Analyzing the Metaverse Ecosystem in Iran: A Modular Approach

1. Fatemeh Parvin
2. Sepehr Ghazinoory ◇
3. Shaghayegh Sahraei
4. Fatemeh Saghafi

Article Type: Review Paper
Vol. 35 | **No.** 3 | **Serial** 99 | Oct. 2025
Received: 2025.12.22
Revised: 2026.02.25
Accepted: 2026.04.29
Published Online: 2026.07.26
Pages: 97-112
P-ISSN: 1027-2690
E-ISSN: 2783-4514

Abstract

Rapid advancements in digital technologies in recent years—particularly in areas such as extended reality, artificial intelligence, blockchain, the Internet of Things (IoT), and network infrastructure—have paved the way for the emergence of a new technological paradigm known as the metaverse. The metaverse is widely conceptualized as the next generation of the Internet, in which physical and virtual environments converge to create persistent, immersive, and interactive digital spaces. Within these environments, users can simultaneously engage in social, economic, cultural, and professional activities through digital representations and virtual platforms.

Although global interest in the metaverse has grown significantly, systematic analyses of the structural components of the metaverse ecosystem remain limited, particularly in developing countries. In Iran, despite the increasing attention given to the metaverse in academic and policy discussions, existing studies remain largely descriptive and have not sufficiently examined the structural and technological foundations required for the development of a metaverse ecosystem.

Against this backdrop, the present study aims to provide a systematic analysis of the metaverse ecosystem in Iran by identifying its key components, evaluating the current state of development across its core domains, and examining the major challenges and policy implications associated with its evolution. To achieve this objective, the study adopts a modular analytical approach that conceptualizes the metaverse ecosystem as a set of interconnected technological modules.

Keywords

Metaverse, Ecosystem, Mirror Worlds, Artificial Intelligence, Internet of Things (IoT), Blockchain, Extended Reality (XR), Lifelogging, Network Infrastructure, Iran, Emerging Technologies.

1. Department of Information Technology Management, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran
fatemeh_parvin@modares.ac.ir
ORCID: 0009-0005-4323-6560

2. ◇ Department of Information Technology Management, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran (Corresponding Author)
ghazinoory@Modares.ac.ir
ORCID: 0000-0002-6761-4694

3. Department of Information Technology Management, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
s.sahraei@modares.ac.ir
ORCID: 0000-0002-7265-8739

4. Department of Industrial Management, University of Tehran, Tehran, Iran
fsaghafi@ut.ac.ir
ORCID: 0000-0003-4843-6885

Cite This Paper: Parvin, F., Ghazinoory, S., Sahraei, Sh., Saghafi, F. (2025). Analyzing the Metaverse Ecosystem in Iran: A Modular Approach. *Rahyaft, 35 (3)*, 97-112. (Persian).

DOI: 10.22034/RAHYAFT.2026.12225.1643

© **The Author(s)**
Publisher: National Research Institute for Science Policy (N.R.I.S.P)

This approach enables a structured analysis of the ecosystem by decomposing it into several core domains while simultaneously identifying the interactions and structural dependencies among them. By applying this framework, the study seeks to move beyond purely descriptive accounts and provide a more integrated understanding of the technological and infrastructural landscape shaping the metaverse in Iran.

Within this modular framework, seven key domains are identified as the principal pillars of the metaverse ecosystem: mirror worlds, artificial intelligence, the Internet of Things (IoT), blockchain, extended reality (XR), lifelogging, and network infrastructure. Each domain represents a critical technological layer that contributes to the development and functionality of metaverse environments. The modular approach enables a systematic evaluation of the current status of each domain, the identification of its specific limitations, and an assessment of how its development influences the overall evolution of the ecosystem.

The study adopts a descriptive–analytical methodology based on a review of academic literature, technological reports, and analyses of Iran's digital infrastructure and technological capabilities. Accordingly, each domain of the metaverse ecosystem is examined in terms of its current stage of development, major technological and institutional challenges, and broader policy implications. This approach provides a comprehensive understanding of the opportunities and constraints associated with the emergence of the metaverse in the Iranian context.

The findings indicate that the metaverse ecosystem in Iran is still in its early stages of development and exhibits significant asymmetry across its various domains. In the domain of mirror worlds, several domestic platforms, including local mapping and navigation services, have begun to develop digital representations of physical environments. These initiatives represent early steps toward the creation of digital twins of urban spaces; however, the development of fully interactive, dynamically updated three-dimensional representations of real-world environments remains limited.

In the domain of artificial intelligence, Iran has developed considerable academic and research capabilities, particularly within universities and research institutions. Nevertheless, several structural constraints hinder the large-scale deployment of AI technologies in emerging digital ecosystems. These constraints include limited access to large-scale datasets, inadequate computational infrastructure, and a persistent gap between academic research and industrial application.

Similarly, the development of the Internet of Things (IoT) has progressed in specific areas, including smart city initiatives, industrial monitoring systems, and energy management solutions. Despite these advances, the broader adoption of IoT technologies continues to face several obstacles, including the absence of standardized platforms, limited interoperability among technological systems, and concerns regarding cybersecurity and data governance.

The blockchain domain likewise exhibits a mixed pattern of development. Although blockchain-related activities, particularly those involving cryptocurrencies and decentralized platforms, have attracted increasing attention in recent years, the absence of clear regulatory frameworks and continuing institutional uncertainty have constrained the broader adoption of blockchain-based applications within digital ecosystems.

In the field of extended reality (XR), encompassing virtual reality, augmented reality, and mixed reality, some progress has been achieved in areas such as digital content production, educational applications, and the gaming industry. However, the expansion of this domain remains constrained by restricted access to specialized hardware, the high cost of XR equipment, and the relatively small domestic market for immersive technologies.

The lifelogging domain, which involves the continuous recording and analysis of personal data through digital devices and wearable technologies, has not yet evolved into a distinct ecosystem in Iran. Although certain elements of lifelogging can be observed in mobile health applications and digital lifestyle platforms, the broader infrastructure and data governance frameworks required to support comprehensive lifelogging systems remain largely underdeveloped.

Among the seven domains examined, network infrastructure emerges as one of the most critical enabling factors for the development of the metaverse ecosystem in Iran. Metaverse

www.rahyaft.nrisp.ac.ir

environments require high-speed connectivity, low-latency networks, advanced cloud computing capabilities, and powerful data centers capable of processing large volumes of real-time data. Although Iran has made notable progress in expanding its communication networks and developing data centers in recent years, the existing infrastructure still falls short of the technical requirements needed to support large-scale metaverse platforms. Limitations in bandwidth capacity, network stability, and access to advanced hardware technologies continue to represent major structural constraints.

The integrated analysis of these seven domains reveals that many of the challenges facing the development of the metaverse in Iran are structural rather than purely technological. These challenges include limitations in digital infrastructure, regulatory ambiguity in emerging technological domains, insufficient investment in advanced technologies, and weak linkages among research institutions, industry, and policymaking bodies. At the same time, the country possesses several important strengths, including a growing digital economy, a relatively strong academic foundation in information technology, and an expanding ecosystem of digital platforms and services.

From a policy perspective, the development of a sustainable metaverse ecosystem in Iran requires a coordinated and multidimensional strategy. Key priorities include strengthening digital and communication infrastructure, supporting innovation in emerging technologies, establishing transparent regulatory frameworks for technologies such as blockchain and personal data management, and fostering closer collaboration among academia, industry, and policymakers. Such measures can facilitate the gradual development of a domestic metaverse ecosystem capable of harnessing the economic, social, and technological opportunities associated with this transformative digital paradigm.

In conclusion, by applying a modular analytical framework to examine seven core technological domains, this study provides a structured and comprehensive assessment of the current state of the metaverse ecosystem in Iran. The findings contribute to the existing literature by offering an integrated perspective on the opportunities, constraints, and policy requirements associated with the development of the metaverse in a developing-country context. Furthermore, the analytical framework and insights presented in this study may serve as a foundation for future research and strategic policymaking in the rapidly evolving field of metaverse-related technologies.

رهیافت

تحلیل بوم‌سازگان فراجهان در ایران: یک رویکرد پودمانی (مدولار)

۱. فاطمه پروین
۲. سپهر قاضی‌نوری ◇
۳. شقایق صحرایی
۴. فاطمه ثقفی

نوع مقاله: ترویجی
دوره ۳۵ | شماره ۳ | پیاپی ۹۹ | مهر ۱۴۰۴
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۰۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۲/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۰۹
تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۵/۰۵/۰۴
صفحات: ۹۷-۱۱۲
شاپای چاپی: ۱۰۲۷-۲۶۹۰
شاپای الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۵۱۴

کلیدواژه‌ها
فراجهان، بوم‌سازگان، دنیای آینه‌ای، هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، زنجیرهٔ بستکی، واقعیت گسترده، ثبت زندگی، زیرساخت شبکه، ایران، فنّاوری نوظهور.

۱. دانشجوی دکتری مدیریت فناوری اطلاعات، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
fatemeh_parvin@modares.ac.ir
ORCID: 0009-0005-4323-6560

۲. ◇ استاد مدیریت فناوری اطلاعات، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران (پدیدآور رابط)
ghazinoory@modares.ac.ir
ORCID: 0000-0002-6761-4694

۳. استادیار مدیریت فناوری اطلاعات، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
s.sahraei@modares.ac.ir
ORCID: 0000-0002-7265-8739

۴. استاد مدیریت صنعتی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
fsaghafi@ut.ac.ir
ORCID: 0000-0003-4843-6885

استناد به این مقاله: پروین، ف.، قاضی‌نوری، س.، صحرایی، ش.، و ثقفی، ف. (۱۴۰۴). تحلیل بوم‌سازگان فراجهان در ایران: یک رویکرد پودمانی (مدولار). *رهیافت، ۳۵ (۳)*، صص. ۱۱۲-۹۷.
DOI: 10.22034/RAHYAFT.2026.12225.1643

ناشر: مؤسسه تحقیقات سیاست علمی کشور
نویسندگان: © حق مؤلف

چکیده

فراجهان به‌عنوان یک فنّاوری نوظهور، در سال‌های اخیر توجه بسیاری از پژوهشگران و کاربران را به خود جلب کرده است. این مقاله با بهره‌گیری از رویکرد بوم‌سازگان پودمانی به تحلیل این پدیده در ایران می‌پردازد؛ در این چهارچوب، فراجهان نه به‌عنوان ساختاری یکپارچه، بلکه مجموعه‌ای از پودمان‌های فنّاورانه مجزا و درعین‌حال به‌هم‌پیوسته تعریف می‌شود که هریک از آن‌ها (به‌مثابهٔ قطعات جورچین بوم‌سازگان) ضمن داشتن کارکرد مستقل، در تعامل با یکدیگر کلِ سامانه را معنا می‌بخشند. بر این اساس، وضعیت هفت پودمان اصلی شامل دنیای آینه‌ای، هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، زنجیرهٔ بستکی، واقعیت گسترده، ثبت زندگی و زیرساخت شبکه بررسی شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که شاخه‌های هوش مصنوعی و زنجیرهٔ بستکی پیشرفت بیشتری داشته‌اند، درحالی‌که پودمان‌هایی مانند دنیای آینه‌ای و زیرساخت شبکه به‌دلیل محدودیت‌های فنی و قانونی هنوز در مراحل ابتدایی هستند. این پژوهش با شناسایی چالش‌هایی همچون ضعف در قوانین حمایتی و زیرساخت‌ها، بر ضرورت توسعهٔ هماهنگ این پودمان‌ها برای شکل‌گیری بوم‌سازگان پایدار تأکید می‌کند.

