Quarterly Journal of Urban and Regional Development Planning
Vol. 10 , No. 35, Winter 2026, P 85-126
www. urdp.atu.ac.ir
DOI: 10.22054/urdp.2025.87263.1718

ATU PRESS

Original Reserch Accepted: 27/11/2025 Review: 8/10/2025 Received:30/7/2025 ISSN: 2476-5864 eISSN: 2476-6402

The Impact of the Digital Economy on Urban Green Growth (Environmentally Friendly)

Amanullah Baloch — PhD Student, Department of Economics, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

Mehrzad Ebrahimi * — Associate Professor, Department of Economics, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

Hashem Zare — Associate Professor, Department of Economics, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran.

1. Introduction

The digital economy plays a vital role in reshaping economic and social structures and promoting urban green growth. Through advanced technologies and online markets, it enhances productivity and reduces resource use—an urgent need for Iranian metropolises facing environmental pressures. Digitalization lowers information costs, fosters green innovations, and improves the quality of economic growth while supporting environmental targets. As main centers of energy consumption and emissions, cities demand innovative solutions, and the digital economy, through spatial spillovers, can spread green benefits to surrounding regions. Yet, challenges such as inadequate digital infrastructure and limited skilled labor hinder its full potential. This study explores the digital economy's effect on urban green growth across six Iranian metropolises, using empirical data to provide insights for policymakers seeking to advance sustainable digital transformation strategies.

Research Questions

How and through what pathways does the digital economy influence urban green growth in Iran?

* Corresponding Author: ebrahimi46@iau.ac.ir

How to Cite: Baloch, A; Ebrahimi, M; Zare, H .(2026). The impact of the digital economy on urban green growth (Environmentally friendly), *Journal Urban and Regional Development Planning*, 10 (35). 1-126.

2. Literature Review

Empirical evidence increasingly recognizes the digital economy as a major driver of green growth and sustainable urban transformation. Liang and Cao (2025), analyzing 278 Chinese cities (2012–2023), show that digitalization promotes low-carbon urban development by optimizing industrial structures and improving resource allocation. Likewise, Bai and Xin (2025) find that digital expansion in 279 cities enhances green growth through higher energy efficiency and reduced emissions, while Liu, Pang, and Liu (2024), using panel data from 252 cities (2011–2019), confirm its positive effect on green total factor productivity via technological innovation and human capital upgrading.

At a broader scale, Hao et al. (2023) demonstrate that digital transformation in 30 Chinese provinces (2013–2019) accelerates green economic growth by advancing industrial upgrading and fostering innovation. Collectively, these studies verify that the integration of digital and green economies can significantly boost environmental productivity and sustainable competitiveness.

In Iran, despite limited research, emerging evidence indicates similar patterns, as digitalization supports energy efficiency and emission reduction while lowering transaction costs. Yet, uneven digital infrastructure and regional disparities hinder progress. Consequently, developing comprehensive city-level indicators for evaluating Iran's digital economy remains a key research and policy priority.

3. Methodology

This study uses the SBM (Slacks-Based Measure) model in data envelopment analysis to measure the efficiency of urban green growth. The SBM model was selected because of its ability to simultaneously calculate desirable outputs (economic production) and undesirable outputs (pollution) and also to consider deficiencies in inputs and outputs (Tone, 2004; Zhu, Liang, & Liu., 2020). Six Iranian metropolises (Tehran, Karaj, Isfahan, Mashhad, Tabriz, Shiraz) were selected as decision-making units during the period 2019-2023. Inputs included labor, capital, and energy, and outputs included real GDP and greenhouse gas emissions. MAXDEA Pro 8.5 and STATA 17 software were used to calculate efficiency. This method comprehensively evaluates the efficiency of metropolises and provides solutions for optimizing resource consumption and reducing pollution.

4. Results

Based on the SBM model, Tehran ranks first ($\rho*=1.00$) as the benchmark for digital development, followed by Mashhad ($\rho*=0.95$) and Isfahan ($\rho*=0.85$), while Karaj records the lowest efficiency ($\rho*=0.65$). Spillover analysis highlights Tehran's

significant role, with 0.5% direct and 0.2% indirect effects on neighboring GDPs. Digital economy indicators also confirm Tehran's leading position (0.89), followed by Mashhad (0.72) and Isfahan (0.65).

Cobb–Douglas analysis reveals stronger capital, output, and labor performance in Tehran, while Tabriz ranks lowest. The contrast between Tehran's positive total factor productivity (TFP) and Mashhad's negative TFP suggests structural labor imbalances. Regression results identify the digital economy as the strongest driver of green growth ($\beta=0.42$), whereas industrial structure negatively affects it ($\beta=-0.25$). Urbanization and environmental regulations show positive contributions. Overall, Tehran should focus on green transport and renewable energy, while other cities require improved infrastructure and resource management.

5. Discussion and Conclusion

This study examines the influence of the digital economy on urban green growth in Iranian metropolises. Findings show that digitalization promotes green growth by improving resource efficiency and fostering green technological innovation, though its effects vary across cities. The experience of Mashhad and Isfahan indicates the importance of combining digital strategies with green policies, while Tehran's weaker performance reveals the limits of digitalization without structural reform. To avoid the "digital productivity paradox," the study recommends advancing green digital programs, supporting innovation funds, and enhancing regional governance. Implementing digital green cities and urban living labs can further align digital progress with sustainable urban transformation in Iran.

