Economic Research and Perspectives

Original Research Article/ Vol.25, No.4, 2025, pp: 129-156

https://dx.doi.org/.10.48311/ecor.2025.24052

The Role of R&D Investment in Iran's Economy: A Dynamic Input-Output Approach

Simin Azizmohamadi [1], Fatemeh Bazzazan[2]

1. PhD Graduate, Department of Economics, Faculty of Social Sciences and Economics, Alzahra University, Tehran, Iran. Email: S.azizmohamadi@gmail.com
2. Professor, Department of Economics, Faculty of Social Sciences and Economics, Alzahra University, Tehran, Iran. (Corresponding Author) Email: fbazzazan@alzahra.ac.ir

Abstract

Research and Development (R&D) is a creative endeavor aimed at expanding knowledge to enhance the quantity and quality of pooduciion. In oadayss nmovaiion-driven economy, R&D investment has become a strategic tool for governments and corporations to stimulate economic growth and development. Accordingly, developed countries and major corporations allocate a substantial portion of their revenue to R&D activities. In conaagyyyaaass nnveeeeent in R&D has remained below 1% of national income in recent years. Nevertheless, the spillover effects of R&D can help achieve economic objectives with reduced capital expenditure. This study examines the significance of R&D nnveeeeent nnaaass econoccc deveoopee nt, focusing particularly on its impact on the capital required to meet economic targets. The analysis employs a dynamic input–output model, in which capital is endogenous and represented as a matrix detailing inter-sectoral capital exchanges. This capital, in effect, becomes an input for production in the subsequent period and is thus vital for economic forecasting and growth modeling. Assuming that R&D results in either new technologies or improvements to existing ones, two input–output tables—those for the years 1389 (2010/11) and 1395 (2016/17)—are utilized. The former represents the baseline (older) technology, while the latter incorporates R&D advancements, signifying technological progress. The findings demonstrate that R&D investment reduces the fixed capital eequeeed oo schvvve hhe goott h aggg ss eet out in aaass Sttth Development Plan.

Article information

Review History:

Received: nov. 18, 2024

Revised: dec. 02, 2024

Accepted: dec. 08, 2024

Published online: sep. 15, 2025

Keywords:

Capital Coefficients

Dynamic input–output,

Research & Development (R&D)

R&D investment

JEL Classification:

C67, E22, O32

Corresponding Author:

fbazzazan@alzahra.ac.ir

Copyright© 2025, the Authors | Publishing Rights, ASPI. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

Economic Research and Perspectives
Original Research Article/ Vol.25, No.4, 2025, pp: 129-156

Aim and Introduction:

The concept of R&D within economic systems is grounded in endogenous growth theory, initially introduced by Romer (1986) and Lucas (1988), who emphasized the role of human capital accumulation in driving innovation and economic growth.

The Harrod–Domar models, which assume a fixed capital-output ratio and disregard technological change, have historically influenced the integration of input–output models into growth theory. Expanding on these foundations, Leontief (1951) adapted the static input–output model into a dynamic framework to analyze the long-term growth of a multi-sectoral economy.

Los (2001) further extended this field by integrating Schumpeterian elements of endogenous growth into the dynamic input–output model. In this revised model, technological progress is endogenized through R&D expenditure.

In Iran, the impact of R&D investment has been sparsely explored, especially within a dynamic input–output framework, which this research aims to address. While international studies have occasionally employed dynamic input–output models to assess R&D effects, domestic research remains limited.

This study investigates the impact of R&D investment using a modified dynamic input–output model. Specifically, it estimates the level of investment required to achieve the objectives of the Sixth Economic, Social, and Cultural Development Plan, calibrated to the 1395 input–output table. Using a modified version of Pan's (2006) model, the dynamic input–output coefficients were adjusted to account for R&D investment rates, enabling an evaluation of the capital required to meet sector-specific growth targets.

Data were sourced from the Central Bank of Iran, which provides comprehensive input–output tables for the years 1389 and 1395, along with capital stock figures. The Statistical Center of Iran supplied inventory data for nine sectors: agriculture, oil, mining, industry, water, electricity and gas, construction, transportation, communications, and other services.

Methodology:

This research adopts a closed dynamic input–output model to assess the macroeconomic effects of R&D investment. The model posits that R&D alters input and capital coefficients along an S-shaped logistic curve, consistent with the technology life cycle theory. In this formulation, R&D investment and time determine the rate of technological advancement.

By specifying the growth rate, along with the proportion of new production processes (resulting from R&D investment) and the share of legacy processes, the trajectories of technical and capital coefficients can be established. The dynamic input–output framework then illustrates how R&D investment influences the level of capital investment required to meet planned growth objectives.

Findings:

To provide a more detailed assessment of the role of R&D investments, two different investment scenarios were examined. The first scenario is derived from

the 1395 input–output table, which for the first time designates a specific sector for R&D activities. The second scenario is based on an estimated R&D investment rate equivalent to 2% of total production. In both cases, a notable reduction is observed in the volume of capital investment required to achieve the targeted growth outlined in the Sixth Development Plan. In the first scenario, with an assumed growth rate of 21.5%, a total of 116 billion rials was allocated to R&D units across various sectors between the years 1396 and 1400. This investment resulted in a reduction of 4,574 billion rials in the capital required to achieve the planned growth. In the second scenario, where R&D investment equaled 2% of production and increased at an annual growth rate of 8%, the total volume of R&D investment reached 2,984 billion rials. Consequently, the investment needed to fulfill the objectives of the Sixth Development Plan decreased by 8,671 billion rials. These results demonstrate the considerable efficiency gains achieved through strategic R&D investment.

Discussion and Conclusion:

The findings of this study, consistent with previous research emphasizing the economic importance of R&D, highlight the positive and measurable effects of R&D investment on Iran's economy. By reducing the capital required to achieve targeted growth, R&D investment enhances capital efficiency and accelerates progress toward national development goals. In order to realize these benefits within a shorter time horizon, it is essential to increase the allocation of resources to R&D units. Based on the results, several policy recommendations are proposed: developing targeted strategies to strengthen R&D investment; offering financial grants and incentives to promote R&D activities; evaluating the impact of direct government support on R&D performance across various industries; encouraging investment in emerging and high-potential sectors; and revising existing regulations to foster a more innovation-friendly environment. These measures can help position R&D as a central pillar of Iran's economic strategy, contributing to sustainable and innovation-driven growth.

نشریه علمی پژوهش‌ها و چشم‌اندازهای اقتصادی
مقاله پژوهشی/ سال بیست و پنجم، شماره چهارم، زمستان۱۴۰۴، صفحات: ۱۲۹ تا ۱۵۶
https://dx.doi.org/.10.48311/ecor.2025.24052

نقش سرمایه‌گذاری R&D در اقتصاد ایران در داده-ستانده پویا

سیمین عزیزمحمدی[۱]، فاطمه بزازان[۲]

۱. دانشجوی دکتری توسعه اقتصادی، گروه اقتصاد، دانشکده علوم اجتماعی و اقتصادی، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران.
s.azizmohamadi@gmail.com
۲. استاد، گروه اقتصاد، دانشکده علوم اجتماعی و اقتصادی، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران (نویسنده مسئول).
fbazzazan@alzahra.ac.ir

چکیده

تحقیق‌وتوسعه(R&D)، فعالیت خلاقانه برای افزایش ذخایر دانش جهت ارتقاء کمیت و کیفیت تولید است. امروزه که اقتصاد جهان به ایده‌های دانش بنیان روی آورده، سرمایه‌گذاری R&D یکی از ابزارهای سیاستی دولت‌ها و شرکت‌ها برای پشبرد اهداف رشد و توسعه اقتصادی شده است. در این پژوهش، با توجه به اهمیت سرمایه‌گذاری R&D در برنامه‌های توسعه اقتصادی، اثر آن بر میزان سرمایه لازم برای اهداف اقتصادی بررسی می‌شود. مدل به‌کار رفته در این پژوهش، مدل داده-ستانده پویا است که در آن، سرمایه ماهیت درونزا دارد و نهاده تولید دوره بعد است. به این ترتیب، در پیش‌بینی متغیرهای مهم اقتصادی (مانند سرمایه ثابت لازم برای دستیابی به اهداف برنامه‌ریزی شده) و الگوی رشد اقتصادی کاربرد دارد. فرض می‌شود، نتیجه سرمایه‌گذاری R&D ظهور یک فناوری جدید یا بهبود فناوری قدیمی است. تخصیص سرمایه به واحدهای R&D در هر بخش باعث می‌شود، سرمایه‌گذاری لازم برای تحقق اهداف برنامه ششم توسعه کاهش یابد. این کاهش سرمایه‌گذاری لازم برای تحقق رشد هدفگذاری شده براساس آمار سرمایه‌گذاری سال ۱۳۹۵ بالغ بر ۱۸ درصد است. اگر میزان سرمایه‌گذاری R&D در هر بخش تا معادل دو درصد تولید همان بخش افزایش یابد، کاهش میزان سرمایه لازم تا ۵۳ درصد می‌رسد. برای دستیابی به اهداف اقتصادی در افق زمانی کوتاه‌تر لازم است، منابع واحدهای R&D افزایش یابد. در این راستا ضرورت دارد، سیاست‌ها و تسهیل‌گری‌هایی از جهت حمایت مالی و حقوقی از این دست انجام بگیرد تا دستاوردهای سرمایه‌گذاری R&D سریع‌تر و با پیامدهای مثبت بیشتری محقق شود.

اطلاعات مقاله

تاریخچه داوری:
دریافت: ۱۴۰۳/۸/۲۸
بازنگری: ۱۴۰۳/۹/۱۲
پذیرش: ۱۴۰۳/۹/۱۸
انتشار آنلاین:۱۴۰۴/۶/۲۵

کلمات کلیدی:
داده-ستانده پویا
ضرایب سرمایه
تحقیق‌وتوسعه (R&D)
سرمایه‌گذاری R&D

طبقه‌بندی JEL:
C67, E22, O32

نویسنده مسئول:
fbazzazan@alzahra.ac.ir

کپی‌رایت ©۲۰۲۵، متعلق به نویسندگان. این مقاله به‌صورت دسترسی آزاد منتشر شده و تحت مجوز بین‌المللی Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 قراردارد. براساس این مجوز، شما می‌توانید این مطلب را در هر قالب و رسانه‌ای کپی، بازنشر و بازآفرینی کنید و یا آن را ویرایش و بازسازی نمایید، به شرط آنکه نام نویسنده را ذکر کرده و از آن، برای مقاصد غیرتجاری استفاده کنید.

۱. مقدمه

ردپای تحقیق‌وتوسعه[1](R&D) در اقتصاد در نظریه رشد درونزا یافت می‌شود که موتور رشد اقتصادی نامیده می‌شود. رومر[2](۱۹۸۶) و لوکاس[3](۱۹۸۸) در نقد مدل رشد سولو[4](۱۹۵۶ و ۱۹۵۷)، که پیشرفت فناوری را برونزا فرض می‌کند، تئوری رشد درونزا را با استفاده از انباشت سرمایه انسانی برای R&D ارائه کردند (لیو[5]، ۲۰۱۹).

ارتباط مدل داده-ستانده با نظریه رشد، تحت تأثیر مدل‌های هارود-دومار[6] بود که نسبت سرمایه-تولید را ثابت فرض کرده و تغییر فناوری را نادیده می‌گیرد. لئونتیف[7](۱۹۵۱) با الهام از آن، الگوی ایستای داده-ستانده، را برای مدل‌سازی رشد بلندمدت اقتصاد چندصنعتی به یک الگوی پویا تبدیل کرد. این مدل، یک نظریه مبتنی بر تحلیل داده-ستانده با تابع تشکیل سرمایه است (نوری، ۱۳۹۰). لس[8](۲۰۰۱) با مرتبط کردن مدل داده-ستانده پویا با نوع شومپیتری مدل‌های رشد درونزا، مدل جدیدی ارائه کرد که شامل ویژگی‌های مهم نظریه رشد درونزا مانند نوآوری، سرریز دانش و بازده ثابت به مقیاس در سطح کلان است. پیرو این مدل، در نسخه جدید، مدل شبیه مکانیزم تخریب خلاق شومپیتر است و در آن، پیشرفت فناوری با متغیر سرمایه‌گذاری (مخارج) R&D درونزا می‌شود. نتایج این مطالعات، حاکی از نقش سرمایه‌گذاری R&D در پیشرفت فناوری و رشد اقتصادی است (گورگول و لاچ[9]، ۲۰۱۶).

