Volume 17, Number 4, Winter 2025

Journal of
Science & Technology Policy

AI Revolution and the Triple Helix Dynamics in Economy

Hassan Daliri

Associate Professor, Department of Management and Economics, Faculty of Humanities and Social Sciences, Golestan University, Gorgan, Iran. (H.daliri@gu.ac.ir)

Abstract

This study examines the transformative effects of the Artificial Intelligence (AI) revolution on the dynamics of the Triple Helix model—interactions among universities, industries, and governments—and its implications for economic growth and development. The Triple Helix framework, as a theoretical model for facilitating innovation, plays a pivotal role in directing knowledge flows and fostering cross-sectoral collaboration. The advent of AI technologies has blurred traditional boundaries among universities, industries, and governments, reshaping roles and interactions within the innovation ecosystem. Using a dynamic general equilibrium model, this research simulates the impacts of an AI-induced shock on mechanisms of knowledge creation, technological advancement, and intersectoral collaboration. The findings reveal that greater efficiency in university knowledge production, targeted governmental support, and stronger collaboration with advanced industries significantly enhance the positive effects of AI on economic growth. Additionally, countries with a higher share of advanced, technology-driven industries stand to benefit more from this revolution. The study underscores the importance of policies that strengthen innovation ecosystems, support knowledge-based clusters, expand investments in advanced technologies, and promote collaborations among universities, industries, and governments. The results suggest that sustainable economic development in the AI era requires a comprehensive and synergistic approach among these three critical pillars.

Keywords: Triple Helix Model, Artificial Intelligence, Economic Growth And Development, Universities, Industries, Governments.

How to Cite this Paper:
Daliri, H. (2025). **AI Revolution and the Triple Helix Dynamics in Economy.** *Journal of Science & Technology Policy*, 17(4), 53-70. {In Persian}.
doi: 10.22034/jstp.2025.11860.1845

CC BY

Publisher: National Research Institute for Science Policy

فصلنامه علمی-پژوهشی
سیاست علم و فناوری

سال هفدهم، شماره ٤، زمستان ١٤٠٣

مقاله پژوهشی

انقلاب هوش مصنوعی و پویایی‌های مارپیچ سه‌گانه در اقتصاد

حسن دلیری

دانشیار، گروه مدیریت و اقتصاد، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران. (h.daliri@gu.ac.ir)

چکیده

این پژوهش به بررسی اثرات تحول‌آفرین انقلاب هوش مصنوعی بر پویایی‌های مدل مارپیچ سه‌گانه (تعامل بین دانشگاه، صنعت و دولت) و تأثیر آن بر توسعه اقتصادی می‌پردازد. مدل مارپیچ سه‌گانه، به‌عنوان یک چارچوب نظری برای تسهیل نوآوری، نقش مهمی در هدایت جریان دانش و تقویت همکاری‌های بین بخشی ایفا می‌کند. با ظهور فناوری‌های هوش مصنوعی، مرزهای سنتی میان دانشگاه‌ها، صنایع و دولت‌ها کمرنگ شده و نقش‌ها و تعاملات این ارکان بازتعریف شده‌اند. در این مطالعه، با بهره‌گیری از یک مدل سیستمی پویا، شوک ناشی از انقلاب هوش مصنوعی بر سازوکارهای خلق دانش، توسعه فناوری، و همکاری‌های بین بخشی، شبیه‌سازی و تحلیل شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد که کارایی بالاتر دانشگاه‌ها در خلق دانش، حمایت‌های هدفمند دولت، و تعاملات قوی‌تر با صنایع پیشرفته، به‌طور قابل‌توجهی می‌توانند تأثیرات مثبت هوش مصنوعی بر رشد و توسعه اقتصادی را تقویت کنند. همچنین مشخص شد که کشورهایی با سهم بالاتر از صنایع پیشرفته و فناوری‌محور، مزایای بیشتری از این انقلاب خواهند برد. این پژوهش بر اهمیت سیاست‌هایی نظیر تقویت بوم‌سازگان‌های نوآوری، حمایت از خوشه‌های دانش‌بنیان، گسترش سرمایه‌گذاری در فناوری‌های پیشرفته، و ارتقای همکاری‌های بین دانشگاه‌ها، صنایع و دولت‌ها تأکید دارد. یافته‌ها نشان می‌دهد که توسعه اقتصادی پایدار در عصر هوش مصنوعی مستلزم رویکردی جامع و هم‌افزا میان این سه رکن اساسی است.

کلیدواژه‌ها: مارپیچ سه‌گانه، هوش مصنوعی، رشد و توسعه اقتصادی، دانشگاه، صنعت، دولت.

برای استنادات بعدی به این مقاله، قالب زیر به نویسندگان محترم مقالات پیشنهاد می‌شود:

دلیری، حسن. (١٤٠٣). **انقلاب هوش مصنوعی و پویایی‌های مارپیچ سه‌گانه در اقتصاد**. *سیاست علم‌وفناوری*، (٤)١٧، ٧٠-٥٣.

Doi: 10.22034/jstp.2025.11860.1845

CC BY

۱- مقدمه

نوآوری همواره یکی از عوامل اساسی در تحول جوامع و رشد اقتصادی بوده است. در طول تاریخ، با پیشرفت فناوری و دانش، نقش نهادهای علمی و صنعتی در تسهیل و هدایت فرآیندهای نوآورانه پررنگ‌تر شده است. در این میان، مدل مارپیچ سه‌گانه[1] که برای نخستین بار توسط اتزکوویتز و لیدسدورف[2] مطرح شد [۱]، به‌عنوان چارچوبی نظری برای تبیین تعاملات میان دانشگاه، صنعت و دولت شناخته می‌شود. این مدل بر این اصل تأکید دارد که هم‌افزایی میان این سه نهاد می‌تواند بستر مناسبی برای تسریع نوآوری و توسعه اقتصادی فراهم سازد.

دانشگاه‌ها به عنوان خاستگاه دانش و پژوهش، نقشی حیاتی در فرآیند نوآوری ایفا می‌کنند. این نهادها با عبور از نقش سنتی آموزش‌محور، به مراکزی برای تولید دانش کاربردی، تجاری‌سازی پژوهش‌ها و تربیت کارآفرینان تبدیل شده‌اند [۲]. این تحول در قالب مفهوم «نسل‌های دانشگاه» بازنمایی می‌شود. دانشگاه‌های نسل اول، دانشگاه‌های قرون وسطایی (قرن ۱۲ تا ۱۷) و اصطلاحاً دانشگاه‌های آموزش محور[3] بودند [۳]، در قرن ۱۹، نسل دوم دانشگاه‌ها، با الگوی دانشگاه پژوهشی آلمان و تأثیرات ویلهلم فون هومبولت[4]، بر تولید دانش نو و پیوند پژوهش و آموزش متولد شدند [٤]، و دانشگاه‌های نسل سوم با تمرکز بر کارآفرینی و ارتباط نزدیک با صنعت و دولت نقش مهمی در توسعه اقتصادی ایفا کردند [۵]. امروزه دانشگاه‌های نسل چهارم با بهره‌گیری از فناوری‌های دیجیتال و رویکردهای نوین آموزشی، بر پایداری و یادگیری مادام‌العمر تأکید دارند و نقشی کلیدی در بوم‌سازگان‌های نوآوری ایفا می‌کنند [٦].

همزمان با تحول دانشگاه‌ها، صنایع نیز مسیر تکاملی مشابهی را طی کرده‌اند. در دوران پیشاصنعتی عمدتاً بر تولید دستی و مهارت‌های سنتی متکی بودند، اما با وقوع انقلاب صنعتی و در ادامه با ظهور فناوری‌های دیجیتال، صنایع به سمت تولید مبتنی بر دانش و نوآوری‌های فناورانه سوق یافتند. در این مسیر، همکاری نزدیک میان دانشگاه‌ها و صنایع نقشی محوری در توسعه فناوری و تجاری‌سازی دانش ایفا کرده است. با ورود به قرن ۲۱، صنایع از یک مدل صرفاً تولیدمحور به مدلی دانش‌بنیان و نوآورانه تغییر ماهیت دادند. در این مرحله، انقلاب دیجیتال، ظهور هوش مصنوعی، اینترنت اشیا و فناوری‌های زیستی، پارادایم‌های جدیدی را در صنعت رقم زدند. در این دوران، تولید ارزش، دیگر تنها وابسته به مواد اولیه و نیروی کار نبود، بلکه داده، دانش و فناوری‌های نوین نقش کلیدی‌تری ایفا کردند. صنایع امروزی نه‌تنها به تولید محصولات جدید، بلکه به خلق بوم‌سازگان‌های نوآورانه، توسعه مدل‌های کسب‌وکار مبتنی بر دانش و همکاری نزدیک با دانشگاه‌ها و دولت‌ها برای تسریع نوآوری‌های فناورانه پرداخته‌اند. در نتیجه، همان‌گونه که دانشگاه‌ها از مراکز آموزشی صرف به نهادهای پژوهشی و کارآفرین تبدیل شده‌اند، صنایع نیز از کارخانه‌های تولیدی به شبکه‌های پیچیده‌ای از دانش، فناوری و نوآوری تحول یافته‌اند که در آن‌ها دانش و تحقیق، به مزیت رقابتی اصلی تبدیل شده است.

در این میان، دولت‌ها نیز به عنوان بازیگرانی کلیدی در نظام نوآوری، با وضع سیاست‌های حمایتی، تأمین منابع مالی و ایجاد بسترهای حقوقی و قانونی، زمینه‌ساز تعاملات پویا میان دانشگاه و صنعت بوده‌اند. مدل مارپیچ سه‌گانه با تأکید بر نقش هماهنگ‌کننده دولت در کنار نقش‌های دانش‌محور دانشگاه و بازارمحور صنعت، به عنوان الگویی کارآمد در توسعه اقتصادی شناخته شده است.

با ظهور فناوری‌های نوظهور مانند هوش مصنوعی، مرزهای سنتی میان دانشگاه، صنعت و دولت بیش از پیش کمرنگ شده است. فناوری‌های هوش مصنوعی، از طریق افزایش کارایی در خلق دانش، ارتقای فرآیندهای صنعتی و بهبود

[1] Triple Helix
[2] Etzkowitz and Leydesdorff
[3] Teaching Universities
[4] Wilhelm von Humboldt

سیاست‌گذاری‌های دولتی، موجب تحول در الگوی تعاملات مارپیچ سه‌گانه شده‌اند. این تحولات ضرورت بازنگری در سیاست‌های نوآوری و سازوکارهای همکاری میان سه رکن اصلی این مدل را بیش از پیش برجسته کرده است.

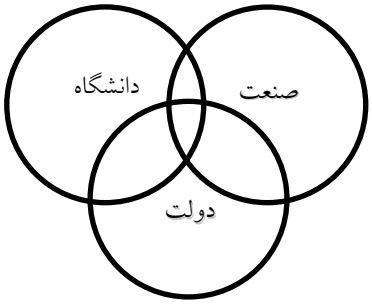
در این پژوهش تلاش شده با استفاده از یک مدل تعادلی پویا، اثرات شوک ناشی از انقلاب هوش مصنوعی بر پویایی‌های مارپیچ سه‌گانه و تأثیر آن بر توسعه اقتصادی بررسی شود. هدف این مطالعه، شناسایی مهم‌ترین ویژگی‌های ساختاری در تعاملات دانشگاه، صنعت و دولت است که می‌تواند بستر بهره‌گیری حداکثری از فرصت‌های ناشی از هوش مصنوعی را فراهم سازد.

