد دو مسیر متقابل است که از دو سوی مختلف به تحقق اجماع ختم می‌شوند. در واقع، عوامل نظری و فنی به مثابه دو پل هستند که دسترسی به اجماع را تسهیل می‌کنند.					
					

سناریو	کاربرد در شهرسازی راهبردی	داده‌های ورودی	شرایط روایی و پایایی	قوت‌ها و ضعف‌ها	سناریوی تکمیل‌کننده
سناریو ۱۸: لایه‌ای تدریجی (Gradual Layered (Scenario	مناسب برای مأموریت‌های مرحله‌ای با اهمیت تدریجی هر فاز (مانند توسعهٔ گام‌به‌گام مناطق شهری)	داده‌های هر لایه جداگانه، کمیت بالا، کیفیت نیازمند دقت در فازبندی	روایی بالا به دلیل تقدم واضح، پایایی خوب با کنترل هر لایه	قوت: نظم فرایندی و شفافیت؛ ضعف: امکان توقف پیشرفت با شکست هر لایه	سناریو ۸ (سلسله‌مراتبی)؛ چون ساختار تقدم و تأخر مشابهی دارند
در این مدل، اجماع از طریق عبور از سه لایه متوالی حاصل می‌شود، که هر لایه بر پایهٔ نتایج لایه قبلی عمل می‌کند. تقدم لایه‌ها بر اهمیت تدریجی عوامل تأکید دارد.					
				
سناریو ۱۹: چرخهٔ بسته (Closed Cycle) (Scenario	مناسب برای مأموریت‌هایی با نیاز به بازنگری پیوسته در تصمیمات شهری (مثل پایش کیفیت زندگی)	داده‌های دوره‌ای بازخوردی، کمیت بالا، کیفیت وابسته به استمرار جریان داده	روایی و پایایی بالا در صورت استمرار داده‌ها	قوت: تطبیق‌پذیری و بازنگری مستمر؛ ضعف: نیاز به منابع پایدار داده	سناریو ۶ (حلقهٔ بازخوردی)؛ زیرا هر دو بر پیوستگی فرایند تأکید دارند
اجماع به صورت یک چرخهٔ بسته تعریف شده که هر عامل پس از تحقق اجماع، دوباره فعال می‌شود. این مدل برای محیط‌هایی با پویایی دائمی و فرایند بازخوردی مستمر مناسب است.					
				
سناریو ۲۰: خوشه‌ای مرکز گسسته (Clustered Discrete Center (Scenario	مناسب برای مأموریت‌های شهرسازی چندمحوری (مثلاً پروژه‌های مشارکت چندجانبه نهادهای مستقل)	داده‌های جداگانه برای هر خوشه، کمیت زیاد، کیفیت وابسته به صحت خوشه‌ها	روایی بالا در سطوح خرد، پایایی چالش‌برانگیز در تجمیع کل	قوت: استقلال نهادها؛ ضعف: دشواری در هماهنگی نهایی	سناریو ۱۲ (گسسته مستقل)؛ زیرا ساختار مستقل مشابهی برای داده‌ها ارائه می‌دهد
در این مدل، عوامل در خوشه‌هایی مستقل گروه‌بندی شده و مرکز تصمیم‌سازی، ورودی هر خوشه را به صورت مستقل دریافت می‌کند. این مدل مناسب تحلیل ساختارهای شبکه‌ای چندبعدی است.					

نتایج

با جمع‌بندی کل فرایندهای قبلی می‌توان گفت که معادلهٔ تقلیلی بر پایهٔ سه اصل زیر ایجاد شده است:

۱. وزن‌دهی به عوامل کلیدی (بر اساس تأثیر آن‌ها بر اجماع)

۲. استفاده از قانون دمورگان و تحلیل بولی (برای تقلیل ترکیب‌های زائد)

۳. حذف مؤلفه‌های وابسته و کم‌اثر (به منظور کاهش پیچیدگی مدل)

که با پیاده‌سازی رابطه‌های لازم (N) و کافی (S)، به عنوان مثال، یک معادلهٔ تقلیلی اولیه، خواهیم داشت:

$$E_c = (N1 \wedge N2) \vee (S1 \wedge S2)$$ معادلهٔ ۱. معادلهٔ تقلیلی اولیه

که بیان می‌کند اجماع در صورت حضور هم‌زمان برخی عوامل لازم یا برخی عوامل کافی حاصل می‌شود، و تفاوت در میزان و کمیت حضور این عوامل خواهد بود. معادلهٔ تقلیلی نقطهٔ شروع تحلیل است، اما فاقد انعطاف و تطبیق‌پذیری با شرایط واقعی برای کاربردهای عملی در مسائل شهری است. در حالی که، در روش تحقیق این پژوهش، «معادلهٔ تقلیلی» به عنوان یک فرمول ساده‌شده که شامل حداقل عوامل کلیدی برای دستیابی به یک فرایند اجماع‌سازی است، ارائه شده و سپس معادلهٔ تطبیقی بر اساس آن توسعه خواهد یافت. این فرایند شامل تحلیل ساختاری عوامل کلیدی، شناسایی اثرات محیطی و تنظیم نهایی معادله برای کاربرد عملی است، زیرا شناسایی محدودیت‌های معادلهٔ تقلیلی، به آشکارسازی موارد زیر منجر شده است:

- عدم انعکاس شرایط محیطی: معادلهٔ تقلیلی فقط بر مبنای داده‌های درونی طراحی شده و اثر عوامل کلیدی مرتبط با بسترهای قانونی، اقتصادی، اجتماعی و زیرساختی را در نظر نمی‌گیرد.
- عدم انعطاف‌پذیری در موقعیت‌های خاص: در مطالعات تطبیقی، متغیرهایی مانند الزام اولیه و تعدیل‌کننده‌های محیطی نقشی کلیدی و تأثیر قابل

توجهی بر فرایند اجماع دارند که در معادلهٔ تقلیلی لحاظ نشده‌اند.

- نبود سازوکارهای تنظیمی برای تغییرات: معادلهٔ تقلیلی بر پایهٔ شرایط ایستا طراحی شده و فاقد پارامترهای تنظیمی برای تغییر شرایط محیطی و متغیرهای تطبیقی، به منظور سازگاری با تغییرات زمانی در فرایند تصمیم‌گیری است.

با جمع‌بندی کل فرایندهای قبلی می‌توان گفت که معادلهٔ تطبیقی بر پایهٔ سه اصل زیر ایجاد می‌شود:

- ساده‌سازی اجزای مؤثر در فرایند اجماع با استفاده از حداقل متغیرهای مستقل و مؤثر.
- استفاده از جبر بولی برای کاهش پیچیدگی و حذف مؤلفه‌های غیرضروری.
- انعطاف‌پذیری در برابر تغییرات محیطی و عدم در نظر گرفتن اثرات پویای محیط بر فرایند اجماع.

برای حل محدودیت‌های معادلهٔ تقلیلی با اصول یادشده، نیاز به افزودن متغیرهای جدید و معرفی مکانیزم‌های تنظیمی وجود دارد که به توسعهٔ معادلهٔ تطبیقی منجر می‌شود. معادلهٔ تطبیقی با معرفی λ و μ، وزن‌دهی به متغیرها و تنظیم پویایی مدل، امکان تحلیل جامع و دقیق فرایند اجماع نخبگان شهری را فراهم می‌کند. این فرایند باعث می‌شود که الگوریتم‌های اجماع‌سازی مبتنی بر بلاک‌چین برای موضوعات پیچیدهٔ شهری قابل اجرا و مؤثر باشند. نتیجه آنکه، برای تبدیل معادلهٔ تقلیلی به معادلهٔ تطبیقی، باید دو پارامتر اصلی را اضافه کرد:

۱. *اضافه کردن ضریب الزام اولیه (Initial Requirement Coefficient) برای بهبود معادلهٔ تقلیلی*

ضریب الزام اولیه (λ) به عنوان یک مؤلفهٔ کلیدی در معادلهٔ تطبیقی معرفی شده است که میزان موانع ساختاری و الزامات اولیه برای آغاز فرایند اجماع را نمایش می‌دهد. این ضریب می‌تواند بر اساس موانع قانونی، زیرساختی، سازمانی و دانشی تعیین شود. از دیدگاه عملی، ضریب الزام اولیه، نشان‌دهندهٔ حداقل شرایط ضروری برای آغاز فرایند اجماع‌سازی نخبگان شهری در شهرسازی راهبردی است. این ضریب مشخص می‌کند که برای شروع یک اجماع مؤثر، چه معیارهایی باید از پیش برقرار باشند و چگونه کمبود آن‌ها می‌تواند مانع شکل‌گیری اجماع شود. از دیدگاه منطقی، ضریب λ به عنوان مقدار پایه‌ای برای تقسیم عوامل لازم در معادلهٔ تطبیقی عمل می‌کند. این مقدار نشان می‌دهد آیا پیش‌نیازهای اصلی برای آغاز یک فرایند اجماع فراهم است یا خیر و میزان سخت‌گیری در ورود به فرایند اجماع را تنظیم می‌کند.

در دیدگاه اجماع‌سازی، این ضریب نشان می‌دهد حداقل شرایط برای آغاز فرایند اجماع برقرار است یا نه. همچنین، این مقدار تعیین می‌کند که موانع ساختاری چقدر می‌توانند فرایند اجماع را محدود کنند. معرفی ضریب λ به معادله باعث می‌شود میزان سختی فرایند اجماع به‌درستی مدل‌سازی شود و قابلیت کاربردی آن افزایش یابد. با جمع‌بندی این دیدگاه‌ها خواهیم داشت:

معادله ۲: معادله ضریب الزام اولیه (λ)

$$E_C^{(1)} = \frac{\sum N_i}{\lambda}$$

تفسیر این معادله این است که[۱۱]:

- اگر مقدار λ زیاد باشد، یعنی شروع فرایند اجماع سخت‌تر است (به دلیل موانع قانونی، سازمانی و دانشی)، و فرایند اجماع پیچیده‌تر خواهد بود.
- اگر مقدار λ پایین باشد، آغاز فرایند اجماع آسان‌تر و سریع‌تر خواهد بود، و نخبگان می‌توانند به‌سرعت به توافق برسند.

انواع الزام‌های اولیه و تأثیر آن‌ها در فرمول اجماع را می‌توان به موارد زیر دسته‌بندی کرد:

الف- الزامات حقوقی و سازمانی (Regulatory & Institutional Preconditions) با معیارهای اساسی:

- وجود چهارچوب‌های قانونی که امکان تعامل بین نخبگان را تسهیل کند.
- تعیین یک ساختار سازمانی رسمی برای فرایند اجماع‌سازی.
- تعیین ضوابط نظارتی برای جلوگیری از سوگیری‌های تصمیم‌گیری.
- حمایت قانونی از فرایند اجماع و اعتباربخشی به نتایج آن.

اثرات روی λ:

- اگر این الزامات قوی باشند: مقدار λ کاهش می‌یابد (زیرا اجماع با سهولت بیشتری آغاز می‌شود).
- اگر این الزامات ضعیف باشند: مقدار λ افزایش می‌یابد (زیرا شروع فرایند اجماع دشوارتر خواهد شد).

ب- الزامات دانشی و تخصصی (Knowledge & Expertise Preconditions) با معیارهای اساسی:

- وجود بدنهٔ تخصصی قوی که بتواند فرایند اجماع را هدایت کند.
- سطح دسترسی نخبگان به اطلاعات شفاف و قابل استناد.
- تنوع رشته‌ای بین مشارکت‌کنندگان برای جلوگیری از جهت‌گیری تک‌بعدی.
- استفاده از مدل‌های تحلیلی برای پردازش داده‌های تصمیم‌گیری.

اثرات روی λ:

- اگر داده‌ها و دانش کافی در اختیار باشد: مقدار λ کاهش می‌یابد (فرایند اجماع، سریع‌تر و معتبرتر آغاز می‌شود).
- اگر کمبود دانش تخصصی وجود داشته باشد: مقدار λ افزایش می‌یابد (نیاز اصلاح ساختار دانشی پیش از آغاز اجماع).

