



# Bottlenecks and Policy Implications of the Artificial Intelligence Technological Innovation System in Iran

1. Hamid Heydari ♦

2. Amirhosein Nikzad

- **Article Type:** Research Paper
- **Vol. 35 | No. 3 | Serial 99 | Oct. 2025**
- **Received:** 2026.02.25
- **Revised:** 2026.07.08
- **Accepted:** 2026.08.11
- **Published Online:** 2026.09.15
- **Pages:** 77-96
- **P-ISSN:** 1027-2690
- **E-ISSN:** 2783-4514

## Keywords

Artificial Intelligence, Technological Innovation System, AI Innovation System, Systemic Failure Chains, Systemic Lock-in, Data Governance, Resource Mobilization, Market Formation, Iran.

1. ♦ Assistant Professor of Sociology of Science, Technology, and Innovation, Institute for Cultural and Social Studies, Tehran, Iran (Corresponding Author)  
h.heydari@iscs.ac.ir  
**ORCID:** 0000-0002-3064-8823
2. Master of Technology Management, University of Tehran, Tehran, Iran,  
amir.nikzad@ut.ac.ir  
**ORCID:** 0009-0001-7598-4249

**Cite This Paper:** Heydari, H., Nikzad, A. (2025). Bottlenecks and Policy Implications of the Artificial Intelligence Technological Innovation System in Iran. *Rahyافت*, 35 (3), 77-96. (Persian).

**DOI:** 10.22034/RAHYAFT.2026.12368.1697



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

## Abstract

Artificial intelligence (AI) is increasingly shaping technological change, industrial competitiveness, public services, and innovation systems. For developing countries, however, the capacity to benefit from AI depends not only on scientific knowledge and technical capabilities, but also on the institutional, infrastructural, financial, and market conditions that enable knowledge to be transformed into scalable applications. Iran has developed a growing scientific and technological base in AI, yet this expansion has not been accompanied by a comparable strengthening of market formation, resource mobilization, institutional coordination, and legitimacy. Existing studies have identified a range of barriers to AI development in Iran, but these barriers are often examined separately. Such an approach provides limited insight into why weaknesses persist, how they interact, and through what mechanisms they become mutually reinforcing. This study addresses this gap by examining AI development in Iran as a systemic process in which functional weaknesses interact with structural conditions and contextual pressures.

The study aims to explain how major weaknesses in Iran's AI innovation system become interconnected and generate persistent

bottlenecks and systemic failure chains. The analysis draws on the Technological Innovation System (TIS) framework and extends its application through an integrated functions–structure–context perspective. In this perspective, system functions capture the performance of the innovation system; structural conditions explain the institutional, actor, network, and infrastructural foundations of that performance; and contextual conditions capture broader political, economic, technological, and international pressures affecting the system. Rather than treating bottlenecks as independent constraints, the study focuses on the relationships through which one weakness spills over into other functions and is subsequently reinforced by structural and contextual conditions.

The research adopts a qualitative and applied design and was conducted in two complementary stages. First, a directed documentary review of academic literature, national policy documents, and relevant reports was undertaken to identify functional weaknesses and establish the analytical basis for the field study. Second, 12 semi-structured interviews were conducted with experts from academia (3), industry (4), and policymaking and regulatory institutions (5). Interview data were analyzed using an abductive approach, combining the deductive categories derived from the TIS framework with categories emerging from the empirical material. The resulting evidence was organized through a functions–structure–context matrix. The analysis then moved beyond the identification of individual barriers to tracing the connections among functional weaknesses, structural constraints, and contextual pressures and identifying recurring patterns of systemic failure.

The findings indicate that the central challenge of Iran’s AI innovation system is not primarily the absence of knowledge and scientific capacity, but the weak conversion of knowledge and technical capabilities into sustained innovation, market activity, and broader system development. Three functions emerge as particularly constrained: resource mobilization, legitimation, and market formation. These functional weaknesses are associated with structural conditions including institutional fragmentation, overlapping responsibilities, weak coordination among

actors, limited university–industry linkages, and uneven geographical distribution of infrastructure and capabilities. At the contextual level, macroeconomic uncertainty, international restrictions, technological access constraints, unstable policy priorities, and weaknesses in data governance intensify these structural and functional deficiencies.

The integrated analysis further reveals three interconnected systemic failure chains. The first is the data-governance failure chain, in which unclear arrangements for data ownership, access, sharing, quality, privacy, and security restrict data availability and collaboration, thereby weakening knowledge development, experimentation, entrepreneurship, and trust. The second is the computing infrastructure and capability failure chain, in which limited and costly access to advanced computational infrastructure, together with constraints affecting human and other critical resources, raises the cost and risk of technological development and limits the scaling of AI applications. The third is the legitimacy and market-failure chain, in which regulatory uncertainty, fragmented institutional responsibilities, weak standards, and limited structured demand undermine trust and investment and restrict the emergence of stable markets for AI solutions.

The significance of these findings lies in the interaction among the three chains. Weak data governance limits access to a critical input for innovation; constrained computational and human capabilities limit the transformation of data and knowledge into products; and weak market demand and institutional uncertainty reduce incentives to invest in data, infrastructure, skills, and commercialization. The resulting interactions can therefore reproduce the original weaknesses and create a form of systemic lock-in. Accordingly, the observed bottlenecks should not be interpreted simply as a list of independent deficiencies, but as mutually reinforcing processes that constrain the development of the innovation system.

The findings suggest that AI policy in Iran should move from isolated interventions toward measures that address the connections among bottlenecks. Strengthening data governance, improving access to computational and technological resources, increasing institutional coordination and regulatory

predictability, and stimulating structured demand should therefore be considered as interconnected policy domains rather than independent measures. In particular, interventions are likely to be more effective when they target points at which weaknesses across functions, structures, and contextual conditions converge.

The main contribution of the study is conceptual and empirical. Conceptually, it shifts the analysis of AI development in Iran

from identifying individual barriers toward explaining the mechanisms through which weaknesses become connected and self-reinforcing. Empirically, it identifies three systemic failure chains that provide a basis for prioritizing policy interventions. The study consequently argues that Iran's AI challenge is less a problem of knowledge production alone than a problem of weak alignment among knowledge, data, infrastructure, institutions, legitimacy, and market demand.



# گلوگاه‌ها و دلالت‌های سیاستی نظام نوآوری فناورانه هوش مصنوعی در ایران

۱. حمید حیدری

۲. امیرحسین نیک‌زاد

• نوع مقاله: پژوهشی

• دوره ۳۵ | شماره ۳ | پیاپی ۹۹ | مهر ۱۴۰۴

• تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۲/۰۶

• تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۴/۱۷

• تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۲۰

• تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۵/۰۶/۲۴

• صفحات: ۷۷-۹۶

• شابای چاپی: ۹۶۹۰-۲۶۹۰

• شابای الکترونیکی: ۴۵۱۴-۲۷۸۳

## چکیده

این پژوهش با هدف شناسایی و تبیین گلوگاه‌های کارکردی، ساختاری و زمینه‌ای نظام نوآوری فناورانه هوش مصنوعی در ایران و استخراج نقاط مداخله سیاستی، از چهارچوب «نظام نوآوری فناورانه» (TIS) بهره می‌گیرد. در این چهارچوب، عملکرد نظام براساس وضعیت کارکردهای آن و نیز از طریق تعامل میان کارکردها، ساختار بازیگران و نهادها و شرایط زمینه‌ای تحلیل می‌شود. پژوهش از رویکرد کیفی و روش تحلیل مضمون قیاسی-استقرایی بهره برد. در گام نخست، شواهد مربوط به عملکرد و اختلال در کارکردهای نظام از مرور ادبیات، اسناد ملی و گزارش‌های سیاستی استخراج شد؛ در گام دوم، داده‌های حاصل از ۱۲ مصاحبه نیمه‌ساختاریافته با خبرگان دانشگاهی، صنعتی و سیاست‌گذار/تنظیم‌گر، کدگذاری و در قالب ماتریس «کارکرد و ساختار و زمینه» تفسیر شد. اعتبار یافته‌ها از طریق بازیابی مشارکت‌کنندگان، مثلث‌سازی اسنادی و ممیزی همکار تقویت شد. یافته‌ها نشان می‌دهد که در کنار رشد ظرفیت تولید دانش، ضعف در سه کارکرد «بسیج منابع»، «مشروعیت‌بخشی» و «شکل‌گیری بازار» مهم‌ترین گلوگاه‌های نظام نوآوری فناورانه هوش مصنوعی در ایران را شکل می‌دهد. در سطح ساختاری، پراکندگی و هم‌پوشانی نهادی، تمرکزگرایی جغرافیایی و ضعف پیوندهای دانشگاه-صنعت، ظرفیت این کارکردها را محدود می‌کند؛ در سطح زمینه‌ای نیز نااطمینانی اقتصاد کلان، تحریم‌ها و خلأهای حکمرانی داده، فشارهای بیرونی و نااطمینانی نهادی را تشدید می‌کنند. برهم‌کنش این عوامل در قالب سه زنجیره شکست سیستمی، از سویی به محدود شدن ظرفیت توسعه و

## کلیدواژه‌ها

هوش مصنوعی، نظام نوآوری فناورانه (TIS)، شکست سیستمی، سیاست‌گذاری نوآوری، حکمرانی داده، ایران.

۱. استادیار جامعه‌شناسی علم، فناوری و نوآوری، مؤسسه

مطالعات فرهنگی و اجتماعی، تهران، ایران (پدیدآور رابط)

h.heydari@iscs.ac.ir

ORCID: 0000-0002-3064-8823

۲. کارشناسی ارشد مدیریت فناوری، دانشگاه تهران، تهران، ایران

amir.nikzad@ut.ac.ir

ORCID: 0009-0001-7598-4249

استناد به این مقاله: حیدری، ح. و نیک‌زاد، ا. (۱۴۰۴). گلوگاه‌ها و دلالت‌های سیاستی نظام نوآوری فناورانه هوش مصنوعی در ایران. *رهیافت*، ۳۵ (۳)، صص. ۷۷-۹۶.

DOI: 10.22034/RAHYAFT.2026.12368.1697

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



تجاری‌سازی، از سوی دیگر به افزایش ناطمینانی تنظیمی و تضعیف مشروعیت، و در نهایت به گسست میان تولید دانش، تقاضای نوآورانه و یادگیری فناورانه منجر می‌شود. بر این اساس، مداخلات سیاستی باید به‌جای ایجاد صرف نهادهای جدید، بر اصلاح نقاط شکست نظام متمرکز شوند؛ از جمله ایجاد یا بازآرایی ترتیبات تنظیم‌گری هماهنگ و دارای اختیار کافی برای هوش مصنوعی، استقرار چهارچوب حکمرانی داده در زمینه کیفیت، دسترسی، اشتراک‌گذاری و حفاظت از داده، توسعه زیرساخت محاسباتی و تدارکات دولتی نوآورانه، تقویت نهادهای میانجی دانشگاه-صنعت و توسعه خوشه‌ها و مراکز نوآوری در مناطق مختلف کشور. سهم پژوهش، بازسازی رابطه میان ضعف‌های کارکردی، آرایش ساختاری و فشارهای زمینه‌ای و تبدیل آن به زنجیره‌های شکست سیستمی و نقاط مداخله سیاستی برای توسعه نظام نوآوری فناورانه هوش مصنوعی در ایران است.

### مقدمه و بیان مسئله

هوش مصنوعی (AI)<sup>۱</sup> در دهه اخیر به یکی از پرشتاب‌ترین حوزه‌های تحول فناورانه در جهان بدل شده است و آثار آن فراتر از صنعت یا بخشی خاص، بنیان‌های اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جوامع را تحت تأثیر قرار می‌دهد (European Union, 2024). گزارش‌های بین‌المللی نشان می‌دهند دامنه تأثیر این فناوری بر بازار کار و سرمایه‌گذاری جهانی به سطحی رسیده است که از آن به‌عنوان دگرگونی ساختاری شبیه «انقلاب صنعتی جدید» یاد می‌شود. به‌طور نمونه، گزارش پی‌دبلیوسی (PwC)<sup>۲</sup> نشان می‌دهد مشاغل مرتبط با مهارت‌های هوش مصنوعی در سال ۲۰۲۴ به‌طور میانگین دستمزدی بالاتر از مشاغل مشابه فاقد این مهارت‌ها دریافت کرده‌اند و صناعی که از هوش مصنوعی بیشتر استفاده می‌کنند نیز رشد درآمدی چشمگیری داشته‌اند (PwC, 2025). این روندها نشان می‌دهند که هوش مصنوعی به فناوری «فراگیر یا همه‌منظوره» و میان‌بخشی تبدیل شده است که با کاهش هزینه‌های استنتاج و گسترش کاربردهای داده‌محور، مرزهای رقابت و نوآوری را در اغلب حوزه‌های اقتصادی بازتعریف می‌کند.

شتاب تحولات هوش مصنوعی همچنین نشان می‌دهد کشورها برای بهره‌برداری از فرصت‌ها و مدیریت ریسک‌های هم‌زمان این فناوری، ناگزیر از طراحی راهبردهای ملی و سیاست‌گذاری‌های یکپارچه‌اند؛ تجربه‌هایی مانند تنظیم‌گری ریسک‌محور در اتحادیه اروپا و سرمایه‌گذاری‌های کلان زیرساختی در اقتصادهای بزرگ، مؤید همین ضرورت است (European Union, 2024). در این

میان، کشورهای در حال توسعه با موقعیتی دوگانه مواجه‌اند؛ از سوی، هوش مصنوعی می‌تواند مسیر جهش به‌رهوری و حل مسائل بخشی را هموار کند؛ از سوی دیگر، ضعف نهادی، کمبود زیرساخت، کمبود نیروی انسانی متخصص و وابستگی فناورانه می‌تواند ریسک عقب‌ماندگی را تشدید کند (Adebayo Olusegun, Adepaju, & Adetunji, 2023).

ایران نیز در سال‌های اخیر، هم‌زمان با گسترش جهانی هوش مصنوعی، شاهد رشد چشمگیر در تولید دانش، شکل‌گیری گروه‌های پژوهشی و افزایش شمار بازیگران علمی و فناور در این حوزه بوده است (Tortoise Media, 2024). گزارش‌های ملی نیز از پیشرفت محسوس کشور در تحقیق و تولید دانش هوش مصنوعی حکایت دارند؛ با این حال، همان منابع تأکید می‌کنند که شکاف‌هایی جدی در زیرساخت محاسباتی، سرمایه‌گذاری خصوصی و بازار کاربردی وجود دارد و ظرفیت دانشی به‌طور کامل به نوآوری‌های مقیاس‌پذیر و ارزش اقتصادی-اجتماعی تبدیل نشده است (Miremadi et al., 2024; Safdari-Ranjbar, 2024; Heydari, Mansoori, Naseri, Jeze, & Pazhouhan, 2025). به بیانی دیگر، نوعی فاصله میان «رشد علمی» از سوی و «توانمندی نهادی-بازارمحور برای ترجمه دانش به محصول و خدمت» از سوی دیگر شکل گرفته که مسیر توسعه هوش مصنوعی را کند و ناپایدار کرده است (Miremadi et al., 2024; Heydari et al., 2025). بر این اساس، در ادبیات داخلی ابعاد مختلف توسعه هوش مصنوعی در ایران از منظرهای متفاوتی بررسی شده است. بخشی از مطالعات بر الزامات و چالش‌های حکمرانی داده‌محور در بخش‌های عمومی و خصوصی تمرکز کرده‌اند (Tabatabaei, Miremadi, & Zarghami, 2024; Payandeh, 2024; Akbari, Soltani, & Falahatkar, 2025; Heydari et al., 2026). برخی به شناسایی خلأهای نهادی و کارکردی نظام نوآوری هوش مصنوعی پرداخته‌اند (Kanani, Rasoulilian, 2023; Hafezi, & Ahangari, 2023). و گروهی نیز موانع کسب‌وکاری شرکت‌های هوش مصنوعی (Heydari et al., 2025)، ساختار نهادی و تقسیم کار ملی (Kameli & Taheri, 2023) یا ظرفیت‌ها و بسته‌های سیاستی توسعه این فناوری را بررسی کرده‌اند (Heydari et al., 2023; Safdari-Ranjbar, 2024; Akbari et al., 2024). این مطالعات شواهد مهمی درباره وضعیت برخی مؤلفه‌ها و کارکردهای نظام نوآوری هوش مصنوعی در ایران فراهم کرده‌اند؛ با این حال، عمدتاً رابطه میان این مؤلفه‌ها را در قالب سازوکاری سیستمی توضیح نداده‌اند. در نتیجه، هنوز مشخص نیست که ضعف کارکردی، تحت تأثیر چه ترتیبات ساختاری و شرایط زمینه‌ای تشدید می‌شود، چگونه به دیگر کارکردها سرایت می‌کند و در نهایت به گلوگاه یا شکست سیستمی پایدار منجر می‌شود.

