Interpretive structural modelling of challenges affecting the improvement of computing power in Iran

Mohammadali keramati[1], Hossein Shirazi[2], Kaveh Alba[3]

ABSTRACT

Introduction: In recent decades, computational power has been recognized as a key driver of technological innovation and economic growth. According to the 2024 Global Network Readiness Index, Iran ranks 79th out of 133 countries, indicating existing technological capacity but weaknesses in effective utilization. Enhancing technological infrastructure and computational power is essential for the development of emerging technologies, including artificial intelligence and data analytics.

Objective: The purpose of this research is to identify and model computational power challenges in Iran using interpretive structural equations(ISM) and provide an analytical framework for policy and decision-making in this field.

Method: This applied and descriptive research was conducted with a mixed approach (qualitative and quantitative). In the qualitative part, the opinions and experiences of experts who had at least five years of specialized experience in information technology and computing power were collected to identify key factors and their relationships. In the quantitative part, interrelationship matrixes and access matrixes were created based on qualitative data and using mathematical calculations, ranking and analysis of the factors' impact were performed.

Findings: Six main challenges were identified: infrastructure, financial issues, sanctions, human resources, cybersecurity threats, and high energy consumption. Results revealed that sanctions and the shortage of specialized human resources, with the highest influence score (5) and dependency score (2), act as independent factors and drive other challenges.

Conclusion: The study presents an innovative conceptual model of computational power challenges in Iran. This model can guide policymakers and planners in prioritizing investments, developing infrastructure, and strengthening specialized human resources, thereby enhancing the country's capacity in emerging technologies.

Keywords: Computing power,Interpretive Structural Modeling,Structural Self-Interaction Matrix,Emergingtechnologies,MicMac

1. Associate Professor, Islamic Azad University, Central Tehran Branch. Tehran, Iran
Mohammadalikeramati@yahoo.com

2. Assistant Professor of Islamic Azad University, Qom branch, Qom. Iran (Corresponding author)
Hossein.Shirazi63@gmail.com

3. Technology Management Group. Islamic Azad University, Central Tehran branch. Tehran. Iran.
Kaveh.Alba@yahoo.com

پژوهشی

10.22034/popsci.2025.560759.1444

مدل‌سازی ساختاری تفسیری چالش‌های مؤثر بر ارتقاء توان محاسباتی در ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۰ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۰۴

محمدعلی کرامتی،[۱] حسین شیرازی*[۲] و کاوه آلبا[۳]

چکیده

مقدمه: قدرت محاسباتی در دهه‌های اخیر به‌عنوان محرکی اصلی برای نوآوری فناورانه و رشد اقتصادی مطرح شده است. ایران در شاخص جهانی آمادگی شبکه‌ای ۲۰۲۴، رتبه ۷۹ از ۱۳۳ کشور را کسب کرده است که نشان‌دهنده ظرفیت فناوری موجود اما ضعف در بهره‌برداری مؤثر است. ارتقاء زیرساخت‌های فناورانه و توان محاسباتی برای توسعه فناوری‌های نوظهور، ازجمله هوش مصنوعی و تحلیل داده‌ها، ضروری است.

هدف: هدف از این پژوهش، شناسایی و مدل‌سازی چالش‌های توان محاسباتی در ایران با استفاده از معادلات ساختاری تفسیری و ارائه چارچوبی تحلیلی برای سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری در این حوزه است.

روش: این پژوهش کاربردی و توصیفی با رویکرد ترکیبی (کیفی و کمّی) انجام شد. در بخش کیفی، نظرات و تجربیات خبرگان که دارای حداقل پنج سال سابقه تخصصی در فناوری اطلاعات و توان محاسباتی بود، جمع‌آوری شد تا عوامل کلیدی و روابط آن‌ها شناسایی گردد. در بخش کمّی، ماتریس‌های روابط متقابل و ماتریس دسترسی براساس داده‌های کیفی ایجاد و با استفاده از محاسبات ریاضی، سطح‌بندی و تحلیل تأثیرگذاری عوامل انجام شد.

یافته‌ها: شش چالش اصلی شناسایی شد: زیرساخت، مسائل مالی، تحریم‌ها، نیروی انسانی، تهدیدات سایبری و مصرف بالای انرژی. نتایج نشان داد تحریم‌ها و کمبود نیروی انسانی متخصص با بالاترین ضریب نفوذ (۵) و ضریب وابستگی (۲) به‌عنوان عوامل مستقل و محرک سایر چالش‌ها عمل می‌کنند.

نتیجه‌گیری: پژوهش منجر به ارائه یک مدل مفهومی نوآورانه از چالش‌های توان محاسباتی در ایران شد که می‌تواند راهنمایی برای سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان جهت اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری، توسعه زیرساخت و تقویت نیروی انسانی متخصص باشد و ظرفیت کشور در فناوری‌های نوظهور را افزایش دهد.

کلیدواژه‌ها:

قدرت محاسباتی، مدل‌سازی ساختاری تفسیری، ماتریس روابط متقابل ساختاری، فناوری‌های نوظهور، نرم افزار میک مک

۱. دانشیار دانشکده مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران.

Mohammadalikeramati@yahoo.com

۲. استادیار دانشکده مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قم، قم، ایران (نویسنده مسئول).

Hossein.Shirazi63@gmail.com

۳. دانشجوی دکتری مدیریت تکنولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران.

Kaveh.Alba@yahoo.com

مقدمه

قدرت محاسباتی به‌عنوان عاملی کلیدی در توسعه فناوری و اقتصاد شناخته شده و در ایران با افزایش ظرفیت‌ها در علوم داده و هوش مصنوعی، تحلیل داده‌ها و تصمیم‌گیری‌های پیچیده را تسهیل می‌کند (تهران‌تایمز، ۱۴۰۴). ارتقاء قدرت محاسباتی موجب پیشرفت تحقیقات و نوآوری در ایران شده و سازمان‌ها و دانشگاه‌ها به‌دلیل نیاز به پردازش داده‌های حجیم، به سمت زیرساخت‌های پیشرفته و پردازش ابری حرکت کرده‌اند (آریانیان و همکاران، ۱۴۰۴). در بخش صنعت، قدرت محاسباتی با بهینه‌سازی تولید و کاهش هزینه‌ها باعث افزایش بهره‌وری و رشد تولید شده و نقش کلیدی در توسعه هوش مصنوعی، یادگیری ماشینی و اینترنت اشیا در ایران ایفا کرده است (۶دبلیو ریسرچ، ۲۰۲۴؛ یاداو، ۲۰۲۴).

براساس گزارش سازمان همکاری و توسعه اقتصادی (سازمان همکاری و توسعه اقتصادی[1] ، ۲۰۲۳)، کشورهایی که در زیرساخت‌های پردازش و محاسبات پیشرفته[2] سرمایه‌گذاری کرده‌اند، در حوزه‌های هوش مصنوعی، تحلیل کلان‌داده و نوآوری صنعتی پیشتاز بوده‌اند. با توجه به رتبه ۷۹ ایران در شاخص جهانی آمادگی شبکه‌ای[3] در میان ۱۳۳ کشور و امتیاز ۴۵٫۵۱ در سال ۲۰۲۴، که بیانگر وجود ظرفیت فناوری در کشور اما ضعف در بهره‌گیری مؤثر از آن است (تهران‌تایمز، ۱۴۰۳)، می‌توان دریافت که مسئله ارتقاء زیرساخت‌های فناورانه، به‌ویژه توان محاسباتی، به ضرورتی اساسی تبدیل شده است. پهنای باند اینترنت کشور از ۵.۴ ترابیت در سال ۱۴۰۰ به ۱۰.۷ ترابیت در سال ۱۴۰۳ افزایش یافته، اما این رشد، نشان‌دهنده عقب‌ماندگی قبلی و نیاز فوری به جهش در ظرفیت محاسباتی و پردازشی است (خبرگزاری تسنیم، ۱۴۰۳).

شناسایی و اولویت‌بندی چالش‌های قدرت محاسباتی در ایران اهمیت بالایی دارد، زیرا فناوری‌های نوظهوری مانند هوش مصنوعی، بلاک‌چین و اینترنت اشیاء نیازمند ظرفیت محاسباتی بالا هستند، اما محدودیت‌های اقتصادی، زیرساختی و کمبود نیروی متخصص توسعه آن‌ها را محدود می‌کند (ملکی و همکاران، ۲۰۲۳). مطالعات پیشین افزایش توان محاسباتی را عمدتاً پراکنده و بدون تحلیل ساختاری بررسی کرده و یک چارچوب نظری یکپارچه برای شناسایی روابط سلسله‌مراتبی و تأثیرات متقابل چالش‌ها و عوامل مؤثر در این حوزه هنوز محدود است. بنابراین، این پژوهش با بهره‌گیری از مدل‌سازی ساختاری تفسیری و تحلیل میک مک تلاش می‌کند شکاف نظری موجود در شناخت و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر افزایش توان محاسباتی در ایران را پر کند و چارچوبی تحلیلی برای مطالعات آینده ارائه

1. OECD: Organisation for Economic Co-operation and Development
2. High Performance Computing
3. Network Readiness Index

دهد (شلمزاری و دودانگه، ۲۰۲۳؛ فرتاش و همکاران، ۲۰۲۵؛ کلاشی، ۲۰۲۵).

اولویت‌بندی چالش‌ها براساس شرایط ایران امکان هدایت منابع محدود به حوزه‌های با بیشترین تأثیر بر توسعه فناوری‌های نوظهور را فراهم می‌کند و نیازمند تحقیقات جامع برای تحلیل فرصت‌ها و چالش‌های قدرت محاسباتی است (احتشام‌نژاد و پاک‌زاد، ۱۴۰۴).

این پژوهش با شناسایی چالش‌های توان محاسباتی، امکان تدوین استراتژی‌هایی برای تقویت زیرساخت‌ها و نیروی انسانی متخصص را فراهم کرده و می‌تواند رشد اقتصادی، نوآوری و توسعه فناوری‌های پیشرفته در ایران را تسهیل کند.

