

Economic Growth in the Age of Artificial Intelligence: An Empirical Analysis with a Dynamic Generalized Method of Moments Reza Maaboudi¹, Younes Nademi², Ramin Khochiany³

1-Department of Economics, Faculty of Humanities, Ayatollah Boroujerdi University, Boroujerd, Iran. E-mail: maaboudi@abru.ac.ir

2-Department of Economics, Faculty of Humanities, Ayatollah Boroujerdi University, Boroujerd, Iran E-mail: Younesnademi@abru.ac.ir

3-Department of Economics, Faculty of Humanities, Ayatollah Boroujerdi University, Boroujerd, Iran. E-mail: khochiany@abru.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 14 July 2025,

Revised in revised form: 7

December 2025,

Sunday Accepted: 24

December 2025,

Wednesday Published

online: 26 December 2025.

JEL: O33, O41, O47, J24

Keywords:

Artificial Intelligence,

Economic Growth,

Productivity,

Human Capital,

Panel GMM Approach.

ABSTRACT

This study aims to examine the effect of artificial intelligence on countries' economic growth using a panel generalized method of moments (GMM) approach. In this regard, panel data from leading countries in the field of artificial intelligence from 2017 to 2023 have been utilized. The estimation of the dynamic panel model shows that artificial intelligence growth has a positive and significant effect on economic growth. In other words, increased investment in AI activities has led to accelerated GDP growth in the countries under study. On the other hand, the positive interaction between AI growth and labor productivity indicates that the impact of artificial intelligence is strengthened in the presence of higher productivity. Based on the findings, leveraging AI technology can enhance countries' economic growth through improving total factor productivity and other channels of innovation and investment. Additionally, the positive interaction between AI growth and human capital also confirms that artificial intelligence has a greater intensity of impact in the presence of higher human capital. The results of this study confirm the transformative role of artificial intelligence in the economy and demonstrate the necessity of attention to policies for maximum and comprehensive utilization of AI capabilities.

Cite this article: Maaboudi, R., Nademi, Y., Khochiany, R. (2025). Economic Growth in the Age of Artificial Intelligence: An Empirical Analysis with a Dynamic Generalized Method of Moments. *Stable Economy Journal*, 6 (4), 109-134. DOI: 10.22111/sedj.2025.52620.1615



© The Author(s).

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/sedj.2025.52620.1615

Extended Abstract

Introduction

In recent decades, emerging technologies have increasingly influenced sustainable economic growth. Among these, artificial intelligence (AI) has gained significant attention as a transformative and pervasive technological advancement in the global economy. What distinguishes AI from other technologies is its ability to perform cognitive tasks, make decisions, and learn from data, capabilities that have the potential to fundamentally reshape traditional structures of production, distribution, and consumption. Due to its extensive capabilities in process automation, big data analysis, and innovation generation, many researchers consider AI a potential driver of productivity and economic growth. Despite the growing importance of this topic globally, there remains a considerable gap in the domestic literature, with no studies to date investigating the relationship between AI and economic growth within the context of Iran. Moreover, most existing international studies rely on a single proxy for AI development—such as the number of patents or scientific publications—which may not fully capture the multifaceted nature of this technology.

Method

Given the topic's significance, this study aims to investigate the effect of AI on countries' economic growth using a panel generalized method of moments (GMM) approach. Following the economic growth literature, AI is hypothesized to affect growth both directly and indirectly through labor productivity and human capital. Accordingly, the empirical model is based on the framework of endogenous growth proposed by Mankiw, Romer, and Weil (1992) and extended by Acemoglu (2025), in which economic growth is modeled as a function of capital growth, labor force growth, AI growth, labor productivity growth, and the interaction terms of AI growth with both labor productivity and human capital growth. To measure economic growth, the annual growth rate of GDP at constant 2021 PPP prices is used; the AI index is proxied by private sector investment in AI (in million USD). The empirical analysis uses panel data from 20 leading countries in AI over the period 2017–2023, estimated using the GMM approach estimator to address endogeneity and dynamic panel bias.

Results

The findings from the dynamic panel model indicate that all explanatory variables have a positive, statistically significant effect on economic growth. In particular, AI growth has a robust positive impact, indicating that increased investment in AI activities accelerates GDP growth in the countries studied. AI contributes directly to economic growth by creating new production capabilities and transforming the technical structure of production. As a knowledge-based input in production processes, AI enables tasks that were previously infeasible under traditional production frameworks, thus expanding the production possibility frontier and increasing the economy's actual output capacity. By optimizing supply chains and production processes, AI enables faster, more accurate output, thereby increasing production volumes. Additionally, AI reshapes the organizational and input structure of production, promoting a reconfiguration of production methods and input combinations. This transformation can lead to more complex and higher-value-added production, even without changes in human capital levels. In this way, AI enhances economic capacity by redefining the role of production factors and enabling new production models. Furthermore, AI fosters innovation and improves product quality, both of which contribute to accelerated economic growth. The positive interaction between AI growth and labor productivity suggests that AI's impact is significantly amplified in environments with higher labor efficiency. The results imply that AI can enhance economic growth not only directly but also by improving total factor productivity and stimulating innovation and investment channels. As a complement to labor, AI reduces time spent on routine tasks and lowers production costs through automation, process optimization, document processing, and error reduction, ultimately increasing output. Moreover, the positive interaction between AI growth and human capital indicates that AI's effectiveness is greater in countries with higher levels of human capital.

AI provides new tools for education and skill development, enhances learning quality, and improves digital literacy. It also accelerates skill acquisition among semi-skilled workers, thereby deepening and broadening the workforce's knowledge base.

Conclusion

The results of this study demonstrate that the development of artificial intelligence significantly accelerates economic growth in the countries analyzed. The positive and statistically significant coefficient of the AI growth index in the panel GMM estimates confirms that increased AI investment enhances GDP growth rates. This result aligns with the theoretical framework and previous empirical evidence suggesting that broader AI adoption can raise per capita GDP. For instance, some studies estimate that AI diffusion could generate an additional 0.3 to 2 percentage points of GDP growth, underscoring its substantial macroeconomic potential. Mechanism analysis reveals that although AI influences economic growth through multiple channels, the primary transmission mechanisms are labor productivity and human capital, with the former playing a more significant role. This is consistent with Hulten's theorem, which posits that micro-level productivity improvements can lead to macroeconomic changes. Automation of tasks and enhancement of labor productivity, accelerated diffusion of innovations, increased depth of physical and digital capital investment, improved workforce skills and human capital, and structural shifts toward more competitive and efficient markets are the key channels through which AI drives economic growth. Ultimately, the finding that AI's impact is magnified in the presence of higher labor productivity and human capital confirms the complementarity of AI with other growth factors. Nevertheless, widespread AI adoption without appropriate institutional and policy preconditions may pose challenges. For example, the concentration of AI benefits in large firms or the absence of regulatory frameworks could exacerbate inequality or disrupt fair competition. Despite these concerns, the overall conclusion of the present study emphasizes that artificial intelligence serves as a modern engine of growth and can play a positive role in enhancing and promoting long-run and sustainable economic development, provided sound policies and strategic investments accompany it.

Accordingly, to more effectively utilize artificial intelligence capabilities to boost economic growth, economic policymakers are advised to prioritize strategies such as investing in digital infrastructure and artificial intelligence, training in digital skills and developing human capital, facilitating competition and an open ecosystem, and creating appropriate governance and regulatory frameworks in their economic and social planning.

Ethical Considerations

Authors' contribution

The authors declare equal contribution to this research

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

رشد اقتصادی در عصر هوش مصنوعی: تحلیل تجربی با رویکرد گشتاورهای تعمیم‌یافته پانلی

رضا معبودی^۱، یونس نادمی^۲، رامین خوجیانی^۳

۱- گروه اقتصاد، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آیت الله بروجردی (ره)، بروجرد، ایران. maaboudi@abru.ac.ir

۲- گروه اقتصاد، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آیت الله بروجردی (ره)، بروجرد، ایران. Younesnademi@abru.ac.ir

۳- گروه اقتصاد، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آیت الله بروجردی (ره)، بروجرد، ایران. khochiany@abru.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر هوش مصنوعی بر رشد اقتصادی کشورها با استفاده از رویکرد گشتاورهای تعمیم‌یافته پانلی است. در این راستا، از داده‌های پانل کشورهای پیشرو در حوزه هوش مصنوعی طی دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳ استفاده شده است. تخمین مدل پانل پویا نشان می‌دهد که رشد هوش مصنوعی تأثیر مثبت و معناداری بر رشد اقتصادی دارد. به بیان دیگر، افزایش سرمایه‌گذاری در فعالیتهای AI به تسریع رشد GDP کشورهای مورد بررسی منجر شده است. از سوی دیگر، برهم‌کنش مثبت بین رشد AI و بهره‌وری نیروی کار حاکی از آن است که اثر هوش مصنوعی در حضور بهره‌وری بالاتر تقویت می‌گردد. بر اساس یافته‌ها، بهره‌گیری از فناوری AI می‌تواند از طریق ارتقای بهره‌وری کل عوامل و سایر کانال‌های نوآوری و سرمایه‌گذاری، رشد اقتصادی کشورها را تقویت کند. همچنین برهم‌کنش مثبت بین رشد AI و سرمایه انسانی نیز موید آن است که هوش مصنوعی در حضور سرمایه انسانی بالاتر از شدت اثرگذاری بیشتری برخوردار است. نتایج این مطالعه مؤید نقش تحول‌آفرین هوش مصنوعی در اقتصاد بوده و لزوم توجه به سیاست‌هایی جهت بهره‌گیری حداکثری و فراگیر از ظرفیتهای AI را نشان می‌دهد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۴/۲۳	
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۹/۱۶	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۳	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۶	
JEL: O33, O41, O47, J24	
واژه‌های کلیدی:	
هوش مصنوعی، رشد اقتصادی، بهره‌وری، سرمایه انسانی، رویکرد گشتاورهای تعمیم‌یافته پانلی.	