1. Artificial Intelligence

2. PwC

این مسئله در ادبیات نظام نوآوری فناوری (TIS) اهمیت نظری دارد. چهارچوب نظام نوآوری فناوری ابتدا با تمرکز بر کارکردهای سیستمی، امکان تحلیل پویایی فناوری‌های نوظهور را فراتر از شناسایی بازیگران و نهادها فراهم کرد (Hekkert et al., 2007; Bergek et al., 2008). مطالعات بعدی نشان دادند که عملکرد این کارکردها به ساختارهای نظام و به تحولات و فشارهای زمینه‌ای وابسته است و برای فهم مسیر تحول فناوری نمی‌توان آن‌ها را مستقل از یکدیگر بررسی کرد (Bergek et al., 2015). باین‌حال، وجود این سه دسته از عوامل به‌تنهایی توضیح نمی‌دهد که تعامل آن‌ها از چه مسیری به شکل‌گیری و تداوم شکست‌های سیستمی می‌انجامد. به بیانی دیگر، مسئله نظری مورد توجه این پژوهش روشن کردن رابطه میان ضعف کارکردی، شرایط ساختاری و فشارهای زمینه‌ای در تولید و بازتولید گلوگاه‌های سیستمی است. این مسئله در مورد هوش مصنوعی اهمیت بیشتری دارد، زیرا ماهیت داده‌محور، زیرساخت‌بر و میان‌بخشی این فناوری موجب می‌شود اختلال در یک حوزه، مانند دسترسی به داده یا منابع محاسباتی، بتواند از طریق شبکه‌های بازیگران، ترتیبات نهادی و شرایط اقتصادی و سیاسی بر دیگر کارکردهای نظام اثر بگذارد. بر این اساس، پژوهش حاضر به‌جای آنکه گلوگاه‌های توسعه هوش مصنوعی را مجموعه‌ای از موانع منفرد بداند، آن‌ها را پیامد برهم‌کنش میان کارکردها، ساختارها و زمینه‌ها در نظر می‌گیرد. نوآوری پژوهش در این است که با استفاده از چهارچوب نظام نوآوری فناوری، این برهم‌کنش را در قالب زنجیره‌های شکست سیستمی بازسازی می‌کند؛ بدین معنا که نشان می‌دهد چگونه ضعفی کارکردی در پیوند با آرایش ساختاری و شرایط زمینه‌ای تشدید می‌شود و به اختلال در کارکردهای دیگر می‌انجامد. از این منظر، ارزش تحلیلی چهارچوب پیشنهادی صرفاً در شناسایی گلوگاه‌ها نیست، بلکه در توضیح چگونگی شکل‌گیری، اتصال و بازتولید آن‌ها و در نتیجه، تعیین نقاطی است که می‌توانند هدف مداخله سیاستی قرار گیرند. بنابراین، پرسش اصلی پژوهش چنین صورت‌بندی می‌شود: گلوگاه‌های اصلی نظام نوآوری فناوری هوش مصنوعی در ایران چگونه از تعامل کارکردها، ساختارها و شرایط زمینه‌ای شکل می‌گیرند و این زنجیره‌های شکست چه دلالت‌هایی برای مداخله سیاستی دارند؟

### پیشینه و چهارچوب مفهومی

#### پیشینه نظری

مفهوم «نظام نوآوری»<sup>۲</sup> در سنت اقتصاد تکاملی و مطالعات علم، فناوری و نوآوری شکل گرفت. در این رویکرد، نوآوری محصول کنش منفرد بنگاه یا پژوهشگر نیست، بلکه از تعامل بازیگران، نهادها،

شبکه‌ها و منابع و در جریان فرایندهای یادگیری پدید می‌آید (Nelson & Winter, 1982; Lundvall, 1992; Edquist, 2005). رویکرد «نظام نوآوری فناوری» این منطق را در سطح فناوری مشخص به کار می‌گیرد و بازیگران، شبکه‌ها، نهادها و زیرساخت‌های مرتبط با شکل‌گیری، انتشار و کاربرد آن را بررسی می‌کند (Carlsson & Stankiewicz, 1991; Hekkert et al., 2007; Bergek et al., 2008). این سطح تحلیل برای هوش مصنوعی مناسب‌تر است، زیرا توسعه آن به یک بخش اقتصادی یا محدوده ملی معین محدود نمی‌شود. ادبیات نظام نوآوری فناوری به‌تدریج از توصیف عناصر ساختاری به تحلیل «کارکردهای نظام» روی آورده است، زیرا صرف وجود دانشگاه، بنگاه، نهاد تنظیم‌گر یا زیرساخت، به‌تنهایی جریان دانش، تخصیص منابع و شکل‌گیری بازار را تضمین نمی‌کند. هکرت و همکاران (۲۰۰۷) هفت کارکرد را مشخص کرده‌اند: «فعالیت‌های کارآفرینانه، توسعه دانش، انتشار و تبادل دانش، جهت‌دهی به جست‌وجو، شکل‌گیری بازار، بسیج منابع و مشروعیت‌بخشی». این کارکردها مستقل از یکدیگر نیستند و تعامل میان آن‌ها می‌تواند به شکل‌گیری چرخه‌های تقویتی یا تضعیفی بینجامد (Hekkert & Negro, 2009; Bergek et al., 2008). در مقابل، ساختارها شرایط بازیگری، نهادی، شبکه‌ای و زیرساختی تحقق این کارکردها را شکل می‌دهند. رابطه ساختار و کارکرد نیز متقابل است؛ ساختارها کارکردها را تسهیل یا محدود می‌کنند و استمرار یا اختلال در کارکردها می‌تواند ساختارهای نظام را بازتولید یا دگرگون سازد.

با وجود این، نظام فناوری در خلأ عمل نمی‌کند. برگ و همکاران (۲۰۱۵) با طرح مفهوم «ساختارهای زمینه‌ای»<sup>۳</sup> نشان می‌دهند که شرایط فناوری، بخشی، جغرافیایی و سیاسی بر مسیر تحول نظام اثر می‌گذارند (Bergek et al., 2015). در ایران، تحریم‌ها، محدودیت دسترسی به زیرساخت‌های محاسباتی و بی‌ثباتی اقتصاد کلان صرفاً موانعی بیرونی نیستند، بلکه با تغییر دسترسی به منابع، رفتار بازیگران، سرمایه‌گذاری و شکل‌گیری بازار، بر عملکرد درونی نظام نیز اثر می‌گذارند. بر این اساس، پژوهش حاضر کارکرد، ساختار و زمینه را سه متغیر مستقل از یکدیگر نمی‌داند، بلکه آن‌ها را سه زاویه مرتبط برای بازسازی پویایی نظام نوآوری فناوری هوش مصنوعی در ایران در نظر می‌گیرد. شکست سیستمی زمانی شکل می‌گیرد که اختلال‌های کارکردی، محدودیت‌های ساختاری و فشارهای زمینه‌ای یکدیگر را تقویت و بازتولید کنند. پرسش محوری پژوهش نیز این است که گلوگاه‌های توسعه هوش مصنوعی چگونه از این برهم‌کنش پدید می‌آیند و مداخله سیاستی در کدام نقاط می‌تواند بیشترین اثر را بر کاهش آن‌ها داشته باشد.

1. Technological Innovation System
2. Innovation systems

### پیشینه تجربی

& Trajtenberg, 1995; Markard, Hekkert, & Jacobsson, 2015). در مجموع، این مطالعات نشان می‌دهند که توسعه هوش مصنوعی به منبع یا نهاد منفرد وابسته نیست و مجموعه‌ای از ظرفیت‌های علمی، فناوریانه، نهادی و اقتصادی در آن دخیل‌اند. بااین‌حال، رویکردهای تجربی استفاده‌شده در این مطالعات متفاوت است و هریک بخش خاصی از این مجموعه را در مرکز تحلیل قرار می‌دهند. در مطالعات داخلی نیز، چند دسته مسئله به‌صورت مکرر مطرح شده‌اند که می‌توان به چندپارگی ترتیبی نهادی، مسائل حکمرانی داده، محدودیت زیرساخت‌های فناوریانه، و چالش‌های بازار و تجاری‌سازی اشاره کرد. این مطالعات شواهد تجربی ارزشمندی فراهم کرده‌اند، اما یافته‌های آن‌ها را نمی‌توان به‌تنهایی برای بازسازی پویایی کل نظام به کار برد. ازاین‌رو، در پژوهش حاضر این شواهد در چهارچوب نظام نوآوری فناوریانه و در ارتباط با هفت کارکرد نظام بازخوانی می‌شوند تا مشخص شود هر یک از مسائل شناسایی‌شده در کدام کارکردها نمود می‌یابند و چه ارتباطی با ساختارها و شرایط زمینه‌ای دارند. جدول ۱ مهم‌ترین جهت‌گیری‌های این مطالعات را نشان می‌دهد.

مطالعات تجربی نشان می‌دهند که توسعه هوش مصنوعی به مجموعه‌ای از عوامل به‌هم‌پیوسته شامل داده، زیرساخت محاسباتی، سرمایه انسانی، سرمایه‌گذاری، تنظیم‌گری و ظرفیت بازار وابسته است. بخشی از ادبیات بر نقش قواعد، استانداردها و سازوکارهای حکمرانی تأکید کرده (European Union, 2024; Floridi et al., 2018; OECD, 2023). بخشی دیگر داده، توان محاسباتی و نیروی متخصص را منابع پایه توسعه دانسته (Adebayo Olusegun et al., 2023; Zhang & Lu, 2022; Zhang, Li, & Chen, 2025). و دسته‌ای نیز هوش مصنوعی را در قالب زیست‌بوم‌های نوآوری و پلتفرم‌ها بررسی کرده‌اند (Nambisan, Wright, & Feldman, 2019; Secundo et al., 2025). این مطالعات عمدتاً بر شناسایی عوامل مؤثر متمرکزند و کمتر به چگونگی ارتباط این عوامل در سطح نظام نوآوری پرداخته‌اند؛ به‌ویژه مشخص نیست که ضعف در یک حوزه چگونه از طریق ساختارهای نهادی به دیگر کارکردها منتقل می‌شود. این مسئله با توجه به ماهیت میان‌بخشی و همه‌منظوره هوش مصنوعی اهمیت بیشتری دارد (Bresnahan).

جدول ۱. جمع‌بندی پیشینه پژوهش‌های داخلی و بین‌المللی

| قلمرو      | محور مطالعه               | تمرکز اصلی مطالعات                                                                              | نمونه منابع                                                                                                       |
|------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| بین‌المللی | تنظیم‌گری و حکمرانی       | قواعد، استانداردها، الزامات اخلاقی، اعتماد و سازوکارهای حکمرانی به‌عنوان شرایط توسعه و پذیرش AI | Floridi et al., 2018; European Union, 2024; OECD, 2023                                                            |
| بین‌المللی | داده و زیرساخت            | اهمیت دسترسی به داده، کیفیت داده، توان محاسباتی و زیرساخت فناوریانه در توسعه ظرفیت AI           | Zhang & Lu, 2022; Adebayo Olusegun et al., 2023; Zhang et al., 2025                                               |
| بین‌المللی | سرمایه انسانی و دانش      | نقش نیروی متخصص، ظرفیت تحقیق و توسعه و تولید و انتشار دانش در شکل‌گیری ظرفیت AI                 | Zhang & Lu, 2022; Zhang et al., 2025                                                                              |
| بین‌المللی | زیست‌بوم و شبکه           | تعامل شرکت‌ها، دانشگاه‌ها، دولت، پلتفرم‌ها و کاربران و نقش شبکه‌های نوآوری در توسعه AI          | Nambisan et al., 2019; Secundo et al., 2025                                                                       |
| بین‌المللی | ماهیت فناوریانه AI        | میان‌بخشی و همه‌منظوره بودن AI و پیامد آن برای سازمان‌دهی و تحلیل نظام نوآوری                   | Bresnahan & Trajtenberg, 1995; Nambisan et al., 2019                                                              |
| ایران      | سیاست و ساختار نهادی      | سیاست‌گذاری ملی، تقسیم کار نهادی، تنظیم‌گری و ظرفیت‌های حکمرانی AI                              | Alinaghian, Safdari-Ranjbar, & Mohammadi, 2023; Kameli & Taheri, 2023; Safdari-Ranjbar, 2024; Akbari et al., 2025 |
| ایران      | داده و حکمرانی            | مسائل حکمرانی داده، دسترسی و اشتراک داده، هماهنگی نهادی و الزامات داده‌ای توسعه AI              | Kanani et al., 2023; Akbari et al., 2024; Tabatabaei et al., 2024; Payandeh, 2024                                 |
| ایران      | زیرساخت و ظرفیت فناوریانه | وضعیت زیرساخت، توان محاسباتی، ظرفیت علمی و فناوریانه و سرمایه‌گذاری                             | Miremadi et al., 2024; Heydari et al., 2025                                                                       |
| ایران      | کسب‌وکار و بازار          | وضعیت شرکت‌ها، سرمایه‌گذاری، تجاری‌سازی، تقاضا و موانع توسعه بازار AI                           | Miremadi et al., 2024; Heydari et al., 2025                                                                       |

| قلمرو | محور مطالعه           | تمرکز اصلی مطالعات                                             | نمونه منابع                                |
|-------|-----------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| ایران | ارزیابی ملی و شاخص‌ها | سنجش وضعیت کلی ظرفیت‌ها و جایگاه ایران در ابعاد مختلف توسعه AI | Miremadi et al., 2024; Akbari et al., 2025 |
| ایران | رویکرد سیستمی         | بررسی تعامل برخی عناصر نهادی، فناوریانه و سیاستی در توسعه AI   | Kanani et al., 2023; Miremadi, 2019        |

#### چهار چوب مفهومی<sup>۱</sup>

بر مبنای ادبیات نظام نوآوری فناوریانه، عملکرد نظام نوآوری فناوریانه را نمی‌توان صرفاً براساس وجود بازیگران، نهادها یا زیرساخت‌ها ارزیابی کرد، بلکه باید بررسی کرد که این عناصر تا چه اندازه امکان تحقق کارکردهای لازم برای توسعه فناوری را فراهم می‌کنند و این کارکردها چگونه بر یکدیگر اثر می‌گذارند (Hekkert et al., 2007; Bergek et al., 2008). به‌رغم این، عملکرد نظام از شرایط گسترده‌تری تأثیر می‌پذیرد که در ادبیات نظام نوآوری فناوریانه از آن‌ها با عنوان «ساختارهای زمینه‌ای» یاد شده است (Bergek et al., 2015). بر این اساس، پژوهش حاضر سه سطح کارکرد، ساختار و زمینه را سه سطح تحلیلی مرتبط برای توضیح گلوگاه‌های نظام نوآوری فناوریانه هوش مصنوعی در ایران در نظر می‌گیرد.