مقدمه

در چند سال گذشته فراجهان به‌عنوان یکی از تأثیرگذارترین روندهای فنّاورانه در حوزه‌های مختلف ظاهر شده است و با رونمایی پیش‌نمایشی از فراجهان (یا متاورس) توسط مارک زاکربرگ، فرضیه‌ای که از دهه‌های قبل، ظهور آن پیش‌بینی می‌شد، بیش از همیشه تحقق‌یافتنی می‌نماید. به نظر می‌رسد زندگی بشر در آستانهٔ تحولی تاریخی است؛ چنان‌که بسیاری از شرکت‌های عظیم و صاحبان سرمایه به خرید زمین در بسترهای دنیاهای مجازی‌ای چون دیسِنترالَند[1]، سَندباکس[2]، کریپتو وُکسِلز[3] و ... روی آورده‌اند (Yemenici, 2022). مک‌کینزی پیش‌بینی می‌کند که تا سال ۲۰۳۰، بیش از نیمی از رویدادهای زنده در فراجهان برگزار خواهند شد، این فنّاوری بیش از ۸۰ درصد اقتصاد را تحت تأثیر قرار خواهد داد، و بیشتر فعالیت‌های آموزشی، توسعه‌ای و دیگر فعالیت‌های تعاملی ممکن است در داخل فراجهان انجام شوند، که بیش از ۵ تریلیون دلار ارزش افزوده ایجاد خواهد کرد (Coccia & Watts, 2020).

فراجهان یک فضای رقمی (دیجیتال) بزرگ‌مقیاس و قابل تعامل است که از جهان‌های مجازی سه‌بعدی تشکیل شده و به‌طور هم‌زمان و پایدار توسط تعداد نامحدودی از کاربران و مشارکت‌کنندگان تجربه می‌شود. این فضا تجربه‌ای ارتقایافته ارائه می‌دهد که نتیجهٔ هم‌آفرینی خلاقانه است (Wei & Xiaoyu, 2025). در واقع فراجهان یک فضای واقعیت مجازی تعریف شده که در آن کاربران می‌توانند با محیط رایانه‌ای تولیدشده و دیگر کاربران تعامل داشته باشند و به‌عنوان مجموعه‌ای از بن‌سازه‌ها و ساختارهای رقمی شناخته می‌شود که هر ساختار، یک جهان مستقل با محتوای منحصربه‌فرد، کاربران مشارکت‌کننده و قابلیت‌های خاص خود را ارائه می‌دهد. بنابراین، فراجهان فرصت‌های گسترده‌ای برای نوآوری‌های رقمی فراتر از رسانه‌های اجتماعی یا بازی‌های رایانه‌ای سنتی فراهم می‌کند (Schöbel & Leimeister, 2023). به‌تازگی، بسیاری از شرکت‌ها روایت جدیدی برای ایجاد فراجهان و ارائهٔ تجربه‌ای فریبنده به مصرف‌کنندگان خود اتخاذ کرده‌اند که علاقهٔ زیادی را در سراسر جهان برانگیخته است (Bale et al., 2022)؛ شرکت متا یا فیسبوک سابق با رویکردی نوآورانه در توسعهٔ فراجهان، یک جهان مجازی سه‌بعدی ایجاد می‌کند که کاربران بتوانند با حفظ هویت رقمی و سابقهٔ پرداخت‌های خود، به‌صورت یکپارچه در آن حضور داشته باشند. شرکت دیسنترالند به کاربران امکان می‌دهد تا با ابزارهای موجود، تجربیات مجازی خود را به‌طور کامل شخصی‌سازی کنند، بدون اینکه اطلاعات آن‌ها ازسوی اشخاص ثالث ذخیره یا مدیریت شود؛ در این بن‌سازه کاربران همچنین می‌توانند برای شکل دادن به تجربیات خود، زمین مجازی خریداری کنند، مهمانی‌ها را میزبانی کنند، فضاها را اجاره کنند، آسمان‌خراش بسازند و هزاران قابلیت جذاب دیگر را در فراجهان داشته باشند. انویدیا (NVIDIA) یک شرکت بسیار مشهور در صنعت بازی است که به‌دلیل واحدهای پردازش گرافیکی خود شناخته می‌شود. باوجوداین، این شرکت با طراحی ابزاری برای تسهیل خلاقیت‌های سه‌بعدی، تحول عظیمی در فراجهان نیز ایجاد کرده و اکنون یکی از معروف‌ترین شرکت‌های فعال در فراجهان است. حتی در شرایط سخت ناشی از انزوای کووید-۱۹ در سراسر جهان که شرکت‌ها مجبور به جست‌وجوی حوزهٔ مجازی همکاری شدند و مدارس، دانشگاه‌ها، سازمان‌ها و دیگر نهادها نیز برای ادامهٔ کارهای روزمره یا برنامه‌ریزی‌شدهٔ خود به کار از راه دور روی آوردند؛ درحالی‌که بن‌سازه‌های فراهمایی برخط موجود تنها امکان همکاری صوتی و تصویری را فراهم می‌کرد، فراجهان می‌توانست درهای تعاملات خاصی را باز کند؛ به‌طور مثال شرکت مایکروسافت با ویژگی جدیدی به نام «Mesh for Microsoft Teams» قدم به فراجهان گذاشت که به کاربران امکان ساخت چهرک‌های مجازی خود را می‌داد (Bale et al., 2022; Microsoft Ignite, 2021) و به آن‌ها امکان می‌داد تا به‌صورت برخط در فراهمایی‌ها شرکت کنند (Roach, 2022). در واقع فراجهان راه‌حلی جذاب برای نهادهایی است که در پی برگزاری جلسات یا فراهمایی‌های جذاب و تعامل از راه دور با مشتریان و همکاران خود هستند. این نوآوری می‌تواند چشم‌انداز ارتباطات و همکاری‌های مجازی را به‌طور کامل تغییر دهد.

فراجهان از طیف وسیعی از فنّاوری‌ها تشکیل شده که شامل هفت شاخهٔ اصلی دنیای آینه‌ای، هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، زنجیرهٔ بستکی، واقعیت گسترده، ثبت زندگی و زیرساخت شبکه است (Ghazinoory et al., 2025). هریک از این فنّاوری‌ها خود دارای بوم‌سازگان مستقل‌اند که به‌عنوان محیط‌هایی یکپارچه و پویا تعریف می‌شوند؛ محیط‌هایی که در آن اجزا و عناصر مختلف با یکدیگر تعامل کرده و برای ارائهٔ خدمات، ایجاد نوآوری و توسعهٔ قابلیت‌ها همکاری می‌کنند. بوم‌سازگان فراجهان در واقع مجموع این فنّاوری‌ها و تعاملات میان آن‌هاست که در کنار هم شبکه‌ای پیچیده و گسترده را تشکیل می‌دهند. همین هم‌پوشانی و تعامل فنّاوری‌ها موجب پیچیدگی زیاد این بوم‌سازگان می‌شود و شناخت کامل آن را دشوار می‌کند (Lee et al., 2024).

اهمیت این موضوع از آن روست که درجهٔ پودمانی بودن یا پیوستگی اجزای یک بوم‌سازگان پیچیده و فنّاورانه، نقش تعیین‌کننده‌ای در مسیر تحول فنّاوری، الگوهای نوآوری، ساختار رقابت و تصمیمات سیاست‌گذاری و سرمایه‌گذاری ایفا می‌کند. بوم‌سازگان‌های با پودمانگی بالا معمولاً امکان ورود بازیگران جدید،

1. Decentraland
2. Sandbox
3. CryptoVoxels

تنوع نوآوری، کاهش ریسک سرمایه‌گذاری و انعطاف‌پذیری بیشتر در برابر عدم قطعیت‌های فنّاورانه را فراهم می‌کنند (Ali et al., 2023). درحالی‌که بوم‌سازگان‌های با پیوستگی شدید، مستعد تمرکز قدرت، قفل‌شدگی فنّاورانه و وابستگی‌های ساختاری هستند که می‌تواند پیامدهای مهمی برای تنظیم‌گری و تخصیص منابع داشته باشد. با توجه به این ویژگی‌ها، برای توسعهٔ بوم‌سازگان فراجهان، باید شناخت و تحلیل دقیقی از آن داشته باشیم. اما باید توجه داشت که بوم‌سازگان فراجهان به‌صورت مستقل عمل نمی‌کند، بلکه برگرفته از دیگر بوم‌سازگان‌های فنّاوری است که هریک به‌تنهایی نقش مهمی در ساختار کلی آن ایفا می‌کنند. برای توسعهٔ این بوم‌سازگان، شناخت دقیق و تحلیل ساختاری آن ضروری است که بتوانیم به این پرسش پاسخ دهیم: «بوم‌سازگان فراجهان در ایران با چه چالش‌های خاصی مواجه است و چه عواملی بر پایه‌سازی بوم‌سازگان فراجهان در ایران تأثیر گذاشته‌اند؟» با وجود گسترش سریع مطالعات مربوط به فراجهان، بخش عمدهٔ ادبیات موجود ماهیتی توصیفی داشته و عمدتاً به معرفی مفاهیم، کاربردها یا روندهای جهانی آن پرداخته‌اند؛ درحالی‌که کمتر پژوهشی به تحلیل ساختاری و منظومه‌ای بوم‌سازگان فراجهان با تمرکز بر شرایط بومی کشورها پرداخته است. شکاف اصلی ادبیات، نبود چهارچوبی تحلیلی برای بررسی میزان پودمانگی زیرساخت‌ها، فنّاوری‌ها و تعاملات میان‌فنّاورانه در بسترهای ملی است؛ موضوعی که نقش تعیین‌کننده‌ای در امکان‌پذیری توسعه و نحوهٔ ورود کشورها به این فضا دارد. بنابراین، سهم اصلی این مقاله ارائهٔ تحلیل ساختاری مبتنی بر رویکرد پودمانی برای تبیین وضعیت بوم‌سازگان فراجهان در ایران است. نوآوری مقاله در این است که به‌جای ارائهٔ توصیفی از روندها یا کاربردها، تلاش می‌کند با تفکیک پودمانی فنّاوری‌های سازندهٔ فراجهان، سطح وابستگی‌ها، چالش‌ها و نقاط ضعف زیربنایی بوم‌سازگان ملی را شناسایی کند و مسیرهای ممکن برای توسعه را ارائه دهد. این رویکرد می‌تواند خلأ مهم ادبیات را در حوزهٔ تحلیل بومی بوم‌سازگان فراجهان پر کرده، مبنایی برای تصمیم‌سازی سیاستی و سرمایه‌گذاری هدفمند فراهم کند. ازاین‌رو، در مقالهٔ حاضر، این رویکرد در مورد کشورمان ایران پیاده‌سازی می‌شود تا چالش‌های این مسیر شناسایی و نحوهٔ تطبیق و پیاده‌سازی فنّاوری‌های مرتبط با بوم‌سازگان فراجهان در این محیط مشخص و راهکارهایی برای توسعهٔ آن ارائه شود. این تحلیل نه‌تنها به درک تعاملات فنّاوری‌های مختلف کمک می‌کند، بلکه می‌تواند به مدیریت بهتر این شبکه و ایجاد یک مدل بوم‌سازگان فراجهان مناسب و منسجم در ایران منجر شود.

معرفی فراجهان و فنّاوری‌های تشکیل‌دهندهٔ آن

با وجود مقالات و اسنادی که دربارهٔ فراجهان منتشر شده، هنوز تعریف علمی و مشخصی برای آن وجود ندارد؛ اما با پیشرفت سریع دانش مرتبط با فراجهان و گسترش بحث‌ها در جوامع علمی، ارائهٔ تعریفی عمومی و پذیرفته‌شده ضروری است تا ارتباط و همکاری میان دانشمندانی که روی این موضوع مشترک کار می‌کنند، آسان‌تر شود (Majumder & Dey, 2024). واینبرگر فراجهان را شبکهٔ به‌هم‌پیوسته‌ای از جهان‌های مجازی فراگیر می‌داند که تا حدی با دنیای فیزیکی هم‌پوشانی دارد و آن را تقویت می‌کند. این جهان‌های مجازی به کاربران که با چهرک‌ها نمایان می‌شوند، امکان اتصال و تعامل با یکدیگر را می‌دهند تا محتوای تولیدشده توسط کاربران را در محیطی فراگیر، مقیاس‌پذیر، هم‌زمان و پایدار تجربه و مصرف کنند (Riva & Wiederhold, 2022).

