

A Framework for Technology Priority-Setting Using Fuzzy Inference Systems (Case study: Information Technology in Iran)

Amir Khodadadi¹, Gholamali Montazer^{2*}, Sepehr Ghazinoory³, Mohammad Hoseini Moghaddam⁴

¹ Ph.D. Student, Information Technology Management Group, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

² Information Technology Engineering Group, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

³ Information Technology Management Group, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

⁴ Institute for Social and Cultural Studies (ISCS), Tehran, Iran

Received: 08 January 2025, Revised: 17 March 2025, Accepted: 25 March 2025

Paper type: Research

Abstract

Technology priority-setting is one of the most important aspects of science and technology policy-making. Due to their shortcomings, the existing methods and frameworks for technology priority-setting face limitations in providing policy recommendations to policymakers. One of these shortcomings is neglecting the future's uncertainties and the scenarios drawn for technological development. Another shortcoming is ambiguity among technological stakeholders regarding the parameters of evaluating technologies and their criteria. Fixing these defects requires revising the previous frameworks and introducing a new framework for priority-setting. On the other hand, considering the benefits of using intelligent systems in policymaking, the question is how to equip priority-setting with intelligence tools. In this article, by introducing a new framework for technology priority-setting that includes all three policy intelligence tools (forecasting, evaluation, foresight), the method of adding computational intelligence is explained with the help of fuzzy set theory. For this purpose, instead of conventional methods such as survey and multi-criteria decision-making, we use a fuzzy inference system to score the alternatives in the capability-attractiveness model, which helps to resolve the ambiguity of the range of criteria and provides a degree of intelligence for priority-setting. The criteria are also selected from among the dimensions of the uncertainty of the scenarios to consider the impact of future developments in the analysis of priorities. The achievement of the present research is an artifact that, with a degree of intelligence, can be used for information technology priority-setting at the national level.

Keywords: Technology Priority-setting, Capability-Attractiveness Criterion, Scenario Planning, Information Technology, Fuzzy Inference System.

* Corresponding Author's email: montazer@modares.ac.ir

اولویت‌گذاری هوشمند فناوری به کمک سامانه استنتاج فازی (موردکاوی: فناوری اطلاعات در ایران)

امیر خدادادی^۱، غلامعلی منتظر^{۲*}، سپهر قاضی نوری^۳، محمد حسینی مقدم^۴

^۱ دانشجوی دکتری سیاست‌گذاری علم و فناوری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۲ گروه مهندسی فناوری اطلاعات، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۳ گروه مدیریت فناوری اطلاعات، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۴ گروه مطالعات آینده‌نگر، پژوهشگاه مطالعات فرهنگی، اجتماعی و تمدنی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۹ تاریخ بازبینی: ۱۴۰۳/۱۲/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۰۵

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

اولویت‌گذاری فناوری یکی از مهم‌ترین جنبه‌های سیاست‌گذاری علم و فناوری است. روش‌ها و چارچوب‌های موجود برای اولویت‌گذاری فناوری به دلیل نقایص موجود در آنها، در ارائه توصیه‌های سیاستی به سیاست‌گذاران با محدودیت‌هایی مواجهند. یکی از این نقیصه‌ها، غفلت از عدم قطعیت‌های آینده و سناریوهای است که برای توسعه فناوری ترسیم می‌شود. نقیصه دیگر، بروز ابهام در میان ذی‌نفعان فناوری نسبت به پارامترهای ارزیابی فناوری‌ها و معیارهای آنهاست. رفع این نقایص مستلزم تجدیدنظر در چارچوب‌های پیشین و معرفی چارچوب جدیدی برای اولویت‌گذاری است. از سوی دیگر، با توجه به مزایای بهره‌گیری از سامانه‌های هوشمند در سیاست‌گذاری، این سؤال مطرح است که چگونه می‌توان اولویت‌گذاری را به ابزارهای هوشمندی مجهز کرد؟ در این مقاله، با معرفی چارچوب جدیدی برای اولویت‌گذاری فناوری که هر سه ابزار هوشمندی سیاستی (آینده‌نگاری، ارزیابی، پیش‌بینی) را در خود جای داده، نحوه افزودن هوشمندی محاسباتی به کمک نظریه مجموعه‌های فازی تبیین می‌شود. بدین منظور برای امتیازدهی به گزینه‌ها در الگوی جذابیت-توانمندی به جای روش‌های مرسوم پیمایش و تصمیم‌گیری چندمعیاره، از سامانه استنتاج فازی استفاده می‌کنیم که به رفع ابهام از محدوده معیارها کمک می‌کند و درجه‌ای از هوشمندی را برای اولویت‌گذاری فراهم می‌کند. معیارها نیز از میان ابعاد عدم قطعیت سناریونگاری‌ها انتخاب می‌شوند تا تأثیر تحولات آینده در تحلیل اولویت‌ها مدنظر قرار گیرد. نتایج حاکی از این است که از بین پنج فناوری انقلاب صنعتی چهارم، فناوری هوش مصنوعی در کشور با وجود برخورداری از جذابیت بالا، توانمندی پایینی دارد و نیازمند توسعه بیشتری از حیث توجه به ارتقای معیارهای توانمندی فناوریانه است. دستاورد تحقیق حاضر، یک مصنوع است که با برخورداری از درجه‌ای از هوشمندی می‌تواند برای اولویت‌گذاری فناوری اطلاعات در سطح ملی به کار رود.

کلیدواژه‌گان: اولویت‌گذاری فناوری، معیار جذابیت-توانمندی، سناریونگاری، فناوری اطلاعات، سامانه استنتاج فازی.

* رایانامه نویسنده مسؤول: montazer@modares.ac.ir

۱- مقدمه

نیاز به اولویت‌گذاری در علم و فناوری از یک قرارداد اجتماعی نوین میان علم و فناوری و جامعه در زمینه خلق دانش جدید سرچشمه می‌گیرد. به عبارت دیگر تعیین اولویت‌ها را می‌توان پاسخی دانست که نهاد سیاست‌گذار علم و فناوری به نیازها، انتظارات و چالش‌های جامعه می‌دهد. علم و فناوری از طریق تولید گونه‌های جدید دانش به نیازهای جامعه پاسخ می‌دهد و متقابلاً جامعه نیز به دلیل ظهور نیازهای جدید و متغیر، همواره پاسخ‌گویی به نیازها و حل مسائل جدید را از علم و فناوری می‌طلبد. اینکه پاسخ‌گویی به کدام دسته از نیازهای جامعه به بقیه برتری دارد و اینکه حل کدام دسته از مسائل پیش روی جامعه بر دیگران تقدم دارد، خردمآیه^۱ اولویت‌گذاری است. بنابراین با توجه به اینکه فرایند و نتایج خلق دانش جدید، تحت تأثیر محیط بیرونی است، نیاز به فرایندی بازخوردی بین این دو وجود دارد [1]. اولویت‌گذاری را می‌توان فعالیتی در نظر گرفت که خردمآیه و دید کلی به سیاست را از طریق شناسایی و برجسته کردن سازوکارهای سیاستی و هشدار درباره تغییرات سیاستی ایجاد می‌کند [2]. از سوی دیگر اولویت‌گذاری فرایند سیاستی پیچیده‌ای است که عوامل مختلفی در آن نقش دارند و بر یکدیگر تأثیر متقابل می‌گذارند. در فرایند انتخاب اولویت‌ها، تعارض‌های گوناگونی بین نیازهای اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و فرهنگی بروز می‌یابد؛ همین پیچیدگی‌هاست که کار اولویت‌گذاری را نیازمند سازماندهی خاص بر اساس بهره‌گیری از الگوها و تجارب متنوع کرده است. یکی از این پیچیدگی‌ها، بروز ابهام در بین ذی‌نفعان مختلف در خصوص معیارهای اولویت‌گذاری است. مفهوم ابهام و چگونگی مدل کردن آن یکی از شکاف‌های موجود در حوزه اولویت‌گذاری علم و فناوری است که رفع آن کمک شایانی به افزایش دقت اسناد سیاستی در حوزه علم و فناوری می‌کند. مقاله حاضر در پی توسعه دانش نظری و تجربی در زمینه حل مسئله اولویت‌گذاری فناوری در سطح ملی با استفاده از ابزارها و روش‌های هوشمند است. به همین دلیل، با مطالعه چارچوب‌های موجود، نظریه مجموعه‌های فازی به عنوان راه‌حل پیشنهادی در بخشی از چارچوب اولویت‌گذاری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲- پیشینه پژوهش

مراد از «اولویت‌گذاری»^۲، تعیین و انتخاب آگاهانه بخش‌های خاصی از صنعت، تحقیق و توسعه و نیز فناوری‌هایی است که نهادهای

عمومی آنها را مهم و ضروری تشخیص داده و در توسعه، تجاری سازی و به‌کارگیری آنها با انواع ابزارها مداخله می‌کنند [3].

فرایند اولویت‌گذاری عمدتاً شامل دو مرحله است [4]:

الف- تعیین اولویت‌ها، که به فهرستی از حوزه‌های پژوهشی یا موضوعات فناوریانه ختم می‌شود،

ب- پیاده‌سازی اولویت‌ها که از طریق دریافت، توسعه و انتخاب پیشنهادها، پژوهشی/فناورانه در راستای اولویت‌های تعیین شده در مرحله پیشین انجام می‌شود.

در واقع اولویت‌گذاری علم و فناوری شامل دو بُعد اصلی است [5]: بُعد اول تصمیم‌گیری درباره چگونگی تخصیص منابع با هدف تحقق اثربخشی، و بُعد دوم هماهنگ‌سازی بازیگران و فعالیت‌های مختلف سیاست‌گذاری علم و فناوری با هدف تحقق کارایی. این دو مرحله با توجه به اهداف و ضرورت‌ها، هر یک نیازمند الگوی روش‌شناختی خاص خود است: مرحله تعیین اولویت‌ها به طور معمول نیازمند روش‌های مسئله‌یابی برای توصیف اهداف و موضوعات فناوریانه است اما مرحله پیاده‌سازی به نوبه خود نیازمند توان ارزیابی پیشنهادها طبق شاخص‌هایی مشخص است. با این حال، مرحله تعیین اولویت‌ها از اهمیت بیشتری برخوردار است زیرا نتایج این مرحله اثر مهمی بر انواع پیشنهادها دریافتی دارد [5]. جدول ۱ دسته‌بندی مطالعات انجام شده در حوزه اولویت‌گذاری علم و فناوری را نشان می‌دهد.