در این چهارچوب، کارکردها نشان‌دهنده فرایندهایی هستند که برای شکل‌گیری و توسعه فناوری باید در نظام تحقق یابند؛ ساختارها شامل بازیگران، شبکه‌ها، نهادها و زیرساخت‌هایی هستند که ظرفیت تحقق این کارکردها را فراهم یا محدود می‌کنند و زمینه به شرایط گسترده‌تری اشاره دارد که خارج از مرز تحلیلی نظام قرار دارند، اما از طریق اثرگذاری بر ساختارها و کارکردها، مسیر تحول آن‌را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Hekkert et al., 2007; Bergek et al., 2008). در مورد هوش مصنوعی در ایران، به‌طور نمونه، آرایش نهادی، شبکه‌های همکاری، زیرساخت داده و محاسبات و دسترسی به منابع در سطح ساختاری قرار می‌گیرند؛ درحالی‌که تحریم‌ها، نااطمینانی اقتصاد کلان و موقعیت ایران در شبکه‌های جهانی فناوری در سطح زمینه تحلیل می‌شوند. نکته محوری چهارچوب حاضر، رابطه میان این سه سطح است. ضعف یک کارکرد به‌خودی‌خود به‌معنای شکست نظام نیست، بلکه زمانی اهمیت تبیینی پیدا می‌کند که با محدودیت‌های ساختاری و شرایط زمینه‌ای پیوند بخورد و از طریق اثرگذاری بر کارکردهای دیگر، الگوی پایداری از ضعف ایجاد کند. ازاین‌رو، مفهوم «شکست سیستمی» در این پژوهش به الگوی به‌هم‌پیوسته‌ای از ضعف‌های کارکردی، محدودیت‌های ساختاری و فشارهای زمینه‌ای اشاره دارد که در تعامل با یکدیگر عملکرد چند کارکرد نظام را تضعیف می‌کنند. «زنجیره شکست سیستمی» نیز به مسیر اتصال این ضعف‌ها اشاره دارد؛ یعنی اینکه چگونه محدودیتی از

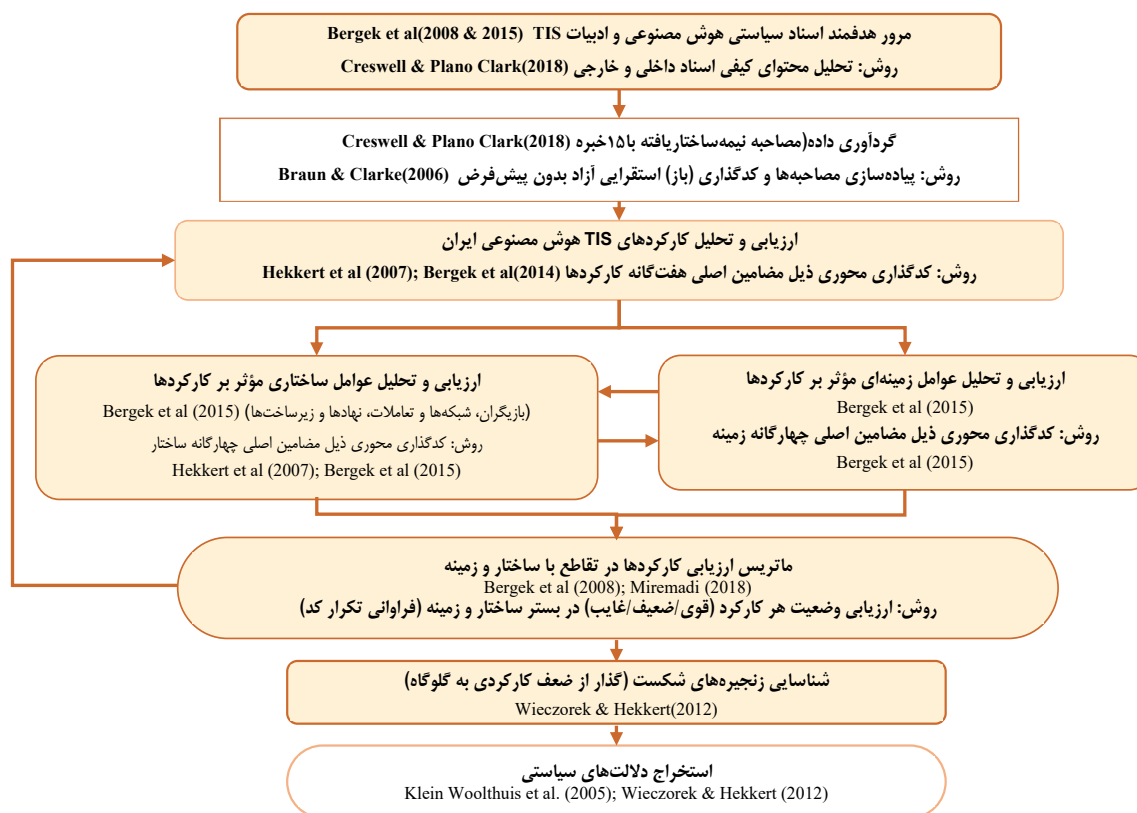
طریق روابط میان کارکردها، ساختارها و زمینه به محدودیت‌های دیگر منتقل و تقویت می‌شود. بنابراین، تحلیل تجربی پژوهش از شناسایی وضعیت هفت کارکرد نظام نوآوری فناوریانه آغاز می‌شود، سپس برای هر ضعف کارکردی، ساختارهای مرتبط و شرایط زمینه‌ای مؤثر بر آن بررسی می‌شود و در مرحله بعد، روابط میان این عناصر برای شناسایی زنجیره‌های شکست بازسازی می‌گردد. در این منطق، واحد اصلی تحلیل در سطح تبیینی، رابطه میان ضعف‌هاست، نه صرفاً کارکرد یا مانعی منفرد. بر همین اساس، اهمیت گلوگاه بر مبنای میزان اتصال آن به سایر ضعف‌ها و نقشی که در تداوم یا تشدید شکست سیستمی ایفا می‌کند، ارزیابی می‌شود.

این صورت‌بندی، مبنای استخراج نقاط مداخله سیاستی نیز قرار می‌گیرد. نقطه مداخله الزاماً در محل مشاهده نخستین ضعف قرار ندارد، بلکه نقطه‌ای است که تغییر آن بتواند یک یا چند رابطه تقویت‌کننده در زنجیره شکست را مختل کند. بنابراین، پژوهش به‌جای ارائه فهرستی از موانع توسعه هوش مصنوعی، در پی شناسایی گلوگاه‌های سیستمی و روابطی است که آن‌ها را بازتولید می‌کنند. منطق تحلیلی پژوهش از اثرگذاری ساختارهای نظام و شرایط زمینه‌ای بر ظرفیت تحقق کارکردها آغاز می‌شود؛ تعامل میان کارکردها می‌تواند به شکل‌گیری چرخه‌های تقویتی یا در شرایط ضعف و محدودیت، به زنجیره‌های شکست سیستمی بینجامد. تحلیل این زنجیره‌ها نیز مبنای شناسایی گلوگاه‌های اصلی و نقاط مداخله سیاستی قرار می‌گیرد. این رابطه خطی و یک‌سویه فرض نمی‌شود، زیرا عملکرد مستمر کارکردها می‌تواند در طول زمان به بازتولید یا تغییر ساختارهای نظام منجر شود. شکل ۱، راهنمای سازمان‌دهی مراحل تحلیل در پژوهش و نیز منطق سامان‌دهی بخش یافته‌ها و نتیجه‌گیری مقاله بوده است.

#### روش پژوهش

این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر رویکرد، کیفی است و با راهبرد مطالعه موردی کیفی انجام شده است. مورد مطالعه، نظام نوآوری فناوریانه هوش مصنوعی در ایران و واحد تحلیل، فرایند توسعه این فناوری در سطح ملی است. چهارچوب تحلیلی پژوهش بر نظام نوآوری فناوریانه استوار است و با تمرکز بر هفت کارکرد نظام، نقش عناصر ساختاری و شرایط زمینه‌ای را در شکل‌گیری و تداوم ضعف‌های کارکردی بررسی می‌کند (Hekkert et al., 2007).

#### 1. Conceptual Framework



شکل ۱. چهارچوب مفهومی پژوهش

رضایت مشارکت کنندگان ضبط و به طور کامل پیاده سازی شدند. از مصاحبه دهم به بعد مضمون جدیدی به ساختار تحلیلی اضافه نشد و دو مصاحبه پایانی نیز این وضعیت را تأیید کرد. تحلیل داده ها با استفاده از تحلیل مضمون قیاسی- استقرایی انجام شد. در مرحله نخست، داده های اسنادی و مصاحبه ای براساس هفت کارکرد نظام نوآوری فناورانه سازمان دهی و ضعف های کارکردی شناسایی شد. سپس برای هر ضعف کارکردی، عوامل ساختاری شامل بازیگران، شبکه ها، نهادها و زیرساخت ها و عوامل زمینه ای شامل شرایط سیاسی، اقتصادی، بین المللی و بخشی شناسایی و کدگذاری شدند. در مرحله بعد، روابط میان این مقوله ها در ماتریس «کارکرد ساختار و زمینه» بازسازی شد. در این مرحله، تحلیل از شناسایی ضعف های منفرد فراتر رفت و بررسی شد که هر ضعف کارکردی چگونه با عوامل ساختاری و زمینه ای مرتبط است و چگونه می تواند بر دیگر کارکردها اثر بگذارد. براساس این روابط، زنجیره های شکست سیستمی شناسایی شدند؛ یعنی الگوهای بهم پیوسته ای که در آن ضعف یک یا چند کارکرد، در تعامل با عوامل ساختاری و زمینه ای، به اختلال در دیگر کارکردهای نظام منجر می شود. در نهایت، نقاطی از این زنجیره ها که ظرفیت اثرگذاری بر چند گلوگاه را داشتند، به عنوان نقاط مداخله سیاستی استخراج شدند. بنابراین، مسیر تحلیل

(Bergek et al., 2008; Bergek et al., 2015). گردآوری داده ها در دو مرحله انجام شد. در مرحله نخست، اسناد و گزارش های داخلی مرتبط با وضعیت هوش مصنوعی ایران (Kameli & Taheri, 2023; Supreme Council of the Cultural Revolution, 2024; Miremadi et al., 2024; Safdari-Ranjbar, 2024; Akbari et al., 2025) بررسی شد. این اسناد برای شناسایی وضعیت کارکردهای نظام نوآوری فناورانه و مسائل ساختاری و زمینه ای نظام به کار رفتند. همچنین، برخی منابع بین المللی (European Union, 2024; OECD, 2023; World Bank, 2024; NCTAD, 2023) برای تکمیل چهارچوب تحلیلی و طراحی محورهای مصاحبه استفاده شدند و نه به عنوان شواهد مستقیم درباره وضعیت ایران. در مرحله دوم، براساس یافته های اسنادی و چهارچوب نظام نوآوری فناورانه، ۱۲ مصاحبه نیمه ساختاریافته با خبرگان انجام شد؛ سه نفر دانشگاهی، چهار نفر صنعتی، چهار نفر سیاست گذار و یک نفر قانون گذار. نمونه گیری به صورت هدفمند و با حداکثر تنوع نقش و جایگاه نهادی انجام شد. معیارهای اصلی انتخاب شامل حداقل پنج سال تجربه تخصصی، مشارکت در فعالیتهای پژوهشی، فناورانه، سیاستی یا تنظیم گری و آشنایی با مسائل نهادی و شبکه ای حوزه هوش مصنوعی بود. مصاحبه ها با

به‌صورت متوالی از شواهد اسنادی و مصاحبه‌ای، شناسایی ضعف‌های کارکردی، تبیین عوامل ساختاری و زمینه‌ای، بازسازی زنجیره‌های شکست و استخراج نقاط مداخله سیاستی طی شد. برای افزایش اعتبار یافته‌ها از مثلث‌سازی منابع داده، بازبینی مشارکت‌کنندگان و

ممیزی همکار استفاده شد. یافته‌های حاصل از مصاحبه‌ها با شواهد اسنادی مقایسه و در موارد اختلاف، بازبینی و تفسیر مجدد انجام شد. همچنین، برای تقویت انتقال‌پذیری، ویژگی‌های زمینه نهادی و ترکیب مشارکت‌کنندگان به‌طور شفاف گزارش شده است.

جدول ۲. مشخصات مشارکت‌کنندگان پژوهش

| بخش        | سمت / تخصص                                       | سابقه (سال) | نقش در نظام فناوری هوش مصنوعی       | کد مصاحبه‌شونده |
|------------|--------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------|-----------------|
| دانشگاهی   | استاد تمام، مدیر، یادگیری ماشین                  | ۱۸          | تولید دانش، راهبری، پژوهش و آموزش   | P1              |
| دانشگاهی   | دانشیار، پردازش زبان طبیعی                       | ۱۲          | تحقیق کاربردی، مشاوره صنعت          | P2              |
| دانشگاهی   | استادیار، بینایی ماشین؛ مدیر، صندوق سرمایه‌گذاری | ۸           | انتقال فناوری، راه‌اندازی استارت‌آپ | P3              |
| صنعتی      | مدیرعامل، بینایی ماشین                           | ۶           | کارآفرینی، بازسازی                  | P4              |
| صنعتی      | مدیرعامل، مدیر فنی، حوزه NLP                     | ۹           | توسعه محصول، تحقیق و توسعه          | P5              |
| صنعتی      | مدیرعامل، بنیان‌گذار پلتفرم داده                 | ۱۱          | زیرساخت داده، خدمات B2B             | P6              |
| صنعتی      | مدیر نوآوری شرکت بزرگ فناوری                     | ۱۴          | سرمایه‌گذاری، شبکه‌سازی             | P7              |
| سیاست‌گذار | مدیر ارشد در معاونت علمی                         | ۱۳          | سیاست‌گذاری ملی، تخصیص بودجه        | P8              |
| سیاست‌گذار | مشاور، مدیر ارشد در مرکز فضای مجازی              | ۱۶          | تنظیم‌گری، قانون‌گذاری              | P9              |
| سیاست‌گذار | عضو ادوار مجلس، مدیر، مرکز پژوهش‌های مجلس        | ۷           | تحلیل سیاستی، قانون‌گذاری           | P10             |
| سیاست‌گذار | مدیر ارشد، وزارت ارتباطات                        | ۱۷          | استانداردسازی، ارزیابی انطباق       | P11             |
| قانون‌گذار | عضو کمیسیون فناوری مجلس                          | ۵           | قانون‌گذاری، نظارت پارلمانی         | P12             |

و «شکل‌گیری بازار» به سطحی بحرانی رسیده‌اند. در جدول ۳، برای نمونه فرایند کدگذاری بعد کارکردی ارائه شده است. همچنین، براساس الگوی کدگذاری و فراوانی کدها در جدول ۴، می‌توان گفت که عملکرد کارکردی نظام نه به‌دلیل نارسایی جزئی منفرد، بلکه در نتیجه درهم‌تنیدگی نقایص متعدد در لایه‌های مختلف سیستم تضعیف شده است.