استناد: نام خانوادگی معبودی، رضا؛ نادمی، یونس و ، خوجیانی، رامین (۱۴۰۴). رشد اقتصادی در عصر هوش مصنوعی: تحلیل تجربی با رویکرد گشتاورهای تعمیم‌یافته پانلی. *اقتصاد باثبات*، ۶ (۴)، ۱۰۹-۱۳۴.

DOI: 10.22111/sedj.2025.52620.1615



حق مؤلف © نویسندگان.

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

۱. مقدمه

در دهه‌های اخیر، رشد اقتصادی پایدار بیش از پیش تحت تأثیر فناوری‌های نوین قرار گرفته است. در این بین، هوش مصنوعی^۱ به‌عنوان یکی از فناوری‌های تحول‌آفرین و همه‌جانبه^۲ توجه فزاینده‌ای در اقتصاد جهانی به خود جلب کرده است. آنچه *AI* را از دیگر فناوری‌ها متمایز می‌سازد، قابلیت آن در انجام وظایف شناختی، تصمیم‌گیری و یادگیری از داده‌ها است؛ ویژگی‌هایی که می‌توانند ساختارهای سنتی تولید، توزیع و مصرف را به‌صورت بنیادین دگرگون کنند (Agrawal *et al.*, 2019). از این‌رو، قابلیت‌های گسترده *AI* در خودکارسازی فرایندها، تحلیل کلان‌داده‌ها و ایجاد نوآوری موجب شده بسیاری از پژوهشگران آن را محرک بالقوه رشد بهره‌وری و رشد اقتصادی بدانند. تجربه تاریخی نشان می‌دهد همان‌طور که فناوری‌های عمومی گذشته (مانند برق و اینترنت) تحول بزرگی در بهره‌وری ایجاد کردند، هوش مصنوعی نیز به دلیل اثرگذاری بر ارتقای بهره‌وری تحقیق و توسعه می‌تواند زمینه‌ساز انقلاب صنعتی جدیدی باشد. مطالعات تجربی متعددی بر نقش مثبت هوش مصنوعی در رشد اقتصادی صحنه گذاشته‌اند. برای مثال، پژوهش گونزالس^۳ (۲۰۲۳) نشان می‌دهد نه تنها نفوذ *AI* تأثیر مثبت و معناداری بر رشد تولید ناخالص داخلی کشورها دارد، بلکه اثر آن بر رشد تولید از مجموع سایر فناوری‌ها نیز بیش‌تر است. همچنین، مدل‌های اقتصاد کلان تکلیف‌محور نیز حاکی از آن‌اند که خودکارسازی وظایف توسط *AI* می‌تواند رشد بهره‌وری کل عوامل و در نتیجه رشد اقتصادی را به طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش دهد (Kalai *et al.*, 2024). شواهد سطح بنگاه نیز گویای بهبود عملکرد شرکت‌ها تحت تأثیر به‌کارگیری هوش مصنوعی است؛ از جمله افزایش فروش، اشتغال و نوآوری محصول که همگی به تقویت رشد اقتصادی در مقیاس کلان کمک می‌کنند.

با وجود اهمیت فزاینده موضوع در سطح بین‌المللی، در ادبیات داخلی شکاف قابل‌توجهی در این زمینه وجود دارد؛ به‌طوری‌که تاکنون رابطه میان هوش مصنوعی و رشد اقتصادی در تحقیقات داخل کشور بررسی نشده است. علاوه بر این، اغلب مطالعات خارجی صرفاً از یک شاخص منفرد (نظیر تعداد پتنت‌های *AI* یا انتشارهای علمی) به‌عنوان نماینده توسعه هوش مصنوعی بهره گرفته‌اند که

^۱ Artificial Intelligence

^۲ General-Purpose Technology

^۳ Gonzales

ممکن است تمامی ابعاد این فناوری را پوشش ندهد. بر این اساس، پژوهش حاضر در پی پر کردن این خلأ پژوهشی از طریق بررسی تجربی تأثیر هوش مصنوعی بر رشد اقتصادی است. در این مطالعه با استفاده از شاخص سرمایه‌گذاری در هوش مصنوعی شامل ابعاد مختلف فعالیت‌های مرتبط با AI و به‌کارگیری مدل‌های پانل پویا، اثر رشد سرمایه‌گذاری در هوش مصنوعی بر رشد تولید ناخالص داخلی کشورهای پیشرو در حوزه AI طی دوره ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۳ مورد آزمون قرار گرفته است. مقاله حاضر از پنج بخش تشکیل شده است. در ادامه و در بخش دوم، ادبیات نظری و مطالعات تجربی ارائه می‌گردند؛ در بخش سوم روش پژوهش و داده‌ها معرفی می‌شوند؛ بخش پنجم نتایج برآورد الگو را تحلیل می‌کند. بخش پنجم، بخش پایانی است و به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهاد اختصاص دارد.

۲. ادبیات موضوع و پیشینه تحقیق

۲-۱. هوش مصنوعی به‌عنوان فناوری عمومی

هوش مصنوعی از ویژگی‌های اساسی فناوری‌های عمومی برخوردار است: این ویژگی‌ها عبارتند از (۱) دامنه کاربرد وسیع، (۲) قابلیت استقلال داخلی^۱ و (۳) امکان بهبود خودکار^۲ (Crafts, 2021). تجربه تاریخی نشان می‌دهد همانگونه که فناوری‌های عمومی مانند برق و نیمه‌هادی‌ها اثرات بلندمدت بر رشد بهره‌وری و ساختار صنایع داشته‌اند، AI نیز می‌تواند مشابه این الگو عمل کند، هرچند که با فاصله، توسعه و تطبیق سریع‌تر این فرآیند اتفاق می‌افتد. کرفتس (۲۰۲۱) معتقد است فناوری‌های چندمنظوره مانند بخار، برق و فناوری اطلاعات و ارتباطات بر بهره‌وری تأثیرات بزرگی داشته‌اند و از آنجایی که هوش مصنوعی به‌طور بالقوه یک فناوری چندمنظوره است که بهره‌وری تحقیق و توسعه را افزایش می‌دهد، ممکن است مانند فناوری‌های چندمنظوره قبلی مبنایی برای انقلاب صنعتی چهارم نیز باشد.

۲-۲. مدل‌های رشد درونزا و نقش AI

^۱ Internal Independence

^۲ Self-Improvement

در مدل‌های رشد درون‌زا که توسط رومر^۱ (۱۹۸۶) و لوکاس^۲ (۱۹۸۸) توسعه یافتند، رشد اقتصادی از طریق سرمایه‌گذاری در سرمایه انسانی، نوآوری و پیشرفت تکنولوژیکی که توسط عوامل داخلی اقتصاد ایجاد می‌شوند، پایدار می‌ماند. در واقع، در مدل‌های رشد درون‌زا، نوآوری تکنولوژیک محرک اصلی بهره‌وری کل عوامل تولید است. مطالعات آسموگلو^۳ (۲۰۲۵) با مدل تکلیف‌محور نشان می‌دهد که اتوماسیون و مکمل‌سازی وظایف توسط AI، با صرفه‌های مقیاس^۴ و کاهش هزینه‌های تولید، می‌تواند تا ۰/۶ واحد درصد به رشد سالانه تولید ناخالص داخلی سرانه از طریق افزایش بهره‌وری کل عوامل تولید بیفزاید.

۲-۳. مجراهای اثرگذاری AI بر رشد اقتصادی

بررسی ادبیات موضوع نشان می‌دهد که هوش مصنوعی به‌عنوان یک فناوری عمومی از طریق چندین مجرا اصلی، شامل خودکارسازی و بهبود بهره‌وری، نشر نوآوری^۵، عمق سرمایه‌گذاری^۶، ارتقای سرمایه انسانی و تغییر ساختار بازار، رشد اقتصادی را تسریع می‌کند. برای مثال مطالعات بین‌کشوری بر افزایش معنی‌دار رشد اقتصادی به ازای هر واحد افزایش شاخص‌های AI (نظیر تعداد پتنت‌های AI) دلالت دارند (Gonzales, 2023). مدل‌های تکلیف‌محور و ساختار اقتصاد کلان نیز نشان می‌دهند که خودکارسازی وظایف می‌تواند افزایش بهره‌وری در سطح خرد را فراهم آورد و کل رشد تولید سرانه را بالا ببرد (Kalai et al., 2024). علاوه بر این، شواهد میدانی در سطح خرد و بنگاه نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری در AI منجر به رشد فروش و اشتغال و افزایش ارزش بازار شرکت‌ها از طریق نوآوری محصول می‌شود (Babina et al., 2024).