این پژوهش قصد دارد تا به سوالات زیر پاسخ دهد:

[۱] چالش‌های موجود جهت افزایش توان محاسباتی جهت توسعه فناوری‌های نوظهور در ایران چیست؟

[۲] مدل چالش‌های شناسایی شده توان محاسباتی با روش معادلات ساختاری تفسیری به چه صورت است؟

[۳] پیشنهادهای راهبردی جهت افزایش توان محاسباتی جهت توسعه فناوری‌های نوظهور در ایران چیست؟

مبانی نظری

افزایش توان محاسباتی به‌عنوان یک زیرساخت کلیدی برای توسعه فناوری‌های نوظهور، ازجمله هوش مصنوعی، بلاک‌چین و اینترنت اشیاء، نیازمند پردازش داده‌های بزرگ و اجرای الگوریتم‌های پیچیده است. با این حال، در مطالعات پیشین مرتبط با ایران، بررسی این موضوع به صورت پراکنده و بدون تحلیل ساختاری جامع عوامل و روابط میان آن‌ها انجام شده که باعث شده نتایج و دانش موجود از انسجام لازم برخوردار نباشد (گیل و همکاران، ۲۰۱۹).

توان محاسباتی برای توسعه فناوری‌های نوظهور اهمیت بالایی دارد و شناسایی چالش‌های مؤثر بر افزایش ظرفیت آن ضروری است. مطالعات پیشین در ایران پراکنده و فاقد تحلیل ساختاری سلسله‌مراتبی و تأثیرات متقابل عوامل بوده‌اند. این پژوهش با بهره‌گیری از مدل‌سازی ساختاری تفسیری و تحلیل میک مک، شکاف نظری موجود را پر می‌کند. هدف، ارائه چارچوب تحلیلی جامع برای اولویت‌بندی چالش‌ها و راهنمایی مطالعات آینده است.

توان محاسباتی

توان محاسباتی [1]به ظرفیت سیستم‌ها در پردازش داده‌ها با سرعت و کارایی بالا اشاره دارد و شامل قدرت پردازش، حافظه و قابلیت ذخیره‌سازی است. این ظرفیت، نقش کلیدی در پشتیبانی از فناوری‌های نوین مانند هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و تحلیل داده‌های بزرگ دارد. توان محاسباتی نه‌تنها سرعت پردازش بلکه انجام عملیات پیچیده با دقت و پایداری را نیز پوشش می‌دهد. افزایش آن پیش‌نیاز توسعه فناوری‌های نوظهور و پاسخ به نیازهای داده‌ای گسترده است (آی بی ام[2]، ۲۰۲۴).

جایگاه ایران

در سال‌های اخیر، ایران پیشرفت‌های قابل‌توجهی در زمینه قدرت محاسباتی و فناوری‌های نوین داشته است. طبق گزارش مؤسسه سیاست‌گذاری استراتژیک استرالیا [3]، ایران در رتبه نهم جهان از نظر نوآوری‌های فناورانه قرار گرفته و جزو ۱۰ کشور برتر دنیا در برخی از زمینه‌های فناوری ازجمله هوش مصنوعی، علم سوخت‌های زیستی و مواد هوشمند به شمار می‌آید. این جایگاه با رشد قابل‌توجه در تولید مقالات علمی و تحقیقات کاربردی همراه بوده است، که این امر ایران را به یکی از کشورهای تاثیرگذار در این حوزه تبدیل کرده است (مؤسسه سیاست استراتژیک استرالیا، ۲۰۲۳؛ پرنسا لاتینا، ۲۰۲۳).

ایران در شاخص‌های رقابت‌پذیری دیجیتال، به‌ویژه در تعداد مقالات زیست‌فناوری و هوش مصنوعی، جایگاه بالایی دارد و با تقویت زیرساخت‌های فناوری و سرمایه‌گذاری در توان محاسباتی، توانایی خود را برای ارتقای جایگاه علمی و فناورانه در آینده افزایش می‌دهد.

چالش‌ها

برای طبقه‌بندی چالش‌های اصلی مرتبط با افزایش توان محاسباتی جهت توسعه فناوری‌های نوظهور در ایران، می‌توان این چالش‌ها را به ۶ گروه عمده تقسیم کرد. این طبقه‌بندی به تمرکز بیشتر بر جنبه‌های مختلف چالش‌ها و ارائه راهکارهای متناسب با هر گروه کمک می‌کند و می‌تواند پایه‌ای برای توسعه سیاست‌ها و برنامه‌های مؤثر در این حوزه باشد.

1. Computing Power
2. IBM: International Business Machines
3. ASPI

چالش‌های زیرساختی

- قدیمی بودن تجهیزات: تجهیزات قدیمی در مراکز داده و زیرساخت‌های محاسباتی ایران مانع بزرگی برای پاسخگویی به نیازهای فناوری‌های نوظهور است. این تجهیزات نه تنها کارایی و سرعت لازم را ندارند، بلکه به دلیل نبود امکانات به‌روزرسانی و تعمیرات، هزینه‌های نگهداری بالایی نیز دارند. فناوری‌های پیشرفته مانند پردازش ابری و اینترنت اشیا که به زیرساخت‌های محاسباتی پرسرعت و پایدار نیاز دارند، نمی‌توانند از ظرفیت کامل خود بهره‌برداری کنند و توسعه‌یافته‌ترین راه‌حل‌ها در کشور محدود می‌مانند (۶دبلیو ریسرچ، ۲۰۲۵).

- فقدان فناوری‌های نوین: دسترسی محدود به فناوری‌های نوین مانند پردازنده‌های قدرتمند و هوش مصنوعی، ناشی از هزینه‌های بالای واردات و تحریم‌ها، توسعه خدمات باکیفیت را محدود کرده و موجب کاهش کارایی مراکز داده و ناکافی بودن ظرفیت برای پاسخ به نیازهای محاسباتی سنگین می‌شود (گلوبال دیتا[1]، ۲۰۲۴).

- ضعف در شبکه‌های ارتباطی: پهنای باند محدود و کیفیت پایین اتصال اینترنت، عملکرد مراکز داده را در ارائه خدمات پایدار و پردازش داده‌های حجیم کاهش داده و باعث کاهش بهره‌وری و ناپایداری خدمات، به‌ویژه در محاسبات ابری و تحلیل کلان داده‌ها شده و رشد فناوری‌های نوظهور را محدود می‌کند (اتحادیه بین المللی مخابرات[2]، ۲۰۲۴؛ اوکلا[3]، ۲۰۲۴).

مسائل مالی

- هزینه‌های تجهیزات و فناوری: تهیه تجهیزات پیشرفته مراکز داده در ایران به بودجه بالایی نیاز دارد، اما تحریم‌ها و نبود تولید داخلی، دسترسی به سرورها و پردازنده‌های پرقدرت را دشوار و هزینه‌ها را افزایش داده و وابستگی کشور به واردات را بیشتر کرده است (استاتیستا[4]، ۲۰۲۴؛ سازمان همکاری و توسعه اقتصادی، ۲۰۲۳).

- هزینه‌های نگهداری و به‌روزرسانی: زیرساخت‌های محاسباتی ایران به بودجه مستمر برای نگهداری و به‌روزرسانی نیاز دارند، اما هزینه‌های بالای تعمیرات و مشکلات اقتصادی باعث شده مراکز داده نتوانند تجهیزات خود را کامل به‌روزرسانی کنند، که کاهش بهره‌وری و سرعت پردازش را به همراه دارد

1. GlobalData
2. International Telecommunication Union
3. Ookla
4. Statiśta

(مؤسسه آپتایم[1]، ۲۰۲۴؛ شرکت بین‌المللی داده[2]، ۲۰۲۳).

تحریم‌ها

- محدودیت‌های واردات و تحریم‌ها: تحریم‌ها و محدودیت‌های تجاری مانع اصلی واردات تجهیزات پیشرفته به ایران هستند و باعث افزایش هزینه‌ها و دشواری در تهیه قطعات و لوازم جانبی می‌شوند، که نگهداری و بهره‌برداری از تجهیزات مراکز داده را با چالش مواجه می‌کند (کارنگی[3]، ۲۰۲۳؛ شورای آتلانتیک[4]، ۲۰۲۴).

نیروی انسانی

- فقدان متخصصین آموزش‌دیده: کمبود نیروی متخصص در حوزه‌های محاسباتی و داده‌محور، ازجمله علم داده و امنیت سایبری، به دلیل فقدان آموزش‌های تخصصی کافی، یکی از عوامل محدودکننده توان محاسباتی ایران و توسعه فناوری‌های نوظهور است (یونسکو[5]، ۲۰۲۳؛ بانک جهانی[6]، ۲۰۲۴)

- مهاجرت نیروی کار: مهجرت نیروی متخصص و با تجربه به خارج به دلیل مشکلات اقتصادی و اجتماعی، توان محاسباتی ایران را کاهش داده و زیرساخت‌ها را تضعیف کرده و کمبود متخصص در پروژه‌های فناوری‌های نوظهور را تشدید می‌کند (بانک جهانی، ۲۰۲۳؛ سازمان بین‌المللی مهاجرت[7]، ۲۰۲۴).

- عدم وجود برنامه‌های آموزشی کارآمد: نبود برنامه‌های آموزشی کارآمد در حوزه‌های نوظهور مانند علم داده و پردازش کلان داده باعث شده مهارت‌های لازم در نیروی کار شکل نگیرد و تأمین نیروی انسانی متخصص برای توسعه توان محاسباتی کشور محدود شود (یونسکو، ۲۰۲۴؛ سازمان همکاری و توسعه اقتصادی، ۲۰۲۳).

مسائل امنیتی

- تهدیدات سایبری: افزایش تهدیدات سایبری و نبود تدابیر امنیتی کافی، مراکز داده و زیرساخت‌های محاسباتی ایران را آسیب‌پذیر کرده و نیازمند توجه ویژه

1. Uptime Institute
2. International Data Corporation
3. Carnegie Endowment for International Peace
4. Atlantic Council
5. UNESCO
6. World Bank
7. International Organization for Migration

برای حفاظت از اطلاعات و جلوگیری از اختلالات و خسارات احتمالی است (کاسپرسکی، ۲۰۲۳؛ چک‌پوینت ریسرچ، ۲۰۲۴).

- ضعف استانداردهای امنیتی: نبود استانداردهای امنیتی مشخص، مراکز داده و زیرساخت‌های محاسباتی ایران را آسیب‌پذیر کرده و مانع افزایش حفاظت از داده‌ها و پیشگیری از تهدیدات احتمالی می‌شود (اتحادیه بین‌المللی مخابرات، ۲۰۲۳؛ سازمان بین‌المللی استانداردسازی[1]، ۲۰۲۳).

- نیاز به سیستم‌های پشتیبان: نبود سیستم‌های پشتیبان قوی در مراکز داده ایران، عملکرد آن‌ها در شرایط بحرانی و بازیابی اطلاعات را با مشکل مواجه کرده و تداوم فعالیت در مواقع اضطراری را تهدید می‌کند (گارتنر، ۲۰۲۳؛ مؤسسه آپتایم، ۲۰۲۴).