ج- الزامات زیرساختی و فنی (Technological & Infrastructural Preconditions) با معیارهای اساسی:

- وجود ابزارهای فناورانه برای تسهیل اجماع (مانند چهارچوب‌های تصمیم‌گیری دیجیتال و تحلیل داده).
- سیستم‌های اطلاعاتی شفاف برای انتشار داده‌های مورد نیاز.
- امنیت سایبری مناسب برای جلوگیری از مداخلات و تغییرات غیرمجاز در داده‌های اجماع.
- بسترهای دیجیتالی برای رأی‌گیری، پردازش و تحلیل داده‌ها.

اثرات روی λ:

- اگر این زیرساخت‌ها فراهم باشند: مقدار λ کاهش می‌یابد (مشارکت در اجماع برای همهٔ نخبگان آسان‌تر خواهد بود).
- اگر این زیرساخت‌ها ضعیف باشند: مقدار λ افزایش می‌یابد (زیرا باید ابتدا زیرساخت‌های مناسب توسعه یابد).

د- الزامات مشارکتی و فرهنگی (Participatory & Cultural Preconditions) با معیارهای اساسی:

- سطح پذیرش نخبگان از فرایندهای تصمیم‌گیری جمعی.
- میزان تمایل گروه‌های مختلف به همکاری و تعامل.
- نبود موانع فرهنگی برای پذیرش دیدگاه‌های متفاوت.
- امکان مشارکت فعال نخبگان بدون ترس از تبعات سیاسی یا اجتماعی.

اثرات روی λ:

- اگر جامعهٔ شهری به مشارکت نخبگان ارزش بدهد: مقدار λ کاهش می‌یابد (نخبگان بدون مانع وارد فرایند می‌شوند).
- اگر جامعه تمایلی به مشارکت نخبگان نداشته باشد: مقدار λ افزایش می‌یابد (تغییر نگرش‌های فرهنگی قبل از اجماع).

روش شناسایی و کمی‌سازی ضریب الزام اولیه (λ)، تبدیل این معیارها به مقدار کمّی است. یعنی، باید شاخص‌های عددی برای هر یک از آن‌ها تعریف و سپس مقدار نهایی λ بر اساس آن‌ها محاسبه شود. برای این‌منظور، الزام‌های اولیه به صورت زیر دسته‌بندی می‌شود؛ روبه روی هر الزام، شاخص‌های سنجش آن‌ها، بیان شده که به صورت درصد است. دامنهٔ عددی این الزامات، بین ۰ تا ۱، نرمال‌سازی شده است (معادلهٔ ۳). استفاده از این روش باعث می‌شود که مقادیر λ در مقایسه با سایر متغیرهای مدل (مانند تعدیل‌کننده‌های محیطی) هم‌مقیاس شوند و بتوان آن‌ها را در معادلات و الگوریتم‌های اجماع‌سازی به صورت یکپارچه به کار گرفت.

دستهٔ حقوقی و سازمانی: شاخص درصد وجود قوانین حمایت‌کننده (X_1) منجر به ایجاد شدن (λ_1)
دستهٔ دانشی و تخصصی: شاخص درصد سطح دسترسی به داده‌های شفاف (X_2) منجر به ایجاد شدن (λ_2)
دستهٔ زیرساختی و فنی: شاخص درصد سطح دیجیتالی شدن فرایند اجماع (X_3) منجر به ایجاد شدن (λ_3)
دستهٔ مشارکتی و فرهنگی: شاخص درصد مشارکت نخبگان در تصمیم‌گیری‌های پیشین (X_4) منجر به ایجاد شدن (λ_4)

$$\lambda_i = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

معادلهٔ ۳. نرمال‌سازی حداقل ـ حداکثر برای استانداردسازی مقادیر شاخص‌های ضریب الزام اولیه (λ)

که در آن:
- λ_i مقدار نرمال‌شدهٔ شاخص i (در اینجا مقدار استانداردشده λ پس از نرمال‌سازی).
- X_i مقدار اصلی شاخص i قبل از استانداردسازی (در اینجا مقدار اولیه هر یک از شاخص‌های λ، که از داده‌های خام به دست آمده است).
- Xmin: کمترین مقدار مشاهده‌شده برای شاخص مورد نظر در مجموعه داده‌ها (حداقل مقدار λ، در بین تمام سناریوها)
- Xmax: بیشترین مقدار مشاهده‌شده برای شاخص مورد نظر در مجموعه داده‌ها (حداکثر مقدار λ، در تمام سناریوها)

بعد از به دست آمدن مقدار نرمال‌شده برای همهٔ شاخص‌ها، نوبت وزن‌دهی به هر شاخص است. اگر چه می‌توان از روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و آنتروپی شانون (Entropy Weighting) نیز استفاده کرد، ولی این پژوهش از روش امتیازدهی متمرکز (Rank Order Centroid (ROC)) توسط نخبگان استفاده کرده است. این روش وزن‌ها را بر اساس رتبه‌دهی مستقیم توسط نخبگان شهری محاسبه می‌کند. این روش ساده، ولی مؤثر است و به‌خصوص در شرایطی که اطلاعات کافی برای مقایسات زوجی که در روش‌های دیگر مورد نیاز است، موجود نباشد، استفاده می‌شود. ابتدا شاخص‌های موردِ نظر بر اساس اهمیت نسبی‌شان رتبه‌بندی می‌شوند. این رتبه‌بندی معمولاً از طریق نظر کارشناسان، نخبگان شهری یا متخصصان برنامه‌ریزی شهری انجام می‌شود. به عنوان مثال خواهیم داشت:

۱. مشارکت اجتماعی شهروندان (رتبهٔ i: ۱) منجر به ایجاد شدن (w_1) و مرتبط با (λ_1)
۲. پایداری زیست‌محیطی (رتبهٔ i: ۲) منجر به ایجاد شدن (w_2) و مرتبط با (λ_2)
۳. عدالت فضایی در خدمات شهری (رتبهٔ i: ۳) منجر به ایجاد شدن (w_3) و مرتبط با (λ_3)
۴. توسعهٔ زیرساخت‌های حمل‌ونقل (رتبهٔ i: ۴) منجر به ایجاد شدن (w_4) و مرتبط با (λ_4)

اکنون وزن هر شاخص را با استفاده از فرمول امتیازدهی متمرکز، محاسبه می‌کنیم.

$$W_i = \frac{1}{n}\sum_{j=i}^{n}\frac{1}{j}$$

$$w_1 = \frac{1}{4}\left(\frac{1}{1}+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\frac{1}{4}\right) = \frac{1}{4}\times(1+0.5+0.333+0.25) = 0.521$$
$$w_2 = \frac{1}{4}\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\frac{1}{4}\right) = \frac{1}{4}(0.5+0.333+0.25) = 0.271$$
$$w_3 = \frac{1}{4}\left(\frac{1}{3}+\frac{1}{4}\right) = \frac{1}{4}(0.333+0.25) = 0.146$$
$$w_4 = \frac{1}{4}\left(\frac{1}{4}\right) = \frac{1}{4}(0.25) = 0.063$$

معادلهٔ ۴. فرمول محاسبهٔ وزن هر شاخص در روش امتیازدهی متمرکز برای شاخص‌های ضریب الزام اولیه (λ)

که در آن:
w_i: وزن مربوط به شاخصی که در رتبهٔ i قرار دارد.
n: تعداد کل شاخص‌ها. این مقدار نشان‌دهندهٔ تعداد کل شاخص‌های مورد بررسی در فرایند تصمیم‌گیری است. به عنوان مثال، اگر ۴ شاخص داشته باشیم، مقدار n=4 خواهد بود.
i: رتبهٔ شاخص مورد نظر است. هر شاخص بر اساس اهمیت نسبی که توسط تصمیم‌گیرندگان تعیین شده است، رتبه‌بندی می‌شود.
- شاخصی که بیشترین اهمیت را دارد، رتبهٔ ۱ دریافت می‌کند.
- شاخصی که کمترین اهمیت را دارد، رتبهٔ n دریافت می‌کند.

j: مجموع رتبه‌های بعد از شاخص مورد نظر. برای هر شاخص در رتبهٔ i، مقدار وزن آن از میانگین مقادیر عکس رتبه‌های بعدی (j) محاسبه می‌شود.
$\frac{1}{j}$: مقدار عکس رتبه‌ها: این مقدار به عنوان ضریب وزنی برای هر شاخص در فرمول میانگین استفاده می‌شود. مقدار آن نشان‌دهندهٔ این است که رتبه‌های بالاتر تأثیر بیشتری بر وزن شاخص دارند. با محاسبهٔ مجموع مقادیر عکس رتبه‌ها از i تا n و تقسیم آن بر تعداد کل شاخص‌ها (n)، وزن نسبی هر شاخص محاسبه می‌شود.
Σ: نماد جمع‌پذیری که نشان‌دهندهٔ مجموع مقادیر جزئی است.

تفسیر نتایج وزن‌های امتیاز دهی متمرکز، برای این مثال به صورت زیر است:
- شاخص «مشارکت اجتماعی شهروندان» بیشترین وزن (۰/۵۲۱) را دارد، یعنی در فرایند اجماع‌سازی تأثیر زیادی دارد.
- شاخص «پایداری زیست‌محیطی» وزن ۰/۲۷۱، دارد که نشان‌دهندهٔ اهمیت زیاد آن، ولی کمتر از مشارکت اجتماعی است.
- شاخص «زیرساخت‌های حمل‌ونقل» کمترین وزن ۰/۰۶۳ را دارد، یعنی در مقایسه با سایر شاخص‌ها تأثیر کمتری بر فرایند اجماع نخبگان شهری دارد.

مقدار نهایی λ میانگین وزنی از تمامی شاخص‌های استانداردشده، به فرمول ۵ خواهد بود؛ که در آن، w_i، وزن هر شاخص بر اساس اهمیت آن در فرایند اجماع است:

$$\lambda = \sum_{i=1}^{N=4}(W_i \times \lambda_i) = (w_1 \times \lambda_1) + (w_2 \times \lambda_2) + (w_3 \times \lambda_3) + (w_4 \times \lambda_4)$$

معادلهٔ ۵. فرمول محاسبهٔ مقدار نهایی λ

بازه کمّی برای مقدار λ عددی صحیح بین صفر و یک (0<λ<1)، خواهد بود. در نتیجه، اگر لاندا به سمت صفر میل کند (λ≈0)، الزامات اولیه کاملاً برقرار است و فرایند اجماع به‌راحتی آغاز می‌شود. همچنین، اگر لاندا به سمت یک میل کند (λ≈1)، الزامات اولیه تقریباً وجود ندارد و فرایند اجماع عملاً غیرممکن است. همچنین اگر مقدار لاندا پایین باشد (λ<0.3)، محیط برای اجماع بسیار مساعد است و حتی در صورت وجود موانع جزئی در عوامل کافی، اجماع پایدار ایجاد خواهد شد[۱۲]. اگر مقدار لاندا، متوسط باشد (0.3< λ <0.7)، برخی از الزامات اولیه ضعیف یا ناپایدار هستند و ممکن است فرایند اجماع با چالش‌هایی روبه‌رو شود[۱۳]. اگر مقدار لاندا بالا باشد (λ>0.7)، الزامات اولیه

بسیار ضعیف هستند و حتی با وجود عوامل کافی، اجماع مؤثر نخواهد بود[۱۴].