با وجود اهمیت روزافزون هوش مصنوعی در فرآیندهای نوآوری، مطالعات پیشین عمدتاً بر تأثیر متغیرهای جانبی بر کارایی دانشگاه‌ها یا ارتقای فرآیندهای صنعتی متمرکز بوده و کمتر به چگونگی تغییر تعاملات پویا میان سه رکن مدل مارپیچ سه‌گانه، در صورت وجود و توسعه هوش مصنوعی پرداخته‌اند. این پژوهش با شناسایی این خلأ علمی، تلاش دارد تا با استفاده از یک مدل تعادلی پویا اثرات شوک ناشی از انقلاب هوش مصنوعی بر پویایی‌های مارپیچ سه‌گانه و تأثیر آن بر توسعه اقتصادی را شبیه‌سازی و تحلیل کند. این پژوهش از جمله نخستین مطالعاتی است که به‌طور مشخص به بررسی اثرات هوش مصنوعی بر پویایی‌های مدل مارپیچ سه‌گانه می‌پردازد و نتایج این مطالعه می‌تواند در طراحی سیاست‌های تقویت بومسازگان‌های نوآوری، تدوین راهبردهای توسعه صنعتی و تدوین برنامه‌های آموزشی مبتنی بر فناوری‌های پیشرفته مفید واقع شود.

۲- مبانی نظری

۲-۱ مفهوم مارپیچ سه‌گانه

مارپیچ سه‌گانه یک چارچوب نظری در مطالعات نوآوری و توسعه اقتصادی است و نقش مهمی در ادغام دانشگاه‌ها، بنگاه‌ها و دولت‌ها دارد [۷]. این مدل بر تعامل سه نهاد اصلی – دانشگاه‌ها، صنعت، و دولت، برای ایجاد و توسعه نوآوری و دانش تأکید دارد. در مدل مارپیچ سه‌گانه، دانشگاه‌ها به‌عنوان مولدان دانش و پژوهش، نقشی کلیدی در نوآوری ایفا می‌کنند. تغییر نقش دانشگاه‌ها از یک نهاد صرفاً آموزشی و پژوهشی به یک نهاد فعال در تولید دانش کاربردی و تجاری‌سازی، بخشی از این مفهوم است در مدل گسترش یافته، دانشگاه‌ها به عنوان نهاد کارآفرین نیز می‌توانند ایفای نقش کنند. امروزه، دانشگاه برای تقویت کارآفرینی و ایفای نقش میانجی برای ارتقای پیشرفت‌های فناوری پیشرفته مورد توجه زیادی قرار گرفته است [۸ و ۹]. صنایع در این مدل، به‌عنوان کاربران اصلی دانش و فناوری جدید، با دانشگاه‌ها و دولت‌ها تعامل می‌کنند. تمرکز بر تجاری‌سازی نوآوری و تبدیل دانش به محصولات و خدمات است (شکل ۱). با گسترش مدل و محو شدن مرزهای بین سه رکن، صنایع نیز می‌توانند در کنار تولید کالاها و خدمات، به خلق دانش نیز بپردازند.



شکل ۱. تعاملات در مارپیچ سه‌گانه [۱]

دولت به‌عنوان نهاد تنظیم‌گر و حمایت‌گر، محیط مناسبی برای همکاری دانشگاه‌ها و صنایع فراهم می‌آورد. دولت‌ها از طریق سیاست‌گذاری، بودجه‌گذاری، و مقررات، نقشی تسهیل‌کننده دارند. در این مدل، مرزهای سنتی میان دانشگاه، صنعت، و دولت از بین می‌رود و نقش‌ها به‌صورت همپوشانی توسعه می‌یابند. همکاری میان این سه بخش منجر به خلق فضاهای نوآوری[1] خواهد شد، جایی که دانش

[1] Innovation Spaces

جدید تولید و به اقتصاد و جامعه منتقل می‌شود. در شکل ۱ می‌توان ساختار اولیه تعاملات بین ارکان مارپیچ سه‌گانه را مشاهده نمود. در سال‌های اخیر، این مدل با گنجاندن سایر نهادها گسترش یافته است. به‌گونه‌ای که در مارپیچ چهارگانه، جامعه مدنی به‌عنوان چهارمین بازیگر به مدل اضافه شده است. این تغییر، تأکید بر نقش فعال شهروندان و سازمان‌های غیرانتفاعی در فرآیند نوآوری دارد [۱۰]. علاوه براین در مارپیچ پنج‌گانه نیز محیط‌زیست به‌عنوان پنجمین بازیگر به مدل اضافه می‌شود. این مدل به‌طور خاص بر پایداری زیست‌محیطی و نقش نوآوری در حل بحران‌های محیط‌زیستی تمرکز دارد [۱۱].

۲-۲ پویایی‌های مارپیچ سه‌گانه و توسعه اقتصادی

فرض اصلی پرورش یک نظام نوآوری، در چارچوب پیوندهای جامع و متقابل بین دولت، دانشگاه و صنعت نهفته است [۱۲]. ارتباط متقابل و تعامل بین این سه رکن، مدل نوآوری مارپیچ سه‌گانه را شکل می‌دهد [۱۳]. این مدل بیان می‌کند که صنعت، دانشگاه و دولت سه مارپیچ توسعه اقتصادی هستند. اثر سرریز دانش از طریق وابستگی متقابل و همکاری بین آن سازمان‌های ناهمگن ایجاد، انتقال و درونی می‌شود [۱٤]. هر یک از بازیگران برای ارتقای بخش‌های درگیر با دیگر بازیگران تعامل و همکاری می‌کنند. نقش دانشگاه تولید دانش و فناوری جدید و نقش صنعت تجاری‌سازی این دانش و مشارکت در فعالیت‌های تولیدی است و دولت این فرآیند را نظارت و اجرا می‌کند [۱۲]. نظریه‌های پیرو رویکرد مارپیچ سه‌گانه تا آنجا که به جوامع دانش‌محور و پایدارگرا[1] مربوط می‌شود، این ایده را ثابت می‌کنند که دانشگاه‌ها، نقش حیاتی در فرآیند نوآوری دارند [۱۵]. دانشگاه امروزه جدا از نقش سنتی آن در ارائه نیروی کار آموزش دیده و انتشارات به جامعه، با تمرکز بیشتر بر جنبه‌های عملی، نقش‌های گسترش یافته‌ای را شکل داده‌اند [۱۲]. در اقتصاد مبتنی بر دانش، دانشگاه در حال رسیدن به یک قالب کارآفرینی استاندارد است که مأموریت‌های آموزشی و پژوهشی سنتی خود را در بر می‌گیرد و از آن فراتر می‌رود، بنابراین توسعه اجتماعی را تقویت می‌کند [۱٦].

تا کنون همکاری بین سه رکن مارپیچ سه‌گانه سبب اثرات قابل توجهی بر خلق دانش و نوآوری، کارآفرینی و توسعه منطقه‌ای شده، به‌گونه‌ای که همکاری قوی بین سه رکن مارپیچ سه‌گانه در حال تبدیل شدن به یک عامل موفقیت کلیدی برای رشد بومسازگان‌های کارآفرینی منطقه‌ای است، زیرا این تعامل بین سه رکن، نوآوری را به عنوان پاسخی به مشکلات کلیدی بوم‌شناختی تقویت می‌کند [۱۷].

تعاملات هم‌افزا بین ارکان مارپیچ سه‌گانه سبب رشد توسعه اقتصادی در بسیاری از جوامع و مناطق شده است. در دانمارک، تعامل نزدیک بین دانشگاه‌ها و صنعت، با حمایت دولت، منجر به موفقیت پروژه‌های نوآوری شد، به‌گونه‌ای که مطالعات تجربی نشان می‌دهند همکاری‌های سه‌جانبه، به‌ویژه در مناطق صنعتی، توانسته است ظرفیت نوآوری منطقه‌ای را بهبود بخشد و کارآفرینی محلی را تسهیل کند [۱۷]. مطالعات در مالزی نیز تائید می‌کنند که راهبرد مارپیچ سه‌گانه در دانشگاه‌های مالزی منجر به بهبود نوآوری شده است [۱۸]. در کشورهای توسعه‌یافته نیز این تعامل در مطالعات تجربی مورد تائید قرار گرفته است. اوشا و همکاران به تحلیل نقش دانشگاه MIT به‌عنوان یک دانشگاه کارآفرین و تأثیر آن بر رشد نوآوری در سطح منطقه‌ای پرداخته و نشان می‌دهند که همکاری دانشگاه با صنعت و دولت می‌تواند به خلق فرصت‌های نوآوری منجر شود [۱۹]. مطالعات در چین نیز نشان داد که همکاری نزدیک این نهادها به‌ویژه در حوزه فناوری‌های نوظهور، منجر به بهبود بهره‌وری و رشد منطقه‌ای شده است [۱٤].

۲-۳ پویایی‌های مارپیچ سه‌گانه و انقلاب هوش مصنوعی

انقلاب هوش مصنوعی می‌تواند اثرات مهم و چشمگیری بر کارکرد هر یک از این سه رکن و همچنین تعاملات بین

[1] sustainability-oriented

آن‌ها داشته باشد. تأثیر انقلاب هوش مصنوعی بر ایجاد دانش توسط دانشگاه‌ها عمیق و چندوجهی است. این تأثیر از توانایی فناوری‌های هوش مصنوعی برای تغییر فرآیندهای تحقیقاتی، تقویت همکاری بین‌رشته‌ای و تسریع تولید بینش‌های عملی ناشی می‌شود. هوش مصنوعی از کانال‌های متفاوتی می‌تواند بر خلق دانش در دانشگاه‌ها مؤثر باشد که در ادامه به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود: ۱- هوش مصنوعی به عنوان یک ابزار تحقیقاتی برای گسترش مرزهای دانش: فناوری‌های هوش مصنوعی، مانند یادگیری ماشین و پردازش زبان طبیعی، محققان را قادر می‌سازد تا مجموعه‌های داده بزرگ را پردازش کنند، الگوهای پیچیده را شناسایی کنند و بینش‌هایی ایجاد کنند که قبلاً دست‌یافتنی نبود[۱]. ۲- افزایش همکاری از طریق پلتفرم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی: هوش مصنوعی با ارائه بسترهایی برای تحقیقات مشترک، تبادل دانش و ادغام داده‌ها، همکاری بین‌رشته‌ای را تقویت می‌کند. دانشگاه‌ها به‌طور فزاینده‌ای از سیستم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی استفاده می‌کنند تا همکاری بین محققان رشته‌های مختلف را تسهیل کنند[۲]. بنابراین دانشگاه‌ها می‌توانند از هوش مصنوعی برای ایجاد محیط‌های تحقیقاتی مجازی، شکستن موانع جغرافیایی استفاده کنند. ۳- شخصی‌سازی و افزایش کارایی در تحقیقات دانشگاهی: هوش مصنوعی با خودکارسازی کارهای معمول مانند بررسی متون، پاک‌سازی داده‌ها و آزمون فرضیه، کارایی تحقیق را به‌طور قابل توجهی افزایش می‌دهد[۳]. با خودکارسازی فعالیت‌های زمان‌بر، هوش مصنوعی به محققان اجازه می‌دهد تا زمان بیشتری را به تفکر خلاق و با ارزش اختصاص دهند و کیفیت و کمیت تولید دانش را افزایش دهند. ٤- نقش هوش مصنوعی در همه‌گیر کردن دانش: پلتفرم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی دسترسی به داده‌ها و ابزارهای تحلیلی را همه‌گیر می‌کنند و به محققان دانشگاه‌هایی که منابع کمتری دارند، اجازه می‌دهند تا در ایجاد دانش جهانی مشارکت کنند[٤]. بنابراین هوش مصنوعی تضمین می‌کند که ایجاد دانش به مؤسسات نخبه و برگزیده محدود نمی‌شود و یک بوم‌سازگان تحقیقاتی جهانی فراگیرتر را تقویت می‌کند. ۵- انقلاب در آموزش و انتقال دانش: هوش مصنوعی روش‌های نوآورانه تدریس و یادگیری را تسهیل می‌کند، که برای دانشگاه‌ها حیاتی است تا در اقتصاد دانش به سرعت در حال تحول باقی بمانند. سیستم‌های یادگیری تطبیقی مبتنی بر هوش مصنوعی، محتوای آموزشی را با نیازهای دانش‌آموزان تطبیق می‌دهند و در نتیجه درک مفاهیم را بهتر و توسعه مهارت‌ها را تقویت می‌کنند. بنابراین هوش مصنوعی محققان آینده را با مهارت‌های پیشرفته آماده می‌کند و یک حلقه بازخورد ایجاد می‌کند که ظرفیت دانشگاه‌ها را برای تولید و انتقال دانش افزایش می‌دهد. این تغییرات سبب خواهد شد تا شاهد تغییرات حلقه‌های بازخوردی بین دانشگاه، و ارکان دیگر مارپیچ سه‌گانه باشیم.