مصرف بالای انرژی

- نیاز بالا به برق: مصرف بالای برق مراکز داده در ایران هزینه‌های انرژی سنگینی ایجاد کرده و با محدودیت منابع انرژی، توسعه و گسترش این مراکز را با چالش جدی مواجه می‌کند (آژانس بین‌المللی انرژی، ۲۰۲۳؛ مؤسسه آپتایم، ۲۰۲۴).

- محدودیت منابع انرژی: کمبود منابع انرژی و افزایش تقاضا در ایران، تأمین برق پایدار برای مراکز داده را دشوار کرده و بسیاری از این مراکز در تأمین انرژی مورد نیاز خود با مشکلات جدی مواجه‌اند (مؤسسه آپتایم، ۲۰۲۴؛ آژانس بین‌المللی انرژی، ۲۰۲۳)

- نیاز به راه‌حل‌های بهینه‌سازی انرژی: فناوری‌های بهینه‌سازی انرژی می‌توانند مصرف مراکز داده را کاهش دهند و بهره‌وری را افزایش دهند، اما هزینه‌های بالا و کمبود تکنولوژی پیشرفته در ایران مانع اجرای گسترده آن‌ها شده است (مؤسسه آپتایم، ۲۰۲۴؛ آژانس بین‌المللی انرژی، ۲۰۲۳).

پیشینه تحقیق

افزایش روزافزون فناوری‌های نوظهور مانند هوش مصنوعی، اینترنت اشیاء و داده‌های بزرگ، کشورهای مختلف را به بررسی زیرساخت‌های محاسباتی و چالش‌های مربوط به افزایش توان محاسباتی سوق داده است. در سطح بین‌المللی، مطالعات گسترده‌ای بر روی این موضوع انجام شده که هدف آن‌ها شناسایی چالش‌ها، موانع و راهکارهای ارتقاء توان محاسباتی برای همگام شدن با تقاضای رو به رشد این فناوری‌ها است.

1. International Organization for Standardization

جدول ۱. پیشینه تحقیقات بین المللی

ردیف	عنوان پژوهش	سال پژوهش	پژوهشگر/ پژوهشگران	روش شناسی پژوهش	نتایج پژوهش
۱	محاسبات مدرن: چشم‌انداز و چالش‌ها	۲۰۲۴	گیل و همکاران	این پژوهش تحول شش دهه سیستم‌های محاسباتی و فناوری‌های نوین را تحلیل و چالش‌ها و محرک‌ها را شناسایی کرده و چارچوبی برای هدایت تحقیقات ارائه می‌دهد.	سیستم‌های محاسباتی طی شش دهه از معماری‌های متمرکز به مدل‌های توزیع‌شده مانند ابری، مه و لبه منتقل شده و فناوری‌های نوظهور توان محاسباتی جدید ایجاد کرده‌اند.
۲	نام‌گذاری کسب و کار (یا محصول) و سایر وظایف قبل از شروع کار	۲۰۲۳	ناووکس و لورنزون و سرپا	پژوهش با تحلیل و شبیه‌سازی، چالش‌ها و نیازمندی‌های HPC را شناسایی کرده، معیارهای کلیدی استخراج و مدل‌های پیش‌بینی عملکرد ایجاد می‌کند و چارچوب بهینه‌سازی ارائه می‌دهد..	مقاله چالش‌ها و نیازمندی‌های سرورهای HPC و ابررایانه‌های آینده را بررسی کرده و معماری‌های نوین، کاربرد ابری، توسعه نرم‌افزار موازی و مسائل غیرعملکردی مانند انرژی و انعطاف‌پذیری را تحلیل می‌کند..
۳	محاسبات هوشمند: آخرین پیشرفت‌ها، چالش‌ها و آینده	۲۰۲۲	ژو و همکاران	این پژوهش با مرور ادبیات محاسبات هوشمند، اصول، کاربردها و چالش‌ها را تحلیل کرده و فرصت‌های نوآوری را شناسایی و چارچوب راهنمای پژوهشگران و صنعت ارائه می‌دهد.	پژوهش نشان می‌دهد محاسبات هوشمند با گسترش به حوزه‌های ادراکی، شناختی و ترکیبی انسان–کامپیوتر، پیشرفت فناوری‌ها را تسهیل و فرصت‌های پژوهشی و صنعتی گسترده‌ای فراهم می‌کند.
۴	قدرت محاسباتی و مدیریت هوش مصنوعی	۲۰۲۴	ساستری و همکاران	این پژوهش با رویکرد تحلیلی و سیاست‌محور، نقش قدرت محاسباتی در توسعه و مدیریت هوش مصنوعی را بررسی و چارچوبی برای استفاده ایمن و مؤثر ارائه می‌کند.	پژوهش نشان می‌دهد قدرت محاسباتی در توسعه هوش مصنوعی نقش کلیدی دارد و چارچوبی برای استفاده ایمن آن ارائه می‌کند، با توجه به ریسک‌هایی چون نقض حریم خصوصی و تمرکز قدرت.
۵	زیرساخت دیجیتال و سطح درآمد: محرک‌های تجارت الکترونیک در کشورهای جنوب شرقی آسیا	۲۰۲۵	نیسا و کرسینه	پژوهش تأثیر سرانه تولید ناخالص داخلی و زیرساخت‌های دیجیتال بر تجارت الکترونیک شش کشور آسیای جنوب شرقی را با داده‌های ۲۰۱۷–۲۰۲۳ و تحلیل رگرسیون داده‌های تابلویی بررسی می‌کند.	پژوهش نشان می‌دهد سرانه تولید ناخالص داخلی، اینترنت و پهنای باند ثابت تأثیر مثبت و معناداری بر تجارت الکترونیک دارند، در حالی که تلفن همراه و پهنای باند موبایل تأثیر قابل توجهی ندارند و نتایج می‌تواند دولت‌ها را در ارتقای ICT راهنمایی کند.
۶	مراکز داده در سیستم‌های انرژی آینده اروپا – بهره‌وری انرژی، ادغام و سیاست	۲۰۱۹	درسن، وورل و آیچهامر	این مطالعه با رویکرد کیفی، پتانسیل ادغام سیستم انرژی در مراکز داده و تأثیر سیاست‌های اتحادیه اروپا بر بهره‌وری انرژی را بررسی کرده و از تحلیل سیاست‌ها، برنامه‌های تحقیق و توسعه و ارزیابی مزایای اجتماعی و محیط‌زیستی استفاده می‌کند.	نتایج نشان می‌دهد ادغام سیستم انرژی مراکز داده با پاسخگویی به تقاضا و استفاده از گرمای تلف‌شده ظرفیت اضافه ۱۰ گیگاوات به شبکه اتحادیه اروپا دارد، نیازمند سیاست‌گذاری و هماهنگی مقررات است.
۷	همکاری علمی چین و آمریکا در تحقیقات توسعه پایدار: تحلیل کتابشناختی	۲۰۲۴	لی، رن و وانگ	این پژوهش با تحلیل کتاب‌سنجی و ترسیم همکاری‌های علمی، روندها، شکاف‌ها و تحولات تحقیقات توسعه پایدار را در سطح بین‌الملل شناسایی و تصویرسازی می‌کند.	یافته‌ها نشان می‌دهد همکاری علمی آمریکا و چین در توسعه پایدار قوی است، چین پیشرو شده و تعاملات با دیگر کشورها گسترده بوده و توسعه پایدار می‌تواند آن را تقویت کند.

در ایران، زیرساخت‌های محاسباتی با توجه به رشد فناوری و تقاضای دیجیتال ناکافی‌اند و پژوهش‌ها به موانعی مانند کمبود بودجه، فرسودگی تجهیزات، ضعف امنیت سایبری و محدودیت انرژی اشاره کرده‌اند که نیازمند سیاست‌گذاری و اولویت‌بندی برای تقویت زیرساخت‌هاست. در ادامه چند نمونه از این پژوهش‌ها ارائه شده است:

جدول ۲. پیشینه تحقیقات داخلی

ردیف	عنوان پژوهش	سال پژوهش	پژوهشگر/ پژوهشگران	روش شناسی پژوهش	نتایج پژوهش
۱	بررسی سیستماتیک و طبقه‌بندی فناوری‌های محاسباتی نوظهور مرتبط با HPC	۱۴۰۴	آریانیان و همکاران	این مقاله فناوری‌های نوظهور HPC شامل محاسبات کوانتومی، نانوکامپیوتینگ و سیستم‌های نورومورفیک را بررسی و طبقه‌بندی کرده و با تحلیل ۱۴۲ مطالعه (۲۰۱۸–۲۰۲۵)راه‌حل‌های سخت‌افزاری، زبان‌ها، چارچوب‌ها و پلتفرم‌های شبیه‌سازی را ارزیابی می‌کند.	یافته‌ها نشان می‌دهد فناوری‌های نوظهور HPC می‌توانند مکمل یا جایگزین معماری‌های کلاسیک باشند و تحولات مهمی در طراحی و بهره‌برداری زیرساخت‌های محاسباتی ایجاد کنند و مقاله با تعیین چالش‌ها و مسیرهای پژوهشی آینده خاتمه می‌یابد.
۲	دستیابی به پایداری در محاسبات از طریق به حداقل رساندن مصرف انرژی مرکز داده	۱۴۰۴	عبدالامیر یوسف و همکاران	این مطالعه با بررسی ادبیات و مطالعات موردی شرکت‌های فناوری، الگوهای مصرف انرژی و انتشار کربن مراکز داده را با معیارهای PUE و CUE تحلیل کرده است.	نتایج نشان می‌دهد که استفاده از سخت‌افزار کم‌مصرف، انرژی تجدیدپذیر و خنک‌سازی بهینه می‌تواند مصرف انرژی و انتشار کربن را تا ۳۰ درصد کاهش دهد.
۳	بررسی و تحلیل چالش های امنیتی مطرح در سیستم های محاسباتی ابری	۱۳۹۷	غفاری‌زاده و طاولی	این مقاله شش تهدید اصلی امنیتی محاسبات ابری شناسایی‌شده توسط CSA را بررسی کرده و ابعاد مختلف امنیت ابری مانند حریم خصوصی، امنیت داده، رمزنگاری و توافق‌ها را تحلیل می‌کند.	مطالعه چالش‌های امنیت به‌عنوان سرویس و مکانیسم‌های دفاعی علیه حملات رایج را بررسی کرده و مدل‌های امنیتی شامل دیاگرام حالت، لایه‌بندی مراکز داده و امنیت به‌عنوان سرویس را تحلیل می‌کند.
۴	مدل سازی ریسک مبتنی بر داده برای پروژه های زیرساختی با استفاده از تکنیک های هوش مصنوعی	۱۴۰۴	طالبان‌پور بیات و زاهد	این پژوهش با هوش مصنوعی و داده‌های تاریخی، چارچوبی برای شناسایی و پیش‌بینی ریسک‌ها ارائه می‌دهد و تصمیم‌گیری استراتژیک مبتنی بر داده را تسهیل می‌کند.	با بهره‌گیری از هوش مصنوعی، ۶۰ تا ۸۵ درصد ریسک پروژه‌های زیرساختی قابل شناسایی و ارزیابی دقیق است و این فناوری‌ها مدیریت ریسک، کاهش هزینه و ارتقای کیفیت پروژه‌های آینده را تسهیل می‌کنند.
۵	توسعه و نمونه سازی بستر تحقیقات در حوزه مصرف توان محاسباتی	۱۴۰۱	فدیشه ای و دلداری	این تحقیق با بررسی مطالعات جاری، نیازمندی‌های توسعه بستر آزمایشی توان محاسباتی را شناسایی و نمونه‌سازی آن را برای پژوهشگران انجام داده است.	نیازمندی‌های توسعه بستر شناسایی و براساس معیارهای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری، طراحی و پیاده‌سازی شد.
۶	طراحی شاخص‌های آمادگی توسعه و نقشه راه برای ابررایانه‌های در مقیاس پتافلاپ	۲۰۲۳	ملکی و همکاران	این مقاله نقشه راهی جامع ارائه می‌دهد که حوزه‌های استراتژیک مانند تحقیق، زیرساخت، پردازش داده، مقررات، خدمات و توسعه کسب‌وکار را به‌طور موازی و تکاملی پوشش می‌دهد.	این مقاله با معرفی شاخص‌های SDRI، نقشه راهی برای توسعه ابررایانه طراحی کرده و با مقایسه آن با دو نقشه راه فرضی، اثربخشی روش پیشنهادی در توسعه خدمات پتافلاپی را تأیید می‌کند.