جدول ۱. پیشینه پژوهش در اولویت‌گذاری علم و فناوری (یافته‌های محقق)

محور مطالعاتی	پژوهش‌های مرتبط
تهیه فهرست فناوری‌های کلیدی/حیاتی	(Georghiou & Harper, 2011) [6]
تمرکز بر فرایند تعیین اولویت‌ها	NSB, 2001) [7] (Rosenstock et al., 1998) [8]
مطالعه موردی اولویت‌گذاری در یک کشور یا یک صنعت خاص	Benner, 2012) [9] (Bengisu, 2003) [10] (Suh, 1994) [11] (Haan, 2015) [12] (Stenberg, 2009) [13]
مقایسه‌های تطبیقی بین کشورها	BILAT-USA, 2012) [14] (Gassler, 2004) [15] (Sokolov, et al., 2018) [16]
روش‌های به‌کار رفته در اولویت‌گذاری	تصمیم‌گیری
	چندمعیاره
	ارزش‌گذاری پژوهش
مدیریت سبد	(Salo et al, 2003) [17]
	(Fleurence & Torgerson, 2004) [18]
ترکیب اولویت‌گذاری و روش‌های آینده-نگاری	(McGeary, 1996) [19]
	Cuhls, 2004) [20] (Glod et al, 2008) [21] (Haegman, et al., 2015) [22] Hashemkhani, 2015 [23]
اولویت‌گذاری با تمرکز بر مسائل جهانی و چالش‌های ملی	Jarvis, 2019) [24] (Moore et al, 2018) [25] (Shepherd et al, 2020) [26]

² Priority Setting

¹ Rationale

جدول ۲. مقایسه ابزارهای مختلف هوشمندی راهبردی در سیاستگذاری [28]

ابزارهای هوشمندی	هدف	زمینه‌های استفاده	نوع موضوعات مورد توجه	نتایج
پیش‌بینی فناوری	ویژگی آتی مکانیزم-های فناوری، روندها و فنون کلیدی	انجام بخشی به چارچوب فناوری، کاربرد در بخش خصوصی	شرایط و پیامتهای عام توسعه فناوری، شناسایی پیشرفت-های عمده و هشدارهای زود هنگام در یک چارچوب فناوری خاص	شناسایی پیشرفت-های عمده و هشدار زود هنگام
ارزیابی فناوری	اثرات فناوری، اجتماعی، اقتصادی، محیطی و انسانی یک فناوری خاص؛ پشتیبانی از سیاست‌ها	تمرکز بر فناوری یا مسئله‌ای خاص، کاربرد در ارائه مشاوره به مجالس قانونگذاری ملی کشورها	قابلیت‌های یک فناوری خاص یا مشکلات ناشی از آن؛ گاهی نیز با یک نیاز عمومی مرتبط است	تدوین سیاست‌های یکپارچه علم و فناوری برپایه دانش دقیق
آینده‌نگاری فناوری	چشم-اندازهای بلندمدت از آینده علم و فناوری از طریق شناسایی حوزه‌های راهبردی	پشتیبانی از سیاستگذاری ملی یا فراملی	آثار گسترده‌تر توسعه فناوری، شناسایی پیشرفت-ها و هشدار زود هنگام در بافتی گسترده‌تر، شناسایی موضوعات دارای اثرات متقابل	جلوگیری از بروز خطاهای ناشی از در نظر نگرفتن پیچیدگی-های پیشرفت و تأثیرات جانبی ناشی از یک تصمیم

از سوی دیگر، تعیین اولویت‌های علم و فناوری با استفاده از روش‌هایی انجام می‌شود که ذیل روش‌های آینده‌نگاری قرار می‌گیرند [31]. یکی از این روش‌ها، روش «فناوری‌های حیاتی»^۸ است که مبتنی بر «الگوی توانمندی-جذابیت»^۹ به ارزیابی فناوری می‌پردازد [32]. در واقع اولویت‌گذاری علم و فناوری به دلیل بهره‌گیری از ابزارهای هوشمندی سیاستی (آینده‌نگاری فناوری و ارزیابی فناوری) نشانه‌ای از هوشمندی راهبردی در سیاستگذاری

در تحقیق حاضر در پی پاسخ به این سؤال هستیم که چارچوب‌های پیشین اولویت‌گذاری چه ویژگی‌هایی دارند و نقایص آنها چیست؟ رفع این نقایص مستلزم چه تجدیدنظری در این چارچوب‌هاست و به ویژه ارتباط آنها با مفهوم هوشمندی، اقسام و ابزارهای آن چیست و چگونه می‌توان این چارچوب‌ها را به ابزارهای هوشمندی مجهز کرد؟

۳- هوشمندی در اولویت‌گذاری

مفهوم «هوشمندی»^{۱۰} با رویکردهای روانشناسانه یا فرهنگی در سطوح فردی و سازمانی به تفصیل در بین محققان مختلف مطرح شده و به خلق مفاهیمی چون «هوش عام»^{۱۱}، «هوش انطباقی»^{۱۲}، «هوش سازمانی»^{۱۳}، «هوش راهبردی»^{۱۴}، «هوش تاکتیکی»^{۱۵} و ... منجر شده است. در حکمرانی و سیاستگذاری علم و فناوری در سطح ملی، مفهومی با عنوان «هوشمندی سیاستی»^{۱۶} یا «هوشمندی راهبردی در سیاست‌گذاری»^{۱۷} مطرح می‌شود که هدف از آن عبارت است از: جستجو، پردازش، تحلیل هوشمند، خلق، حفاظت و اشاعه اطلاعات راهبردی و انتقال آنها به فرد/نهاد مناسب در زمان مناسب برای اتخاذ سیاستی مناسب [27]. به عبارت دیگر، هوشمندی راهبردی در سیاست‌گذاری به فرایند مستمر جمع‌آوری اطلاعات قانونی و اخلاقی، تجزیه و تحلیل هوشیارانه آنها و انتشار کنترل‌شده هوشمندی سطح عملیاتی به سیاست‌گذاران اطلاق می‌شود [28]. هوشمندی راهبردی سبب ایجاد سه قابلیت در سیاست‌گذاری می‌شود [29]:

- الف) درک وابستگی‌ها به مسیر، انگیزه‌های متنوع و همچنین اولویت‌ها و قابلیت‌ها در موقعیت‌های سیاست‌گذاری؛
- ب) درک عناصر ناسازگار، مخرب، نوآیند و شگفتی‌سازهای ممکن در این موقعیت‌ها؛
- ج) درک سناریوها، راهبردها و چشم‌اندازهای جایگزین برای مدیریت عوامل کلیدی در موقعیت‌های سیاست‌گذاری.

پیش‌بینی فناوری^۹، ارزیابی فناوری^{۱۰} و آینده‌نگاری^{۱۱} برخی از مهم‌ترین ابزارهای هوشمندی سیاستی هستند که با توجه به جدول ۲ می‌توان به مقایسه آنها پرداخت [27, 28, 30].

⁸ Strategic Intelligence in Policy Making

⁹ Technology Forecast

¹⁰ Technology Assessment

¹¹ Foresight

¹² Critical Technologies

¹³ Capability-Attractiveness Model

¹ Intelligence

² General Intelligence

³ Adaptive Intelligence

⁴ Organizational Intelligence

⁵ Strategic Intelligence

⁶ Tactical Intelligence

⁷ Policy Intelligence

جذابیت و توانمندی را به صورت شاخص‌های کمی بیان کرد، امتیازدهی خبرگان به این شاخص‌ها ممکن است با بروز ابهام در میان آنها همراه باشد. این ابهام به تعریف هر خبره از محدوده امتیازهای کمی هر شاخص برمی‌گردد. رفع این ابهام با اطلاق عنوان «متغیر زبانی» به شاخص‌ها و تعریف قواعد «اگر-آنگاه» امکان‌پذیر می‌شود و ابزار آن سامانه استنتاج فازی^۹ در نظریه مجموعه‌های فازی^{۱۰} است [36-37]. خروجی این سامانه، «امتیاز»های جذابیت و توانمندی هر فناوری و در نتیجه، «موقعیت» آن فناوری در فضای جذابیت-توانمندی است. هوشمندی این سامانه از آنجا ناشی می‌شود که توانایی استفاده از دانش و روش‌های استنتاج برای حل مسائلی را دارد که به دلیل مشکل بودن، نیاز به تجربه و مهارت انسان دارند. ازسوی دیگر، هوشمندی این سامانه ناشی از استفاده از فناوری‌های هوش مصنوعی در طراحی سامانه است، زیرا طراحی سامانه‌های هوشمند ناشی از دو رویکرد اصلی است [38-39]: هوش مصنوعی انسان‌گرا^{۱۱} و هوش مصنوعی منطق‌گرا^{۱۲}. هوش مصنوعی انسان‌گرا ماشین‌هایی را مطالعه می‌کند که مانند انسان فکر و عمل می‌کنند؛ در مقابل، هوش مصنوعی منطق‌گرا ماشین‌هایی را بررسی می‌کند که می‌توانند براساس درک رفتار هوشمند انسان ساخته شوند. هوش مصنوعی انسان‌گرا هنر خلق ماشین‌هایی است که عملکردهایی را انجام می‌دهند که در صورت انجام توسط افراد، نیاز به هوش دارند. این مطالعه در مورد چگونگی ساخت رایانه‌ها برای انجام کارهایی است که در حال حاضر افراد (انسان‌ها) در آن بهتر هستند. هوش مصنوعی منطق‌گرا به دنبال توضیح و تقلید رفتار هوشمند از نظر فرایندهای محاسباتی است [38-39]. از این رو می‌توان گفت در تحقیق حاضر، هوشمندیِ اولویت‌گذاری از نوع هوش مصنوعی منطق‌گرا است.

نکته دیگر درباره کاستی‌های ماتریس توانمندی-جذابیت، این است که اولویت‌گذاری فناوری نوعی مداخله در توسعه فناوری است و می‌تواند وضعیت توسعه فناوری و در نتیجه شاخص‌هایی مثل بودجه تخصیصی به موضوعات، سهم بازار و میزان تمرکز سازمان‌ها بر موضوعی خاص را تحت تأثیر قرار دهد. چنانچه وضعیت این شاخص‌ها در شرایط مداخله و عدم مداخله یکسان باشد یا مداخله تأثیری در وضعیت این شاخص‌ها نداشته باشد، به معنی آن است

است اما لزوماً در فرایند خود هوشمند نیست. فرایند اولویت‌گذاری به خصوص زمانی که از مدل جذابیت-توانمندی بهره می‌برد، مبتنی بر محاسبات است. در اینجا لازم است به تفاوت میان هوشمندی سیاستی و هوشمندی محاسباتی^۱ دقت شود. در سال ۱۹۹۲ میلادی، در سه کنفرانس همزمان در اروپا، ژاپن و ایالات متحده، سه زمینه «نظریه مجموعه‌های فازی»^۲، «شبکه‌های عصبی»^۳ و «محاسبات تکاملی (الگوریتم ژنتیک)»^۴ ادغام شدند و از آن زمان تاکنون ذیل عنوان کلی «هوش محاسباتی»^۵ طبقه‌بندی می‌شوند [33].

در اولویت‌گذاری، ابزاری که می‌تواند اولویت‌های موضوعی^۶ و کارکردی^۷ را به طور همزمان در نظر بگیرد، «ماتریس توانمندی-جذابیت»^۸ است. مزیت این ماتریس این است که به ارائه فهرست فناوری‌ها اکتفا نمی‌کند بلکه راهبرد فناوری‌ها را نیز تعیین می‌کند. وجه تمایز این ماتریس با برخی ابزارهای تحلیل راهبردی مشابه مانند تحلیل «اجتماعی-فناوری-اقتصادی-زیست‌محیطی-سیاسی-ارزش‌ها (STEEP)» و تحلیل «قوت-ضعف-فرصت-تهدید (SWOT)» پرداختن به سیاست‌های خاص (معطوف به هر حوزه فناوری) به جای سیاست‌های عام (مستقل از حوزه‌های فناوری) است. به علاوه، واحد تحلیل ماتریس جذابیت-توانمندی، «یک فناوری خاص» است در حالی که واحد تحلیل SWOT «یک بنگاه/کشور» است؛ واحد تحلیل STEEPV نیز «یک یا چند پارامتر» است. البته ماتریس جذابیت-توانمندی و تحلیل قوت-ضعف-فرصت-تهدید (SWOT) به طور مستقیم راهبردها را تعیین می‌کنند در حالی که تحلیل STEEPV از طریق پیش‌بینی، به طور غیرمستقیم به تعیین راهبردها کمک می‌کند. از سوی دیگر، ماتریس جذابیت-توانمندی می‌تواند تعدادی از فناوری‌ها را مقایسه و اولویت آنها را نسبت به یکدیگر با تعیین راهبرد هر یک مشخص کند؛ لذا می‌توان گفت ماتریس جذابیت-توانمندی ابزاری مناسب برای اولویت‌گذاری است [34-35].