۲. *اضافه کردن ضریب تعدیل‌کننده‌های محیطی (Environmental Adjustment Factor)برای انعکاس اثرات زمینه‌ای در معادلهٔ تقلیلی*

تعدیل‌کننده‌های محیطی (μ) عواملی هستند که بسترهای قانونی، نهادی، اقتصادی و اجتماعی را شامل می‌شوند و بر میزان تحقق اجماع نخبگان شهری در فرایندهای تصمیم‌گیری تأثیر می‌گذارند. این تعدیل‌کننده‌ها می‌توانند مانع یا تسهیل‌کننده فرایند اجماع باشند. در این معادله، مقدار μ به عنوان ضریب تأثیرگذاری محیطی در نظر گرفته شده که وزن نهایی عوامل کافی را تعیین می‌کند. این ضریب اثرات اقتصادی، فرهنگی، زیرساختی و اجتماعی را در فرایند اجماع نمایش می‌دهد. این ضریب نشان می‌دهد عوامل محیطی چگونه می‌توانند فرایند اجماع را تسهیل یا محدود کنند. افزودن ضریب μ به معادله باعث می‌شود مدل، تأثیر واقعی شرایط محیطی را در نظر بگیرد و تحلیل دقیق‌تری ارائه دهد.

$$E_C^{(1)} = \frac{\sum N_i}{\mu}$$

معادلهٔ ۶. معادلهٔ ضریب تعدیل‌کننده‌های محیطی (μ)

تفسیر این معادله این است که[۱۵]:

- اگر مقدار μ کم باشد، یعنی موانع اقتصادی و اجتماعی زیادی وجود دارد و حتی در صورت وجود عوامل لازم و کافی، اجماع ممکن است دشوار، ضعیف یا بی‌نتیجه باشد.
- اگر مقدار μ زیاد باشد، یعنی بسترهای حمایتی و فرهنگی مناسب برای اجماع وجود دارند و در فرایند توافق میان نخبگان، عوامل کافی تأثیر بیشتری خواهند داشت و فرایند اجماع روان‌تر و سریع‌تر خواهد بود.

انواع تعدیل‌کننده‌های محیطی و تأثیر آن‌ها در فرمول اجماع را می‌توان به موارد زیر دسته‌بندی کرد:

الف- قانونی و حکمرانی

- میزان شفافیت قوانین و مقررات شهری در حمایت از فرایندهای مشورتی و اجماع‌سازی
- وجود بسترهای حقوقی برای مشارکت نخبگان در تصمیم‌گیری
- انعطاف‌پذیری سیاست‌های شهری برای پذیرش تغییرات ناشی از اجماع
- کیفیت اجرای قوانین مربوط به شفافیت و پاسخ‌گویی در تصمیم‌گیری‌های شهری

ب- اقتصادی

- میزان سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های مرتبط با داده‌محوری و شفافیت تصمیم‌گیری
- پایداری مالی نهادهای شهری و امکان تأمین منابع مالی برای پروژه‌های مرتبط با شهرسازی راهبردی
- وابستگی اقتصادی شهر به نهادهای خاص که ممکن است فرایند اجماع را دچار جهت‌گیری کند
- حمایت‌های مالی از گروه‌های مشارکت‌کننده (مانند نخبگان دانشگاهی و سازمان‌های مردم‌نهاد)

ج- اجتماعی ـ فرهنگی

- میزان پذیرش عمومی برای اجرای فرایندهای مشارکتی در تصمیم‌گیری شهری
- سطح آگاهی نخبگان و عموم شهروندان نسبت به اهمیت اجماع و فرایندهای آن
- میزان همبستگی اجتماعی و فرهنگی میان گروه‌های تأثیرگذار در سیاست‌گذاری شهری
- وجود مکانیزم‌های اجتماعی برای تعامل و مشارکت نخبگان در فرایندهای شهرسازی

د- فنی و زیرساختی

- میزان دسترسی به فناوری‌های مرتبط با اجماع‌سازی داده‌محور مانند بلاک‌چین و سیستم‌های هوش مصنوعی
- سطح توسعهٔ زیرساخت‌های داده‌ای و بانک‌های اطلاعاتی شهری
- توانایی پردازش داده‌های شهری به صورت شفاف و در زمان واقعی
- امنیت سایبری و حفاظت از داده‌ها برای جلوگیری از تأثیرگذاری منفی بر فرایند اجماع

برای شناسایی و کمی‌سازی تعدیل‌کننده‌های محیطی μ برای استفاده در معادله، هر یک از ۴ دسته تعدیل‌کننده‌های محیطی باید به شاخص‌های قابل سنجش تقسیم شوند. این شاخص‌ها برای دسته‌بندی تعدیل‌کننده‌ها به صورت زیر خواهند بود. دامنهٔ عددی این تعدیل‌کننده‌ها، بین ۰ تا ۱، نرمال‌سازی‌شده است (معادلهٔ ۷).

دستهٔ قانونی و حکمرانی: شاخص درصد شفافیت قوانین و وجود برداشت‌های یکسان بر اساس داده‌های کافی و شفاف (X_1) منجر به ایجاد شدن (μ_1)

دسته اقتصادی: شاخص درصد تأمین مالی مشارکت نخبگان فرایندهای مشورتی در بودجهٔ شهری (X_2) منجر به ایجاد شدن (μ_2)

دستهٔ اجتماعی ـ فرهنگی: شاخص درصد مشارکت شهروندان در تصمیم‌گیری‌ها (X_3) منجر به ایجاد شدن (μ_3)

دستهٔ فنی و زیرساختی: شاخص درصد دیجیتالی شدن فرایندهای تصمیم‌گیری شهری (X_4) منجر به ایجاد شدن (μ_4)

$$\mu_i = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

معادلهٔ ۷. نرمال‌سازی حداقل-حداکثر برای استانداردسازی مقادیر شاخص‌های تعدیل‌کننده‌های محیطی (μ)

که در آن:

μ_i، مقدار نرمال‌شدهٔ شاخص i (در اینجا مقدار استانداردشدهٔ μ پس از نرمال‌سازی).

X_i مقدار اصلی شاخص i قبل از استانداردسازی (در اینجا مقدار اولیه هر یک از شاخص‌های μ، که از داده‌های خام به دست آمده است).

Xmin: کمترین مقدار مشاهده‌شده برای شاخص مورد نظر در مجموعه داده‌ها (حداقل مقدار μ، در بین تمام سناریوها)

Xmax: بیشترین مقدار مشاهده‌شده برای شاخص موردنظر در مجموعه داده‌ها (حداکثر مقدار μ، در تمام سناریوها)

بعد از به دست آمدن مقدار نرمال‌شده برای همهٔ شاخص‌ها، نوبت وزن‌دهی به هر شاخص است. مشابه فرایند طی‌شده برای λ، در این مورد هم از روش امتیازدهی متمرکز، استفاده می‌شود. ابتدا شاخص‌های مورد نظر بر اساس اهمیت نسبی‌شان رتبه‌بندی می‌شوند. این رتبه‌بندی معمولاً از طریق نظر کارشناسان، نخبگان شهری یا متخصصان برنامه‌ریزی شهری انجام می‌شود. به عنوان مثال، خواهیم داشت:

۱. نرخ اشتراک‌گذاری محتوای مرتبط با مسائل شهری در رسانه‌های اجتماعی (رتبهٔ j: ۱) منجر به ایجاد شدن (w_1) و مرتبط با (μ_1)

۲. سرانهٔ فضای سبز عمومی به ازای هر نفر (رتبهٔ j: ۲) منجر به ایجاد شدن (w_2) و مرتبط با (μ_2)

۳. ضریب توزیع عادلانه خدمات شهری در مناطق کم‌برخوردار (رتبهٔ j: ۳) منجر به ایجاد شدن (w_3) و مرتبط با (μ_3)

۴. نرخ سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در پروژه‌های توسعه شهری (رتبهٔ j: ۴) منجر به ایجاد شدن (w_4) و مرتبط با (μ_4)

اکنون وزن هر شاخص را با استفاده از فرمول امتیازدهی متمرکز، محاسبه می‌کنیم.

$$W_i = \frac{1}{n}\sum_{j=i}^{n}\frac{1}{j}$$

$$w_1 = \frac{1}{4}\left(\frac{1}{1}+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\frac{1}{4}\right) = \frac{1}{4}\times(1+0.5+0.333+0.25) = 0.521$$

$$w_2 = \frac{1}{4}\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{3}+\frac{1}{4}\right) = \frac{1}{4}(0.5+0.333+0.25) = 0.271$$

$$w_3 = \frac{1}{4}\left(\frac{1}{3}+\frac{1}{4}\right) = \frac{1}{4}(0.333+0.25) = 0.146$$

$$w_4 = \frac{1}{4}\left(\frac{1}{4}\right) = \frac{1}{4}(0.25) = 0.063$$

معادلهٔ ۸. فرمول محاسبهٔ وزن هر شاخص در روش امتیازدهی متمرکز برای شاخص‌های ضریب الزام اولیه (μ)

که در آن:

- W_i، وزن شاخص i، در مقدار نهایی μ
- n، تعداد کل شاخص‌های مورد بررسی در یک تعدیل‌کنندهٔ خاص.
- i، رتبه شاخص بر اساس اهمیت آن در فرایند اجماع.
- j، شاخص‌هایی که از رتبهٔ i، به بعد قرار دارند (جمع مقادیر عکس رتبه‌ها).

مقدار نهایی ضریب تعدیل‌کننده محیطی به صورت میانگین وزنی از تمامی شاخص‌های استانداردشده محاسبه می‌شود، که در آن W_i، وزن هر شاخص بر اساس اهمیت آن در تصمیم‌گیری شهری است (به‌عنوان‌مثال، در پروژه‌های داده‌محور، شاخص‌های فنی وزن بیشتری دارند). مقدار نهایی μ، به عنوان یک ضریب اثرگذاری روی میزان موفقیت اجماع محاسبه می‌شود و تفسیر آن به سیاست‌گذاران شهری کمک می‌کند تا اصلاحات لازم را برای بهبود شرایط اجماع انجام دهند.

$$\mu = \sum_{i=1}^{N=4}(W_i \times \mu_i) = (W_1 \times \mu_1) + (W_2 \times \mu_2) + (W_3 \times \mu_3) + (W_4 \times \mu_4)$$

معادلهٔ ۹. فرمول محاسبهٔ مقدار نهایی μ

بازه کمّی برای مقدار μ، عددی صحیح بین صفر و یک (0<μ<1)، خواهد بود. در نتیجه، اگر میو به سمت صفر میل کند (μ≈0)، در این وضعیت، وزن‌دهی شاخص‌های تعدیل‌کننده تقریباً ناچیز شده و اثر آن‌ها بر فرایند اجماع کاهش می‌یابد؛ به این معناست که تصمیم‌گیری‌های حاصل از مدل اجماع عمدتاً مبتنی بر معیارهای اولیه بدون تعدیل‌های محیطی خواهد بود. در چنین حالتی، فرایند اجماع به یک مدل ایستا و کمتر انعطاف‌پذیر تبدیل می‌شود که حساسیت پایینی نسبت به تغییرات محیطی، اجتماعی و اقتصادی دارد[۱۶]. همچنین، اگر میو به سمت یک میل کند (μ≈1)، در این وضعیت، شاخص‌های تعدیل‌کنندهٔ تأثیر حداکثری بر وزن‌دهی و فرایند اجماع‌سازی خواهند داشت. این شرایط نشان‌دهندهٔ انعطاف‌پذیری و پویایی بالای مدل اجماع در واکنش به تغییرات محیطی است؛ به این معنا که هرگونه تغییر در متغیرهای کلیدی محیطی (مانند مشارکت اجتماعی، عدالت فضایی، پایداری محیطی و غیره) مستقیم بر تصمیم‌گیری‌های نهایی تأثیر می‌گذارد[۱۷].

همچنین اگر مقدار میو پایین باشد (μ<0.4)، این نشان می‌دهد محیط کلان مانعی جدی برای تحقق اجماع است. در چنین شرایطی، حتی اگر تمامی عوامل لازم و کافی برقرار باشند، اجماع نمی‌تواند به طور کامل شکل بگیرد[۱۸]. اگر مقدار میو، متوسط باشد (0.4< μ <0.8)، تعدیل‌کننده‌های محیطی تا حدی مانع تحقق اجماع هستند و ممکن است فرایند تصمیم‌گیری نخبگان با موانعی مانند مقاومت نهادی یا محدودیت منابع مواجه شود. در این حالت، لازم است که اقدامات اصلاحی در حوزه‌های کلیدی مانند تغییر سیاست‌ها، تأمین مالی بهتر و ارتقای زیرساخت‌های دیجیتال انجام شود. اگر مقدار میو بالا باشد (μ>0.8)، این نشان‌دهندهٔ محیطی مساعد برای اجماع‌سازی نخبگان است. در این شرایط، عوامل کافی تأثیر بیشتری خواهند داشت و حتی با وجود برخی ضعف‌های جزئی در عوامل لازم، فرایند اجماع با موفقیت پیش خواهد رفت.