ردیف	عنوان پژوهش	سال پژوهش	پژوهشگر/ پژوهشگران	روش شناسی پژوهش	نتایج پژوهش
۷	توسعه امنیت سایبری داده های حجیم در مراکز فرماندهی و کنترل مبتنی بر سامانه های رایانه ای و ارتباطی	۱۳۹۹	داودی فر	تهدیدات سایبری قابل طبقه‌بندی هستند و سیستم‌های ابری نیازهای پردازش داده میدانی را تأمین می‌کنند، اما امنیت و حریم خصوصی ناکافی است و جنگ‌های آینده داده‌محور خواهند بود.	در فرماندهی و کنترل فضای سایبری، همکاری دولت و بخش خصوصی، هماهنگی دفاعی و تعاملات بین‌المللی حیاتی است، به‌ویژه برای ایجاد زیرساخت‌های امن و پایدار پساتحریم.

توان محاسباتی ایران نسبت به کشورهای پیشرفته، عقب است که ناشی از تحریم‌ها، محدودیت دسترسی به فناوری‌های نوین، مشارکت‌های بین‌المللی محدود، عدم ثبات اقتصادی و اولویت‌بندی بودجه به بخش‌های نظامی است و این عوامل رشد فناوری و بهره‌وری منابع داخلی را کاهش داده‌اند.

بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که مطالعات گذشته عمدتاً به تحلیل پراکنده عوامل مؤثر بر توان محاسباتی پرداخته و تحلیل سلسله‌مراتبی و ساختاری روابط میان آن‌ها محدود بوده است. بیشتر پژوهش‌ها نیز بر جنبه‌های عملیاتی و اجرایی تمرکز داشته و چارچوب نظری یکپارچه و تحلیلی برای شناسایی و اولویت‌بندی چالش‌ها ارائه نکرده‌اند.

شکاف اصلی پژوهش حاضر در فقدان مدل ساختاریافته برای تحلیل عوامل مؤثر بر توان محاسباتی در ایران مشهود است. نوآوری تحقیق در ارائه چارچوب ترکیبی کیفی و کمی مبتنی بر مدل‌سازی ساختاری تفسیری و تحلیل میک مک نهفته است که روابط سلسله‌مراتبی و تأثیرات متقابل چالش‌ها را شناسایی و اولویت‌بندی می‌کند و امکان ارائه پیشنهادهای راهبردی مبتنی بر شواهد برای سیاست‌گذاران را فراهم می‌آورد.

با وجود پیشرفت‌ها، حوزه‌های کلیدی همچنان نیازمند پژوهش جامع هستند، ازجمله جذب سرمایه‌گذاری داخلی و خارجی، بهینه‌سازی مصرف انرژی و بهره‌وری مراکز داده، مدیریت منابع داخلی در شرایط تحریم، امنیت سایبری، تربیت نیروی متخصص و توسعه مدل‌ها و شاخص‌های مدیریتی. پرداختن به این شکاف‌ها می‌تواند مسیر روشنی برای ارتقای توان محاسباتی و توسعه فناوری‌های نوین در کشور فراهم کند.

روش تحقیق

هدف این پژوهش، شناسایی و مدل‌سازی چالش‌های توان محاسباتی با استفاده از معادلات ساختاری تفسیری است تا به سیاست‌گذاران و مدیران فناوری در تقویت زیرساخت‌ها و پیشبرد فناوری‌های نوین کمک کند (شریفی‌شاد و بیرانوند، ۱۴۰۳). روش معادلات ساختاری تفسیری با ادغام دانش خبرگان و رویکرد سیستمی، روابط پیچیده

میان عوامل متعدد را تحلیل و به‌صورت سلسله‌مراتبی و ساختاریافته نمایش می‌دهد و برای درک اولویت‌ها و وابستگی‌های حوزه توان محاسباتی، که عوامل پیچیده و مرتبطی دارد، مؤثر است (مانوهاران و همکاران، ۲۰۲۲؛ الویجید و همکاران، ۲۰۲۴).

این پژوهش از نوع کاربردی بوده و از نظر روش‌شناسی در زمره پژوهش‌های توصیفی و ترکیبی (کیفی و کمّی) قرار می‌گیرد. هدف اصلی، شناسایی و مدل‌سازی چالش‌های توان محاسباتی در ایران با رویکردی نظام‌مند می باشد. در بخش کیفی، داده‌ها از طریق مصاحبه‌های نیمه‌ساختاریافته و جلسات گروهی با خبرگان حوزه فناوری اطلاعات، مدیران مراکز داده و اساتید دانشگاهی مرتبط گردآوری شد. انتخاب خبرگان به روش هدفمند[1] و براساس معیارهایی همچون تخصص، سابقه فعالیت و آشنایی با زیرساخت‌های محاسباتی کشور صورت گرفت. هدف از انجام این مصاحبه‌ها، استخراج عوامل کلیدی مؤثر بر توسعه توان محاسباتی و درک روابط میان آن‌ها از دیدگاه متخصصان بود.

پس از جمع‌آوری داده‌های کیفی، نتایج تحلیل مصاحبه‌ها مبنای طراحی بخش کمّی پژوهش شد. در این مرحله، ماتریس روابط متقابل و ماتریس دسترسی[2] تشکیل و با محاسبات ریاضی، سطح‌بندی و تحلیل روابط میان عوامل انجام گرفت تا علاوه بر درک ساختار مفهومی چالش‌های توان محاسباتی، ارتباطات علّی و معلولی میان متغیرها نیز به‌صورت نظام‌مند شناسایی شود.

راهنمای مصاحبه‌ها براساس مرور پیشینه نظری، تحلیل مطالعات مشابه و مشورت با اساتید راهنما طراحی شد تا تمامی ابعاد موضوع به شکل جامع پوشش داده شود. محورهای اصلی مصاحبه‌ها شامل پنج بخش زیر بود:

۱. بررسی وضعیت فعلی زیرساخت‌های محاسباتی در کشور و شناسایی نقاط قوت و ضعف موجود؛

۲. شناسایی موانع و چالش‌های اصلی توسعه توان محاسباتی از منظر فنی، مالی و مدیریتی؛

۳. تحلیل روابط میان عوامل مؤثر بر توان محاسباتی و تعیین میزان تأثیرگذاری هر عامل بر سایر عوامل؛

۴. ارائه راهکارهای پیشنهادی برای ارتقای بهره‌وری، پایداری و ظرفیت مراکز داده و زیرساخت‌های پردازشی کشور؛

1. Purposeful Sampling
2. Reachability Matrix

۵. بررسی تأثیر محدودیت‌های محیطی، ازجمله تحریم‌ها و محدودیت‌های بودجه‌ای، بر سیاست‌گذاری و سرمایه‌گذاری در حوزه توان محاسباتی.

داده‌های مصاحبه‌ها با کدگذاری باز، محوری و انتخابی تحلیل شدند تا مفاهیم و شاخص‌های کلیدی استخراج گردد. سپس ماتریس روابط متقابل میان عوامل تهیه و در مدل مدل‌سازی ساختاری تفسیری به‌کار گرفته شد تا تحلیل سلسله‌مراتبی و روابط علّی و معلولی میان عوامل انجام شود؛ این رویکرد ترکیبی کیفی و کمّی هم درک عمیق از نظرات خبرگان و هم تحلیل ریاضی و ساختاریافته روابط عوامل توان محاسباتی را فراهم کرد.

در ادامه، مراحل فرآیند پژوهش ارائه شده است:

۱) شناسایی و تعریف متغیرها[1]

در مرحله اول، عوامل کلیدی مرتبط با موضوع تحقیق از طریق مرور ادبیات، مطالعات پیشین و مصاحبه با خبرگان شناسایی شدند تا جامعیت و ارتباط آن‌ها با هدف پژوهش تضمین شود. برای مثال، در زمینه چالش‌های توان محاسباتی، زیرساخت‌های سخت‌افزاری و منابع مالی به‌عنوان متغیرهای مهم در نظر گرفته شدند و این مرحله، پایه‌ای برای تحلیل دقیق روابط میان عوامل و دقت نتایج نهایی است.

۲) ارزیابی متغیرها توسط خبرگان[2]

جامعه پژوهش شامل ۱۲ نفر از خبرگان منتخب در حوزه توان محاسباتی و فناوری‌های نوظهور بود. این افراد شامل اساتید و پژوهشگران دانشگاهی، مسئولان بخش‌های دولتی و سیاست‌گذاران فناوری، کارآفرینان و مدیران استارتاپ‌ها، مشاوران و تحلیل‌گران اقتصادی و صنعتی و متخصصان بین‌المللی در حوزه زیرساخت‌های ابری و محاسبات پیشرفته می‌باشند. انتخاب مشارکت‌کنندگان با استفاده از روش نمونه‌گیری غیرتصادفی هدفمند از نوع گلوله‌برفی [3]انجام گرفت؛ به‌گونه‌ای که با معرفی اولیه چند نفر از خبرگان کلیدی، سایر افراد واجد شرایط نیز به‌تدریج شناسایی و وارد فرایند پژوهش شدند.