هاگسون بیان می‌کند که در قلب فراجهان، چشم‌انداز اینترنت فراگیر به‌مثابهٔ قلمروی بزرگ، یکپارچه، پایدار و مشترک قرار دارد. آنان فراجهان را محیط مجازی ترکیبی فیزیکی و رقمی در نظر می‌گیرند که با همگرایی بین اینترنت و فنّاوری‌های وب و واقعیت توسعه‌یافته (XR) تسهیل می‌شود و بیان می‌کنند که فراجهان شامل فضاهای مجازی پایدار، مشترک، هم‌زمان و سه‌بعدی است که به یک جهان مجازی واحد پیوسته‌اند (Hodgson, 2019). متیو بال، یکی از اندیشمندان برجستهٔ فراجهان، در کتاب بال که پیش‌تر «پیش‌نویس فراجهان» او در رسانه‌های عمومی مانند فایننشال تایمز (Weinberger, 2022) و واشینگتن پست (Lee et al., 2024) پوشش داده شده بود؛ بیان کرده که «فراجهان شبکه‌ای بزرگ و مقیاس‌پذیر از جهان‌های مجازی سه‌بعدی و هم‌زمان است که به‌طور پیوسته توسط تعداد نامحدودی از کاربران با حس فردی از حضور و با تداوم داده‌ها، مانند هویت، تاریخچه، حقوق، اشیا، ارتباطات و پرداخت‌ها تجربه می‌شود» (Bale et al., 2022). دیویس و همکارانش اشاره کردند که فراجهان‌ها جهان‌های مجازی سه‌بعدی و فراگیرند و از کلمهٔ جمع، فراجهان‌ها استفاده کردند و توضیح دادند که یک فراجهان خاص می‌تواند به‌عنوان یک دنیای مجازی خاص تعریف شود که شامل فضای مجازی یا محیط‌های جهان مجازی است که توسط دیگران شناخته می‌شود (Davis et al., 2009). همچنین با توجه به ماهیت فراجهان، وانگ و همکاران نوشتند: «فراجهان فضای مشترک مجازی کاملاً غوطه‌ور، فرامکانی – زمانی و خودپایداری در نظر گرفته می‌شود که جهان‌های فیزیکی، انسانی و رقمی را در هم می‌آمیزد» (Liao, 2022).

نینگ و همکاران نیز تأکید می‌کنند: «فراجهان تجربه‌ای همه‌جانبه براساس فنّاوری واقعیت افزوده ارائه می‌دهد، تصویری آینه‌ای از دنیای واقعی براساس فنّاوری دوقلوی رقمی ایجاد می‌کند» (Wang et al., 2023) و نویسندگان دیگر (Ball, 2022; Coogan, 2021; Mystakidis, 2022) نیز از فنّاوری‌های فراجهان سخن می‌گویند، هر فنّاوری را یک جهان در نظر می‌گیرند و بر این نکته تأکید

دارند که اتصال این جهان‌های مجازی به یکدیگر ضروری است و قابلیت همکاری بین فنّاوری‌های مختلف، یکی از ویژگی‌های اصلی فراجهان است؛ همچنین دیونیسیو و همکاران قابلیت همکاری بین فنّاوری‌های مختلف به‌عنوان فنّاوری‌های مستقل را «توانایی سامانه‌ها یا بن‌سازه‌های مختلف برای تبادل اطلاعات یا تعامل بدون اختلال و در صورت امکان به‌صورت شفاف» در فراجهان تعریف کرده‌اند (Dionisio et al., 2013). به‌این‌ترتیب، مطالعات مختلف طیف وسیعی از فنّاوری‌ها را برای فراجهان از جنبه‌های مختلف بررسی کرده‌اند و مؤلفه‌ها و فنّاوری‌های فعال‌کننده را برای فراجهان پیشنهاد داده‌اند (جدول ۱).

جدول ۱. مؤلفه‌ها و فنّاوری‌های فعال‌کنندهٔ فراجهان

عنوان	اجزا و فنّاوری‌های توانمندساز	منابع
پروژهٔ آینده‌نگری عمومی بین‌صنعتی	ثبت زندگی، واقعیت افزوده، جهان‌های مجازی، جهان‌های آینه‌ای	Smart et al. (2007)
فراجهان: بررسی، روندها، بوم‌سازگان خط لولهٔ جدید و مسیرهای آینده	(۱) سخت‌افزار و تجهیزات؛ (۲) چهارچوب‌ها، کتابخانه‌ها و بن‌سازه‌ها؛ (۳) مدل‌سازی چهرک و شیء؛ (۴) پرداز زدن محیط؛ (۵) جلسات کاربر و احراز هویت؛ (۶) تعامل کاربر با کاربر؛ (۷) تعامل کاربر با کسب‌وکار؛ و (۸) از نظر موضوعات مرتبط و جنبه‌های مختلف فنّاوری‌های مرتبط با فراجهان (الف) هوش مصنوعی؛ (ب) زنجیرهٔ بستکی؛ (ج) شبکه‌سازی؛ (د) محاسبات؛ (ه) کسب‌وکار؛ (و) حریم خصوصی و امنیت؛ و (ز) اخلاق.	Sami et al. (2024)
مرور کلی: نقشهٔ راه فنّاوری روند آیندهٔ فراجهان بر پایهٔ اینترنت اشیا، زنجیرهٔ بستکی، هوش مصنوعی و فعالیت‌های فراجهانی در حوزهٔ پزشکی	زنجیرهٔ بستکی، هوش مصنوعی، اینترنت اشیا و دوقلوهای رقمی	Mozumder et al., (2022)
بررسی فراجهان: جدیدترین فنّاوری‌ها، کاربردها و چالش‌ها	◈ زیرساخت شبکه: زیرساخت شبکه و ارتباطات مورد نیاز فراجهان ◈ مدیریت فنّاوری: فنّاوری‌های مرتبط با مدیریت و کنترل محیط فراجهان ◈ فنّاوری‌های اصلی مشترک: فنّاوری‌های اصلی، از جمله محاسبات ابری و هوش مصنوعی ◈ اتصال اشیاء واقعیت مجازی: فنّاوری‌های مرتبط با اشیا و ابزارهایی که به فراجهان متصل‌اند ◈ همگرایی واقعیت مجازی: فنّاوری‌های مورد نیاز برای ادغام جهان‌های واقعی و مجازی در فراجهان	Wang et al. (2023)
کلان‌داده در تقابل با فراجهان: یک نظرسنجی	کلان‌داده، هوش مصنوعی (AI)، واقعیت مجازی (VR)، واقعیت افزوده (AR)، واقعیت ترکیبی (MR) و سایر فنّاوری‌هایی که تفاوت بین تعامل برخط و واقعی را کاهش می‌دهند.	Sun et al., (2022)
فراتر از نقشه‌برداری: گسترش نقش نقشه‌برداران به طراحان رابط کاربری در فراجهان با استفاده از واقعیت مجازی، واقعیت افزوده و واقعیت ترکیبی	واقعیت توسعه‌یافته (XR)، شامل واقعیت مجازی (VR)، واقعیت افزوده (AR) و واقعیت ترکیبی (MR)	Tsou and Mejia (2023)
توسعهٔ طبقه‌بندی صنعت-خدمات بن‌سازه فراجهان	واقعیت مجازی، واقعیت افزوده و دوقلوی رقمی	Yun and Leem (2021)
مروری بر تعاریف، معماری، کاربردها، چالش‌ها، مسائل، راه‌حل‌ها و روندهای آینده فراجهان	زنجیرهٔ بستکی، واقعیت افزوده و واقعیت مجازی، هوش مصنوعی، بازسازی سه‌بعدی، اینترنت اشیا، محاسبات لبه	Al-Ghaili et al. (2022)
بررسی فراجهان: مبانی، امنیت و حریم خصوصی (سبز)	واقعیت گسترده، دوقلوهای رقمی، شبکه‌سازی، رایانش فراگیر، هوش مصنوعی، زنجیرهٔ بستکی	Wang et al. (2022)
نقش هوش مصنوعی در فنّاوری آینده	شبکه‌های عصبی، الگوریتم‌های ژنتیک، هوش مصنوعی نمادین، یادگیری عمیق، یادگیری ماشین کوانتومی، یادگیری تقویتی سلسله‌مراتبی، یادگیری عمیق بیزی، محاسبات عاطفی، یادگیری ماشین خودکار (AutoML)، شبکه‌های مولد تخاصمی (GAN)	Kayid (2020)

عنوان	اجزا و فنّاوری‌های توانمندساز	منابع
هر آنچه باید دربارهٔ فراجهان بدانید: بررسی کاملی دربارهٔ تکینگی فنّاوری، بوم‌سازگان مجازی و دستور کار تحقیقاتی	واقعیت توسعه‌یافته، تعامل کاربر (تعامل انسان و رایانه)، هوش مصنوعی، بلاک چین، چشم‌انداز رایانه، اینترنت اشیا و رباتیک، محاسبات لبه و ابری و شبکه‌های موبایل آینده	Thornhill (2022)

بااین‌حال، در آخرین دسته‌بندی‌هایی که از فراجهان ارائه شده، فراجهان شامل هفت شاخهٔ اصلی دنیای آینه‌ای، هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، زنجیرهٔ بستکی، واقعیت گسترده، ثبت زندگی، زیرساخت شبکه است (شکل ۱) (Ghazinoory et al., 2025). هریک از این فنّاوری‌ها بوم‌سازگانی مستقل و پویا را تشکیل می‌دهند که به‌عنوان محیطی یکپارچه تعریف می‌شود.