۳. معادلهٔ تطبیقی نهایی

توسعهٔ معادلهٔ تطبیقی، گامی اساسی در به‌کارگیری روش‌های داده‌محور برای شهرسازی راهبردی و مدیریت شهری هوشمند محسوب می‌شود. معادلهٔ تطبیقی باید قابلیت تنظیم در محیط‌های شهری مختلف را داشته باشد. این امر با استفاده از متغیرهای تطبیقی امکان‌پذیر می‌شود که بر اساس ویژگی‌های محلی و شرایط خاص قابل تنظیم هستند. از سویی دیگر، در معادلهٔ تقلیلی، تمام متغیرها وزن یکسان داشتند، اما در معادلهٔ تطبیقی، برخی متغیرها اثرگذاری بیشتری دارند. پس، از تحلیل حساسیت و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای تعیین وزن بهینه استفاده می‌شود، زیرا معادلهٔ تطبیقی باید قابلیت سازگاری با انواع شهرها و موضوعات شهری را داشته باشد.

پس می‌توان فرمول نهایی معادلهٔ تطبیقی با افزودن این پارامترها به صورت زیر ارائه کرد، تا تنظیم پویایی مدل امکان‌پذیر شده و معادلهٔ تطبیقی در طیف گسترده‌ای از مسائل شهری قابل استفاده باشد:

$$E_c = \frac{\sum_{i=1}^{4} N_i}{\lambda} \times \frac{\sum_{j=1}^{5} S_j}{\mu}$$

$$\text{اجماع نخبگان} = \frac{\text{مجموع عوامل الزامی}}{\text{الزام اولیه}} \times \frac{\text{مجموع عوامل کافی}}{\text{تعدیل کننده های‌محیطی}}$$

معادلهٔ ۱۰. فرمول نهایی معادلهٔ تطبیقی با افزودن λ و μ

که در آن:

- Ec: میزان تحقق اجماع نخبگان شهری
- Ni: عوامل لازم شامل:
  - N1=DDA تمرکززدایی داده‌محور
  - N2=TRS مقاومت در برابر دستکاری
  - N3=DMT شفافیت تصمیم‌سازی
  - N4=SEP مشارکت پایدار نخبگان
- Sj: عوامل کافی شامل:
  - S1=DCM کنترل توزیع‌شده
  - S2=DYP پویایی مشارکت‌کنندگان
  - S3=INC سازگاری بین‌رشته‌ای
  - S4=THF انعطاف‌پذیری نظری
  - S5=FBA قابلیت بازخوردپذیری
- λ: ضریب الزام اولیه که حداقل استانداردهای لازم را تعیین می‌کند.
- μ: ضریب تعدیل‌کننده‌های محیطی که اثر شرایط قانونی، اقتصادی، اجتماعی و حکمرانی بر اجماع را نشان می‌دهد.

تفسیر کلی نتایج در این فرمول به این صورت است که:

حداقل نتیجه ($E_c \to 0$): اگر الزام اولیه برقرار باشد (مجموع عوامل الزامی بالا) اما عوامل کافی ضعیف باشند (مجموع عوامل کافی پایین)، اجماع به شکل محدود، متمرکز و مشروط به شرایط خاص ایجاد خواهد شد، اما پایدار نخواهد

بود[۱۹]. همچنین، بالا بودن ضریب تعدیل‌کننده‌های محیطی (μ) نشان می‌دهد شرایط کلان‌شهری مساعد نیست و تحقق اجماع حتی با وجود عوامل کافی دشوار خواهد بود. علاوه بر آن، مقدار مجموع عوامل الزامی پایین باشد یا یکی از عوامل لازم حیاتی از بین برود، اجماع تقریباً غیرممکن خواهد بود.

نتیجه میانی ($0<E_c<1$): اگر الزام اولیه برقرار باشد و حداقل سه عامل کافی نیز به‌درستی عمل کنند، اجماع پایدارتر شده و قابل اصلاح و بهبود خواهد بود[۲۰]. همچنین اگر، عوامل کافی قوی باشند ولی عوامل لازم ناقص باشند، اجماع سطحی و ناپایدار باقی می‌ماند. مشابه این حالت زمانی است که ضریب الزام اولیه (λ) بالا باشد که نشان‌دهندهٔ سخت‌گیری در فرایند اجماع است که می‌تواند دستیابی به تصمیمات مشترک را دشوارتر کند.

حداکثر نتیجه ($E_c \to 1$): اگر تمامی عوامل لازم و کافی برقرار باشند و λ و μ بهینه تنظیم شوند، اجماع نخبگان پایدار، منعطف، شفاف، برآمده از داده‌های به‌روز و مبتنی بر تعامل مؤثر نخبگان خواهد بود[۲۱].

این معادله بیان می‌کند که تحقق اجماع نخبگان شهری بستگی به برقراری چهار عامل لازم دارد، اما میزان اثرگذاری آن‌ها تحت تأثیر پنج عامل کافی و تعدیل‌کننده‌های محیطی است. الزام اولیه به معنای حداقل استانداردهای علمی، حقوقی و سازمانی برای شروع فرایند اجماع‌سازی است. تعدیل‌کننده‌های محیطی شامل بسترهای قانونی، ساختارهای حکمرانی، الزامات اقتصادی و شرایط اجتماعی هستند که بر امکان تحقق عوامل کافی تأثیر می‌گذارند. کاربرد این معادله در برنامه‌های راهبردی شهری، سیاست‌گذاری کلان و فرایندهای مشورتی چندنهادی است. همچنین، این معادله نشان می‌دهد اجماع‌سازی نخبگان شهری نیازمند حداقل شرایط لازم، تقویت عوامل کافی، و در نظر گرفتن شرایط محیطی است.

به عنوان مثالی که در آن هر دو پارامتر تطبیقی حضور داشته باشند، در شهرهای دارای شفافیت اطلاعات بالا، اثر λ کاهش پیدا می‌کند. یا، در محیط‌های با چالش‌های اجتماعی بالا، اثر μ افزایش می‌یابد. بارزترین تفاوت معادلهٔ تقلیلی و تطبیقی، این است که در معادلهٔ تقلیلی، تمامی متغیرها وزن یکسانی داشتند، اما در معادلهٔ تطبیقی، برخی متغیرها اثرگذاری بیشتری نسبت به بقیه دارند. بنابراین، فرایند وزن‌دهی به عوامل کلیدی بر اساس روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) انجام شد. به صورتی که، دقت مدل افزایش یافته، تحلیل حساسیت امکان‌پذیر می‌شود و مدل برای شرایط متنوع شهری قابل‌استفاده خواهد بود. در نتیجه، با استفاده از وزن‌دهی به متغیرها، معادلهٔ تطبیقی توانایی بهتری در توصیف فرایند اجماع در شرایط متنوع خواهد داشت.

بحث

در دهه‌های اخیر، فرایند اجماع‌سازی در موضوعات کلان شهرسازی، به‌ویژه در سطح نخبگان، به عنوان یکی از چالش‌های اصلی حکمرانی شهری شناخته شده است. تلاش برای رسیدن به مدل‌هایی که بتوانند به شیوه‌ای منسجم، مشارکتی و مؤثر نظرات نخبگان را گردآوری و تحلیل کنند، همواره یکی از دغدغه‌های سیاست‌گذاران و پژوهشگران این حوزه بوده است. با وجود راهکارهای مختلفی که تا کنون ارائه شده، بسیاری از مدل‌های سنتی دچار محدودیت‌هایی نظیر ساختارهای خطی، ضعف در ترکیب دیدگاه‌های متنوع و ناتوانی در ایجاد اجماع فعال و پویا بوده‌اند (Wang, et al., 2019). برخی پژوهش‌ها به کارگیری روش‌های یادگیری ماشینی برای تحلیل نظرات نخبگان را پیشنهاد داده‌اند. با این حال، این روش‌ها عمدتاً بر تحلیل روندها تمرکز داشته و از توانمندی لازم برای ساخت اجماع واقعی و سازوکار تصمیم‌سازی مشارکتی برخوردار نیستند. همچنین، استفاده از سیستم‌های رأی‌گیری چندمرحله‌ای نیز به دلیل انعطاف‌ناپذیری در ترکیب دیدگاه‌های بین‌رشته‌ای با محدودیت مواجه‌اند (Esmaeilpour Zanjani, Pietra, & De Lotto, 2024).

در مقابل، این پژوهش تلاش دارد با بهره‌گیری از الگوریتم‌های اجماع‌سازی مبتنی بر فناوری بلاک‌چین، مدلی غیرمتمرکز، شفاف و پویا برای تسهیل فرایند اجماع نخبگانی ارائه دهد. فناوری بلاک‌چین به واسطهٔ ویژگی‌هایی نظیر تغییرناپذیری داده‌ها، شفافیت در زنجیرهٔ تصمیم‌گیری، مقاومت در برابر دست‌کاری، و مشارکت‌پذیری بالا، ظرفیت بالقوه‌ای برای تحول در ساختارهای اجماع‌سازی دارد. الگوریتم‌هایی همچون اثبات کار (PoW)، اثبات سهام (PoS)، و تحمل خطای بیزانسی (PBFT) هر یک مزایا و معایب خاص خود را داشته و با توجه به ویژگی‌های بومی هر نظام شهری، قابل انطباق و تطبیق هستند.

از مهم‌ترین و ظریف‌ترین چالش‌های این پژوهش، اذعان به تفاوت ماهوی و بنیادین میان دو بستر مورد مطالعه است. همان‌گونه که به‌درستی اشاره شده است، اجماع‌سازی در فناوری بلاک‌چین (رکن مبدأ)، فرایندی مبتنی بر صحت‌سنجی داده‌های کمی و قوانین الگوریتمیک از پیش تعریف‌شده است. در مقابل، فرایند اجماع نخبگان شهری (رکن مقصد)، در یک محیط کیفی و پیچیده رخ می‌دهد که در آن، متغیرهایی همچون گرایش‌های فکری، تجربهٔ زیسته، جایگاه‌های نهادی، تعصبات شناختی و پویایی‌های قدرت، نقشی تعیین‌کننده ایفا می‌کنند. این مقاله ادعا نمی‌کند که این دو فرایند یکسان هستند؛ بلکه استدلال می‌کند که می‌توان از «منطق ساختاری» الگوریتم‌های بلاک‌چین به عنوان یک «چهارچوب تحلیلی» برای نظام‌مند کردن و افزایش شفافیت در فرایندهای پیچیده اجماع نخبگانی بهره گرفت. راهکار این پژوهش برای غلبه بر این چالش، نه نادیده گرفتن پیچیدگی، بلکه «مدل‌سازی» آن از طریق معادلهٔ تطبیقی نهایی است:

۱. فراتر از الگوریتم: یکپارچه‌سازی فناوری و جامعه در قالب یک سیستم اجتماعی-فنی: رویکرد این مقاله، ترجمه و تطبیق است، نه کپی‌برداری. ما با این مسئله نه به عنوان یک چالش فنی، بلکه به عنوان یک مسئلهٔ «اجتماعی ـ فنی» برخورد کرده‌ایم. در نظریهٔ سیستم‌های اجتماعی ـ فنی، فرض بر این است که فناوری و ساختارهای اجتماعی به صورت متقابل یکدیگر را شکل می‌دهند و کارایی یک سیستم صرفاً به بهینگی فنی آن وابسته نیست، بلکه به میزان هم‌سازی آن با بستر اجتماعی، فرهنگی و نهادی بستگی دارد (Bijker, 1997).

معادلهٔ تطبیقی نهایی، $(Ec = (\Sigma Ni / \lambda) * (\Sigma Sj * \mu))$ دقیقاً بر پایه همین دیدگاه طراحی شده است. بخش (Σ Ni) و (Σ Sj)، بیانگر «منطق فنی» و ساختاری برگرفته از الگوریتم‌هاست، در حالی که ضرایب λ و μ به مثابه «پل ارتباطی» با واقعیت‌های پیچیده اجتماعی عمل می‌کنند.