تحلیل الگوهای پویا به آمار نسبت‌های سرمایه به تولید بخشی (که قابل قیاس با ضرایب داده در الگوی ایستا است) و اطلاعات مطمئن در مورد رابطه متقابل جریان ذخیره نیاز دارد، که به‌عنوان ماتریس ضرایب جریان سرمایه‌ای شناخته شده‌اند. ورود چنین ماتریسی به مدل، اگرچه تهیه مدل را مشکل‌تر می‌سازد، اما کاربردهای بیشتری نسبت به مدل ایستا به نمایش می‌گذارد.

در پژوهش‌های داخلی، مطالعه اثر سرمایه‌گذاری R&D در چهارچوب پویا که مدل این پژوهش است، مطالعه‌ای انجام نگرفته است. در پژوهش‌های خارجی به‌طور پراکنده می‌توان شاهد مطالعه اثر سرمایه‌گذاری R&D در الگوی داده-ستانده پویا بود.

در این پژوهش، اثر سرمایه‌گذاری R&D بر سرمایه لازم جهت تحقق اهداف برنامه‌ریزی شده (اینجا برنامه ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی به‌دلیل همزمانی با سال مطالعه پژوهش) با

1. Research & Development (R&D)
2. Romer (1986).
3. Lucas (1988).
4. Solow (1956, 1957).
5. Liu (2019).
6. Harrod-Domar
7. Leontief (1951).
8. Los (2001).
9. Gurgul & Lach (2016).

مدل داده-ستانده پویا، برآورد می‌شود.

برای بررسی نقش R&D در اقتصاد ایران، ضمن تشکیل داده-ستانده پویا از جدول داده-ستانده سال ۱۳۹۵ منتشر شده توسط بانک مرکزی، با استفاده از مدل اصلاح شده پان[1](۲۰۰۶)، ضرایب مدل داده-ستانده پویا با نرخ سرمایه‌گذاری R&D تعدیل می‌شود. سپس با ضرایب تعدیل شده، سرمایه‌گذاری لازم برای تحقق رشد بخشی هدفگذاری شده در برنامه ششم توسعه، به‌دلیل همزمانی با جدول داده-ستانده ۱۳۹۵، بازبینی می‌شود. به‌منظور بررسی دقیق‌تر نقش سرمایه‌گذاری R&D، بررسی با دو نرخ سرمایه‌گذاری انجام می‌شود. یکی براساس جدول داده-ستانده ۱۳۹۵ بوده که برای نخستین بار یک بخش به فعالیت‌های R&D اختصاص یافته و دیگری برآوردی و براساس اهداف تعریف شده در برنامه هفتم توسعه است. در این برنامه، دولت موظف شده معادل دو درصد تولید را به پژوهش و فناوری اعتبار دهد.

بانک مرکزی، منبع جدول داده-ستانده سال ۱۳۸۹ و ۱۳۹۵ و موجودی سرمایه و مرکز آمار ایران، منبع موجودی انبار (کشاورزی و صنعت) است. جداول در ۹ بخش کشاورزی، نفت، معدن، صنعت، آب برق و گاز، ساختمان، حمل‌ونقل، ارتباطات و سایر خدمات مطالعه می‌شود. مبانی نظری و پیشنه پژوهش در بخش ۲ و روش‌شناسی در بخش ۳ ارائه می‌گردد. داده‌ها و نتایج بخش ۴ و نتیجه‌گیری بخش آخر را تشکیل می‌دهد.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

دهه ۱۹۴۰ شروع شکوفایی نظریه‌های رشد بلندمدت و پویا به حساب می‌آید. در این دوره، نظریه رشد هارود-دومار که در آن، نسبت سرمایه-محصول نقش اساسی دارد، اهمیت ویژه‌ای داشت. لئونتیف با الهام از آن، الگوی ایستای داده-ستانده را به یک الگوی پویا تبدیل کرد. در الگوی پویا، سرمایه‌گذاری از طریق ضرایب سرمایه-محصول بین بخشی در قالب ماتریس ضرایب سرمایه درونزا در نظر گرفته می‌شود (نوری، ۱۳۹۰).

مطالعه مسائل رشد اقتصادی بلندمدت و تغییر ساختاری در چهارچوب داده-ستانده پویا محدود است. با معرفی مدل لئونتیف-دوچین-زیلد (دوچین و زیلد[2]، ۱۹۸۵؛ لئونتیف و دوچین[3]، ۱۹۸۶)، گرایش پژوهش‌ها به پیش‌بینی کوتاه‌مدت و حسابداری رشد در یک چهارچوب ایستای مقایسه‌ای بود (لس، ۲۰۰۱).

ادغام مدل پویای لئونتیف و مدل رشد درونزا نشان داد مدل پویا با پیش‌فرض یک فناوری خطی معین و ثابت در زمان مانند مدل خطی AK در ادبیات رشد جدید است. در این زمینه، مدل‌های

1. Pan (2006).
2. Duchin & Szyld (1985).
3. Leontief & Duchin (1986).

رشد درونزا صرفاً مدل غیرشومپیتری‌اند، زیرا مدل پویای لئونتیف فرض می‌کند، رشد تنها از طریق انباشت سرمایه است (کورز و سالوادوری[1]، ۲۰۰۰).

تلاش دیگر برای مرتبط ساختن مدل پویای لئونتیف به مدل های رشد درونزا، تعمیم مدل پویای اصلی لئونتیف بوده، به‌طوری‌که ماتریس تولید تابع زمان و ماتریس سرمایه تابع قیمت هستند (ژانگ[2]، ۲۰۰۱). ژانگ (۲۰۰۸) مجدداً آن را به مدل تعادل عمومی قابل محاسبه (CGE) تعمیم داد تا پویای چند بخش با سرمایه انسانی، یک مدل CGE خطی شد که راه‌حل رشد متعادل مدل CGE غیرخطی را ارائه می‌دهد.

با محبوبیت نظریه رشد درونزا، برای ادغام این نظریه در تنظیم ضرایب داده، تلاش‌هایی صورت گرفت. ماهیت تئوری این بوده سرمایه‌گذاری R&D باعث پیشرفت فناوری و درنتیجه، رشد اقتصادی می‌شود؛ اما، استفاده از تئوری رشد درونزا در ساختار داده-ستانده بیش از حد ساده و گمراه‌کننده است (پان، ۲۰۰۶).

در مدل لس (۲۰۰۱)، فرض می‌شود، پیشرفت فناوری، یک رویه نامتناهی و صرفاً با سرمایه‌گذاری گذشته R&D شکل گرفته است. بدون توصیف صریح جنبه‌های فناوری، برای جلوگیری از مشکل در جایگزینی نهاده واسطه، فرض می‌کند، پیشرفت فناوری ناشی از سرمایه‌گذاری R&D فقط صرفه‌جویی در کار است. این حتی انتزاعی‌تر از روش‌های سنتی است (Ibid).

مدل لس(۲۰۰۱)، حاصل ارتباط مدل پویای لئونتیف با نوع شومپیتری مدل رشد درونزا (بهره‌وری از طریق معرفی فرایند جدید تولید)، یک نمونه ساده مدل پویای دو مرحله‌ای است که برخی ویژگی‌های مهم نظریه رشد درونزای پیشرفته مانند نوآوری را دارد. در واقع، تعیین ستانده فقط شامل حل نوعی مدل ایستا در هر دوره است. پویایی در مرحله دوم بوده که در آن، پیامد تصمیم فعلی روی مقادیر ابتدایی دوره بعدی برونزا فرض شده، مدل می‌شود. پویایی آن به‌نوعی شبیه پویایی مدل لئونتیف-دوچین-زیلد است که در آن، تصمیم فعلی در مورد سرمایه‌گذاری کالای سرمایه‌ای، سطح ظرفیت را در دوره آینده تعیین می‌کنند.

یکی از تفاوت‌های اصلی بین مدل‌های داده-ستانده پویای اخیر (دوچین و زیلد، ۱۹۸۵؛ لئونتیف و دوچین، ۱۹۸۶؛ کورز و کالباخ[3]، ۱۹۹۰؛ ادلر و ریباکووا[4]، ۱۹۹۳) و مدل پیشنهادی لس (۲۰۰۱)، ماهیت درونزای آشکار پیشرفت فناوری است. معادلات، با توصیف معادله ارتباط R&D و رشد بهره‌وری آغاز می‌شود. ویژگی این معادله با الهام از مدل‌های رشد درونزا بدون اثر مقیاس است.

نسخه جدید مدل داده-ستانده پویا با الهام از مدل لس توسعه یافت که شبیه مکانیزم تخریب

1. Kurz & Salvadori (2000).
2. Zhang
3. Kurz & Kalmbach (1990).
4. Edler & Ribakova (1993).

خلاق شومپیتر است و در آن، پیشرفت فناوری با متغیر سرمایه‌گذاری (مخارج) R&D درونزا می‌شود. در این مدل، تغییر ضرایب فنی برحسب نظریه توصیفی چرخه عمر فناوری یک منحنی لُجستیک S شکل را دنبال می‌کند. سرمایه‌گذاری R&D و زمان در آن، متغیر توضیحی بوده که نرخ رشد پیشرفت فناوری را مشخص می‌کنند. پان (۲۰۰۶)، با پیشنهاد این مدل، تعیین نرخ رشد، سهم فرایند جدید ناشی از سرمایه‌گذاری R&D و سهم فرایند قدیمی از میزان تولید، مسیر رشد ضرایب را برآورد می‌کند.

با اصلاح منحنی لجستیک S شکل پان (۲۰۰۶)، در منحنی جدید با فعالیت R&D، زمان و نرخ رشد سرمایه‌گذاری R&D، یک فناوری را در طول منحنی S شکل از طریق فرایند عمر فناوری هدایت می‌کند. در مدل پان و کوهلر[1] (۲۰۰۷)، علاوه بر ضرایب فنی، ضرایب نهاده سرمایه و نیروی‌کار نیز در راستای منحنی لجستیک تغییر می‌کند. اگر فرایند تولید به‌سرعت پیشرفت کند و سرمایه‌گذاری بیشتری در فرایند جدید صورت گیرد، بهره‌وری تولید به سرعت بهبود می‌یابد.

سرمایه‌گذاری بخشی R&D در نسخه جدید مدل داده-ستانده، پویای درونزا است و سرعت توسعه فناوری‌های جدید و نصب موجودی سرمایه را تسریع می‌کند. گورگول و لاچ (۲۰۱۶) در این مدل دو فناوری، فرایند فنی جدید و قدیمی در یک بخش، وزن نسبی خود را در تولید مبادله می‌کنند. تفاوت این پژوهش با مطالعه پان (۲۰۰۶)، در این است که رویکرد آن، یک روش نیمه درونزا است، به این معنی که تابع لجستیک S شکل برونزا است، در حالی که پارامترهای منحنی لجستیک بخش درونزا تعیین می‌شود.[2]

در پژوهش حاضر، همین رویکرد، یعنی تابع لجستیک S شکل برونزا برای بررسی اثر سرمایه‌گذاری R&D بر سرمایه‌گذاری بخشی موردنیاز برای تحقق رشد هدفگذاری شده به‌کار گرفته می‌شود.

مرور پژوهش‌های داخلی، نشان می‌دهد، در رساله دکتری بانوئی (۱۹۸۹)، جدول ۱۰ بخشی داده-ستانده-پویا استخراج شده یا در رساله دکتری بزازان (۲۰۰۲)، ضمن محاسبه ماتریس ضرایب سرمایه بین بخشی، حداکثر نرخ رشد اقتصادی برای ایران محاسبه شد. آسیایی (۱۳۸۰)، نرخ رشد بالقوه اقتصاد ایران و سرمایه‌گذاری لازم برای بخش‌های مختلف را در برنامه اول توسعه محاسبه و با سرمایه‌گذاری انجام شده، مقایسه نماید.

در پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد نوری (۱۳۹۰)، همین رویکرد را برای برنامه سوم و در پژوهش اکبری و امینی (۱۴۰۲)، با استفاده از جدول داده-ستانده سال ۱۳۹۵ برای برنامه ششم توسعه به‌کار

1. Pan & Kohler (2007).

۲. اگرچه منحنی S شکل هنوز استفاده می‌شود و مزایا دارد، برخی انتقادها علیه تحمیل برونزایی این الگو بر پویایی تغییر ضرایب داده-ستانده و درنتیجه، برخی روش‌های رقابتی وجود دارد که درواقع، درونزا تولید شده، بدون هیچ نسخه‌ای، ارائه می‌شود (ریابوشلیک، ۲۰۱۴).