به‌رغم مزایای پیش‌گفته، یکی از کاستی‌های ماتریس جذابیت-توانمندی، به روش‌های امتیازدهی کاربردی در آن مربوط می‌شود. محاسبه امتیاز جذابیت و توانمندی گزینه‌ها (فناوری‌ها) به‌طور معمول با روش‌هایی چون تصمیم‌گیری چندمعیاره یا نظرسنجی از خبرگان و ... حاصل می‌شود. با این فرض که بتوان معیارهای

⁷ Functional Priorities

⁸ Capability-Attractiveness Matrix

⁹ Fuzzy Inference System

¹⁰ Fuzzy Sets Theory

¹¹ Humanistic AI (HAI)

¹² Rationalistic AI (RAI)

¹ Computational Intelligence

² Fuzzy Sets Theory

³ Neural Nets

⁴ Evolutionary Computing (Genetic Algorithms)

⁵ Computational intelligence

⁶ Thematic Priorities

استنتاج فازی، از هوشمندی محاسباتی نیز در فرایند خود برخوردار است.

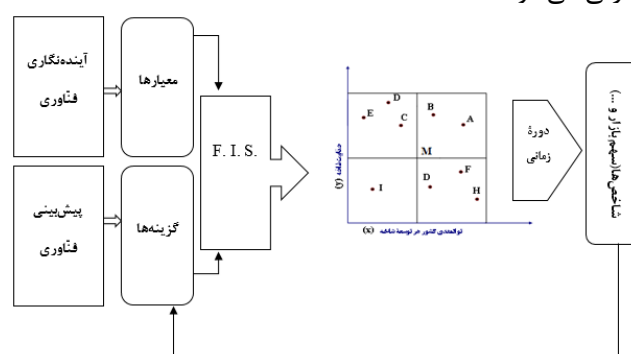
۴- شناسایی معیارهای توانمندی و جذابیت فناوری اطلاعات

در مقاله حاضر، به عنوان مطالعه موردی بر فناوری اطلاعات تمرکز شده است. در مرور متون مربوط به سناریوهای آینده فناوری اطلاعات، چهار دسته پژوهش قابل شناسایی است: دسته اول پژوهش‌هایی است که تغییر سبک زندگی و کارکردن مردم در اثر توسعه فناوری اطلاعات را مطالعه کرده‌اند. دسته دیگر، به تحولات حکمرانی تحت تأثیر فناوری اطلاعات پرداخته‌اند و دسته سوم، تأثیر فناوری اطلاعات بر مقوله توسعه را بررسی کرده‌اند. برخی پژوهش‌ها نیز بر خلاف سه دسته قبلی، به مطالعه آینده فناوری اطلاعات متأثر از تحولات اجتماعی پرداخته‌اند. در جدول ۳ مهم‌ترین پژوهش‌های هر دسته خلاصه شده است.

طبق چارچوب شکل ۱، به جستجوی معیارهایی از جدول ۳ برای جذابیت و توانمندی می‌پردازیم که دربرگیرنده مفاهیمی جامع بوده، مناسب برای اولویت‌گذاری فناوری اطلاعات در سطح ملی باشند. با این شرط، ابعاد عدم قطعیت هر دسته از پژوهش‌های جدول ۳ را غربال می‌کنیم. از میان پژوهش‌های دسته اول، پژوهش «سناریوهای اینترنت برای مردم» ابعاد عدم قطعیتی را به عنوان معیارهای سناریونویسی برای آینده در نظر گرفته است که دربردارنده مفاهیمی کلان بوده و مناسب تصمیم‌گیری‌های سطح ملی هستند. این دو بُعد عدم قطعیت عبارتند از: «بوم‌سازگان نوآوری» و «بافت اجتماعی». در بین پژوهش‌های دسته دوم، پژوهش «سناریوهای تأثیر فناوری اطلاعات بر حکمرانی و سیاستگذاری» و ابعاد عدم قطعیت آن یعنی «یکپارچگی هوشمندی سیاستی» و «نظام ارزشی-اجتماعی» از جامعیت لازم برای کاربرد در اولویت‌گذاری فناوری در سطح ملی برخوردارند. در میان پژوهش‌های دسته سوم، پژوهش «سناریوهای تحول و توسعه جهانی در اثر دیجیتالی‌شدن» با نگرشی فرابخشی، ابعاد عدم قطعیتی با عنوان «تأثیر قلمرویی تغییر» و «مشارکت اجتماعی» را مبنای سنجش آینده قرارداده است که عناوینی کلان محسوب می‌شوند.

که اهداف و نتایج مورد انتظار از اولویت‌گذاری محقق نشده است. به عبارت دیگر چارچوب اولویت‌گذاری باید توأم با ارزیابی اولویت‌ها باشد تا در صورت انحراف شاخص‌ها از آنچه مطلوب مداخله‌گر بوده، اقدام اصلاحی ناظر به معیارهای جذابیت و توانمندی یا ابعاد عدم قطعیت آینده و یا گزینه‌ها انجام شود. این ارزیابی به صورت یک حلقه بازخورد در چارچوب اولویت‌گذاری نقش دارد.

با توجه به آنچه بیان شد، به منظور رفع کاستی‌های ماتریس جذابیت-توانمندی در این مقاله چارچوب جدیدی مطابق شکل ۱ معرفی می‌شود.



شکل ۱. چارچوب پیشنهادی اولویت‌گذاری فناوری

مهم‌ترین ویژگی‌های این چارچوب به شرح زیر است:

- ۱- گزینه‌های فناوری را با استفاده از روش‌های پیش‌بینی فناوری به دست می‌آورد.
- ۲- معیارهایی را از آینده‌نگاری‌های فناوری برای جذابیت و توانمندی استخراج می‌کند.
- ۳- امتیاز هر گزینه از لحاظ عوامل جذابیت و توانمندی با طراحی سامانه استنتاج فازی تعیین می‌شود و این سامانه، موقعیت هر فناوری را در ماتریس جذابیت-توانمندی تعیین می‌کند.
- ۴- پس از یک دوره زمانی با اندازه‌گیری شاخص‌هایی چون سهم بازار، اولویت‌های تعیین شده ارزیابی می‌شوند و در صورت نیاز، اقدام اصلاحی ناظر به «معیارها» یا «گزینه‌ها» انجام می‌شود.

شایان ذکر اینکه چارچوب شکل ۱ علاوه بر بهره‌گیری از سه ابزار هوشمندی سیاستی (پیش‌بینی فناوری، آینده‌نگاری و ارزیابی فناوری با الگوی جذابیت-توانمندی)، در پرتو به کار بردن سامانه

جدول ۳ دسته‌بندی پژوهش‌های مربوط به سناریوهای آینده فناوری اطلاعات [40]

موضوع پژوهش	ابعاد عدم قطعیت	حیطه موضوعی
دسته اول	سناریوهای آینده فناوری اطلاعات و رسانه	باز بودن به روی نوآوری
	در یکی از شهرهای آلمان	همراهی و همبستگی اجتماعی
	سناریوهای پیکربندی مجدد شهری با ظهور زیرساخت همتابه‌همتا	کنترل متمرکز یا توزیع یافته زیرساخت
	سناریوهای آینده سالمندی در محیط‌های هوشمند	انباشت/چرخش سرمایه و کمون
دسته دوم	سناریوهای اینترنت برای مردم	انتخاب انفرادی درباره فناوری
	سناریوهای آینده سیاستگذاری صنعت ساخت‌وساز در فرایند دیجیتالی‌شدن	یکپارچگی اجتماعی
	سناریوهای تأثیر «نوآوری‌های دیجیتالی اجتماعی» بر حکمرانی شهری	بوم‌سازگان نوآوری و بافت اجتماعی
	سناریوهای تأثیر فناوری اطلاعات بر حکمرانی و سیاستگذاری	تمرکز تصمیم‌گیری
دسته سوم	سناریوهای دیجیتالی‌شدن در توسعه بخش کشاورزی اروپا	باز بودن انتشار اطلاعات
	سناریوهای تحول و توسعه بخش حمل‌ونقل جاده‌ای بار در اثر دیجیتالی‌شدن	سطح شمول دیجیتالی
	سناریوهای تحول و توسعه جهانی در اثر دیجیتالی‌شدن	وجود و عملکرد چشم‌انداز مشترک
	چگونگی شکل‌گیری جنبه‌های افق ۲۰۲۰ اروپا برای پشتیبانی از توسعه ظرفیت پژوهش و نوآوری در ده موضوع کلیدی فناوری دیجیتالی	یکپارچگی هوشمندی سیاستی
دسته چهارم	وضعیت رشد اقتصادی	نظام ارزشی اجتماعی
	میزان هماهنگی بخش خصوصی/عمومی و امکان ظهور سیاست‌های آینده از فرایندی تکاملی یا برنامه‌ریزی‌شده	تأثیر فناوری اطلاعات بر حکمرانی دولت
	محیط مساعد فناوری	تأثیر فناوری اطلاعات بر توسعه جوامع
	همگنی نهادها و فناوری‌ها	تأثیر فناوری اطلاعات بر توسعه جوامع

مفهوم «بوم‌سازگان» به وجود مبنای مناسب برای خلاقیت و چگونگی تأمین آن اشاره دارد و پاسخگوی این پرسش‌هاست: آیا منابع کافی برای ایده‌های جدید، فناوری‌های دیجیتالی و نوآوری و پشتیبانی از آنها وجود دارد؟ این موضوع چگونه مدیریت می‌شود؟ آیا حکمرانی و تسهیل منابع، توسط یک قدرت مرکزی انجام می‌شود یا به صورت غیرمتمرکز و خودگردان مدیریت می‌شود؟ آیا آزادی کافی برای خلاقیت وجود دارد یا مداخله دولت و عوامل بیرونی، خلاقیت را متوقف یا برای آن مانع ایجاد می‌کنند؟

مفهوم «بافت اجتماعی» شامل عواملی مانند مشارکت اجتماعی است و با توسعه مدل‌های اجتماعی کسب‌وکار و چگونگی ارزش‌گذاری آن قرابت دارد و پاسخگوی این پرسش‌هاست: ما درباره چه چیزی دغدغه داریم و به چه چیز ارزش می‌نهییم؟ از سوی دیگر، بافت اجتماعی شامل استفاده از فناوری برای ایجاد پیوندهای قوی و اصیل با دیگران می‌شود که می‌تواند افراد را به یکدیگر نزدیک‌تر کند یا تنهایی و جدایی آنها را بیشتر کند. بنابراین بافت اجتماعی می‌تواند جدا از هم^۱، ناپیوسته^۲، منفرد^۳ و فردگرا^۴ باشد یا در مقابل، متصل^۵، همکارانه^۶ و جامعه‌محور^۷ لحاظ شود. «نظام ارزشی-

^۵ Connected^۶ Cooperative^۷ Community oriented^۱ Separated^۲ Disconnected^۳ Isolated^۴ Over-individualistic

جدول ۴ معیارهای جذابیت/ توانمندی معادل ابعاد عدم قطعیت

بعد عدم قطعیت	معیار توانمندی/ جذابیت متناظر
بوم‌سازگان	زیرساخت مناسب خلاقیت و نوآوری
بافت اجتماعی	انسجام اجتماعی
یکپارچگی هوشمندی	توانمندی ترکیب هوشمندانه داده و سیاستی
نظام ارزشی اجتماعی	شفافیت و باز بودن در حکمرانی
تأثیر قلمرویی تغییر	وجود زیرساخت‌های اولیه توسعه
مشارکت اجتماعی	افزایش مشارکت اجتماعی

معیارهای جدول ۴ اگر در حد مفاهیم کیفی باقی بمانند، نمی‌توانند مورد استفاده سیاست‌گذاران قرارگیرند. می‌توان این معیارها را متناظر با برخی شاخص‌های کمی دانست که آمار آن به صورت سالانه توسط مراجع جهانی (مثل بانک جهانی و مجمع جهانی اقتصاد) منتشر می‌شود و به این ترتیب به جای کار با مفاهیم کیفی، با مقادیر کمی سروکار خواهیم داشت.