## یافته‌ها

### وضعیت کارکردهای نظام نوآوری فناوری هوش مصنوعی در ایران

تحلیل اسناد سیاستی و داده‌های حاصل از مصاحبه‌ها نشان می‌دهد که هر هفت کارکرد اصلی نظام نوآوری فناوری هوش مصنوعی ایران با درجات متفاوتی از ضعف و اختلال مواجه‌اند و این اختلال‌ها بیش از همه در کارکردهای «بسیج منابع» و «مشروعیت‌بخشی»

جدول ۳. نمونه‌ای از فرایند کدگذاری در بعد کارکردی

| گزاره / کدهای اولیه                                                                                                    | مقوله میانی                    | چالش کانونی                             | کارکرد(های) متأثر                     | پیوند ساختاری_ زمینه‌ای غالب                     | فراوانی |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------|---------|
| «داده‌های دولتی باز نیست»، «سازمان‌ها داده را انحصاری نگه می‌دارند»، «استاندارد کیفیت نداریم»، «مالکیت نامعلوم است»... | خلأ رژیم داده‌ای و استانداردها | فروپاشی زیست‌بوم داده/ خلأ حکمرانی داده | توسعه دانش، کارآفرینی، شکل‌گیری بازار | زیرساخت‌ها و قواعد داده‌ای در زمینه سیاسی/ حقوقی | ۹       |

جدول ۴. دسته‌بندی چالش و موانع موجود براساس کدگذاری ثانویه در چهارچوب برگک و همکاران (۲۰۱۵)

| کارکرد                 | گلوگاه / مؤلفه محوری                                      | جمله مصداق از متن مصاحبه                                                                                      | کد مصاحبه‌شونده | تعداد تکرار |
|------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------|
| فعالیت‌های کارآفرینانه | فقدان مدل‌های کسب‌وکار سودآور و انگیزه اقتصادی            | «یک نگاه این بود که سودی براشون نداره. هیچ فایده‌ای براشون نداره...»                                          | P7, P10         | ۳           |
|                        | کمبود بازیگران و شرکت‌های تخصصی (تراکم پایین اکوسیستم)    | «کار ما واقعاً نباید یه دونه شرکت باشه. شما شاید برید تو کشورهای دیگه ۱۰۰ تا از بیزینس‌ها وجود داشته باشه...» | P1, P7          | ۳           |
|                        | شکست در زایش نوآوری‌های کاربردی در بستر دولت الکترونیک    | «تأثیری که قرار بود بر اکوسیستم استارت‌آپی بگذارد... متأسفانه محقق نشد...»                                    | P3, P1          | ۲           |
| توسعه دانش             | شکاف حاد سرمایه انسانی متخصص (تحلیلگر داده)               | «نه در بخش فناوری اطلاعات دستگاه و نه در جای دیگر ما متخصص داده نداریم»                                       | P1, P5, P10     | ۵           |
|                        | فقر منابع داده‌ای بومی و پیکره‌های زبانی (Corpus)         | «پیکره‌ای که داریم در حدود ۱۵۰ میلیون کلمه است... شاید بتوان گفت که ۳۰ درصد نیاز را پوشش می‌دهد...»           | P9, P6          | ۴           |
|                        | درک نادرست مدیران از ماهیت و کاربردهای هوش مصنوعی         | «نمی‌دانند هوش مصنوعی چه چیزی نیست... یک غول بی‌شاخ‌و‌دم راجع به آن ترسیم کرده بودند»                         | P2, P8, P6      | ۴           |
|                        | ضعف در آموزش‌های کاربردی و تجربه‌محور در بدنه دولت        | «به نظرم آموزش‌های لازم هم داده نشد... که مثلاً به چه چیزی داده می‌گویند...»                                  | P10, P1         | ۳           |
|                        | تعارض منافع نهادی و رقابت بر سر «رانت داده»               | «واحد‌های اجرایی دولت دائماً بر سروکله هم می‌زنند برای دستیابی به قدرت و اختیارات بیشتر»                      | P9, P5, P4      | ۶           |
| انتشار دانش            | فقدان استانداردهای فنی و پروتکل‌های یکپارچه تبادل (API)   | «استانداردها و پروتکل‌های مشخصی به دستگاه‌ها داده نمی‌شد. آن‌ها هم در سردرگمی بودند»                          | P8, P5, P1      | ۴           |
|                        | پایداری پایین تعاملات بین دستگاهی و عدم اتصال سامانه‌ها   | «۳۵۲ سامانه داشت که ۱۲۰ تای آن فعال بود... دو تا سامانه هم به هم متصل نبودند»                                 | P1, P4          | ۳           |
|                        | تشتت نهادی و بحران متولی‌گری واحد (Stewardship)           | «اصل معضله‌ای که ما در حوزه هوش مصنوعی در کشور داریم، همین نداشتن متولی است»                                  | P10, P9, P6     | ۷           |
| هدایت مسیر جست‌وجو     | صلبیت و قدیمی بودن قوانین بالادستی (مانند قانون سال ۱۳۵۳) | «یکی از جدی‌ترین چالش‌های اوپن دیتا در کشور، به نظر من قانون سال ۵۳ است...»                                   | P9, P8          | ۳           |
|                        | عدم اولویت‌بندی راهبردی در برابر مسائل معیشتی و کلان      | «در وضعیتی که تورم و مشکلات کالای اساسی وجود دارد، این‌ها برای مقامات عالی شوخی است»                          | P4, P8, P9      | ۴           |
| شکل‌دهی به بازار       | نبود نظام ارزش‌گذاری و قیمت‌گذاری استاندارد داده          | «قیمت‌گذاری تعاملی از کجا می‌آید. از کجا معلوم است که به یکی ارزان نمی‌فروشد و به یکی گران؟»                  | P5, P4          | ۳           |
|                        | عدم شناسایی تقاضای واقعی و نیازهای کاربران (User-centric) | «شما تقاضای مردم را جمع نمی‌کنید... یوزر سنتریک نیست»                                                         | P1, P4, P2      | ۴           |
|                        | ناآگاهی از ظرفیت‌های بالقوه اقتصادی و ارزش تجاری داده     | «اولاً سواد داده وجود ندارد؛ یعنی مسئولین امر الآن نمی‌فهمند که می‌توان از اوپن دیتا پول درآورد»              | P7, P8          | ۳           |
|                        | فرسودگی سخت‌افزاری و بحران زیرساخت‌های پردازشی            | «ما در حوزه هوش مصنوعی... چه زیرساخت پردازشی داریم؟ اوضاع سرمایه‌گذاری خراب است»                              | P4, P10         | ۴           |
|                        | محدودیت‌های بودجه‌ای و مالی ناشی از شرایط تحریمی          | «زمانی که ما به تحریم‌ها خوردیم... پول نداریم که حتی حقوق بازنشسته‌ها را بدهیم»                               | P10, P3         | ۳           |
| تجهیز منابع            | کیفیت پایین داده‌های خام (ثبت دستی و فاقد اعتبار)         | «داده‌ها فاجعه هستند. چون می‌دانید که دستی ثبت می‌شود»                                                        | P5, P9          | ۳           |

| کارکرد        | گلوگاه / مؤلفه محوری                            | جمله مصداق از متن مصاحبه                                                                            | کد مصاحبه‌شونده | تعداد تکرار |
|---------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------|
| ایجاد مشروعیت | حاکمیت فرهنگ تاریخی محرمانگی و «توهم امنیتی»    | «پیشینه تاریخی مملکت ما این طور است که ... موجب شده دستگاه حکمرانی ما خیلی به سمت محرمانگی پیش رود» | P6, P2, P9      | ۸           |
|               | مداخلات نظارتی مخل و برخوردهای بازدارنده حراستی | «تهادهای امنیتی هم که دیگه هر کدوم تقریباً به بار مفصل خدمتشون رسیدیم و توضیح دادیم»                | P6, P1, P7      | ۶           |
|               | محافظه کاری مدیران و ریسک‌گریزی از تبعات قانونی | «ترجیح می‌دهم انفصال از خدمت بخورم تا اینکه بروم توی بازداشتگاه ...»                                | P10, P6         | ۴           |
|               | تلقی منفی فرهنگی از مفهوم «باز بودن» و شفافیت   | «باز بودن در ایران جزء منکرات است. باز بودن داده مثل باز بودن خیلی چیزهای دیگر»                     | P9, P2          | ۳           |

و سازوکارهای مشخص برای پیگیری و ارزیابی‌اند. ابهام در اهداف و ابزارهای اجرایی و فقدان نظام حکمرانی داده‌محور سبب شده است که بازیگران تصویر روشنی از اولویت‌های ملی و حوزه‌های استراتژیک سرمایه‌گذاری نداشته باشند و به تعبیر برخی مشارکت‌کنندگان، «سیاست‌های بیشتر در سطح شعار باقی می‌ماند». کارکرد «فعالیت‌های کارآفرینانه» نیز در وضعیتی شکننده قرار دارد. هرچند در سال‌های اخیر تعداد قابل توجهی شرکت دانش‌بنیان و استارت‌آپ در حوزه هوش مصنوعی شکل گرفته‌اند (Tortoise Media, 2024; Miremadi et al., 2024)، این فعالیت‌ها با کمبود تقاضای ساختارمند، نااطمینانی شدید اقتصادی و ریسک بالای سرمایه‌گذاری مواجه‌اند. از سوی دیگر، سلطه ساختارهای دولتی بر بازارهای اصلی و رویکرد امنیتی نسبت به برخی فعالیت‌های داده‌محور، فضای مانور شرکت‌های خصوصی را محدود کرده و انگیزه ورود به فعالیت‌های کارآفرینانه پیرامون کاهش داده است (p1, p3, p7).

در کارکرد «بسیج منابع»، مجموعه‌ای از چالش‌های هم‌زمان در حوزه منابع مالی، زیرساخت محاسباتی و نیروی انسانی مشاهده می‌شود. از نظر مالی، محدودیت سرمایه‌گذاری خطرپذیر داخلی، اولویت داشتن سایر حوزه‌ها در تخصیص منابع عمومی و عدم قطعیت در وعده‌ها و برنامه‌های سرمایه‌گذاری دولتی، جریان تأمین مالی پایدار برای طرح‌های هوش مصنوعی را مختل کرده است. در بعد زیرساختی، کمبود پردازنده‌های گرافیکی (GPU)<sup>۲</sup> و سخت‌افزارهای پیشرفته، ضعف مراکز داده تخصصی، ناپایداری شبکه و تأمین برق و دشواری دسترسی به سرورهای ابری پیشرفته، مهم‌ترین موانع عملیاتی کردن طرح‌های متوسط و بزرگ مقیاس محسوب می‌شوند. هم‌زمان، مهاجرت نیروی انسانی متخصص به دلیل ترکیب عوامل اقتصادی و حرفه‌ای و سیاسی، ظرفیت داخلی برای پیشبرد طرح‌ها را تضعیف کرده است (p3, p5, p10). برآیند این عوامل نشان می‌دهد

نخست، در کارکرد «توسعه دانش» اگرچه شواهد اسنادی (Tortoise Media, 2024; Miremadi et al., 2024) اظهارات خبرگان حاکی از رشد کمی تولیدات علمی در حوزه هوش مصنوعی است؛ اما این توسعه دانش عمدتاً در سطوح اولیه آمادگی فناوری (TRL)<sup>۱</sup> و در قالب مقالات دانشگاهی باقی مانده و پیوند آن با نیازهای صنعتی و حل مسائل واقعی ضعیف است. یکی از محورهای پرتکرار در مصاحبه‌ها، تمرکز دانشگاه‌ها بر «امتیاز مقاله» به جای توسعه فناوری‌های کاربردی بود؛ به گونه‌ای که چندین خبره بر وجود شکاف جدی میان خروجی‌های پژوهشی و تقاضای صنعتی تأکید کرده‌اند. افزون بر این، ناهماهنگی میان مهارت‌ها و توانمندی‌های فارغ‌التحصیلان با نیاز بازار، خود به عنوان مانعی کارکردی در توسعه دانش قابل استفاده در زیست‌بوم هوش مصنوعی عمل می‌کند و سبب می‌شود بخشی از دانش تولیدشده قابلیت ترجمه به ارزش اقتصادی و اجتماعی را نیابد. در امتداد آن، کارکرد «انتشار و تبادل دانش» نیز با چالش‌های جدی مواجه است. مصاحبه‌ها نشان می‌دهد که شبکه‌های همکاری علمی-صنعتی در حوزه هوش مصنوعی پراکنده و مقطعی‌اند و سازوکارهای پایدار برای اشتراک‌گذاری تجربه، داده و نتایج پژوهشی میان دانشگاه، صنعت و نهادهای حاکمیتی وجود ندارد. گزارش خبرگان از موانعی مانند سرعت پایین اینترنت و فیلترینگ گسترده و محدودیت همکاری‌های بین‌المللی، نشان می‌دهد که انتشار دانش نه فقط یک مسئله سازمانی، بلکه متأثر از محدودیت‌های زیرساختی و نهادی نیز هست (p1, p4, p5).

در کارکرد «جهت‌دهی به جست‌وجو»، یافته‌ها نشان می‌دهند که نظام نوآوری هوش مصنوعی در ایران با «ابهام استراتژیک» مواجه است. اگرچه سند ملی هوش مصنوعی و برخی اسناد بالادستی، جهت‌گیری‌های کلی را ترسیم کرده‌اند، از دیدگاه خبرگان (p6, p9, p10)، این اسناد فاقد شاخص‌های عملیاتی، زمان‌بندی روشن

صدای زیست‌بوم هوش مصنوعی در فرایند سیاست‌گذاری به‌قدر کافی شنیده نشود (p6, p7, p9).

به‌طور کلی، جمع‌بندی بعد کارکردی نشان می‌دهد که نظام نوآوری فناوری هوش مصنوعی در ایران با مجموعه‌ای از شکست‌های کارکردی مواجه است که اگرچه در همه کارکردها دیده می‌شوند، اما ضعف در بسیج منابع و شکل‌گیری بازار و مشروعیت‌بخشی نقش محوری در تضعیف دیگر کارکردها دارد. این ضعف‌ها همچنین در پیوند تنگاتنگ با اختلالات ساختاری و فشارهای زمینه‌ای‌اند که در بخش‌های بعدی به تفصیل تشریح می‌شوند.

### یافته‌های ساختاری نظام نوآوری هوش مصنوعی در ایران

در این بخش چهار مؤلفه ساختاری «نظام نوآوری فناوری» به‌صورت نظام‌مند بررسی شده است. در جدول ۵، عناصر ساختاری نظام نوآوری فناوری هوش مصنوعی ایران براساس یافته‌های پژوهش مشخص شده‌اند. همچنین، در جدول ۶ فرایند کدگذاری و یافته‌های پژوهش در بعد ساختاری ارائه شده است. هدف این بخش آن است که روشن کند کدام بعد ساختاری بیشترین نقش را در شکل‌گیری ضعف‌های کارکردی داشته و چگونه این اختلالات در تعامل با شرایط زمینه‌ای، بستری برای شکل‌گیری «زنجیره‌های شکست سیستمی» فراهم کرده‌اند.

که کارکرد بسیج منابع در زیست‌بوم هوش مصنوعی ایران، یکی از گلوگاه‌های اصلی نظام نوآوری فوق است.

کارکرد «شکل‌گیری بازار» نیز به‌شدت از نارسایی‌های نهادی و ساختاری اثر پذیرفته است. یافته‌ها نشان می‌دهد که در غیاب سیاست‌های پایدار برای تدارکات دولتی نوآورانه، عمدتاً رقابت ناعادلانه میان شرکت‌های خصوصی و بازیگران دولتی یا شبه‌دولتی که از حمایت‌ها و دسترسی‌های انحصاری برخوردارند، انگیزه ورود بخش خصوصی مستقل به این حوزه را کاهش داده است. دسترسی نداشتن به داده‌های باز دولتی و نبود سازوکارهای شفاف برای ارزیابی و خرید راحل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، از دیگر عواملی است که مانع بلوغ بازار و شکل‌گیری تقاضای پایدار است (p2, p3, p8). در نهایت، کارکرد «مشروعیت‌بخشی» با ترکیبی از چالش‌های شناختی و نهادی و اجتماعی روبه‌رو است. مصاحبه‌ها نشان می‌دهد که از سویی، در سطح سیاست‌گذاران و مدیران، درک منسجم و واقع‌بینانه‌ای از فرصت‌ها و مخاطرات هوش مصنوعی شکل نگرفته و این امر به انتظارات غیرواقعی یا بدبینی‌های افراطی منجر شده است؛ از سوی دیگر، در سطح جامعه و بخش‌های سنتی، نگرانی‌هایی از پیامدهای اشتغال، حریم خصوصی و کنترل اجتماعی وجود دارد که بدون وجود چهارچوب اخلاقی و حقوقی روشن، می‌تواند به مقاومت در برابر پذیرش فناوری بینجامد. نبود شبکه‌های لابی‌گری و گفت‌وگوی ساختارمند میان بازیگران حوزه هوش مصنوعی با نهادهای قانون‌گذار و تنظیم‌گر (مانند مجلس و شوراهای عالی) نیز باعث شده است که