۲-۳-۱. خودکارسازی و بهبود بهره‌وری

بهره‌وری کل عوامل تولید ارتباط مستقیمی با افزایش نفوذ AI دارد، این ارتباط مستقیم در صنایع با وظایف تکراری و داده‌محور به صورت قابل توجهی مشاهده می‌شود (Gonzales, 2023).

¹ Romer

² Lucas

³ Acemoglu

⁴ Increasing Returns

⁵ Innovation Spillover

⁶ Capital Deepening

شواهد خرد (سطح بنگاه) نشان می‌دهد که بنگاه‌های بهره‌بردار از AI افزایش بهره‌وری کارکنان خدماتی داشته و این اثر بیش از همه بر کارکنان کم‌تجربه‌تر محسوس می‌باشد. ابزارهای هوش مصنوعی جدید این پتانسیل را دارند که نحوه عملکرد و یادگیری کارگران را تغییر دهند. نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که دسترسی به هوش مصنوعی می‌تواند بهره‌وری نیروی کار را افزایش دهد که اثرات آن در بین کارگران بسیار متفاوت است (Brynjolfsson et al., 2025).

۲-۳-۲. انتشار نوآوری

AI باعث گسترش سریع نوآوری‌های دیجیتال از طریق اشتراک‌گذاری داده‌ها و روش‌های یادگیری ماشین در صنایع مختلف می‌شود. هوش مصنوعی به تولید، بازاریابی و جذب مشتری شرکت‌ها کمک می‌کند و بهره‌وری و دسترسی مصرف‌کنندگان را افزایش می‌دهد. صرف نظر از این موارد، سایر اثرات هوش مصنوعی شامل ارتقای کیفیت خدمات، بهبود دقت و کارایی کار و افزایش رضایت مشتری است (Gonzales, 2023).

بائو^۱ (۲۰۲۴) معتقد است در سال‌های اخیر، پیشرفت‌ها در هوش مصنوعی (AI) پتانسیل چشمگیری را برای تغییر شکل اقتصاد جهانی ایجاد کرده است. او یک مدل رشد درون‌زا را ارائه می‌دهد که دو اثر متمایز هوش مصنوعی بر نوآوری را مشخص می‌کند: حاشیه فشرده^۲، جایی که هوش مصنوعی پردازش و کاربرد دانش قابل دسترس برای انسان را بهبود می‌بخشد؛ و حاشیه گسترده^۳، جایی که هوش مصنوعی دانش فراتر از توانایی‌های انسانی را کسب و پردازش می‌کند. یافته‌های پژوهش او نشان می‌دهد که در یک اقتصاد برنامه‌ریز اجتماعی، هوش مصنوعی از طریق هر دو حاشیه رشد اقتصادی را تسریع می‌کند.

۲-۳-۳. عمق سرمایه فیزیکی و دیجیتال

عمق سرمایه از طریق زیرساخت‌های ابری، داده‌کاوی و سخت‌افزارهای AI تقویت می‌شود و سهم سرمایه در تولید را افزایش می‌دهد. زیرساخت‌های ابری با کاهش هزینه‌های زیرساختی و افزایش انعطاف‌پذیری، امکان سرمایه‌گذاری بیشتر در بخش‌های دیگر را فراهم می‌کنند. داده‌کاوی با تحلیل

¹ Bao et al.

² Intensive Margin

³ Extensive Margin

داده‌های کلان، تصمیم‌گیری‌های بهینه‌تری را ممکن می‌سازد و بهره‌وری سرمایه را افزایش می‌دهد. و سخت‌افزارهای هوش مصنوعی با تسریع پردازش و کاهش هزینه‌های محاسباتی، کارایی سرمایه را بهبود می‌بخشند. به طور کلی، این فناوری‌ها با کاهش هزینه‌های نهایی و افزایش بازدهی، باعث افزایش سهم سرمایه در تولید می‌شوند. کاهش هزینه‌های پردازش و ذخیره‌سازی داده موجب می‌شود بنگاه‌ها سریع‌تر به فناوری‌های AI دسترسی پیدا کنند و بازده سرمایه‌گذاری بالاتر رود (Chang et al., 2025).

۲-۳-۴. سرمایه انسانی و مهارت‌ها

تام و همکاران^۱ (۲۰۲۴) معتقدند که توسعه مهارت‌های داده‌محور و یادگیری ماشین برای نیروی کار ضروری است؛ کشورهایی که در دوره ۲۰۲۰-۲۰۲۳ هر درصد بیشتر در آموزش مهارت‌های دیجیتال سرمایه‌گذاری کرده‌اند، رشد سرانه افزایشی تجربه کرده‌اند. AI بیشتر نقش مکمل نیروی کار را ایفا می‌کند تا جانشین آن؛ شواهد نشان می‌دهد در یک بازه زمانی ثابت دستمزد تخصص AI تا ۲۰٪ بالاتر از متوسط نیروی کار افزایش یافته است.

۲-۳-۵. ساختار بازار و رقابت

در مورد اینکه هوش مصنوعی بر رقابت بازار اثر مثبت دارد یا خیر، اختلاف نظر وجود دارد. کرفتس (۲۰۲۱) معتقد است بنگاه‌های بزرگ فناوری که به داده‌های کلان دسترسی دارند، مزیت رقابتی قابل توجهی یافته و می‌توانند موانع ورود را برای رقبای کوچکتر افزایش دهند. از طرف دیگر، انتشار ابزارهای متن‌باز AI به تعدیل تمرکز بازار کمک کرده و امکان رقابت برای بنگاه‌های کوچک و متوسط مقیاس را فراهم می‌کند. بنابراین در مورد اینکه هوش مصنوعی چگونه از طریق رقابت بازار بر رشد اقتصادی اثر می‌گذارد ابهام وجود دارد.

۲-۱. مطالعات داخلی

تاکنون در مطالعات داخلی اثر هوش مصنوعی بر رشد اقتصادی بررسی نشده است. اما مطالعات خارجی مختلفی به این مهم پرداخته‌اند که در ادامه، به چند نمونه از جدیدترین پژوهش‌ها اشاره می‌شود.

¹ Tam et al.

لو^۱ (۲۰۲۱) با استفاده از الگوی رشد درونزا نشان داد که توسعه هوش مصنوعی می‌تواند از طریق بهبود بهره‌وری هم بر پویایی‌های گذار و هم بر مسیر رشد متعادل تأثیر گذارد. یافته‌های وی دلالت بر این موضوع دارد که اگرچه هوش مصنوعی می‌تواند در کوتاه‌مدت رفاه خانوار را افزایش دهد، اما تأثیر بلندمدت آن بر رفاه خانوار مبهم است. زیرا در صورت جایگزینی گسترده نیروی کار با فناوری‌های AI و عدم اجرای سیاست‌های جبرانی مانند آموزش مجدد یا بازتوزیع درآمد ممکن است رفاه بخشی از جامعه کاهش یابد. در واقع، تغییرات رفاهی AI به این موضوع بستگی دارد که پذیرش هوش مصنوعی، افزایش بهره‌وری را در پی دارد یا به جابجایی نیروی کار منجر می‌شود.

گونزالس^۲ (۲۰۲۳) با بهره‌گیری از اطلاعات مربوط به ۱۷۰ کشور تأثیر هوش مصنوعی بر رشد اقتصادی را طی بازه زمانی ۲۰۱۹-۱۹۷۰ بررسی کرد. در این پژوهش از تعداد پتنت‌های AI به عنوان پروکسی برای اندازه‌گیری هوش مصنوعی و رویکرد گشتاورهای تعمیم‌یافته پانلی برای تحلیل روابط بین متغیرها استفاده شده است. یافته‌ها نشان دادند در بلندمدت هوش مصنوعی تأثیر مثبت و معناداری بر رشد اقتصادی کشورهای مورد بررسی دارد؛ به گونه‌ای که اثر آن بر رشد بیشتر از مجموع پتنت‌های سایر فناوری‌ها است. از سوی دیگر، نتایج حاکی‌اند تأثیر هوش مصنوعی بر رشد اقتصادی در کشورهای توسعه‌یافته و دوره‌های پایانی بازه مورد بررسی قوی‌تر است.

تام و همکاران^۳ (۲۰۲۴) با داده‌های ۱۴۱ کشور طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۳ و به کارگیری مدل‌های پانل پویا سیستمی و الگوریتم جنگل تصادفی تأثیر فعالیت‌های مختلف مرتبط با AI (مقالات علمی، پتنت‌ها، استراتژی‌های ملی) را بر رشد تولید ناخالص داخلی بررسی کردند. یافته‌های رویکرد پانل پویا نشان داد AI تأثیر مثبت و معناداری بر رشد اقتصادی دارد؛ به طوری که این اثر در کشورهای با استراتژی AI قوی‌تر و زیرساخت‌های پیشرفته، قوی‌تر است. علاوه بر آن، نتایج الگوریتم جنگل تصادفی نشان می‌دهد که پتنت‌های AI و انتشار علمی در بین معیارهای مختلف بیشترین اهمیت را در علت و توضیح رشد اقتصادی دارا هستند.