جدول ۵ نزدیک‌ترین شاخص‌های کمی متناظر با معیارهای کیفی را بیان می‌کند و نشان می‌دهد هر یک از شاخص‌های کمی، که متغیری زبانی محسوب می‌شوند، نماینده کدام معیارهای کیفی جذابیت و توانمندی است.

در این مقاله امتیاز جذابیت و توانمندی پنج فناوری زیر را که طبق پیش‌بینی‌های متعددی به عنوان مهمترین فناوری‌های پشتیبان انقلاب صنعتی چهارم نقش مهمی در شکل‌دهی به تحولات فنی-اجتماعی دارند [41-42]، محاسبه خواهیم کرد:

الف. حوزه فناوری و کاربردهای کلان داده^۳

ب. حوزه فناوری و کاربردهای اینترنت اشیا^۴

ج. حوزه فناوری و کاربردهای هوش مصنوعی^۵

د. حوزه فناوری و کاربردهای رایانش ابری^۶

ه. حوزه فناوری و کاربردهای زنجیره بلوکی^۷.

اجتماعی» به ویژگی‌هایی چون باز بودن و شفافیت در یک جامعه از لحاظ حکمرانی دموکراتیک و مشارکتی مربوط می‌شود که فناوری اطلاعات بر میزان آن اثرگذار خواهد بود. بازترین و شفاف‌ترین جامعه، جامعه‌ای است که حتی کارکردهای سنتی دولت نیز به طور کامل با بازیگران غیردولتی جایگزین شوند، بنابراین نظام ارزشی-اجتماعی می‌تواند فراگیر، باز و شفاف یا در مقابل، انحصاری، بسته و شکننده باشد.

«هوشمندی سیاستی» به یکپارچگی داده و دانش و چگونگی تسهیل مشارکت بین همه ذی‌نفعان در طراحی سیاست و سازوکارهای تصمیم‌گیری بازمی‌گردد. این مفهوم عبارت است از امکان ترکیب داده و اطلاعات در دسترس از منابع مختلف به «شیوه‌ای هوشمند» (یعنی مؤثر، کارا و قادر به تولید ارزش عمومی). «تأثیر قلمرویی تغییر» به تفاوت و تضاد نسخه‌هایی از توسعه اشاره دارد که برخلاف نسخه‌های جهانی و صنعت‌محور، بر شرایط و نیازهای جوامع محلی تأکید می‌کنند. روی این محور، «پروژه فناوری اطلاعات برای توسعه»^۱ که بر نیازهای جامعه تأکید می‌کند، در مقابل پروژه جامع، جهانی، دولت و صنعت‌محور راهبردی مانند «برنامه فناوری اطلاعاتی سوئد برای مناطق در حال توسعه»^۲ قرار می‌گیرد. «میزان مشارکت اجتماعی در اولویت‌بندی اهداف تغییر» به تضاد نسخه‌هایی از توسعه می‌پردازد که رویکردی فراگیر (درمقابل رویکردی انحصاری) دارند. بر این محور، دو دسته رهیافت در مقابل یکدیگر قرار می‌گیرند: یک دسته رهیافت‌های فراگیر مانند آنهایی که از نشانگرهای اهداف توسعه پایدار الهام گرفته و نیازهای همه را بخشی از فرایند تصمیم‌گیری قرار می‌دهند و دسته دیگر رهیافت‌های انحصاری مانند انقلاب صنعتی چهارم که بر مصرف‌کنندگان در کشورهای با درآمد بالا تمرکز دارند.

سه بعد «بوم‌سازگان نوآوری»، «یکپارچگی هوشمندی سیاستی» و «تأثیر قلمرویی تغییر» را می‌توان مصداق یا بیانی از زیرساخت و امکان‌پذیری یا توانمندی در نظر گرفت و سه بعد «بافت اجتماعی»، «نظام ارزشی-اجتماعی» و «مشارکت اجتماعی در اولویت‌بندی اهداف تغییر» مصادیقی از جذابیت فناوری محسوب می‌شوند.

بنابراین ابعاد عدم قطعیت را می‌توان به صورت معیارهای توانمندی و جذابیت در قالب جدول ۴ بیان کرد.

^۴ Internet of Things

^۵ Artificial Intelligence

^۶ Cloud Computing

^۷ Blockchain

^۱ ICT for development (ICT4D)

^۲ Swedish Programme for ICT in Developing Regions (SPIDER)

^۳ Big Data

جدول ۵. معیارهای کیفی جذابیت و توانمندی به همراه متغیر زبانی (کمی)
متناظر آنها

معیارها	شاخص‌ها (متغیرزبانی)	مرجع
وجود زیرساخت مناسب برای خلاقیت و نوآوری	بوم‌سازگان نوآوری (IE)	[43]
توانمندی ترکیب هوشمندانه داده‌ها و اطلاعات در حکمرانی	کیفیت مقررات‌گذاری (RQ)	[44]
وجود زیرساخت‌های اولیه توسعه	زیرساخت (Inf)	[43]
افزایش انسجام اجتماعی	سرمایه اجتماعی (SC)	[43]
افزایش شفافیت و باز بودن در حکمرانی	شفافیت (معادل شاخص کمی وقوع فساد) (Tr)	[43]
	دولت باز (OG)	[45]
افزایش مشارکت اجتماعی	مشارکت مدنی (CP)	[45]

صحه‌گذاری معیارهای جدول ۵ با نظرسنجی از خبرگان انجام شد. بدین منظور، پرسشنامه‌ای (مطابق پیوست ۲) تهیه شد و در آن از خبرگان خواسته شد نظر خود را در خصوص معیارها و انتساب آنها به توانمندی/جذابیت در قالب طیف لیکرت (کاملاً موافقم، موافقم، نظری ندارم، مخالفم، کاملاً مخالفم) بیان کنند. در خصوص هر معیار، حداقل ۸۵ درصد از پاسخ‌دهندگان گزینه «کاملاً موافقم» و «موافقم» را انتخاب کردند. این بدان معنی است که بیش از ۸۵ درصد خبرگان با جدول ۵ موافق بوده‌اند. یادآوری می‌شود جامعه آماری این نظرسنجی شامل خبرگان حوزه سیاست‌گذاری علم و فناوری، مدیریت فناوری و مهندسان فناوری اطلاعات بود که تعداد ۳۶ نفر از آنها در این نظرسنجی شرکت کردند.

۵- روش‌شناسی

پارادایم تحقیق حاضر، علم طراحی^۱ و هدف آن، تجویز چارچوبی برای اولویت‌گذاری است که ضمن بهره‌مندی از ابزارهای هوشمندی سیاستی، از هوشمندی محاسباتی نیز برخوردار باشد. فرایند تحقیق شامل مراحل شناسایی و تبیین مسئله، شناسایی مصنوع (مدل)، طراحی و توسعه مصنوع و در نهایت ارزیابی مصنوع و نتیجه‌گیری است [46]. این گام‌ها را می‌توان در جدول ۶ نشان داد:

جدول ۶. مراحل پژوهش براساس علم طراحی

گام‌های علم طراحی	تطبیق با پژوهش حاضر
شناسایی مسئله	ادراک نقایص چارچوب‌های پیشین اولویت‌گذاری
فهم مسئله	نیاز به مدل کردن ابهام خبرگان
مرور پیشینه	نقش پارامترهای جذابیت و توانمندی
شناسایی مصنوع	استفاده از نظریه مجموعه‌های فازی
پیشنهاد مصنوع مناسب	سامانه خبره فازی
طراحی مصنوع	مراحل فازی‌گری، پایگاه دانش، موتوراستنتاج و وافی‌گری
توسعه مصنوع	ورودی: معیارهای شناسایی شده خروجی: جذابیت/توانمندی
ارزیابی مصنوع	مقایسه با: روش‌های دیگر/تحقیقات مشابه قبلی
تصریح یادگیری	مفهوم هوشمندی در اولویت‌گذاری
نتایج	حوزه‌های اولویت‌دار فناوری اطلاعات
تعمیم به طبقه‌ای از مسائل	پارامترهای دیگر/فناوری‌های دیگر

این پژوهش دارای جهت‌گیری کاربردی است زیرا نتایج آن می‌تواند در تعیین اولویت‌های علم و فناوری کشور برای افق‌های زمانی متفاوت به کار گرفته شود. همچنین پژوهش از لحاظ کمی یا کیفی بودن، ترکیبی است؛ بدین منظور از رویکرد استنتاجی^۲ و راهبردهای مختلف پژوهش (مطالعات کتابخانه‌ای و مطالعات میدانی) استفاده می‌شود. بازه زمانی تحقیق تک‌مقطعی و ابزارهای گردآوری داده‌ها عبارتند از: اسناد و مدارک، مصاحبه و پرسشنامه.

۶- طراحی سامانه استنتاج فازی

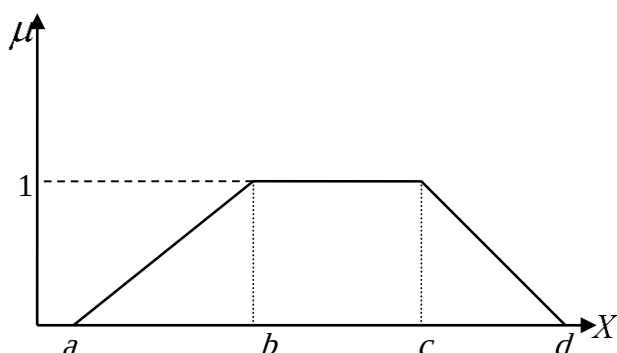
مشکل معیارهای جذابیت و توانمندی تنها با کمی‌سازی آنها حل نمی‌شود بلکه مشکل اصلی، ناتوانی چارچوب جذابیت-توانمندی در مدل کردن ابهام موجود در بین خبرگان در تفسیر مقادیر شاخص‌هاست. راه حل این موضوع، مدل‌سازی آنها بر اساس نظریه مجموعه‌های فازی است. در این صورت می‌توان برای محاسبه امتیاز دو پارامتر جذابیت و توانمندی دو سامانه استنتاج فازی طراحی کرد که هوشمندی مدنظر چارچوب شکل ۱ را نیز تأمین می‌کند. اجزای یک سامانه استنتاج فازی مطابق شکل ۲ نشان داده می‌شود.

² Abductive

¹ Design Science

بدین ترتیب متغیرهای زبانی جدول ۵، مطابق جدول ۷ به شکل فازی تعریف می‌شوند.

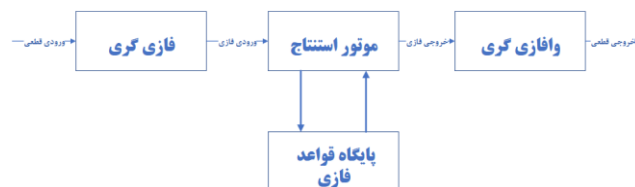
$\mu_{t_i}(x)$ تابع عضویت متغیر زبانی X در مجموعه t_i است و a و b و c و d مقادیر فازی دوزنقه‌ای^۶ هستند. مزیت این نوع توابع عضویت، سادگی محاسباتی و شهودی بودن آنهاست [50]. توابع دوزنقه‌ای در مقایسه با توابع مثلثی^۷، نسبت به نویز حساسیت کمتری دارند [47]. این تابع در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳. شکل تابع عضویت

هر خبره می‌تواند تفسیر متفاوتی برای مقادیر زبانی (t_i) ارائه دهد و بنابراین مقادیر a و b و c و d از نظر خبرگان متفاوت خواهد بود. میانگین نظر پنج نفر از خبرگان سیاستگذاری فناوری اطلاعات در جدول ۸ نشان داده شده است.

بدین ترتیب دو سامانه استنتاج فازی خواهیم داشت: یکی برای جذابیت (At) و دیگری برای توانمندی (Ca). این دو سامانه فازی از نوع چندورودی-تک‌خروجی^۸ هستند.