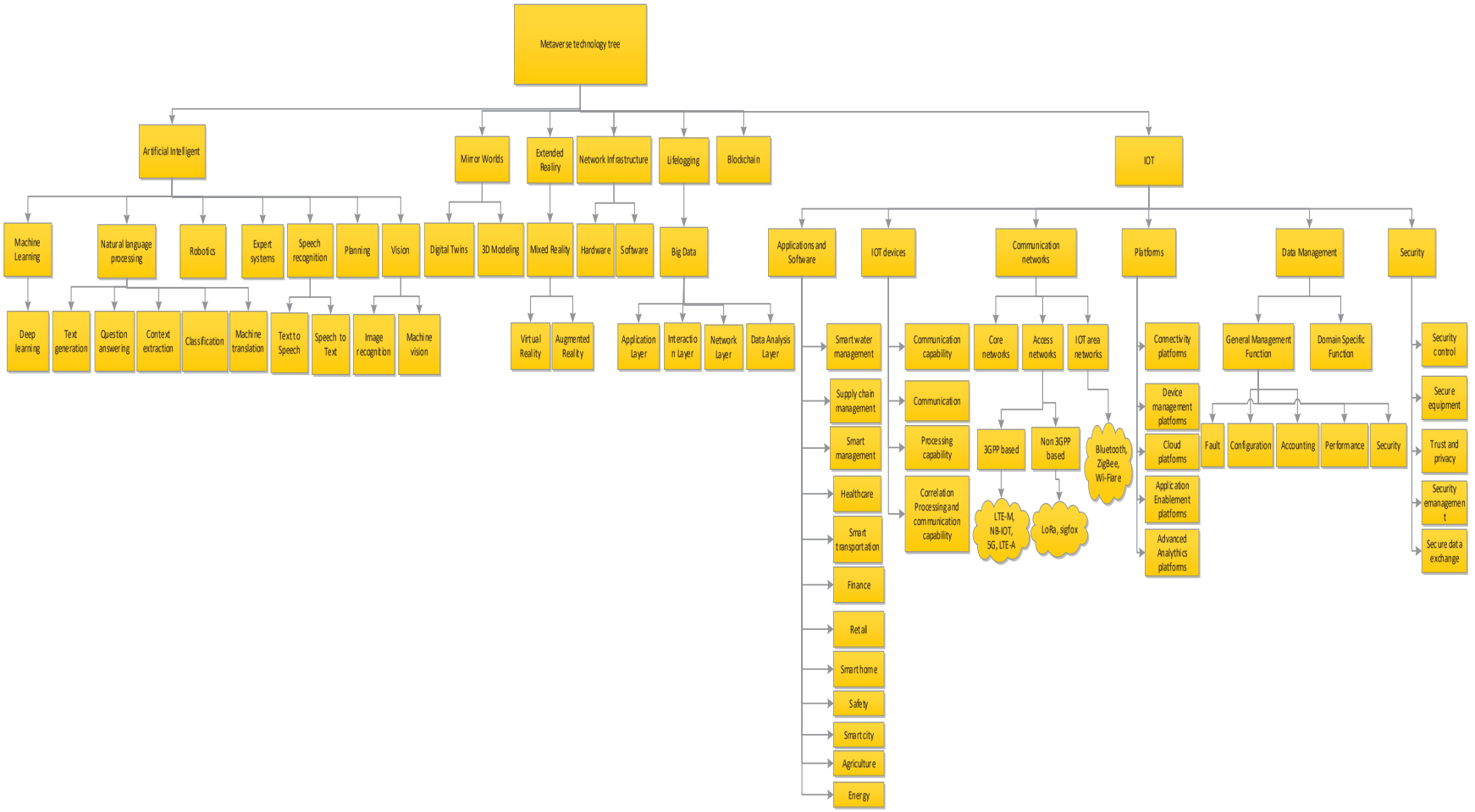
بوم‌سازگان به‌معنای اجتماع بوم‌شناسی عناصر اجزای زنده و اجزای غیرزنده و تعامل آن‌ها با یکدیگر در محیط‌های تعریف‌شده است. طبق ادبیات زیست‌شناسی، بوم‌سازگان مجموعه‌ای پیچیده از روابط بین منابع زنده، زیستگاه‌ها و ساکنان یک منطقه است که هدف نهایی آن‌ها حفظ تعادل پایدار است (Jackson, 2011). پژوهش‌های جامعه‌شناسی بیان می‌کند که ساختار بوم‌سازگان و همچنین روابط متقابل، وابستگی‌ها و شبکه‌های شکل‌گرفته بین اعضای بوم‌سازگان به شکلی قابل توجه بر ایجاد ارزش مشترک بین عناصر اثر می‌گذارد و بستری برای ایجاد تحولات اقتصادی و اجتماعی ایجاد می‌کند (Adner et al., 2017; Hayter, 2016). بوم‌سازگان‌ها توجه فزایندهٔ محققان مدیریت را نیز در دههٔ گذشته به خود جلب کرده‌اند (Jacobides et al., 2018; Shipilov & Gawer, 2020). محققان مدیریت با الهام از مفهوم بوم‌سازگان‌های زیستی، بوم‌سازگان‌ها را از زمان معرفی بوم‌سازگان تجاری ازسوی مور مطالعه کردند (Moore, 1993) و انواع دیگر بوم‌سازگان‌ها متعاقباً مفهوم‌سازی شدند، از جمله بوم‌سازگان نوآوری (Adner, 2006)، بوم‌سازگان کارآفرینی (Isenberg, 2010)، بوم‌سازگان دانش (Yemenici, 2022). این نگاه به بوم‌سازگان از ادبیات مختلفی مانند مطالعات نوآوری، تحقیقات کارآفرینی و ادبیات استراتژی برای درک پویایی و ویژگی‌های منحصربه‌فرد بوم‌سازگان‌ها استخراج می‌شود (Scaringella & Radziwon, 2018). این گسترش تحقیقات بوم‌سازگان به طیف گسترده‌ای از تعاریف و ویژگی‌های مرتبط با مفهوم بوم‌سازگان منجر شده است (Shipilov & Gawer, 2020). مطالعات تخصصی در خصوص بوم‌سازگان در صنعت فنّاوری اطلاعات و ارتباطات نیز انجام شده است. براساس گزارش اتحادیهٔ بین‌المللی مخابرات و ارتباطات (ITU)[1] (۲۰۲۰) سفر رقمی هر کشور برای تحقق تحول رقمی مستلزم شکل‌گیری بوم‌سازگان نوآوری و فنّاوری است. بوم‌سازگان فراجهان مجموعه‌ای از فنّاوری‌ها، بن‌سازه‌ها، خدمات و زیرساخت‌هاست که امکان حضور و تعامل کاربران در یک فضای رقمی سه‌بعدی و گسترده را فراهم می‌کند. این بوم‌سازگان با ترکیب فنّاوری‌های مختلف، تجربه‌ای یکپارچه ایجاد کرده، مرز میان دنیای واقعی و رقمی را کم‌رنگ می‌کند؛ به‌گونه‌ای که کاربران می‌توانند در آن تعامل، کار، بازی و تجارت انجام دهند.

موزومدر و همکاران (۲۰۲۲) بوم‌سازگان مراقبت‌های بهداشتی را در فراجهان بررسی و بیان کردند: فراجهان به‌عنوان رابط برنامهٔ پیش‌بینی‌شده برای نسل بعدی اینترنت (وب ۳٫۰)، آماده است تا مراقبت‌های بهداشتی را متحول کند، امکانات زیادی را برای مراقبت‌های بهداشتی ارائه دهد، از جلسات مبتنی بر چهرک که مشاوره از راه دور را تسهیل می‌کند تا شبیه‌سازی‌های همه‌جانبه که به آموزش پزشکی و تعاملات اجتماعی کمک می‌کند و تعامل بیمار را تقویت کند. برای گسترش پتانسیل کامل بوم‌سازگان فراجهان در مراقبت‌های بهداشتی، چندین عامل حائز اهمیت است؛ این موارد شامل نیاز به نوآوری مداوم فنّاوری‌ها برای اصلاح و گسترش قابلیت‌های فراجهان، نیاز به نظارتی قوی برای اطمینان از امنیت داده‌ها و موارد استفاده اخلاقی و اجرای ساختارهای حاکمیتی مناسب برای هدایت این چشم‌انداز رقمی در حال تکامل است (Mozumder et al., 2022).

ژو (۲۰۲۲) بوم‌سازگان آموزش را در فراجهان بررسی کرد. این مطالعه با تحلیل روند توسعهٔ آموزش هوشمند و مکانیسم فراجهان آموزشی، بوم‌سازگان آموزش هوشمندی طراحی کرد که سه سناریوی ارکستراسیون و تعامل منابع، ترکیب واقعیت مجازی و پرسشگری در فضای همه‌جانبهٔ توسعه‌داده‌شده را دربرمی‌گیرد. در نهایت، بوم‌سازگان آموزش هوشمند با ادغام چهار اکولوژی منابع، تعامل، فضا و همکاری ایجاد شده که از طریق روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) ارزش کاربرد آن تأیید شده است (Zhou, 2022).

خان و همکاران به بررسی تحقق بوم‌سازگان فراجهان برای توسعهٔ کاربرد آن پرداختند و نتیجه گرفتند فراجهان از مرزهای سنتی مکان و زمان فراتر می‌رود و پارادایم‌های جدیدی از تعامل اجتماعی، تجارت و سرگرمی را به وجود می‌آورد. این تغییر به‌سمت دنیای مجازی مستلزم ارزیابی چهارچوب‌های نظارتی و ملاحظات اخلاقی پیرامون مالکیت رقمی، حریم خصوصی و امنیت است. پژوهش آنان، نقطهٔ شروعی برای کاوش عمیق‌تر در پیچیدگی‌های فنّاوری بوم‌سازگان است که جنبه‌های حیاتی بوم‌سازگان فراجهان و نقش

1. International Telecommunication Union



شکل ۱. درخت فنّاوری پیشنهادی فراجهان

محوری آن در ایجاد امکان توسعهٔ برنامه‌های کاربردی قوی در این قلمرو رقمی همه‌جانبه را بررسی می‌کند (Khan et al., 2024). پژوهش‌های پیشین دربارهٔ فراجهان عمدتاً بر بررسی کاربردهای خاص یا بخش‌های جداگانه‌ای از این قلمرو رقمی تمرکز داشته‌اند و از تحلیل جامع بوم‌سازگان فراجهان به‌عنوان شبکه‌ای یکپارچه و پیچیده غافل بوده‌اند.

به‌طور مثال، پژوهش لی و همکاران بر بوم‌سازگان مراقبت‌های بهداشتی در فراجهان متمرکز بوده و چالش‌ها و فرصت‌های این حوزهٔ خاص را بررسی کرده است، اما تعاملات فنّاوری‌های مختلف در بوم‌سازگان فراجهان به‌صورت کلی تحلیل نشده‌اند (Li et al., 2024). ژو نیز به طراحی بوم‌سازگان آموزش در فراجهان پرداخته است، اما فقط به سناریوهای آموزشی و مکانیسم‌های مرتبط با آن توجه کرده و دیدگاه پودمانی برای تحلیل بوم‌سازگان به‌طور جامع مدنظر قرار نگرفته است (Zhou, 2022).

در نتیجه، شکاف اصلی در مطالعات پیشین را می‌توان در نبود تحلیلی جامع از بوم‌سازگان فراجهان، به‌ویژه در بستر ایران، دانست؛ تحلیلی که بتواند فراتر از توصیف فنّاوری، چالش‌های خاص این بوم‌سازگان و عوامل اثرگذار بر پایه‌سازی آن را به‌صورت یکپارچه تبیین کند. ازاین‌رو، پژوهش حاضر در پی آن است که با بررسی بوم‌سازگان فراجهان در ایران، هم چالش‌های ویژهٔ پیش روی این بوم‌سازگان را شناسایی کند و هم عوامل مؤثر بر شکل‌گیری و پایه‌سازی آن را در بستر تعامل میان اجزای مختلف بوم‌سازگان تحلیل کند.

مفهوم پودمانگی در بوم‌سازگان فراجهان

در سال‌های اخیر، مفهوم پودمانگی به‌عنوان یکی از رویکردهای اصلی در طراحی و تحلیل سامانه‌های پیچیده و نوآورانه مطرح شده است. براساس دیدگاه‌های برخی پژوهشگران (Baldwin & Clark, 1997; Sanchez & Mahoney, 1996; Bammens et al., 2025., 2025) استفاده از رابطهای استاندارد میان پودمان‌ها این امکان را فراهم می‌کند که بخش‌های مختلف یک سامانه به‌صورت هم‌زمان و موازی توسعه یابند. به بیان دیگر، هر پودمان می‌تواند مستقل از سایر اجزا توسعه یابد و سپس از طریق واسطهای تعریف‌شده با دیگر بخش‌ها ارتباط برقرار کند. این ویژگی نه‌تنها سرعت توسعه را افزایش می‌دهد، بلکه زمینه را برای نوآوری باز و مشارکت هم‌زمان بازیگران مختلف نیز فراهم می‌کند. از این منظر، شرکت‌ها، توسعه‌دهندگان و گروه‌های مختلف می‌توانند به‌طور مستقل روی اجزای متفاوت سامانه کار کنند و در نهایت، خروجی‌های خود را در یک چهارچوب کلی ادغام نمایند.