از سوی دیگر، انقلاب هوش مصنوعی می‌تواند سبب اثرات مهمی بر صنعت و تولیدات صنعتی شود. این اثرات از

---

[۱] برای مثال دانشگاه تورنتو یک الگوریتم یادگیری عمیق برای تولید مولکولی ایجاد کرد که منجر به شناسایی سریع‌تر کاندیدهای دارو می‌شود [36]. مدل هوش مصنوعی آنها ترکیبات بالقوه را برای بیماری هایی مانند آلزایمر در کسری از زمان و هزینه روش های سنتی پیش بینی کرد.

[۲] هوش مصنوعی با ارائه چارچوب های محاسباتی مشترک، سرعت ادغام رشته‌های سنتی را افزایش می دهد. این امر باعث تسریع ایجاد مشترک دانش در زمینه هایی مانند بیوانفورماتیک می شود، جایی که زیست شناسی، علوم کامپیوتر و مهندسی همگرا هستند [37]. همین رویه در بسیاری از رشته های دیگر مطالعاتی در دانشگاه‌ها نیز در حال پیگیری است.

[۳] در دانشگاه کمبریج، الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای تسریع بررسی‌های سیستماتیک در پزشکی مورد استفاده قرار گرفتند. فرآیند اتوماسیون زمان سنتز هزاران مقاله را از ماه ها به هفته ها کاهش داد. این کارایی سرعت پیشرفت های پزشکی را بهبود بخشیده است [38].

[۴] یونسکو گزارش می دهد که پلتفرم های دسترسی باز مبتنی بر هوش مصنوعی مانند Google AI و Kaggle ابزارها و مجموعه داده های لازم برای تحقیقات پیشرفته را در اختیار محققان سراسر جهان قرار می دهند و تفاوت در توانایی های دانشگاهی را کاهش می دهند [39].

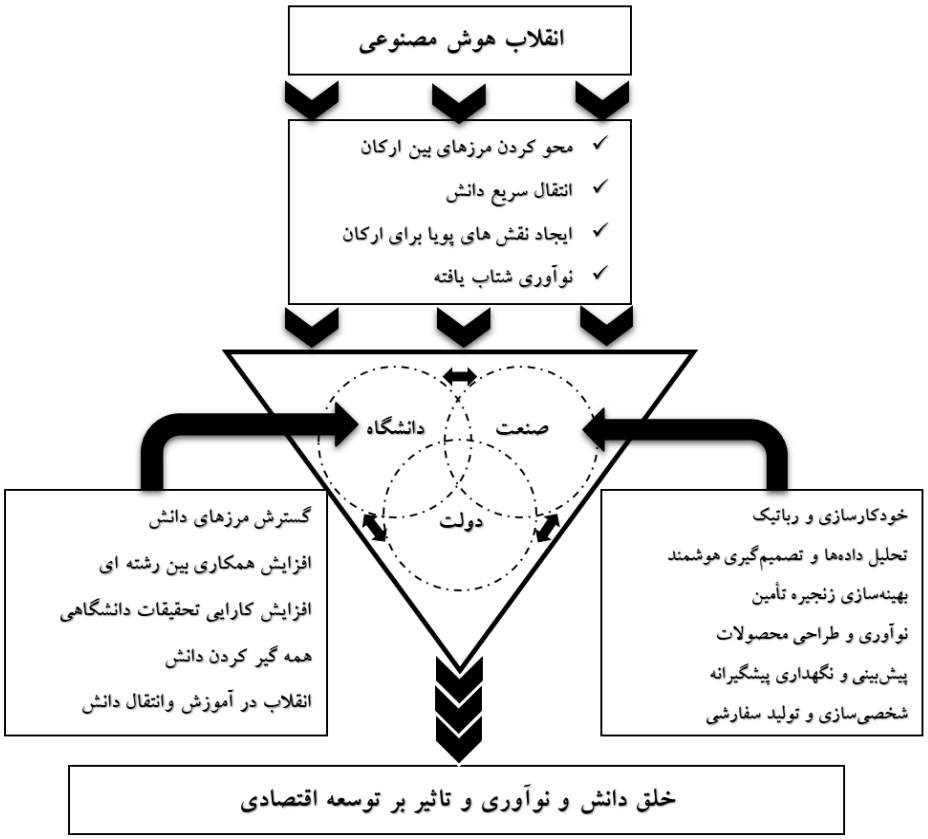
کانال‌های مختلفی بر تولیدات صنعتی تأثیر خواهد داشت که می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد: ۱–خودکارسازی و رباتیک: یکی از اثرات برجسته هوش مصنوعی در صنعت، تقویت اتوماسیون و خودکارسازی فرآیندهای تولید است. سیستم‌های رباتیک هوشمند قادر به انجام وظایف پیچیده با دقت بالا و سرعت بیشتر از نیروی کار انسانی هستند. این موضوع نه‌تنها موجب کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری می‌شود بلکه به بهبود کیفیت و دقت محصولات نیز کمک می‌کند [۲۰] [۲۱]. علاوه براین ربات‌های صنعتی هوشمند اکنون قادر به انجام وظایف پیچیده و همکاری مستقیم با انسان‌ها در خطوط تولید هستند. قابلیت‌های جدید در ربات‌های صنعتی به کمک یادگیری عمیق و یادگیری تقویتی[1] فراهم شده است [۲۲].

۲– تحلیل داده‌ها و تصمیم‌گیری هوشمند: هوش مصنوعی از طریق تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ به صنایع این امکان را می‌دهد که الگوها و روندهای پنهان را شناسایی کرده و بر اساس آن‌ها تصمیمات بهینه‌تری بگیرند. این تصمیمات می‌توانند شامل پیش‌بینی تقاضا، بهینه‌سازی فرآیندهای تولید و نگهداری پیشگیرانه ماشین‌آلات باشد [۲٤] [۲۵] [۲٦]، تصمیم‌گیری بهینه در مراحل تولید می‌تواند سبب ارتقا بهره‌وری صنایع شود ۳– بهینه‌سازی زنجیره تأمین: هوش مصنوعی می‌تواند با بهینه‌سازی زنجیره تأمین، فرآیندهای انبارداری، حمل‌ونقل و توزیع را کارآمدتر کند. الگوریتم‌های هوش مصنوعی قادر به پیش‌بینی نیازهای آینده، بهینه‌سازی مسیرهای حمل‌ونقل و مدیریت موجودی به شکلی دقیق‌تر و سریع‌تر از روش‌های سنتی هستند [۲۸] [۲۷]. ٤– نوآوری و طراحی محصولات: هوش مصنوعی می‌تواند به فرآیندهای تحقیق و توسعه کمک کند. با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، می‌توان مدل‌های شبیه‌سازی و طراحی پیچیده‌تری ایجاد کرد که امکان نوآوری سریع‌تر در طراحی محصولات و کاهش زمان‌های توسعه را فراهم می‌کند [۲۹]. ۵– پیش‌بینی و نگهداری پیشگیرانه: در صنعت، نگهداری پیشگیرانه با استفاده از هوش مصنوعی می‌تواند به‌طور چشمگیری از هزینه‌ها و زمان خرابی‌های غیرمنتظره بکاهد. با استفاده از تحلیل داده‌های حس‌گرهای موجود در ماشین‌آلات و پیش‌بینی خرابی‌ها قبل از وقوع آن‌ها، شرکت‌ها می‌توانند زمان‌های خرابی را کاهش داده و بهره‌وری را افزایش دهند [۳۰]. ٦– شخصی‌سازی و تولید سفارشی: هوش مصنوعی این امکان را فراهم می‌آورد که محصولات به‌صورت دقیق‌تری به نیازهای مشتریان شخصی‌سازی شوند. این امر در تولید سفارشی و کوچک‌مقیاس به‌ویژه در صنایع مانند مد، خودرو و تولید لوازم‌خانگی اهمیت زیادی دارد [۳۱]. تمامی این رخدادها می‌تواند سبب شود تا صنایع، تولدی دوباره یابند و دنیای صنعتی بعد از انقلاب هوش مصنوعی، دنیایی متفاوت با صنایع قبل از این رخداد شوند.

انقلاب هوش مصنوعی می‌تواند از کانال‌های مختلفی سبب افزایش بهره‌وری و کارایی حکمرانی دولت نیز شود. به‌گونه‌ای که با در اختیار داشتن ابزار قوی‌تر تحلیل داده، سبب بهبود سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری مبتنی بر داده خواهد شد، با این ابزار، امکان پیش‌بینی دقیق‌تر شوک‌های بیرونی و بهینه‌سازی بهتر منابع فراهم می‌آید. دولت با بهبود کارایی نظام بوروکراسی قادر خواهد بود فرایندهای زمان‌بر را خودکار کند. هوش مصنوعی می‌تواند ساختار پاسخگویی و شفافیت دولت را نیز ارتقا دهد. این موارد می‌تواند سبب شود تا دولت‌ها بعد از انقلاب هوش مصنوعی، کارایی و انعطاف بالاتر و شفافیت بیشتری را نشان داده و عملکرد حکمرانی باکیفیت‌تری را به نمایش گذارند.

همان‌گونه که پیش از این بیان شد، مدل مارپیچ سه‌گانه بیان می‌کند که همگرایی تعاملات دانشگاه، صنعت و دولت می‌تواند موجب نوآوری و رشد اقتصادی شود. انقلاب هوش مصنوعی حتی می‌تواند بر این روابط از کانال‌های مختلفی تأثیر بگذارد:

[1] Reinforcement Learning



شکل ۲) مدل مفهومی چگونگی تأثیر انقلاب هوش مصنوعی بر تعاملات بین ارکان مارپیچ سه‌گانه

۱- محو کردن مرزها بین سه رکن: فناوری‌های هوش مصنوعی اغلب به همکاری میان رشته‌ای نیاز دارند، این رویه همکاری‌ها سبب خواهد شد تا مرزهای سنتی بین دانشگاه و صنعت از بین برود[۱].

۲- انتقال سریع دانش: هوش مصنوعی مکانیسم‌های سریع‌تر و مؤثرتری را برای انتقال دانش تسهیل می‌کند، مانند تجزیه و تحلیل پیش‌بینی مبتنی بر هوش مصنوعی و فناوری‌های دیجیتال[۲].

۳- تقویت نقش‌های پویا: دانشگاه‌ها به‌طور فزاینده‌ای به‌عنوان نهادهای کارآفرینی عمل می‌کنند، درحالی‌که صنایع نقش‌هایی را ایفا می‌کنند که به‌طور سنتی با دانشگاه مرتبط است، مانند تحقیقات پیشرفته.