شکل ۲. معماری سامانه استنتاج فازی [36,37]

در این سامانه، مقادیر عددی شاخص‌های کمی به صورت ورودی‌هایی قطعی وارد فرایند فازی‌گری^۱ شده و تبدیل به مقادیر فازی می‌شوند. سپس با اعمال قواعد پایگاه دانش^۲ بر این مقادیر فازی با استفاده از یک موتور استنتاج^۳ مناسب، خروجی‌هایی فازی به دست می‌آیند که در نهایت طی فرایند و افازی‌گری^۴ به خروجی‌هایی قطعی تبدیل خواهند شد [33, 36, 37]. در ادامه هر یک از این مراحل به اجمال توضیح داده می‌شود.

۶-۱- فازی‌گری

طبق تعریف، «متغیر زبانی»^۵ متغیری است که بتواند واژه‌هایی از زبان طبیعی را به عنوان مقادیر خود اختیار کند. این واژه‌ها با مجموعه‌های فازی مشخص و در جهانی تعریف می‌شوند که متغیرهای زبانی تعریف شده‌اند [47]. به لحاظ ریاضی، متغیر زبانی با چهارتایی مرتب (X, T, U, M) تعریف می‌شود که در آن [48-49]:

X : نام متغیر زبانی،

T : مجموعه مقادیر زبانی که X می‌تواند اختیار کند،

U : دامنه فیزیکی واقعی که متغیر X در آن مقادیر کمی (قطعی) اختیار می‌کند،

M : یک قاعده معنایی که هر مقدار زبانی در T را با یک مجموعه فازی در U مرتبط می‌کند.

جدول ۷. مدل‌سازی متغیرهای زبانی به کمک مجموعه‌های فازی

$M=\mu_{t_i}$	$T=\{t_i, i = 1, 2, 3\}$	U	X_i
$\mu_{t_i}(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & \text{if } a \leq x \leq b \\ 1, & \text{if } b \leq x \leq c \\ \frac{x-d}{c-d}, & \text{if } c \leq x \leq d \end{cases}$	{Weak, Average, Strong}	[0,100]	x_1 = Innovation Ecosystem (IE)
	{Bad, Average, Good}	[0,100]	x_2 =Regulatory Quality (RQ)
	{Weak, Average, Strong}	[0,100]	x_3 =Infrastructure (Inf)
	{Low, Average, High}	[0,100]	x_4 =Social Capital (SC)
	{Low, Average, High}	[0,100]	x_5 =Transparency (Tr)
	{Low, Average, High}	[0,100]	x_6 =Open Government (OG)
	{Low, Average, High}	[0,100]	x_7 =Civic Participation (CP)

⁵ Linguistic Variable

⁶ Trapezoidal

⁷ Triangular

⁸ Multi-Input-Single-Output (MISO)

¹ Fuzzification

² Knowledge Base

³ Inference Engine

⁴ Defuzzification

جدول ۸. میانگین نظر خبرگان دربارهٔ مقادیر فازی

a	b	c	d	$\mu_{t_i}(x)$	a	b	c	d	$\mu_{t_i}(x)$
-	-	48	50	$\mu_{low}(x_4)$	-	-	50	55	$\mu_{weak}(x_1)$
48	50	56	60	$\mu_{average}(x_4)$	50	55	60	70	$\mu_{average}(x_1)$
56	60	-	-	$\mu_{high}(x_4)$	60	70	-	-	$\mu_{strong}(x_1)$
-	-	52	58	$\mu_{low}(x_5)$	-	-	20	30	$\mu_{bad}(x_2)$
52	58	60	73	$\mu_{average}(x_5)$	20	30	70	80	$\mu_{average}(x_2)$
60	73	-	-	$\mu_{high}(x_5)$	70	80	-	-	$\mu_{good}(x_2)$
-	-	50	55	$\mu_{low}(x_6)$	-	-	67	70	$\mu_{weak}(x_3)$
50	55	60	69	$\mu_{average}(x_6)$	67	70	74	80	$\mu_{average}(x_3)$
60	69	-	-	$\mu_{high}(x_6)$	74	80	-	-	$\mu_{strong}(x_3)$
-	-	50	55	$\mu_{low}(x_7)$					
50	55	60	69	$\mu_{average}(x_7)$					
60	69	-	-	$\mu_{high}(x_7)$					

۶-۲- پایگاه قواعد فازی

در این روابط، نماد $\hat{=}$ به معنی «مطابق با» و $\cong$ به معنی «معادل با» است [51-52].

و همچنین برای دو متغیر زبانی جذابیت و توانمندی نیز داریم:

$$\{t_m\} = \{low, average, high\}$$

این قواعد، قواعدی مرکب با ترکیب‌کننده «و» منطقی^۲ هستند. تمامی قواعد ممکنه که می‌توان با این ترکیب‌کننده تشکیل داد، لحاظ شدند و هیچ قاعده‌ای حذف نشد تا تمام حالات ممکن پوشش داده شوند. به این ترتیب 3^3 (۲۷) قاعده برای توانمندی و 3^4 (۸۱) قاعده برای جذابیت حاصل شده‌است. علاوه بر این با نظرسنجی از ۳۶ نفر از خبرگان حوزهٔ سیاستگذاری علم و فناوری، مدیریت فناوری و مهندسی فناوری اطلاعات، بخش تالی هر قاعده و اینکه t_m برای جذابیت و توانمندی در هر قاعده کدام مقادیر زبانی را اخذ کند، تعیین شد (پیوست ۱). به عنوان مثال یکی از قواعد توانمندی در زیر آمده است:

«اگر بوم‌سازگان قوی، کیفیت مقررات‌گذاری متوسط و زیرساخت متوسط باشد، توانمندی بالا است».

مهم‌ترین بخش سامانهٔ استنتاج فازی، پایگاه قواعد فازی^۱ است. متغیرهای زبانی با استفاده از قواعد فازی ارزیابی می‌شوند و با موتور استنتاج به مجموعه‌های فازی نگاشت داده می‌شوند. هر قاعدهٔ فازی از دانش خبرگان به دست می‌آید و به صورت یک گزارهٔ «اگر-آنگاه» بیان می‌شود. بخش مقدم شامل ترکیب متغیرهای زبانی ورودی با عملگرهای «and» یا «Or» و بخش تالی شامل متغیرهای زبانی خروجی است. در این پژوهش، متغیرهای ورودی معیارهای مختلف جذابیت و توانمندی بوده و متغیرهای خروجی، مقدار جذابیت و توانمندی هستند. قواعد فازی توانمندی را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\text{If } (x_1 \hat{=} t_i) \text{ and } (x_2 \hat{=} t_j) \text{ and } (x_3 \hat{=} t_k) \text{ then } (Ca \hat{=} t_m)$$

و قواعد فازی جذابیت به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\text{If } (x_4 \hat{=} t_i) \text{ and } (x_5 \hat{=} t_j) \text{ and } (x_6 \hat{=} t_k) \text{ and } (x_7 \hat{=} t_l) \text{ then } (At \hat{=} t_m)$$

و $i, j, k, l, m = 1, 2, 3$.

^۲ Logical And

^۱ Fuzzy Rule Base

و یکی از قواعد جذابیت عبارت است از:

«اگر سرمایه اجتماعی، بالا و شفافیت بالا و دولت باز پایین و مشارکت مدنی متوسط باشد، آنگاه امتیاز جذابیت متوسط است».

اشاره به این نکته ضروری است در مجموعه قواعد توانمندی و جذابیت، اولاً برای هر متغیر حداقل یک قاعده در پایگاه قواعد فازی وجود دارد، ثانیاً قواعدی یافت نمی‌شوند که بخش‌های «اگر» یکسان و بخش‌های «آنگاه» متفاوت داشته باشند. ثالثاً قواعد همسایه‌ای نمی‌توان دید که اشتراک مجموعه‌های فازی بخش «آنگاه» آنها تهی باشد. بنابراین مجموعه قواعد فازی موجود در سامانه استنتاج فازی مورد بحث، مجموعه‌ای کامل^۱، سازگار^۲ و پیوسته^۳ است [47].

۳-۶- موتور استنتاج

پس از تشکیل پایگاه قواعد فازی، به موتور استنتاج نیاز داریم تا با دریافت ورودی‌های فازی و قواعد مترتب بر آنها، خروجی مناسبی را ایجاد کند. در این پژوهش از بین دو روشی که برای استنتاج وجود دارد از «استنتاج مبتنی بر قواعد جداگانه»^۴ استفاده شده است چراکه هدف ما استفاده از نتیجه تمام قواعدی است که هریک توانایی تولید خروجی فازی مورد نظر را دارد. همه قواعد موجود در پایگاه قواعد به شکل رابطه‌ای یکتا و به صورت «اگر-آنگاه» خلاصه می‌شوند، ضمن اینکه همه قواعد، مستقل از هم فرض شده و به همین دلیل از عملگر «اجتماع»^۵ برای ترکیب قواعد استفاده شده است تا محافظه‌کارانه عمل کرده و از تمامی قواعد در نتیجه‌گیری نهایی استفاده شود. علاوه بر این تابع عضویت نهایی با استفاده از ترکیب ممدانی^۶ محاسبه شده است.

بنابراین سامانه استنتاج طراحی شده دارای مشخصات زیر است:

الف. استنتاج مبتنی بر قواعد جداگانه بوده که از ترکیب اجتماع استفاده می‌شود. با این عمل هر قاعده در تعیین خروجی نقش دارد.

ب. استلزام ممدانی انتخاب شده است، چراکه قواعد از نوع محلی^۷ هستند. به این معنی که فقط روی نواحی خاصی از فضای خروجی صدق می‌کنند [54].

ج. استلزام از نوع کمینه ممدانی و نیز نرم^۸ t از نوع عملگر کمینه^۸ استفاده شده است تا محافظه‌کارانه عمل شده و شرایط امتیاز دادن به گزینه‌ها (فناوری‌ها) در سامانه سخت‌گیرانه باشد.

ه. از عملگر بیشینه^۹ برای همه عملگرهای نرم S استفاده شده است تا فراگیر عمل شود.

باتوجه به نکات فوق، عملکرد ریاضی موتور استنتاج با عبارت زیر توصیف می‌شود [53]:

$$\mu_{B'}(y) = \left(\max_{l=1, \dots, M} \left[\sup_{x \in U} \min(\mu_{A'}(x), \mu_{A_1^l}(x_1), \dots, \mu_{A_n^l}(x_n), \mu_{B^l}(y)) \right] \right) \quad (1)$$

بدین معنی که با داشتن مجموعه فازی $A' \subset U$ ، موتور استنتاج کمینه، مجموعه فازی $B' \subset V$ را مطابق با رابطه (۱) نتیجه می‌دهد. در این رابطه، $\mu_{A_1^l}(x_1)$ تابع عضویت متغیر زبانی x_1 در مجموعه فازی A_1^l است و الی آخر.