بالدوین و کلارک (۱۹۹۷) در مدل‌سازی فرایند طراحی نشان می‌دهند که ساختار پودمانی موجب کاهش پیچیدگی، افزایش قابلیت آزمایش و بهبود سرعت توسعهٔ محصول می‌شود. به‌زعم آنان، تقسیم یک سامانهٔ پیچیده به پودمان‌های مستقل این امکان را فراهم می‌سازد که هر پودمان جداگانه بهینه‌سازی و آزمون شود. بااین‌حال، دستیابی به مزایای کامل پودمانگی مستلزم سرمایه‌گذاری در دانش فنی، تعریف دقیق واسطها و طراحی معماری مناسب است (Sosa et al., 2005). بنابراین، پودمانگی صرفاً به‌معنای تجزیهٔ سامانه به اجزای کوچک‌تر نیست، بلکه مستلزم وجود منطق معماری مشخص و قواعد تعامل میان اجزاست. در غیر این صورت، وابستگی‌های زیاد میان پودمان‌ها می‌تواند استقلال آن‌ها را کاهش دهد و مانع تحقق نوآوری موازی شود. در بوم‌سازگان‌های رقمی و بن‌سازه‌ای، این مسئله اهمیت بیشتری می‌یابد، زیرا چنین بوم‌سازگان‌هایی معمولاً ترکیبی از اجزای مستقل و بخش‌هایی با وابستگی متقابل بالا هستند (Mozheiko, 2024). فراجهان نیز به‌عنوان بوم‌سازگان رقمی پیچیده و ابربن‌سازهٔ چندلایه، از همین منطق پیروی می‌کند. در این بوم‌سازگان، لایه‌های زیرساختی، نرم‌افزاری، محتوایی، خدماتی، اقتصادی و نهادی را می‌توان پودمان‌هایی متمایز تلقی کرد؛ اما درعین‌حال، کارکرد آن‌ها به‌شدت به تعامل با دیگر اجزا وابسته است. همان‌گونه که آندر و کاپور (Adner & Kapoor, 2010) اشاره می‌کنند، موفقیت یک نوآوری یا بن‌سازه نه‌تنها به بلوغ هستهٔ فنّاوری، بلکه به توانایی اجزای مکمل در حل مسائل خود و برقراری تعامل مؤثر با بن‌سازه نیز بستگی دارد. بر این اساس، در فراجهان نیز صرفِ وجود پودمان‌های مستقل برای موفقیت بوم‌سازگان کافی نیست، بلکه هماهنگی میان اجزای مکمل و رفع موانع تعاملی، شرط اساسی خلق ارزش و پایداری بوم‌سازگان به شمار می‌رود (Schöbel & Leimeister, 2023). فراجهان در ایران نه به‌عنوان یک فنّاوری منفرد، بلکه به‌مثابهٔ مجموعه‌ای از اجزای به‌هم‌پیوسته شامل زیرساخت‌های ارتباطی، بن‌سازه‌های نرم‌افزاری، تجهیزات تعاملی، نهادهای تنظیم‌گر، نظام‌های پرداخت و کاربران قابل تحلیل است. از منظر رویکرد پودمانی، هرچه مرزهای این اجزا روشن‌تر، رابطهای آن‌ها استانداردتر و الگوی تعاملشان منسجم‌تر باشد، امکان توسعهٔ تدریجی و مشارکت بازیگران مختلف در پایه‌سازی بوم‌سازگان فراجهان افزایش خواهد یافت (Wang et al., 2022). این مورد در بوم‌سازگان فراجهان ایران نیز قابل تصور است؛ جایی که برخی مؤلفه‌ها، به‌دلیل محدودیت‌های زیرساختی، ضعف استانداردسازی، خلأهای نهادی یا ناهماهنگی میان بازیگران، ممکن است از منطق پودمانی فاصله بگیرند. ازاین‌رو، تحلیل پودمانی بوم‌سازگان فراجهان در ایران نه‌تنها به شناسایی اجزای مستقل و قابل تفکیک کمک می‌کند، بلکه امکان تشخیص گره‌ها، وابستگی‌ها و موانعی را نیز فراهم می‌آورد که بر پایه‌سازی و توسعهٔ این بوم‌سازگان اثرگذارند.

شناخت وضع ایران

فراجهان در ایران که فنّاوری نوظهوری است، با فرصت‌ها و چالش‌هایی همراه است. توجه به آن پس از تغییر نام فیسبوک به «متا» افزایش یافت، اما به‌تدریج کاهش پیدا کرد. این موضوع میان فعالان اقتصادی، علاقه‌مندان فنّاوری و منتقدان اجتماعی مورد بحث است؛ برخی بر فرصت‌های سرمایه‌گذاری تأکید دارند و برخی نگران مسائلی مانند استعمار رقمی، سوءاستفاده از داده‌ها، سانسور و نظارت‌اند. همچنین محدودیت زیرساخت‌هایی مانند اینترنت پرسرعت و تجهیزات پیشرفته از موانع گسترش آن در ایران به شمار می‌رود (Sabzali et al., 2024).

فراجهان در ایران می‌تواند فرصت‌هایی مانند تبادل فرهنگی، دسترسی به آموزش جهانی و حضور در بازارهای بین‌المللی ایجاد کند و بستری برای خلاقیت و تعامل اجتماعی باشد. بااین‌حال، توسعهٔ آن مستلزم سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها، قوانین حمایتی و افزایش آگاهی عمومی است. آیندهٔ فراجهان در ایران به نحوهٔ برخورد دولت، کاربران و فعالان اجتماعی با این فنّاوری بستگی دارد و چالش‌هایی مانند زیرساخت، امنیت اطلاعات و پذیرش عمومی همچنان مطرح است (Moeini, Preprint). بومسازگان فراجهان در ایران هنوز در مرحلهٔ ابتدایی است و به‌صورت گسترده و عملیاتی شکل نگرفته است. تلاش‌های انجام‌شده بیشتر محدود و آزمایشی بوده و کمبود اینترنت پرسرعت، شبکهٔ 5G، تجهیزات پیشرفته، تحریم‌ها و نبود قوانین شفاف از مهم‌ترین موانع توسعهٔ آن هستند. بااین‌حال، برخی فعالان فنّاوری و اقتصادی همچنان در حال بررسی ظرفیت‌های فراجهان در حوزه‌هایی مانند آموزش، تجارت الکترونیک و تبادل فرهنگی‌اند.

بومسازگان دنیای آینه‌ای

بومسازگان دنیای آینه‌ای در ایران هنوز در مراحل ابتدایی است و به ساختار کامل و پیشرفته‌ای نرسیده است. تحقق این فضا به فنّاوری‌هایی مانند اینترنت اشیا، داده‌های مکانی، واقعیت افزوده و پردازش ابری وابسته است (Kim et al., 2023). هرچند در ایران پیشرفت‌هایی در حوزه‌هایی مانند اینترنت اشیا، نقشه‌های بومی و برخی کاربردهای واقعیت افزوده دیده می‌شود، این اقدامات هنوز پراکنده و پروژه‌محورند و به شکل‌گیری یک بومسازگان منسجم منجر نشده‌اند.

یکی از چالش‌های اصلی، ضعف زیرساخت‌های یکپارچه برای داده‌های مکانی، نقشه‌برداری دقیق و شبیه‌سازی سه‌بعدی است. خدماتی مانند «نشان» و «بلد» نیز با وجود پیشرفت، همچنان با نمونه‌های جهانی فاصله دارند. ازسوی‌دیگر، دنیای آینه‌ای در ایران فقط بُعد فنّاورانه ندارد و می‌توان آن را از منظر فرهنگی و اجتماعی نیز بررسی کرد؛ به‌ویژه جایی که بازنمایی‌های فرهنگی و هنری به‌نوعی نقش «بازتاب» جهان واقعی را ایفا می‌کنند.

در مجموع، دنیای آینه‌ای در ایران فعلاً بیشتر در قالب پروژه‌های کوچک، پراکنده و گاه مفهومی دیده می‌شود. توسعهٔ آن مستلزم سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها، استانداردسازی داده‌های مکانی، تقویت مهارت‌های تخصصی، رفع موانع قانونی و گسترش همکاری میان دانشگاه‌ها، شرکت‌ها و نهادهای دولتی است. همچنین توجه هم‌زمان به ابعاد فرهنگی و اجتماعی می‌تواند به شکل‌گیری بومسازگانی پایدارتر کمک کند (Saeidi & Vafa, 2019).

بومسازگان هوش مصنوعی

براساس دو گزارش راهبردی جدید و منابع علمی منتشرشده، بومسازگان هوش مصنوعی در ایران در سال‌های اخیر با رشد چشمگیری در تولید علم و آموزش عالی همراه بوده است، اما این پیشرفت علمی هنوز به همان نسبت به توسعهٔ کاربردی و تجاری این فنّاوری منجر نشده و از این حیث، بومسازگان هوش مصنوعی کشور با نوعی عدم توازن میان ظرفیت علمی و ظرفیت بهره‌برداری اقتصادی و فنّاورانه مواجه است. ایران براساس رتبه‌بندی‌های بین‌المللی، از جمله سایماگو، در برخی شاخه‌های تخصصی همچون شبکه‌های عصبی در جایگاه ششم و در مجموع حوزهٔ هوش مصنوعی در رتبهٔ پانزدهم جهان قرار دارد که این امر نشان‌دهندهٔ جایگاه مناسب کشور در تولید مقالات علمی، فعالیت‌های پژوهشی و توسعهٔ دانش نظری در این حوزه است. دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی فعال، محور اصلی گسترش دانش هوش مصنوعی در کشور به شمار می‌آیند و تعداد زیادی از دانشجویان در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری در گرایش‌های مرتبط با هوش مصنوعی مشغول تحصیل‌اند (Sharif Center for AI Streategy and Transformation, 2024). این وضعیت نشان می‌دهد که ایران از منظر تربیت نیروی انسانی متخصص و انباشت دانش علمی، از ظرفیت درخور توجهی برای ایفای نقش در زیست‌بوم جهانی هوش مصنوعی برخوردار است.

بااین‌حال، زمانی که از سطح تولید علم به سطح کاربرد، نوآوری و بازار حرکت می‌کنیم، ضعف‌های ساختاری بومسازگان هوش مصنوعی ایران آشکارتر می‌شود. این بومسازگان از منظر زیرساخت‌های فنی، سرمایه‌گذاری دولتی و خصوصی و همچنین ایجاد فرصت‌های شغلی برای فارغ‌التحصیلان، در وضعیت مطلوبی قرار ندارد. آمارها نشان می‌دهد که سهم شرکت‌های دانش‌بنیان کوچک و متوسط از بازار هوش مصنوعی ایران در مقایسه با ظرفیت‌های بالقوه موجود بسیار محدود است و حجم سرمایه‌گذاری واقعی در این حوزه، اعم از تسهیلات، وام‌ها و حمایت‌های مالی، فاصلهٔ معناداری با نیازهای توسعه‌ای کشور دارد. علاوه‌براین، نبود زیرساخت‌های پردازشی قدرتمند، از جمله دسترسی محدود به سخت‌افزارهای پیشرفته و

توان محاسباتی بالا، کمبود داده‌های باز، استاندارد و یکپارچه، ضعف در ارتباطات میان دانشگاه و صنعت و نیز کمبود حمایت‌های قانونی و انگیزشی برای حفظ نخبگان و جلوگیری از مهاجرت آنان، از جمله موانع مهم پیش روی توسعهٔ این بوم‌سازگان به شمار می‌آیند (Sharif Center for AI Streategy and Transformation, 2024). در چنین شرایطی، حتی با وجود سرمایهٔ انسانی مناسب و دستاوردهای علمی قابل توجه، فرایند تبدیل دانش به محصول، خدمت و کسب‌وکار دانش‌بنیان به‌خوبی شکل نگرفته و بخش مهمی از ظرفیت‌های موجود در مرحلهٔ پژوهش یا نمونه‌های اولیه باقی می‌ماند.

در حال حاضر، استفاده از هوش مصنوعی در ایران بیشتر در قالب پروژه‌های پژوهشی دانشگاهی، برخی کاربردهای صنعتی و نمونه‌هایی محدود در حوزه‌های سلامت، بانکداری و حمل‌ونقل هوشمند مشاهده می‌شود. در بخش صنعت نیز برخی کاربردها در زمینهٔ رباتیک، بینایی ماشین، پردازش زبان طبیعی، سامانه‌های خبره و تحلیل داده مورد توجه قرار گرفته‌اند، اما این کاربردها هنوز به شکل گسترده و نظام‌مند در اقتصاد و خدمات عمومی کشور نهادینه نشده‌اند. این وضعیت نشان می‌دهد که بوم‌سازگان هوش مصنوعی ایران در مرحله‌ای قرار دارد که ازیک‌سو توان علمی و دانشی لازم برای جهش را در اختیار دارد، اما ازسوی‌دیگر، به‌دلیل ضعف در زنجیرهٔ تجاری‌سازی و کمبود سازوکارهای حمایتی، هنوز نتوانسته است به یک بوم‌سازگان پویا، رقابتی و پایدار تبدیل شود. از این منظر، توسعهٔ لایه‌های عمیق‌تر هوش مصنوعی و شکل‌گیری محصولات تجاری موفق در این حوزه، مستلزم حمایت هدفمندتر دولت، ایجاد صندوق‌های سرمایه‌گذاری مشترک، تسهیل دسترسی شرکت‌ها و پژوهشگران به منابع پردازشی و داده‌ای و نیز حمایت ویژه از نوآفرین‌ها و کسب‌وکارهای نوآور است (Atwood, 2025). در مجموع، می‌توان گفت که ایران از لحاظ تولید علم و آموزش نیروی انسانی در حوزهٔ هوش مصنوعی جایگاه قابل قبولی دارد، اما تا تحقق یک بوم‌سازگان پویا و رقابتی در سطح جهانی فاصلهٔ زیادی باقی مانده است. پر کردن این فاصله مستلزم آن است که سیاست‌گذاری در این حوزه صرفاً بر توسعهٔ آموزشی و پژوهشی متمرکز نماند، بلکه به‌صورت هم‌زمان بر تقویت زیرساخت‌های فنی، افزایش سرمایه‌گذاری، تدوین سیاست‌ها و حمایت‌های قانونی اثربخش و ایجاد پیوندهای قوی‌تر میان دانشگاه، صنعت و بازار نیز تمرکز کند. تنها در این صورت است که می‌توان انتظار داشت بوم‌سازگان هوش مصنوعی ایران از مرحلهٔ انباشت دانش و توان علمی عبور کند و به مرحلهٔ خلق ارزش اقتصادی، نوآوری صنعتی و رقابت‌پذیری بین‌المللی وارد شود.