٤- نوآوری شتاب‌یافته: هوش مصنوعی زمان ورود به بازار را برای نوآوری‌ها کاهش می‌دهد و امکان تجاری‌سازی سریع‌تر تحقیقات دانشگاهی را فراهم می‌کند. بسیاری از نوآوری‌ها و کسب‌وکارهای نوپا، به دلیل طولانی شدن مرحله تجاری‌سازی، در همان مراحل اولیه توسعه کسب‌وکار، شکست می‌خورند. هوش مصنوعی این امکان را فراهم می‌کند تا با کوتاه شدن مرحله تجاری‌سازی، نرخ شکست کسب‌وکارهای نوپا را کاهش دهد. بنابراین می‌توان

[۱] دانشگاه استنفورد رابطه دیرینه ای با گوگل دارد که نشان می‌دهد هوش مصنوعی چگونه همکاری دانشگاه و صنعت را تقویت می‌کند. ابتکارات هوش مصنوعی گوگل، مانند TensorFlow، از تحقیقات دانشگاهی سرچشمه می گیرد و این شرکت فعالانه فارغ التحصیلان استانفورد را جذب می‌کند. آزمایشگاه‌های تحقیقاتی مشترک هوش مصنوعی و مبادلات دانشکده و صنعت این همکاری را بیشتر تقویت کرده اند.

[۲] همکاری دانشگاه تورنتو با موسسه Vector نشان می‌دهد که چگونه هوش مصنوعی اکوسیستم‌های نوآوری منطقه‌ای را تسریع می‌کند. این مشارکت، تخصص آکادمیک در هوش مصنوعی را با کاربردهای صنعتی در مراقبت های بهداشتی، مالی و اتوماسیون پیوند می دهد .

تأثیر هوش مصنوعی بر جریان خلق نوآوری بر اساس مدل مارپیچ سه‌گانه را به‌صورت شکل ۲ مدل‌سازی کرد، این انقلاب با تأثیر بر جریان تعاملات بین سه رکن و همچنین تأثیری که بر روی کارکرد هر یک از ارکان می‌گذارد، می‌تواند جریان خلق نوآوری و ایجاد توسعه منطقه‌ای را تحت‌الشعاع قرار دهد.

۳- مدل پژوهش

با انقلاب هوش مصنوعی، مدل مارپیچ سه‌گانه اهمیت بیشتری می‌یابد. کشورها با استفاده از فناوری‌های هوش مصنوعی از طریق نوآوری‌های مشترک بین دانشگاه‌ها، صنعت و مؤسسات دولتی، می‌توانند ظرفیت نوآوری خود را افزایش و هزینه‌ها را کاهش دهند و صنایع با ارزش‌افزوده بالا ایجاد کنند. در این بخش تلاش خواهد شد تا با تبیین مدل تعادلی پویا، تأثیر انقلاب هوش مصنوعی بر پویایی‌های مارپیچ سه‌گانه بر توسعه اقتصادی تبیین گردد.

با توجه به مفاهیم موجود در مدل مارپیچ سه‌گانه، هر یک از سه رکن، نقشی را در تعاملات سه‌گانه ایفا می‌کنند. با توجه به تعاملات اولیه مدل ۱۰ دور شبیه‌سازی خواهد شد و هدف این تعاملات، ایجاد رفاه (تولید بیشتر) در اقتصاد خواهد بود. در دوره دهم، شوک هوش مصنوعی اتفاق می‌افتد، و بعد از این شوک، مدل ۲۰ دور شبیه‌سازی را دنبال خواهد کرد. به عبارت دیگر، هدف آن خواهد بود که به این سوال پاسخ داده شود، «چه ویژگی‌های ساختاری برای مارپیچ سه‌گانه، در دوره دهم (یعنی زمان وقوع انقلاب هوش مصنوعی) بر رفاه جامعه در دوره‌های بعد از شوک مؤثر است». بدین منظور، شبیه‌سازی و تحلیل حساسیت برای حالات مختلف پارامترهای ساختاری مدل با استفاده از پایتون به انجام خواهد رسید.

اولین بخش مارپیچ سه‌گانه را دانشگاه‌ها تشکیل می‌دهند، دانش از سوی دانشگاه‌ها خلق می‌شود به‌گونه‌ای که ذخیره دانش K_u بر اساس حمایت دولت، مشارکت‌های صنعت و کارایی دانشگاه شکل می‌گیرد:

$$K_u(t) = K_u(t-1) + \phi_u S_g(t-1)(1+\omega_U) + \phi_i(P_H(t-1) + P_L(t-1)) + \rho K_u(t-1)\alpha_U - \delta_u K_u(t-1)(1-\alpha_U)$$

در این معادله می‌توان مشاهده نمود که، سرریز دانشی که توسط دانشگاه‌ها خلق می‌شود، از سوی دولت با توجه به ضریب S_g پشتیبانی می‌شود، در این معادله P_H مشارکت‌های بخش‌های پیشرفته و P_L مشارکت بخش سنتی با دانشگاه‌ها است. ρ کارایی انتقال دانش دوره قبل در خلق دانش جدید در دانشگاه، δ_u استهلاک دانش دانشگاه، K_u ذخیره دانش دانشگاه، ϕ_u تأثیر حمایت دولت بر دانش دانشگاه، ϕ_i تأثیر بهره‌وری بخش‌های صنعتی بر دانش دانشگاه، α_U سهم بهره‌وری از دانش دانشگاه و ω_U ضریب هوش مصنوعی بر سرریز دانش است. بنابراین به‌صورت کلی می‌توان معادله خلق دانش توسط دانشگاه‌ها را به چهار بخش تفکیک کرد، $\phi_u S_g(t-1)(1+\omega_U)$ کمک حمایتی دولت برای خلق دانش، $\phi_i(P_H(t-1) + P_L(t-1))$ سرریز دانش در بخش صنعت، $\rho K_u(t-1)\alpha_U$ رشد کارایی دانشگاه با سهم بخش پیشرفته و درنهایت $\delta_u K_u(t-1)(1-\alpha_U)$ که مربوط به میزان استهلاک دانش در دانشگاه است.

بخش دوم از مدل، دولت است. در این مدل دولت مخارج عمومی برای دانشگاه‌ها انجام داده و از تولید مالیات اخذ می‌کند. مقدار مخارج دولت S_g بر اساس درآمدهای مالیاتی حاصل از تولید اقتصادی Y و ضریب استهلاک δ_g شکل خواهد گرفت:

$$S_g(t) = S_g(t-1) + \eta_g \tau Y(t-1)(1+\omega_{AI}) - \delta_g S_g(t-1)$$

در این معادله، η_g ضریب حمایت دولت از دانش به‌صورت سهمی از کل درآمد مالیاتی خود، τ نرخ مالیات، δ_g نرخ استهلاک وجوه دولتی، ω_{AI} ضریب تأثیر هوش مصنوعی بر درآمدهای مالیاتی است. به‌صورت کلی می‌توان معادله فوق‌الذکر را به دو بخش تقسیم کرد: درآمد حاصل از

مالیات بر تولید اقتصادی $\eta_g \tau Y(t-1)(1+\omega_{AI})$ و استهلاک موجودی مخارج دولت $\delta_g S_g(t-1)$.

سومین بخش فعال در مارپیچ سه‌گانه، صنایع هستند. در اینجا صنایع با توجه به سطح فناوری که استفاده می‌کنند به دو گروه کلی تقسیم می‌شوند: صنایع پیشرفته و صنایع سنتی. میزان تولید بخش‌های پیشرفته P_H و سنتی P_L به ذخیره دانش و پارامترهای مؤثر در هر بخش بستگی دارد:

$$P_H(t) = \gamma_H K_u(t)\alpha_H(1+\omega_I) - \mu_H(1-\alpha_H)$$
$$P_L(t) = \gamma_L K_u(t)\alpha_L(1+\omega_I) - \mu_L(1-\alpha_L)$$

در این معادله γ_H و γ_L به ترتیب ضرایب سرریز دانش برای بخش‌های پیشرفته و سنتی، α_H و α_L به ترتیب سهم بهره‌وری بخش‌های پیشرفته و سنتی، ω_I ضریب اثر هوش مصنوعی بر دانش صنایع، μ_H و μ_L به ترتیب زیان‌های ناشی از ناکارآمدی در بخش‌های پیشرفته و سنتی.

با توجه به معادلات فوق‌الذکر، مقدار تولید اقتصادی Y مجموع وزنی از تولید بخش‌های پیشرفته و سنتی در صنعت و مقدار مخارج دولت است:

$$Y(t) = \theta_H P_H(t) + \theta_L P_L(t) + \beta S_g(t)$$

در این معادله مقادیر θ_H و θ_L وزن بخش‌های پیشرفته و سنتی در تولید ناخالص داخلی و β ضریب مخارج دولت و $\beta S_g(t)$، سهم مخارج دولت در تولید اقتصادی است.

به‌منظور مدل‌سازی شوک انقلاب هوش مصنوعی و تأثیر آن بر پویایی‌های مارپیچ سه‌گانه، فرض می‌کنیم در دوره دهم از این اقتصاد، شوک هوش مصنوعی بر تعاملات بین سه کنشگر حوزه فناوری و اقتصاد، وارد شود. این انقلاب هوش مصنوعی منجر به افزایش سهم دانش تخصیص‌یافته به بخش‌های پیشرفته و سنتی می‌شود:

$$\alpha_H = \alpha_H + \Delta_H$$
$$\alpha_L = \alpha_L + \Delta_L$$

که در این معادله Δ_H و Δ_L به ترتیب شوک هوش مصنوعی بر بخش‌های پیشرفته و سنتی است.

٤- شبیه‌سازی و تحلیل نتایج

در اولین گام برای شبیه‌سازی مدل، مقادیر پارامترهای اصلی موجود در مدل مقداردهی می‌شود. جدول ۱ نشان‌دهنده مقادیر اولیه پارامترهای اصلی موجود در مدل است[1]. پس از شبیه‌سازی، فرض می‌شود که مدل تا دوره دهم با شرایط اولیه در حال حرکت است، به عبارت دیگر در این ده دوره، تعاملات موجود بین دانشگاه‌ها، صنعت و دولت، سبب خلق دانش و نوآوری و از این طریق سبب توسعه رشد اقتصادی می‌شود. در دوره دهم شوک انقلاب هوش مصنوعی وارد خواهد شد، از این دوره به بعد می‌توان اثرات انقلاب هوش مصنوعی را در حالات مختلف ساختاری اقتصاد بررسی و تحلیل نمود[2].

مجموعه شکل‌های ۳ الی ٦ واکنش رشد اقتصادی به شوک‌های ناشی از انقلاب‌های هوش مصنوعی را تحت سناریوهای مختلف برای هر یک از پارامترهای اصلی مدل نشان می‌دهند. این پارامترها شامل η_g (ضریب حمایت دولتی از دانش به‌صورت سهمی از درآمد مالیاتی)، ρ (کارایی تولید دانش در دانشگاه از دانش قبل)، ϕ_i (تأثیر صنعت بر خلق دانش در دانشگاه) و ϕ_u (تأثیر حمایت دولت بر خلق دانش در دانشگاه) است. این شکل‌ها شامل دو بخش هستند، سمت راست، نشان‌دهنده روند حرکتی تولید، در حالات مختلف هر یک از پارامترها در زمان وقوع انقلاب هوش مصنوعی است و شکل سمت چپ نیز نشان‌دهنده شبیه‌سازی مونت‌کارلو برای فاصله اطمینان ۹۵ درصد از واکنش تولید، در حالت اولیه پارامتر موردنظر در هر بخش است.

---

[1] لازم به ذکر است تلاش شده است پارامترهای اولیه تا حد امکان مبتنی بر واقعیت های اقتصادی و مبانی نظری محدود موجود باشد، اما در مواردی که پارامترهای موجود در دسترس نبود، مقادیر به صورت فرضی در نظر گرفته شده است تا بتوان پویایی های مدل را ارزیابی نمود.

[2] از آنجا که مقادیر داده های واقعی، برای ارتباطات کمی و علی مارپیچ سه گانه و اثراتش بر توسعه اقتصادی، موجود نیست، بنابراین نمی‌توان نتایج شبیه سازی ها را با دنیای واقعی مقایسه نمود.