بدین ترتیب می‌توان رابطه (۱) را برای توانمندی به صورت زیر نوشت:

$$\mu_{t_m'}(Ca) = \max_{1, \dots, 27} \sup_{x \in U} \min[\mu_{t'}(x), \mu_{t_i}(x_1), \mu_{t_j}(x_2), \mu_{t_k}(x_3), \mu_{t_m}(Ca)] \quad (2)$$

و برای جذابیت داریم:

$$\mu_{t_m'}(At) = \max_{1, \dots, 81} \sup_{x \in U} \min[\mu_{t''}(x), \mu_{t_i}(x_1), \mu_{t_j}(x_2), \mu_{t_k}(x_3), \mu_{t_l}(x_4), \mu_{t_m}(At)] \quad (3)$$

⁶ Mamdani Combination

⁷ Local

⁸ Minimum Operator

⁹ Maximum Operator

¹ Complete

² Consistent

³ Continuous

⁴ Individual-Rule Based Inference

⁵ Union Operator

۴-۶- وافازی‌گری

که در آن: IE بیانگر شاخص عددی بوم‌سازگان نوآوری، RQ شاخص عددی کیفیت مقررات‌گذاری و Inf شاخص عددی زیرساخت است. بدین ترتیب، طبق جداول ۵ و ۶ داریم:

$$\begin{cases} \mu_{strong}^{IE}(65) = 0.5 \\ \mu_{average}^{IE}(65) = 0.5 \\ \mu_{weak}^{IE}(65) = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \mu_{good}^{RQ}(15) = 0 \\ \mu_{average}^{RQ}(15) = 0 \\ \mu_{bad}^{RQ}(15) = 1 \end{cases}$$

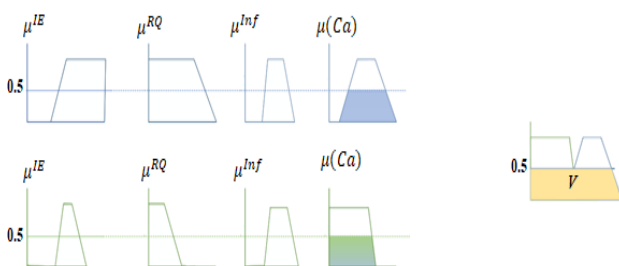
$$\begin{cases} \mu_{strong}^{Inf}(70) = 0 \\ \mu_{average}^{Inf}(70) = 1 \\ \mu_{weak}^{Inf}(70) = 0 \end{cases}$$

این مقادیر مشمول دو قاعده هستند:

قاعده اول: اگر بوم‌سازگان قوی، کیفیت مقررات‌گذاری بد و زیرساخت متوسط باشد، توانمندی متوسط است.

قاعده دوم: اگر بوم‌سازگان متوسط، کیفیت مقررات‌گذاری بد و زیرساخت متوسط باشد، توانمندی پایین است.

مراحل استنتاج سامانه برای قواعد فوق در شکل ۴ نشان داده شده است که در آن، ابتدا با توجه به مقدار کمینه درجه عضویت ورودی‌ها در هر قاعده، ناحیه خروجی تعیین شده و سپس اجتماع نواحی خروجی دو قاعده مشخص شده است.



شکل ۴. مراحل استنتاج برای مقادیر IE=65, RQ=15, Inf=70

اکنون برای نگاشت مجموعه خروجی به مجموعه‌های قطعی با استفاده از وافازی‌گر گرانیگاه، مقدار زیر به دست می‌آید:

خروجی موتور استنتاج فازی، مجموعه‌ای فازی است. این مجموعه با استفاده از نگاشتی که وافازی‌گر^۱ نامیده می‌شود به یک نقطه قطعی^۲ نگاشته شود. این نقطه قطعی بهترین نماینده مجموعه فازی مذکور است. در این مقاله از وافازی‌گر گرانیگاه^۳ استفاده می‌کنیم که به دلیل برخورداری از مزیت توجیه‌پذیری شهودی^۴ و پیوستگی^۵ کاربرد بسیاری دارد. وافازی‌گر گرانیگاه نقطه y^* را به عنوان مرکز ناحیه‌ای که به وسیله تابع عضویت B' پوشش داده شده (ناحیه V) تعریف می‌کند [47]:

$$y^* = \frac{\int_V y \mu_{B'}(y) dy}{\int_V \mu_{B'}(y) dy} \quad (4)$$

برای توانمندی، این نقطه با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$z_{Ca}^* = \frac{\int_V (Ca) \mu_{t_m'}(Ca) d(Ca)}{\int_V \mu_{t_m'}(Ca) d(Ca)} \quad (5)$$

و برای جذابیت داریم:

$$z_{At}^* = \frac{\int_V (At) \mu_{t_m'}(At) d(At)}{\int_V \mu_{t_m'}(At) d(At)} \quad (6)$$

که y متغیر زبانی، $\mu_{B'}(y)$ تابع عضویت y در مجموعه B' و نقطه y^* نقطه گرانیگاه ناحیه V است که از عملگر بیشینه (نرم S) نتیجه شده است. Ca امتیاز توانمندی، $\mu_{t_m'}(Ca)$ تابع عضویت Ca در مجموعه t_m' و z_{Ca}^* مرکز ناحیه V است. همچنین امتیاز جذابیت، $\mu_{t_m'}(At)$ تابع عضویت At در مجموعه t_m' و z_{At}^* نیز مرکز ناحیه V است.

۷- پیاده‌سازی سامانه استنتاج فازی

با استفاده از نرم‌افزار متلب، دو سامانه استنتاج فازی یک برای محاسبه جذابیت و دیگری برای محاسبه توانمندی طراحی و پیاده‌سازی شده است. متغیرهای ورودی سامانه اول عبارتند از: مقادیر شاخص‌های «بوم‌سازگان نوآوری»، «کیفیت مقررات‌گذاری» و «زیرساخت». متغیرهای ورودی سامانه دوم عبارتند از: مقادیر شاخص‌های «سرمایه اجتماعی»، «شفافیت»، «دولت باز» و «مشارکت مدنی».

مقادیر ورودی زیر را برای شاخص‌های توانمندی در نظر می‌گیریم:

$$IE=65, RQ=15, Inf=70$$

⁴ Intuitive Plausibility

⁵ Continuity

¹ Defuzzifier

² Crisp

³ Center of Gravity Defuzzifier



شکل ۷. قرار گرفتن فناوری‌ها در ماتریس جذابیت-توانمندی

$$z = \frac{\int \mu x dx}{\int \mu dx} = \frac{\int_0^{3.25} (0.5)x dx + \int_{3.25}^{3.5} (-2x + 7)x dx}{\int_0^{3.25} (0.5)dx + \int_{3.25}^{3.5} (-2x + 7)dx} = 1.688$$

برای حل مسئله واقعی، برای تعیین مقادیر متغیرهای ورودی به دو سامانه محاسبه توانمندی و محاسبه جذابیت، با مراجعه به نهادهای سیاست‌گذار در حوزه فناوری اطلاعات شامل: «معاونت علمی، فناوری و اقتصاد دانش‌بنیان ریاست جمهوری»، «سازمان فناوری اطلاعات ایران»، «پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات»، نظر این دستگاه‌ها درباره امتیاز هر فناوری احصا شده است. این مقادیر در جدول ۹ آمده است.

با مقادیر جدول ۹، فناوری‌ها طبق شکل ۷ در نقشه جذابیت-توانمندی قرار می‌گیرند.

۸- اعتبارسنجی سامانه استنتاج فازی

مبنای ارزیابی عملکرد سامانه‌های استنتاج فازی، میزان تطابق خروجی‌های سامانه با نظر خبرگان است به همین دلیل سؤال اساسی در اعتبارسنجی سامانه استنتاج فازی طراحی شده این است که آیا سامانه از توانایی لازم برای تقلید رفتار خبرگان برخوردار است؟ عملکرد سامانه را می‌توان از مقایسه امتیاز به دست آمده برای توانمندی و جذابیت در دو حالت متفاوت اعتبارسنجی کرد. حالت اول، محاسبه امتیازات با میانگین‌گیری وزنی بین شاخص‌ها بدون استفاده از سامانه استنتاج فازی و حالت دوم، با استفاده از سامانه استنتاج فازی (جدول ۱۰).

جدول ۱۰. مقایسه امتیازهای توانمندی و جذابیت در دو حالت (با و بدون استفاده از سامانه استنتاج فازی)

هوش مصنوعی	اینترنت اشیا	کلان-داده	رایانش ابری	زنجیره بلوکی
۱/۴۱	۰/۶۷۱	۲/۶	۲/۵۱	۳/۳۲
۰/۸۶۸	۰/۸۶۸	۲/۵	۲/۵	۲/۵
۲/۸۷	۲/۷۴	۱/۸۷	۲/۶	۳/۱۴
۲/۵	۰/۸۶۹	۰/۸۶۹	۲/۵	۲/۵

جدول ۹. مقادیر ورودی و خروجی سامانه برای فناوری‌ها

ورودی/خروجی	شاخص‌ها	هوش مصنوعی	اینترنت اشیا	کلان-داده	رایانش ابری	زنجیره بلوکی
ورودی سامانه استنتاج فازی توانمندی	بوم-سازگان نوآوری	۲۰	۲۰	۶۰	۷۰	۶۰
	کیفیت مقررات-گذاری	۳۵	۱۰	۳۰	۳۰	۷۰
	زیرساخت	۳۰	۱۰	۷۰	۵۰	۷۰
ورودی سامانه استنتاج فازی جذابیت	سرمایه اجتماعی	۵۰	۷۰	۲۰	۶۰	۵۰
	شفافیت	۶۰	۵۰	۱۰	۳۰	۹۰
	دولت باز	۷۰	۵۰	۳۰	۷۰	۵۰
	مشارکت اجتماعی	۵۰	۵۰	۹۰	۵۰	۶۰
خروجی	خروجی توانمندی	۰/۸۶۸	۰/۸۶۸	۲/۵	۲/۵	۲/۵
	خروجی جذابیت	۲/۵	۰/۸۶۹	۰/۸۶۹	۲/۵	۲/۵

جدول ۱۱. مقایسه معیارهای جذابیت و توانمندی برای فناوری اطلاعات در دو پژوهش متفاوت

مقایسه معیارهای جذابیت و توانمندی برای فناوری اطلاعات در دو پژوهش متفاوت	پژوهش حاضر	«دلفی ملی آینده‌نگاری ملی فناوری اطلاعات ایران» [55]
معیارهای جذابیت	-افزایش انسجام اجتماعی -افزایش شفافیت و باز بودن در حکمرانی -افزایش مشارکت اجتماعی	-افزایش عدالت و خلق فرصت‌های برابر -بازار گسترده و روبه رشد -جذابیت برای بنگاه‌های جهانی جهت همکاری فناوریانه با شرکت‌های ایرانی -ارتقای قابلیت تولید محتوای دیجیتال
معیارهای توانمندی	-وجود زیرساخت مناسب برای خلاقیت و نوآوری -توانمندی ترکیب هوشمندانه داده‌ها و اطلاعات در حکمرانی -وجود زیرساخت‌های اولیه توسعه	-توانمندی شرکت‌های ایرانی در دسترسی به فناوری -وجود منابع انسانی مناسب در کشور -برخورداري از زیرساخت مناسب در کشور -وجود قوانین و مقررات مناسب در کشور -دسترسی مناسب به منابع مالی -توانمندی شرکت‌های ایرانی در دسترسی به بازار جهانی -دسترسی مناسب به فناوری و بازیگران پیشرو جهانی

افزایش مشارکت اجتماعی نیز به دلیل افزایش نقش مردم و کسب‌وکارها در حکمرانی و اولویت‌بندی اهداف توسعه، به افزایش عدالت و خلق فرصت‌های برابر کمک خواهد کرد.

از سوی دیگر، با مقایسه معیارهای توانمندی در دو ستون جدول ۱۱، قرابت‌هایی مشاهده می‌شود: هر سه معیار وجود منابع انسانی مناسب در کشور، برخورداري از زیرساخت مناسب در کشور و وجود قوانین و مقررات مناسب در کشور به وجود زیرساخت مناسب اشاره دارند. البته دیدگاه پژوهش حاضر بین زیرساخت مناسب برای

از محاسبه ضریب همبستگی پیرسون^۱ بین دو دسته داده‌های جدول ۱۰ مقادیر زیر به دست می‌آید.

$$r_{Pearson}^{Ca}(Non - FIS, FIS) = 0.925$$

$$r_{Pearson}^{At}(Non - FIS, FIS) = 0.651$$

این مقادیر هردو مثبت بوده و شدت آنها بالاتر از ۰/۶ است، بنابراین مقادیر به دست آمده از سامانه استنتاج فازی برای توانمندی و جذابیت با مقادیر عادی این دو پارامتر (بدون استفاده از سامانه استنتاج فازی) رابطه مستقیم دارند. در نتیجه می‌توان گفت سامانه استنتاج فازی تا حدود زیادی در تقلید از خبرگان موفق عمل می‌کند.