جدول ۵. عناصر ساختاری نظام نوآوری فناوری هوش مصنوعی ایران

| عناصر ساختاری | نوع                                         | مصادیق                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| بازیگران      | نهادهای دانشی                               | دانشگاه‌ها، پژوهشگاه‌ها، اندیشکده‌ها، مراکز تحقیقاتی، آزمایشگاه‌های تحقیقاتی هوش مصنوعی، بنیاد ملی توسعه فناوری، بنیاد ملی نخبگان                                                                                                                                   |
|               | نهادهای دولتی و حاکمیتی                     | معاونت علمی، فناوری و اقتصاد دانش‌بنیان ریاست جمهوری، سازمان ملی هوش مصنوعی، شورای عالی انقلاب فرهنگی، شورای عالی فضای مجازی، وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات، وزارت اطلاعات، قوه قضائیه، مجلس شورای اسلامی، کمیسیون دوا، سازمان تنظیم مقررات، سازمان ملی استاندارد |
|               | صنعت و کسب‌وکارها                           | شرکت‌های فناوری، نوپا و استارت‌آپ‌ها، شرکت‌های بزرگ فناوری، شرکت‌های کوچک و متوسط (SMEها)، خوشه‌های فناوری و تجاری                                                                                                                                                  |
|               | نهادهای مردمی (NGO)                         | انجمن هوش مصنوعی ایران، انجمن داده‌کاوی ایران                                                                                                                                                                                                                       |
| نهادهای       | تسهیل‌کنندگان                               | صندوق نوآوری و شکوفایی، شرکت‌های سرمایه‌گذاری خطرپذیر شرکتی و خصوصی (VCها و CVCها)، پارک‌های فناوری، مراکز رشد، شتاب‌دهنده‌ها                                                                                                                                       |
|               | سخت: قوانین رسمی و استانداردها              | برنامه هفتم توسعه کشور، سند ملی هوش مصنوعی، قانون انتشار و دسترسی آزاد به اطلاعات، سند تحول دیجیتال کشور                                                                                                                                                            |
|               | نرم: فرهنگ، انتظارات و بافت غیررسمی نهادهای | دیدگاه عموم درباره هوش مصنوعی، انتظارات از آن و مقاومت مدیران در برابر پذیرش هوش مصنوعی مصنوعی به‌دلیل مخاطرات آن                                                                                                                                                   |
| شبکه‌ها       | درونی و بیرونی                              | ارتباطات بین‌بخشی صنایع و بخش تقاضا در کنار ارتباط بازیگران تقاضا با تنظیم‌گران                                                                                                                                                                                     |

| عنصر ساختاری | نوع    | مصادیق                                                       |
|--------------|--------|--------------------------------------------------------------|
| زیرساخت      | فیزیکی | پردازنده‌های گرافیکی، سرورهای ابری، شبکه بلاکچین، پهنای باند |
|              | دانشی  | تسلط الگوریتمی و توسعه نرم‌افزاری LLM                        |
|              | مالی   | مشوق‌های مالی - معافیت مالیاتی - تخصیص بودجه اختصاصی         |

کدگذاری ساختاری نشان می‌دهد سه گلوگاه ساختاری دارای اثر چندکارکردی عبارتند از (۱) پراکندگی بازیگران و ضعف شبکه‌های دانشگاه - صنعت و صنعتی، (۲) خلأ و بی‌ثباتی نهادها و قواعد رسمی، به‌ویژه در حوزه داده و تنظیم‌گری هوش مصنوعی و (۳) شکاف زیرساختی به‌خصوص در توان محاسباتی و ارتباطی. در جدول ۶ کدگذاری ساختاری مذکور آورده شده است.

جدول ۶. بعد ساختاری نظام نوآوری فناوری هوش مصنوعی ایران بر پایه تحلیل مضمون

| عنصر / بُعد ساختاری <sup>۱</sup> | مقوله میانی                                  | کدهای اولیه (گزاره‌های پر تکرار مصاحبه / اسناد)                                                    |
|----------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| بازیگران                         | پراکندگی و چندپارگی بازیگران سیاستی / اجرایی | «بازیگران زیادند ولی پراکنده‌اند»؛ «مرجع واحد تصمیم‌گیری نداریم»؛ «هر نهاد ساز خودش را می‌زند» ... |
|                                  | عدم توازن حضور و قدرت بازیگران               | «سهم بخش خصوصی کم است»؛ «دولت / خصولتی / شبه‌دولت بازار را قبضه کرده»؛ «رقابت نابرابر است» ...     |
| شبکه‌ها / تعاملات                | گسست شبکه دانشگاه - صنعت                     | «پیوند دانشگاه و صنعت ضعیف است»؛ «پروژه مشترک کم است»؛ «زبان همدیگر را نمی‌فهمند» ...              |
|                                  | ضعف شبکه‌سازی افقی و همکاری صنعتی            | «همکاری بین شرکت‌ها کم است»؛ «کنسرسیوم / خوشه نداریم»؛ «کارها جزیره‌ای است» ...                    |
| نهادها و قواعد                   | نبود نهادهای واسط و ترجمان گر فناوری         | «نهاد میانجی نوآوری نداریم»؛ «کسی فناوری را از آزمایشگاه به بازار نمی‌برد» ...                     |
|                                  | خلأ قواعد رسمی و استانداردهای تنظیم‌گر       | «قانون مشخص داده AI نداریم»؛ «حقوق مالکیت داده نامعلوم است»؛ «استاندارد مشترک وجود ندارد» ...      |
|                                  | بی‌ثباتی نهادی و دیوان‌سالاری مقرراتی        | «مقررات مدام عوض می‌شود»؛ «بخشنامه‌های متعارض»؛ «مجوزها زمان‌بر است» ...                           |
|                                  | ضعف نهاد راهبری و حکمرانی اجرایی             | «سند ملی AI اجرا نمی‌شود»؛ «شاخص پایش نداریم»؛ «برنامه‌ها عملیاتی نیست» ...                        |
| زیرساخت‌ها                       | شکاف زیرساخت محاسباتی                        | «GPU نداریم / خیلی گران است»؛ «ابر داخلی ضعیف است»؛ «دیتاست‌ها کافی نیست» ...                      |
|                                  | محدودیت زیرساخت ارتباطی و دسترسی دیجیتال     | «اینترنت کند / فیلتر است»؛ «دسترسی به پلتفرم‌های جهانی نداریم» ...                                 |
|                                  | ناپایداری زیرساخت انرژی برای AI              | «برق پایدار نیست»؛ «قطعی‌ها کار را می‌خواباند» ...                                                 |
|                                  | ضعف زیرساخت مالی / سرمایه‌گذاری زیست‌بوم     | «سرمایه‌گذاری R&D کم است»؛ «VC تخصصی AI نداریم»؛ «تأمین مالی پایدار نیست» ...                      |

## ۱. بازیگران

پیکربندی و تعامل میان بازیگران اصلی از عناصر بنیادین ساختار هر نظام نوآوری فناوری هوش مصنوعی است (Bergek et al., 2008; Markard & Truffer, 2008). یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که در زیست‌بوم هوش مصنوعی ایران، به‌رغم تنوع ظاهری بازیگران، انسجام نهادی و تکمیل‌کنندگی نقش‌ها شکل نگرفته است. دانشگاه‌ها عمدتاً بر تولید مقاله متمرکزند و پژوهش‌های کاربردی و همکاری‌های پایدار

با صنعت محدود است؛ در نتیجه خروجی دانشگاه‌ها کمتر وارد زنجیره ارزش شرکت‌های فناوری می‌شود. شرکت‌های خصوصی نیز با محدودیت‌های ساختاری در تأمین مالی، دسترسی به داده، زیرساخت محاسباتی و ابهام‌های تنظیم‌گری مواجه‌اند. در سطح حاکمیتی، تعدد نهادهای تصمیم‌گیرنده بدون مرجع راهبری واحد به «دعوی نهادی» بر سر متولی‌گری داده انجامیده (P6, P9) و پرتال‌های ملی را به عناصری بدون حامی تبدیل کرده است (P2). این وضعیت کارکرد «تجهیز منابع» را تضعیف و شکاف «دانش تا بازار» را در کارکرد

1. structural dimension

«توسعه دانش» تشدید کرده است.

## ۲. شبکه‌ها

شبکه‌ها بستر اصلی تعامل میان بازیگران، انتقال دانش و ایجاد هم‌افزایی فناورانه در نظام نوآوری فناورانه هستند (Hekkert et al., 2008; Bergek et al., 2007). یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که نظام نوآوری فناورانه هوش مصنوعی ایران با ضعف ساختاری جدی در شبکه‌های همکاری مواجه است. نگاه به داده به‌عنوان «رانت» و ابزار نفوذ اداری، تعاملات میان‌سازمانی را از همکاری به‌سمت رقابت برای قدرت سوق داده و کارکرد انتشار دانش را مسدود کرده است (P4, P5). مداخلات نهادهای امنیتی و ترس مدیران از اتهامات حراستی نیز شبکه تعاملات لازم برای شکل‌دهی به بازار و فعالیت‌های کارآفرینانه را تضعیف کرده است. نبود پلتفرم‌های رسمی تبادل داده و ضعف حکمرانی داده این گسست‌ها را تشدید کرده و مانع مشروعیت‌بخشی به فناوری هوش مصنوعی در بدنه حاکمیت شده است (P2, P3, P6, P7).

## ۳. نهادها

نهادهای شامل قواعد رسمی، هنجارهای غیررسمی و ترتیبات تنظیم‌گری، نقشی تعیین‌کننده در جهت‌دهی به رفتار بازیگران و کارکردهای نظام نوآوری دارند و انسجام و ثبات آن‌ها شرط اساسی عملکرد مؤثر نظام است (North, 1990; Edquist, 2005; Bergek et al., 2008). یافته‌های پژوهش سه دسته نارسایی نهادی را نشان می‌دهد: نخست، «پراکندگی نهادی»؛ تعدد نهادهای درگیر از جمله معاونت علمی، وزارت ارتباطات، شورای عالی فضای مجازی و سازمان تنظیم مقررات، بدون سازوکار هماهنگی مؤثر، به تداخل نقش‌ها و کاهش انسجام سیاستی انجامیده است. دوم، ضعف در ثبات و قابلیت پیش‌بینی مقررات در حوزه تنظیم‌گری الگوریتم‌ها، حفاظت داده و استانداردهای فنی، محیطی پریسک برای شرکت‌های فعال در حوزه هوش مصنوعی ایجاد کرده است. سوم، نبود حکمرانی داده‌ای یکپارچه یکی از ضعف‌های بنیادین زیست‌بوم قلمداد شد (P11, P12, P10). پیامدهای ترکیبی این نارسایی‌ها در بخش «زنجیره‌های شکست سیستمی» تحلیل خواهد شد.

## ۴. زیرساخت‌ها

زیرساخت‌های محاسباتی، داده‌ای و انسانی از ارکان بنیادین ساختار نظام نوآوری فناورانه و پیش شرط ارتقای کارکردهای آن هستند (Bergek et al., 2008; Markard & Truffer, 2008). یافته‌های پژوهش از ناترازی عمیق و چندبعدی در این حوزه حکایت دارد (P9, P10). در بعد محاسباتی، محدودیت دسترسی به پردازنده‌های گرافیکی و منابع ابری ناشی از تحریم‌ها، مانع اجرای طرح‌های میان‌مقیاس شده و کارکرد تجهیز منابع را با شکست مواجه کرده است (P4, P6, P10).

در بعد داده‌ای، مدیریت جزیرهای و کیفیت پایین داده‌های پایه، پایه فنی لازم برای توسعه دانش کاربردی را سست کرده است (P9). در بعد انسانی نیز مهاجرت نیروی متخصص و کمبود مهارت‌های تحلیل داده در بدنه دولت، ظرفیت انطباقی نظام را کاهش داده است (P5, P10). برآیند این محدودیت‌ها، نظام را در وضعیت مصرف‌کنندگی مدل‌های خارجی قفل کرده است.

## تحلیل زمینه‌ای نظام نوآوری هوش مصنوعی در ایران

«زمینه» صرفاً به‌معنای مجموعه‌ای از عوامل بیرونی نیست، بلکه به ساختارهایی نسبتاً منسجم اشاره دارد که با نظام نوآوری فناورانه در تعامل اند و از طریق این تعامل بر پویایی نظام اثر می‌گذارند. برگک و همکاران (۲۰۱۵)، بر چهار نوع ساختار زمینه‌ای شامل فناورانه، بخشی، جغرافیایی و سیاسی تأکید می‌کنند. بنابراین، رابطه میان زمینه و نظام نوآوری فناورانه رابطه‌ای صرفاً بیرونی و یک‌سویه نیست. ساختارهای زمینه‌ای می‌توانند فرصت‌ها، محدودیت‌ها و جهت‌گیری‌های نظام نوآوری فناورانه را شکل دهند؛ درحالی‌که تعاملات و تحولات خود نظام نوآوری فناورانه نیز می‌تواند بر این ساختارها اثر بگذارد (Bergek et al., 2015). از این منظر، عوامل زمینه‌ای<sup>۱</sup> در این پژوهش به شرایط و ساختارهایی اطلاق می‌شود که از طریق تعامل با بازیگران، شبکه‌ها و نهادهای نظام نوآوری فناورانه هوش مصنوعی ایران، بر شکل‌گیری و پویایی کارکردهای نظام اثر می‌گذارند. بر این مبنا، در تحلیل تجربی، عوامل زمینه‌ای از داده‌ها استخراج و در فرایند کدگذاری ثانویه و تحلیل مضامین در قالب ابعاد تحلیلی منسجم صورت‌بندی شدند. ساختار نهایی این ابعاد و نسبت آن‌ها با کارکردها و ساختار نظام نوآوری فناورانه هوش مصنوعی ایران در جدول ۷ ارائه شده است.

اولین و تأثیرگذارترین لایه، بستر سیاسی و حاکمیتی است که با فرهنگ تاریخی محرمانگی و «درک امنیتی» گره خورده است (P9). این نگرش که ریشه در بی‌ثباتی‌های سیاسی تاریخی کشور دارد، به امنیتی‌سازی مفرط داده‌ها منجر شده و کارکرد ایجاد مشروعیت را با بن‌بست مواجه کرده است؛ به‌طوری‌که مدیران ارشد به‌دلیل ترس از تبعات نظارتی و حفاظتی، از انتشار داده‌ها و حمایت از پروژه‌های شفافیت‌محور سر باز می‌زنند (جدول ۷). افزون‌براین، در اولویت‌بندی‌های کلان سیاسی، هوش مصنوعی و داده‌ها باز در برابر بحران‌های معیشتی و تورم، موضوعی «لوکس» تلقی شده و اراده سیاسی لازم برای هدایت مسیر جست‌وجو شکل نمی‌گیرد (P3). همچنین، در لایه زمینه‌ای جغرافیا، توسعه هوش مصنوعی در ایران با چالش تمرکزگرایی حاد و نادیده گرفتن ظرفیت‌های محلی مواجه است. درحالی‌که قلمروهای جغرافیایی باید بستر تعاملات نوآورانه باشند