جدول ۱) مقادیر پارامترهای مدل در حالت اولیه

پارامتر	تعریف	مقدار	پارامتر	تعریف	مقدار
α_{U0}	بهره‌وری دانشگاه‌ها در خلق دانش	۰.۵	$S_g(0)$	بودجه اولیه دولت	۱
α_{H0}	بهره‌وری تولید در بخش پیشرفته	۰.۵	η_g	ضریب حمایت دولت از پژوهش	۰.۲
α_{L0}	بهره‌وری تولید در بخش سنتی	۰.۳	ϕ_u	اثرگذاری حمایت دولت در خلق دانش	۰.۱
γ_H	اثر سرریز دانش بر بخش پیشرفته	۰.٦	ϕ_i	اثربخشی صنعت در جذب دانش دانشگاه	۰.۰۵
γ_L	اثر سرریز دانش بر بخش سنتی	۰.۳	ρ	کارایی انتقال دانش گذشته در دانشگاه	۰.۰۵
θ_H	سهم بخش پیشرفته از تولید کل	۰.۷	δ_u	نرخ استهلاک دانش در دانشگاه	۰.۰۲
θ_L	سهم بخش سنتی از تولید کل	۰.۳	τ	نرخ مالیات	۰.۱۵
Δ_H	اثر شوک AI بر بخش‌پیشرفته	۰.۲	δ_g	نرخ استهلاک مخارج دولت	۰.۰۵
Δ_L	اثر شوک AI بر بخش سنتی	۰.۱	β	بهره‌وری مخارج دولت در تولید کل	۰.٤
ω_U	اثر AI بر خلق دانش دانشگاه	۰.۲	μ_H	زیان ناشی از ناکارایی در بخش پیشرفته	۰.۰۲
ω_I	اثر AI بر خلق دانش دانشگاه	۰.۲	μ_L	زیان ناشی از ناکارایی در بخش سنتی	۰.۰۱
ω_{AI}	اثر انقلاب AI بر بهره‌وری	۰.۲	$K_u(0)$	ذخیره دانش اولیه	۱

شکل ۵ نشان می‌دهد که چگونه تغییرات در η_g بر تولید اقتصادی در طول زمان تأثیر می‌گذارد. با توجه به شکل، زمانی که ضریب حمایت دولت از دانشگاه‌ها بیشتر است، اثرات مثبت انقلاب هوش مصنوعی بر تولید اقتصادی بالاتر خواهد بود. این یافته با مدل‌های نظری که بر نقش مداخله دولت در تسهیل گسترش فناوری و توسعه زیرساخت تأکید می‌کنند، سازگار است. با افزایش این ضریب، توانایی دولت برای هدایت منابع به‌طور کارآمد به بخش‌هایی که از دستاوردهای بهره‌وری مبتنی بر هوش مصنوعی بهره می‌برند، آشکارتر می‌شود. پاسخ رشد غیرخطی در مقادیر بالاتر η_g، محدودیت‌های کاهش در تخصیص منابع را برجسته می‌کند.

شکل ٦، مسیرهای تولید اقتصادی را برای مقادیر مختلف ρ نشان می‌دهد. با افزایش ρ در ساختار اقتصادی (یعنی افزایش سهم دانشگاه‌های کاراتر) پاسخ رشد به انقلاب هوش مصنوعی، بسیار بیشتر و مثبت‌تر است که نشان‌دهنده نقش محوری دانشگاه‌ها در تقویت بوم‌سازگان‌های نوآوری است که با تأثیرات سرریز دانش رومر [۳۲] سازگار است. دانشگاه‌ها به عنوان یکی از مراکز تحقیقات و توسعه مهارت‌های هوش مصنوعی عمل می‌کنند و کارایی بیشتر ρ انتقال نوآوری‌های مرتبط با هوش مصنوعی به اقتصاد را تسریع خواهد کرد. واگرایی آشکار در نرخ رشد در مقادیر بالاتر ρ وجود اثرات ترکیبی را نشان می‌دهد که در آن دستاوردهای دانش در طول زمان تقویت می‌شود. سیاست‌های تقویت همکاری دانشگاه و صنعت، تأمین مالی تحقیقات و مکانیسم‌های انتقال فناوری برای اعمال نفوذ این تأثیر حیاتی هستند.

شکل ۳ تأثیر ϕ_i را بر تولید اقتصادی نشان می‌دهد. مقادیر بالاتر ϕ_i با مسیرهای رشد تصاعدی مرتبط است، که بر اثر تغییردهنده اشتراک دانش و همکاری در صنایع تأکید دارد. به عبارت دیگر هر اندازه مرزهای بین دانشگاه و صنعت کمتر باشد (همکاری این دو بیشتر باشد) سبب خواهد شد تا انقلاب هوش مصنوعی، اثر مثبت‌تری بر تولید اقتصادی داشته باشد. این یافته با تئوری رشد درون‌زا، که در آن

یادگیری با انجام و انباشت دانش خاص صنعت باعث افزایش بهره‌وری و تولید می‌شود، همسو است. مقدار بالاتر ϕ_i، انتشار کارآمدتر نوآوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی را تسهیل می‌کند و بنگاه‌ها را قادر می‌سازد تا به سرعت فناوری‌های جدید را درونی سازی و استفاده کنند. رشد کندتر مشاهده‌شده در مقادیر پایین‌تر ϕ_i نشان می‌دهد که صنایع تکه‌تکه‌شده نمی‌توانند به‌طور کامل از نوآوری‌های هوش مصنوعی در جهت افزایش بهره‌وری و تولید بهره‌برداری کنند. سیاست‌هایی باهدف ارتقای خوشه‌های صنعتی، شبکه‌های تعاونی و پلتفرم‌های نوآوری باز می‌توانند به‌طور قابل توجهی ϕ_i و در نتیجه رشد اقتصادی را بعد از انقلاب هوش مصنوعی افزایش دهند.

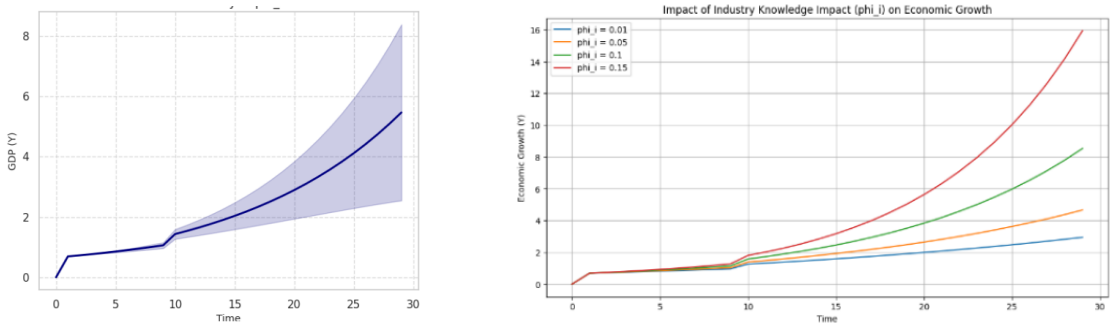
شکل ٤ نیز تأثیر مقادیر متفاوت ϕ_u را بر واکنش رشد اقتصادی به شوک انقلاب هوش مصنوعی نمایش می‌دهد. درحالی‌که پاسخ رشد مثبت است، اما در مقایسه با ϕ_i اندازه آن کوچک‌تر است. این نشان می‌دهد که درحالی‌که حمایت‌های دولتی از خلق دانش دانشگاه‌ها نقش مهمی در تولید دانش ایفا می‌کنند، تأثیر مستقیم آن‌ها (ϕ_u) بر بهره‌وری اقتصادی نسبتاً محدود است مگر اینکه با جذب قوی صنعت تکمیل شود. افزایش جزئی واکنش رشد اقتصادی در نرخ‌های رشد با ϕ_u بالاتر، نشان می‌دهد که افزایش همکاری دانشگاه‌ها با صنایع، برای تبدیل دانش دانشگاهی به نتایج اقتصادی ملموس ضروری است.

بنابراین می‌توان اذعان داشت که نتایج این بخش نشان از آن دارد که اثرات متقابل قابل توجهی بین سیاست‌های دولت (η_g)، کارایی دانشگاه (ρ) و پویایی صنعت (ϕ_i و ϕ_u) وجود دارد و این اثرات متقابل نقش مهمی در واکنش اقتصاد بعد از انقلاب هوش مصنوعی خواهد داشت. رشد بهینه نیازمند یک رویکرد متعادل برای پرداختن به همه این ابعاد است. علاوه براین، یافته‌ها نشان از آن دارند که مقادیر بالاتر ϕ_i و ρ منجر به رشد تصاعدی می‌شود و نیاز به مداخلات هدفمند برای تقویت شبکه‌های دانش صنعت و کارایی دانشگاه را برجسته می‌کند.

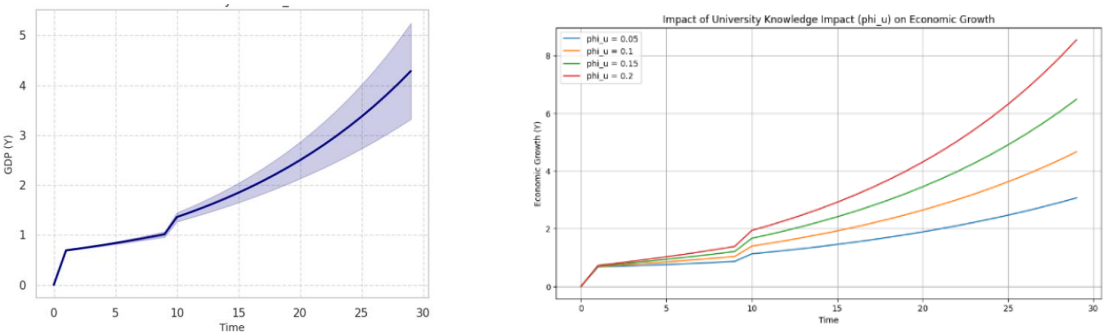
به‌منظور بررسی دقیق‌تر تحلیل حساسیت، خروجی حاصل از شکل‌های ویولنی برای سه پارامتر اصلی پژوهش (در ۵ کاتاگوری برای هر پارامتر) نیز به دست آمده است. شکل ۷ نشان‌دهنده مقادیر مختلف تولید اقتصاد در دوره سی‌ام، در حالات مختلف برای پارامتر اثر سرریز دانش بر بخش پیشرفته است، می‌توان مشاهده کرد که با افزایش مقدار این پارامتر، تولید اقتصاد افزایش پایدارتر و قابل پیش‌بینی‌تری خواهد داشت. پارامتر ضریب تأثیر حمایت دولت از دانشگاه‌ها در دسته سوم (شکل ۸)، مقدار حداکثری خود را ایجاد می‌کند و بعدازآن حمایت بیشتر دولت از دانشگاه‌ها (احتمالاً به دلیل ناکارآمدی در تخصیص) می‌تواند سبب رشد کاهنده در خلق دانش شود. شکل ۹ نیز نشان از آن دارد که تسریع استفاده از دانش جدید در دانشگاه‌ها، نقش کلیدی در بهره‌برداری اقتصاد از انقلاب هوش مصنوعی خواهد داشت[1].

از سوی دیگر می‌توان خروجی‌های تحلیل حساسیت برای پارامترهای ساختاری را به‌صورت دوبه‌دو بررسی کرد. مجموعه شکل ۱۰ نشان‌دهنده میزان رشد اقتصادی در دوره ۲۰ (یعنی ده دوره بعد از وقوع انقلاب هوش مصنوعی) با توجه به تعاملات ساختاری در مارپیچ سه‌گانه است. در هر یک از نقشه‌های حرارتی می‌توان، حساسیت رشد را به دو پارامتر اصلی پژوهش مشاهده نمود.