۹- ارزیابی سامانه استنتاج فازی

در ارزیابی نتایج حاصل از سامانه استنتاج فازی آنچه اهمیت دارد این است که چنانچه امتیاز دو عامل جذابیت و توانمندی با معیارهایی غیر از معیارهای به دست آمده از آینده‌نگاری‌ها و بدون استفاده از هرگونه سامانه استنتاج فازی محاسبه می‌شد، نتایج چه تفاوتی داشت؟ پاسخ این سؤال را می‌توان از مقایسه نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش دلفی ملی آینده‌نگاری فناوری اطلاعات [55] به دست آورد. نخستین تفاوت چارچوب مورد استفاده در پژوهش حاضر، به تفاوت در معیارها مربوط می‌شود که در جدول ۱۱ نشان داده شده‌است. با مقایسه معیارهای جذابیت دو ستون جدول ۱۱، قرابت‌هایی بین برخی معیارها دیده می‌شود. مراد از افزایش انسجام اجتماعی، استفاده از فناوری برای ایجاد پیوندهای قوی و اصیل با دیگران است طوری که همکاری بین بازیگران کسب‌وکارها بیشتر شود و بافت اجتماعی جامعه دارای پیوستگی باشد. هر چه همکاری بین بازیگران کسب‌وکارها بیشتر شود، بازاری گسترده و رو به رشد را شاهد خواهیم بود. افزایش انسجام اجتماعی، نیز به افزایش عدالت و خلق فرصت‌های برابر نیز منجر می‌شود.

از آنجا که بازترین و شفاف‌ترین جامعه، جامعه‌ای است که حتی کارکردهای سنتی دولت نیز به‌طور کامل با بازیگران غیردولتی جایگزین شوند، افزایش شفافیت و باز بودن در حکمرانی نیز به دلیل افزایش حضور بازیگران غیردولتی باعث افزایش عدالت و خلق فرصت‌های برابر می‌شود. هر چه شفافیت بیشتر و حکمرانی بازتر شود، انگیزه بیشتری برای بنگاه‌های جهانی جهت همکاری فناوریانه با شرکت‌های ایرانی ایجاد می‌شود.

¹ Pearson Correlation Coefficient

توانمندی ترکیب هوشمندانه داده‌ها و اطلاعات نیز اشاره به مزیتی در حکمرانی دارد که در صورت وجود، می‌تواند به وضع قوانین و مقررات مناسب در کشور منجر شود.

تمایز چارچوب مورد استفاده در تحقیق حاضر این است که اولاً معیارها الزاماً از آینده‌نگاری‌ها استخراج شده‌اند و ثانیاً این معیارها، جای خود را به شاخص‌های کمی متناظر (جدول ۵) داده‌اند تا بتوان از آنها در سامانه استنتاج فازی بهره گرفت.

پیمایش دلفی ملی فناوری اطلاعات ایران با ۳۴۳۴ پرسشنامه، برای پنج فناوری نتیجه‌ای طبق شکل ۸ به دست داده است [55].



شکل ۸. قرار گرفتن فناوری‌ها در ماتریس جذابیت-توانمندی بر اساس دلفی ملی فناوری اطلاعات ایران [55]

ضریب همبستگی پیرسون^۱ بین داده‌های حاصل از سامانه استنتاج فازی و داده‌های دلفی ملی آینده‌نگاری فناوری اطلاعات طبق جدول ۱۲ به طور جداگانه برای توانمندی و جذابیت محاسبه شد:

$$r_{Pearson}^{Ca}(FIS, Delphi) = -0.618$$

$$r_{Pearson}^{At}(FIS, Delphi) = 0.815$$

به این ترتیب می‌توان گفت برای عامل توانمندی، امتیاز به دست آمده از سامانه استنتاج فازی با امتیاز دلفی ملی رابطه معکوس دارد. برای عامل جذابیت، امتیازهای به دست آمده در دو پژوهش با یکدیگر رابطه مستقیم دارند. اشاره به این نکته ضروری است که وجود همبستگی مثبت یا منفی بین دو دسته داده، اطلاعاتی راجع به اینکه کدام یک از آنها دقیق‌تر بوده و روش محاسبه آن کارایی بیشتری دارد به دست نمی‌دهد و اساساً به دلیل تفاوت در روش، معیارها و جامعه آماری، نمی‌توان انتظار داشت نتایج دو پژوهش لزوماً

جدول ۱۲ امتیاز توانمندی و جذابیت پژوهش حاضر را با امتیاز توانمندی و جذابیت پژوهش دلفی ملی مقایسه می‌کند.

جدول ۱۲. مقایسه نتایج سامانه استنتاج فازی با دلفی ملی آینده‌نگاری فناوری اطلاعات

فناوری	امتیاز			
	توانمندی (دلفی)	توانمندی (فازی)	جذابیت (دلفی)	جذابیت (فازی)
هوش مصنوعی	۲/۲	۰/۸۶۸	۳/۹۲	۲/۵
اینترنت اشیا	۲/۷۸	۰/۸۶۸	۲/۷۶	۰/۸۶۹
رایانش ابری	۱/۹۸	۲/۵	۳/۴۶	۲/۵
کلان داده	۰/۶۲	۲/۵	۲/۲۷	۰/۸۶۹
زنجیره بلوکی	۲/۱۶	۲/۵	۳	۲/۵

^۱ Pearson Correlation Coefficient

«هوش مصنوعی» و «کلان‌داده» از توانمندی بالاتری برخوردار است و انتظار خبرگان از توسعه آنها دستاوردهای بیشتری است. در عین حال، سرمایه‌گذاری بر روی متغیرهای بنیادی عامل توانمندی به معنای بهبود شاخص‌های «بوم‌سازگان نوآوری»، «کیفیت مقررات‌گذاری» و «زیرساخت» است. چنانچه دولت طبق خواست ذی‌نفعان فناوری «رایانش ابری» و «زنجیره بلوکی»، بر بهبود شاخص‌های مذکور متمرکز شود، زودتر از سه فناوری دیگر به دستاوردهای مدنظر خبرگان خواهد رسید. همچنین سرمایه‌گذاری بر روی متغیرهای بنیادی عامل جذابیت به معنای افزایش آگاهی خبرگان از نتایج توسعه فناوری نوعی تصحیح دیدگاه خبرگان در خصوص دستاوردهای توسعه فناوری خواهد بود. چنانچه سناریوهای دقیقی از توسعه فناوری برای خبرگان ترسیم شود، تأثیر توسعه این فناوری‌ها بر «سرمایه اجتماعی»، «باز بودن دولت»، «شفافیت» و «مشارکت اجتماعی» می‌تواند به تسریع در توسعه فناوری (در صورت غلبه منافع) یا مطالبه توقف در توسعه فناوری (در صورت غلبه خسارات) منجر شود.

۱۱- نتیجه‌گیری

در این مقاله، مدل جدیدی مبتنی بر کاربرد ابزارهای هوشمندی سیاستی برای اولویت‌گذاری فناوری معرفی شد. بدین منظور با طراحی و پیاده‌سازی دو سامانه استنتاج فازی فرایند جدیدی برای ارزیابی فناوری (محاسبه امتیاز توانمندی و جذابیت) ارائه شده است. این چارچوب را به ابزار هوشمندی محاسباتی نیز مجهز کردیم. نتایج حاصل از کاربرد این ابزار سیاستی برای تعیین اولویت پنج فناوری انقلاب صنعتی چهارم شامل هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، زنجیره بلوکی، رایانش ابری و کلان‌داده بررسی شد و نتایج آن با نظر خبرگان مورد ارزیابی قرار گرفت که نشان از توانمندی سامانه در مدل‌سازی رفتار خبرگان و تقلید رفتار آنها دارد. چارچوب تحقیق حاضر نسبت به تحقیقات پیشین از مزایایی برخوردار است. نخست اینکه انعطاف‌پذیر است و می‌توان هر یک از اجزای آن را با عناصر دیگری جایگزین کرد. مثلاً می‌توان به جای عامل توانمندی یا جذابیت هر عامل مناسب دیگری را به کار برد، یا اینکه می‌توان در ساختار سامانه استنتاج فازی تغییراتی ایجاد کرد و به جای اعداد فازی دوزنقه‌ای از اعداد فازی مثلثی یا گوسی و به جای استلزام ممدانی از استلزام دنیس-رشر^۱ و غیره استفاده کرد. دوم اینکه تفسیرپذیر است و با تعیین محدوده‌های دلخواه برای متغیرهای ورودی و خروجی سامانه، می‌توان استانداردهای سخت‌گیرانه یا

یکدیگر را تأیید کنند. با وجود این می‌توان درباره تفاوت‌ها و مزایای پژوهش حاضر بحث کرد. پژوهش حاضر به لحاظ زمانی مربوط به یک سال اخیر و نتایج آن از تازگی برخوردار است. جامعه آماری آن نیز برخلاف پژوهش قبلی (که طیف وسیعی از ذی‌نفعان و در نتیجه نظرات مختلف و گاه متضاد و بخشی‌نگر را دربرگرفته)، شامل خبرگان سیاست‌گذاری فناوری (با تأکید بر فناوری اطلاعات) است که فراتر از نگاه‌های بخشی به اولویت‌گذاری فناوری می‌نگرند. مهمترین مزیت پژوهش حاضر، توانایی آن در مدل کردن ابهام میان خبرگان و بهره‌گیری از ابزار هوشمندی محاسباتی است.

۱۰- تحلیل نتایج

رفع کاستی‌های چارچوب‌های پیشین اولویت‌گذاری مستلزم این است که اولاً معیارهای ارزیابی دو عامل توانمندی و جذابیت از آینده‌نگاری‌ها استخراج شوند و شاخص‌های کمی معادل آنها طبق جدول ۵ به کار روند. بنابراین اولین ویژگی چارچوب ارائه شده در مقاله حاضر (شکل ۱) این است که در تعیین معیارها، متکی به آینده‌نگاری‌هاست. ثانیاً امتیازدهی به گزینه‌ها برخلاف چارچوب‌های تحقیقات پیشین نه با روش دلفی و نه با روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره بلکه به کمک یک سامانه خبره فازی انجام می‌شود. بنابراین دومین ویژگی چارچوب مذکور این است که محاسبات مربوط به ارزیابی جذابیت و توانمندی از نوع محاسبات نرم در سامانه‌های خبره فازی است که امکان رفع ابهام از داده‌های حاصل از نظرسنجی از خبرگان را فراهم می‌کند. تا اینجا چارچوب اولویت‌گذاری به دو ابزار هوشمندی مجهز شده است: آینده‌نگاری فناوری به عنوان ابزار هوشمندی سیاستی، و سامانه خبره فازی به عنوان ابزار هوشمندی محاسباتی. به کار بردن چارچوبی با ویژگی‌های مذکور باعث می‌شود نتایجی متفاوت از چارچوب‌های فاقد این ویژگی به دست آید. مزیت این نتایج نسبت به نتایج پیشین این است که در محاسبه آنها، ابهام موجود در بیناذهنیت خبرگان نیز محاسبه شده است. در خصوص نتایج پژوهش حاضر، آنچه می‌تواند برای ارائه توصیه‌های سیاستی راه‌گشا باشد، تحلیل حساسیت فناوری‌ها نسبت به تغییرات متغیرهای بنیادی دو عامل توانمندی و جذابیت است. طبق شکل ۷، فناوری «رایانش ابری» و «زنجیره بلوکی» با امتیازی برابر، دقیقاً در مرکز فضای جذابیت-توانمندی قرار دارند. به این ترتیب، صرف‌نظر از نام‌گذاری این فضا به نواحی راهبردی با نام‌های دلخواه، می‌توان این گونه تحلیل کرد که کشور در این دو فناوری نسبت به سه فناوری دیگر یعنی «اینترنت اشیا»،