این تعداد براساس ماهیت کیفی پژوهش و هدف از مصاحبه‌های عمیق تخصصی تعیین گردید؛ چراکه در پژوهش‌های کیفی، تأکید بر عمق داده‌ها به‌جای تعداد بالای

1. Identifying variables
2. Evaluating variables
3. Snowball Sampling

مشارکت‌کنندگان می‌باشد. فرایند مصاحبه تا زمان اشباع نظری[1] ادامه یافت؛ یعنی در مصاحبه‌های جدید، هیچ مفهوم، متغیر یا رابطه جدیدی نسبت به مصاحبه‌های قبلی استخراج نشد و محقق اطمینان یافت که داده‌ها به سطح کافی از جامعیت رسیده‌اند. در این پژوهش، پس از انجام ۶ مصاحبه، نشانه‌های اولیه اشباع مشاهده شد و با انجام ۱۲ مصاحبه، اطمینان از تحقق کامل اشباع نظری حاصل گردید.

از نظر ویژگی‌های جمعیت‌شناختی، ۲۵ درصد (۳ نفر) از مصاحبه‌شوندگان زن و ۷۵ درصد (۹ نفر) مرد بودند. از نظر سطح تحصیلات، ۷۵ درصد (۹ نفر) دارای مدرک دکتری و ۲۵ درصد (۳ نفر) دارای مدرک کارشناسی ارشد بودند. همچنین، ۸ نفر از خبرگان دارای سابقه کاری بیش از ۱۵ سال، ۳ نفر بین ۱۰ تا ۱۵ سال و ۱ نفر دارای سابقه کاری بین ۵ تا ۱۰ سال بودند. این ترکیب متنوع، دیدگاه‌های چندجانبه‌ای از ابعاد فنی، سیاستی و مدیریتی توان محاسباتی در ایران فراهم ساخت.

۳) ایجاد ماتریس روابط متقابل ساختاری[2]

پس از شناسایی متغیرها، مرحله بعدی ساخت ماتریس روابط متقابل بود که در آن تأثیرگذاری و تأثیرپذیری میان عوامل بررسی شد. جلسات گروهی با خبرگان به دقت روابط را مشخص کردند و هر خانه ماتریس، نشان‌دهنده یکی از چهار حالت تأثیر: یک‌طرفه، معکوس، متقابل یا بدون تأثیر است و این ماتریس به‌عنوان نقشه اولیه شناسایی روابط کلیدی میان عوامل عمل می‌کند (الویجید و همکاران، ۲۰۲۴).

تعریف نوع و جهت روابط:

در ماتریس، هر رابطه میان دو عامل با یکی از چهار نماد زیر مشخص می‌شود:

V : عامل A بر عامل B تأثیر می‌گذارد.

A : عامل B بر عامل A تأثیر می‌گذارد.

X : هر دو عامل A و B بر هم تأثیر متقابل دارند.

O : هیچ ارتباط مستقیمی بین A و B وجود ندارد.

با استفاده از این نمادها، روابط بین تمام عوامل به دقت مشخص گردیده و هر رابطه‌ای در ماتریس وارد می‌گردد (ابراهیم‌پور سامانی و همکاران، ۱۴۰۳؛ احمد و

1. Theoretical Saturation

2. Structural Self-Interaction Matrix

همکاران، ۲۰۱۹).

۴) تبدیل ماتریس به ماتریس دسترسی اولیه[1]

در این مرحله، ماتریس روابط متقابل ساختاری به ماتریس دسترسی اولیه تبدیل شد تا ساختار سلسله‌مراتبی اولیه و روابط غیرمستقیم میان متغیرها مشخص گردد. با استفاده از نرم‌افزار میک مک و الگوریتم‌های خاص، ارتباطات مستقیم و غیرمستقیم تحلیل شد و اهمیت نسبی عوامل تعیین شد؛ در این پژوهش تعداد تکرار[2] الگوریتم برابر با ۲ بود؛ بنابراین نیازی به بررسی آستانه همگرایی[3] نبود، که دقت و جامعیت محاسبات را تضمین می‌کند (ابراهیم‌پور سامانی و همکاران، ۱۴۰۳).

۵) تعیین سطوح متغیرها و رسم مدل نهایی[4]

در این مرحله، براساس ماتریس دسترسی، سطوح مختلف متغیرها تعیین و تحلیل سلسله‌مراتبی انجام شد تا جایگاه هر عامل در ساختار کلی مدل مشخص شود. سطوح پایین‌تر مربوط به متغیرهای تأثیرپذیر و سطوح بالاتر به متغیرهای تأثیرگذار تعلق دارند و مدل نهایی به‌صورت نمودار ارائه شد تا روابط متقابل عوامل و اولویت آن‌ها برای سیاست‌گذاران و مدیران قابل شناسایی باشد (ابراهیم‌پور سامانی و همکاران، ۱۴۰۳؛ احمد و همکاران، ۲۰۱۹).

یافته‌ها

در این تحقیق ابتدا با بررسی ادبیات نظری و مقالات مرتبط، ابعاد و چالش‌های افزایش توان محاسباتی برای توسعه فناوری‌های نوظهور شناسایی شد. سپس این ابعاد توسط ۶ نفر از خبرگان با استفاده از روش دلفی ارزیابی و تأیید شد تا اجماع گروهی حاصل شود و علاوه بر دسته‌بندی مفاهیم شناخته‌شده، مفاهیم نوظهور مانند «پیچیدگی تعاملات بین زیرساخت‌ها و نیروی انسانی»، «وابستگی فناوری‌های نوظهور به توان محاسباتی بومی» و «لزوم توسعه ظرفیت محاسباتی منعطف و قابل مقیاس» نیز استخراج و در تحلیل کیفی وارد گردید.

1. Initial Reachability Matrix
2. Iterations
3. Convergence Threshold
4. Level Partitioning and Final Model Development

تحلیل این جدول، پایه‌ای برای مدل‌سازی ساختاری تفسیری و تحلیل میک مک فراهم می‌کند و روابط و سلسله‌مراتب تأثیرگذاری بین چالش‌ها را شناسایی می‌نماید. با این رویکرد، مطالعه می‌تواند شکاف‌های نظری موجود در ادبیات توان محاسباتی ایران را پر کند و چارچوب تحلیلی مناسبی برای پژوهش‌های آینده ارائه دهد.

جدول ۳. چالش‌های شناسایی شده مربوط به افزایش توان محاسباتی

شاخص	ابعاد	منبع
زیرساختی	قدیمی بودن تجهیزات	(۶دبلیو ریسرچ، ۲۰۲۵)
	فقدان فناوری‌های نوین	(گلوبال دیتا، ۲۰۲۴)
	ضعف در شبکه‌های ارتباطی	(اتحادیه بین المللی مخابرات ، ۲۰۲۴؛ اوکلا ، ۲۰۲۴)
مالی	هزینه‌های تجهیزات و فناوری	(استاتیستا، ۲۰۲۴؛ سازمان همکاری و توسعه اقتصادی، ۲۰۲۳)
	هزینه‌های نگهداری و به‌روزرسانی	(مؤسسه آپتایم، ۲۰۲۴؛ شرکت بین‌المللی داده، ۲۰۲۳).
تحریم‌ها	محدودیت‌های واردات و تحریم‌ها	(کارنگی، ۲۰۲۳؛ شورای آتلانتیک، ۲۰۲۴)
منابع انسانی	فقدان متخصصین آموزش‌دیده	(یونسکو، ۲۰۲۳؛ بانک جهانی، ۲۰۲۴)
	مهاجرت نیروی کار	(بانک جهانی، ۲۰۲۳؛ سازمان بین‌المللی مهاجرت، ۲۰۲۴)
	عدم وجود برنامه‌های آموزشی کارآمد	(یونسکو، ۲۰۲۴؛ سازمان همکاری و توسعه اقتصادی، ۲۰۲۳)
مسائل امنیتی	تهدیدات سایبری	(کاسپرسکی، ۲۰۲۳؛ چک‌پوینت ریسرچ، ۲۰۲۴)
	ضعف استانداردهای امنیتی	(اتحادیه بین‌المللی مخابرات، ۲۰۲۳؛ سازمان بین‌المللی استانداردسازی، ۲۰۲۳)
	نیاز به سیستم‌های پشتیبان	(گارتنر، ۲۰۲۳؛ مؤسسه آپتایم، ۲۰۲۴)
مصرف بالای انرژی	نیاز بالا به برق	(آژانس بین‌المللی انرژی، ۲۰۲۳؛ مؤسسه آپتایم، ۲۰۲۴)
	محدودیت منابع انرژی	(آژانس بین‌المللی انرژی، ۲۰۲۳؛ مؤسسه آپتایم، ۲۰۲۴)
	نیاز به راه‌حل‌های بهینه‌سازی انرژی	(آژانس بین‌المللی انرژی، ۲۰۲۳؛ مؤسسه آپتایم، ۲۰۲۴)

تشکیل ماتریس خودتعاملی ساختاری

ماتریس خودتعاملی ساختاری از ابعاد و شاخص‌های افزایش توان محاسباتی برای توسعه فناوری‌های نوظهور با چهار حالت روابط مفهومی تشکیل شد و توسط خبرگان و متخصصان منابع انسانی تکمیل گردید. اطلاعات به روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری جمع‌بندی شد و ماتریس نهایی با استفاده از منطق ناپارامتریک و علامت‌گذاری مبتنی بر بیشترین تأیید متخصصان تهیه شد.

در جدول زیر ماتریس خود تعاملی ساختاری قابل مشاهده است.

نمادهای مورد استفاده در ماتریس روابط متقابل ساختاری

V: عامل سطر بر عامل ستون تأثیر دارد.

A: عامل ستون بر عامل سطر تأثیر دارد.

X: هر دو عامل بر یکدیگر تأثیر دارند.

O: هیچ تأثیری بین دو عامل وجود ندارد.