برده شد که نتایج نشان داد، بخش صنعت، ساختمان و کشاورزی، نیازمند سرمایه‌گذاری بیشتر برای تحقق اهداف برنامه ششم بوده‌اند. با این حال، در پژوهش‌ها، اشاره‌ای به نقش سرمایه‌گذاری R&D نشده است.

در بررسی مطالعات خارجی، می‌توان شاهد بود، آثار سرمایه‌گذاری R&D در یک مدل داده-ستانده پویا با پژوهش لس (۲۰۰۱) آغاز می‌شود که یک نمونه ساده مدل پویای دو مرحله‌ای با یک اقتصاد فرضی است. ابتدای هر دوره، صنایع با توجه به مجموعه‌ای از متغیرها که فراتر از محدوده نفوذ آنها در آن مرحله است، تصمیم می‌گیرد. درواقع، تعیین ستانده فقط شامل حل مدل داده-ستانده ایستا در هر دوره است. پویایی در مرحله دوم بوده که پیامد تصمیم فعلی روی مقادیر برونزا فرضی ابتدای دوره (های) بعدی مدل می‌شود.

پان (۲۰۰۶)، ساختار اقتصادی داده-ستانده تحت تغییر فناوری خاص را شبیه‌سازی می‌کند. نسخه جدید از مدل داده-ستانده پویای توسعه‌یافته که در آن، پیشرفت و استقرار فناوری درونزا است. سرمایه‌گذاری R&D موجب توسعه فناوری‌های جدید می‌شود و بخش‌ها تکامل یا تغییر می‌یابد. تحلیل سناریو با استفاده از این مدل که در صنعت برق چین اعمال شده و نشان می‌دهد، استفاده از فناوری انرژی غیرفسیلی، ساختار این بخش و اقتصاد را در ۱۰۰ سال آینده تغییر خواهد داد.

گورگول و لاچ (۲۰۱۶)، نسخه جدیدی از مدل پویا را پیشنهاد دادند که در آن، پیشرفت و استقرار فناوری درونزا است. سرمایه‌گذاری R&D بخش‌ها، توسعه فناوری جدید و نصب سرمایه را سرعت می‌بخشد. کاربرد مدل در پیش‌بینی پیوندهای بین صنعتی بخش‌ها در اقتصاد لهستان در ۵۰ سال آینده، حاکی از تغییر مداوم ترکیب مجموعه‌ای از بخش‌های کلیدی است.

گورگول و لاچ (۲۰۱۹) در پژوهشی جدید، به‌جای تنظیم پارامترهای حیاتی مدل درونزا داده-ستانده پویا به‌صورت دلخواه در پژوهش گورگول و لاچ (۲۰۱۶)، رویکردی مبتنی بر بهینه‌یابی جدید برای تقریب عناصر ماتریس سرمایه براساس داده‌های تاریخی اخیر را پیشنهاد کردند. بخش تجربی برای پیش‌بینی طبقه‌بندی بخشی اقتصاد لهستان طی ۴۰ سال آینده، نشان داده برخی بخش‌ها، به ویژه بخش‌های تولیدی و مرتبط با ساخت و ساز، از ریل خارج شده، درحالی‌که بخش‌های مرتبط با حمل‌ونقل و کشاورزی مهم‌تر می‌شود.

ژانگ و همکاران (۲۰۲۲)، فرایند تکامل پویای R&D را در کنار ظرفیت سرریز سرمایه‌گذاری دیجیتال بین صنایع ناشی از پیشرفت فناوری بلندمدت بررسی و ابتدا سرمایه‌گذاری R&D را به‌عنوان عامل مؤثر بر پیشرفت فناوری ادغام می‌کنند. این یک مدل داده-ستانده پویا شامل پیشرفت فناوری درونزا را ایجاد کرده که با داده تاریخی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ برای به دست آوردن ماتریس ضریب داده-ستانده از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۵۰ شبیه‌سازی شده است. بر این اساس، این پژوهش برای تمرکز بر وزن‌های سرریز بین صنایع بر چشم‌انداز زنجیره صنعت برای بازبینی و شبیه‌سازی تغییرات پویای R&D بین صنایع تحت تأثیر پیشرفت بلندمدت فناوری است. نتایج شبیه‌سازی، نشان داد، تفاوت‌های قابل‌توجه R&D بین

۱۸صنعت تولیدی چین در هر دو بعد صنعتی و زمانی وجود دارد. به این ترتیب، صنایع نزدیک به بالادست زنجیره صنعت با نهاده‌های خود در فناوری‌های همه‌منظوره در پیشبرد رشد اقتصادی کارآمدترند.

در مطالعات خارجی نیز اگرچه نقش سرمایه‌گذاری R&D در کاربردهای مختلف مدل داده-ستانده پویا بررسی شده، با این حال، اشاره‌ای به نقش سرمایه‌گذاری R&D بر سرمایه‌گذاری بخشی موردنیاز برای تحقق رشد هدفگذاری شده به‌کار گرفته نمی‌شود. به این ترتیب، در این پژوهش برای نخستین بار، این نقش در رویکرد داده-ستانده پویا با توجه به جدول داده-ستانده سال ۱۳۹۵ و برنامه ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی بررسی می‌گردد.

۳. روش‌شناسی

الگوی پویای داده-ستانده، ضمن تأکید بر تعادل بخشی، یک مسیر متوازن منحصر به فردی ارائه می‌کند که با یک مقدار اولیه اختیاری آغاز شده و جواب غیرمنفی برای متغیرهای اقتصادی مانند موجودی سرمایه و تولید در این مسیر می‌دهد. همچنین یک نرخ رشد بالقوه ممکن برای تمام بخش‌های اقتصادی به‌دست می‌آید. از این طریق در این الگو، سطوح مختلف سرمایه لازم جهت تحقق برنامه‌ها در بخش‌های متفاوت معین می‌گردد. مدل داده-ستانده پویای بسته، مدل اصلی پژوهش برای بررسی اثر سرمایه‌گذاری R&D است.

در مدل داده-ستانده پویای بسته، تولید هر بخش به تقاضای واسطه‌ای، تقاضای نهایی و بخش سوم کالای سرمایه‌ای که توسط خود بخش و سایر بخش‌های برای استفاده در تولید دوره بعد نگهداری شده، تفکیک می‌شود. بخش سوم، سرمایه‌گذاری لازم برای تحقق رشد موردنظر را برآورد می‌کند. میزان این سرمایه‌گذاری براساس ستانده، نرخ رشد برنامه‌ریزی شده و ماتریس ضرایب سرمایه‌ای تعیین می‌گردد.

رابطه معمولی داده-ستانده پویا برای تولید بخش i در دوره t می‌شود:

$$x_{i.t} = \sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_{j.t} + \sum_{j=1}^{n} b_{ij}\left(x_{j.t+1} - x_{j.t}\right) + y_{i.t} \qquad t = 1.2.\cdots.T \qquad (۱)$$

که در آن، $x_{i.t}$ ستانده بخش i در دوره زمانی t است. a_{ij}، ضریب داده و b_{ij}، ضریب سرمایه موردنیاز بخش i از بخش j بوده و y_t تقاضای نهایی بدون مؤلفه سرمایه‌گذاری، n تعداد بخش‌ها و T افق برنامه‌ریزی است.

شکل ماتریسی، با ماتریس $n \times n$ ضرایب سرمایه $A = [a_{ij}]$ و $B = [b_{ij}]$، می‌شود:

$$X_t = AX_t + B(X_{t+1} - X_t) + Y_t$$
$$X_t = AX_t + B\Delta X_t + Y_t$$
$$X_t = AX_t + GBX_t + Y_t \qquad (۲)$$

که X_t، ماتریس ستانده، A، ضرایب داده، B، ضرایب سرمایه بین بخشی و Y_t، تقاضای نهایی بدون مؤلفه سرمایه‌گذاری است.

اگر اندیس t دوره باشد، مجموعه روابط بین ستانده و تقاضای نهایی را نشان می‌دهد که از اکنون (سال $t = 0$) شروع شده و تا دوره T در آینده تعمیم می‌یابد.

رابطه (۲)، نشان می‌دهد، تولید هر بخش، سه نوع تقاضا را تأمین می‌کند. ۱- تقاضای واسطه‌ای سایر بخش‌ها است که AX_t آن را نشان می‌دهد. ۲- Y_t به تقاضای نهایی از سوی خانوارها، دولت و دنیای خارج اختصاص می‌یابد. ۳- GBX_t کالای سرمایه‌ای است که توسط خود بخش و سایر بخش‌ها به منظور استفاده در تولید سال آینده نگهداری می‌شود. در واقع، می‌توان به کمک ماتریس GBX_t مقدار سرمایه‌گذاری موردنیاز برای تحقق رشد موردنظر را برآورد کرد. ماتریس قطری X_t ماتریس ستانده سالی است که تولید سال‌های بعدی براساس آن پیش‌بینی می‌شود. G نشان‌دهنده ماتریس قطری نرخ رشد اقتصادی مورد هدف در هر افق زمانی بوده و ماتریس B ماتریس ضرایب سرمایه‌ای بین بخشی است.

۱-۳. اثر سرمایه‌گذاری R&D

در این پژوهش، اثر سرمایه‌گذاری R&D بر اقتصاد در مدل داده-ستانده پویا از طریق اثر آن بر ضرایب داده و ضرایب سرمایه بین بخشی، به عنوان ویژگی ساختاری این مدل، بررسی می‌شود.

ضریب داده مستقیم یا همان ضریب فنی، بیانگر فناوری در چهارچوب داده-ستانده است. به این ترتیب، تغییر این ضریب متأثر از سرمایه‌گذاری R&D به‌صورت نسبت آن در حالت قبل از اثرگذاری سرمایه‌گذاری R&D و پس از اعمال اثر سرمایه‌گذاری R&D است. سرمایه‌گذاری R&D در امتداد یک منحنی لجستیک روند پیشرفت فناوری، بررسی شود. این منحنی لجستیک، با فعالیت R&D، زمان و نرخ سرمایه‌گذاری R&D، یک فناوری را در طول منحنی S شکل هدایت می‌کند. سرمایه‌گذاری R&D متغیر درونزای مؤثر بر پیشرفت فناوری بوده و یک فناوری برای توسعه، نیاز به زمان دارد (گورگول و لاچ، ۲۰۱۶).

در این پژوهش، پیرو پژوهش‌های این حوزه (مانند پان، ۲۰۰۶؛ گورگول و لاچ، ۲۰۱۶)، فرض می‌شود، تغییر ضریب داده مستقیم در امتداد یک منحنی لجستیک، پیشرفت فناوری (در اینجا ناشی از سرمایه‌گذاری R&D) را نشان می‌دهد. این پیشرفت، به شکل بهبود فناوری قدیمی یا ایجاد یک فناوری جدید، نیاز به نهاده واسطه‌ای را کاهش می‌دهد. پس، منحنی لجستیک نزولی می‌شود.

میزان پیشرفت فرایند فنی جدید براساس فرایند قدیمی با توجه به سن فناوری‌های مختلف، متفاوت است. بنابراین، برای مشخص شدن این پیشرفت، یک بازه مقداری برای ضریب نهاده مستقیم تعریف می‌شود. فرض می‌شود، مقادیر ضریب پیشرفت فناوری بین دو مقدار a_{0j}، مقیاس اولیه تغییر فناوری (ضریب داده مستقیم اولیه) و a_{sj} سطح اشباع تغییر فناوری (ضریب داده مستقیم) است.[۱] مقادیر بین این مقدار حدی با توجه به زمان و سرمایه‌گذاری R&D تغییر می‌کند.

منحنی لجستیکی که پیشرفت فناوری بخش j را توصیف می‌کند، به‌صورت زیر است:

---

۱. این مقیاس‌ها بر اساس تعریف مراحل چرخه عمر فناوری توسط فریمن و لوکاس (۲۰۰۱) است.

$$a_j^t = \frac{a_{0j}}{1+e^{K_j \times (t-M_j)}} + a_{sj} \quad (۳)$$

که a_{0j} و a_{sj} در رابطه (۳) ثابت فرض می‌شود. K_j نسبت رشد سرمایه‌گذاری R&D بوده، t زمان و M_j مدت زمان تحقق رشد بالقوه را نشان می‌دهد. افزایش هر سه متغیر می‌شود کسر افزایش یافته و درنهایت، ضریب پیشرفت افزایش یابد که حاکی از تأثیر افزایش رشد سرمایه‌گذاری R&D و طولانی شدن زمان بر پیشرفت فناوری است.