¹ Dienes-Rescher

- [14] BILAT-USA, "Analysis of Science & Technologies Priorities in Public Research in Europe and the United States of America", 2012.
- [15] Gassler H, Polt W, Schindler J, Weber M, Mahroum S, Kubeczko K, Keenan M. "Priorities in science & technology policy. An international comparison". Project report commissioned by the Austrian Council for Research and Technology Development. 2004 Oct.
- [16] Sokolov A, Shashnov S, Kotsemir M, Grebenyuk A. "Common STI priorities for a group of countries: The BRICS case." In 6th international conference on future-oriented Technology Analysis (FTA)—future in the making, Brussels 2018 Jun (pp. 4-5).
- [17] Salo A, Gustafsson T, Ramanathan R. "Multicriteria methods for technology foresight." *Journal of Forecasting*. 2003 Mar;22(2-3):235-55.
- [18] Fleurence RL, Torgerson DJ. "Setting priorities for research." *Health policy*. 2004 Jul 1;69(1):1-0.
- [19] McGeary M, Smith PM. "The R&D portfolio: a concept for allocating science and technology funds." *Science*. 1996 Nov 29;274(5292):1484-5.
- [20] Cuhls K. "Futur-foresight for priority-setting in Germany." *International Journal of Foresight and Innovation Policy*. 2004 Jan 1;1(3-4):183-94.
- [21] Glod F, Duprel C, Keenan M. "Foresight for science and technology priority setting in a small country: the case of Luxembourg." *Technology Analysis & Strategic Management*. 2009 Nov 1;21(8):933-51.
- [22] Haegeman K, Spiesberger M, Veselitskaya N, Sokolov A, Weiss G. "FTA supporting effective priority setting in multi-lateral research programme cooperation: The case of EU–Russia S&T cooperation." *Technological Forecasting and Social Change*. 2015 Dec 1;101:200-15.
- [23] Hashemkhani Zolfani S, Salimi J, Maknoon R, Kildienė S. "Technology foresight about R & D projects selection; application of SWARA method at the policy making level."
- [24] Jarvis RM, Young T. "Key research priorities for the future of marine science in New Zealand." *Marine Policy*. 2019 Aug 1;106:103539.
- [25] MOORE M, LANDREE E, HOTTES AK, SHELTON SR. "Priorities for the Department of Homeland Security Science and Technology Directorate." *Homeland Security Operational Analysis Center*. 2018
- [26] Shepherd M, Turner JA, Small B, Wheeler D. "Priorities for science to overcome hurdles thwarting the full promise of the 'digital agriculture revolution.'" *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2020 Nov;100(14):5083-92.
- [27] Tübke AL, Ducatel K, Gavigan J, Moncada-Paterno-Castello PI, SMITS R, ZWECK A, RADER M, BARRÉ R, HUT AS. "Strategic policy intelligence: Current trends, the state of play and perspectives." *IPTS*, Seville. 2001 Dec.
- [28] Namdarian L, Naghizadeh R. "Strategic Intelligence in Science, Technology and Innovation Policy Making (STI)." *Journal of Science and Technology Policy*. 2019 Jun 22;12(2):87-101.
- [29] Kuosa T. "Towards strategic intelligence: foresight, intelligence, and policy-making." *Dynamic Futures*; 2014.
- [30] Nazarko Ł. "Future-oriented technology assessment." *Procedia Engineering*. 2017 Jan 1;182:504-9.
- [31] Seidl da Fonseca, Ricardo & Klusacek, Karel & Graf, Hans & Balackova, Halka & Keenan, Michael & Cuhls, Kerstin & Miles, Ian & Phaal, Robert. "Foresight Methodologies" - Textbook. 2004.
- [32] Ghazinoori, S. "Technology Assessment: A Policy Intelligence Tool." Tehran: New Industries Center. 2004. ISBN 964-06-5414-0 {In Persian}.
- سهل گیرانه‌ای بر آنها وضع کرد. سوم اینکه دستاورد پژوهش حاضر، یک مصنوع است که بدون نیاز به تکرار فرایند پژوهش می‌تواند در مقاطع زمانی مختلف صرفاً با اخذ ورودی‌های جدید، نتایج را به روزرسانی کند.
- از محدودیت‌های تحقیق می‌توان به محدودیت نظرسنجی از خبرگان برای تشکیل پایگاه قواعد فازی، تعیین محدوده مقادیر زبانی و امکان برقراری تناظر بین معیارهای کیفی و شاخص‌های کمی اشاره کرد. به عنوان پیشنهاد تحقیقات آتی می‌توان سامانه هوشمند اولویت‌گذاری را متشکل از سه عامل «جاذبیت»، «توانمندی» و «سازگاری» طراحی کرد.

مراجع

- Reid A, Martinaitis Z, Valincius G., "A contribution to priority setting for future research, studies and innovation in Lithuania." , Report of an expert group to the Ministry of Education and Science and Ministry of Economy of the Republic of Lithuania, 2012.
- Hellström T, Jacob M, Sjöö K., "From thematic to organizational prioritization: the challenges of implementing RDI priorities." *Science and Public Policy*, 2017 Oct 1;44(5):599-608.
- Ghazinoory S, Ghazinoori S. "An introduction to science, technology and innovation policy". Tehran: Tarbiat Modares University, 2017. {In Persian}
- Salo A, Liesjö J., "A case study in participatory priority setting for a Scandinavian research program.", *International Journal of Information Technology & Decision Making*. 2006 Mar;5(01):65-88.
- Fatemi M, Arasti M., "Priority-setting in science, technology and innovation." *Journal of science and technology policy*. 2019 Jun 22;12(2):119-33.
- Georghiou L, Harper JC., "From priority-setting to articulation of demand: Foresight for research and innovation policy and strategy.", *Futures*. 2011 Apr 1;43(3):243-51.
- NSB. Federal Research Resources: A Process for Setting Priorities: Final Report; Approved By the National Science Board at its October 11, 2001 Meeting
- Rosenstock L, Olenec C, Wagner GR. "The National Occupational Research Agenda: a model of broad stakeholder input into priority setting.", *American Journal of Public Health*. 1998 Mar;88(3):353-6.
- Benner M, Liu L, Serger SS. "Head in the clouds and feet on the ground: Research priority setting in China." *Science and Public Policy*. 2012 Mar 1;39(2):258-70.
- Bengisu M. "Critical and emerging technologies in Materials, Manufacturing, and Industrial Engineering: A study for priority setting." *Scientometrics*. 2003 Nov 1;58(3):473-87.
- Suh CK, Suh EH, Baek KC. "Prioritizing telecommunications technologies for long-range R&D planning to the year 2006." *IEEE Transactions on Engineering Management*. 1994 Aug;41(3):264-75.
- De Haan S, Kingamkono R, Tindamanyire N, Mshinda H, Makandi H, Tibazarwa F, Kubata B, Montorzi G. "Setting research priorities across science, technology, and health sectors: the Tanzania experience." *Health Research Policy and Systems*. 2015 Dec;13:1-1.
- Stenberg L, Nagano H. "Priority-setting in Japanese research and innovation policy." *Vinnova Analysis VA*. 2009 Dec;23.

- [44] WorldBank, 2022, Retrieved: <https://govdata360.worldbank.org/indicators/h5083f593?indicator=394&viz=choropleth&years=2020>
- [45] [45] WJP, 2022, Retrieved: <https://worldjusticeproject.org/our-work/wjp-rule-law-index/wjp-open-government-index/global-scores-rankings>
- [46] Dresch A, Lacerda DP, Antunes Jr JA, Dresch A, Lacerda DP, Antunes JA. "Design science research." Springer International Publishing; 2015.
- [47] Wang LX. "A course in fuzzy systems and control." Prentice-Hall, Inc.; 1996 Dec 1.
- [48] L. A. Zadeh, "Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes," in *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. SMC-3, no. 1, pp. 28-44, Jan. 1973, doi: 10.1109/TSMC.1973.5408575.
- [49] Zadeh LA. "Fuzzy logic and approximate reasoning: In memory of Grigore Moisil. Synthese." 1975 Sep;30:407-28.
- [50] Kreinovich V, Koshelova O, Shahbazova SN. "Why triangular and trapezoid membership functions: A simple explanation." Recent developments in fuzzy logic and fuzzy sets: dedicated to Lotfi A. Zadeh. 2020:25-31.
- [51] Stack Exchange, 2014, Adam Hughes (<https://math.stackexchange.com/users/58831/adam-hughes>), Difference between " $\approx$ ", " $\simeq$ ", and " $\cong$ ", URL (version: 2014-07-11): <https://math.stackexchange.com/q/864614>
- [52] Stack Exchange, 2023, Lover of Structure (<https://math.stackexchange.com/users/60628/lover-of-structure>), What is the symbol $\triangleq$ most commonly used for in a mathematical or math-related context?, URL (version: 2023-02-22): <https://math.stackexchange.com/q/790019>
- [53] Magdalena L. "Fuzzy rule-based systems." Springer handbook of computational intelligence. 2015:203-18.
- [54] Mamdani EH. "Fuzzy control: a misconception of theory and application." IEEE Expert. 1994 Aug;9(4):27-8.
- [55] Information Technology Organization of Iran, 2021, retrieved: <https://www.aparat.com/v/g371u1t/>
- [33] Zimmermann HJ. "Fuzzy set theory." Wiley interdisciplinary reviews: computational statistics. 2010 May;2(3):317-32.
- [34] Ghazinoory S, Divsalar A, Soofi AS. "A new definition and framework for the development of a national technology strategy: The case of nanotechnology for Iran." Technological Forecasting and Social Change. 2009 Jul 1;76(6):835-48.
- [35] N. B. Moghaddam, M. Sahafzadeh, S. M. Emamian and A. Irankhah, "Scenario based priority setting of R&D issues: A case study of membrane technology in National Iranian Gas industry," *PICMET '08 - 2008 Portland International Conference on Management of Engineering & Technology*, Cape Town, South Africa, 2008, pp. 1497-1505, doi: 10.1109/PICMET.2008.4599766.
- [36] Pamučar D., "Fuzzy logic in decision making process in the Armed Forces of Serbia." LAP LAMBERT Academic Publishing; 2011.
- [37] Bozanic D, Tešić D, Puška A, Štilić A, Muhsen YR. "Ranking challenges, risks and threats using Fuzzy Inference System." Decision Making: Applications in Management and Engineering. 2023 Sep 4;6(2):933-47.
- [38] Sabri N, Aljunid SA, Salim MS, Badlishah RB, Kamaruddin R, Malek MA. "Fuzzy inference system: Short review and design." Int. Rev. Autom. Control. 2013;6(4):441-9.
- [39] Russell SJ, Norvig P. "Artificial intelligence: a modern approach." Pearson; 2016.
- [40] Khodadadi A, Montazer GA. "Analyzing the Convergence of the Information Technology Future Scenarios." Journal of Science and Technology Policy. 2023 Oct 23;16(3):77-100. {In Persian}. Doi:10.22034/jstp.2023.11432.1675
- [41] Martinelli A, Mina A, Moggi M. "The enabling technologies of industry 4.0: examining the seeds of the fourth industrial revolution." Industrial and Corporate Change. 2021 Feb 1;30(1):161-88.
- [42] Marr B. "Tech Trends in Practice: The 25 technologies that are driving the 4th Industrial Revolution." John Wiley & Sons; 2020 Jun 22.
- [43] Weforum, 2022, Retrieved: <https://www.weforum.org/reports/global-competitiveness-report-2019/>