۲. مدل‌سازی پیچیدگی‌های کیفی از طریق ضرایب تطبیقی λ و μ: پاسخ اصلی این مقاله به تفاوت بنیادین میان ماهیت اجماع‌سازی در بستر رمزارزها و فرایندهای پیچیده اجماع نخبگان شهری، در کارکرد تحلیلی دو ضریب λ (الزام اولیه) و μ (تعدیل‌کننده‌های محیطی) نهفته است. این ضرایب، متغیرهای کیفی و زمینه‌ای را به شکلی نظام‌مند وارد مدل می‌کنند:

- ضریب الزام اولیه (λ): این ضریب، نمایندهٔ موانع و الزامات ساختاری پیش از شروع هر فرایند اجماع است. عواملی همچون «چهارچوب‌های قانونی»، «سطح دسترسی به داده‌های شفاف» و «فرهنگ مشارکتی» که در محاسبهٔ λ به کار می‌روند، دقیقاً همان متغیرهای کیفی هستند که بستر تصمیم‌گیری نخبگان را شکل می‌دهند. در واقع، λ به این پرسش پاسخ می‌دهد که آیا «زمین بازی» برای یک اجماع سالم و مبتنی بر شواهد، اساساً آماده است یا خیر. این ضریب، «جایگاه» و «ساختارهای نهادی» را که مورد تأکید منتقدان است، مدل‌سازی می‌کند.
- ضریب تعدیل‌کننده‌های محیطی (μ): این ضریب، به طور مستقیم به قلب نقد مطرح‌شده می‌پردازد. μ برای مدل‌سازی اثرات پویای محیطی بر فرایند اجماع طراحی شده است. عواملی همچون «گرایش‌های سیاسی حاکم»، «پایداری اقتصادی»، «میزان پذیرش عمومی» و «همبستگی اجتماعی» در تعیین مقدار μ نقش دارند. این ضریب، تأثیر «تجربهٔ زیسته»، «سوگیری‌های شناختی» (که در بستر فرهنگی ـ اجتماعی شکل می‌گیرند) و «تضاد منافع» را در معادله نهایی تعدیل می‌کند. این رویکرد با یافته‌های حوزهٔاقتصاد رفتاری و سیاست‌گذاری عمومی هم‌راستاست که نشان می‌دهد تصمیم‌گیری انسانی هرگز در خلأ رخ نمی‌دهد و همواره تحت تأثیر عوامل

زمینه‌ای است (Thaler & Sunstein, 2009).

بنابراین، مدل نهایی فقط یک معادلهٔ ریاضی نیست، بلکه یک «چهارچوب تحلیلی پویا» است که به سیاست‌گذار اجازه می‌دهد تا با تنظیم مقادیر λ و μ بر اساس شرایط خاص هر شهر، سناریوهای مختلفی را برای موفقیت فرایند اجماع شبیه‌سازی کند.

۳. اعتبار، دقت و اعتمادپذیری نتایج: اعتبار یک مدل مفهومی مانند مدل ارائه‌شده در این پژوهش، نه با معیارهای پیش‌بینی آماری، بلکه با «استحکام مفهومی (Conceptual Robustness)» و «سودمندی اکتشافی (Heuristic Value)» آن سنجیده می‌شود (Epstein, 2008). مدل این پژوهش از چند جهت دارای اعتبار است:

۱. شفافیت: تمامی عوامل و روابط به صورت صریح در معادلات و جدول‌ها تعریف شده‌اند و هیچ «جعبه سیاهی» وجود ندارد. این شفافیت، امکان نقد و بهبود مدل را فراهم می‌سازد.

۲. انعطاف‌پذیری: مدل به صورت یک چهارچوب کلی ارائه شده که مقادیر λ و μ باید برای هر زمینه مشخص، به صورت بومی تعیین شوند. این ویژگی، مدل را از یک فرمول خشک و ایستا به یک ابزار تطبیق‌پذیر تبدیل می‌کند.

۳. جامعیت: با ادغام منطق الگوریتمی و متغیرهای کیفی ـ زمینه‌ای، مدل توانسته است تصویری جامع‌تر و واقع‌بینانه‌تر از فرایند اجماع‌سازی ارائه دهد.

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد کاربرد الگوریتم‌های بلاک‌چین در طراحی سیستم‌های اخذ نظر نخبگان (چه در قالب سناریوهای از پیش تعریف‌شده و چه در قالب مشارکت برخط و بلادرنگ) می‌تواند به توسعهٔ زیرساخت‌های تصمیم‌سازی کلان کمک کند. این زیرساخت‌ها در طراحی سامانه‌های هوشمند برای ره‌گیری، ترکیب و طبقه‌بندی نظرات نخبگانی، و نیز در تسهیل فرایندهای مشارکت‌پذیری آینده، نقش کلیدی ایفا می‌کنند. این پژوهش با ارائهٔ یک روش‌شناسی نظام‌مند برای «ترجمه» و «تطبیق»، نشان می‌دهد چگونه می‌توان از شفافیت و ساختارمندی فناوری بلاک‌چین برای روشن کردن پیچیدگی‌های تصمیم‌گیری نخبگان بهره برد، بدون آنکه اسیر ساده‌انگاری و نادیده گرفتن ماهیت انسانی و اجتماعی این فرایندها شویم.

در نهایت، پژوهش حاضر، با پرداختن به مفاهیم نوینی همچون هوشمندسازی رفتار سازمانی نهادهای مشورتی نخبگانی و نیز کاربست الگوریتم‌های اجماع‌سازی غیرمتمرکز در مدیریت شهری آینده‌نگر، افق‌های جدیدی برای تحقیق و سیاست‌گذاری در حوزهٔ شهرهای هوشمند، پایداری اجتماعی و حکمرانی دیجیتال ترسیم می‌کند. زیرا با گذشت زمان، مدل‌های جدیدی برای حل مشکلات مربوط به الگوریتم‌های بهینه‌تر و سریع‌تری برای اجماع در شبکه‌های غیرمتمرکز معرفی خواهند شد که با روش‌های مشابه همین پژوهش، امکان استفاده انطباقی از آن‌ها در موضوعات نیازمند اجماع، فراهم خواهد بود. همچنین، این پژوهش به برخی چالش‌های نظری دربارهٔ میزان کارایی و دقت الگوریتم‌های اجماع پاسخ می دهد و مسیر جدیدی را برای تحقیقات مرتبط با سیاست‌گذاری مدیریتی در نحوهٔ مشارکت نخبگان شهری فراهم می‌آورد.

در سنجش ارتباط بین مفاهیم ایجادی جدول ۶ و تخصیص اعتبار دو ارزشی به آن‌ها، از هوش مصنوعی موجود در نرم‌افزار MAXQDA، بهره برده شده است. به صورتی که ضمن بارگذاری منابع نامبرده شده در این جدول در داخل آن، برای هر یک از مفاهیم ایجادی به تفکیک محتوا و روش آن‌ها، سؤال جداگانه‌ای در زمینهٔ ارتباط‌شناسی آن‌ها با متغیرهای مستقل، وابسته، تعدیل و کنترل پرسیده شده و بر مبنی پاسخی که داده شده، ارتباط یا عدم ارتباط آن توسط پژوهشگران سنجیده شده است. شیوهٔ کلی پرسشگری از این هوش مصنوعی، در این مورد به صورت زیر بوده است:

- پرسش مربوط به متغیرهای مستقل: آیا متغیرهای مستقل (آ|ب|ج) با متغیر وابسته (۱|۲) در موضوع این پژوهش، از طریق، مفهوم ایجادی (≒|✱|⧉|⌘) ارتباط دارد؟ به چه صورتی؟
- پرسش مربوط به متغیر وابسته: آیا متغیر وابسته (۱) در موضوع این پژوهش، از طریق، مفهوم ایجادی (≒|✱|⧉|⌘) می‌تواند برآمده از متغیرهای مستقل (آ|ب|ج) باشد؟
- پرسش مربوط به متغیر تعدیل: آیا متغیر تعدیل (۲) در موضوع این پژوهش، از طریق، مفهوم ایجادی (≒|✱|⧉|⌘) میتواند در کنار متغیر وابسته (۱)، برآمده از متغیرهای مستقل (آ|ب|ج) باشد؟
- پرسش مربوط به متغیرهای کنترل: آیا متغیرهای کنترل (a | b | c)، توانایی اثرگذاری منفی بر رابطه بین متغیرهای مستقل (آ|ب|ج) با متغیر وابسته (۱) و متغیر تعدیل (۲) در موضوع این پژوهش، از طریق، مفهوم ایجادی (≒|✱|⧉|⌘) را دارند؟ به چه صورتی؟

همچنین، این پژوهش دارای پیوست‌های زیر است:

پیوست ۱: برای هر یک از ۲۰ سناریوی ارائه‌شده در جدول ۲۱، دقیقاً ۵ مثال کاربردی، عینی و غیرتکراری در زمینه‌های مسائل شهری، طراحی شهری، برنامه‌ریزی شهری، مدیریت شهری و اقتصاد شهری ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

میزان مشارکت نویسندگان در این پژوهش، به صورت برابر (۵۰%) بوده است.

تشکر و قدردانی

از ارکان محترم این نشریه برای سرعت عمل، دقت و بسترسازی برای نشر پژوهش‌های بنیادین، کمال قدردانی صورت می‌گیرد.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارضی بین نویسندگان این پژوهش، همچنین هیچ‌گونه نقض قوانین مربوط به حقوق مؤلفان و مصنفان در بهره‌گیری از نرم‌افزارهای پژوهشی وجود ندارد.

یادداشت‌ها

۱. دفتر کل (Ledger) به دفتری گفته می‌شود که اطلاعات مالی مانند نام حساب، بدهکار، بستانکار و غیره را به‌صورت جداگانه ثبت می‌کند و بخشی از سیستم حسابداری است.

۲. مخفف Distributed Ledger Technology

۳. یکی از دلایل اصلی این محدودسازی، عدم وجود رویکردی داده‌محور برای تطبیق الگوریتم‌های اجماع‌سازی بلاک‌چینی با فرآیندهای تصمیم‌گیری جمعی در شهرسازی راهبردی است. پژوهش‌های سنتی بر فرآیندهای کیفی، همچون دلفی و تحلیل‌های سیاست‌گذاری، تمرکز داشته‌اند و از شفافیت و دقت ابزارهای دیجیتال بهره نبرده‌اند (Yu, Chen, Jin, & Zhang, 2025). این محدودیت‌ها باعث شده است که نیاز به پژوهشی میان‌رشته‌ای برای بررسی امکان انطباق الگوریتم‌های بلاک‌چین در فرآیندهای اجماع‌سازی نخبگان، مطرح گردد.

۴. روش تحقیق این مقاله بر پایه «تحلیل تطبیقی کیفی» (QCA) استوار است که توسط چارلز راگین (Charles Ragin) توسعه یافته و به عنوان یکی از قدرتمندترین ابزارهای روش‌شناختی برای تحلیل پدیده‌های پیچیده اجتماعی و مدیریتی شناخته می‌شود. این روش، برخلاف رویکردهای آماری که به دنبال تبیین اثر خالص یک متغیر مستقل بر متغیر وابسته هستند، بر شناسایی «ترکیب‌های علی» مختلفی تمرکز دارد که می‌توانند به یک نتیجه یکسان منجر شوند (پدیده هم‌پایانی یا Equifinality). پیچیدگی ظاهری روش‌شناسی این مقاله، ناشی از ماهیت این رویکرد تحلیلی است. پیچیدگی آن، ذاتی است که امکان تحلیل عمیق، نظام‌مند و چندبعدی را فراهم می‌آورد. نمودارها و معادلات، ابزارهای ضروری این تحلیل هستند که فرآیند استنتاج منطقی را از داده‌های اولیه تا مدل نهایی شفاف می‌سازند و دقت و اعتبار یافته‌ها را تضمین می‌کنند (Ragin, Redesigning Social Inquiry: Fuzzy Sets and Beyond, 2008).

۵. یک نسخه از این پایگاه داده همواره در هر کدام از رایانه‌ها وجود دارد و به دلیل به‌روزرسانی‌های آنی، همیشه اطلاعات آن در هر رایانه یکسان است. در این پایگاه داده، سابقه‌ای از تمام تغییرات انجام شده مثل جابجایی یا ثبت و بایگانی داده ها انجام می‌شود.