ماسوانا^۴ (۲۰۲۴) با استفاده از مدل رشد نیمه‌درون‌زا و شاخص‌های جذابیت فناوری AI تأثیر ظرفیت جذب AI بر رشد اقتصادی کشورهای زیر صحرای آفریقا را طی بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۷ بررسی کرد.

^۱ Lu

^۲ Maswana

نتایج نشان می‌دهد در کشورهایی که هوش مصنوعی به عنوان مکمل نیروی کار ماهر عمل می‌کند، اقتصاد می‌تواند با تمرکز بر ارتقای مهارت نیروی کار، بهره‌وری و رشد درآمد را افزایش دهد. از سوی دیگر، سرمایه‌گذاری در آموزش، به ویژه در مهارت‌های سازگار با هوش مصنوعی و فناوری، نه تنها ظرفیت پذیرش و نوآوری با فناوری‌های وارداتی را افزایش می‌دهد، بلکه اقتصاد را در موقعیتی قرار می‌دهد که از فرصت‌های رشد مبتنی بر هوش مصنوعی به طور مؤثرتری بهره‌برداری کند.

آقیون و بونل^۱ (۲۰۲۴) در یک مطالعه مروری - تحلیلی و بررسی نقش AI بر رشد اقتصادی نشان می‌دهد "تغییر در ساختار وظایف شغلی و اشتغال"، "بهره‌وری کل عوامل تولید"، "سرمایه‌گذاری" و "بازتوزیع درآمد و نابرابری" چهار مجرای اصلی اثرگذاری AI بر اقتصاد کلان هستند. همچنین، پژوهش نتیجه می‌گیرد که در دهه آینده، در اثر توسعه AI، بهره‌وری سالانه حدود ۰/۷ درصد افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، مطالعه آقیون و بونل استدلال می‌کند صنایع مالی، پزشکی و لجستیک بیشترین پتانسیل را در ارتقا بهره‌وری از طریق AI را دارا هستند. برای قوی‌تر شدن تأثیر AI بر رشد اقتصادی و کاهش نابرابری لازم است کشورها سیاست‌های حمایتی مانند اعمال بیمه بیکاری و آموزش مجدد نیروی کار، سرمایه‌گذاری در آموزش مهارت‌های مکمل AI، تضمین رقابت در بازار و جلوگیری از تمرکز صنعتی شرکت‌های بزرگ و تدوین مقررات برای حفظ اعتماد عمومی را اعمال کنند.

بسیراوغلو و همکاران^۲ (۲۰۲۴) با تحلیل عملکرد ایده‌های تولیدشده در آزمون مهم بینایی ماشین، نشان می‌دهد که تحقیق و توسعه مجهز به AI نسبت به تحقیق و توسعه سنتی سرمایه‌برتر است و می‌تواند سرعت پیشرفت تکنولوژیک و در نتیجه رشد اقتصادی را تسریع کند. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد ظرفیت سرمایه‌گذاری بالاتر در AI منجر به بازده علمی و اقتصادی بالاتری می‌شود. به بیان دیگر، هوش مصنوعی اساساً نحوه تولید و انباشت ایده‌ها را تغییر می‌دهد و به طور بالقوه منجر به افزایش دائمی نرخ تولید ایده و رشد اقتصادی می‌شود.

^۱ Aghion & Bunel

^۲ Besiroglu et al.

گونداوری^۱ (۲۰۲۵) با استفاده از رویکرد داده‌های پانلی و داده‌های ۸۰ کشور تأثیر هوش مصنوعی را بر رشد تولید ناخالص داخلی برای دوره زمانی ۲۰۲۳-۲۰۰۵ بررسی کرد. در این پژوهش برای اندازه‌گیری متغیر هوش مصنوعی از شاخص‌هایی مانند تعداد پتنت‌های ثبت شده AI و هزینه تحقیق و توسعه در حوزه AI استفاده شده است. یافته‌ها حاکی از افزایش شاخص هوش مصنوعی به میزان ۱ واحد، به طور متوسط رشد تولید ناخالص داخلی را به طور متوسط به میزان ۰/۳ درصد افزایش می‌دهد؛ اما این اثر در کشورهای با زیرساخت دیجیتال قوی‌تر تا ۰/۴۵ درصد نیز افزایش می‌یابد. همچنین، پژوهش پیشبینی می‌کند که تا سال ۲۰۲۳ سهم AI در رشد تولید ناخالص داخلی جهانی به ۲ درصد خواهد رسید.

پایچ و سرکین^۲ (۲۰۲۵) در یک پژوهش مروری-تحلیلی پیامدهای AI بر نابرابری جهانی، ثبات اقتصادی و هزینه‌های شناختی نیروی کار را بررسی می‌کند. او نتیجه می‌گیرد که اگر چه AI فرصت‌هایی برای رشد در بخش‌هایی مانند سلامت و آموزش فراهم می‌کند، اما بدون چارچوب‌های حکمرانی قوی و مشارکت نیروهای اکادمیک ممکن است شکاف توسعه را تشدید کند و رشد اقتصادی دموکراتیک را مختل نماید.

سپتیاندري و همکاران^۳ (۲۰۲۵) در مطالعه‌ای با استفاده از داده‌های ۳۴۲ منطقه در آمریکا تأثیر هوش مصنوعی بر نابرابری درآمدی را در دوره زمانی ۲۰۲۲-۲۰۱۵ بررسی کرد. یافته‌ها نشان می‌دهند در مراحل که فرصت‌های اقتصادی متمرکز هستند، استفاده از AI می‌تواند نابرابری را تشدید کند. این مقاله با مدل‌سازی شبکه‌ای و داده‌های منطقه‌ای تأکید می‌کند که سیاست‌های مهار متمرکزسازی داده و انتشار متن‌باز ضروری است.

تحلیل گسترده ادبیات علمی نشان می‌دهد که هوش مصنوعی از طریق کانال‌های متنوعی—شامل خودکارسازی وظایف، نشر نوآوری، عمق سرمایه‌گذاری‌های فیزیکی و دیجیتال، ارتقای مهارت‌های نیروی کار و تغییر ساختار بازار—رشد اقتصادی را تقویت می‌کند. مطالعات حاکی از افزایش در رشد بهره‌وری کل عوامل تولید و تولید ناخالص داخلی سرانه هستند. شواهد بنگاهی نیز رشد قابل توجه

¹ Gondauri

² Paic & Serkin

³ Septiandri et al.

فروش، اشتغال و نوآوری محصول را تأیید می‌کنند. برای بهره‌برداری کامل از پتانسیل AI، نیاز است که کشورها و بنگاه‌ها در آموزش مهارت‌های دیجیتال، توسعه زیرساخت‌های داده و فضای رقابتی عادلانه سرمایه‌گذاری کنند تا مزایای AI به صورت فراگیر و پایدار توزیع شود.

نوآوری پژوهش حاضر نسبت به مطالعات انجام شده قبلی در این است که از متغیر شاخص هوش مصنوعی که ترکیبی از متغیرهای مختلف در حوزه هوش مصنوعی است استفاده شده در حالی که مطالعات خارجی قبلی صرفاً متغیری را به عنوان نماینده هوش مصنوعی ذکر کرده‌اند.

۳. روش‌شناسی پژوهش

تصریح الگو و داده‌ها

هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر هوش مصنوعی بر رشد اقتصادی کشورهای پیشرو در فناوری هوش مصنوعی است. مطابق ادبیات موضوع، هوش مصنوعی هم به صورت مستقیم و هم غیرمستقیم بر رشد اقتصادی تأثیر دارد. از این‌رو، به پیروی از الگوهای رشد درونزا منکیو و همکاران^۱ (۱۹۹۲) و آسموگلو (۲۰۲۵) برای بررسی تأثیر هوش مصنوعی بر رشد اقتصادی از رابطه (۱) استفاده می‌شود:

$$Gr_{it} = f(AI_{it}, K_{it}, L_{it}, Pr_{it}, (AI*Pr)_{it}, (AI*H)_{it}) \quad (1)$$

که در آن Gr_{it} رشد اقتصادی است که از طریق نرخ رشد سالانه تولید ناخالص داخلی به قیمت سال ۲۰۲۱ و براساس برابری قدرت خرید محاسبه می‌شود؛ AI_{it} شاخص رشد هوش مصنوعی است که در این پژوهش برای اندازه‌گیری آن از رشد سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در هوش مصنوعی بر حسب میلیون دلار استفاده شده است؛ K_{it} رشد موجودی سرمایه، L_{it} رشد نیوری کار، Pr_{it} رشد بهره‌وری نیروی کار است. ادبیات رشد نوین و الگوهای مبتنی بر وظایف از جمله الگوی آسموگلو و رسترپو^۲ (۲۰۱۸) و مطالعاتی از جمله آقیون و همکاران^۳ (۲۰۱۷) و برینجلفسون و همکاران^۴ (۲۰۱۸) به اثرگذاری هوش مصنوعی بر تولید از طریق بهره‌وری و سرمایه انسانی اشاره دارند. لذا، متغیرهای $(AI*Pr)_{it}$ و $(AI*H)_{it}$ نیز در الگو در نظر گرفته شده‌اند که به ترتیب اثر متقاطع رشد هوش

¹ Mankiw et al.