1. Context
2. Contextual Factors

جدول ۷. زمینه‌های علی تأثیرگذار بر کارکردها و ساختار نظام نوآوری فناورانه هوش مصنوعی ایران

| کارکرد مربوط TIS       | سطح تحلیل | نوع تحلیل                                    | کدگذاری باز (گلوگاه/چالش)                             | جمله مصداق از متن مصاحبه                                                                                      | کد شخص  | تعداد تکرار |
|------------------------|-----------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------------|
| فعالیت‌های کارآفرینانه | ساختار    | بازیگران                                     | کمیود بازیگران و شرکت‌های تخصصی در اکوسیستم           | «کار ما واقعاً نباید به دونه شرکت باشد. شما شاید بريد تو کشورهای ديگه ۱۰۰ تا از بیزینس‌ها وجود داشته باشه»    | P7      | ۳           |
|                        | زمینه     | سیاسی                                        | ترس از شکایت‌های حقوقی و برخوردهای امنیتی             | «پلیس فتا نامه می‌زد که بیا جواب بده چرا دیتای شخصی مردم رو ریختی تو اینترنت ...»                             | P1, P7  | ۴           |
|                        | ساختار    | نهادها                                       | نبود الزامات قانونی برای ورود به بازار                | «نظامی تعریف نشده و هیچ الزامی وجود ندارد برای انتشار داده‌ها ... داده‌ها را عمدتاً آرشیو می‌کنند»            | P1      | ۲           |
| توسعه دانش             | ساختار    | زیرساخت                                      | کمیود منابع داده‌ای و پیکره زبانی برای آموزش مدل‌ها   | «پیکره‌ای که داریم در حدود ۱۵۰ میلیون کلمه است ... شاید بتوان گفت که ۳۰ درصد نیاز را پوشش می‌دهد»             | P6      | ۵           |
|                        | ساختار    | نهادها                                       | ضعف آموزش‌های تخصصی و کاربردی در بدنه اجرایی          | «به نظرم آموزش‌های لازم هم داده نشد ... که مثلاً به چه چیزی داده می‌گویند»                                    | P10, P1 | ۴           |
|                        | زمینه     | بخش                                          | شکاف دانشی مدیران و درک نادرست از هوش مصنوعی          | «نمی‌دانند هوش مصنوعی چه چیزی نیست ... یک غول بی‌شاخ و دم راجع به آن ترسیم کرده بودند»                        | P6      | ۳           |
| انتشار دانش            | ساختار    | تعاملات                                      | تعارض منافع و عدم همکاری بین‌سازمانی در تبادل داده    | «واحدهای اجرایی دولت دائماً بر سروکله هم می‌زنند برای دستیابی به قدرت و اختیارات بیشتر»                       | P4      | ۶           |
|                        | ساختار    | زیرساخت                                      | ضعف ظرفیت فنی سامانه‌های ملی مانند (GSB)              | «اوایل gsb نمی‌توانست این همه capacity را حمل کند و دائم قطع می‌شد»                                           | P5      | ۳           |
|                        | زمینه     | دیگر نظام‌ها                                 | الگوبرداری از تجربیات بین‌المللی برای شکستن مقاومت‌ها | «دوستان وزارتخانه، واجا و سپاه سفری به مسکو و چین رفتند ... و خیلی همراه‌تر شدند که با این موضوع کنار بیایند» | P1      | ۲           |
| هدایت مسیر جست‌وجو     | ساختار    | بازیگران                                     | تعدد متولیان و فقدان رهبری واحد در حوزه هوش مصنوعی    | «اصل معضلی که ما در حوزه هوش مصنوعی در کشور داریم، همین نداشتن متولی است»                                     | P9, P6  | ۵           |
|                        | ساختار    | نهادها                                       | استناد به قوانین قدیمی و منسوخ (مانند قانون سال ۱۳۵۳) | «یکی از جدی‌ترین چالش‌های اوپن دیتا در کشور، به نظر من قانون سال ۵۳ است»                                      | P9, P8  | ۳           |
|                        | زمینه     | سیاسی                                        | اولویت پایین نوآوری در برابر مسائل معیشتی             | «در وضعیتی که تورم و مشکلات کالای اساسی وجود دارد، این‌ها برای مقامات عالی شومی است»                          | P8, P9  | ۴           |
| شکل‌دهی به بازار       | ساختار    | تعاملات                                      | بی‌توجهی به نیازهای واقعی کاربران (تقاضای بازار)      | «شما تقاضای مردم را جمع نمی‌کنید ... یوزر سنتریک نیست»                                                        | P2      | ۲           |
|                        | ساختار    | نهادها                                       | فقدان چهارچوب استاندارد برای قیمت‌گذاری داده          | «قیمت‌گذاری تعاملی از کجا می‌آید؟ از کجا معلوم است که به یکی ارزان نمی‌فروشد و به یکی گران ...؟»              | P5, P4  | ۳           |
|                        | زمینه     | جغرافیا                                      | ظرفیت‌های مغفول داده‌های محلی و توزیع شده             | «می‌خواستیم مفهوم سرویس محلی و داده‌های محلی مثل شهرداری‌ها ایجاد شود»                                        | P2      | ۲           |
| تجهیز منابع            | ساختار    | زیرساخت                                      | فرسودگی و کمیود توان پردازشی در سطح ملی               | «ما در حوزه هوش مصنوعی ... چه زیرساخت پردازشی داریم؟ اوضاع سرمایه‌گذاری خراب است ...»                         | P10     | ۴           |
|                        | تعاملات   | کمیود نیروی انسانی متخصص (تحلیلگر داده)      | کمیود نیروی انسانی متخصص                              | «نه در بخش فناوری اطلاعات دستگاه و نه در جای دیگر ما متخصص داده نداریم»                                       | P5, P10 | ۴           |
|                        | زمینه     | سیاسی                                        | بحران‌های اقتصادی و تحریم به‌عنوان مانع سرمایه‌گذاری  | «زمانی که ما به تحریم‌ها خوردیم ... پول نداریم که حتی حقوق بازنشسته‌ها را بدهیم»                              | P3      | ۳           |
| ایجاد مشروعیت          | ساختار    | تعاملات                                      | نظارت مخل و برخوردهای امنیتی با فعالان نوآوری         | «نهادهای امنیتی هم که دیگه هر کدوم تقریباً به بار مفصل خدمت‌شون رسیدیم و توضیح دادیم»                         | P6, P7  | ۵           |
|                        | زمینه     | سیاسی                                        | فرهنگ تاریخی مجرمانگی و توهم امنیتی                   | «پیشینه تاریخی مملکت ما این طور است که ... موجب شده دستگاه حکمرانی ما خیلی به سمت مجرمانگی پیش رود»           | P9      | ۴           |
|                        | بخش       | تلقی باز بودن داده به‌عنوان یک «منکر» فرهنگی | تلقی باز بودن داده به‌عنوان یک «منکر» فرهنگی          | «باز بودن در ایران جزء منکرات است. باز بودن داده مثل باز بودن خیلی چیزهای دیگر»                               | P2      | ۲           |

(میرعمادی، ۱۳۹۸). در ایران بخش بزرگی از داده‌های حاکمیتی که ماهیت مکانی (SDI)<sup>۱</sup> دارند، در بروکرسی ملی محبوس مانده اند (P7). از سویی، نبود تعامل میان لایه ملی و لایه‌های محلی (مانند شهرداری‌ها)، به شکل نگرفتن «مصرف‌کننده محلی» و بازارهای توزیع‌شده، منجر شده است که این تمرکزگرایی نه تنها کارکرد شکل‌دهی به بازا را محدود کرده، بلکه به نابرابری در دسترسی به زیرساخت‌های پردازشی در مناطق مختلف کشور انجامیده و فعالیت‌های کارآفرینانه را صرفاً در قطب‌های سیاسی-اداری متمرکز ساخته است (جدول ۷).

تحلیل عوامل زمینه‌ای در سطح بخش<sup>۲</sup> نشان‌دهنده ناهمگونی شدیدی در بلوغ دیجیتال و ظرفیت جذب فناوری میان صنایع مختلف است. صنایع سنتی و بزرگ (مانند نفت، بهداشت و کشاورزی) با نوعی «کرختی سازمانی» و نگاه سنتی به مدل‌های کسب‌وکار مواجه‌اند که مانع از درک ارزش اقتصادی داده در فرایندهای هوشمندسازی می‌شود (p7, p9). براساس چهارچوب نظام نوآوری فناورانه (Bergek et al., 2015)، این ضعف در ظرفیت انطباقی<sup>۳</sup> بخش‌های سنتی، به شکست در کارکرد توسعه دانش کاربردی منجر شده است. در مقابل، بخش‌های پویا مانند فین‌تک و خدمات آنلاین، تقاضای بالایی برای داده‌های حاکمیتی نشان داده‌اند، اما به دلیل ناهم‌آهنگی میان «بخش» و «نظام نوآوری ملی»، این تقاضاها به ایجاد بازارهای پایدار منجر نشده و شرکت‌های خصوصی در این بخش‌ها صرفاً به مصرف‌کننده مدل‌های خارجی تبدیل شده‌اند. با وجود این، تعامل هوش مصنوعی با دیگر نظام‌های نوآوری، به‌ویژه نظام نوآوری رمزارز و دولت الکترونیک، دلالت‌های مهمی برای آینده این فناوری دارد. یافته‌ها نشان می‌دهد که تجربه مواجهه حاکمیت با فناوری‌های نوظهوری چون رمزارز و مواجهه‌های علمی-بین‌المللی، نقش مهمی در کاهش مقاومت‌های نهادی و افزایش مشروعیت برای فناوری‌های مشابه داشته است (p1, p5). از سوی دیگر، نظام نوآوری هوش مصنوعی به‌شدت بر زیرساخت‌های «دولت الکترونیک» استوار است؛ از این‌رو، ناکارآمدی در پلتفرم‌های تبادل داده ملی (GSB)<sup>۴</sup> و کیفیت پایین داده‌های پایه که به‌صورت دستی ثبت شده‌اند، به‌عنوان سرریز منفی از دیگر سیستم‌ها، کارکرد تجهیز منابع و انتشار دانش را در حوزه هوش مصنوعی مختل کرده است.

در نهایت، بستر کلان اقتصادی و آموزشی کشور، ظرفیت‌های زیرساختی و انسانی نظام نوآوری فناورانه را به‌شدت محدود کرده است و تحریم‌های بین‌المللی و کسری بودجه دولت، از سویی به فرسودگی سخت‌افزاری و عدم تخصیص بودجه به زیرساخت‌های

پردازشی منجر شده و از سوی دیگر، شرایط اقتصادی نامساعد، اولویت‌های حاکمیت را از نوآوری به‌سمت هزینه‌های جاری مانند حقوق بازنشستگان سوق داده است (p3, p10). همچنین، براساس چهارچوب نظام نوآوری فناورانه (Bergek et al., 2015)، نابرابری در دسترسی به آموزش عالی باکیفیت و مهاجرت گسترده نخبگان، «ظرفیت انطباقی ملی» را برای دریافت و بومی‌سازی دانش هوش مصنوعی تضعیف کرده است. این زمینه‌ها در مجموع پتانسیل «جهش فناورانه» را از بین برده و سیستم را در وضعیتی قفل کرده‌اند که برون‌رفت از آن مستلزم تغییر پارادایم حاکمیت از نگاه امنیتی به نگاه اقتصادی توسعه‌ای است.

### زنجیره‌های شکست سیستمی در زیست‌بوم هوش مصنوعی ایران

تحلیل داده‌های پژوهش نشان می‌دهد گلوگاه‌های توسعه هوش مصنوعی در ایران در قالب «زنجیره‌های شکست سیستمی» شکل گرفته‌اند. در تحلیل حاضر، «شکست سیستمی» به‌الگویی از ضعف‌های به‌هم‌پیوسته کارکردی، محدودیت‌های ساختاری و فشارهای زمینه‌ای اشاره دارد که در تعامل با یکدیگر، عملکرد چند کارکرد نظام را تضعیف می‌کنند. بر همین اساس، «زنجیره شکست سیستمی» به مسیر انتقال و تقویت این ضعف‌ها اشاره دارد؛ یعنی وضعیتی که در آن محدودیت اولیه از طریق روابط میان کارکردها، ساختارها و شرایط زمینه‌ای به ضعف‌های دیگر سرریز می‌شود و به‌صورت متقابل بازتولید می‌گردد (Bergek et al., 2008; Wieczorek & Hekkert, 2012). در این رویکرد، واحد اصلی تحلیل «رابطه میان ضعف‌ها و میزان سرریز آن‌ها به سایر کارکردهای نظام» است. این منطق در تحلیل تجربی نیز دنبال شد. بر این اساس، سه زنجیره دارای بیشترین اهمیت تحلیلی در داده‌ها برجسته شد: (۱) زنجیره حکمرانی داده، (۲) زنجیره زیرساخت محاسباتی و (۳) زنجیره مشروعیت و بازار. انتخاب این سه زنجیره صرفاً بر مبنای فراوانی کدها یا اهمیت یک مانع انجام نشده است، بلکه براساس میزان اتصال آن‌ها به چند کارکرد، سرریز ضعف به دیگر اجزای نظام و نقشی که در تداوم یا تشدید سایر شکست‌ها ایفا می‌کنند، صورت گرفته است.

نقطه آغاز این زنجیره، «فقدان ترتیبات یکپارچه و قابل پیش‌بینی برای حکمرانی داده» است. شواهد پژوهش نشان می‌دهد که ابهام در مالکیت داده، قواعد محدودکننده یا نامشخص اشتراک‌گذاری و ضعف استانداردهای مرتبط با داده، موجب مدیریت جزیره‌ای داده‌ها و محدود شدن دسترسی بازیگران به منابع داده شده است. در داده‌های مصاحبه‌ای نیز عباراتی همچون «قانون مشخص داده/هوش مصنوعی نداریم»، «حقوق مالکیت داده نامعلوم است» و «استاندارد مشترک وجود ندارد» به‌عنوان کدهای پرتکرار ثبت

1. Spatial Data Infrastructure
2. Sectoral
3. Adaptive Capacity
4. Government Service Bus

شده‌اند. اهمیت این مسئله در «اختلالی است که در مسیر تبدیل داده به دانش و نوآوری ایجاد می‌کند». هنگامی که داده‌های سازمانی قابل دسترسی، اشتراک‌گذاری و استفاده پژوهشی نباشند، ظرفیت دانشگاه‌ها و شرکت‌ها برای توسعه، آزمون و بهبود مدل‌های هوش مصنوعی محدود می‌شود. در نتیجه، ضعف در حکمرانی داده به کارکرد «توسعه دانش و انتشار دانش» سرریز می‌کند. همزمان، نبود قواعد روشن درباره حفاظت، مسئولیت‌پذیری و استفاده اخلاقی از داده، اعتماد سازمانی و اجتماعی به کاربردهای هوش مصنوعی را کاهش می‌دهد و به تضعیف کارکرد «مشروعیت‌بخشی» منجر می‌شود. این سازوکار در یافته‌های اسنادی نیز مشاهده شده است (Heydari et al., 2026). از سوی دیگر، این شکست به‌صورت متقابل خود را بازتولید می‌کند. محدود شدن دسترسی به داده، توسعه محصولات و کاربردهای واقعی را کاهش می‌دهد؛ کاهش کاربردهای واقعی نیز فرصت شکل‌گیری تقاضا و بازار را محدود می‌کند؛ و بازار ضعیف، انگیزه سازمان‌ها برای سرمایه‌گذاری در ایجاد، استانداردسازی و اشتراک‌گذاری داده را کاهش می‌دهد. بنابراین، «حکمرانی داده از مسئله‌ای نهادی به گلوگاهی چندکارکردی تبدیل می‌شود» که همزمان بر توسعه دانش، فعالیت‌های کارآفرینانه، شکل‌گیری بازار و مشروعیت فناوری اثر می‌گذارد.

زنجیره دوم از «محدودیت دسترسی پایدار و مقرون‌به‌صرفه به زیرساخت محاسباتی» آغاز می‌شود. شواهد حاصل از مصاحبه‌ها به‌طور مشخص به کمبود یا گرانی پردازنده‌های گرافیکی، ضعف زیرساخت ابری داخلی، ناکافی بودن مراکز داده و ناپایداری زیرساخت انرژی اشاره دارند. یافته‌های میدانی نیز نشان می‌دهند که تحریم‌ها و هزینه بالای تجهیزات، حتی اجرای پروژه‌های میان‌مقیاس را دشوار کرده‌اند و بخشی از ظرفیت محاسباتی موجود نیز از پایداری یا دسترسی عمومی کافی برخوردار نیست. براین اساس، سازوکار اثرگذاری این محدودیت را می‌توان چنین توضیح داد: کمبود زیرساخت محاسباتی، هزینه و ریسک توسعه فناوری را افزایش می‌دهد. در نتیجه، امکان آزمون و مقیاس‌دهی کاهش می‌یابد و فعالیت‌های فناورانه تضعیف می‌شوند. در پی آن، احتمال تبدیل دانش به محصول و ورود آن به بازار نیز کاهش می‌یابد. این سازوکار در یافته‌های اسنادی نیز مشاهده شده است (Heydari et al., 2025). بنابراین، زیرساخت محاسباتی صرفاً نهادهای فنی نیست، بلکه ظرفیتی است که امکان تحقق چند کارکرد نظام، به‌ویژه «بسیج منابع، توسعه دانش کاربردی و فعالیت‌های کارآفرینانه» را تعیین می‌کند. این زنجیره با محدودیت‌های انسانی و داده‌ای نیز تقویت می‌شود. یافته‌ها نشان می‌دهد که در کنار محدودیت پردازش گرافیکی و سرور، مدیریت جزیرهای و کیفیت پایین داده‌ها و نیز مهاجرت نیروی متخصص، ظرفیت توسعه و بومی‌سازی فناوری را کاهش داده‌اند. ترکیب این عوامل موجب شده است که ظرفیت علمی

موجود الزاماً به ظرفیت فناورانه و محصولی تبدیل نشود و در نهایت، خطر «قفل‌شدگی در موقعیت مصرف‌کننده فناوری‌های خارجی» افزایش یابد. از این منظر، مسئله اصلی «برهم‌کنش زیرساخت با منابع، داده و سرمایه انسانی» است. به همین دلیل، افزایش ظرفیت محاسباتی به‌تنهایی الزاماً موجب رفع گلوگاه توسعه نخواهد شد، زیرا اگر دسترسی به داده، نیروی انسانی و بازار همچنان محدود باشد، ظرفیت جدید نیز نمی‌تواند به چرخه پایدار نوآوری تبدیل شود.