۶. به عنوان مثال، وقتی به یک تارنما رفته و وارد سیستم شوید، فرآیند تأیید اعتبار کاربر در پایگاه داده متمرکز انجام شده و اطلاعات ورود هر کاربر، در همان پایگاه داده مربوط به تارنما ذخیره می‌شود. اما اگر طراحی این وبگاه غیر متمرکز بود، فرآیند احراز هویت کاربر توسط دفتر کل توزیع شده بین کاربران در سراسر جهان انجام می‌گرفت. بنابراین، به جای اینکه اطلاعات کاربران در مرکز اطلاعات همان تارنما ذخیره گردد، توسط هر سامانه طراحی و متصل شده به ان تارنما در هر جایی که بخشی از زیست بوم مشترک و غیر متمرکز آن تارنما باشد، ذخیره شده و در موقع نیاز (مثلا در موقع نیاز به تایید اعتبار کاربران)، استفاده خواهد شد.

۷. یعنی هر تغییری که بخواهد در این پایگاه داده به وجود بیاید باید توسط تمام رایانه های مرتبط با آن داده ها در شبکه تایید شود.

۸. توضیح دقیق تر این است که، نظریات راهنما در روش تحقیق مطالعه تطبیقی به مجموعه‌ای از اصول و مفاهیم نظری اشاره دارد که به محققان کمک می‌کند تا پدیده‌ها و موضوعات مختلف را در بسترهای متفاوت مقایسه و تحلیل کنند. این نظریات به محققان امکان می‌دهند تا با استفاده از رویکردهای مختلف، ساختارهای اصلی و فرعی یک یا چند پدیده را مد نظر برای مطالعه انطباقی را مشخص نمایند و روابط علت و معلولی را کشف کنند.

۹. به عنوان مثال، ایجاد شدن متغیر وابسته (۱) یا متغیر تعدیل گر (۲)، میتواند هم بر اساس وجود داشتن متغیر مستقل (الف) باشد هم بر اساس وجود داشتن متغیر مستقل (ب) و هم بر اساس وجود داشتن متغیر مستقل (ج)، هم بر اساس وجود داشتن ترکیب هایی از این ها.

۱۰. لطفاً توجه داشته باشید که برخی از الگوریتم‌ها ممکن است توسط تیم‌های توسعه‌دهنده یا در مقالات مختلف معرفی شده باشند و نام یک فرد خاص به عنوان ارائه‌دهنده مشخص نباشد.

۱۱. کاربرد عملی: در مسئله حاشیه‌نشینی در مشهد، موانع قانونی و دیوان سالاری زیاد هستند، بنابراین مقدار λ بالا خواهد بود و اجماع به‌سختی حاصل می‌شود.

۱۲. مثال: در شهرهایی که قوانین شفاف برای مشارکت نخبگان وجود دارد و نخبگان به داده‌های کافی دسترسی دارند، اجماع سریع شکل می‌گیرد.

۱۳. مثال: اگر قوانین حمایتی برای اجماع نخبگان ضعیف باشد اما زیرساخت‌های دیجیتالی قوی باشند، اجماع شکل می‌گیرد اما روند آن کند خواهد بود.

۱۴. مثال: در شهرهایی که داده‌های شهری شفاف نیست، دسترسی به تصمیم‌سازی محدود است و قوانین حمایتی ضعیف‌اند، اجماع ممکن نیست.

۱۵. کاربرد عملی: در مشهد، حاشیه‌نشینان از لحاظ اقتصادی و اجتماعی دچار ضعف هستند، بنابراین مقدار μ کاهش یافته و فرآیند اجماع با چالش‌های بیشتری مواجه است.

۱۶. به عنوان مثال، اگر در فرآیند اجماع برای حل معضل حاشیه‌نشینی، اگر $\mu \approx 0$ باشد، تغییرات پویای اقتصادی-اجتماعی کلان‌شهر مشهد نادیده گرفته شده و تصمیم‌گیری‌ها عمدتاً مبتنی بر داده‌های ثابت و گذشته‌نگر خواهد بود.

۱۷. به عنوان مثال، در سناریوی مدیریت حاشیه‌نشینی در مشهد، اگر $\mu \approx 1$ باشد، فرآیند اجماع به‌شدت وابسته به تغییرات اخیر در توزیع خدمات شهری، نرخ اشتغال، و سیاست‌های مسکن اجتماعی خواهد شد، که می‌تواند به تصمیم‌گیری‌های چابک اما ناپایدار منجر شود.

۱۸. نمونه‌هایی از چنین وضعیت‌هایی شامل محیط‌های استبدادی، شهرهایی با قوانین سختگیرانه و عدم شفافیت، یا مناطقی که فاقد بسترهای فنی و مالی مناسب هستند می‌شود.

۱۹. مثال: اگر تمرکززدایی داده‌محور (DDA) و شفافیت (DMT) موجود باشند اما انعطاف نظری (THF) وجود نداشته باشد، اجماع حاصل می‌شود اما شکننده خواهد بود.

۲۰. مثال: اگر کنترل توزیع‌شده (DCM)، پویایی مشارکت‌کنندگان (DYP) و قابلیت بازخوردپذیری (FBA) وجود داشته باشند، اجماع نخبگان به‌صورت پویا و قابل‌تعدیل برقرار خواهد بود.

۲۱. مثال: در این حالت، تصمیمات شهری بر مبنای ترکیب نظرات نخبگان، با قابلیت اصلاح سریع و پاسخگویی به نیازهای متغیر جامعه، اجرا می‌شود.

منابع

Abdelghaffar, A. (2024, October 10). *Public Choice Theory in City Planning*. Retrieved from URBAN DESIGN LAB: https://urbandesignlab.in/public-choice-theory-in-city-planning

Afzali, M., Modiri, M., & Farhudi, R. (2019). Prioritizing Indicators in the make Smart Process (Case Study: Kerman City). *Journal of Urban Research and Planning*, *9*(35), 21-30. doi:20.1001.1.22285229.1397.9.35.2.5 *[In Persian]*

Agbodzakey , J. (2024). *Consensus in Collaborative Governance*. In Collaborative Governance Primer (pp. 91–101). Gewerbestrasse , Switzerland: Springer Cham. doi:10.1007/978-3-031-57373-6

Akerlof, G. A. (1970). The Market for "Lemons": Quality Uncertainty and the Market Mechanism. *The Quarterly Journal of Economics*, *84*(3), 488-500. doi:10.2307/1879431

Alqahtany, A. M., Rezgui, Y., & Li, H. (2014). A Consensus-Based Framework for the Sustainable Urban Planning Development: "As an Approach for Saudi Arabian Cities". *International Journal of Environmental Science and Development*, *5*(2), 124-131. doi:10.7763/IJESD.2014.V5.463

Antal, C., & et al. (2021). *Distributed Ledger Technology* Review and Decentralized Applications Development Guidelines. Future Internet, *13*(3), 62. doi:10.3390/fi13030062

Arafat, S. M. (2025). *A Study of Blockchain Consensus Protocols*. Cryptology ePrint Archive, Preprint. Retrieved from https://ia.cr/2025/637

Arakawa, N., & Bader, L. R. (2022). Consensus development methods: Considerations for national and global frameworks and policy development. *Research in Social and Administrative Pharmacy*, *18*(1), 2222-2229. doi:10.1016/j.sapharm.2021.06.024

Arrow, K. J., & Debreu, G. (1954). Existence of an Equilibrium for a Competitive Economy. *Econometrica*, *22*(3), 265-290. doi:10.2307/1907353

Bandura, A., Dorothea, R., & Ross, S. A. (1961). Transmission of aggression through imitation of aggressive models. *The Journal of Abnormal and Social Psychology*, *63*(3), 575–582. doi:10.1037/h0045925

Bao , H. X., & Robinson, G. M. (2022). Behavioural land use policy studies: Past, present, and future. *Land Use Policy*, 115, 106013. doi:10.1016/j.landusepol.2022.106013

Baradaran Khanian, Z., Panahi, H., & Asgharpur, H. (2023). Identification and Prioritizing of Key Factors Affecting Smart City based on Futures Studies Approach (The Case Study of Tabriz Metropolis). Quarterly *Journal of Applied Theories of Economics*, *10*(1), 89-128. doi:10.22034/ecoj.2023.53876.3123 *[In Persian]*

Bashir, I. (2023). *Mastering Blockchain* (4th ed.). Birmingham, England: Packt Publishing.

Becker, G. S. (2013). *The Economic Approach to Human Behavior* (Kindle ed.). Chicago: University of Chicago Press.

Benet, J. (2014, Jul 14). *IPFS - Content Addressed, Versioned, P2P File System*. doi:10.48550/arXiv.1407.3561

Bentov, I., Lee, C., Mizrahi, A., & Rosenfeld, M. (2014). Proof of Activity: Extending Bitcoin's Proof of Work via Proof of Stake. *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review*, *42*(3), 34 - 37. doi:10.1145/2695533.2695545

Bhushan, B., Khamparia, A., Sagayam, K. M., Sharma, S. K., Abdul Ahad, M., & Debnath, N. C. (2020). Blockchain for smart cities: A review of architectures, integration trends and future research directions. *Sustainable Cities and Society*, 61, 102360. doi:10.1016/j.scs.2020.102360

Bibri , S. E. (2021). Data-driven smart sustainable cities of the future: An evidence synthesis approach to a comprehensive state-of-the-art literature review. *Sustainable Futures*, 3, 100047. doi:10.1016/j.sftr.2021.100047

Bijker, W. E. (1997). Of Bicycles, Bakelites, and Bulbs: Toward a Theory of Sociotechnical Change. Cambridge: The MIT Press.

Buchanan, J. M., & Tullock, G. (1999). *The Calculus of Consent* (Vol. 3). Carmel, Indiana: Liberty Fund.

Büyüközkan, G., & Tüfekçi, G. (2021). A decision-making framework for evaluating appropriate business blockchain platforms using multiple preference formats and VIKOR. *Information Sciences*, 571, 337-357. doi:10.1016/j.ins.2021.04.044

Castells, M. (2015). *Networks of Outrage and Hope: Social Movements in the Internet Age* (2nd ed.). Cambridge and Oxford, UK: Polity.

Cerf, M., Matz, S., & Berg, A. (2020). Using Blockchain to Improve Decision Making That Benefits the Public Good. *Frontiers in Blockchain*, 3. doi:10.3389/fbloc.2020.00013

Cernansky, R. (2024, March 7). *Fashion's cotton supply chain is broken. Will brands agree to fix it*?. Retrieved from VOGUE BUSINESS: https://www.voguebusiness.com/story/sustainability/cotton-supply-chain-is-broken-will-brands-agree-to-fix-it-sourcery-fashion

Charitonidou, M. (2022). Urban scale digital twins in data-driven society: Challenging digital universalism in urban planning decision-making. *International Journal of Architectural Computing*, *20*(2), 238-253. doi:10.1177/14780771211070005

Chinnasamy, P., Vinothini, C., Arun Kumar, S., Sundarraj, A. A., Annlin Jeba, S. V., & Praveena, V. (2021). *Blockchain Technology in Smart-Cities*. In Blockchain Technology: Applications and Challenges (pp. 179–200). Springer, Cham. doi:10.1007/978-3-030-69395-4_11

Coinbase. (2025, 3 11). *What is Delegated Proof of Stake (DPoS)*? Retrieved from Coinbase: https://www.coinbase.com/en-nl/learn/crypto-glossary/what-is-delegated-proof-of-stake-dpos

da Cruz , N. F. (2022). Networked Urban Governance: A Socio-Structural Analysis of Transport Strategies in London and New York. *Urban Affairs Review*, *59*(6), 1908-1949. doi:10.1177/10780874221117463

Dahl, R. A. (2020). *On Democracy*. New Haven, Connecticut: Yale University Press.