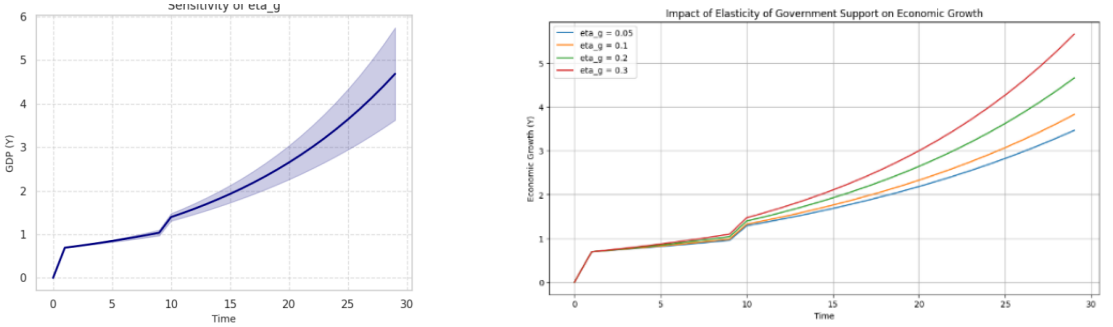
[1] توضیح: برای پارامتر ϕ_u دسته‌ها بدین‌صورت است: دسته اول: ۰.۰۵۰۱ تا ۰.۰۶۹۸ دسته دوم ۰.۷ تا ۰.۸۹۹ دسته سوم ۰.۰۹۰۲ تا ۰.۱۰۹۹ دسته چهارم ۰.۱۱ تا ۰.۱۲۹۹ و دسته پنجم ۰.۱۳۰۵ تا ۰.۱۴۹۹. برای پارامتر γ_H دسته اول: ۰.٤٣٢٦ تا ۰.٤٩٩١ دسته دوم: ۰.۵۰۰۱ تا ۰.۵۶۷ دسته سوم: ۰.۵۶۷۲ تا ۰.٦٣٤٣ دسته چهارم: ۰.٦٣٤٤ تا ۰.۷۰۰٦ دسته پنجم: ۰.۷۰۱۸ تا ۰.۷٦٨٩. و برای پارامتر ρ دسته اول: ۰.۰۱۵۲ تا ۰.۰۲۸۷ دسته دوم: ۰.۰۲۹۰ تا ۰.۰٤۲۲ و دسته سوم: ۰.۰٤۲۲ تا ۰.۰۵۵۷ دسته چهارم: ۰.۰۵۵۸ تا ۰.۰٦۹۱ دسته پنجم: ۰.۰٦۹۳ تا ۰.۰۸۲۸



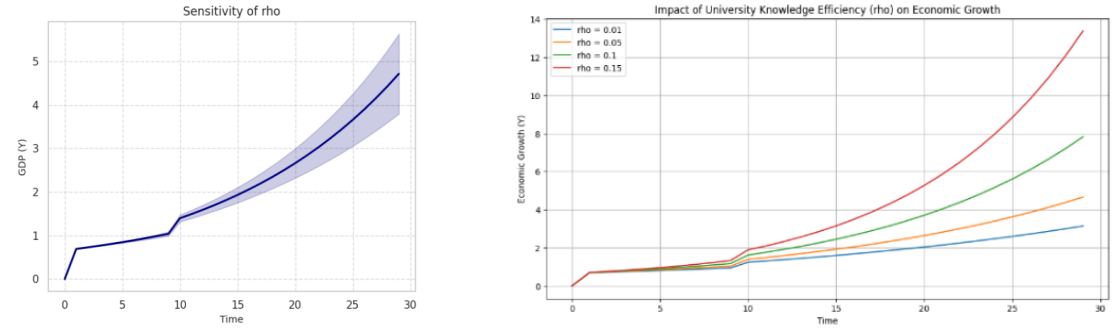
شکل ۳. شبیه‌سازی برای حالات مختلف ϕ_i، و شبیه‌سازی مونت‌کارلو با فاصله اعتماد ۹۵ درصد برای ϕ_i با مقادیر پایه



شکل ٤. شبیه‌سازی برای حالات مختلف ϕ_u، و شبیه‌سازی مونت‌کارلو با فاصله اعتماد ۹۵ درصد برای ϕ_u با مقادیر پایه

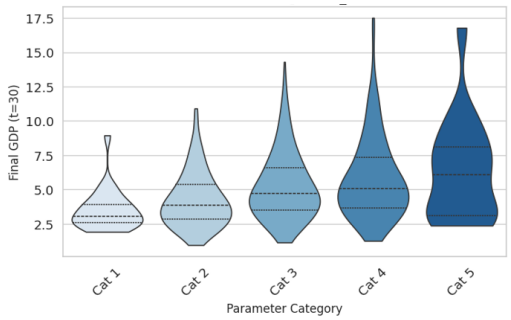


شکل ۵. شبیه‌سازی برای حالات مختلف η_g، و شبیه‌سازی مونت‌کارلو با فاصله اعتماد ۹۵ درصد برای η_g با مقادیر پایه

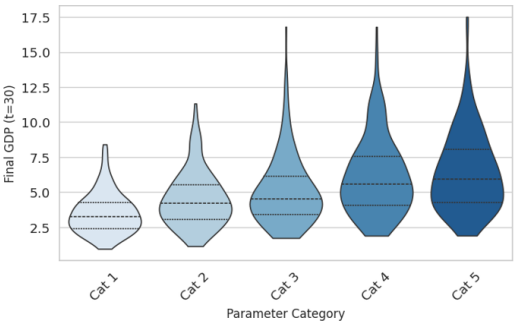


شکل ٦. شبیه‌سازی برای حالات مختلف ρ، و شبیه‌سازی مونت‌کارلو با فاصله اعتماد ۹۵ درصد برای ρ با مقادیر پایه

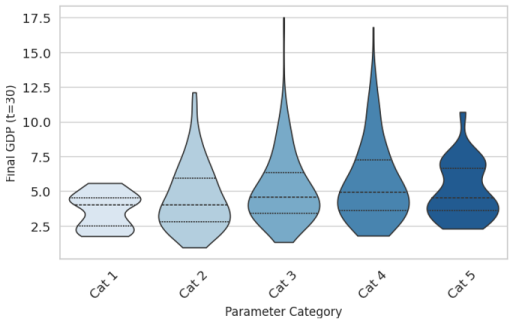
واکنش تولید اقتصادی به انقلاب هوش مصنوعی در حالات مختلف برای هر یک از پارامترهای اصلی



شکل ۷. برای حالات مختلف γ_H



شکل ۸. برای حالات مختلف ϕ_u



شکل ۹. برای حالات مختلف ρ

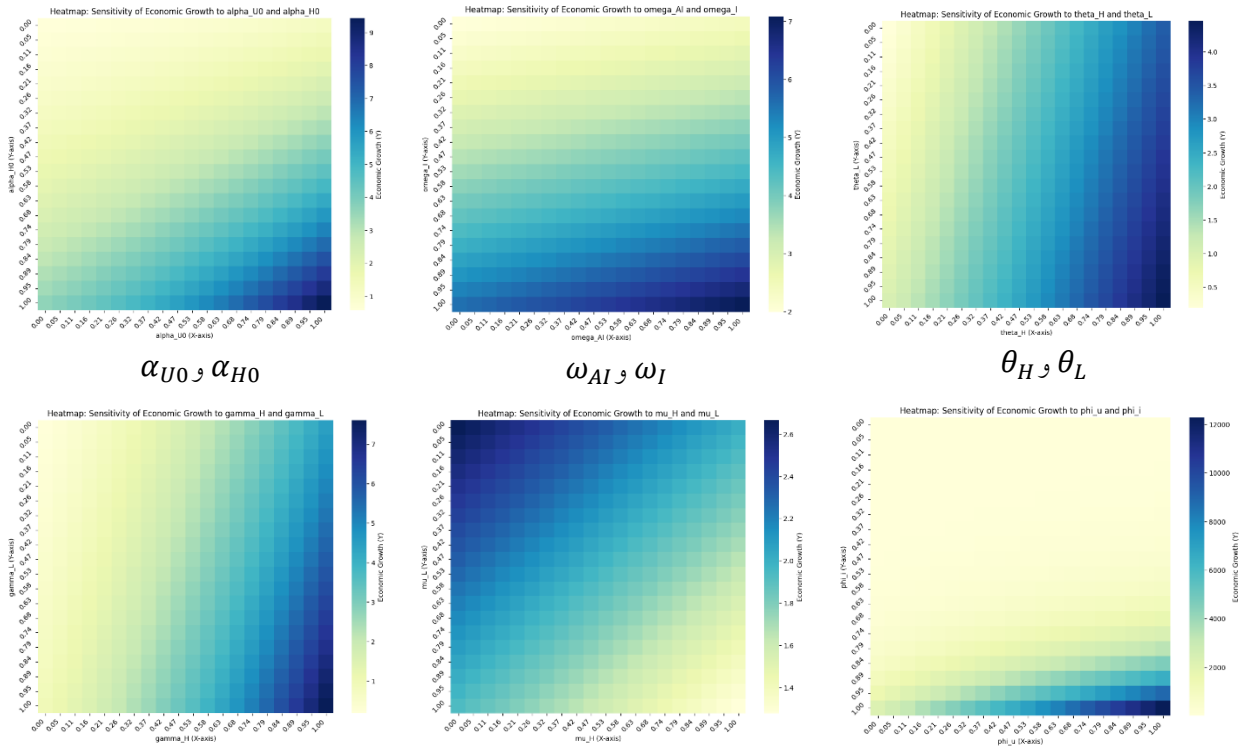
در شکل ۱۰، اولین نقشه حرارتی (بالا، چپ) رابطه بین رشد اقتصادی و سطوح بهره‌وری اولیه را در دو بخش صنعت، بخش با بهره‌وری بالا (α_{H0}) و بخش با بهره‌وری پایین (α_{U0}) نشان می‌دهد. از منظر رشد درون‌زا، به‌ویژه مدل‌هایی مانند رومر [۳۲] و آقیون و هویت [۳۳]، بهبود بهره‌وری در بخش‌های فناوری بالا محرک‌های اساسی رشد هستند. نقشه حرارتی نشان می‌دهد که بهره‌وری اولیه بالاتر در بخش با بهره‌وری بالا (α_{H0}) منجر به شتاب قابل توجهی در رشد اقتصادی بعد از انقلاب هوش مصنوعی می‌شود. این با فرضیه تخصیص مجدد منابع مطابقت دارد، که نشان می‌دهد هدایت منابع به سمت فعالیت‌های با بهره‌وری بالا رشد کل بالاتری را ایجاد می‌کند. بنابراین، سیاست‌های ترویج پیشرفت‌های فن‌آوری و تخصیص منابع به بخش‌های با بهره‌وری بالا، نتایج رشد بهتری را به همراه خواهد داشت.

دومین نقشه حرارتی (بالا، وسط) تأثیر وزن‌های مرتبط با نوآوری سنتی (ω_I) و نوآوری مبتنی بر هوش مصنوعی (ω_{AI}) را بر رشد اقتصادی بررسی می‌کند. یافته‌ها حساسیت بالای رشد اقتصادی را به افزایش ω_{AI} نشان می‌دهند، درحالی‌که تغییرات در ω_I اثرات نسبتاً کوچک‌تری را نشان می‌دهند. این نتیجه با تحقیقات اخیر در مورد نقش دگرگون‌کننده هوش مصنوعی در اقتصادهای مدرن، همان‌طور که توسط [۲۰] برجسته شده است، هم‌راستا است. نوآوری‌های مبتنی بر هوش مصنوعی ظرفیت ایجاد بهبودهای تصاعدی در بهره‌وری را با خودکارسازی فرآیندهای پیچیده، بهینه‌سازی استفاده از منابع و ایجاد راه‌های جدید برای ارزش اقتصادی دارند. تأثیر محدود ω_I بر کاهش بازده به اشکال سنتی نوآوری تأکید می‌کند که اغلب بر بهبودهای تدریجی تمرکز می‌کنند. نتایج حاکی از یک تغییر پارادایم است که در آن سرمایه‌گذاری در فناوری‌های هوش مصنوعی، با پشتیبانی زیرساخت‌های تکمیلی و سیستم‌های آموزشی، برای حفظ رشد اقتصادی در عصر دیجیتال حیاتی است.