K_j نسبت رشد سرمایه‌گذاری R&D در عین حال درجه تغییر فناوری رخ داده در بخش j را تعیین کرده و افزایش آن، تغییر شدیدتر فناوری را نشان می‌دهد. فناوری جدید ناشی از سرمایه‌گذاری R&D هرچه سریع رخ دهد، رشد اقتصادی سریع‌تر محقق می‌شود. پس رشد سرمایه‌گذاری R&D بر مسیر پویای منحنی لجستیک تأثیر می‌گذارد.

$$K_j = \frac{\%RD_j}{\%\overline{RD_j}} \quad (۴)$$

که $\%RD_j$ متوسط نرخ رشد سرمایه‌گذاری R&D بخش j و $\overline{\%RD_j}$ متوسط نرخ رشد سرمایه‌گذاری R&D همه بخش‌ها است.

M_j در رابطه (۵) از دو عبارت تشکیل شده، صورت کسر M_0 است. فرض می‌شود، نرخ رشد بالقوه در یک زمان که M_0 نشان داده می‌شود، عدد ثابتی و صرفاً یک شاخص است. مخرج کسر RD_j است، اگر بزرگ‌تر از یک باشد، یعنی بخش j در مقایسه با میانگین سایر صنایع وابستگی بیشتری به پیشرفت فناوری دارد. به پیشرفت فناوری حساس است، بنابراین زمان تحقق رشد بالقوه آن در مقایسه با صنایع دیگر کوتاه‌تر است.

M_j مقدار عددی رشد بالقوه با توجه به نسبت میزان سرمایه‌گذاری R&D چه تغییری می‌کند. در بخش‌هایی که سرمایه‌گذاری R&D آنها بالاتر از متوسط سرمایه‌گذاری R&D همه بخش‌ها باشد، این عدد کاهش می‌یابد و دسترسی به نرخ رشد بالقوه زودتر محقق می‌شود. در رابطه (۵) داریم:

$$M_j = \frac{M_0}{RD_j} \quad (۵)$$

$$RD_j = \frac{RD_j^E}{\overline{RD_j^E}} \quad (۶)$$

که RD_j^E سرمایه‌گذاری R&D بخش j و $\overline{RD_j^E}$ متوسط سرمایه‌گذاری R&D همه بخش‌ها است. M_0 زمان تحقق رشد بالقوه و RD_j ضریب مقیاس سرمایه‌گذاری R&D است.

با بهبود فرایند فنی تولید، نیاز به نهاده واسطه‌ای کمتر شده و ضریب داده رو به کاهش است؛ پس، منحنی لجستیک نزولی می‌شود؛ اما تغییر آن در یک بازه مقداری بین a_{0j}، مقیاس اولیه تغییر فناوری (مجانب بالا) و a_{sj} سطح اشباع تغییر فناوری (مجانب پایین) است.

هرچه K_j بزرگ‌تر باشد، تا زمان $t < M_j$، قبل از تحقق رشد بالقوه، فناوری با سرعت فزاینده تغییر می‌کند. در $t = M_j$، نرخ رشد تغییر فناوری معادل $\frac{a_{0j}}{2} + a_{sj}$ بوده با افزایش t، فناوری با

نرخی کاهنده به سطح اشباع a_{sj} نزدیک می‌شود. درنهایت، با تغییر آنها، می‌توان سناریوهای مختلف برای پیشرفت فناوری و پیش‌بینی اثر آن تعریف کرد. ضریب پیشرفت فناوری دوره t بخش j تابع لجستیک نسبت تغییر فناوری در دوره t به $t-1$ بوده که در رابطه (۷) داریم:

$$p_j^t = \frac{a_j^t}{a_j^{t-1}} \quad (۷)$$

فناوری (اینجا به‌صورت کاهش مقدار عناصر ماتریس ضرایب)، زمانی پیشرفت می‌کند که $P_j^t < 1$ باشد. در این حالت، فرایند فناوری جدید بخش j، یعنی P_j^t، منجر به کاهش ستون jام ماتریس A می‌شود. بهبود فناوری نشان می‌دهد، یک فرایند فنی جدید نسبت‌به قبل، به نهاده واسطه‌ای کمتر (از همه بخش‌ها) نیاز دارد. P_j^t نسبت مقادیر منحنی لجستیک برای توصیف پیشرفت فناوری بخش j است. P_t ماتریس قطری پیشرفت فناوری بخش‌های اقتصاد را نشان می‌دهد:

$$P_t = diag(P_j^t.\ j = 1.\cdots.n)$$

پویایی ساختار داده-ستانده در یک بخش، به استفاده فرایند فنی جدید و حذف یا کاهش نقش فرایند فنی قدیمی بستگی دارد. پیرو مدل ارائه شده در پژوهش پان (۲۰۰۶)، فرض می‌شود، یک اقتصاد در دو دوره مطالعه می‌شود. هر بخش یک لایه فناوری قدیمی و فناوری جدید ناشی از سرمایه‌گذاری R&D دارد. به این ترتیب، ضریب داده و ضرایب سرمایه‌ای بین بخشی به دو بخش با دوره زمانی متفاوت تقسیم می‌شود. برای مثال، درباره ضریب داده، ضریب $a_{ij.Old}^t$، مربوط به فناوری قدیمی و ضریب $a_{ij.New}^t$ مربوط به فناوری جدید ناشی از سرمایه‌گذاری R&D است. بنابراین، ماتریس A_t، ماتریس مربع $n \times n$ با عناصر a_{ij}^t، در زمان t شامل یک فرایند فنی قدیمی با ضریب داده مستقیم $a_{ij.Old}^t$ و یک فرایند فنی جدید با ضریب $a_{ij.New}^t$ است. به‌طور مشابه، همین روند برای ماتریس ضرایب سرمایه بین بخشی نیز رخ می‌دهد.

برای بررسی تأثیر پیشرفت فناوری ناشی از سرمایه‌گذاری R&D بر ضرایب مدل داده-ستانده پویا، ضرایب داده و ضرایب سرمایه‌ای، لازم است علاوه بر ضریب پیشرفت فناوری، ضریبی استخراج شود که وزن فناوری قدیمی و جدید ناشی از سرمایه‌گذاری R&D را نشان دهد. برای این منظور، از رابطه (۸) استفاده می‌شود:

$$w_j^t = \frac{X_{j.Old}^t}{X_{j.Old}^t + X_{j.New}^t} \quad (۸)$$

که $X_{j.Old}^t$ ستانده بخش j با فناوری قدیمی و $X_{j.New}^t$ با فناوری جدید ناشی از سرمایه‌گذاری R&D را نشان می‌دهد. w_j^t سهم تولید بخشی با فناوری قدیمی از کل تولید دوره t است. $1 - w_j^t$، سهم کل تولید با فناوری جدید ناشی از سرمایه‌گذاری R&D در کل تولید را نشان می‌دهد.

فرض شده سطح فناوری قدیمی، در هر دوره کاملاً به سطح فنی نهایی در دوره قبل بستگی دارد. یعنی همان‌طور که در رابطه (۹) نشان داده شده است، ضریب داده-ستانده $a_{ij.Old}^t$، مربوط به سطح فنی قدیمی هر دوره برابر با ضریب داده-ستانده مربوط به سطح فنی کلی دوره قبل است:

$$a_{ij.Old}^{t} = a_{ij}^{t-1} \quad (۹)$$

به طور مشابه، همین رابطه برای ماتریس ضرایب سرمایه بین بخشی نیز صادق است.

رابطه (۱۰) نشان می‌دهد، ضریب داده فناوری جدید هر دوره حاصل‌ضرب ضرایب داده تولید شده توسط فناوری نهایی در دوره قبل و ضریب پیشرفت فناوری، p_j^t در رابطه (۵)، است:

$$a_{ij.New}^{t} = a_{ij}^{t-1} \quad (۱۰)$$

به طور مشابه، همین رابطه برای ماتریس ضرایب سرمایه بین بخشی نیز صادق است.

پیشرفت فناوری (به‌صورت کاهش مقدار عناصر ماتریس ضرایب است)، زمانی رخ می‌دهد که $p_j^t < 1$ باشد. در این حالت، فرایند فناوری جدید در بخش j نشان داده شده توسط p_j^t منجر به کاهش ستون jام ماتریس ضرایب داده می‌شود. بهبود فناوری، نشان می‌دهد، یک فرایند فنی جدید در مقایسه با فرایند قدیمی، به نهاده واسطه‌ای کمتری (از همه بخش‌ها) نیاز دارد. ضرایب پس از پیشرفت فناوری ناشی از سرمایه‌گذاری R&D، ترکیبی از میانگین وزنی ضریب یک فناوری قدیمی، برای نمونه $a_{ij.Old}^{t} = \frac{x_{ij.Old}^{t}}{X_{j.Old}^{t}}$، و فناوری جدید، برای نمونه $a_{ij.New}^{t} = \frac{x_{ij.New}^{t}}{X_{j.New}^{t}}$، است:

$$a_{ij}^{t} = a_{ij.Old}^{t} w_j^t + a_{ij.New}^{t}\left(1 - w_j^t\right) \quad (۱۱)$$

به طور مشابه، همین رابطه برای ماتریس ضرایب سرمایه بین بخشی نیز صادق است.

با جایگذاری معادلات (۷) و (۱۱) در رابطه (۱۰) داریم:

$$a_{ij.New}^{t} = a_{ij}^{t-1}\left(w_j^t + p_j^t(1 - w_j^t)\right) \quad (۱۲)$$

با $P_t = diag(p_j^t.\ j = 1.\cdots.n)$، $W_t = diag(w_j^t.\ j = 1.\cdots.n)$ و شکل ماتریسی رابطه (۱۲)، ماتریس ضریب داده-ستانده دوره t، همان‌طور که رابطه (۱۳) نشان می‌دهد، به‌دست می‌آید:

$$A_t = A_{t-1}(W_t + P_t(1 - W_t)) \quad (۱۳)$$

به طور مشابه، همین رابطه برای ماتریس ضرایب سرمایه بین بخشی نیز صادق است.

با راه‌حل بازگشتی، روشی مرسوم برای حل مسائل در علوم کامپیوتری و برنامه‌نویسی بوده که در آن راه‌حل مسئله با بازه زمانی نامتناهی به راه‌حل‌هایی در نمونه‌های کوچکتر یا متناهی از همان مسئله وابسته می‌باشد، رابطه (۱۴) به‌دست می‌آید:

$$A_t = A_0(W_1 + P_1(1 - W_1)) \cdots \left(W_t + P_t(1 - W_t)\right) = A_0\left(\prod_{s=1}^{t}(W_s + P_s(1 - W_s))\right) \quad (۱۴)$$

$A_0 = \left(a_{ij}\right)_{n\times n}$ ماتریس ضریب داده در $t = 0$ است. ضرب A_0 در ماتریس قطری P_s و W_s نشان داده با پیشرفت فناوری بخش j، نهاده بخش j به تمام بخش‌ها با یک نسبت کاهش می‌یابد.

پیشرفت فناوری، نه‌تنها باعث کاهش نیاز به نهاده واسطه‌ای کمتری برای یک واحد تولید شده، بلکه فناوری جدید بهره‌وری را نیز افزایش می‌دهد. درنتیجه، هر واحد تولید به نهاده سرمایه کمتری نیاز دارد. پیشرفت فناوری منجر به کاهش ضریب B_t می‌شود. فرض می‌شود ماتریس ضریب سرمایه B_t مشابه ماتریس ضریب A_t تکامل می‌یابد، همان‌طور که در رابطه (۱۳) نشان داده شده است:

$$B_t = B_0(\prod_{s=1}^{t}(W_s + P_s(1 - W_s))) \quad (۱۵)$$

مدل داده-ستانده پویا با ستانده X_t و تقاضای نهایی Y_t، می‌شود:

$$X_t - A_t X_t - B_{t+1}[X_{t+1} - X_t] = Y_t \quad (۱۶)$$

مدل داده-ستانده پویای درونزا تحت شرایط پیشرفت فناوری ناشی از سرمایه‌گذاری R&D، با جایگذاری روابط (۱۴) و (۱۵) در رابطه (۱۶) به‌دست می‌آید:

$$X_t = A_0(\prod_{s=1}^{t}(W_s + P_s(1 - W_s)))\, X_t + B_0(\prod_{s=1}^{t}(W_s + P_s(1 - W_s)))\,[X_{t+1} - X_t] + Y_t \quad (۱۷)$$

در رابطه (۱۷) سرمایه‌گذاری R&D در مدل داده-ستانده پویای جدید درونزا می‌شود. با جایگذاری ماتریس ضریب سرمایه، B، در عبارت GBX_t رابطه (۲)، می‌توان دریافت آیا اختصاص بخشی از تولید به سرمایه‌گذاری R&D، اثری در مقدار سرمایه لازم برای تحقق اهداف دارد یا خیر؟

۴. داده‌ها و نتایج

جهت عملیاتی ساختن الگوی داده ستانده پویا، از چند پایه آماری استفاده شده است. جدول متقارن (فعالیت در فعالیت) ۵۲ بخشی سال ۱۳۸۹ و جدول متقارن (فعالیت در فعالیت) داده-ستانده ۸۹ بخشی سال ۱۳۹۵ به قیمت پایه منتشر شده توسط بانک مرکزی، یکی از پایه‌های آماری مبنای محاسباتی این پژوهش است؛[۱] زیرا نظام طبقه‌بندی حاکم در جدول متقارن فعالیت در فعالیت با تکنولوژی بخش بر حسب طبقه‌بندی ISIC، می‌تواند نیازهای تهیه مدل پویا را برآورده نماید. جدول داده-ستانده پویا براساس جدول داده-ستانده سال ۱۳۹۵ تهیه می‌شود.