زنجیره سوم از تعامل میان «نااطمینانی نهادی و تنظیمی، ضعف تقاضای ساختارمند و مسئله اعتماد و پذیرش فناوری» شکل می‌گیرد. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که اگرچه تعداد قابل توجهی شرکت و فعالیت کارآفرینانه در حوزه هوش مصنوعی شکل گرفته، این فعالیت‌ها با کمبود تقاضای ساختارمند، نااطمینانی اقتصادی و ریسک بالای سرمایه‌گذاری مواجه‌اند. همچنین سلطه بازیگران دولتی و شبه‌دولتی در برخی بازارهای اصلی و نبود سازوکارهای شفاف ارزیابی و خرید راهکارهای هوش مصنوعی، شکل‌گیری تقاضای پایدار را محدود کرده است. این ضعف بازار در خلأ نهادی رخ نمی‌دهد. شواهد ساختاری نشان‌دهنده «بی‌ثباتی مقررات، بخشنامه‌های متعارض، زمان‌بر بودن مجوزها، نبود استانداردهای مشترک و ضعف در اجرای برنامه‌های سیاستی» است. در داده‌های مصاحبه‌ای نیز عباراتی مانند «مقررات مدام عوض می‌شود»، «بخشنامه‌های متعارض» و «مجوزها زمان‌بر است» به‌عنوان شواهد این وضعیت ثبت شده‌اند. افزون‌براین، ابهام در اولویت‌های سیاستی و نبود شاخص‌های عملیاتی، زمان‌بندی و سازوکار ارزیابی، عدم اطمینان بازیگران نسبت به مسیر آینده فناوری را افزایش داده است. سازوکار بازتولید این زنجیره از آنجا آغاز می‌شود که «نااطمینانی نهادی و تنظیمی» ریسک فعالیت و سرمایه‌گذاری در حوزه هوش مصنوعی را افزایش می‌دهد. افزایش این ریسک، به کاهش ورود و ماندگاری بخش خصوصی می‌انجامد و در نتیجه، شکل‌گیری «تقاضای ساختارمند و بازار پایدار» برای محصولات و خدمات هوش مصنوعی محدود می‌شود. ضعف بازار نیز فرصت‌های بنگاه‌ها برای تجربه، آزمون، یادگیری و توسعه راه‌حل‌های بومی را کاهش می‌دهد. در پی آن، شواهد کمتری از موفقیت و کارآمدی فناوری در دسترس قرار می‌گیرد و این وضعیت می‌تواند به تضعیف مشروعیت فناوری و تداوم احتیاط سرمایه‌گذاران و کاربران منجر شود. در نهایت، این احتیاط مجدداً نااطمینانی موجود را تقویت می‌کند و زنجیره‌ای بازتولیدشونده شکل می‌گیرد که در آن «نااطمینانی نهادی، ضعف مشارکت بخش خصوصی و ضعف بازار یکدیگر را تقویت می‌کنند». بنابراین، بازار ضعیف صرفاً پیامد شکست‌های پیشین نظام نیست، بلکه خود به سازوکاری برای بازتولید و تداوم این شکست‌ها تبدیل می‌شود. این یافته با شواهد مربوط به کارکرد مشروعیت‌بخشی نیز همخوان است. نگرانی‌های مربوط به اشتغال، حریم خصوصی و

کنترل اجتماعی، در کنار فقدان چهارچوب اخلاقی و حقوقی روشن، می‌تواند پذیرش فناوری را محدود کند؛ در نتیجه، ضعف اعتماد اجتماعی و نهادی از سویی تقاضا را محدود و از سوی دیگر انگیزه سرمایه‌گذاری و توسعه محصول را کاهش می‌دهد.

برآیند تحلیل نشان می‌دهد که سه زنجیره بالا مجزا از یکدیگر عمل نمی‌کنند، بلکه در نقاطی به هم متصل می‌شوند. ضعف حکمرانی داده، دسترسی به یکی از نهادهای اصلی توسعه مدل‌ها را محدود می‌کند؛ ضعف زیرساخت محاسباتی امکان تبدیل داده و دانش به محصول را کاهش می‌دهد؛ و ضعف بازار و نااطمینانی نهادی نیز انگیزه سرمایه‌گذاری برای توسعه داده، زیرساخت و ظرفیت انسانی را تضعیف می‌کند. بنابراین، رابطه میان این سه زنجیره را می‌توان رابطه‌ای «تقویت‌کننده و بازتولیدشونده» دانست، نه سه مجموعه مانع مستقل. در نتیجه، مسائل مرتبط با «داده و پردازش گرافیکی و بازار» از طریق سازوکارهای متقابل، یکدیگر را تشدید می‌کنند و ظرفیت نظام برای شکل‌دهی به چرخه‌های یادگیری، بسیج منابع، بازسازی و مشروعیت‌بخشی را هم‌زمان تضعیف می‌کنند. این برداشت با یافته‌های پیشین درباره اهمیت زیرساخت، حکمرانی داده، ساختار نهادی و بازار هم‌راستاست (Kanani et al., 2023; Miremadi et al., 2024; Heydari et al., 2025; Akbari et al., 2025; Heydari et al., 2026)؛ اما تفاوت پژوهش حاضر در تبیین رابطه میان این عوامل و سازوکار بازتولید آن‌هاست. از این منظر، «گلوگاه سیاستی الزام‌همان محلی نیست که نخستین ضعف مشاهده می‌شود»، بلکه نقطه‌ای است که مداخله در آن بتواند یک یا چند رابطه تقویت‌کننده در زنجیره را هم‌زمان مختل کند. بنابراین، سیاست‌گذاری مؤثر مستلزم حرکت از «فهرست اقدامات» به سمت «مداخله در نقاط اتصال زنجیره‌های شکست» است. به‌طور نمونه، توسعه ظرفیت محاسباتی بدون اصلاح دسترسی و حکمرانی داده، یا حمایت مالی از بنگاه‌ها بدون ایجاد تقاضای مؤثر و ثبات تنظیمی، احتمالاً اثر محدودی خواهد داشت.

### بحث و نتیجه‌گیری

هدف پژوهش بررسی این مسئله بود که «گلوگاه‌های توسعه هوش مصنوعی چگونه از تعامل میان کارکردهای نظام نوآوری فناوریانه، ساختارهای آن و شرایط زمینه‌ای شکل می‌گیرند و چگونه می‌توان از این روابط برای شناسایی نقاط مداخله سیاستی استفاده کرد». یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که مسئله اصلی نظام نوآوری فناوریانه هوش مصنوعی در ایران، فقدان ظرفیت علمی یا نبود فعالیت‌های فناوریانه به‌تنهایی نیست، بلکه ضعف در تبدیل این ظرفیت به چرخه‌های پایدار یادگیری، سرمایه‌گذاری، بازسازی و مشروعیت‌بخشی است. به بیانی، تولید دانش و فعالیت‌های کارآفرینانه در برخی حوزه‌ها

شکل گرفته‌اند، اما میان این کارکردها و دیگر کارکردهای نظام، به‌ویژه بسیج منابع، شکل‌گیری بازار و مشروعیت‌بخشی، پیوندهای تقویت‌کننده کافی ایجاد نشده است. این یافته با منطق اصلی رویکرد نظام نوآوری فناوریانه همخوان است که عملکرد نظام نوآوری را حاصل مجموعه‌ای از کارکردهای بهم‌پیوسته می‌داند و تأکید می‌کند که ضعف یک کارکرد می‌تواند مانع شکل‌گیری چرخه‌های تقویتی میان سایر کارکردها شود (Bergek et al., 2007; Hekkert et al., 2008; Bergek et al., 2015). از این منظر، یافته پژوهش حاضر نشان می‌دهد که رشد تولید دانش هوش مصنوعی، بدون شکل‌گیری تقاضای مؤثر، دسترسی پایدار به منابع و ترتیبات نهادی مشروع و قابل پیش‌بینی، الزاماً به توسعه نظام نوآوری پویا منجر نمی‌شود.

در سطح ساختاری، یافته‌ها نشان داد که پراکندگی و هم‌پوشانی نهادی، ضعف پیوندهای دانشگاه و صنعت، تمرکز جغرافیایی و محدودیت زیرساخت‌های محاسباتی و داده‌ای، ظرفیت تحقق کارکردهای نظام را محدود می‌کنند. بنابراین، ساختار در این پژوهش صرفاً به‌عنوان فهرستی از نهادها یا بازیگران در نظر گرفته نمی‌شود، بلکه اهمیت آن در این است که «چه ظرفیت‌هایی برای تحقق کارکردهای نظام ایجاد یا محدود می‌کند». به‌طور نمونه، تعدد بازیگران سیاست‌گذار در شرایطی که تقسیم کار و سازوکار هماهنگی روشن نباشد، می‌تواند به‌جای تقویت جهت‌دهی به جست‌وجو و بسیج منابع، موجب پراکندگی منابع و افزایش نااطمینانی برای بازیگران فناوریانه شود. در همین راستا، شرایط زمینه‌ای نیز صرفاً مجموعه‌ای از عوامل بیرونی و مستقل از نظام نیست. تحریم‌ها، بی‌ثباتی اقتصادی، محدودیت دسترسی به زیرساخت‌ها و زنجیره‌های جهانی فناوری، ملاحظات امنیتی و وضعیت حکمرانی داده، از طریق تأثیرگذاری بر بازیگران، نهادها و منابع، ظرفیت تحقق کارکردهای نظام را تغییر می‌دهند. این یافته با ادبیات نظام نوآوری فناوریانه درباره اهمیت زمینه‌های گسترده‌تر در شکل‌دهی به تحول فناوری همخوان است (Bergek et al., 2015). اما در مورد ایران نشان می‌دهد که زمینه باید در تحلیل گلوگاه‌های نظام به‌صورت فعال وارد شود، زیرا برخی محدودیت‌های زمینه‌ای مستقیماً به ساختارها و کارکردهای داخلی منتقل می‌شوند.

یکی از یافته‌های اصلی پژوهش این است که گلوگاه‌های شناسایی شده را نمی‌توان به‌صورت مجموعه‌ای از مشکلات مستقل از یکدیگر تفسیر کرد. تحلیل داده‌های اسنادی و مصاحبه‌ها نشان داد که برخی ضعف‌ها به یکدیگر متصل می‌شوند و «زنجیره‌های شکست سیستمی» را ایجاد می‌کنند. منظور از زنجیره شکست سیستمی در این پژوهش، الگویی است که در آن ضعف یک یا چند کارکرد، در تعامل با محدودیت‌های ساختاری و زمینه‌ای، موجب تضعیف کارکردهای

دیگر شده، در نتیجه، مانع شکل‌گیری چرخه‌های تقویتی نظام می‌شود. براساس این منطق، سه زنجیره اصلی در داده‌های پژوهش برجسته شد. زنجیره نخست حول «حکمرانی داده و زیرساخت» شکل می‌گیرد؛ محدودیت در دسترسی، کیفیت و اشتراک‌گذاری داده، در کنار ضعف زیرساخت محاسباتی، ظرفیت توسعه و آزمون راهکارهای هوش مصنوعی را محدود می‌کند و در نتیجه، فعالیت‌های فناورانه و شکل‌گیری بازار را تضعیف می‌کند. زنجیره دوم حول «منابع، سرمایه انسانی و ظرفیت توسعه فناورانه» قرار دارد؛ ناطلمینانی اقتصادی، محدودیت منابع و ضعف پیوند میان دانشگاه و صنعت، امکان حفظ و به‌کارگیری ظرفیت تخصصی را کاهش می‌دهد و فاصله میان تولید دانش و تجاری‌سازی را افزایش می‌دهد. زنجیره سوم نیز به «مشروعیت و بازار» مربوط است؛ نبود تقاضای پایدار، ناطلمینانی تنظیمی و ضعف سازوکارهای اعتماد و پذیرش، انگیزه سرمایه‌گذاری و توسعه محصولات را کاهش می‌دهد و متقابلاً فرصت تجربه، یادگیری و مشروعیت‌بخشی فناوری را محدود می‌کند. این یافته نشان می‌دهد رفع مانعی منفرد الزاماً به بهبود عملکرد کل نظام منجر نمی‌شود. به‌طور نمونه، افزایش ظرفیت محاسباتی بدون اصلاح دسترسی به داده یا ایجاد تقاضای مؤثر ممکن است به‌تنهایی نتواند شکاف میان ظرفیت علمی و نوآوری بازارمحور را برطرف کند. به همین ترتیب، حمایت مالی از شرکت‌ها در شرایطی که ناطلمینانی تنظیمی و ضعف بازار وجود دارد، ممکن است تنها اثر کوتاه‌مدت داشته باشد. بنابراین، سیاست‌گذاری باید نقاطی را هدف قرار دهد که در زنجیره شکست، اثر چندگانه بر چند کارکرد نظام دارند.

یافته‌های این پژوهش با مطالعات داخلی که ضعف زیرساخت، حکمرانی داده، ساختار نهادی، بازار و ظرفیت کسب‌وکار را به‌عنوان موانع توسعه هوش مصنوعی در ایران شناسایی کرده‌اند، هم‌راستا است (Kanani et al., 2023; Akbari et al., 2025; Miremadi et al., 2024; Heydari et al., 2025). تفاوت اصلی پژوهش حاضر در شناسایی این عوامل نیست، بلکه در «تبیین رابطه میان آن‌ها» است. مطالعات پیشین عمدتاً هریک بر بخشی از مسئله، مانند حکمرانی داده، ساختار نهادی، ظرفیت کسب‌وکار یا زیرساخت تمرکز کرده‌اند؛ درحالی‌که یافته‌های حاضر نشان می‌دهد این عوامل از طریق اثرگذاری بر کارکردهای نظام و تعامل میان آن‌ها، یکدیگر را تقویت یا تضعیف می‌کنند. از این منظر، سهم نظری پژوهش حاضر، توسعه چهارچوب نظام نوآوری فناورانه از طریق «صورت‌بندی زمینه به‌عنوان عاملی است که از طریق تأثیر بر ظرفیت تحقق کارکردها و آرایش ساختاری نظام، در شکل‌گیری یا تشدید زنجیره‌های شکست نقش دارد». بنابراین، رابطه میان کارکرد، ساختار و زمینه در پژوهش، رابطه‌ای طبقه‌بندی‌کننده نیست؛ بلکه رابطه‌ای تعاملی و فرایندی است. این صورت‌بندی کمک می‌کند توضیح داده شود که چرا ضعفی

مشابه، در زمینه‌های نهادی متفاوت می‌تواند پیامدهای متفاوتی برای مسیر تحول فناوری ایجاد کند. از این نظر، پژوهش حاضر با ادبیات نظام نوآوری فناورانه درباره اهمیت تعامل کارکردها و نقش ساختارها در شکل‌دهی به عملکرد نظام سازگار است (Hekkert et al., 2007; Bergek et al., 2015). اما بر اهمیت سازوکار انتقال فشارهای زمینه‌ای به سطح ساختار و کارکرد تأکید بیشتری دارد. این امر به‌ویژه برای تحلیل فناوری‌های میان‌بخشی و داده‌محوری مانند هوش مصنوعی اهمیت دارد، زیرا توسعه آن‌ها به مجموعه‌ای از منابع و ترتیباتی وابسته است که بخش قابل توجهی از آن‌ها خارج از مرزهای یک فناوری یا سازمانی منفرد قرار دارند.