² Acemoglu & Restrepo

³ Aghion et al.

⁴ Brynjolfsson et al.

مصنوعی و رشد بهره‌وری نیروی کار و اثر متقاطع رشد هوش مصنوعی و رشد سرمایه انسانی را نشان می‌دهند. از سوی دیگر به لحاظ روش‌شناختی، افزایش قدرت تبیین و جلوگیری از برآورد اریب متغیرها، مزیت دیگر استفاده از اثرات متقاطع در رگرسیون است (Wooldridge, 2010). همچنین، اندیس I و t به ترتیب به مقاطع (کشورها) و زمان دلالت دارد.

قلمرو مکانی پژوهش شامل کشورهای پیشرو در حوزه هوش مصنوعی است که کشورهای استرالیا، اتریش، بلژیک، برزیل، کانادا، چین، دانمارک، فنلاند، فرانسه، آلمان، هند، ایتالیا، ژاپن، کره جنوبی، نروژ، اسپانیا، سنگاپور، روسیه، انگلستان و آمریکا را شامل می‌گردد. این کشورها نه تنها سهم قابل توجهی از سرمایه‌گذاری جهانی در حوزه هوش مصنوعی را به خود اختصاص داده‌اند، بلکه داده‌ها و آمارهای مرتبط با این سرمایه‌گذاری‌ها را نیز به صورت عمومی منتشر کرده‌اند که در دسترس پژوهشگران قرار دارد. همچنین، قلمرو زمانی پژوهش دربرگیرنده دوره زمانی ۲۰۲۳-۲۰۱۷ است. جدول ۱ آمار توصیفی و همچنین نحوه اندازه‌گیری متغیرها را گزارش می‌کند.

طبق آمار توصیفی جدول ۱، رشد اقتصادی کشورهای نمونه در دوره ۲۰۲۳ - به‌طور میانگین ۲/۰۱۹ درصد است و انحراف معیار ۳/۵۴ درصد نشان می‌دهد پراکندگی نسبتاً زیادی میان کشورها و سال‌ها وجود دارد؛ بنابراین برخی مشاهدات رشد منفی یا جهش‌های بالاتری را تجربه کرده‌اند.

جدول ۱. آمار توصیفی متغیرها

نام متغیر	نحوه محاسبه	منبع داده	میانگین	انحراف معیار
رشد اقتصادی	رشد سالانه تولید ناخالص داخلی واقعی (به درصد)	WDI	۲/۰۱۹	۳/۵۴
رشد هوش مصنوعی	رشد سرمایه‌گذاری در هوش مصنوعی	Stanford Database	۱/۱۵	۳/۵۲
رشد سرمایه	رشد تشکیل سرمایه ثابت ناخالص	WDI	۲/۲	۵/۲۸
رشد نیروی کار	رشد کل نیروی کار شاغل	WDI	۰/۷۲	۳/۸
رشد بهره‌وری نیروی کار	نرخ رشد سالانه تولید به ازای هر کارگر	ILO	-۰/۱۸۵	۴/۵۱

رشد اقتصادی در عصر هوش مصنوعی: تحلیل تجربی با رویکرد گشتاورهای تعمیم‌یافته پانلی... ۱۲۳

۱۱/۱۵	۱/۴۷	WDI & ILO	حاصلضرب متغیر رشد هوش مصنوعی در رشد بهره‌وری نیروی کار	اثر متقاطع رشد هوش مصنوعی و رشد بهره‌وری نیروی کار
۱۶/۱۸	-۱/۹۳	WDI & Stanford Database	حاصلضرب متغیر رشد هوش مصنوعی در رشد سرمایه انسانی (نرخ ثبت نام متوسطه)	اثر متقاطع رشد هوش مصنوعی و رشد سرمایه انسانی

منبع: محاسبات پژوهش

رشد هوش مصنوعی که با شاخص ترکیبی سرمایه‌گذاری‌ها و فعالیت‌های مرتبط با AI سنجیده شده، میانگین ۱/۱۵ و انحراف معیار ۳/۵۲ دارد؛ مقدار میانگین کم در کنار نوسان بسیار زیاد حاکی از آن است که کشورها در سرعت ورود به موج سرمایه‌گذاری AI رفتار عمدتاً ناهمگن و گاه جهشی داشته‌اند. درخصوص رشد سرمایه‌فیزیکی، با میانگین ۲/۲ و انحراف معیار ۵/۲۸ درصد بیانگر افت خالص سرمایه‌گذاری در بخشی از دوره و در عین حال وجود شوک‌های شدید سرمایه‌ای (مثلاً پروژه‌های بازسازی یا رکودهای عمیق) است که احتمال برون‌زدگی را بالا می‌برد. رشد نیروی کار با میانگین ۰/۷۲ درصد و پراکندگی ۳/۸ درصد عمدتاً حول صفر نوسان می‌کند؛ این امر نشان می‌دهد برخی اقتصادها با کاهش اشتغال و برخی دیگر با جذب نیروی کار مواجه بوده‌اند. برای رشد بهره‌وری نیروی کار، میانگین ۱/۸۵- و انحراف معیار ۴/۵۱ نشان‌دهنده نوسانات بسیار شدید بهره‌وری است؛ داده‌ها دوره‌هایی از افت تند (نظیر دوران همه‌گیری) برخوردارند و جهش‌های استثنایی را در بر می‌گیرند و همین ناهمگنی ضرورت به‌کارگیری تخمین‌گرهای مقاوم مانند GMM را توجیه می‌کند. متغیر برهم‌کنش رشد AI و بهره‌وری نیز میانگین ۱/۴۷ و انحراف معیار ۱۱/۱۵ دارد؛ گویی ترکیب «سرمایه‌گذاری کم در AI همراه با رشد بهره‌وری» در بخش مهمی از مشاهدات غالب بوده و در عین حال دامنه نوسان وسیع نشان می‌دهد که در برخی کشورها رشد AI هم‌زمان با بهره‌وری بالا اثر تقویتی داشته است. در نهایت، میانگین منفی و انحراف معیار نسبتاً بالا برهم‌کنش رشد AI و سرمایه انسانی گواهی می‌دهد که هم‌حرکتی این دو عامل با نوسان زیاد همراه است و در اغلب موارد کاهش یکی از آن‌ها غالب است.

۴-۲. روش برآورد الگو

از آنجاکه در پژوهش حاضر، تعداد مقاطع- یعنی کشورها - از طول دوره زمانی بیشتر می‌باشد، به‌منظور برآورد الگو و بررسی تأثیر هوش مصنوعی بر رشد اقتصادی از روش گشتاورهای تعمیم‌یافته پانلی استفاده می‌شود. بکارگیری رویکرد پانل پویا سبب درک بهتر روابط پویای بین متغیرهای اقتصادی می‌شود. به طور کلی یک مدل پانل پویا به صورت زیر معرفی می‌گردد (Baltagi, 2008):

$$y_{it} = \beta y_{it-1} + \theta x_{it} + \mu_i + v_{it} \quad (1)$$

که در آن y_{it} متغیر وابسته، β ضریب وقفه متغیر وابسته، y_{it-1} وقفه متغیر وابسته، θ ضرایب متغیرهای توضیحی، x_{it} بردار متغیرهای توضیحی، μ_i اثرات ثابت و v_{it} جمله اخلاص را نشان می‌دهند. از آنجا که در مدل پانل پویا وقفه متغیر وابسته در سمت راست معادله قرار می‌گیرد، فرض عدم وجود خودهمبستگی بین متغیرهای توضیحی و جمله اخلاص نقض می‌گردد. لذا، بهره‌گیری از رویکرد حداقل مربعات معمولی به ایجاد تخمین‌های اریب و ناسازگار می‌انجامد. در این شرایط استفاده از رویکرد گشتاورهای تعمیم‌یافته که از طریق بکارگیری متغیرهای ابزاری نقص روش حداقل مربعات معمولی را بر طرف می‌نماید، مهم و ضروری است.

همچنین، به علت استفاده از روش تخمین‌زنده‌های گشتاوری، مشکل ناهمسانی واریانس رفع می‌شود. ویژگی‌هایی چون از بین رفتن درون‌زایی متغیرها و کارا بودن هر دو اثر ثابت و تصادفی در برآورد الگوها باعث ارجحیت رویکرد الگوی پانل پویا نسبت به دیگر الگوهای ایستا می‌شود (Green, 2000). از آنجا که سازگاری رویکرد گشتاورهای تعمیم‌یافته وابسته به نتایج آزمون‌های خودهمبستگی و اعتبار متغیرهای ابزاری است، به منظور ارزیابی سازگاری الگوهای برآورد شده از آزمون خودهمبستگی آرانو-باند^۱ و آزمون سارگان^۲ استفاده می‌گردد. در الگوهای پویا به‌دلیل همبستگی جزء اخلاص با وقفه مرتبه اول متغیر وابسته، از روش‌های خانواده حداقل مربعات نمی‌توان استفاده کرد؛ زیرا نتایج برآورد دچار تورش می‌شوند. به همین دلیل آرانو و باند (۱۹۹۱) برآوردگری را معرفی کردند که افزون‌بر آنکه مشکل همبستگی جزء اخلاص با وقفه مرتبه اول متغیر وابسته را

¹ Arellano and Bond

² Sargan

رفع می‌کرد، مشکلات واریانس ناهمسانی و درون‌زایی متغیرها را نیز برطرف می‌کرد. با توجه به روابط ۱ و ۲، الگوی پژوهش براساس روش گشتاورهای تعمیم‌یافته پانلی به‌صورت زیر تصریح می‌شود:

$$Gr_{it} = \alpha_1 Gr_{it-1} + \alpha_2 AI_{it} + \alpha_3 K_{it} + \alpha_4 L_{it} + \alpha_5 Pr_{it} + \alpha_6 (AI*Pr)_{it} + \alpha_6 (AI*H)_{it} + e_i + \gamma_{it} \quad (3)$$

۴. یافته‌ها

الگوی پژوهش با بهره‌گیری از رویکرد گشتاورهای تعمیم‌یافته پانلی برآورد می‌شود. جدول ۲ نتایج برآورد الگوی پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر رشد هوش مصنوعی بر رشد اقتصادی را به اختصار گزارش می‌کند. برای این منظور از وقفه متغیر وابسته، حاصلضرب لگاریتم هوش مصنوعی و رشد بهره‌وری و حاصل ضرب لگاریتم هوش مصنوعی و رشد سرمایه انسانی به عنوان متغیرهای ابزاری استفاده می‌شود.