جدول ٤. ماتریس خود تعاملی ساختاری

شاخص	زیرساختی	مالی	تحریم‌ها	منابع انسانی	مسائل امنیتی	مصرف انرژی
زیرساختی	O	X	A	X	X	X
مالی	-	O	A	A	V	X
تحریم‌ها	-	-	O	O	X	V
منابع انسانی	-	-	-	O	V	V
مسائل امنیتی	-	-	-	-	O	O
مصرف انرژی	-	-	-	-	-	O

جدول ۵. ماتریس دسترس‌پذیری اولیه

شاخص	زیرساختی	مالی	تحریم‌ها	منابع انسانی	مسائل امنیتی	مصرف انرژی	نفوذ
زیرساختی	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۵
مالی	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۴
تحریم‌ها	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۵
منابع انسانی	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۵
مسائل امنیتی	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۳
مصرف انرژی	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۳
وابستگی	۶	۵	۲	۲	۵	۵	

جدول ٦. ماتریس دسترس‌پذیری سطح ۱

شاخص	شاخص	ورودی	خروجی	مشترک	سطح
۱	زیرساختی	۱-۲-۴-۵-۶	۱-۲-۳-۴-۵-۶	۱-۲-۴-۵-۶	
۲	مالی	۱-۲-۵-۶	۱-۲-۳-۴-۶	۱-۲-۶	
۳	تحریم‌ها	۱-۲-۳-۵-۶	۳-۵	۳-۵	۱
۴	منابع انسانی	۱-۲-۴-۵-۶	۱-۴	۱-۴	۱
۵	مسائل امنیتی	۱-۳-۵	۱-۲-۳-۴-۵	۱-۳-۵	
۶	مصرف انرژی	۱-۲-۶	۱-۲-۳-۴-۶	۱-۲-۶	

جدول ۷. ماتریس دسترس‌پذیری سطح ۲

شاخص	شاخص	ورودی	خروجی	مشترک	سطح
۱	زیرساختی	۱-۲-۵-۶	۱-۲-۵-۶	۱-۲-۵-۶	۲
۲	مالی	۱-۲-۶	۱-۲-۶	۱-۲-۶	۲
۵	مسائل امنیتی	۱-۵	۱-۲-۵	۱-۵	
۶	مصرف انرژی	۱-۲-۶	۱-۲-۶	۱-۲-۶	۲

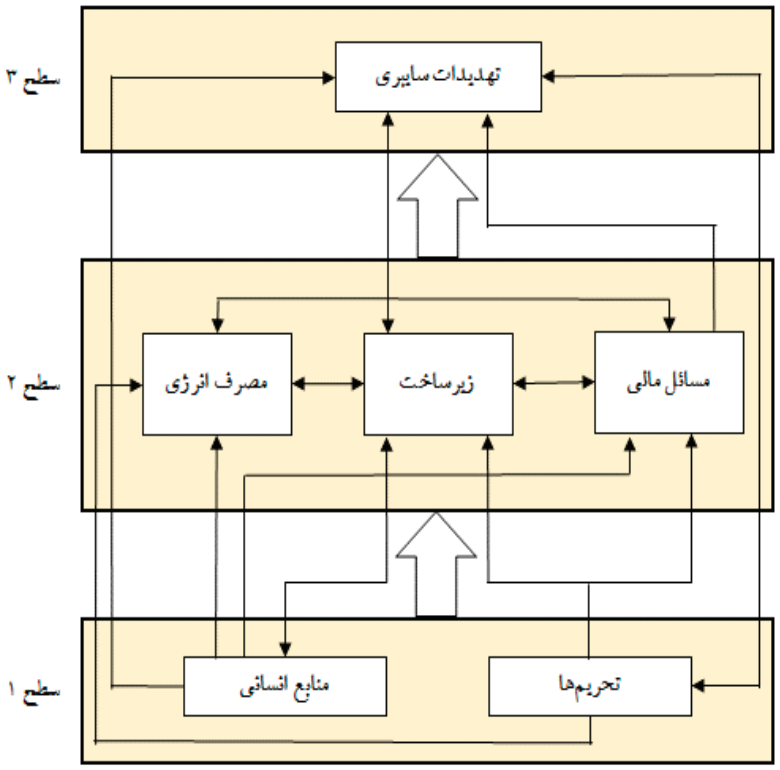
جدول ۸. ماتریس دسترس‌پذیری سطح ۳

شاخص	شاخص	ورودی	خروجی	مشترک	سطح
۵	مسائل امنیتی	۵	۵	۵	۳

ترسیم شبکهٔ تعاملات ابعاد و شاخص‌ها

پس از تعیین روابط و سطوح متغیرها، آن‌ها به‌صورت مدل ترسیم می‌شوند؛ متغیرها از بالا به پایین طبق سطح‌بندی سازمان‌دهی شده و دیاگرامی تحت عنوان «مدل چالش‌های افزایش توان محاسباتی» رسم می‌شود. برای مثال، تحریم‌ها و منابع انسانی به‌عنوان متغیرهای سطح اول در بالای دیاگرام قرار می‌گیرند و سایر ابعاد در سطوح بعدی نمایش داده می‌شوند (شکل ۱).

در مدل زیر، تحریم‌ها و منابع انسانی، بعنوان متغیرهای ورودی مدل معرفی شدند. با توجه به جدول (۵)، این متغیرها از قدرت نفوذ بالایی برخوردار می باشند. متغیرهای زیرساخت نیز از قدرت نفوذ و وابستگی بالایی برخوردار بوده؛ لذا در سطح دوم قرار دارد. متغیر مصرف بالای انرژی و مسائل مالی نیز از درجه وابستگی بالایی برخوردار می‌باشد. درنهایت، متغیر تهدیدات سایبری به دلیل قدرت نفوذ کم و وابستگی بالا در سطح سوم قرار گرفته است.



شکل ۱. مدل ساختاری تفسیری چالش‌های مربوط به افزایش توان محاسباتی

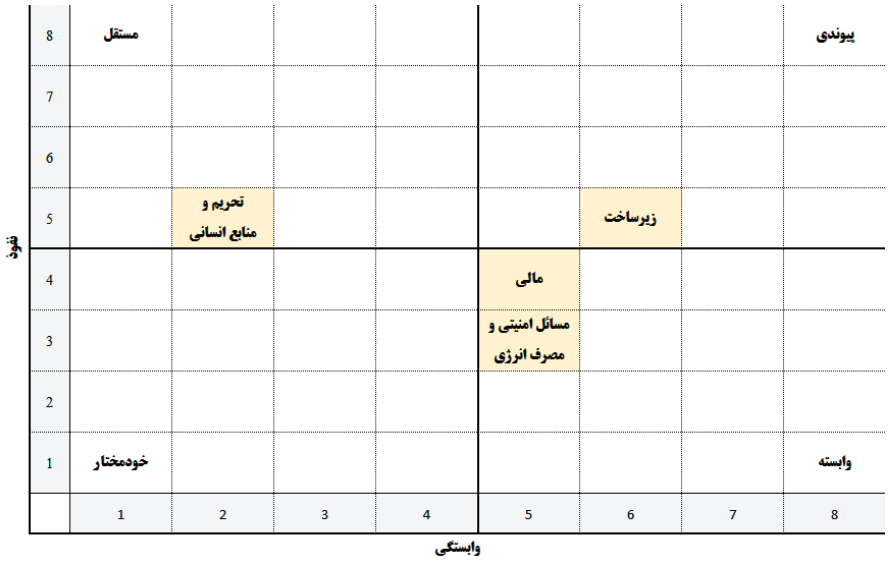
تحلیل میک مک

نرم‌افزار میک‌مک یکی از ابزارهای تحلیل ساختاری است که برای شناسایی و تحلیل عوامل کلیدی یک سیستم استفاده می‌شود. میک‌مک از طریق ماتریس نفوذ و وابستگی[1] تعاملات بین عوامل مختلف را بررسی می‌کند و آن‌ها را در قالب نقشه‌ای گرافیکی دسته‌بندی می‌کند. نتایج تحلیل در قالب نموداری که موقعیت هر عامل را نشان می‌دهد، ارائه می‌شود. یکی از نتایج مهم تحلیل، ترسیم نمودار نفوذ و وابستگی است که موقعیت هر عامل را در یکی از چهار دسته زیر مشخص می‌کند:

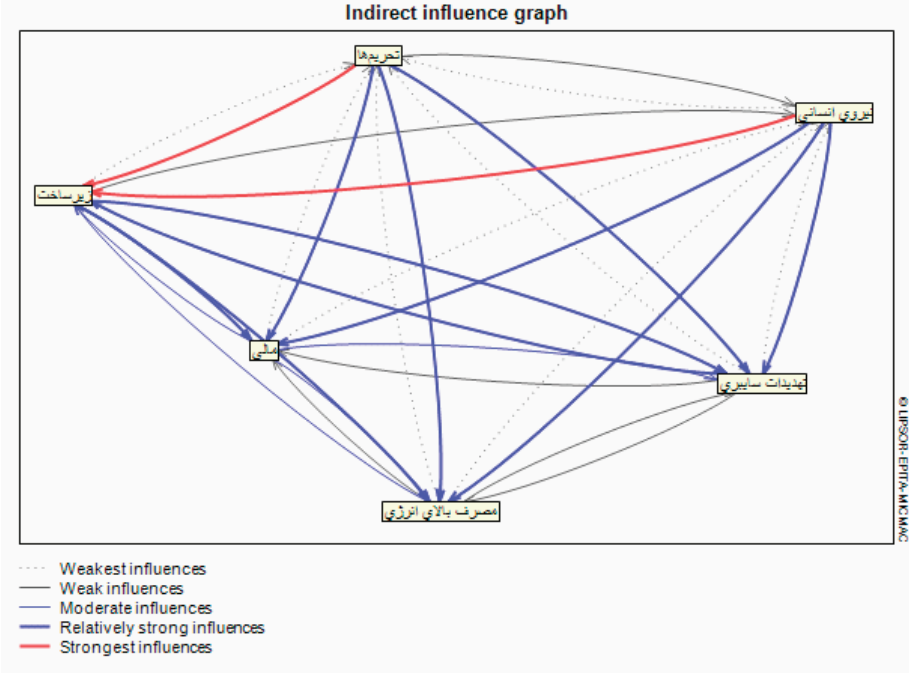
- خوشه اول: عوامل خودمختار، عواملی که نسبتاً از سیستم جدا هستند و وابستگی ضعیف یا بدون وابستگی به عوامل دیگر دارند.

1. Influence and Dependence Matrix

- خوشه دوم: عوامل وابسته - عوامل خوشه دوم در درجه اول به عوامل دیگر وابسته هستند.
- خوشه سوم: عوامل پیوندی - عوامل پیوندی که ناپایدار هستند و بیشتر بر دیگران تأثیر می‌گذارند.
- خوشه چهارم: عوامل مستقل - این عوامل تأثیر ضعیفی از سایر عوامل دارند و با توجه به عوامل کلیدی قوی باید حداکثر توجه را به آنها معطوف کرد(احمد و همکاران، ۲۰۱۹).