برای تهیه جدول داده-ستانده پویا، لازم است ماتریس موجودی سرمایه مبادله شده بین بخش‌ها به‌دست آید. به این ترتیب، بخشی از این سرمایه مبادله شده، سرمایه ثابت سرمایه‌گذاری شده در تولید است که از گزارش موجودی سرمایه بانک مرکزی[۲] استخراج می‌شود.

بخش دیگر داده لازم برای تهیه ماتریس موجودی سرمایه، سرمایه در گردش است؛ زیرا گنجاندن آن در ماتریس موجودی سرمایه، ویژگی جامع‌تری می‌بخشد. سرمایه در گردش همان موجودی انبار است که توسط بخش‌ها انبار می‌شود. برای محاسبه موجودی انبار، نیاز به موجودی انبار کالای ساخته شده، کالایی که بدون تغییر شکل به فروش می‌رسد، کالای در جریان ساخت، مواد خام اولیه در ابتدا و انتهای سال ۱۳۹۵ است.

در این پژوهش، آمار موجودی انبار بخش کشاورزی و صنعت سال ۱۳۹۵ بخش‌ها از مرکز آمار ایران[۳] استخراج می‌شود. منبع موجودی انبار بخش صنعت نتایج آمارگیری کارگاه‌های صنعتی ۱۰ کارکن و بیشتر بر حسب طبقات کارکن[۴] مرکز آمار است.

---

۱. جدول داده - ستانده (cbi.ir)

۲. موجودی سرمایه (cbi.ir)

3. https://amar.org.ir/Portals/0/Statistics/1825/n_Salname_95-V3.pdf

۴. اطلاعات کارگاه‌های با تعداد کارکن کمتر، به‌دلیل در دسترس نبودن داده و تأثیر کم آن بر اشتغال آورده نمی‌شود.

واحد محاسبه آمار بخش کشاورزی شامل گندم، گوشت قرمز و شکر بر اساس هزار تن بوده که لازم است با سایر واحدهای مربوط به ماتریس ضریب سرمایه سازگار بوده و براساس واحد پولی باشد که به همین منظور باید در قیمت‌های متناظرشان ضرب شوند. قیمت گندم، گوشت قرمز و شکر، از شاخص بهای کالاهای مصرفی برای سال ۱۳۹۵ از بانک مرکزی اخذ شد و موجودی انبار بخش کشاورزی برحسب واحد پول است. مقدار موجودی انبار دو بخش کشاورزی و صنعت نیز به‌ترتیب برابر ۱۷۸ هزار میلیارد ریال و ۲۱۹۶ هزار میلیارد ریال است (اکبری و امینی، ۱۴۰۲).

در نهایت، جدول داده-ستانده پویا در ۹ بخش ادغام شده شامل کشاورزی، نفت، معدن، صنعت، آب، برق و گاز، ساختمان، حمل‌ونقل، ارتباطات و سایر خدمات تهیه می‌شود.

کاربرد دیگر جدول داده-ستانده در این پژوهش برای تعیین سهم فناوری قدیم و جدید تولید است. فرض می‌شود سرمایه‌گذاری R&D به‌صورت بهبود فناوری قدیمی یا ایجاد فناوری جدید است. پس در این مدل، دو فناوری در یک بخش، وزن نسبی خود را در تولید مبادله می‌کنند. برای ارزیابی آنها، جدول داده-ستانده در دو سال ۱۳۸۹ و ۱۳۹۵ به‌کار می‌رود، با این فرض که جدول سال ۱۳۸۹ معیار فناوری قدیمی و جدول ۱۳۹۵، شامل داده R&D در بخشی تحت عنوان تحقیق و توسعه علمی، مبنای فناوری جدید است.

آمار سرمایه‌گذاری R&D از اطلاعات جدول داده-ستانده ۱۳۹۵ تهیه می‌شود. با استفاده از نتایج محاسبه وزنی از دو جدول و ضریب پیشرفت فناوری ناشی از سرمایه‌گذاری R&D، ساختار داده-ستانده پویا تعدیل می‌شود. برای تکمیل تحلیل و برجسته کردن نقش سرمایه‌گذاری R&D در اقتصاد، علاوه بر ضریب فناوری برگرفته از جدول داده-ستانده سال ۱۳۹۵، با الهام از برنامه هفتم توسعه، ضریب فناوری دیگری با نرخ سرمایه‌گذاری R&D انتخابی برآورد می‌شود تا به واسطه آن، ضرایب سرمایه بین بخشی با نرخ جدید تعدیل شود. به این ترتیب، سه ضریب سرمایه وجود دارد. نخست، ضریب بدون در نظر گرفتن سرمایه‌گذاری R&D؛ دوم، ضریب تعدیل شده با نرخ سرمایه‌گذاری R&D از جدول داده-ستانده سال ۱۳۹۵ و سوم، ضریب تعدیل شده با نرخ سرمایه‌گذاری R&D برآوردی است. در نهایت، اثر سرمایه‌گذاری R&D بر سرمایه لازم جهت تحقق رشد برنامه‌ریزی شده (در اینجا برنامه ششم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی به‌دلیل همزمانی با جدول داده-ستانده مورد مطالعه) از طریق مدل داده-ستانده پویا، برآورد می‌شود.

جدول (۱) مقدار موجودی سرمایه خالص و موجودی انبار[۱] بخش‌ها را نشان می‌دهد:

---

۱. موجودی انبار هر فعالیت کالاهایی است که آن فعالیت تولید و انبار کرده و می‌خواهد در دوره بعد به سایر بخش‌ها بفروشد، لذا بین بخش‌های خریدار باید توزیع گردد. به این ترتیب، موجودی انبار هر بخش به روش نرمال کردن بر مبنای ارقام ستون متناظر در ماتریس A توزیع می‌شود. ماتریس A نرمالایز حاصل تقسیم درایه ماتریس A بر جمع ستونی ماتریس A است. با نسبت‌های به دست‌آمده، می‌توان موجودی انبار را بین بخش‌ها توزیع کرد.

جدول ۱: موجودی سرمایه خالص و موجودی انبار بخش‌ها در سال ۱۳۹۵(هزار میلیارد ریال)

Table.1: Net capital stock & inventory of sectors in 2016 (trillion rials)

بخش	ساختمان	ماشین‌آلات	موجودی انبار کشاورزی	موجودی انبار صنعت
کشاورزی	۱۵۰۴	۵۶۳	۴۸	۱۹۱
نفت	۱۳۵۰	۳۴۹	۳/۶	۱۹۰
معدن	۵۸	۳۳۸	۰/۳۲	۷۳/۴
صنعت	۴۵۷	۳۹۸۸	۶۹/۲	۱۱۳۳
آب و برق و گاز	۲۲۷۵	۵۵۶	۴/۰۱	۱۰۰
ساختمان	۲۰۴۶۹	۳۱۷	۲/۴۷	۵/۹۳
حمل و نقل	۲۱۷۱	۲۶۴۲	۱۳/۶	۱۸۸
ارتباطات	۲۱۳	۴۶۳	۱/۲	۵/۱
سایر خدمات	۱۱۳۹۹	۲۵۰۲	۳۵/۳	۳۱۰
منبع: گزارش موجودی سرمایه (بانک مرکزی) و مرکز آمار ایران				

در جدول (۲)، ماتریس سرمایه بین بخشی نشان داده می‌شود. در این جدول، مقدار موجودی سرمایه خالص به‌صورت سطری و موجودی انبار به‌صورت ستونی وارد می‌شود.

جدول ۲: ماتریس سرمایه بین بخشی به قیمت ثابت ۱۳۹۵ (هزار میلیارد ریال)

Table.2: Capital matrix in constant prices in 2016(trillion rials)

بخش‌ها	کشاورزی	نفت	معدن	صنعت	آب، برق و گاز	ساختمان	حمل‌ونقل	ارتباطات	سایر خدمات
کشاورزی	۴۸	۰	۰	۱۹۱	۰	۰	۰	۰	۰
نفت	۳/۶	۰	۰	۱۹۰	۰	۰	۰	۰	۰
معدن	۰/۳۲	۰	۰	۷۳/۴	۰	۰	۰	۰	۰
صنعت	۶۳۲	۳۴۹	۳۳۸	۵۱۲۲	۵۵۶	۳۱۷	۲۶۴۲	۴۶۲	۲۵۰۲
آب، برق و گاز	۴/۰۱	۰	۰	۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۰
ساختمان	۱۵۰۷	۱۳۵۰	۵۸	۴۶۳	۲۲۷۵	۲۰۴۶۹	۲۱۷۱	۲۱۳	۱۱۴۰۰
حمل‌ونقل	۱۳/۶	۰	۰	۱۸۸	۰	۰	۰	۰	۰
ارتباطات	۱/۱۲	۰	۰	۵/۰۸	۰	۰	۰	۰	۰
سایر خدمات	۳۵/۳	۰	۰	۳۱۰	۰	۰	۰	۰	۰
مأخذ: یافته‌های پژوهش									

هر درایه ماتریس سرمایه بین بخشی جدول (۲)، K_{ij}، مقدار کالای سرمایه‌ای مبادله شده بین بخش i و j است. جدول (۳) ماتریس ضرایب سرمایه‌ای، حاصل تقسیم این مقادیر به ستانده کل، را نشان می‌دهد.

جدول ۳: ماتریس ضرایب سرمایه‌ای بین بخشی سال ۱۳۹۵

Table.3 Capital Coefficients matrix in 2016

بخش‌ها	کشاورزی	نفت	معدن	صنعت	آب، برق و گاز	ساختمان	حمل‌ونقل	ارتباطات	سایر خدمات
کشاورزی	۰/۰۲	۰	۰	۰/۰۳	۰	۰	۰	۰	۰
نفت	۰/۰۰۲	۰	۰	۰/۰۳	۰	۰	۰	۰	۰
معدن	۰/۰۰۰۱	۰	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰	۰	۰
صنعت	۰/۲۹	۰/۲	۱/۹۹	۰/۸	۰/۹۸	۰/۰۸	۱/۶	۱/۴	۰/۳۹
آب، برق و گاز	۰/۰۰۲	۰	۰	۰/۰۲	۰	۰	۰	۰	۰
ساختمان	۰/۷	۰/۷۸	۰/۳۴	۰/۰۸	۳/۹۹	۴/۹۶	۱/۳۲	۰/۶۵	۱/۷۷
حمل‌ونقل	۰/۰۰۶	۰	۰	۰/۰۳	۰	۰	۰	۰	۰
ارتباطات	۰/۰۰۱	۰	۰	۰/۰۰۱	۰	۰	۰	۰	۰
سایرخدمات	۰/۰۲	۰	۰	۰/۰۵	۰	۰	۰	۰	۰
جمع	۱/۰۴	۰/۹۸	۲/۳۴	۱/۰۹	۴/۹۷	۵/۰۴	۲/۹۲	۲/۰۵	۲/۱۶
مأخذ: یافته‌های پژوهش									

ضریب سرمایه بخش کشاورزی ۱/۰۴ است، یعنی این بخش برای تولید یک واحد محصول از سایر بخش‌ها، ۱/۰۴ واحد سرمایه نیاز دارد . این رقم برای بخش نفت ۰/۹۸، معدن ۲/۳۴، صنعت ۱/۰۹، آب، برق و گاز ۴/۹۷، ساختمان ۵/۰۴، حمل‌ونقل ۲/۹۲، ارتباطات ۲/۰۵ و سایر خدمات ۲/۱۶ است.