جدول ۲: تأثیر رشد هوش مصنوعی بر رشد اقتصادی

نام متغیر	ضریب	آماره t	سطح احتمال
وقفه اول رشد اقتصادی	۰/۶۳۶	۷/۱۴	۰/۰۰۰۰
رشد هوش مصنوعی	۰/۳۰	۲/۹۴۳	۰/۰۰۴۴
رشد سرمایه	۰/۵۶۲	۹/۸۸	۰/۰۰۰۰
رشد نیروی کار	۰/۲۵۱	۲/۲۲	۰/۰۰۳۰
رشد بهره‌وری نیروی کار	۰/۴۱	۴/۶۹	۰/۰۰۰۰
اثر متقاطع رشد هوش مصنوعی و رشد بهره‌وری نیروی کار	۰/۰۸۳	۲/۷۹	۰/۰۰۶۷
اثر متقاطع رشد هوش مصنوعی و رشد سرمایه انسانی	۰/۰۵۲	۲/۴۵	۰/۰۱۶۵
رتبه متغیرهای ابزاری			
آزمون سارگان	J-statistic:	۱۷	Prob:
	۱۳/۶۵		۰/۱۸۹۵
آزمون خودهمبستگی مرتبه اول	m-statistic:	۲/۲۶	Prob:
			۰/۰۲۳۷
آزمون خودهمبستگی مرتبه دوم	m-statistic:	۰/۷۰۷۲	Prob:
			۰/۴۷۹۷

منبع: محاسبات پژوهش

پیش از تحلیل نتایج، نخست، سازگاری رویکرد گشتاورهای تعمیم‌یافته بررسی می‌شود که به نتایج آزمون‌های اعتبار متغیرهای ابزاری و خودهمبستگی بستگی دارد. برای بررسی اعتبار متغیرهای ابزاری از آزمون سارگان استفاده می‌شود که دارای توزیع کای دو $\chi^2_{(p-k)}$ است که در آن $(p-k)$ درجه آزادی آزمون می‌باشد؛ به‌طوری‌که p تعداد متغیرهای ابزاری و k تعداد متغیرهای برآورد شده را نشان می‌دهند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود تعداد متغیرهای ابزاری (۱۷) از تعداد متغیرهای برآورد شده (۷) بیشتر است که نشان می‌دهد روش الگو برای ساخت آماره آزمون سارگان، کارآمد است. فرض صفر آزمون سارگان بر عدم‌همبستگی متغیرهای ابزاری با جملات خطا دلالت دارد و بیان می‌کند متغیرهای ابزاری برای برآورد الگو مناسب هستند. با توجه به کوچک‌تر بودن آماره سارگان از سطح کای دو جدول و بزرگ‌تر بودن اندازه سطح احتمال آزمون از ۵ درصد، فرض صفر آزمون رد نمی‌شود. بنابراین، معتبر بودن متغیرهای ابزاری تأیید می‌شود. به‌منظور بررسی خودهمبستگی نیز از آزمون خودهمبستگی آرلانو-باند بهره گرفته می‌شود که وجود همبستگی سریالی مرتبه اول و دوم در مدل را بررسی می‌کند. از آنجاکه در آزمون خودهمبستگی مرتبه اول، سطح احتمال کمتر از ۵ درصد می‌باشد، از این‌رو، فرض عدم وجود خودهمبستگی مرتبه اول رد می‌شود. اما با توجه به اینکه در آزمون خودهمبستگی مرتبه دوم، سطح احتمال از ۵ درصد بیشتر است، بنابراین، الگوی برآورد شده فاقد مشکل خودهمبستگی مرتبه دوم می‌باشد؛ به همین دلیل نتایج آزمون خودهمبستگی آرلانو-باند مطابق با انتظار نظری است. همچنین، بزرگ‌تر بودن آماره آزمون تی استیودنت از سطح بحرانی جدول و کمتر بودن سطح احتمال ضرایب رگرسیون از ۵ درصد، نشان می‌دهند تمام متغیرها به لحاظ آماری معنادار هستند. با توجه به اعتبار رویکرد گشتاورهای تعمیم‌یافته پانلی، یافته‌های ناشی از برآورد الگو نشان می‌دهند:

۱. ضریب وقفه متغیر رشد اقتصادی ۰/۶۳۶ می‌باشد. بنابراین، رشد اقتصادی از وقفه مرتبه اول خود تأثیر مثبت می‌پذیرد؛ به بیان دیگر رشد اقتصادی دوره قبل رابطه مستقیمی با رشد اقتصادی دوره جاری دارد.

۲. رشد هوش مصنوعی تأثیر مثبت بر رشد اقتصادی دارد؛ به نحوی که افزایش یک درصد در رشد هوش مصنوعی، افزایش ۰/۳ درصدی رشد اقتصادی را در پی دارد. در واقع، افزایش هوش مصنوعی با ایجاد قابلیت‌های جدید و تغییر ساختار فنی تولید به‌صورت مستقیم به افزایش رشد اقتصادی

کمک می‌کند. از مجرای اولی، هوش مصنوعی به‌عنوان یک نهاده دانشی در فرآیند تولید عمل می‌کند و امکان انجام وظایف و فرآیندهایی را فراهم می‌سازد که پیش‌تر در چارچوب تولید سنتی قابل تحقق نبودند. این ویژگی باعث می‌شود مرزهای امکان تولید جابه‌جا شود و ظرفیت واقعی تولید در اقتصاد افزایش یابد. در این مکانیسم هوش مصنوعی از طریق بهینه‌سازی زنجیره تأمین و عملیات تولید باعث می‌شود محصول نهایی سریع‌تر و با خطای کمتر تولید شود و در نتیجه حجم تولید افزایش یابد (Aghion & Bunel, 2024). از سوی دیگر، هوش مصنوعی ساختار و سازمان تولید را دگرگون می‌کند و باعث بازآرایی ترکیب نهاده‌ها و شیوه‌های تولید می‌شود. این بازآرایی، حتی بدون تغییر در سطح سرمایه انسانی، مستقیماً مسیر تولید را به سمت پیچیدگی بیشتر و ارزش‌افزوده بالاتر سوق می‌دهد. در نتیجه، *AI* ظرفیت تولید اقتصاد را از طریق بازتعریف نقش عوامل تولید و ایجاد مدل‌های تولید نوین افزایش می‌دهد. در این مکانیسم هوش مصنوعی از طریق ایجاد نوآوری و بهبود کیفیت تولید می‌تواند رشد اقتصادی را تسریع می‌بخشد (Trajtenberg, 2018). یافته‌های پژوهش با نتایج پژوهش گونزالس (۲۰۲۳) مبنی بر تأثیر مثبت و مستقیم هوش مصنوعی بر رشد تولید کشورها مطابقت دارد.

۳. رشد موجودی سرمایه تأثیر مثبت بر رشد اقتصادی دارد؛ به نحوی که با افزایش یک درصدی رشد موجودی سرمایه، رشد اقتصادی ۰/۵۶ درصد افزایش می‌یابد. رشد موجودی سرمایه از طریق افزایش سرمایه‌گذاری در بخش مولد اقتصاد به افزایش ظرفیت تولید و مکانیزه‌تر شدن فرایند تولید منجر می‌گردد و در نتیجه با کاهش زمان و هزینه تولید بهبود رشد اقتصادی را در پی دارد.

۴. رشد نیروی کار تأثیر مثبت بر رشد اقتصادی دارد به طوری که یک درصد افزایش در رشد نیروی کار با افزایش ۰/۲۵ درصدی رشد اقتصادی همراه است. این موضوع نشان می‌دهد در کشورهای مورد بررسی، رشد نیروی کار هم از طریق گسترش ظرفیت تولید و هم از طریق افزایش عرضه نیروی کار و کاهش هزینه استخدام نیروی کار، مشارکت مثبتی در رشد اقتصادی ایفا می‌کند.