Dhir, R. (2023, February 28). *James M. Buchanan: Early Life, Education, Works*. Retrieved from Investopedia: https://www.investopedia.com/terms/j/james-m-buchanan-jr.asp

Din, J., & Su, H. (2024). Blockchain-Enabled Smart Grids for Optimized Electrical Billing and Peer-to-Peer Energy Trading. *Energies*, *17*(22), 5744. doi:10.3390/en17225744

Dyer, G. M., & et al. (2024). Commentary: A road map for future data-driven urban planning and environmental health research. *Cities*, 155, 105340. doi:10.1016/j.cities.2024.105340

Elragal, A., & Elgendy, N. (2024). A Data-Driven Decision-Making Readiness Assessment Model: The Case of a Swedish Food Manufacturer. *Decision Analytics Journal*, 10, 100405. doi:10.1016/j.dajour.2024.100405

Entezarian, N., & mehraeen, M. (2024). Application of Artificial Intelligence in Smart Cities: A Systematic Review using the Methodi Ordinatio. *Iranian Journal of Information Processing and Management*, *40*(1), 5-35. doi:10.22034/jipm.2024.715630 *[In Persian]*

Epstein, J. M. (2008). Why Model? *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, *11*(4), 12.

Esmaeilpour Zanjani, N., Pietra, C., & De Lotto, R. (2024). *Machine Learning in Urban Decision-Making: Potential, Challenges, and Experiences*. In Networks, Markets & People (pp. 334–343). Springer Cham. doi:10.1007/978-3-031-74679-6_33

Eyal, I., Gencer, A. E., Sirer, E. G., & Renesse, R. v. (2016). Bitcoin-NG: A Scalable Blockchain Protocol. *13th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation*. SANTA CLARA, CA.

Fadayi, A., Gorji, M., & Samiee, R. (2021). Identifying the components of smart sustainable development in the field of urban management. *Journal of Studies in Entrepreneurship and Sustainable Agricultural Development*, *8*(3), 19-34. doi:10.22069/jead.2021.19229.1498 *[In Persian]*

Fasth, T., Bohman, S., Larsson, A., Ekenberg, L., & Danielson , M. (2020). Portfolio Decision Analysis for Evaluating Stakeholder Conflicts in Land Use Planning. *Group Decision and Negotiation*, 29, 321–343. doi:10.1007/s10726-020-09656-4

Fefer, J. P., De-Urioste Stone, S., Daigle, J., & Silka, L. (2016). *Using the Delphi Technique to Identify Key Elements for Effective and Sustainable Visitor Use Planning Frameworks*. SAGE Open, *6*(2). doi:10.1177/2158244016643141

Foroughi, M., Andrade, B. d., Roders, A. P., & Wang, T. (2023). Public participation and consensus-building in urban planning from the lens of heritage planning: A systematic literature review. *Cities*, 135, 104235. doi:10.1016/j.cities.2023.104235

Fukuyama, F. (2018). Identity: The Demand for Dignity and the Politics of Resentment. New York: Farrar, Straus and Giroux.

Fung, A., Graham, M., & Weil, D. (2008). *Full Disclosure: The Perils and Promise of Transparency* (Reprint ed.). Cambridge: Cambridge University Press.

Gadekallu, T. R., & et al. (2021). Blockchain for Edge of Things: Applications, Opportunities, and Challenges. *arXiv*, 2110.05022. doi:10.48550/arXiv.2110.05022

Gheisari, N., Zaker Esfahani, A., & Jalalzadeh , V. (2022). Developmental Instability in the Islamic Republic of Iran, Elite Consensus, Participatory Processes, Decentralization. *Iranian Pattern of Progress*, *10*(1), 7-27. DOR:20.1001.1.23295599.1401.10.1.7.1 *[In Persian]*

Gilad, Y., Hemo, R., Micali, S., Vlachos, G., & Zeldovich, N. (2017). Algorand: Scaling Byzantine Agreements for Cryptocurrencies. *SOSP '17: Proceedings of the 26th Symposium on Operating Systems Principles* (pp. 51 - 68). Shanghai China: Association for Computing Machinery, New York. doi:10.1145/3132747.3132757

Haber, S., & Stornetta, W. S. (1991). How to time-stamp a digital document. *Journal of Cryptology*, *3*(2), 99–111. doi:10.1007/BF00196791

Head, B. W. (2022). *Political Governance of Wicked Problems*. Cham: Palgrave Macmillan. doi:10.1007/978-3-030-94580-0_3

Herzog, R. H., Degkwitz, T., & Verma, T. (2025). The Urban Model Platform: A Public Backbone for Modeling and Simulation in Urban Digital Twins. *arXiv*, 2506.10964. doi:10.48550/arXiv.2506.10964

Higgins, S. (2022, Dec 10). *Intel Unveils 'Sawtooth Lake' Proposal at Hyperledger Meeting*. Retrieved from CoinDesk: https://www.coindesk.com/markets/2016/04/07/intel-unveils-sawtooth-lake-proposal-at-hyperledger-meeting

Hollands, R. G. (2015). Critical interventions into the corporate smart city. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, *8*(1), 61–77. doi:10.1093/cjres/rsu011

Hosseini, S., Laali Niyat, I., & Heidarinia, S. (2020). Analysis of the Pattern of Urban Smart Management, a New Way to Improve Urban Governance. *Geographical Urban Planning Research (GUPR)*, *7*(4), 743-762. doi:10.22059/jurbangeo.2019.276474.1064 *[In Persian]*

Hosseinpour, F. (2025, 05 18). *What is a consensus algorithm? — What role does it play in blockchain technology*? Retrieved from Programstore Magazine: https://blog.programstore.ir/الگوریتم-اجماع-چیست *[In Persian]*

Hua, W., & et al. (2022). Blockchain technologies empowering peer-to-peer trading in multi-energy systems: From advanced technologies towards applications. *IET Smart Grid*, *5*(4), 219-222. doi:10.1049/stg2.12081

Hussein, Z., Salama, M. A., & El-Rahman , S. A. (2023). Evolution of blockchain consensus algorithms: a review on the latest milestones of blockchain consensus algorithmsZiad Hussein. *Cybersecurity*, 6, 30. doi:10.1186/s42400-023-00163-y

Iberdrola. (2025, 2). *Blockchain technology at the service of urban management*. Retrieved 2 2025, from Blockchain and urban management: https://www.iberdrola.com/about-us/our-innovation-model/blockchain-for-smart-cities-urban-management

IMNA News Agency. (2024, 10 20). *Artificial Intelligence Governance: The Key to Changes in Urban Management*. Retrieved from IMNA News Agency: https://imna.ir/x8QbB *[In Persian]*

Investopedia Team. (2023, Aug 18). *Proof of Elapsed Time (PoET) Definition, Purposes, Vs. PoW*. Retrieved from Investopedia: https://www.investopedia.com/terms/p/proof-elapsed-time-cryptocurrency.asp

Jiang , H., Geertman, S., & Witte, P. (2021). Smartening urban governance: *An evidence-based. Reg Sci Policy Pract*, 13, 744–758. doi:10.1111/rsp3.12304

Jones. (2025, April 17). *Leveraging Blockchain for Supply Chain Transparency: Case Studies and Insights*. Retrieved from BLOCKCHAIN APP FACTORY: https://www.blockchainappfactory.com/blog/leveraging-blockchain-supply-chain-transparency-case-studies

Kahneman, D. (2013). *Thinking, Fast and Slow*. New York: Farrar, Straus and Giroux.

Kapucu, N., & Hu, Q. (2020). *Network Governance: Concepts, Theories, and Applications*. Oxfordshire, England: Routledge.

Karantias, K., Kiayias, A., & Zindros, D. (2019). Proof-of-Burn. Retrieved from Cryptology ePrint Archive: https://eprint.iacr.org/2019/1096.pdf

King, S., & Nadal, S. (2012). Ppcoin: Peer-to-peer crypto-currency with proof-of-stake. White Paper, 1-6. Retrieved from https://procon.bg/article/ppcoin-peer-peer-crypto-currency-proof-stake

Kolb, J., Abdelbaky, M., Katz, R. H., & Culler, D. E. (2020). Core Concepts, Challenges, and Future Directions in Blockchain: A Centralized Tutorial. *ACM Comput. Surv*, *53*(1), 39. doi:10.1145/3366370

Korherr, P., Kanbach, D. K., Kraus, S., & Mikalef, P. (2022). *From intuitive to data-driven decision-making* in digital transformation: A framework of prevalent managerial archetypes. Digital Business, 2, 100045. doi:10.1016/j.digbus.2022.100045

Koutsikouri, D., Hylving, L., Bornemark, J., & Lindberg, S. (2024). *Human judgment in the age of automated decision-making systems*. In Research Handbook on Artificial Intelligence and Decision Making in Organizations (pp. 392 (144–159)). Cheltenham, United Kingdom: Edward Elgar. doi:10.4337/9781803926216.00017

Krawitz, A. (2019, September 4). *Tracr Aiming to Be More Than a Blockchain*. Retrieved from RAPAPORT: https://rapaport.com/news/tracr-aiming-to-be-more-than-a-blockchain/

Kurz, S., Maaser, N., & Mayer, A. (2023). *Advances in Collective Decision Making*. Cham: Springer. doi:10.1007/978-3-031-21696-1

Lamport, L. (1982). The Byzantine Generals Problem. *ACM Transactions on Programming Languages and Systems (TOPLAS)*, *4*(3), 382 - 401. doi:10.1145/357172.357176

Larimer, D. (2022, Oct 02). *Delegated Proof Of Stake (DPoS)*. Retrieved from GeeksforGeeks: https://www.geeksforgeeks.org/delegated-proof-of-stake/

Lartey, D., & Law, K. M. (2025). Artificial intelligence adoption in urban

planning governance: A systematic review of advancements in decision-making, and policy making. *Landscape and Urban Planning*, 258, 105337. doi:10.1016/j.landurbplan.2025.105337

Li, Y., Li, G., & Kou, G. (2022). Consensus reaching process in large-scale group decision making based on opinion leaders. *Procedia Computer Science*, 199, 509-516. doi:10.1016/j.procs.2022.01.062

Liu, Y., Lu, Q., Zhu, L., Paik, H.-Y., & Staples, M. (2023). A systematic literature review on blockchain governance. *Journal of Systems and Software*, 197, 111576. doi:10.1016/j.jss.2022.111576

Lotfi, S., & Mohammedi Kazem Abadi, L. (2021). Identification and analysis of drivers affecting the development of urban management with a Scenario-based Approach (Case study: Arak city). *Sustainable Development of Geographical Environment*, *3*(5), 87-105. doi:10.52547/sdge.3.5.87 *[In Persian]*

McFarlane, G. (2024, Apr 14). *Inside Intel: A Look at the Mega Chipmaker*. Retrieved from Investopedia: https://www.investopedia.com/articles/markets/100214/inside-intel-look-mega-chipmaker.asp

Mello, P. A. (2021). *Research Design*. In P. A. Mello, Qualitative Comparative Analysis: An Introduction to Research Design and Application. Washington, D.C.: Georgetown University Press.

Mirmohammadi, F., & jelokhni-niaraki, m. (2018). Applying fuzzy majority C approach for determining optimal sites for urban footbridge (A case Study in district #1 of Mashhad). *Journal of Research and Urban Planning*, *9*(33), 137-148. *[In Persian]*

Moore, A. A. (2016). Decentralized decision-making and urban planning: A case study of density for benefit agreements in Toronto and Vancouver. *Canadian Public Administration*, *59*(3), 425-447. doi:10.1111/capa.12179

Moroni, S., & Chiffi, D. (2022). Uncertainty and Planning: Cities, Technologies and Public Decision-Making. *Perspectives on Science*, *30*(2), 237–259. doi:10.1162/posc_a_00413

Mosaddegh, N., Nazmfar, H., & Norouzi Sani, P. (2021). Feasibility study of smart city realization in Ardabil city based on smart growth indicators. *Geography (Regional Planning)*, *10*(40), 778-794. DOR:20.1001.1.22286462.1399.10.40.2.1 *[In Persian]*

Motepalli, S., & Jacobsen, H.-A. (2021). Reward Mechanism for Blockchains Using Evolutionary Game Theory. *arXiv*, 2104.05849. doi:10.48550/arXiv.2104.05849

Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. Retrieved from bitcoin.org: https://bitcoin.org/bitcoin.pdf

Nash, J. F. (1950). Equilibrium points in n-person games. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, *36*(1), 48-49. doi:10.1073/pnas.36.1.48

North, D. C. (1990). *Institutions, Institutional Change and Economic Performance* (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.