بالاترین ضریب به بخش ساختمان اختصاص دارد و به‌دلیل نسبت ماهیت تولیدات این بخش بوده که سرمایه‌بر است. سپس بخش آب، برق و گاز بالاترین ضریب سرمایه بخشی را دارد که به‌دلیل کاربرد تکنولوژی بالاتر و با سرمایه‌بری بیشتر است. بخش معدن که سهم سرمایه آن بیشتر بوده، مبتنی بر ماشین‌آلات است و ضریب سرمایه بالایی دارد. همین استدلال برای بخش ارتباطات که به فناوری نو و گران‌قیمت نیاز دارند و بخش حمل‌ونقل که حجم بالایی ماشین‌آلات دارد، دلالت می‌کند.

۱-۴. سرمایه‌گذاری R&D

برای نمایش اثر سرمایه‌گذاری R&D بر اقتصاد در چهارچوب داده-ستانده پویا، لازم است اثر آن بر ساختار مدل داده-ستانده پویا، ضرایب داده و ضرایب سرمایه، بررسی شود. برای نشان دادن اثر سرمایه‌گذاری از دو ماتریس قطری W_t و P_t استفاده می‌شود. W_t ماتریس وزنی سهم تولید با فناوری قدیمی از مجموع تولید با فناوری قدیمی و جدید ناشی از سرمایه‌گذاری R&D و P_t ماتریس ضریب پیشرفت فناوری است.

رابطه (۸)، وزن هر فناوری را نشان می‌دهد و نتیجه آن یعنی w_j^t، سهم ستانده تولید شده با سطح فناوری قدیمی از ستانده کل دوره t است. $1-w_j^t$، سهم ستانده تولید شده با سطح فناوری جدید ناشی از سرمایه‌گذاری R&D از کل تولید را نشان می‌دهد. بنابراین، سهم فناوری قدیمی با جدول داده-ستانده سال ۱۳۸۹ و سهم فناوری جدید با جدول ۱۳۹۵ تعیین می‌شود؛ اما لازم است برای وزن‌دهی دقیق‌تر، ارزش مقدار ستانده بخش‌ها در سال ۱۳۸۹ با تورم‌های سالانه تا سال ۱۳۹۵ تعدیل شود. در این شرایط، سهم‌های اختصاص یافته به ستانده هر سالی واقعی‌تر است. ماتریس قطری W_t و $I-W_t$ برای تعدیل ضریب داده و ضریب سرمایه بین بخشی متناسب با سهم فناوری‌ها در تولید ستانده تشکیل می‌شود.

منحنی لجستیک در رابطه (۳) پیشرفت فناوری بخش j ناشی از سرمایه‌گذاری R&D را نشان می‌دهد. فرض شده a_{0j}، مقیاس اولیهٔ تغییر فناوری بوده که در آن، سرمایه‌گذاری R&D وجود ندارد. پس ضریب فنی جدول داده-ستانده سال ۱۳۸۹ که در این پژوهش نشان‌دهنده فناوری قدیمی بوده، می‌تواند به‌عنوان معیاری برای مقیاس اولیه تغییر فناوری باشد. برای نمایش مقیاس اولیه تغییر فناوری هر بخش با یک عدد، جمع ستونی درایه‌های a_{0j} ماتریس ضرایب فنی به‌کار گرفته می‌شود که خرید نهاده‌های واسطه‌ای توسط بخش j از سایر بخش‌ها را نشان می‌دهد. a_{sj} سطح اشباع تغییر فناوری بوده که بنابر تعریف چرخه عمر فناوری، آغاز کاهش نقش فناوری در اقتصاد یا حذف آن

است. ازآنجایی‌که سطح اشباع مرز مشخصی ندارد، فرض می‌شود، مقیاس اولیه تغییر فناوری در همه بخش‌ها در نهایت در مرز ۰/۰۱ به سطح اشباع می‌رسد.

K_j رابطه (۴) نسبت رشد سرمایه‌گذاری R&D بخش j به متوسط نرخ رشد مخارج R&D همه بخش‌ها است. اطلاعات درباره سرمایه‌گذاری (مخارج) R&D بخش‌ها برای استخراج نرخ رشد آن وجود ندارد، بنابراین، از شاخص دیگری استفاده می‌شود. به این منظور، فرض می‌شود، نرخ رشد سرمایه‌گذاری R&D هر بخش معادل میانگین ساده نرخ رشد تولید همان بخش از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۵ است. براساس گزارش بانک مرکزی، میانگین ساده نرخ رشد طی این سال‌ها برای بخش کشاورزی ۳/۶ درصد، نفت ۲/۷۵ درصد، معدن ۷/۴۵ درصد، صنعت ۴/۰۵ درصد، آب، برق و گاز ۵/۴۱ درصد، ساختمان (شامل بخش مستغلات) ۲/۷۴ درصد، حمل‌ونقل ۵/۰۵ درصد، ارتباطات ۵/۰۵ درصد و سایر خدمات ۱/۷۱ درصد است. $\overline{\%RD_j}$ میانگین ساده نرخ رشد سرمایه‌گذاری R&D همه بخش‌ها نیز معادل میانگین ساده نرخ رشد تولید بخش در نظر گرفته می‌شود که معادل ۴/۲ درصد است. K_j نسبت نرخ رشد هر بخش به میانگین نرخ رشد بخش‌ها است.

بزرگی K_j حاکی از تغییر شدیدتر فناوری بوده و درجه تغییر فناوری رخ داده در بخش j را تعیین می‌کند. به عبارتی، تعیین می‌کند که فناوری جدید ناشی از سرمایه‌گذاری R&D بخش j با چه سرعتی به حداکثر بهره‌وری منجر می‌شود. نکته مهم دیگر این است که مقدار K_j به نرخ رشد نسبی مخارج R&D بخش j در مقایسه با میانگین اقتصاد بستگی دارد.

K_j در ۹ بخش مورد مطالعه، نشان می‌دهد، بخش معدن با توجه به متوسط رشدی که در بیش از یک دهه گذشته داشته، بیشتر از سایر بخش‌ها از تغییر فناوری ناشی از سرمایه‌گذاری R&D بهره‌برداری می‌کند. بخش‌های بعدی که بیش از سایر بخش‌ها از پیشرفت فناوری ناشی از سرمایه‌گذاری بهره‌مند شدند، آب، برق و گاز، حمل‌ونقل، ارتباطات و صنعت است. بخش کشاورزی، نفت و سایر خدمات نیز از پیشرفت فناوری، کمتر از بقیه بهره می‌برد. در بخش نفت، می‌توان آن را به هزینه بالای پیاده‌سازی فناوری‌های نوین در این بخش نسبت داد که بعضاً صرفه اقتصادی نداشته و نتوانسته مدیران را برای اجرا و عملیاتی کردن آن متقاعد کند.

M_0 میانگین زمان تحقق رشد بالقوه بوده و براساس M_j در رابطه (۵)، این زمان با پیشرفت فناوری ناشی از سرمایه‌گذاری R&D تعدیل می‌شود. عمر مفید سرمایه R&D در گزارش بانک مرکزی (۱۴۰۱: ۵۶) معادل ۱۰ سال تعریف شده، بنابراین، فرض می‌شود M_0، میانگین زمان تحقق رشد بالقوه، برابر با ۱۰ است.

RD_j عامل مقیاس سرمایه‌گذاری R&D در رابطه (۶) نسبت RD_j^E متوسط مخارج R&D بخش j و $\overline{RD_j^E}$ متوسط مخارج کل است. اگر $RD_j > 1$ باشد، یعنی بخش j درمقایسه با میانگین سایر بخش‌ها، به پیشرفت فناوری وابسته و حساس‌تر بوده، پس زمان تحقق رشد بالقوه آن در مقایسه با سایر صنایع کوتاه‌تر است.

آمار منتشر شده در ماتریس مبادلات واسطه‌ای بین بخشی جدول داده-ستانده سال ۱۳۹۵ نشان می‌دهد، بیشترین مخارج R&D در بخش خدمات، ساختمان و صنعت است، پس دستیابی به رشد بالقوه، که امکان بهره‌برداری از ظرفیت کامل تولید را نشان می‌دهد، درمقایسه با سایر بخش‌ها کمتر زمان می‌برد. بهره‌برداری از نتیجه فعالیت R&D در بخش معدن زمان‌بر است. فعالان بخش معدن به‌دلیل هزینه بالای تجهیزات و ماشین‌آلات، معمولاً برای بهره‌مندی از دستاوردهای ناشی از فعالیت R&D یک رویکرد بلندمدت دارند.

M_j زمانی که تحقق نرخ رشد بالقوه با توجه به سرمایه‌گذاری R&D نشان می‌دهد، انتظار می‌رود، زمان دستیابی به نرخ رشد با پیشرفت ناشی از سرمایه‌گذاری R&D کمتر شود، البته در شرایطی که مخارج فعلی افزایش یابد تا تأثیرگذار باشد. در این پژوهش، به‌دلیل محدودیت دسترسی به داده کافی و دقیق، اعداد به‌دست آمده برای M_j اغراق شده بوده، با این حال، برای مطالعه شروع خوبی است. به نظر می‌رسد، ارتباط معناداری با سرمایه‌گذاری یا مخارج R&D دارد و انتظار می‌رود، با افزایش آن، زمان کاهش یابد.

پیشرفت فناوری، زمانی رخ می‌دهد که $P_j^t < 1$ باشد. P_j^t شاخص فناوری جدید منجر به کاهش ستون jام ماتریس ضرایب داده می‌شود؛ یعنی یک فرایند فنی جدید در مقایسه با فرایندهای فنی قدیمی، به نهاده واسطه‌ای کمتری (از همه بخش‌ها) نیاز دارد. در افق زمانی ۱۰ ساله که معادل زمان مفروض برای تحقق نرخ رشد بالقوه است، تنها فعالان بخش سایر خدمات می‌توانند با این میزان سرمایه‌گذاری R&D، از دستاورد پیشرفت فناوری ناشی از آن بهره‌مند شوند. با طولانی شدن افق زمانی، می‌توان شاهد بود که با این حجم سرمایه‌گذاری R&D، پیشرفت فناوری در بخش ساختمان و صنعت نیز رخ داد. با این حال، با طولانی‌تر شدن افق زمانی، سایر بخش‌ها همچنان از پیشرفت فناوری بهره نمی‌برند. به هر حال، در بخش بعدی، ضرایب داده-ستانده پویا با سرمایه‌گذاری R&D در افق زمانی ۲۰ساله بررسی می‌گردد.

۲-۴. تعدیل ضرایب سرمایه بین بخشی

همان‌طور که در بخش روش‌شناسی اشاره شد، ضریب سرمایه بین بخشی از طریق دو ماتریس قطری P_t و W_t با نرخ سرمایه‌گذاری R&D واقعی تعدیل می‌شود. جدول (۴) ماتریس ضرایب سرمایه بین بخشی تعدیل شده با ماتریس P_t جدید حاصل نرخ سرمایه‌گذاری R&D برآوردی را نشان می‌دهد.