بوم‌سازگان اینترنت اشیا

بوم‌سازگان اینترنت اشیا در ایران در سال‌های اخیر به‌طور جدی مورد توجه سیاست‌گذاران، پژوهشگران و شرکت‌های دانش‌بنیان قرار گرفته و به یکی از محورهای مهم تحول رقمی کشور تبدیل شده است. این فنّاوری در حوزه‌هایی مانند شهر هوشمند، صنعت، حمل‌ونقل، سلامت، انرژی و کشاورزی ظرفیت بالایی برای خلق ارزش دارد و به‌ویژه در بخش انرژی می‌تواند یکی از پیشران‌های اصلی توسعه باشد (Fallah et al., 2021; Mohseni Kiasari & Fartash, 2023; Sadeghizadeh et al., 2022). باوجوداین، بوم‌سازگان IoT در ایران هنوز به بلوغ نرسیده و بسیاری از فعالیت‌ها به‌صورت محدود، آزمایشی و پراکنده انجام می‌شوند. ضعف زیرساخت‌های ارتباطی، نبود استانداردهای یکپارچه، ابهام‌های قانونی، مسائل امنیت و حریم خصوصی، کمبود سرمایه‌گذاری و محدودیت تعاملات بین‌المللی از مهم‌ترین موانع توسعهٔ این حوزه هستند (Mohseni Kiasari & Fartash, 2023). در مجموع، توسعهٔ مؤثر اینترنت اشیا در ایران مستلزم راهبرد ملی یکپارچه، سرمایه‌گذاری هدفمند، تقویت زیرساخت‌های فنی و داده‌ای، آموزش نیروی متخصص و گسترش همکاری میان دولت، بخش خصوصی و دانشگاه‌هاست. تحقق این الزامات می‌تواند اینترنت اشیا را از سطح پروژه‌های پراکنده به یک بوم‌سازگان راهبردی و اثرگذار ارتقا دهد (Fallahet et al., 2021; Sadeghizadeh, Markazi, & Shavvalpour, 2022., 2022).

بوم‌سازگان زنجیرهٔ بستکی

بوم‌سازگان زنجیرهٔ بستکی در ایران با وجود ظرفیت‌هایی مانند متمرکززدایی، شفافیت و امنیت داده‌ها، هنوز در مرحلهٔ اولیهٔ توسعه قرار دارد و به بوم‌سازگان بالغ و منسجمی تبدیل نشده است. این فنّاوری در حوزه‌هایی مانند رمزارزها، احراز هویت رقمی، زنجیرهٔ تأمین و قراردادهای هوشمند مورد توجه قرار گرفته و برخی نوآفرین‌ها و سازمان‌ها نیز از آن برای بهبود شفافیت و خدمات رقمی استفاده می‌کنند (Dong et al., 2023).

بااین‌حال، نبود قوانین و چهارچوب‌های نظارتی شفاف، محدودیت‌های ناشی از تحریم‌ها، ضعف زیرساخت‌ها و پراکندگی بازیگران باعث شده که ظرفیت‌های زنجیرهٔ بستکی به‌طور کامل محقق نشود. در نتیجه، توسعهٔ این بوم‌سازگان مستلزم سیاست‌گذاری روشن، سرمایه‌گذاری در آموزش و زیرساخت‌ها و همکاری مؤثر میان دولت، بخش خصوصی و نهادهای علمی است تا زنجیرهٔ بستکی بتواند به بخشی اثرگذار در تحول رقمی کشور تبدیل شود.

بوم‌سازگان واقعیت گسترده

بوم‌سازگان واقعیت گسترده (AR) در ایران به‌عنوان یک فنّاوری نوظهور در حال رشد است و با ترکیب دنیای واقعی و داده‌های رقمی می‌تواند تجربه‌ای تعاملی‌تر برای کاربران ایجاد کند (Dargan et al.,

2023). بااین‌حال، این فنّاوری هنوز به‌صورت پراکنده و محدود به کار گرفته می‌شود و به یک بوم‌سازگان بالغ و یکپارچه تبدیل نشده است

در حال حاضر، مهم‌ترین کاربردهای آن در حوزه‌هایی مانند ارتباطات، روابط عمومی الکترونیکی، بازاریابی رقمی و تبلیغات مشاهده می‌شود و استفاده از ابزارهای تعاملی و پوشیدنی به بهبود تجربهٔ مشتری کمک کرده است (Sashi, 2021). باوجوداین، چالش‌هایی مانند کمبود زیرساخت‌های فنی، هزینه‌های بالا، پایین بودن آگاهی عمومی و کمبود نیروی متخصص، توسعهٔ این فنّاوری را محدود کرده است. درعین‌حال، واقعیت گسترده ظرفیت‌های قابل توجهی در حوزه‌هایی مانند گردشگری، موزه‌ها، آموزش و درمان دارد و می‌تواند کیفیت تجربهٔ کاربری و خدمات را ارتقا دهد (Kamińska et al., 2023; Santi et al., 2021). توسعهٔ این بوم‌سازگان در ایران مستلزم سیاست‌های حمایتی، سرمایه‌گذاری در زیرساخت و آموزش و همکاری میان دولت، بخش خصوصی و نهادهای آموزشی است.

بوم‌سازگان ثبت زندگی در ایران

بوم‌سازگان ثبت زندگی (Lifelogging) به فرایند ثبت، ذخیره و تحلیل داده‌های روزمرهٔ افراد از طریق ابزارهای رقمی، به‌ویژه ابزارهای پوشیدنی و تلفن‌های هوشمند، اشاره دارد (Ribeiro et al., 2022). این داده‌ها می‌توانند شامل اطلاعات مربوط به فعالیت‌های روزانه، وضعیت سلامت، موقعیت مکانی و تعاملات رقمی باشند و در بسیاری از کشورها به‌عنوان یکی از اجزای مهم تحول سلامت رقمی و سبک زندگی داده‌محور شناخته می‌شوند. بااین‌حال، این حوزه در ایران هنوز در مراحل بسیار ابتدایی قرار دارد و عملاً نمی‌توان از شکل‌گیری یک بوم‌سازگان منسجم در این زمینه سخن گفت. مهم‌ترین دلیل این وضعیت را می‌توان در محدودیت دسترسی به ابزارهای پوشیدنی، هزینهٔ نسبتاً بالای تجهیزات مرتبط و نبود بن‌سازه‌های بومی توسعه‌یافته برای تحلیل و مدیریت داده‌های شخصی دانست. علاوه‌براین، نبود چهارچوب‌های حقوقی و اخلاقی مشخص برای حفاظت از داده‌های شخصی نیز یکی از موانع مهم در مسیر توسعهٔ این حوزه به شمار می‌آید، زیرا ثبت مداوم داده‌های فردی بدون وجود سازوکارهای شفاف برای حریم خصوصی می‌تواند نگرانی‌های اجتماعی و نهادی ایجاد کند. ازسوی‌دیگر، سطح آگاهی عمومی نسبت به کاربردها و مزایای فنّاوری‌های ثبت زندگی در ایران پایین است و همین امر موجب شده که تقاضای قابل توجهی برای این خدمات شکل نگیرد.

در حال حاضر، بخشی از داده‌های مرتبط با سبک زندگی افراد به‌صورت غیررسمی از طریق تلفن‌های هوشمند، برنامه‌های کاربردی سلامت و شبکه‌های اجتماعی ثبت می‌شود، اما این امر با مفهوم پیشرفته ثبت زندگی که مبتنی بر تحلیل یکپارچه و پیوستهٔ داده‌های فردی است فاصله دارد. ازاین‌رو، می‌توان گفت که ثبت زندگی در ایران هنوز بیشتر در سطح ظرفیت بالقوه قرار دارد و برای تبدیل شدن به یک بوم‌سازگان واقعی، نیازمند توسعهٔ زیرساخت‌های فنّاورانه، تدوین مقررات مرتبط با داده‌های شخصی و افزایش آگاهی عمومی نسبت به کاربردهای آن است.

بوم‌سازگان زیرساخت شبکه

بوم‌سازگان زیرساخت شبکه در فراجهان شامل شبکه‌های ارتباطی پرسرعت، مراکز داده، رایانش ابری، توان پردازشی گرافیکی و ذخیره‌سازی داده است که امکان تعامل همزمان و پایدار کاربران را فراهم می‌کند و پیش‌نیاز اساسی توسعهٔ فراجهان محسوب می‌شود (Ali et al., 2023).

در ایران، با وجود بهبود نسبی اینترنت همراه و توسعهٔ مراکز داده، زیرساخت‌ها همچنان با استانداردهای لازم برای پشتیبانی از خدمات پیشرفتهٔ فراجهانی فاصله دارند. محدودیت سرعت و پایداری اینترنت، کمبود پهنای باند، ظرفیت ناکافی مراکز داده و دسترسی محدود به سخت‌افزارهای پیشرفته از مهم‌ترین چالش‌ها هستند. همچنین توسعه فنّاوری‌هایی مانند 5G، رایانش لبه‌ای و زیرساخت‌های ابری توزیع‌شده هنوز در مراحل ابتدایی قرار دارد.

در نتیجه، ضعف زیرساخت شبکه می‌تواند به گلوگاه اصلی توسعهٔ فراجهان در ایران تبدیل شود و سرمایه‌گذاری در اینترنت پرسرعت، مراکز داده و فنّاوری‌های ارتباطی پیشرفته برای شکل‌گیری این بوم‌سازگان ضروری است.

بحث

تحلیل وضعیت شاخه‌های هفت‌گانهٔ درخت فنّاوری فراجهان در ایران (شکل ۱)، فراتر از یک توصیف ساده، نشان‌دهندهٔ الگوهای رفتاری خاص و چالش‌های ساختاری مشترکی است که کلیت این بوم‌سازگان را تحت تأثیر قرار داده‌اند. با تلفیق یافته‌ها، می‌توان سه الگوی کلیدی را در مسیر توسعهٔ فراجهان در ایران استخراج کرد:

شکاف ساختاری میان «توانمندی نرم‌افزاری» و «زیرساخت سخت‌افزاری» (عدم تقارن پودمانی)

یکی از الگوهای بارز در بوم‌سازگان فراجهان ایران، پیشرفت نامتوازن پودمان‌های نرم‌افزارمحور در مقابل پودمان‌های سخت‌افزارمحور است. درحالی‌که شاخه‌های **هوش مصنوعی** و **زنجیرهٔ بستکی** به‌دلیل تکیه بر دانش فنی و سرمایهٔ انسانی در وضعیت بلوغ نسبی قرار دارند، شاخه‌هایی چون **واقعیت گسترده (XR)** و **زیرساخت شبکه** با بن‌بست مواجه‌اند. این یافته نشان می‌دهد که پتانسیل بالای ایران در حوزه‌های پردازش زبان طبیعی و قراردادهای هوشمند، به‌دلیل ضعف در تأمین تجهیزات پیشرفته (مانند سرافزارهای VR/

AR) و تأخیر در پیاده‌سازی نسل پنجم شبکه (5G)، نمی‌تواند به تجربهٔ فراجهانی کامل تبدیل شود. در واقع، «پودمانگی» بوم‌سازگان ایران دچار نوعی گسیختگی است که در آن اجزای هوشمند آماده تعامل هستند، اما بستر انتقال داده و رابط کاربری، ظرفیت پذیرش این حجم از نوآوری را ندارد.