شکل ۲. نمودار قدرت نفوذ و وابستگی



شکل ۳. نمودار ارتباطات غیرمستقیم در پوشش ۱۰۰٪ با استفاده از نرم افزار میک مک

تحلیل میک‌مک براساس ماتریس عوامل انجام شد؛ محور عمودی میزان نفوذ و محور افقی میزان وابستگی عوامل را نشان می‌دهد. نتایج نمودار (۲) نشان می‌دهد که تحریم‌ها و منابع انسانی در خوشه مستقل با نفوذ بالا و وابستگی کم، مصرف بالای انرژی، تهدیدات سایبری و مسائل مالی در خوشه وابسته با نفوذ کم و وابستگی بالا و زیرساخت در خوشه پیوندی با نفوذ و وابستگی بالا قرار دارند و هیچ متغیری در خوشه خودمختار نیست.

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

این مطالعه با استفاده از مدل‌سازی ساختاری تفسیری و تحلیل میک مک، چالش‌های افزایش توان محاسباتی در ایران را شناسایی، اولویت‌بندی و سلسله‌مراتب آن‌ها را تعیین کرده است. نتایج نشان می‌دهد که عواملی مانند : تحریم‌ها و منابع انسانی بیشترین تأثیر را در توسعه فناوری‌های نوظهور دارند. همچنین تحلیل میک مک، چهار خوشه عوامل مستقل، وابسته، پیوندی و خودمختار را مشخص شده است.

این پژوهش علاوه بر ارائه چارچوب تحلیلی، پیشنهادهای عملیاتی شامل بهبود زیرساخت‌ها، تربیت نیروی متخصص، مدیریت مصرف انرژی، جذب سرمایه‌گذاری، رفع موانع تحریمی و تقویت امنیت سایبری ارائه می‌دهد تا ظرفیت محاسباتی کشور افزایش یابد و توسعه فناوری‌های نوظهور تسریع شود. با این حال، مسیر افزایش توان محاسباتی با چالش‌هایی مانند محدودیت‌های زیرساختی، کمبود نیروی متخصص، محدودیت‌های مالی، تحریم‌ها، تهدیدات سایبری و مصرف بالای انرژی همراه است که مقابله با آن‌ها نیازمند تحلیل دقیق ابعاد و تأثیرات متقابل آن‌ها است.

در مدل‌سازی ساختاری تفسیری، مقایسه دو به دو چالش‌ها نشان داد که زیرساخت، تحریم و منابع انسانی با ضریب نفوذ ۵ بیشترین اهمیت نسبی را دارند، در حالی‌که مسائل امنیتی و مصرف بالای انرژی با ضریب نفوذ ۳ کمترین اهمیت را دارند. چالش زیرساخت علاوه بر نفوذ بالا، ضریب وابستگی ۶ داشته و هم تأثیرگذار و هم تأثیرپذیر است، درحالی‌که تحریم‌ها و منابع انسانی با وابستگی کمتر (۲) بیشتر تأثیرگذار بوده و تأثیرپذیری کمی دارند.

مقایسه دو به دو چالش‌ها نشان داد که آن‌ها به یکدیگر وابسته هستند و رفع برخی می‌تواند تأثیرات منفی دیگران را کاهش دهد. تحریم‌ها و نیروی انسانی متخصص در سطح نخست و به‌عنوان متغیرهای مستقل شناسایی شدند، زیرساخت، مسائل مالی و مصرف انرژی در سطح دوم و به‌عنوان متغیرهای میانی قرار گرفتند و تهدیدات سایبری به‌عنوان متغیر وابسته در سطح سوم قرار دارد که تحت تأثیر تمامی متغیرهای پیشین است.

[۱] زیرساخت و مسائل مالی: زیرساخت‌ها برای توان محاسباتی پایه‌ای هستند، اما هزینه‌های احداث و نگهداری مراکز داده و تجهیزات پردازشی بالا بوده و بدون منابع مالی کافی، توسعه زیرساخت‌ها محدود می‌شود.

[۲] تحریم‌ها و نیروی انسانی متخصص: تحریم‌ها دسترسی به فناوری‌های نوین و فرصت‌های آموزشی را محدود کرده و باعث کاهش به‌روزبودن و بهره‌وری نیروی انسانی متخصص می‌شوند.

[۳] مصرف انرژی و زیرساخت: زیرساخت‌های پردازشی انرژی‌بر هستند و مصرف بالای انرژی علاوه بر افزایش هزینه‌ها، نیاز به بهینه‌سازی و استفاده از منابع تجدیدپذیر را ایجاد می‌کند.

[۴] تهدیدات سایبری و مسائل مالی: نبود بودجه کافی مانع سرمایه‌گذاری در امنیت سایبری شده و زیرساخت‌ها را در معرض تهدید قرار می‌دهد.

[۵] نیروی انسانی متخصص و تهدیدات سایبری: نیروی انسانی متخصص برای مقابله با تهدیدات سایبری حیاتی است و کمبود آن موجب آسیب‌پذیری

زیرساخت‌ها می‌شود.

این تحقیق با شناسایی چالش‌های کلیدی و تعیین نقش و اثرگذاری هر یک، به سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان امکان می‌دهد تا با اولویت‌بندی صحیح، تصمیمات مؤثری برای بهبود و تقویت توان محاسباتی در ایران اتخاذ کنند. برای این منظور، راهکارها و پیشنهادهای عملیاتی ارائه شده‌اند.

[۱] بهبود و توسعه زیرساخت‌های ICT: سرمایه‌گذاری در شبکه‌های اینترنت پرسرعت، مراکز داده و محاسبات توزیع‌یافته و ارتقای تجهیزات با فناوری‌های نوین مانند محاسبات ابری.

[۲] تربیت و جذب نیروی انسانی متخصص: برگزاری دوره‌های آموزشی تخصصی، جذب خبرگان ایرانی خارج از کشور و ایجاد انگیزه برای بازگشت متخصصان.

[۳] مدیریت و کاهش مصرف انرژی: استفاده از سیستم‌های سرمایشی هوشمند، تجهیزات کم‌مصرف و انرژی‌های تجدیدپذیر در مراکز داده و بخش‌های محاسباتی.

[۴] تأمین منابع مالی و جذب سرمایه‌گذاری: تشویق سرمایه‌گذاری بخش خصوصی، مشارکت عمومی-خصوصی و ارائه تسهیلات مالی به استارتاپ‌ها و شرکت‌های فناورمحور.

[۵] رفع موانع تحریمی و حمایت‌های دولتی: کاهش اثرات منفی تحریم‌ها از طریق همکاری بین‌المللی و دیپلماسی فناوری و حمایت از بومی‌سازی تجهیزات و فناوری‌های محاسباتی.

[۶] ایجاد ساختارهای ارتقای امنیت سایبری: تقویت فایروال‌ها، سیستم‌های تشخیص نفوذ، الگوریتم‌های رمزنگاری و تدوین سیاست‌ها و چارچوب‌های امنیتی دقیق.

منابع

ابراهیم پور سامانی، جمشید؛ خانی، ناصر؛ یزدانی، بیتا و داودی، سید محمد رضا. (۱۴۰۳). طراحی مدل پایدار زنجیره تأمین در صنایع غذایی و کشاورزی با تأکید بر ابعاد اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی: کاربرد روش مدل‌سازی ساختاری تفسیری. مدیریت زنجیره تأمین، ۲۶(۸۴)، ۷۷-۱۰۲. DOR: ۲۰,۱۰۰۱,۱,۲۰۰۸۹۱۹۸,۱۴۰۳,۲۶,۸۴,۶,۷

احتشام‌نژاد، احسان و پاکزاد، مهدی. (۱۴۰۴). آسیب‌شناسی بخش اولویت‌های علم و فناوری در نقشه جامع علمی کشور. نشریه فناوری در کارآفرینی و مدیریت راهبردی، ۴، ۱-۱۴. https://doi.org/۱۰,۶۱۸۳۸/kman.jtesm.۴,۲,۴

تهران تایمز. (۱۴۰۳). شاخص آمادگی شبکه‌ای، ایران را در رتبه ۷۹ از میان ۱۳۳ کشور قرار داد.

۵۰۶۷۷۹/https://www.tehrantimes.com/news
تهران تایمز. (۱۴۰۴). پیشرفت ایران در شاخص تحقیقات علمی هوش مصنوعی: مقام رسمی. Iran-advances-in-AI-scientific-research-/۵۱۶۶۰۹/https://www.tehrantimes.com/news index-official
خبرگزاری تسنیم. (۱۴۰۳). وزیر ارتباطات و فناوری اطلاعات: پهنای باند اینترنت ایران در عرض ۳ سال دو برابر شد. ۳۱۱۱۶۳۸/۲۷/۰۶/۲۰۲۴/https://www.tasnimnews.com/en/news
داودی فر، داود (۱۳۹۹). توسعه امنیت سایبری داده های حجیم در مراکز فرماندهی و کنترل مبتنی بر سامانه های رایانه ای و ارتباطی، دوازدهمین کنفرانس ملی فرماندهی و کنترل ایران،تهران،۱۲۴۳۷۱۵/https://civilica.com/doc
شریفی شاد، نیلوفر و بیرانوند، نسترن (۱۴۰۳). محاسبات ابری، نهمین کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در مهندسی برق، کامپیوتر، مکانیک و مکاترونیک در ایران و جهان اسلام، تهران،۲۲۰۵۴۵۵/https://civilica.com/doc.
طالبان پوربیات، حسین و زاهد، شکیبا (۱۴۰۴). مدل‌سازی ریسک مبتنی بر داده برای پروژه‌های زیرساختی با استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی، دوازدهمین کنفرانس بین‌المللی ایده‌های راهبردی در معماری، عمران و شهرسازی ایران، مشهد، ۲۳۰۰۳۳۴/https://civilica.com/doc.
غفاری زاده، محمد هادی و طاولی، رضا (۱۳۹۷). بررسی و تحلیل چالش‌های امنیتی مطرح در سیستم‌های محاسباتی ابری، چهارمین کنفرانس ملی محاسبات توزیعی و پردازش داده های بزرگ، تبریز، ۷۷۲۴۵۴/https://civilica.com/doc
فدیشه ای، حمید و دلداری، حسین (۱۳۹۴). توسعه و نمونه سازی بستر تحقیقات در حوزه مصرف توان محاسباتی، سومین کنفرانس بین المللی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، تهران،۴۶۶۶۴۱/https://civilica.com/doc