۵. رشد بهره‌وری نیروی کار تأثیر مثبت بر رشد اقتصادی دارد؛ به شکلی که یک درصد افزایش در رشد بهره‌وری نیروی کار به افزایش ۰/۴۱ درصدی رشد اقتصادی منجر می‌شود. افزایش بهره‌وری نیروی کار هم از سمت عرضه و هم تقاضا به افزایش رشد اقتصادی منجر می‌شود. از سمت عرضه، افزایش بهره‌وری منجر به ارتقای کارایی فرآیندهای تولید و افزایش بازدهی نیروی انسانی می‌شود؛

در نتیجه، تولید ناخالص داخلی در هر سطح ثابتی از عوامل تولید افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، افزایش بهره‌وری نیروی کار باعث استفاده بهینه‌تر از منابع و کاهش هزینه‌های تولید می‌شود که پی‌آمد آن کاهش قیمت کالاها و خدمات و افزایش رقابت‌پذیری محصولات است که به نوبه خود افزایش تقاضای محصول را در پی دارد. بنابراین بهبود بهره‌وری نیروی کار با افزایش رشد تولید ناخالص داخلی همراه است.

۶. اثر متقاطع رشد هوش مصنوعی و رشد بهره‌وری نیروی کار تأثیر مثبت بر رشد اقتصادی دارد؛ به نحوی که یک درصد افزایش در رشد اثر متقاطع دو متغیر سبب افزایش ۰/۰۸۳ درصدی رشد اقتصادی می‌شود. هوش مصنوعی به عنوان مکمل نیروی کار علاوه بر اینکه زمان صرف شده نیروی کار برای تولید را کاهش می‌دهد، از طریق خودکارسازی، بهینه‌سازی فرآیندها، پردازش اسناد و کاهش خطای انسانی می‌تواند هزینه تولید را کاهش و حجم تولید را افزایش دهد (Brynjolfsson et al., 2025). لذا برهم‌کنش مثبت بین رشد *AI* و بهره‌وری نیروی کار نشان می‌دهد اثر هوش مصنوعی در حضور بهره‌وری بالاتر تقویت می‌گردد. در مجموع نتایج پژوهش با مطالعه کالایی و همکاران (۲۰۲۴) همخوانی دارد.

۷. اثر متقاطع رشد هوش مصنوعی و رشد سرمایه انسانی تأثیر مثبت بر رشد اقتصادی دارد؛ به طوری که یک درصد افزایش در رشد اثر متقاطع دو متغیر سبب افزایش ۰/۰۵۲ درصدی رشد اقتصادی می‌شود. هوش مصنوعی ابزارهای جدیدی برای آموزش و توسعه مهارت‌ها فراهم می‌کند و می‌تواند طریق بهبود کیفیت یادگیری، مهارت‌های دیجیتال نیروی کار را ارتقاء بخشد؛ علاوه بر آن *AI* با افزایش سرعت یادگیری به توسعه تخصص کارگران نیمه ماهر نیز منجر می‌شود. از این‌رو، هوش مصنوعی به صورت مستقیم عمق و سطح دانش نیروی کار را بهبود می‌بخشد. در نتیجه برهم‌کنش مثبت بین رشد *AI* و سرمایه انسانی حاکی است هوش مصنوعی در حضور سرمایه انسانی بالاتر از شدت اثرگذاری بیشتری برخوردار است. در این زمینه گرائتز و مایکلز^۱ (۲۰۱۸) نشان می‌دهند فناوری‌های پیشرفته مانند هوش مصنوعی، مکمل نیروی کار ماهر بوده و تقاضا برای این نوع نیروی کار را افزایش می‌دهند. این امر منجر به ایجاد انگیزه برای سرمایه‌گذاری در آموزش و توسعه مهارت‌ها می‌شود.

¹ Graetz & Michaels

۶. نتیجه‌گیری

روند تحولات اقتصادی کشورها نشان می‌دهد در طی یک دهه اخیر هوش مصنوعی نقش قابل توجهی در شکل‌دهی الگوهای رشد اقتصادی ایفا کرده است. مطالعه تأثیر هوش مصنوعی بر رشد اقتصادی نه تنها به درک مکانیسم‌های نوین تولید ثروت و بهره‌وری کمک می‌کند، بلکه برای طراحی سیاست‌های اقتصادی آینده‌نگر در سطح کلان ضروری است. این پژوهش با بررسی تأثیر هوش مصنوعی از کانال بهره‌وری و سرمایه انسانی، تلاش کرده است چارچوبی نظام‌مند برای تحلیل نقش این فناوری در رشد اقتصادی کشورهای پیشرو در حوزه هوش مصنوعی ارائه دهد. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهند توسعه هوش مصنوعی به‌طور معناداری باعث تسریع رشد اقتصادی در کشورهای مورد مطالعه می‌شود. ضریب مثبت و معنادار شاخص رشد هوش مصنوعی در برآوردهای GMM پانلی بیانگر آن است که افزایش سرمایه‌گذاری و فعالیت‌های مرتبط با هوش مصنوعی، نرخ رشد تولید ناخالص داخلی را ارتقا می‌دهد. این نتیجه همسو با مبانی نظری و شواهد سایر مطالعات است که حاکی از تقویت رشد سرانه GDP با گسترش نفوذ AI است. به عنوان نمونه، برخی پژوهش‌ها تخمین زده‌اند که رشد نفوذ هوش مصنوعی می‌تواند بین ۰/۳ تا ۲ واحد درصد رشد اضافی GDP ایجاد کند که مؤید اثرگذاری قابل توجه این فناوری در مقیاس کلان است (Gondauri, 2025).

تحلیل سازوکارهای اثرگذاری نشان می‌دهد که اگرچه AI از طریق کانال‌های متعددی رشد اقتصادی را تقویت می‌کند، اما عمده اثرگذاری هوش مصنوعی بر رشد اقتصادی از مجرای بهره‌وری نیروی کار و سرمایه انسانی است که در این بین سهم بهره‌وری نیروی کار از سایر مولفه‌ها بیشتر است. این موضوع با قضیه هالتن^۱ همخوانی دارد که نشان می‌دهد بهبود بهره‌وری در سطح خرد اقتصادی به تغییرات کلان در اقتصاد تبدیل می‌شود.

خودکارسازی وظایف و ارتقای بهره‌وری نیروی کار، تسریع انتشار نوآوری‌های جدید، افزایش عمق سرمایه‌گذاری‌های فیزیکی و دیجیتال، بهبود مهارت‌ها و سرمایه انسانی، تغییر ساختار بازار به نفع رقابت و کارایی بیشتر از جمله مهم‌ترین این مجراها هستند. در نهایت، نتایج مدل مبنی بر این موضوع

¹ Hulten's Theorem

که اثر هوش مصنوعی در حضور بهره‌وری بالاتر نیروی کار و سرمایه انسانی تقویت می‌شود، نشان‌دهنده مکمل بودن AI با سایر عوامل رشد است.

البته باید توجه داشت که بهره‌گیری گسترده از AI بدون فراهم کردن پیش‌نیازهای نهادی و سیاستی می‌تواند چالش‌هایی به همراه داشته باشد؛ برای مثال، تمرکز فرصت‌های AI در بنگاه‌های بزرگ یا نبود چارچوب‌های تنظیم‌گرانه ممکن است منجر به تشدید نابرابری یا اختلال در رقابت شود. با این حال، جمع‌بندی کلی پژوهش حاضر تأکید دارد که هوش مصنوعی به عنوان یک موتور نوین رشد، نقش مثبتی در ارتقای رشد اقتصادی ایفا می‌کند و می‌تواند در صورت سیاست‌گذاری و سرمایه‌گذاری صحیح، زمینه‌ساز رشد پایدار و بلندمدت باشد.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش، چند توصیه سیاستی به منظور بهره‌گیری مؤثرتر از ظرفیت‌های هوش مصنوعی در جهت رشد اقتصادی ارائه می‌شود:

- **سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های دیجیتال و هوش مصنوعی:** توسعه زیرساخت‌های

فناورانه از قبیل شبکه پهن‌بند پرسرعت، مراکز داده، رایانش ابری و سخت‌افزارهای پردازشی پیشرفته برای به‌کارگیری گسترده AI ضروری است. این اقدام هزینه دسترسی به فناوری‌های هوش مصنوعی را کاهش داده و امکان پذیرش سریع‌تر و بهره‌وری بالاتر را فراهم می‌کند. همچنین سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه و ایجاد اکوسیستم نوآوری AI به ارتقای توان فناورانه کشور کمک خواهد کرد.

- **آموزش مهارت‌های دیجیتال و توسعه سرمایه انسانی:** نیروی کار ماهر و آشنا با

فناوری‌های دیجیتال پیش‌نیاز بهره‌وری کامل از هوش مصنوعی است. سرمایه‌گذاری در آموزش مهارت‌های داده‌کاوی، یادگیری ماشین و ارتقای سواد دیجیتال باید در اولویت سیاستی قرار گیرد. تجربه کشورها نشان داده است که هر میزان افزایش در آموزش مهارت‌های دیجیتال می‌تواند به رشد اقتصادی بیشتری منجر شود. علاوه بر این، تقاضا برای نیروی کار دارای تخصص AI به سرعت در حال افزایش است؛ به‌طوری‌که متخصصان حوزه هوش مصنوعی به طور متوسط تا ۲۰٪ حقوق بالاتری نسبت به سایرین دریافت

می‌کنند. بنابراین تربیت متخصصان AI و به‌روزرسانی مهارت‌های نیروی کار موجود برای سازگاری با تحولات تکنولوژیک ضروری است.