بر مبنای یافته‌های پژوهش، دلالت‌های سیاستی نه به‌صورت مجموعه‌ای از اقدامات عمومی، بلکه به‌عنوان پاسخ مستقیم به زنجیره‌های شکست شناسایی شده قابل صورت‌بندی است. نخست، «در زنجیره حکمرانی داده و زیرساخت»، اولویت سیاستی باید ایجاد شرایط دسترسی، اشتراک‌گذاری و استفاده قابل پیش‌بینی از داده، همراه با توسعه زیرساخت محاسباتی باشد. مسئله کیفیت، دسترسی، قواعد اشتراک‌گذاری و مسئولیت‌پذیری در استفاده از داده نیز اهمیت دارد. بنابراین، توسعه حکمرانی داده باید هم‌زمان با سرمایه‌گذاری در زیرساخت محاسباتی دنبال شود تا این دو ظرفیت بتوانند کارکردهای توسعه دانش، فعالیت‌های کارآفرینانه و شکل‌گیری بازار را تقویت کنند. دوم، «در زنجیره منابع و ظرفیت فناورانه»، سیاست حمایت از هوش مصنوعی باید از حمایت‌های پراکنده و کوتاه‌مدت به‌سمت ایجاد ترتیبات پایدار برای تأمین منابع، حفظ سرمایه انسانی و تقویت واسطه‌های دانشگاه-صنعت حرکت کند. یافته‌ها نشان می‌دهد که افزایش تولید دانش، بدون سازوکارهای مؤثر انتقال دانش و توسعه محصول، الزاماً به تقویت نظام نوآوری منجر نمی‌شود. از این رو، حمایت از طرح‌های مشترک، نهادهای میانجی انتقال فناوری و سازوکارهای تأمین مالی توسعه و تجاری‌سازی می‌تواند مستقیماً به این گلوگاه پاسخ دهد. سوم، «در زنجیره مشروعیت و بازار»، سیاست‌گذاری باید بر ایجاد تقاضای قابل اتکا و کاهش ناطلمینانی تنظیمی متمرکز شود. تدارکات عمومی نوآورانه، طرح‌های پایلوت دولتی و سازوکارهای ارزیابی و استانداردسازی می‌توانند از سوی بازار اولیه برای راهکارهای هوش مصنوعی ایجاد کنند و از سوی دیگر، از طریق تولید تجربه و شواهد عملکردی، به مشروعیت‌بخشی و یادگیری فناورانه کمک کنند. چهارم، «در سطح هماهنگی نظام»، ایجاد نهادهای جدید لزوماً پاسخ مناسبی به مسئله پراکندگی نهادی نیست. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد اولویت با روشن کردن تقسیم کار، کاهش هم‌پوشانی وظایف و ایجاد سازوکار هماهنگی دارای اختیار و پاسخ‌گویی مشخص است. به این ترتیب، اصلاح آرایش نهادی باید به‌عنوان شرط تقویت چند کارکرد نظام، نه صرفاً به‌عنوان اصلاحی اداری، در نظر گرفته شود. در

«فهرست موانع» و حرکت به سمت تحلیل «روابط میان موانع و سازوکارهای بازتولید آن‌ها» است. در این چهارچوب، ساختارها و شرایط زمینه‌ای زمانی اهمیت تحلیلی پیدا می‌کنند که نشان دهند چگونه ظرفیت تحقق کارکردهای نظام را تغییر می‌دهند و چگونه این تغییرات می‌تواند به چرخه‌های تقویتی یا زنجیره‌های شکست منجر شود. از منظر سیاستی نیز نتیجه اصلی آن است که سیاست توسعه هوش مصنوعی نمی‌تواند صرفاً بر افزایش منابع یا ایجاد نهادهای جدید متمرکز باشد. مداخله مؤثر باید بر نقاطی متمرکز شود که امکان گسستن زنجیره‌های شکست و پیوند میان چند کارکرد نظام ایجاد می‌کنند. در مورد ایران، این نقاط عمدتاً در حکمرانی داده، زیرساخت و منابع، پیوند دانشگاه و صنعت، بازارسازی و هماهنگی نهادی قرار دارند. چنین رویکردی می‌تواند سیاست‌گذاری هوش مصنوعی را از مجموعه‌ای از اقدامات پراکنده به سمت مداخله در سازوکارهای شکل‌دهنده به مسیر تحول نظام نوآوری فناوریانه هدایت کند.

مجموع، منطق سیاستی حاصل از پژوهش آن است که «مداخله مؤثر باید به جای درمان جداگانه هر مانع، نقاط اتصال میان چند کارکرد را هدف قرار دهد». به همین دلیل، حکمرانی داده، زیرساخت محاسباتی، تقویت پیوند دانشگاه-صنعت، ایجاد بازار اولیه و اصلاح هماهنگی نهادی در این پژوهش نه مجموعه‌ای از سیاست‌های مستقل، بلکه نقاط مداخله‌ای در زنجیره‌های شکست شناسایی شده هستند. این پژوهش با استفاده از چهارچوب نظام نوآوری فناوریانه، گلوگاه‌های توسعه هوش مصنوعی در ایران را در پیوند میان کارکردهای نظام، ساختارهای نهادی و شبکه‌ای و شرایط زمینه‌ای بررسی کرد. یافته‌ها نشان داد که چالش اصلی را نمی‌توان صرفاً به ضعف تولید دانش، کمبود زیرساخت یا نبود سیاست‌های حمایتی نسبت داد. مسئله اساسی، ضعف در پیوند دادن ظرفیت‌های موجود و تبدیل آن‌ها به چرخه‌های پایدار منابع، بازار، یادگیری و مشروعیت است. بر این اساس، مهم‌ترین نتیجه نظری پژوهش آن است که تحلیل توسعه هوش مصنوعی در ایران مستلزم عبور از رویکرد

## References

- Adebayo Olusegun, A., Adepoju, O., & Adetunji, A. (2023). Artificial intelligence adoption in developing countries: Opportunities and challenges. *Technology in Society*, 72, 102182. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.102182>
- Akbari, A., Danaeefard, H., Abdolhamid, M., Mahmoudi, M., & Khosravi, M. (2024). Identification and prioritization of barriers and challenges of data-driven governance from the perspective of using artificial intelligence and data-based technologies in the public sector. *Strategic Studies of Public Policy*, 14(51), 56-81. (Persian) <https://doi.org/10.22034/sspp.2024.2026836.3610>
- Akbari, A., Soltani, A., & Falahatkar, S. (2025). *AI governance (7): Capacity assessment for AI development in the country and recommendations for capacity synergy*. Tehran: Islamic Parliament Research Center. (Persian)
- Alinaghian, A., Safdari-Ranjbar, M., & Mohammadi, M. (2023). Designing a policy package for the development of artificial intelligence in Iran. *Public Policy*, 9(1), 22-46. (Persian) <https://doi.org/10.22059/jppolicy.2023.92986>
- Artificial Intelligence Atlas of Iran. (2024). *Iran artificial intelligence atlas: A tool to get to know the activists of Iran's artificial intelligence ecosystem*. Ecomotive. Retrieved from: <https://ai-atlas.ir> (Persian)
- Bergek, A., Hekkert, M., Jacobsson, S., Markard, J., Sandén, B., & Truffer, B. (2015). Technological innovation systems in contexts: Conceptualizing contextual structures and interaction dynamics. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 16, 51-64. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2015.07.003>
- Bergek, A., Jacobsson, S., Carlsson, B., Lindmark, S., & Rickne, A. (2008). Analyzing the functional dynamics of technological innovation systems: A scheme of analysis. *Research Policy*, 37(3), 407-429. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.12.003>
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77-101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
- Bresnahan, T. F., & Trajtenberg, M. (1995). General purpose technologies: 'Engines of growth'? *Journal of Econometrics*, 65(1), 83-108. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(94\)01598-T](https://doi.org/10.1016/0304-4076(94)01598-T)
- Carlsson, B., & Stankiewicz, R. (1991). On the nature, function, and composition of technological systems. *Journal of Evolutionary Economics*, 1(2), 93-118. <https://doi.org/10.1007/BF01224915>
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd Ed.). Thousand Oaks: Sage Publications.
- Edquist, C. (2005). Systems of innovation: Perspectives and challenges. In J. Fagerberg, D. Mowery, & R. Nelson (Eds.), *The Oxford handbook of innovation* (pp. 181-208). Oxford: Oxford University Press.

- European Union. (2024). *Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the council of 13 June 2024 laying down harmonised rules on artificial intelligence and amending Regulations (EC) No 300/2008, (EU) No 167/2013, (EU) No 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1139 and (EU) 2019/2144 and Directives 2014/90/EU, (EU) 2016/797 and (EU) 2020/1828 (Artificial Intelligence Act) (Text with EEA relevance)*. Retrieved from: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj/eng>
- Floridi, L., Cowls, J., Beltrametti, M., Chatila, R., Chazerand, P., Dignum, V. & Vayena, E. (2018). AI4People— An ethical framework for a good AI society: Opportunities, risks, principles, and recommendations. *Minds and Machines*, 28(4), 689-707. <https://doi.org/10.1007/s11023-018-9482-5>
- Hekkert, M. P., & Negro, S. O. (2009). Functions of innovation systems as a framework to understand sustainable technological change: Empirical evidence for earlier claims. *Technological Forecasting and Social Change*, 76(4), 584-594. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2008.04.013>
- Hekkert, M. P., Suurs, R. A. A., Negro, S. O., Kuhlmann, S., & Smits, R. E. H. M. (2007). Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. *Technological Forecasting and Social Change*, 74(4), 413-432. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2006.03.002>
- Heydari, H., Mansoori, S., Naseri Jezeh, M., & Pazhouhan, M. (2026). Exploring open data system promotion strategies in stakeholders' narratives: A qualitative study. *Sciences and Techniques of Information Management*, 12(1), 124-138. (Persian) <https://doi.org/10.22091/stim.2025.12883.2255>
- Heydari, H., Mirshafiei, V., & Khaledi, A. (2025). AI companies in Iran: A qualitative study of business barriers and challenges. *Science and Technology Policy*, 15(4). (Persian) <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24767220.1404.15.4.2.4>
- Kameli, B., & Taheri, R. (2023). *Institutional mapping and national division of labor in the field of artificial intelligence development*. Tehran: Islamic Parliament Research Center. (Persian)
- Kanani, F., Rasouljan, P., Hafezi, R., & Ahangari, S. S. (2023). Analysis of Iran's artificial intelligence ecosystem and identification of its institutional and functional gaps. *Science and Technology Policy*, 16(2), 59-77. (Persian) <https://doi.org/10.22034/jstp.2023.11303.1648>
- Kattel, R., & Mazzucato, M. (2018). Mission-oriented innovation policy and dynamic capabilities in the public sector. *Industrial and Corporate Change*, 27(5), 787-801. <https://doi.org/10.1093/icc/dty032>
- Klein Woolthuis, R., Lankhuizen, M., & Gilsing, V. (2005). A system failure framework for innovation policy design. *Technovation*, 25(6), 609-619. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2003.11.002>
- Lundvall, B. A. (1992). *National systems of innovation: Toward a theory of innovation and interactive learning*. London: Pinter Publishers.
- Mahmoudi, M., Mohammadzadeh, M., & Akbari, E. (2024). *AI governance (5): The AI regulatory system in the country*. Tehran: Islamic Parliament Research Center. (Persian)
- Markard, J., & Truffer, B. (2008). Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework. *Research Policy*, 37(4), 596-615. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2008.01.004>
- Markard, J., Hekkert, M., & Jacobsson, S. (2015). The technological innovation systems framework: Response to six criticisms. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 16, 76-86. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2015.06.009>
- Miremadi, S. E. (2019). Technological innovation system: A model for innovation and technology development policy. *Journal of Science and Technology Policy*, 12(2), 171-192. (Persian)
- Miremadi, S. E., Ahmadi, A. M., Sazgarnejad, A., Abedinzadeh, Z., Jadidzadeh, A., Zohourian, K., Einol-Dast, Z., & Bahmanpour, M. H. (2024). *Iran AI Index 2024*. Sharif Center for Artificial Intelligence Strategy and Transformation & Policy Lab, Sharif University of Technology. Retrieved from: <https://aistrategy.tsc.sharif.ir/fa/report/4> (Persian)
- Nambisan, S., Wright, M., & Feldman, M. (2019). The digital transformation of innovation and entrepreneurship: Progress, challenges and key themes. *Research Policy*, 48(8), 103773. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2019.03.018>
- Nelson, R. R., & Winter, S. G. (1982). *An evolutionary theory of economic change*. Cambridge: Harvard University Press.
- North, D. C. (1990). *Institutions, institutional change and economic performance*. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511808678>
- Payandeh, R. (2024). Designing a data governance system in the private sector using Soft Systems Methodology (SSM): A case study of the Iran Chamber of

- Commerce, Industries, Mines and Agriculture. *Strategic Studies of Public Policy*, 14(51, Special Issue), 22-44. (Persian)  
<https://doi.org/10.22034/sspp.2024.2027704.3640>
- PwC. (2025). *The fearless future: PwC's 2025 global AI jobs barometer*. Retrieved from:  
<https://www.pwc.com/gx/en/issues/artificial-intelligence/job-barometer/2025/report.pdf>
- Safdari-Ranjbar, M. (2024). *Policy report on the review of the National Artificial Intelligence Document*. Tehran: National Research Institute for Science Policy. (Persian)
- Smith, A., & Stirling, A. (2010). The politics of social-ecological resilience and sustainable socio-technical transitions. *Ecology and Society*, 15(1), 11.
- Supreme Council of the Cultural Revolution. (2024). *National artificial intelligence document of the Islamic Republic of Iran*. Tehran: Islamic Parliament Research Center. Retrieved from:  
<https://rc.majlis.ir/fa/law/show/1811432>
- Tabatabaei, S. M., Miremadi, S. E., & Zarghami, M. (2024). Analysis of institutional barriers to data-driven governance at organizational and inter-organizational levels: A case study of shared access to water data in Iran. *Journal Strategic Studies of Public Policy*, 14(51), 82-103. (Persian)  
<https://doi.org/10.22034/sspp.2024.2033080.3667>
- Tortoise Media. (2024). *The Global Artificial Intelligence Index 2024*. Retrieved from:  
<https://www.tortoisemedia.com/2024/09/19/the-global-artificial-intelligence-index-2024>
- UNCTAD. (2023). *Technology and innovation report 2023: Opening green windows - Technological opportunities for a low-carbon world*. Geneva: United Nations Conference on Trade and Development.  
<https://doi.org/10.18356/9789210024778>
- Secundo, G., Spilotro, C., Gast, J., & Corvello, V. (2025). The transformative power of artificial intelligence within innovation ecosystems: A review and a conceptual framework. *Review of Managerial Science*, 19(9), 2697–2728.  
<https://doi.org/10.1007/s11846-024-00828-z>
- Wieczorek, A. J., & Hekkert, M. P. (2012). Systemic instruments for systemic innovation problems: A framework for policy makers and innovation scholars. *Science and Public Policy*, 39(1), 74-87.  
<https://doi.org/10.1093/scipol/scr008>
- World Bank. (2024). *Global trends in AI governance: Emerging approaches and considerations for developing countries*. Washington, DC: World Bank Group.
- Zhang, J., & Lu, Y. (2022). The infrastructure of artificial intelligence: Cloud computing, data centers, and computational resources. *AI & Society*, 37(3), 811-825. <https://doi.org/10.1007/s00146-021-01219-9>
- Zhang, T., Li, X., & Chen, Y. (2025). Cost trends and diffusion pathways of large AI models. *Nature Machine Intelligence*, 7(2), 99-110.  
<https://doi.org/10.1038/s42256-025-00789-3>



### حمید حیدری



دانش‌آموخته جامعه‌شناسی و عضو هیئت علمی مؤسسه مطالعات فرهنگی و اجتماعی و گروه مطالعات علم و فناوری این مؤسسه است. علایق پژوهشی وی در حوزه جامعه‌شناسی علم و فناوری، جامعه‌شناسی نوآوری و مطالعات نهادی قرار دارد. پژوهش‌های او با رویکردی تفسیری-انتقادی، بر چگونگی شکل‌گیری، تداوم و تغییر ترتیبات نهادی علم و فناوری در ایران و نسبت آن‌ها با تحولات فناورانه، به‌ویژه در حوزه داده و هوش مصنوعی، متمرکز است.

### امیر حسین نیک‌زاد



دانش‌آموخته رشته مدیریت فناوری گرایش نوآوری دانشگاه تهران در مقطع کارشناسی ارشد. پژوهشگر حوزه سیاست‌گذاری علم، فناوری و نوآوری است و در زمینه نظام‌های نوآوری، گذارهای فناورانه و سیاست‌گذاری سبز پژوهش می‌کند. تمرکز پژوهشی وی بر تحلیل نظام‌های نوآوری فناورانه و طراحی سیاست‌های مؤثر برای گذار به توسعه پایدار و فناوری‌های سبز با تکیه بر روش‌های کمی و گراف است.