اثر گلوگاهی زیرساخت بر پیوستگی بوم‌سازگان

تحلیل شاخه‌های **اینترنت اشیا**، **دنیای آینه‌ای** و **زیرساخت شبکه** نشان‌دهندهٔ وابستگی خطی و بحرانی است. پیشرفت محدود در ماشین‌بینایی و دوقلوهای رقمی در ایران، صرفاً یک ضعف فنّاورانه در آن شاخه نیست، بلکه ریشه در ضعف زیرساخت‌های شبکه‌های نرم‌افزارمحور و پهنای باند دارد. تا زمانی که شاخهٔ «زیرساخت شبکه» به‌عنوان ستون فقرات بوم‌سازگان ارتقا نیابد، پودمان‌های «اینترنت اشیا» و «دنیای آینه‌ای» در مرحلهٔ نیمه‌صنعتی باقی خواهند ماند. این الگوی وابستگی نشان می‌دهد که چالش فراجهان در ایران، نه کمبود فنّاوری‌های منفرد، بلکه «عدم یکپارچگی ساختاری» به‌دلیل وجود گلوگاه‌های سخت‌افزاری است.

چالش «پودمان‌های نرم»؛ شکاف قانونی و فرهنگی

یافته‌ها نشان می‌دهد که شاخه‌های **ثبت زندگی** و **زنجیرهٔ بستکی**، به‌رغم ماهیت متفاوت، در چالش ساختاری مشترکی سهیم‌اند: «خلأ تنظیم‌گری و امنیت روانی». در شاخهٔ ثبت زندگی، نگرانی از حریم خصوصی و در زنجیرهٔ بستکی، نبود چهارچوب قانونی شفاف، مانع از تبدیل شدن این فنّاوری‌ها به ابزارهای اقتصادی و اجتماعی پایدار شده است. این الگوی مشترک نشان می‌دهد که بوم‌سازگان فراجهان در ایران بیش از آنکه با چالش‌های صرفاً فنی روبه‌رو باشد، با موانع «نهادی» دست به گریبان است. عدم شفافیت در حکمرانی داده‌ها، به نوعی «احتیاط فنّاورانه» منجر شده که سرعت تجاری‌سازی نوآوری‌ها را در این دو شاخهٔ اصلی کاهش داده است.

در مجموع، بوم‌سازگان فراجهان در ایران وضعیتی «نامتقارن» دارد. الگوی کلی حاکم بر این درخت فنّاوری نشان می‌دهد که ایران در لایه‌های «مغزافزاری» (هوش مصنوعی و منطق زنجیرهٔ بستکی) گام‌های بلندی برداشته، اما در لایه‌های «پیکرافزاری» (شبکه و تجهیزات پوشیدنی) و «نهادافزاری» (قوانین و فرهنگ‌سازی) دچار ضعف جدی است. این عدم توازن باعث شده تا قطعات مختلف جورچین فراجهان در ایران به‌صورت مجزا وجود داشته باشند، اما امکان اتصال پودمانی و هم‌افزا برای شکل‌دهی به یک دنیای مجازی پایدار فراهم نشود. بنابراین، برای حرکت به‌سمت یک بوم‌سازگان منسجم، اولویت سیاست‌گذاری باید از حمایت صرف از نوآفرین‌های نرم‌افزاری به‌سمت «توسعهٔ زیرساخت‌های ارتباطی» و «تدوین چهارچوب‌های حقوقی هوشمند» تغییر یابد.

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که توسعهٔ بوم‌سازگان فراجهان در ایران بیش از آنکه به مانع‌های فنی منفرد وابسته باشد، درگیر مجموعه‌ای از چالش‌های ساختاری، زیرساختی و نهادی است که به‌صورت هم‌زمان بر مسیر پیشرفت آن اثر می‌گذارند. ضعف زیرساخت‌های ارتباطی و پردازشی کشور — اعم از کیفیت اینترنت، محدودیت پهنای باند، دسترسی ناکافی به شبکه‌های نسل جدید و کمبود تجهیزات و مراکز داده قدرتمند — مهم‌ترین عاملی است که مانع شکل‌گیری تجربه‌های تعاملی و بی‌درنگ مورد نیاز محیط‌های فراجهانی می‌شود. این محدودیت‌ها در کنار نبود چهارچوب‌های حقوقی شفاف برای مدیریت داده‌ها، مالکیت دارایی‌های رقمی، خدمات مبتنی بر زنجیرهٔ بستکی و اقتصاد توکنی، محیطی سرشار از عدم قطعیت را برای کاربران، کسب‌وکارها و سرمایه‌گذاران ایجاد کرده است و مانع شکل‌گیری یک زیست‌بوم فعال و پایدار می‌شود. ازسوی‌دیگر، کمبود سرمایه‌گذاری هدفمند در حوزهٔ تحقیق و توسعه، ضعف حمایت مالی از نوآوری‌های مرتبط با فراجهان و کمبود نیروی انسانی متخصص — که بخشی از آن ناشی از مهاجرت و بخشی ناشی از نبود برنامه‌های مهارت‌آموزی در حوزه‌های طراحی سه‌بعدی، هوش مصنوعی و توسعهٔ تجربه‌های تعاملی است — به شکل‌گیری شکاف قابل توجهی میان توان بالقوه و توان بالفعل کشور منجر شده است. این چالش‌ها زمانی پیچیده‌تر می‌شوند که موانع فرهنگی، سطح پایین اعتماد عمومی و نگرانی‌های مربوط به امنیت داده‌ها و حریم خصوصی نیز به آن افزوده می‌شود و روند پذیرش اجتماعی فراجهان را کند می‌کند.

مجموع این عوامل نشان می‌دهد که توسعهٔ فراجهان در ایران نه چالشی صرفاً فنّاورانه، بلکه پروژه‌ای چندبعدی است که تنها با هم‌افزایی سه حوزهٔ کلیدی — زیرساخت، تنظیم‌گری و سرمایهٔ انسانی — قابل تحقق خواهد بود. بنابراین، سیاست‌گذاری در این حوزه باید بر نوسازی و تقویت زیرساخت‌های ارتباطی و پردازشی، تدوین قوانین جامع و هوشمند برای حکمرانی داده و اقتصاد رقمی، گسترش سرمایه‌گذاری دولتی و خصوصی در حوزه‌های فنّاورانه و ارتقای آموزش و سواد رقمی متمرکز باشد. چنین رویکردی می‌تواند زمینهٔ لازم برای کاهش عدم قطعیت‌ها، افزایش اعتماد عمومی و شکل‌گیری یک بوم‌سازگان پویا و رقابت‌پذیر را فراهم کند.

در کنار این الزامات، مسیر پژوهش‌های آینده نیز باید به‌سمت تحلیل عمیق پیامدهای اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی فراجهان در ایران حرکت کند، ظرفیت‌های بومی و مزیت‌های فنّاورانه کشور را ارزیابی کند و امکان‌سنجی همکاری‌های داخلی و بین‌المللی را بررسی کند. همچنین رفع محدودیت‌های پژوهشی — به‌ویژه نبود داده‌های قابل اتکا، کمبود بودجهٔ پژوهشی و دشواری دسترسی به جامعهٔ

آماری تخصصی — مستلزم اقداماتی در سطح کلان و هماهنگ میان نهادهای دولتی، آموزشی و خصوصی است. در مجموع، آیندهٔ فراجهان در ایران وابسته به اتخاذ رویکردی منسجم و چندسطحی است؛ رویکردی که بتواند همزمان زیرساخت‌ها را تقویت کند، قوانین را شفاف سازد، سرمایهٔ انسانی را پرورش دهد و نگرش جامعه را نسبت به این فنّاوری شکل دهد. تنها در چنین شرایطی است که ایران قادر خواهد بود از فرصت‌های این فنّاوری نوظهور بهره‌مند شود و نقش فعالی در شکل‌دهی به زیست‌بوم‌های مجازی آینده ایفا کند.

References

Adner, R. (2006). Match your innovation strategy to your innovation ecosystem. *Harvard Business Review*, 84(4), 98.

Adner, R., & Kapoor, R. (2010). Value creation in innovation ecosystems: How the structure of technological interdependence affects firm performance in new technology generations. *Strategic management journal*, *31*(3), 306-333.

Adner, R., Eisenhardt, K., Jacobides, M. G., Kapoor, R, Maritan, C. (2017). What's an ecosystem? Considering boundaries and usefulness of a rising construct. *Academy of Management Annual Meeting Proceedings*, 1(15093).

Al-Ghaili, A. M., Kasim, H., Al-Hada, N. M., Hassan, Z. B., Othman, M., Tharik, J. H., ... & Shayea, I. (2022). A review of Metaverse's definitions, architecture, applications, challenges, issues, solutions, and future trends. *Ieee Access*, 10, 125835-125866. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3225638

Ali, M., Naeem, F., Kaddoum, G., & Hossain, E. (2023). Metaverse communications, networking, security, and applications: Research issues, state-of-the-art, and future directions. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, *26*(2), 1238-1278. https://doi.org/10.1109/COMST.2023.3347172

Atwood, B. (2025). Artificial intelligence in Iran: National narratives and material realities. *Iranian Studies*, 1-18.

Baldwin, C. Y., & Clark, K. B. (2006). Modularity in the design of complex engineering systems. In *Complex engineered systems: Science meets technology* (pp. 175-205). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Bale, A. S., Ghorpade, N., Hashim, M. F., Vaishnav, J., & Almaspoor, Z. (2022). A comprehensive study on metaverse and its impacts on humans. Advances in Human-Computer Interaction, 2022(1), 3247060-3247071. https://doi.org/10.1155/2022/3247060

Ball, M. (2022). *The metaverse: And how it will revolutionize everything*. New York: Liveright Publishing.

Bammens, Y., Foss, N. J., & Hünermund, P. (2025). AI Technology and the Problem-Solving Capacity of Innovation Ecosystems. *Available at SSRN 5374223*.

Coccia, M., & Watts, J. (2020). A theory of the evolution of technology: Technological parasitism and the implications for innovation magement. *Journal of Engineering and Technology Management*, 55, 101552. https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2019.11.003.

Coogan, J. (2021). You don´t know the Metaverse …. 2021. Retrieved 2022 August 24, from: https://www.youtube.com/watch?v=QvZSdDC9rWo

Dargan, S., Bansal, S., Kumar, M., Mittal, A., & Kumar, K. (2023). Augmented reality: A comprehensive review. *Archives of Computational Methods in Engineering*, *30*(2), 1057-1080. https://doi.org/10.1007/s11831-022-09831-7

Davis, A., Murphy, J., Owens, D., Khazanchi, D., & Zigurs, I. (2009). Avatars, people, and virtual worlds: Foundations for research in Metaverses. *Journal of the association for information systems*, *10*(2), 90-117. https://doi.org/10.17705/1jais.00183

Dionisio, J. D. N., Iii, W. G. B., & Gilbert, R. (2013). 3D virtual worlds and the metaverse: Current status and future possibilities. ACM Computing Surveys (CSUR), 45(3), 1-38. https://doi.org/10.1145/2480741.2480751

Dong, S., Abbas, K., Li, M., & Kamruzzaman, J. (2023). Blockchain technology and application: an overview. *PeerJ Computer Science*, *9*, e1705. https://doi.org/10.7717/peerj-cs.1705

Fallah, M., Sadeghi, M. E., & Nozari, H. (2021). Quantitative analysis of the applied parts of internet of things technology in Iran: An opportunity for economic leapfrogging through technological development. *Science and technology policy Letters*, *11*(4), 45-61. (Persian)

Ghazinoory, S., Parvin, F., Saghafi, F., Afshari-Mofrad, M., Ghazavi, N., & Fatemi, M. (2025). Metaverse technology tree: A holistic view. *Frontiers in Artificial Intelligence*, *8*, 1545144. https://doi.org/10.3389/frai.2025.1545144

Hayter, C. S. (2016). A trajectory of early-stage spinoff success: The role of knowledge intermediaries within an entrepreneurial university ecosystem. *Small Business Economics*, *47*(3), 633-656. https://doi.org/10.1007/s11187-016-9756-3

Hodgson, G. M. (2019). Taxonomic definitions in social science, with firms, markets and institutions as case studies. *Journal of Institutional Economics*, *15*(2), 207-233. https://icss.ac.ir/wpcontent/uploads/2024/12/Iran-AI-Index-2024-5.pdf

Isenberg, D. J. (2010). How to start an entrepreneurial revolution. *Harvard Business Review*, 88(6), 40-50.