جدول ۴: ماتریس B تعدیل شده با نرخ سرمایه‌گذاری R&D واقعی سال ۱۳۹۵

Table.4: The B matrix adjusted by the real R&D investment rate in 2016

بخش‌ها	کشاورزی	نفت	معدن	صنعت	آب، برق و گاز	ساختمان	حمل‌ونقل	ارتباطات	سایر خدمات
کشاورزی	۰/۰۲	۰	۰	۰/۰۲	۰	۰	۰	۰	۰
نفت	۰/۰۰۲	۰	۰	۰/۰۲	۰	۰	۰	۰	۰
معدن	۰/۰۰۰۱	۰	۰	۰/۰۰۶	۰	۰	۰	۰	۰
صنعت	۰/۳	۰/۲۴	۲/۰۴	۰/۴۵	۰/۹۸	۰/۰۸	۱/۶	۱/۴	۰/۱۹
آب، برق و گاز	۰/۰۰۲	۰	۰	۰/۰۱	۰	۰	۰	۰	۰
ساختمان	۰/۷	۰/۹۴	۰/۳۵	۰/۰۴	۴/۰۲	۵	۱/۳	۰/۶۵	۰/۸۸
حمل‌ونقل	۰/۰۰۶	۰	۰	۰/۰۲	۰	۰	۰	۰	۰
ارتباطات	۰/۰۰۱	۰	۰	۰/۰۰۰۴	۰	۰	۰	۰	۰
سایرخدمات	۰/۰۲	۰	۰	۰/۰۳	۰	۰	۰	۰	۰
جمع	۱/۰۵	۱/۱۸	۲/۳۹	۰/۵۸	۵	۵/۰۸	۲/۹۵	۲/۰۷	۱/۰۸
جمع B قبل از تعدیل	۱/۰۴	۰/۹۸	۲/۳۴	۱/۰۹	۴/۹۷	۵/۰۴	۲/۹۲	۲/۰۵	۲/۱۶

مأخذ: یافته‌های پژوهش

مقایسه عناصر ماتریس ضرایب سرمایه بین بخشی تعدیل شده با شاخص پیشرفت فناوری ناشی از سرمایه‌گذاری R&D با عناصر ماتریس ضرایب در شرایط عدم سرمایه‌گذاری R&D نشان می‌دهد در بخش‌های صنعت و سایر خدمات، به اعتبار شاخص p_j، پیشرفت فناوری رخ داده است. در این دو بخش نیز می‌توان شاهد کاهش جمع ستونی ضریب سرمایه بین بخشی که نشان‌دهند مصرف کالای سرمایه‌ای هر بخش از سایر بخش‌ها بوده، کاهش یافته است. مقادیر شاخص p_j^t، ضریب پیشرفت فناوری با نرخ سرمایه‌گذاری R&D واقعی براساس اطلاعات جدول داده-ستانده ۱۳۹۵، بخش‌های محدودی آن هم در یک بازه زمانی طولانی‌تر از آنچه فرض شده، می‌توانند از دستاوردهای پیشرفت فناوری ناشی از این سرمایه‌گذاری بهره‌مند شوند. با این حال، با طولانی‌تر شدن افق زمانی سایر بخش‌ها نمی‌توانند از پیشرفت فناوری بهره ببرند. به این ترتیب، برای تأثیرگذاری سرمایه‌گذاری R&D باید نرخ آن در بخش‌ها افزایش یابد.

در این پژوهش، برای تعیین نرخ سرمایه‌گذاری R&D جدید از برنامه هفتم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی الهام گرفته می‌شود. یکی از سیاست‌های دولت برای ارتقاء نظام علمی، فناوری و پژوهشی در این افزایش، سهم اعتبارات پژوهش و فناوری بخش دولتی تا دو درصد تولید ناخالص داخلی است. پس فرض می‌شود، مخارج R&D هر بخش معادل دو درصد تولید آن بخش یا همان ستانده بخش‌ها در جدول داده-ستانده سال ۱۳۹۵ باشد. جدول (۵) ماتریس ضرایب سرمایه بین بخشی تعدیل شده با ماتریس P_t جدید حاصل نرخ سرمایه‌گذاری R&D برآوردی را نشان می‌دهد.

جدول ۵: ماتریس B تعدیل شده با نرخ سرمایه‌گذاری R&D برآوردی

Table.5: The B matrix adjusted by the estimated R&D investment rate

بخش‌ها	کشاورزی	نفت	معدن	صنعت	آب، برق و گاز	ساختمان	حمل‌ونقل	ارتباطات	سایرخدمات
کشاورزی	۰/۰۱	۰	۰	۰/۰۲	۰	۰	۰	۰	۰
نفت	۰/۰۰۱	۰	۰	۰/۰۲	۰	۰	۰	۰	۰
معدن	۰/۰۰۰۱	۰	۰	۰/۰۰۶	۰	۰	۰	۰	۰
صنعت	۰/۱۳	۰/۱۶	۲/۰۴	۰/۴۲	۰/۹۸	۰/۰۴	۰/۸۸	۱/۴	۰/۲
آب، برق و گاز	۰/۰۰۱	۰	۰	۰/۰۰۸	۰	۰	۰	۰	۰
ساختمان	۰/۳	۰/۶۳	۰/۳۵	۰/۰۴	۴	۲/۶۷	۰/۷۲	۰/۶۵	۰/۸۹
حمل‌ونقل	۰/۰۰۳	۰	۰	۰/۰۲	۰	۰	۰	۰	۰
ارتباطات	۰/۰۰۰۲	۰	۰	۰/۰۰۰۴	۰	۰	۰	۰	۰
سایرخدمات	۰/۰۰۷	۰	۰	۰/۰۳	۰	۰	۰	۰	۰
جمع	۰/۴۵	۰/۷۹	۲/۳۹	۰/۲۹	۴/۹۸	۲/۷۱	۱/۶	۲/۰۵	۱/۰۸
جمع Bحلت‌دوم	۱/۰۵	۱/۱۸	۲/۳۸۶	۰/۵۸	۵	۵/۰۸	۲/۹۵	۲/۰۷	۱/۰۸
جمع Bحلت‌اول	۱/۰۴	۰/۹۸	۲/۳۴	۱/۰۹	۴/۹۷	۵/۰۴	۲/۹۲	۲/۰۵	۲/۱۶

مأخذ: یافته‌های پژوهش

با تغییر نرخ سرمایه‌گذاری R&D، منحنی لجستیک که در رابطه (۳) پیشرفت فناوری ناشی از سرمایه‌گذاری R&D را نشان می‌دهد، تغییر می‌کند. نقش سرمایه‌گذاری R&D در این منحنی از طریق دو متغیر K_j و M_j است. در شرایط جدید که نرخ سرمایه‌گذاری R&D تغییر یافته، نسبت مخارج R&D هر بخش به میانگین مخارج تغییر یافته و تنها بر متغیر M_j اثر دارد؛ به‌طوری‌که این متغیر در مقایسه با حالتی که مقدار مخارج از جدول داده-ستانده ۱۳۹۵ استخراج شده، حاکی از کاهش قابل توجه زمان تحقق رشد بالقوه در بخش‌ها با افزایش مخارج R&D است.

مقایسه سه سطر پایانی جدول (۵) نشان می‌دهد، افزایش سرمایه‌گذاری R&D، ضریب سرمایه بخش کشاورزی، نفت، صنعت، آب، برق و گاز، ساختمان، حمل‌ونقل و ارتباطات را کاهش می‌دهد. بخش معدن و سایر خدمات برای کاهش ضریب سرمایه به سرمایه‌گذاری R&D بیشتری نیاز دارند. اثر این سرمایه‌گذاری بر ضرایب سرمایه بین بخشی، حاکی از کاهش تقاضای واسطه‌ای بخش‌ها می‌شود.

در ادامه، اثر آن بر سرمایه‌گذاری لازم جهت تحقق رشد برنامه‌ریزی شده در برنامه ششم توسعه (۱۴۰۰-۱۳۹۶)، به دلیل همزمانی آن با سال مورد مطالعه این پژوهش، نرخ رشد بالقوه و بهره‌وری در یک مدل داده-ستانده پویا مطالعه می‌شود.

۳-۴. برآورد سرمایه‌گذاری

سرمایه‌گذاری لازم برای تحقق اهداف طبق رابطه (۲) معادل GBX_t است. X_t ماتریس ستونی ستانده، G ماتریس قطری نرخ رشد برنامه‌ریزی شده و B ماتریس سرمایه است. برآورد سرمایه‌گذاری لازم جهت تحقق رشد برنامه‌ریزی شده در برنامه ششم توسعه برآورد می‌شود. این امر، مستلزم مشخص بودن میزان ستانده سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ مشخص باشد، براساس برنامه ششم توسعه، ستانده بخش‌ها براساس تولید سال ۱۳۹۵ (آخرین سال قبل از شروع برنامه) و با توجه به مقدار رشد پیش‌بینی شده در برنامه تعیین می‌شود.

مقدار سرمایه‌گذاری لازم با توجه به مقدار ستانده سال قبل مشخص شده، پس ستانده تا سال ۱۳۹۹ برآورد و پیش‌بینی می‌شود. ستانده سالانه برنامه ششم توسعه براساس مقدار ستانده سال ۱۳۹۵ (به قیمت ثابت) و نرخ رشد سالانه برنامه‌ریزی شده محاسبه می‌شود. با توجه به سرمایه‌گذاری R&D سه ماتریس B وجود دارد. ماتریس B_0 بدون سرمایه‌گذاری، ماتریس B_1 با نرخ سرمایه‌گذاری واقعی و ماتریس B_2 با نرخ برآوردی است. به این ترتیب، سرمایه‌گذاری لازم با توجه به مقدار ستانده و نرخ رشد برآورد شده، در سه حالت ماتریس B استخراج می‌شود. جدول (۶) سرمایه‌گذاری لازم برای تحقق اهداف در برنامه ششم توسعه در بخش‌ها را نشان می‌دهد.

مقایسه سرمایه‌گذاری لازم برای تحقق رشد هدفگذاری شده در برنامه ششم توسعه با توجه ماتریس‌های مختلف سرمایه‌ای، نشان می‌دهد، تخصیص سرمایه به واحدهای R&D در هر بخش، باعث می‌شود تا سرمایه‌گذاری لازم برای تحقق اهداف در بخش‌ها و در کل کاهش یابد. کل سرمایه‌گذاری لازم برای تحقق رشد هدفگذاری شده در حالت نخست ۱۸ درصد و در حالت دوم، ۵۳ درصد کاهش می‌یابد. سرمایه‌گذاری لازم جهت تحقق رشد کل ۸ درصدی که در برنامه ششم توسعه هدفگذاری شده، کمتر است؛ زیرا میانگین نرخ رشد هدفگذاری شده بخش‌های اقتصادی در برنامه ششم توسعه بالاتر از هشت درصد است.

جدول ۶: سرمایه‌گذاری لازم برای تحقق رشد هر بخش در برنامه ششم توسعه (هزار میلیارد ریال)

Table.6: Required investment for achieving sectoral growth in the 6th Development Plan (trillion rials)

بخش‌ها	نرخ سرمایه‌گذاری	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰	جمع سرمایه‌گذاری
کشاورزی	بدون سرمایه‌گذاری (B_0)	۱۹/۱	۲۰/۸	۲۲/۷	۲۴/۶	۲۶/۸	۱۱۴
	واقعی (B_1)	۱۲/۱	۱۳/۲	۱۴/۳	۱۵/۶	۱۶/۹	۷۲/۱
	برآوردی (B_2)	۹/۴	۱۰/۲	۱۱/۱	۱۲/۱	۱۳/۲	۵۶/۱
نفت	بدون سرمایه‌گذاری (B_0)	۱۳/۶	۱۴/۸	۱۶/۱	۱۷/۶	۱۹/۱	۸۱/۱
	واقعی (B_1)	۷/۴	۸/۱	۸/۸	۹/۶	۱۰/۴	۴۴/۳
	برآوردی (B_2)	۶/۸	۷/۵	۸/۱	۸/۹	۹/۷	۴۰/۹
معدن	بدون سرمایه‌گذاری (B_0)	۶/۶	۷/۲	۷/۹	۸/۶	۹/۴	۳۹/۷
	واقعی (B_1)	۳/۶	۳/۹	۴/۳	۴/۶	۵/۱	۲۱/۴
	برآوردی (B_2)	۳/۴	۳/۷	۴	۴/۳	۴/۷	۲۰/۱
صنعت	بدون سرمایه‌گذاری (B_0)	۱۱۶۳	۱۲۶۱	۱۳۶۸	۱۴۸۵	۱۶۱۲	۶۸۸۹
	واقعی (B_1)	۸۴۸	۹۲۱	۱۰۰۱	۱۰۸۹	۱۱۸۴	۵۰۴۴
	برآوردی (B_2)	۶۶۵	۷۲۳	۷۸۷	۸۵۷	۹۳۵	۳۹۶۷
آب، برق و گاز	بدون سرمایه‌گذاری (B_0)	۹/۴	۱۰/۲	۱۱/۱	۱۲/۱	۱۳/۲	۵۶
	واقعی (B_1)	۵/۲	۵/۷	۶/۲	۶/۷	۷/۳	۳۱/۱
	برآوردی (B_2)	۴/۷	۵/۱	۵/۶	۶/۱	۶/۶	۲۸/۲
ساختمان	بدون سرمایه‌گذاری (B_0)	۲۹۹۳	۳۲۱۰	۳۴۴۴	۳۶۹۵	۳۹۶۶	۱۷۳۰۹
	واقعی (B_1)	۲۵۸۵	۲۷۷۸	۲۹۸۶	۳۲۰۹	۳۴۵۰	۱۵۰۰۸
	برآوردی (B_2)	۱۶۸۲	۱۸۰۷	۱۹۴۱	۲۰۸۶	۲۲۴۲	۹۷۵۷
حمل‌ونقل	بدون سرمایه‌گذاری (B_0)	۱۶/۱	۱۷/۵	۱۹/۱	۲۰/۸	۲۲/۷	۹۶/۲
	واقعی (B_1)	۸/۱	۸/۸	۹/۶	۱۰/۴	۱۱/۴	۴۸/۲
	برآوردی (B_2)	۵/۱	۵/۵	۶	۶/۶	۷/۲	۳۰/۵
ارتباطات	بدون سرمایه‌گذاری (B_0)	۱/۲	۱/۳	۱/۴	۱/۵	۱/۷	۷/۱
	واقعی (B_1)	۰/۷۵	۰/۸۱	۰/۸۹	۰/۹۶	۱/۰۵	۳/۵
	برآوردی (B_2)	۰/۵۹	۰/۶۴	۰/۷	۰/۷۵	۰/۸۲	۱/۰۲
سایر خدمات	بدون سرمایه‌گذاری (B_0)	۲۰/۷	۲۲/۵	۲۴/۵	۲۶/۷	۲۹/۱	۱۲۴
	واقعی (B_1)	۱۲/۱	۱۳/۲	۱۴/۴	۱۵/۶	۱۷	۷۲/۳
	برآوردی (B_2)	۱۰/۳	۱۱/۲	۱۲/۲	۱۳/۳	۱۴/۵	۶۱/۶
سرمایه‌گذاری کل	بدون سرمایه‌گذاری (B_0)	۴۲۴۳	۴۵۶۶	۴۹۱۵	۵۲۹۲	۵۷۰۰	۲۴۷۱۵
	واقعی (B_1)	۳۴۸۳	۳۷۵۴	۴۰۴۶	۴۳۶۳	۴۷۰۵	۲۰۳۵۲
	برآوردی (B_2)	۲۳۹۰	۲۵۷۷	۲۷۷۹	۲۹۹۹	۳۲۳۸	۱۳۹۸۲
مأخذ: یافته‌های پژوهش							