Refrences

6Wresearch. (2024). Iran High Performance Computing as a Service Market. 6Wresearch. https://www.6wresearch.com/industry-report/iran-high-performance-computing-as-a-service-market?utm_source=chatgpt.com.
6Wresearch. (2025). Iran data center transformation market (2025–2031). 6Wresearch. https://www.6wresearch.com/industry-report/iran-data-center-transformation-market.
Abdulameer Yousif, Hayder, Shaker Salman, Abdulsatar, Sanaiym Toygonbaevna, Tazhikbaeva, Khudhair Abbas Ahmed, Rana, & Alsammarraie, Riyam M. (2025). Achieving sustainability in computing by minimizing data center carbon footprints. Journal of Information Processing and Management, 40(Special Issue in English 4), 1–28. https://doi.org/10.22034/

jipm.2025.727936.
Ahmad, M., Tang, X.-W., Qiu, J.-N., & Ahmad, F. (2019). Interpretive structural modeling and MICMAC analysis for identifying and benchmarking significant factors of seismic soil liquefaction. Applied Sciences, 9(2), 233. https://doi.org/10.3390/app9020233.
Alwageed, H. S., Keshta, I., Khan, R. A., Alzahrani, A., & Tariq, M. U. (2024). An empirical study for mitigating sustainable cloud computing challenges using ISM-ANN. PLOS ONE, 19(9), e0308971. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0308971.
Arianyan, E., Gholipour, N., Maleki, D., Ghorbani, N., Sepahvand, A., & Goudarzi, P. (2025). A Systematic Review and Classification of HPC-Related Emerging Computing Technologies. Electronics, 14(12), 2476. https://doi.org/10.3390/electronics14122476.
Atlantic Council. (2024). How sanctions shape Iran's access to high-tech equipment and digital infrastructure. Atlantic Council. https://www.atlanticcouncil.org.
Australian Strategic Policy Institute. (2023). ASPI's Critical Technology Tracker: The global race for future science and technology superpowers. Australian Strategic Policy Institute. https://www.aspi.org.au/report/critical-technology-tracker.
Carnegie Endowment for International Peace. (2023). Technology sanctions and digital isolation: The case of Iran. Carnegie Endowment for International Peace. https://carnegieendowment.org.
Check Point Research. (2024). Cyber threat intelligence report: Middle East and Iran overview 2024. Check Point Software Technologies Ltd. https://research.checkpoint.com.
Dresen, B., Worrell, E., & Eichhammer, W. (2019). Data centres in future European energy systems—Energy efficiency, integration and policy. Energy Efficiency, 12(2), 367–385. https://doi.org/10.1007/s12053-019-09833-8.
Fartash, K., Khayyatian, M. S., Ghorbani, A., & Sadabadi, A. (2025). Interpretive structural analysis of interrelationships of the Sustainable Development Goals (SDGs) in Iran. International Journal of Sustainable Development and Planning, 16(1), 1–13. https://www.iieta.org/journals/ijsdp/paper/10.18280/ijsdp.160116.
Gartner. (2023). Magic Quadrant for data center backup and recovery solutions. Gartner, Inc. https://www.gartner.com.
Gill, S., Tuli, S., Xu, M., Singh, I., Vijay Singh, K., Lindsay, D., … Mehta,

H. (2019). Transformative effects of Internet of Things (IoT), Blockchain and Artificial Intelligence on cloud computing: Evolution, vision, trends and open challenges. arXiv. https://arxiv.org/abs/1911.01941.

Gill, Sukhpal Singh & Wu, Huaming & Patros, Panos & Ottaviani, Carlo & Arora, Priyansh & Casamayor-Pujol, Víctor & Haunschild, David & Çetinkaya, Oktay & Lutfiyya, Hanan & Stankovski, Vlado & Li, Ruidong & Ding, Yuemin & Qadir, Junaid & Abraham, Ajith & Ghosh, Soumya & Song, Houbing & Sakellariou, Rizos & Rana, Omer & Buyya, Rajkumar. (2024). Modern computing: Vision and challenges. Telematics and Informatics Reports. 13. 100116. DOI:10.1016/j.teler.2024.100116.

GlobalData. (2024). Iran ICT market analysis: Impact of sanctions and technology access limitations on digital infrastructure development. GlobalData. https://www.globaldata.com.

IBM. (2024). What is high-performance computing (HPC)? IBM. https://www.ibm.com/think/topics/hpc.

International Data Corporation (IDC). (2023). Global data center operations and maintenance cost trends. IDC. https://www.idc.com.

International Energy Agency (IEA). (2023). Data centers and energy demand 2023: Challenges and sustainability in emerging economies. IEA. https://www.iea.org.

International Energy Agency (IEA). (2023). Data centers and energy supply challenges in emerging economies. IEA. https://www.iea.org.

International Energy Agency (IEA). (2023). Optimizing energy consumption in data centers: Technologies and barriers in emerging economies. IEA. https://www.iea.org.

International Organization for Migration (IOM). (2024). Migration of skilled ICT professionals: Trends and impacts in the Middle East and North Africa. IOM. https://www.iom.int.

International Organization for Standardization. (2023). Information security management systems — Requirements (ISO/IEC 27001:2022). ISO. https://www.iso.org/standard/82875.html.

International Telecommunication Union (ITU). (2024). ICT development index and broadband connectivity report – Iran country profile. ITU. https://www.itu.int.

International Telecommunication Union. (2023). Global cybersecurity index 2023: Measuring national commitment to cybersecurity. ITU. https://www.itu.int.

Kalashi, M. (2025). Interpretive structural modeling (ISM) analysis of green building rating criteria in Iran. Journal of System Management, 11 (1), 26–

37. https://sanad.iau.ir/fa/Journal/sjsm/DownloadFile/918355.
Kaspersky. (2023). Cybersecurity landscape in the Middle East: Data center vulnerabilities and threat trends. Kaspersky Lab. https://www.kaspersky.com.
Li, R., Ren, F., & Wang, Q. (2024). China–US scientific collaboration on sustainable development amidst geopolitical tensions. Humanities and Social Sciences Communications, 11, 1448. https://doi.org/10.1057/s41599-024-03948-9.
Maleki, D., Ahmadi, M., Mansouri, A., & Arianyan, E. (2023). Designing development readiness indicators and roadmap for petaflops scale supercomputers. Iranian Journal of Web Research, 5(1), 9–18. https://doi.org/10.22133/ijwr.2022.371265.1144.
Manoharan, S., Pulimi, V., Kabir, G., & Ali, S. M. (2021). Contextual relationships among drivers and barriers to circular economy: An integrated ISM and DEMATEL approach. Sustainable Operations and Computers, 3, 43–53. https://doi.org/10.1016/j.susoc.2021.09.003.
Navaux, Philippe & Lorenzon, Arthur & Serpa, Matheus. (2023). Challenges in High-Performance Computing. Journal of the Brazilian Computer Society. 29. 51-62. 10.5753/jbcs.2023.2219.
Nisaa', W., & Karsinah. (2025). Digital infrastructure and income level: Drivers of e-commerce in Southeast Asian countries. Asian Journal of Economics, Business and Accounting, 25(5), 451–460. https://doi.org/10.9734/ajeba/2025/v25i51814.
OECD. (2023). The Future of High Performance Computing: Driving Innovation and Economic Growth. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development. Retrieved from https://www.oecd.org/digital/future-of-hpc.
Ookla. (2024). Speedtest Global Index: Internet performance in Iran. Ookla. Retrieved from https://www.speedtest.net/global-index.
Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2023). The cost of digital infrastructure: Challenges in emerging economies under sanctions. OECD Publishing. https://www.oecd.org.
Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2023). Education for innovation: Adapting higher education systems to emerging technologies. OECD Publishing. https://www.oecd.org.
Prensa Latina. (2023, April 27). Iran included among the 10 main technology powers. Retrieved from https://www.plenglish.com
Sastry, G., Heim, L., Belfield, H., Anderljung, M., Brundage, M., Hazell, J., O'Keefe, C., Hadfield, G. K., Ngo, R., Pilz, K., Gor, G., Bluemke, E., Shoker, S., Egan, J., Trager, R. F., Avin, S., Weller, A., Bengio, Y., & Coyle, D. (2024). Computing power and the governance of artificial intelligence.

arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.08797.
Shalamzari, R. H., & Dodangeh, F. (2023). Interpretive structural modelling (ISM): An overview. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/371340237_Interpretive_structural_modelling_ISM_an_overview.
Statista. (2024). Data center equipment cost and investment trends in the Middle East (2020–2024). Statista. https://www.statista.com.
UNESCO. (2023). Skills gaps and digital talent development in emerging economies: Focus on AI and data science education. UNESCO Publishing. https://unesdoc.unesco.org.
UNESCO. (2024). AI and data science education: Building digital competence in developing countries. UNESCO Publishing. https://unesdoc.unesco.org.
Uptime Institute. (2024). Annual data center survey 2024: Operating costs, maintenance, and modernization challenges. Uptime Institute. https://uptimeinstitute.com.
Uptime Institute. (2024). Data center disaster recovery and resilience survey 2024: Backup systems and business continuity. Uptime Institute. https://uptimeinstitute.com.
Uptime Institute. (2024). Data center energy efficiency and sustainability report 2024. Uptime Institute. https://uptimeinstitute.com.
Uptime Institute. (2024). Data center sustainability and energy limitations report 2024. Uptime Institute. https://uptimeinstitute.com.
Uptime Institute. (2024). Energy efficiency and optimization in data centers 2024: Trends and challenges. Uptime Institute. https://uptimeinstitute.com.
World Bank. (2023). Losing talent: The economic impact of skilled labor migration in developing countries. World Bank. https://www.worldbank.org.
World Bank. (2024). Bridging the digital skills divide: Human capital challenges in the Middle East and North Africa. World Bank. https://www.worldbank.org.
Yadav, N. (2024). Iran plans GPU data center to host national AI system. Data Center Dynamics. https://www.datacenterdynamics.com/en/news/iran-plans-gpu-data-center-to-host-national-ai-system/?utm_source=chatgpt.com.
Zhu, Shiqiang & Yu, Ting & Xu, Tao & Chen, Hongyang & Dustdar, Schahram & Gigan, Sylvain & Gunduz, Deniz & Hossain, Ekram & Jin, Yaochu & Lin, Feng & Liu, Bo & Wan, Zhiguo & Zhang, Ji & Zhao, Zhifeng & Zhu, Wentao & Chen, Zuoning & Durrani, Tariq & Wang, Huaimin & Wu, Jiangxing & Pan, Yunhe. (2022). Intelligent Computing: The Latest Advances, Challenges and Future. 10.48550/arXiv.2211.11281.