Jackson, D. J. (2011). What is an innovation ecosystem? *National Science Foundation*, *1*(2), 1-13

Jacobides, M. G., Cennamo, C., & Gawer, A. (2018). Towards a theory of ecosystems. *Strategic Management Journal*, 39(8), 2255-2276. https://doi.org/10.1002/smj.2904

Jafari, Z., Kheradmandnia, S., Rajabi, A., & Mollaei, M. (2025). Artificial intelligence development (3): Presenting an overview of AI development at the global level and in Iran. *Monthly Expert Reports of the Research Center of the Islamic Consultative Assembly*, 32(11), 20404. https://doi.org/10.22034/report.mrc.2025.1403.32.11.20404

Kamińska, D., Zwoliński, G., Laska-Leśniewicz, A., Raposo, R., Vairinhos, M., Pereira, E., ... & Anbarjafari, G. (2023). Augmented reality: Current and new trends in education. *Electronics*, *12*(16), 3531. https://doi.org/10.3390/electronics12163531

Kayid, A. (2020). *The role of artificial intelligence in future technology*. Department of Computer Science, The German University in Cairo. Retrieved from: https://www.researchgate.net/profile/Amr-Kayid/publication/342106972_The_role_of_Artificial_Intelligence_in_future_technology/links/5ee257bd92851ce9e7d97e90/The-role-of-Artificial-Intelligence-in-future-technology.pdf

Khan, R. H., Miah, J., Syeed, M. M., & Uddin, M. F. (2024 March14-16). Metaverse ecosystem realization for its application development [Paper presentation]. In 16th *International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE)* (pp. 109-113). Melbourne, Australia.

Kiasari, M. M., & Fartash, K. (2023). Prioritizing policy tools to support development of IoT technologies in Iran. *International Journal of Innovation in Engineering*, *3*(2), 53-67. https://doi.org/10.59615/ijie.3.2.53

Kim, K., Norouzi, N., Jo, D., Bruder, G., & Welch, G. F. (2023). The augmented reality internet of things: Opportunities of embodied interactions in transreality. In A. Y. C. Nee, & S. K. Ong (Eds.), *Springer handbook of augmented reality* (pp. 797-829). Cham: Springer International Publishing.

Lee, L. H., Braud, T., Zhou, P. Y., Wang, L., Xu, D., Lin, Z., ... & Hui, P. (2024). All one needs to know about metaverse: A complete survey on technological singularity, virtual ecosystem, and research agenda. *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction*, *18*(2–3), 100-337. https://doi.org/10.1561/1100000095

Li, Y., Gunasekeran, D. V., RaviChandran, N., Tan, T. F., Ong, J. C. L., Thirunavukarasu, A. J., ... & Ting, D. S. (2024). The next generation of healthcare ecosystem in the Metaverse. *Biomedical Journal*, *47*(3), 100679. https://doi.org/10.1016/j.bj.2023.100679

Liao, S. (2022 July 18). '*The Metaverse', a leading evangelist shies away from prediction*. The Washington Post [Online]. Retrieved 2022 October 2, from: https://www.washingtonpost.com/video-games/2022/07/18/metaverse-book-matthew-ball-interview/

Majumder, S., & Dey, N. (2024). Benefits of the Metaverse for HR. In S. Majumder, & N. Dey (Eds.), *Metaverse for Industry 5.0* (pp. 9-13). Singapore: Springer Nature Singapore.

Microsoft Ignite. (2021). Retrieved August 24, 2022, from https://www.youtube.com/watch?v=PraEcNDGSqY

Moeini, F. (Preprint). Metaverse unveiled: Transformative applications, global insights, and future prospects for Iran. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25515.86563

Moore, J. F. (1993). Predators and prey: a new ecology of competition. *Harvard Business Review*, *71*(3), 75-86.

Mozheiko, S. (2024). Modularization of Activities in Ecosystems and Business Models. In *Academy of Management Proceedings* (Vol. 2024, No. 1, p. 12564). Valhalla, NY 10595: Academy of Management.

Mozumder, M. A. I., Sheeraz, M. M., Athar, A., Aich, S., & Kim, H. C. (2022 February 13-16). Overview: Technology roadmap of the future trend of metaverse based on IoT, blockchain, AI technique, and medical domain metaverse activity. In *2022 24th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)* (pp. 256-261). Bongpyeong-myeon, Bongpyeong.

Mystakidis, S. M. (2022). Encyclopedia 2022, 2, 486-497. *https://doi.org/10.3390/encyclopedia2010031*

Ribeiro, R., Trifan, A., & Neves, A. J. (2022). Lifelog retrieval from daily digital data: Narrative review. *JMIR Mhealth and Uhealth*, *10*(5), e30517. https://doi.org/10.2196/30517

Riva, G., & Wiederhold, B. K. (2022). What the metaverse is (really) and why we need to know about it. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, *25*(6), 355-359. https://doi.org/10.1089/cyber.2022.0124

Roach, J. (2022). *Mesh for Microsoft teams aims to make collaboration in the 'Metaverse' personal and fun*. Retrieved from: https://news.microsoft.com/innovation-stories/mesh-for-microsoftteams/

Sabzali, M., Darvishi, M., & Moosavand, M. (2024). Metaverse in Iran. *Journal of Cyberspace Studies*, *8*(1), 121-144. https://doi.org/10.22059/jcss.2024.95894

Sadeghizadeh, H., Markazi, A. H. D., & Shavvalpour, S. (2022). Investigating the relationship between governance and key processes of the Iran IoT innovation system. *Sensors*, *22*(2), 652. https://doi.org/10.3390/s22020652

Saeidi, S., & Vafa, A. (2019). After isolation: Mirrors between parallel worlds and new conceptual spaces of activism in post-revolutionary Iran. *Millennium*, *47*(3), 417-443. https://doi.org/10.1177/030582981984080

Sami, H., Hammoud, A., Arafeh, M., Wazzeh, M., Arisdakessian, S., Chahoud, M., ... & Guizani, M. (2024). The metaverse: Survey, trends, novel pipeline ecosystem & future directions. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, *26*(4), 2914-2960. https://doi.org/10.1109/COMST.2024.3392642

Sanchez, R., & Mahoney, J. T. (1996). Modularity, flexibility, and knowledge management in product and organization design. *Strategic management journal*, *17*(S2), 63-76.

Santi, G. M., Ceruti, A., Liverani, A., & Osti, F. (2021). Augmented reality in industry 4.0 and future innovation programs. *Technologies*, *9*(2), 33. https://doi.org/10.3390/technologies9020033

Sashi, C. M. (2021). Digital communication, value co-creation and customer engagement in business networks: A conceptual matrix and propositions. *European Journal of Marketing*, *55*(6), 1643-1663. https://doi.org/10.1108/EJM-01-2020-0023

Scaringella, L., & Radziwon, A. (2018). Innovation, entrepreneurial, knowledge, and business ecosystems: Old wine in new bottles? *Technological Forecasting and Social Change*, 136, 59-87. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.09.023

Schöbel, S. M., & Leimeister, J. M. (2023). Metaverse platform ecosystems. *Electronic Markets, 33*(1), 12. https://doi.org/10.1007/s12525-023-00623-w

Sharif Center for AI Streategy and Transformation. (2024). *Iran AI Index 2024*. Retrieved from: HYPERLINK "https://icss.ac.ir/wp-content/uploads/2024/12/Iran-AI-Index-2024-5.pdf"Iran-AI-Index-2024-5.pdf

Shipilov, A., & Gawer, A. (2020). Integrating research on interorganizational networks and ecosystems. *Academy of Management Annals*, *14*(1), 92-121. https://doi.org/10.5465/annals.2018.0121

Smart, J., Cascio, J., Paffendorf, J., Bridges, C., Hummel, J., Hursthouse, J., & Moss, R. (2007). A cross-industry public foresight project. Proc. Metaverse roadmap pathways 3Dweb (pp. 1-28). Retrieved from: https://web.chungbuk.ac.kr/~kwjeong/lectures/teacher1class_mechanicalteaching/MetaverseRoadmapOverview.pdf

Sosa, M. E., Agrawal, A., Eppinger, S. D., & Rowles, C. M. (2005, January). A network approach to define modularity of product components. In *International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference* (Vol. 4742, pp. 435-446).

Sun, J., Gan, W., Chen, Z., Li, J., & Yu, P. S. (2022). Big data meets metaverse: A survey. https://doi.org/10.48550/arXiv.2210.16282

Thornhill, J. (2022 July 14). The Metaverse by Matthew Ball—A glimpse of the future. Financial Times. Retrieved 2022 October 2, from: https://www.ft.com/content/2258dda9-af91-46ba-b56b-08c790f1d47b

Tsou, M. H., & Mejia, C. (2024). Beyond mapping: Extend the role of cartographers to user interface designers in the Metaverse using virtual reality, augmented reality, and mixed reality. *Cartography and Geographic Information Science*, *51*(5), 659-673. https://doi.org/10.1080/15230406.2023.2264748

Wang, H., Ning, H., Lin, Y., Wang, W., Dhelim, S., Farha, F., ... & Daneshmand, M. (2023). A survey on the metaverse: The state-of-the-art, technologies, applications, and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, *10*(16), 14671-14688. https://doi.org/10.48550/arXiv.2111.09673

Wang, Y., Su, Z., Zhang, N., Xing, R., Liu, D., Luan, T. H., & Shen, X. (2022). A survey on metaverse: Fundamentals, security, and privacy. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, *25*(1), 319-352. https://doi.org/10.1109/COMST.2022.3202047

Weinberger, M. (2022). What is metaverse? A definition based on qualitative meta-synthesis. *Future Internet*,

14(11), 310. https://doi.org/10.3390/fi14110310

Yemenici, A. D. (2022). Entrepreneurship in the world of Metaverse: Virtual or Real? *Journal of Metaverse*, *2*(2), 71-82. https://doi.org/10.57019/jmv.1126135

Yun, S. M., & Leem, C. S. (2021 October 20-22). An industry-service classification development of metaverse platform [Paper Presentation]. In Proceedings of the Korean Institute of Information and Commucation Sciences Conference (pp. 253-258). Jeju Island, South Korea.

Zhou, B. (2022). Building a smart education ecosystem from a metaverse perspective. *Mobile Information Systems*, *2022*(1), 1938329. https://doi.org/10.1155/2022/1938329Digital Object Identifier



فاطمه پروین

دانشجوی دکتری فنّاوری اطلاعات در دانشگاه تربیت مدرس است و در حال حاضر به پژوهش در حوزه‌های علم و فنّاوری، هوش مصنوعی و فراجهان می‌پردازد.



سپهر قاضی‌نوری

دانش‌آموختهٔ دکتری مهندسی صنایع از دانشگاه علم و صنعت ایران و استاد گروه مدیریت فنّاوری اطلاعات دانشگاه تربیت مدرس است. وی مؤسس و سردبیر فصلنامهٔ *سیاست علم و فنّاوری* است و در حال حاضر به پژوهش در زمینهٔ مطالعات نظام‌مند علم و فنّاوری و بوم‌سازگان‌های نوآوری می‌پردازد.



شقایق صحرایی

عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت مدرس است و در حوزه‌های وب معنایی، هستی‌شناسی، مدیریت تداوم کسب‌وکار و مجازی‌سازی سخت‌افزار فعالیت پژوهشی دارد.



فاطمه ثقفی

عضو هیئت علمی دانشکده مدیریت صنعتی و فنّاوری است و حوزهٔ فعالیت‌های پژوهشی وی بر توسعهٔ پژوهش‌های کاربردی، آینده‌نگاری، نوآوری، دولت الکترونیکی و تجاری‌سازی و هدایت طرح‌های پژوهشی در راستای حل مسائل واقعی سازمان‌ها و جامعه متمرکز است.


رهنت