Pacchi, C. (2018). Epistemological critiques to the technocratic planning model: the role of Jane Jacobs, Paul Davidoff, Reyner Banham and Giancarlo De Carlo in the 1960s. *City, Territory and Architecture*, 5, 17. doi:10.1186/s40410-018-0095-3

Pandey, E. (2018, Sep 26). *Blockchain in the supply chain*. Retrieved from axios: https://www.axios.com/2018/09/26/blockchain-ibm-walmart-food-trust-supply-chain

Pigou, A. C. (2013). *The Economics of Welfare: Volume I*. New York : Cosimo Classics.

Pourahmad, A., Ziari, K., Hataminejad, H., & Parsa, S. (2018). Explanation of Concept and Features of a Smart City. The Monthly Scientific Journal of Bagh-e Nazar, *15*(58), 5-26. *[In Persian]*

Prigogine, I., & Stengers, I. (1985). *Order Out of Chaos* (New Ed ed.). Waukegan, IL, US: FONTANA PRESS.

Proof of burn. (2018, Jan 15). Retrieved from bitcoin.it: https://en.bitcoin.it/wiki/Proof_of_burn

Protocol Labs. (2017, July 19). *Filecoin: A Decentralized Storage Network*. Retrieved from filecoin: https://filecoin.io/filecoin.pdf

Pueyo, J. M. (2025, January 1). *Smart contracts for participatory budgeting*. Retrieved from CRYPTO BOOST NEWS: https://www.cryptoboostnews.com/posts/smart-contracts-for-participatory-budgeting

Putnam, R. D. (1995). Bowling Alone: America's Declining Social Capital. *Journal of Democracy*, *6*(1), 65-78. doi:10.1353/jod.1995.0002

Ragin, C. C. (1998). The Logic of Qualitative Comparative Analysis. *International Review of Social History*, *43*(SUPPLEMENT 6: new methods for social history), 105-124.

Ragin, C. C. (2008). *Redesigning Social Inquiry: Fuzzy Sets and Beyond* (Illustrated ed.). Chicago, Illinois: University of Chicago Press.

Rajabi Jurshari, M., Amir Azodi, T., Sarvar, R., & Tavakoli Nia, J. (2023). Evaluation of the realization of the smart city with the emphasis on the quality of urban life. Case Study: District 2 of Tehran. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, *23*(70), 487-504. doi:10.61186/jgs.23.70.487 *[In Persian]*

Rawls, J. (2020). *A Theory of Justice* (2nd-Kindle ed.). Cambridge, Massachusetts : Belknap Press: An Imprint of Harvard University Press.

Rehmani, M. H. (2021). *Blockchain Consensus Algorithms*. Cham: Springer. doi:10.1007/978-3-030-71788-9_4

Rhodes, R. A. (2007). Understanding Governance: Ten Years On. *Organization Studies*, *28*(8), 1243-1264. doi:10.1177/0170840607076586

Rida, A. (2024, OCT 28). *Blockchain in Smart Cities: A Path to Environmental Sustainability*? Retrieved from EARTH.ORG: https://earth.org/blockchain-in-smart-cities-a-path-to-environmental-sustainability/

Rihoux, B., & Ragin, C. C. (Eds.). (2009). *Configurational Comparative Methods*. Thousand Oaks, California: SAGE Publications, Inc. doi:10.4135/9781452226569

Roig Tierno, N., Gonzalez Cruz, T. F., & Llopis Martinez, J. (2017). An overview of qualitative comparative analysis. *Journal of Innovation & Knowledge*, *2*(1), 15-23. doi:10.1016/j.jik.2016.12.002

Russell, S. (2019). Human Compatible: Artificial Intelligence and the Problem of Control. New York: Viking.

Rutten, R. (2024). *The Ragin revolution. In R. Rutten, Qualitative Comparative Analysis* (pp. 22–33). Cheltenham, United Kingdom: Edward Elgar Publishing. doi:10.4337/9781839104527.00007

Saeed, N., Wen, F., & Afzal, M. Z. (2024). Decentralized peer-to-peer energy trading in microgrids: Leveraging blockchain technology and smart contracts. *Energy Reports*, 12, 1753-1764. doi:10.1016/j.egyr.2024.07.053

Sajadian, M., Firoozi, M., & PourAhmad, A. (2022). Systematic review of the process of smart city studies in scientific societies in Iran. *Journal of Future Cities Vision*, *3*(1), 19-41. *[In Persian]*

Salimitari, M., Chatterjee, M., & Fallah, Y. P. (2020). A survey on consensus methods in blockchain for resource-constrained IoT networks. *Internet of Things*, 11, 100212. doi:10.1016/j.iot.2020.100212

Schwarzer, R., & Jerusalem, M. (1995). *Generalized Self-Efficacy scale*. In J. Weinman, S. C. Wright, & M. Johnston, Causal and control beliefs (pp. 35-37). Windsor, UK: NFER - Nelson.

Shahat Osman , A. M., & Elragal, A. (2021). Smart Cities and Big Data Analytics: A Data-Driven Decision-Making Use Case. *Smart Cities*, *4*(1), 286-313. doi:10.3390/smartcities4010018

Sharma, P. (2020). Opportunities and struggles of decentralized governance reform for urban municipalities in India. *World Development Perspectives*, 17, 100174. doi:10.1016/j.wdp.2020.100174

Shen, C., & Pena-Mora, F. (2018). Blockchain for Cities—A Systematic Lit-

erature Review. *IEEE Access*, 6, 76787-76819. doi:10.1109/ACCESS.2018.2880744

Shmelev, S. E. (Ed.). (2020). *Sustainable Cities Reimagined*. NewYork: Routledge.

Singh, J., Sajid, M., Gupta, S. K., & Haidri, R. A. (2022). *Artificial Intelligence and Blockchain Technologies for Smart City*. In Intelligent Green Technologies for Sustainable Smart Cities (pp. 317-330). Hoboken, New Jersey: WILEY. doi:10.1002/9781119816096.ch15

Slomp, A. (2024). *Overcoming Challenges in Municipal Decision-Making for Urban Greenery Implementation*. Master thesis, D.A. Teigiserová (mentor), D.F.J. Schraven, Faculty: Civil Engineering & Geosciences. Retrieved from https://resolver.tudelft.nl/uuid:4f150d-ca-1f91-456a-bddb-bd6fd2a5b0ae

Sniderman, E., & et. al. (2024). A Multidisciplinary Consensus-Building Exercise to Define and Prioritize Topics in Supportive Care of Children With Cancer at a Global Level. *Cancer Medicine*, *13*(21), e70377. doi:10.1002/cam4.70377

Sprenger, J., & Hartmann, S. (2019). *Bayesian Philosophy of Science*. Oxford: Oxford University Press.

Stapper, E. W., Van der Veen, M., & Janssen-Jansen, L. B. (2019). Consultants as intermediaries: Their perceptions on citizen involvement in urban development. *Environment and Planning C: Politics and Space*, *38*(1), 60-78. doi:10.1177/2399654419853583

Stone, D. (2024). *Policy Paradox: The Art of Political Decision Making* (Third- kindle ed.). NewYork: W. W. Norton & Company.

Stufano Melone, M. R., Borgo, S., & Camarda, D. (2025). Digital Twins Facing the Complexity of the City: Some Critical Remarks. *Sustainability*, *17*(7), 3189. doi:10.3390/su17073189

Sunny, F. A., & et al. (2022). A Systematic Review of Blockchain Applications. *IEEE Access*, *10*(6). doi:10.1109/ACCESS.2022.3179690

Surowiecki, J. (2005). *The Wisdom of Crowds*. NewYork: Vintage.

Susskind, L. E. (1999). The Consensus Building Handbook: A Comprehensive Guide to Reaching Agreement. Sage, Los Angeles, Washington DC: Sage.

Swan, M. (2015). *Blockchain*. Sebastopol, California: O'Reilly Media, Inc.

Taghvaei, M., & Shafiei, M. (2022). Analysis of Indicators and Explanation of Strategies for Achieving Urban Intelligence: A Case Study of Isfahan. *Spatial Planning*, *12*(1), 51-80. doi:10.22108/sppl.2022.131222.1621 *[In Persian]*

Thaler, R. H., & Sunstein, C. R. (2009). *Nudge: Improving Decisions About Health, Wealth, and Happiness*. London: Penguin Books.

Vasin, P. (2023, Oct 23). *Blackcoin's Proof-of-Stake Protocol v3.1*. Retrieved from blackcoin.org: https://blackcoin.org/blackcoin-pos-protocol-v3.1-whitepaper.pdf

Viale, R. (2025). Behavioral city. *Frontiers in Built Environment*, 10, 1501853. doi:10.3389/fbuil.2024.1501853

Wang, J., Sikdar, S., Shepherd, T., Zhao, Z., Jiang, C., & Xia, L. (2019). *Practical algorithms for multi-stage voting rules with parallel universes tiebreaking. Proceedings of the Thirty-Third AAAI Conference on Artificial Intelligence and Thirty-First Innovative Applications of Artificial Intelligence Conference and Ninth AAAI Symposium on Educational Advances in Artificial Intelligence* (pp. 2189 - 2196). Honolulu, Hawaii, USA: AAAI Press. doi:10.1609/aaai.v33i01.33012189

Whig, P. (2023). Blockchain Revolution: Innovations, Challenges, and Future Directions. *International Journal of Machine Learning for Sustainable Development*, *5*(3), 16-25.

White, R., Engelen, G., & Uljee, I. (2015). *Modeling Cities and Regions as Complex Systems: From Theory to Planning Applications*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press. doi:10.7551/mitpress/9780262029568.001.0001

Wilkinson, N. (2012). *An Introduction to Behavioral Economics* (2nd ed.). London: Palgrave Macmillan.

WNCT. (2025, Jun 17). *ORIGYN Launches Certification Cost Calculator and Certificate Viewer to Simplify Real-World Asset Tokenization*. Retrieved from EIN Presswire: https://europeanbusinessmagazine.com/accessnewswire/origyn-launches-certification-cost-calculator-and-certificate-viewer-to-simplify-real-world-asset-tokenization/

Wood, G. (2014). Ethereum: A Secure Decentralized Generalised Transaction Ledger. *Ethereum Project Yellow Paper*, 151, 1-32. https://ethereum.github.io/yellowpaper/paper.pdf

Yang, L., Yang, H., Zhao, X., & Yang, Y. (2022). Study on Urban Resilience from the Perspective of the Complex Adaptive System Theory: A Case Study of the Lanzhou-Xining Urban Agglomeration. *International Journal Of Environmental Research and Public Health*, *19*(20), 13667. doi:10.3390/ijerph192013667

Yu, R., Chen, Y., Jin, Y., & Zhang, S. (2025). Evaluating the Impact of Digital Transformation on Urban Innovation Resilience. *Systems*, *13*(1). doi:10.3390/systems13010008

Zabidian Torghi, E. (1403). *Urban planning process for making cities smart in Iran*. Infrastructure studies. Tehran: Islamic Parliament Research Center (IPRC). Retrieved from https://rc.majlis.ir/fa/report/show/1824997 *[In Persian]*

Zabidian Torghi, E. (1403). *Urban planning process for making cities smart in Iran*. Civil and Urban Development Department, Infrastructure Studies Office. Tehran: Monthly magazine of expert reports of Islamic Parliament Research Center (IPRC). doi:10.22034/report.mrc.2025.1403.32.10.20326 *[In Persian]*

Zarandi, S. (2024). An Overview of Comparative Research Methods: Theories, Approaches and Perspectives. *Comparative Studies in Public Administration*, *1*(4), 1-21. doi:10.22098/cpa.2024.14476.1029 *[In Persian]*

Zheng, Y., Hao, Q., Wang, J., Gao, C., Chen, J., Jin, D., & Li, Y. (2024). A Survey of Machine Learning for Urban Decision Making: Applications in Planning, Transportation, and Healthcare. *ACM Computing Surveys*, *57*(4), 1 - 41. doi:10.1145/3695986