سومین نقشه حرارتی (بالا، راست) رابطه بین رشد اقتصادی و سهم بخش با فناوری بالا (θ_H) و بخش سنتی (θ_L) را نمایش می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که رشد زمانی به حداکثر می‌رسد که θ_H افزایش می‌یابد، درحالی‌که مقادیر بالاتر θ_L نرخ رشد را کندتر می‌کند. این یافته با نظریه اقتصاد دوگانه ارائه شده توسط لوئیس [۳۴] سازگار است، که در آن انتقال نیروی کار و منابع از بخش‌های سنتی کم بهره‌وری به بخش‌های صنعتی یا فناوری با بهره‌وری بالا باعث رشد می‌شود. علاوه بر این، نتایج با دیدگاه شومپیتری

در مورد تخریب خلاق همسو هستند، که بیان می‌کند که تخصیص مجدد منابع به بخش‌های نوآورانه و کارآمد برای پیشرفت اقتصادی بلندمدت حیاتی است. رابطه معکوس بین θ_L و رشد نشان‌دهنده هزینه فرصت سرمایه‌گذاری بیش‌ازحد در فعالیت‌های کم‌مولد است و این استدلال را تقویت می‌کند که مداخلات سیاستی باید افزایش کارایی بخش‌های با فناوری بالا را در اولویت قرار دهد.

نقشه حرارتی (پایین، چپ) رابطه بین رشد اقتصادی و γ_L (ضریب بهره‌وری دانش در بخش کم بهره‌وری) و γ_H (ضریب بهره‌وری دانش در بخش با بهره‌وری بالا) را نشان می‌دهد. نتایج مشاهده‌شده تأکید می‌کند که رشد اقتصادی نسبت به γ_L به افزایش γ_H واکنش بیشتری نشان می‌دهد. این یافته با پیش‌بینی‌های نظری مدل‌های رشد درون‌زا، مانند مدل‌های رومر [۳۳] و آقیون و هویت [۳۲]، که بر نقش محوری بخش‌های با بهره‌وری بالا در پیشبرد رشد کل تأکید می‌کنند، همسو است. اثر نسبتاً اندک γ_L را می‌توان به کاهش بازده در بخش‌هایی با شدت فن‌آوری پایین‌تر نسبت داد به‌گونه‌ای که این بخش‌ها، توان کمتری برای استفاده از نوآوری خلق‌شده بعد از انقلاب هوش مصنوعی خواهند داشت. علاوه بر این، اثرات متقابل بین γ_H و γ_L محدود است، که منعکس‌کننده چالش‌های تخصیص منابع در اقتصادهایی است که در آن سهم قابل توجهی از منابع در بخش‌های با بهره‌وری پایین قفل شده است. سیاست‌هایی که با هدف تسریع پیشرفت فن‌آوری در بخش‌های با بهره‌وری بالا انجام می‌شوند، می‌توانند تأثیرات نامتناسب بیشتری بر رشد کلی اقتصادی داشته باشند، مطابق با مفهوم تحول ساختاری.



α_{U0} و α_{H0} | ω_{AI} و ω_I | θ_H و θ_L

γ_H و γ_L | μ_L و μ_H | ϕ_u و ϕ_i

شکل ۱۰. نقشه حرارتی پویایی تأثیر مارپیچ سه‌گانه بر رشد اقتصادی در واکنش به انقلاب هوش مصنوعی

نقشه حرارتی (پایین، وسط) حساسیت رشد اقتصادی به μ_H (ناکارایی نوآوری در بخش با بهره‌وری بالا) و μ_L (ناکارایی نوآوری در بخش کم بهره‌وری) را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که رشد عمدتاً تحت تأثیر μ_H، است. این یافته منعکس‌کننده اصل شومپیتری تخریب خلاق است، جایی که نوآوری در بخش‌های پیشرو با جابجایی فناوری‌های منسوخ، رشد بلندمدت را تقویت می‌کند. این نتایج ضرورت تقویت بومسازگان‌های نوآوری را در بخش‌های با بهره‌وری بالا از طریق سرمایه‌گذاری‌های هدفمند، حمایت از مالکیت فکری، و انگیزه‌های تحقیق و توسعه برجسته می‌کند. مفاهیم نظری همچنین نشان می‌دهد که سرریزهای نوآوری از بخش‌های با بهره‌وری بالا می‌تواند به‌طور غیرمستقیم برای اقتصاد گسترده‌تر مفید باشد.

نقشه حرارتی (پایین، وسط) رابطه بین رشد اقتصادی و پارامترهای ϕ_u (تأثیر حمایت‌های دولتی بر خلق دانش دانشگاه‌ها) و ϕ_i (تأثیر بهره‌وری صنعت بر خلق دانش در دانشگاه‌ها) را بررسی می‌کند. نتایج نشان‌دهنده پاسخ رشد قابل‌توجهی به افزایش ϕ_i است، درحالی‌که اثر ϕ_u ناچیز است. این یافته را می‌توان از دریچه اقتصاد شبکه تفسیر کرد. تعاملات سازنده بین صنعت و دانشگاه (ϕ_i) منجر به افزایش انتشار دانش، رفتار مشارکتی و بهینه‌سازی منابع می‌شود که مجموعاً رشد اقتصادی را سرعت می‌دهد. این نتایج بر اهمیت تقویت شبکه‌ها و همکاری‌ها بین صنعت و دانشگاه از منظر سیاست، مداخلات با هدف بهبود اتصال و همکاری میان عوامل با بهره‌وری بالا، مانند توسعه خوشه‌ها و پلتفرم‌های اشتراک‌گذاری دانش، احتمالاً منافع اقتصادی قابل توجهی را به همراه خواهد داشت.

پیامدهای کلی این نقشه‌های حرارتی به اهمیت حیاتی نوآوری و فعالیت‌های افزایش بهره‌وری در تقویت رشد اقتصادی اشاره دارد. یافته‌ها با چارچوب نظری رشد درون‌زا مطابقت دارد و بر تعامل بین پویایی بخش، نوآوری و تخصیص منابع تأکید دارد. سیاست‌گذاران باید بر تشویق سرمایه‌گذاری در بخش‌های با بهره‌وری بالا و فناوری‌های نوظهور مانند هوش مصنوعی تمرکز کنند تا قابلیت رشد را به حداکثر برسانند. علاوه بر این، تقویت بوم‌سازگان‌های نوآوری، بهبود سرمایه انسانی از طریق آموزش و توسعه مهارت، و تخصیص مجدد منابع به دور از بخش‌های کم بهره‌وری می‌تواند این اثرات را بیشتر تقویت کند. تحقیقات آینده می‌تواند استحکام این نتایج را تحت شوک‌های ساختاری مختلف، مانند اختلالات تجاری یا سختی بازار کار، بررسی کند تا درک جامع‌تری از مکانیسم‌های زیربنایی رشد اقتصادی ارائه دهد. علاوه بر این نیاز بر توجه به تبیین راهبردهای توسعه مسیر هوش مصنوعی در کشور، وجود خواهد داشت [۴۰].

۵- نتیجه‌گیری

این مطالعه بر قابلیت تحول‌آفرین هوش مصنوعی و مدل مارپیچ سه‌گانه در تقویت رشد اقتصادی و نوآوری تأکید می‌کند. مارپیچ سه‌گانه با تسهیل جریان دانش، سبب توسعه نوآوری شده و از این طریق می‌تواند بر توسعه و رشد منطقه‌ای مؤثر باشد. انقلاب هوش مصنوعی می‌تواند بر این جریان خلق دانش، اثرات بسیار مهمی داشته باشد. سوال محوری این پژوهش آن بود که «انقلاب هوش مصنوعی چگونه تعاملات پویای مدل مارپیچ سه‌گانه (دانشگاه، صنعت، دولت) را تغییر می‌دهد و چه ویژگی‌های ساختاری در این تعاملات باعث تقویت یا تضعیف رشد اقتصادی در جوامع مختلف می‌شود؟». به عبارت دیگر سیاست‌گذاران در سال‌های پیش رو باید به چه تغییرات ساختاری در تعامل بین دانشگاه، صنعت و دولت دست بزنند تا بتوانند از انقلاب هوش مصنوعی برای توسعه بالاتر نوآوری و خلق دانش جدید در جریان مارپیچ سه‌گانه بهره ببرند.

به‌منظور پاسخ به این پرسش، در مقاله حاضر تلاش شد تا یک مدل سیستم تعادلی پویا متشکل از سه رکن اصلی مارپیچ سه‌گانه (دولت، دانشگاه و صنعت) طراحی‌شده و انقلاب هوش مصنوعی به عنوان شوک بیرونی بر این مدل وارد گردد. به‌منظور تحلیل حساسیت، اثرات تغییر هر یک از پارامترهای ساختاری بر مقدار واکنش رشد اقتصادی بعد از وقوع انقلاب هوش مصنوعی شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شد. یافته‌ها نشان از آن دارد که افزایش کارایی دانشگاه در خلق دانش به‌طور قابل توجهی تأثیر مثبت هوش مصنوعی بر رشد اقتصادی را

تقویت می‌کند. ازاین‌رو دانشگاه‌ها باید پژوهش در فناوری‌های هوش مصنوعی را در اولویت قرار دهند، همکاری‌های بین‌رشته‌ای را گسترش دهند و بوم‌سازگان‌های نوآوری را برای به حداکثر رساندن سرریز دانش تقویت کنند. همچنین نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که حمایت بالاتر دولت از خلق دانش، همراه با تعامل پویا صنعت با دانشگاه، مزایای پذیرش هوش مصنوعی را افزایش خواهد داد. دولت‌ها باید سیاست‌هایی را اجرا کنند که مشوق تحقیق و توسعه بخش خصوصی و مشارکت‌های دولتی و خصوصی برای ادغام فناوری‌های هوش مصنوعی در صنایع مختلف باشد. نتایج نشان از آن دارد که هر اندازه سهم بخش پیشرفته از اقتصاد بیشتر باشد، کشور قابلیت‌های بالاتری برای استفاده از مواهب هوش مصنوعی خواهد داشت. به‌گونه‌ای که نوآوری مبتنی بر هوش مصنوعی به‌طور قابل توجهی برای بخش‌های فناوری پیشرفته سود خلق می‌کند، و بخش‌های سنتی پذیرش کندتر و بازده اقتصادی کمتری را بعد از وقوع هوش مصنوعی ایجاد می‌کنند. این امر نیاز به سیاست‌هایی را تقویت می‌کند که اشاعه فناوری را، به‌ویژه در بخش‌های کم‌مولد، برای پر کردن شکاف بهره‌وری و تضمین رشد فراگیر، تقویت می‌کند. یافته‌ها تأکید می‌کنند که تعامل هم‌افزایی بین دولت، دانشگاه و صنعت برای به حداکثر رساندن تأثیر اقتصادی هوش مصنوعی بسیار مهم است. چارچوب‌های سیاست می‌تواند روی موارد زیر تمرکز کنند: تقویت مکانیسم‌های تأمین مالی پژوهش و انتقال فناوری در دانشگاه‌ها؛ بهبود کیفیت نظارتی و ساختارهای حاکمیتی برای تسهیل ادغام و پذیرش هوش مصنوعی؛ حمایت از خوشه‌های نوآوری که استارت‌آپ‌ها، دانشگاه‌ها و شرکت‌های مستقر را به هم متصل می‌کنند؛ برنامه‌های درسی متمرکز بر هوش مصنوعی در آموزش عالی و آموزش حرفه‌ای برای ایجاد نیروی کاری که قادر به هدایت نوآوری هوش مصنوعی باشد؛ سیاست‌گذاری برای افزایش پذیرش هوش مصنوعی در بخش‌های سنتی؛ تقویت حقوق مالکیت فکری، چارچوب‌های حاکمیت داده و دستورالعمل‌های اخلاقی هوش مصنوعی برای ایجاد یک محیط مساعد برای نوآوری؛