نسبت سرمایه‌گذاری کل لازم برای تحقق رشد به مقدار تولید داخلی خالص پیش‌بینی شده در برنامه ششم توسعه، حاکی از آن است که درصورت عدم اختصاص سرمایه به R&D در بخش‌های اقتصادی ۱۸ درصد است؛ یعنی ۱۸درصد تولید به سرمایه‌گذاری اختصاص می‌یابد. در صورت سرمایه‌گذاری با R&D با توجه به مقادیر جدول داده-ستانده سال ۱۳۹۵، این سهم حدود ۱۵ درصد

بوده و در شرایطی که سرمایه‌گذاری معادل دو درصد تولید باشد، سهم سرمایه‌گذاری کل لازم برای تحقق رشد از مقدار تولید داخلی خالص، حدود ۱۰ درصد می‌شود.

کاهش میزان سرمایه‌گذاری لازم برای تحقق رشد هدفگذاری شده در برنامه ششم، با افزایش سرمایه‌گذاری R&D همراه است. به این منظور لازم است، مقایسه‌ای بین سرمایه اختصاص یافته به سرمایه‌گذاری R&D و میزان کاهش از حجم سرمایه‌گذاری لازم برای تحقق اهداف برنامه ششم توسعه انجام بگیرد که نشان دهد آیا سرمایه‌گذاری R&D صرفه اقتصادی دارد یا خیر؟

در هر دو حالت، مشاهده می‌شود، کاهش مقدار سرمایه‌گذاری موردنیاز برای تحقق رشد هدفگذاری شده در سال‌های برنامه ششم توسعه، بیشتر از سرمایه صرف شده برای R&D است. در حالت نخست که براساس جدول داده-ستانده سال ۱۳۹۵ بوده و با نرخ ۲۱/۵ درصد رشد کرده، در مجموع از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰ بالغ بر ۱۱۶ هزار میلیارد ریال در واحد R&D بخش‌ها سرمایه‌گذاری می‌شود. این در حالی بوده که منجر به کاهش ۴۳۶۳ هزار میلیارد ریال در میزان سرمایه‌گذاری موردنیاز برای تحقق رشد برنامه‌ریزی شده در برنامه ششم توسعه می‌شود. در حالتی که سرمایه‌گذاری R&D معادل دو درصد تولید بوده و با نرخ سالانه ۸ درصد رشد، حجم کل ۲۹۸۴ هزار میلیارد ریال شده و میزان صرفه‌جویی آن در سرمایه‌گذاری موردنیاز برنامه ششم توسعه ۱۰۷۳۳ هزار میلیارد ریال است.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

نتایج این پژوهش، مشابه پژوهش‌هایی با محوریت بررسی اهمیت سرمایه‌گذاری R&D حاکی از آثار مثبت سرمایه‌گذاری R&D در اقتصاد ایران است. بخش‌های اقتصادی با سرمایه‌گذاری R&D به سرمایه کمتری برای رشد هدفگذاری شده نیاز دارند. برای دستیابی به اهداف اقتصادی در افق زمانی کوتاه‌تر، لازم است منابع واحدهای R&D افزایش یابد. لازم است در این راستا، سیاست‌ها و تسهیل‌گری‌هایی از جهت حمایت مالی و حقوقی از این دست انجام گیرد تا دستاوردهای سرمایه‌گذاری R&D سریع‌تر و با پیامدهای مثبت بیشتری محقق شود. در این راستا، چند پیشنهاد حاصل از نتایج این پژوهش ارائه می‌گردد:

۱. ارائه استراتژی سیاستی مشخص برای تقویت سرمایه‌گذاری R&D: استراتژی‌ها از طریق توسعه همکاری با بخش خصوصی در راستای ارائه تسهیلات مختلف مالی و حقوقی، می‌تواند کیفیت سرمایه‌گذاری R&D را ارتقا داده و فرصت برای تجاری‌سازی پژوهش‌های عمومی و خصوصی را افزایش می‌دهد.

۲. کمک‌های مالی بلاعوض سرمایه‌گذاری R&D: بخش‌های دولتی به‌واسطه وابستگی به بودجه عمومی، می‌توانند به‌طور مستقیم به مؤسسات خصوصی پژوهشی حوزه R&D کمک کند.

۳. ارزیابی تأثیر حمایت مالی مستقیم بر فعالیت‌های R&D در صنایع مختلف: با شناسایی سرریز فعالیت‌های R&D یک بخش در سایر بخش‌ها، حمایت‌های مالی به شکل بهینه و با حداکثر بهره‌برداری‌ها در بین بخش‌های اقتصادی توزیع شود.
۴. تشویق سرمایه‌گذاری R&D در صنایع نوظهور: تشویق سرمایه‌گذاری R&D به سمت صنایع نوظهور در حوزه فناوری‌های نوین، نقش مؤثری در تحریک نوآوری و رشد سایر بخش‌ها دارد.
۵. بازنگری مقررات در جهت ترویج سرمایه‌گذاری R&D: اصلاح قوانین مالکیت معنوی یا تقویت حقوق مالکیت فکری، می‌تواند از نوآوری‌ها محافظت کند که مشوق سرمایه‌گذاری R&D است. از طرفی، با پیوستن به پروتکل و معاهده بین‌المللی، می‌توان نسبت به جذب سرمایه خارجی در این حوزه امیدوار بود.

سپاسگزاری: موردی وجود ندارد.
تأییدیه های اخلاقی: موردی وجود ندارد.
تعارض منافع: موردی وجود ندارد.
سهم نویسندگان در مقاله: نویسنده اول (۵۰ درصد)، نویسنده دوم (۵۰ درصد)
منابع مالی / حمایت‌ها: وجود ندارد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

References

Akbari, N., & Amini, M. (2023). Estimating the investment required to achieve the goals of the sixth economic development program based on the national dynamic input-output table. *Journal of Applied Economics Studies in Iran*, *12*(47): 9-36. https://doi:10.22084/aes.2023.27447.3558 [In Persian]

Asiaei, M. (2010). Calculating the matrix of intersectoral capital coefficients in Iran's economy for 1370. *Iranian Economic Research Quarterly*, *3*(9): 127-160. [In Persian]

Banouei, A, A. (1989). Planning Model for Iran in Input-Output Framwork: An Emprical Analysis. Unpublished PhD. thesis, University of Bombay, India, chapter 8.

Bazzazan, F. (2002), A Dynamic Input-Output Price Model with Application to Iran. Published PhD Thesis, University of Liverpool, UK.

Duchin, F., & Szyld, D. (1985). A dynamic input-output model with assured positive output. *Metroeconomica*, 37, 269-282. DOI: 10.1111/j.1467-999X.1985. tb 00415.x

Edler, D. & Ribakova, T. (1993). The Leontief-Duchin-Szyld dynamic input-output model with reduction of idle capacity and modified decision function. *Structural Change & Economic Dynamics*. 4. 279-297. DOI: 10.1016/0954-349X(93)90020-K

Gurgul, H., & Lach, Ł. (2016). Simulating evolution of interindustry linkages in endogenous dynamic IO model with layers of techniques. *Metroeconomica*. 67 (4). 632-666. DOI:10.1111/meca.12112

Gurgul, H. & Lach, Ł. (2019). On approximating the accelerator part in dynamic input-output models. *Cent. Eur. J. Oper. Res.*, *27*(1). 219-239. DOI: 10.1007/s10100-017-0502-y

Kurz, H., & Salvadori, N. (2000). The Dynamic Leontief Model and the theory of endogenous growth. *Economic Systems Research*. 12. 255-265. DOI:10.1080/09535310050005734

Leontief, W. (1951). *The Structure of American Economy, 1919-1939: An Empirical Application of Equilibrium Analysis* (2d ed, enlarged). New York: Oxford University Press. DOI:10.1017/S0022050700054899

Leontief, W., & Duchin, F. (1986). *The Future Impact of Automation on Workers*. New York, Oxford University Press. DOI:10.2307/2233398

Liu, T. (2019). R&D expenditure, spillovers & productivity-empirical study of Taiwanese optoelectronic industry. *Asian Economic & Financial Review*. 9. 888-900. DOI:10.18488/journal.aefr.2019.98.888.900

Los, B. (2001). Endogenous Growth & Structural Change in a Dynamic Input-Output Model, Economic Systems Research, 13:1, 3-34. DOI:10.1080/09535310120026229

Lucas, R. (1989). On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*, 22. 3-42. DOI:10.1016/0304-3932(88)90168-7

Miller, R., & Blair, P. (2022). *Input-Output Analysis Foundations and Extensions*. Publisher: Cambridge University Press. DOI:10.1017/9781108676212.015

Nouri, F. (2012). Evaluation of partial investment in the third economic, political & socio-cultural development plan. Master's thesis. Alzahra University Faculty of Social and Economic Sciences. [In Persian]

Pan, H. (2006). Dynamic & endogenous change of input-output structure with specific layers of technology. *Structural Change and Economic Dynamics*. 17. 200-223. DOI:10.1016/j.strueco.2005.05.003

Pan, H., & Kohler, J. (2007). Technological change in energy systems: Learning curves, logistic curves & input-output coefficients. *Ecological Economics*. 63. 749-758. DOI:10.1016/j.ecolecon.2007.01.013

Romer, P. (1986). Increasing returns & long run growth. *Journal of Political Economy*, 94. 1002-37. DOI:10.1086/261420

Ryaboshlyk, V. (2014): *Crisis & Embodied Innovations: Fluctuating Trend Vs Fluctuations Around Trend, the Real Vs the Financial, Variety Vs Average*. Palgrave Macmillan, New York. DOI:10.1057/9781137477071

Solow, R. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *Quarterly Journal of Economics*, *70*(1): 65-94. DIO:10.2307/1884513

Solow, R. (1957). Technical change and the aggregate production function. *The Review of Economics & Statistics*, 39, 312-320. DIO: 10.2307/1926047

Zhang, J.S. (2001). Iterative method for finding the balanced growth solution of the nonlinear dynamic input-output model and the dynamic CGE model. *Economic Modelling*, *18*(1), 117-32. DIO: 10.1016/S0264-9993(00)00031-6

Zhang, J. (2008). A multisector nonlinear dynamic input–output model with human capital. *Economic Systems Research*, *20*(2), 223–37. DIO: 10.1080/09535310802075463

Zhang, W., Zhang, T., Li, H., & Zhang, H. (2022). Dynamic spillover effects of R&D and digital inputs in China's manufacturing industry under technological progress. *Technology in Society*. 71. 102129. DIO: 10.1016/j.techsoc.2022.102129