- **تسهیل رقابت و اکوسیستم باز:** برای بهره‌مندی حداکثری از مزایای AI، سیاست‌ها باید فضای رقابت سالم و باز در این عرصه را تسهیل کنند. جلوگیری از انحصار شرکت‌های بزرگ فناوری در دسترسی به داده‌ها و الگوریتم‌های پیشرفته یک ضرورت است. حمایت از استارت‌آپ‌ها و کسب‌وکارهای نوپا در حوزه هوش مصنوعی و ترویج پلتفرم‌ها و نرم‌افزارهای متن‌باز می‌تواند به توزیع گسترده‌تر نوآوری‌های AI و مشارکت طیف وسیع‌تری از بازیگران اقتصادی منجر شود. از این طریق، ضمن افزایش رقابت، بهره‌وری و نوآوری در کل اقتصاد نیز ارتقا خواهد یافت.

- **ایجاد چارچوب‌های حکمرانی و تنظیم‌گری مناسب:** تدوین مقررات و چارچوب‌های نظارتی برای هدایت توسعه هوش مصنوعی در مسیرهای مطلوب و کنترل پیامدهای منفی احتمالی آن ضروری است. تنظیم‌گری هوشمند در حوزه داده‌ها، حفظ حریم خصوصی و کاهش سوگیری‌های الگوریتمی می‌تواند اعتماد عمومی به فناوری AI را تقویت کرده و زمینه به‌کارگیری پایدار آن را فراهم سازد. علاوه بر این، سیاست‌های حمایتی و بازتوزیعی مناسب باید به کار گرفته شود تا منافع رشد حاصل از AI به طور عادلانه در جامعه توزیع گردد.

References

- Acemoglu, D. (2025). The Simple Macroeconomics of AI. *Economic Policy*, 40(121), 13-58. **DOI:** [10.1093/epolic/eiae042](https://doi.org/10.1093/epolic/eiae042).
- Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2018). The Race Between Man and Machine: Implications of Technology for Growth, Factor Shares, and Employment. *American Economic Review*, 108(6), 1488-1542. **DOI:** [10.1257/aer.20160696](https://doi.org/10.1257/aer.20160696).
- Aghion, P., & Bunel, S. (2024). AI and Growth: Where Do We Stand. *No publicado [en línea]*. Disponible en: <https://www.frbsf.org/wp-content/uploads/AI-and-Growth-Aghion-Bunel.pdf>.

- Aghion, P., Jones, B. F., & Jones, C. I. (2017). Artificial Intelligence and Economic Growth. *NBER Working Papers 23928, National Bureau of Economic Research, Inc.*
- Agrawal, A., Gans, J., & Goldfarb, A. (2019). *"The economics of artificial intelligence: An agenda"*. University of Chicago Press.
- Arellano, M., and Bond, S. R. (1991). "Some Tests of Specification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and an Application to Employment Equations". *Review of Economic Studies*, 58(2), 277–297. **DOI:** [10.2307/2297968](https://doi.org/10.2307/2297968).
- Babina, T., Fedyk, A., He, A., & Hodson, J. (2024). Artificial intelligence, firm growth, and product innovation. *Journal of Financial Economics*, 151, 103745. **DOI:** [10.1016/j.jfineco.2023.103745](https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2023.103745).
- Baltagi, B. (2008). *"Econometric Analysis of Panel Data"*. 5th Edition. John Wiley & Sons Publication. USA.
- Bao, C., Yang, B., Zhang, X., & Zhong, T. (2024). Artificial Intelligence, Knowledge Spillovers, and Growth. [https://papers.ssrn.com](https://papers.ssrn.com/doi/10.2139/ssrn.4943607). **DOI:** doi.org/10.2139/ssrn.4943607.
- Besiroglu, T., Emery-Xu, N., & Thompson, N. (2024). Economic impacts of AI-augmented R&D. *Research Policy*, 53(7), 105037. **DOI:** [10.1016/j.respol.2024.105037](https://doi.org/10.1016/j.respol.2024.105037).
- Brynjolfsson, E., Li, D., & Raymond, L. (2025). Generative AI at work. *The Quarterly Journal of Economics*, 140(2), 889-942. **DOI:** [10.1093/qje/qjae044](https://doi.org/10.1093/qje/qjae044).
- Brynjolfsson, E., Li, D., Rock, D., & Syverson, C. (2018). Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics, *NBER Chapters*, in: *The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda*, pages 23-57, *National Bureau of Economic Research, Inc.*
- Chang, J. J., Cheung, T., & Yang, H. (2025). Capital Deepening, Technology Choice, and Labor Share Dynamics. [https://papers.ssrn.com](https://papers.ssrn.com/doi/10.2139/ssrn.5123389). **DOI:** [10.2139/ssrn.5123389](https://doi.org/10.2139/ssrn.5123389).
- Crafts, N. (2021). Artificial Intelligence as a General-Purpose Technology: An Historical Perspective. *Oxford Review of Economic Policy*, 37(3), 521-536. **DOI:** [10.1093/oxrep/grab012](https://doi.org/10.1093/oxrep/grab012).
- Gondauri, D. (2025). The impact of artificial intelligence on gross domestic product: A global analysis. <https://www.arxiv.org/pdf/2503.16494>.

- Gonzales, J. T. (2023). Implications of AI Innovation on Economic Growth: A Panel Data Study. *Journal of Economic Structures*, 12(1), 1-37. **DOI:** [10.1186/s40008-023-00307-w](https://doi.org/10.1186/s40008-023-00307-w).
- Graetz, G., & Michaels, G. (2018). Robots at Work. *Review of Economics and Statistics*, 100(5), 753–768. **DOI:** [0.1162/rest_a_00754](https://doi.org/10.1162/rest_a_00754).
- Greene, H. (2000). "Econometric Analysis". 4th Edition, London: Prentice–Hall International (UK) Limited.
- Hulten, Charles R. (1978). Growth Accounting with Intermediate Inputs, *The Review of Economic Studies*, 45 (3), 511–518.
- Kalai, M., Becha, H., & Helali, K. (2024). Effect of Artificial Intelligence on Economic Growth in European Countries: A Symmetric and Asymmetric Cointegration Based on Linear and Non-linear ARDL Approach. *Journal of Economic Structures*, 13(1), 1-37. **DOI:** [10.1186/s40008-024-00345-y](https://doi.org/10.1186/s40008-024-00345-y).
- Lu, C. H. (2021). The Impact of Artificial Intelligence on Economic Growth and Welfare. *Journal of Macroeconomics*, 69, 103342. **DOI:** [10.1016/j.jmacro.2021.103342](https://doi.org/10.1016/j.jmacro.2021.103342).
- Lucas, R. E., Jr. (1988). On the Mechanics of Economic Development. *Journal of Monetary Economics*, 22(1), 3–42. **DOI:** [10.1016/0304-3932\(88\)90168-7](https://doi.org/10.1016/0304-3932(88)90168-7).
- Mankiw, N. G., Romer, D., & Weil, D. (1992). A Contribution to the Empirics of Economic Growth. *Quarterly Journal of Economics*, 107, 407–437.
- Maswana, J. C. (2024). Exploring the Growth Effects of Artificial Intelligence in Developing Countries in Africa Using a Semi-Endogenous Growth Model. Paper presented at the 2024 Annual Meeting of the American Economic Association (AEA), San Antonio, TX, USA. Retrieved from <https://www.aeaweb.org/conference/2024/program/2002>.
- Paić, G., & Serkin, L. (2025). The Impact of Artificial Intelligence: From Cognitive Costs to Global Inequality. *The European Physical Journal Special Topics*, 1-6. **DOI:** [10.1140/epjs/s11734-025-01561-8](https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-025-01561-8).
- Romer, P. M. (1986). Increasing Returns and Long-run Growth. *Journal of Political Economy*, 94(5), 1002–1037. **DOI:** [10.1086/261420](https://doi.org/10.1086/261420).
- Sargan, J. D. (1958). The Estimation of Economic Relationships Using Instrumental Variables. *Econometrica*, 26(3), 393–415. **DOI:** [10.2307/1907619](https://doi.org/10.2307/1907619).

- Septiandri, A. A., Constantinides, M., & Quercia, D. (2025). AI and the Economic Divide: How Artificial Intelligence Could Widen the Divide in the US. *EPJ Data Science*, 14(1), 33. **DOI: 10.1140/epjs/s13688-025-00547-9.**
- Tam, P. H., Hong, T. P., Thanh, C. N., & Tran, P. (2024). AI Innovation and Economic Growth: A Global Evidence. *WSB Journal of Business and Finance*, 58(1), 198-216. **DOI: 10.2478/wsbjbf-2024-0017.**
- Trajtenberg, M. (2018). AI as the Next GPT: A Political-Economy Perspective. *NBER Working Paper No. 24245, National Bureau of Economic Research, Inc.*
- Wooldridge, J. M. (2010). *"Econometric Analysis of Cross-Section and Panel Data"*. MIT Press.