مورد مهمی که باید به آن اشاره نمود، آن است که مدل حاضر، مدلی ساده‌سازی شده و تنها با هدف مدل‌سازی انقلاب هوش مصنوعی در تعاملات بین ارکان مارپیچ سه‌گانه بوده است، قاعدتاً در مطالعات آتی این نیاز وجود دارد که مدل توسعه‌یافته و بیشتر با واقعیت‌های اقتصادی و اجتماعی همخوان گردد. برای مثال می‌توان پیشنهادها ذیل برای مطالعات آتی ارائه گردد:

الف. روابط و تعاملات بین سه رکن مدل در حال حاضر بسیار ساده‌سازی شده است، برای مثال معادلات خطی (مانند معادله خلق دانش دانشگاه‌ها) ممکن است پیچیدگی‌های غیرخطی تعاملات واقعی بین دانشگاه، صنعت و دولت را به‌صورت کامل نشان ندهد. در واقعیت، اثرات سرریز دانش و نوآوری اغلب تصاعدی یا دارای آستانه‌های بحرانی است، از این رو بهتر است، این موارد در مدل‌سازی‌های آتی در نظر گرفته شود.

ب. یکی از مهم‌ترین مواردی که می‌توان برای مدل‌سازی‌های آتی در نظر گرفت، اضافه کردن پیامدهای منفی هوش مصنوعی، به مدل است. اثرات منفی مانند بیکاری فناوری محور و ناشی از خودکارسازی، افزایش نابرابری درآمدی، یا تمرکز قدرت در شرکت‌های بزرگ فناوری می‌تواند در مدل‌های آتی اضافه شود.

ج. شوک‌های هوش مصنوعی بر بخش‌های اقتصادی می‌تواند متفاوت باشد، کما اینکه در واقعیت نیز، آمادگی کشورها، و صنایع در مقابل هوش مصنوعی کاملاً متفاوت با هم است، نیاز است این مورد نیز در مدل‌های آتی در نظر گرفته شود.

موارد فوق‌الذکر را می‌توان به عنوان پیشنهادها برای پژوهش‌های آتی در نظر گرفت.

تعارض منافع

نویسندگان تعهد می‌کنند که هیچ تعارض منافعی در این مقاله وجود نداشته است.

References

[1]. Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (1995). **The Triple Helix: University-Industry-Government Relations: A Laboratory For Knowledge-Based Economic Development**. *EASST Review, 1*(14), 14-19. https://ssrn.com/abstract=2480085

[2]. Etzkowitz, H. (2008). **The Triple Helix:**

29(2), 109-123. https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00055-4

[14]. Zhuang, T., Zhou, Z., & Li, Q. (2021). **University-Industry-Government Triple Helix Relationship and Regional Innovation Efficiency in China**. *Growth and Change, 52*(1), 349–370. https://doi.org/10.1111/grow.12417 .

[15]. Cai, Y., & Etzkowitz, H. (2020). **Theorizing the Triple Helix Model: Past, Present, and Future**. *Triple Helix, 2*(3), 189–226. https://doi.org/10.1163/21971927-bja10003

[16]. Etzkowitz, H., & Zhou, C. (2017). **The Triple Helix: University–Industry–Government Innovation and Entrepreneurship**. *Routledge*, Abingdon.

[17]. Brem, A., & Radziwon, A. (2017). **Efficient Triple Helix Collaboration Fostering Local Niche Innovation Projects – A Case from Denmark.** *Technological Forecasting and Social Change, 123*, 130–141. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.06.029

[18]. Saad, M., Zawdie, G., & Malairaj, C. (2008). **The Triple Helix Strategy For Universities In Developing Countries: The Experiences In Malaysia And Algeria**. *Science and Public Policy, 35*(6), 431–443. https://doi.org/10.3152/030234208X323316

[19]. O'Shea, R. P., Allen, T. J., Morse, K. P., O'Gorman, C., & Roche, F. (2007). **Delineating The Anatomy Of An Entrepreneurial University: The Massachusetts Institute Of Technology Experience.** *R&D Management, 37*(1), 1–16. https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.2007.00454.x

[20]. Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). **The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies**. *W. W. Norton & Company*.

[21]. Chui, M., Manyika, J., & Miremadi, M. (2018). **The next era of AI**. *McKinsey & Company*. https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3781518

[22]. Tao, F., Qi, Q., Liu, A., & Kusiak, A. (2021). **The Internet of Things and Cyber-Physical Systems in Smart Manufacturing.** *Journal of Manufacturing Science and Engineering, 143*(5), 050801. https://doi.org/10.1115/1.4049404 .

[23]. Rasouli, M. (2024). **The Transformation of Artificial Intelligence in the Financial Industry: An Opportunity for Developing Economies**. *Journal of Science and Technology Policy*, *17*(3), 67-75. doi: 10.22034/jstp.2025.11788.1822

[24]. Davenport, T. H., & Ronanki, R. (2018). **Artificial Intelligence for the Real World**. *Harvard Business Review*, *96*(1), 108-116.

[25]. Agrawal, A., Gans, J. S., & Goldfarb, A. (2018). **Prediction Machines: The Simple Economics of Artificial Intelligence**. *Harvard Business Review Press.*

University–Industry–Government Innovation In Action. *Routledge*.

[3]. Rüegg, W. (1992). **A History Of The University In Europe**. *Cambridge University Press*.

[4]. Ash, M. G. (2006). **Bachelor Of What, Master Of Whom? The Humboldt Myth And Historical Transformations Of Higher Education In German-Speaking Europe And The US**. *European Journal of Education, 41*(2), 245–267. https://doi.org/10.1111/j.1465-3435.2006.00258.x

[5]. Etzkowitz, H. (2003). **Innovation in Innovation: The Triple Helix of University-Industry-Government Relations**. *Social Science Information, 42*(3), 293–337. https://doi.org/10.1177/05390184030423002

[6]. Marginson, S. (2011). **Higher Education and Public Good.** *Higher Education Quarterly, 65*(4), 411–433. https://doi.org/10.1111/j.1468-2273.2011.00439.x

[7]. Sarpong, D., AbdRazak, A., Alexander, E., & Meissner, D. (2017). **Organizing Practices Of University, Industry, And Government That Facilitate (Or Impede) The Transition To A Hybrid Triple Helix Model Of Innovation**. *Technological Forecasting and Social Change, 123*, 142-152. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.06.026 .

[8]. Cai, Y. (2020). **Theorizing The Triple Helix Model: Past, Present, And Future**. *Triple Helix, 7*(2-3), 189-226. https://doi.org/10.1163/21971927-bja10003

[9]. Radziwon, B., & Brem, A. (2017). **Efficient Triple Helix Collaboration Fostering Local Niche Innovation Projects – A Case from Denmark**. *Technological Forecasting and Social Change, 123*, 130-141. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.06.029 .

[10]. Carayannis, E. G., & Campbell, D. F. (2009). **'Mode 3' and 'Quadruple Helix': Toward A 21st-Century Fractal Innovation Ecosystem**. *International Journal of Technology Management, 46*(3-4), 201-234. https://doi.org/10.1504/IJTM.2009.023374

[11]. Carayannis, E. G., Barth, T. D., & Campbell, D. F. J. (2012). **The Quintuple Helix Innovation Model: Global Warming As A Challenge And Driver For Innovation**. *Journal of Innovation and Entrepreneurship, 1*(1), 1-12. https://doi.org/10.1186/2192-5372-1-2

[12]. Fidanoski, F., Simeonovski, K., Kaftandzieva, T., Ranga, M., Dana, L.-P., Davidovic, M., Ziolo, M., & Sergi, B. S. (2022). **The Triple Helix In Developed Countries: When Knowledge Meets Innovation**. *Heliyon, 8*(8), e10168. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10168.

[13]. Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2000). **The Dynamics of Innovation: From National Systems and "Mode 2" To A Triple Helix of University–Industry–Government Relations**. *Research Policy,*

[26]. He, Y., & Zhang, X. (2023). **Data-Driven Decision Making In Manufacturing: AI and Analytics in Industry 4.0**. *Procedia CIRP*, *103*, 453-458. https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.11.076 .

[27]. Jardine, A. K. S., Lin, D., & Banjevic, D. (2006). **A Review on Machinery Diagnostics and Prognostics Implementing Condition-Based Maintenance**. *Mechanical Systems and Signal Processing*, *20*(7), 1483-1510. https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2005.09.012 .

[28]. Wang, T., & Zhang, Q. (2023). **AI-Driven Supply Chain Optimization: Recent Advances and Applications**. *International Journal of Production Economics*, *241*, 108290. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108290 .

[29]. Shin, D., & Hwang, S. (2023). **AI-Based Product Design and Innovation in Manufacturing**. *Journal of Intelligent Manufacturing*, *34*(5), 1217-1231. https://doi.org/10.1007/s10845-022-01969-5 .

[30]. Li, L., & Liu, Z. (2023). **Artificial Intelligence in Predictive Maintenance: Advances and Future Challenges**. *Journal of Manufacturing Processes*, *81*, 591-601. https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2023.04.041 .

[31]. Shao, Y., & Feng, X. (2023). **Artificial Intelligence and Customization in Industrial Manufacturing**. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *117*(4), 1799-1809. https://doi.org/10.1007/s00170-021-08035-6 .

[32]. Romer, P. M. (1990). **Endogenous Technological Change**. *Journal of Political Economy*, *98*(5), S71–S102. https://doi.org/10.1086/261725

[33]. Aghion, P., & Howitt, P. (1992)**. A Model Of Growth Through Creative Destruction**. *Econometrica*, *60*(2), 323–351. https://doi.org/10.2307/2951599

[34]. Lewis, W. A. (1954). **Economic Development with Unlimited Supplies of Labour**. *The Manchester School*, *22*(2), 139–191. https://doi.org/10.1111/j.1467-9957.1954.tb00021.x.

[35]. Leydesdorff, L., & Etzkowitz, H. (1998). **The Triple Helix as a Model for Innovation Studies**. *Science and Public Policy*, *25*(3), 195-203.

[36]. Zhavoronkov, A., Ivanenkov, Y. A., & Aliper, A. (2020). **Deep Learning Enables Rapid Identification Of Potent DDR1 Kinase Inhibitors**. *Nature Biotechnology*, *37*(9), 1038–1040. https://doi.org/10.1038/s41587-019-0224-x.

[37]. Van der Zwaan, B. (2017). **Higher Education in 2040: A Global Approach**. *Amsterdam University Press.*

[38]. Lu, H., Li, Y., Chen, M., Kim, H., & Serikawa, S. (2021). **Brain Intelligence: Go Beyond Artificial Intelligence**. *Neuroscience Bulletin*, *37*(4), 365–377. https://doi.org/10.1007/s12264-021-00638-6

[39]. UNESCO. (2022). **AI in Education: Policy Recommendations and Guidelines**. UNESCO Publishing. https://doi.org/10.54675/PCSP7350

[40]. Miremadi, S. I. and Honarvar, R. (2024). **An Analytical Strategy for Understanding The Trajectory of Development Of Artificial Intelligence In Iran**. *Journal of Science and Technology Policy*, *17*(3), 1-8. doi: 10.22034/jstp.2025.14080