Keywords: Digital Economy, Green Urban Growth, Sustainable Urban Growth, Spillover Effects, Green Innovation, Smart Cities

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

فصلنامه برنامه‌ریزی توسعه شهری و منطقه‌ای
دوره دهم، شماره ۳۵، زمستان ۱۴۰۴، ص ۸۵-۱۲۶
www. urdp.atu.ac.ir
DOI: 10.22054/urdp.2025.87263.1718

مقاله پژوهشی
تاریخ دریافت:۱۴۰۴/۵/۸
تاریخ بازنگری:۱۴۰۴/۷/۱۶
تاریخ پذیرش:۱۴۰۴/۹/۶
ISSN: 2476-5864
eISSN: 2476-6402

تأثیر اقتصاد دیجیتالی بر رشد سبز شهری (دوستدار محیط‌زیست)

امان‌الله بلوچ — دانشجوی دکترای گروه اقتصاد، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

مهرزاد ابراهیمی* — دانشیار گروه اقتصاد، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

هاشم زارع — دانشیار گروه اقتصاد، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

چکیده

این پژوهش با استفاده از روش‌شناسی ترکیبی (کمی–کیفی) و داده‌های پانل، به بررسی تأثیر اقتصاد دیجیتال بر رشد سبز در کلان‌شهرهای تهران، مشهد، اصفهان، تبریز، شیراز و کرج در بازه زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۳ می‌پردازد. نمونه‌گیری هدفمند و بر اساس دسترسی به داده‌های کامل و تنوع جغرافیایی–اقتصادی انجام‌شده است. داده‌ها از منابع معتبر شامل مرکز آمار ایران، بانک مرکزی و سازمان حفاظت محیط‌زیست گردآوری‌شده‌اند. تحلیل داده‌ها با بهره‌گیری از مدل Super-SBM برای خروجی‌های نامطلوب زیست‌محیطی، مدل خودرگرسیون فضایی برای اثرات سرریز مکانی، و رگرسیون پانل دیتا با اثرات ثابت صورت گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که اقتصاد دیجیتال از طریق کاهش ۳۰ درصدی عدم تطابق منابع و افزایش نوآوری‌های فناوری سبز بر رشد سبز تأثیرگذار است. مشهد و اصفهان به ترتیب با شاخص‌های GGI معادل ۱,۱۵ و ۱,۰۸ بهترین عملکرد را در این زمینه داشته‌اند، درحالی‌که تهران به دلیل سهم ۲۵ درصدی صنایع آلاینده، نتوانسته است به پتانسیل کامل خود دست یابد (GGI=0.92). همچنین، توسعه اقتصاد دیجیتال در تهران تأثیر مثبتی بر رشد سبز کرج و اسلام‌شهر داشته است. برای بهره‌برداری بهینه از مزایای اقتصاد دیجیتال، تدوین برنامه‌های تحول دیجیتال سبز، ایجاد صندوق‌های نوآوری سبز و طراحی چارچوب‌های حکمرانی منطقه‌ای پیشنهاد می‌شود. این نتایج می‌توانند راهگشای سیاست‌گذاران شهری در ایران و کشورهای درحال‌توسعه باشند و مسیرهای نوینی برای تحقیقات آینده در حوزه فناوری‌های نوین ارائه دهند.

کلیدواژه‌ها: اقتصاد دیجیتال،رشد سبز شهری، رشد شهری پایدار، اثرات سرریز، نوآوری سبز، شهرهای هوشمند

* نویسنده مسئول: ebrahimi46@iau.ac.ir

مقاله حاضر برگرفته از رساله دکتری رشته اقتصاددانشگاه آزادشیراز است.

مقدمه

اقتصاد دیجیتال، با تکیه‌بر فناوری‌های نوظهور، نقش حیاتی در تحقق رشد سبز شهری ایفا می‌کند. این اقتصاد با افزایش بهره‌وری، کاهش مصرف منابع و محدود کردن آلاینده‌های زیست‌محیطی، مسیر توسعه پایدار را هموار می‌سازد. (Miao, 2021) همچنین، با کاهش هزینه‌های مبادله اطلاعات و تسهیل نوآوری‌های سبز، به‌ویژه در کلان‌شهرهای با ساختار صنعتی ناکارآمد، به بهبود کیفیت رشد اقتصادی و دستیابی به اهداف زیست‌محیطی کمک می‌کند. (Tang, et al., 2021)

در سطح جهانی، اقتصاد دیجیتال به‌عنوان راهکاری کلیدی برای مقابله با چالش‌های زیست‌محیطی شهرها در کشورهای درحال‌توسعه معرفی‌شده است (Tapscott, 1995; Turcan et al., 2014; Sourskov & Senchenko, 2021) این اقتصاد از طریق اثرات سرریز فضایی، منافع رشد سبز را به نواحی پیرامونی گسترش می‌دهد و با کاهش ناهماهنگی در توزیع منابع و ارتقای فناوری‌های سبز، توسعه پایدار مناطق همجوار را تسریع می‌کند (Lange et al., 2021; Savchenko & Borodina, 2020) بااین‌حال، ضعف زیرساخت‌های دیجیتال، کمبود نیروی متخصص و نبود سیاست‌های انگیزشی، موانع مهمی در مسیر بهره‌برداری از این ظرفیت‌ها هستند (Wang, et al., 2021).

باوجود رشد ادبیات موضوع، شکاف‌های پژوهشی متعددی وجود دارد. ازجمله این شکاف‌ها می‌توان به بی‌توجهی به اثرات سرریز فضایی اقتصاد دیجیتال در مطالعات داخلی اشاره کرد. درحالی‌که پژوهش‌های بین‌المللی نشان می‌دهند این اثرات تا ۴۰ درصد رشد سبز مناطق مجاور را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Li, et al., 2021). همچنین، استفاده از شاخص‌های تک‌بعدی مانند نرخ نفوذ اینترنت، موجب تقلیل ابعاد پیچیده اقتصاد دیجیتال شده است. در مقابل، شاخص‌های ترکیبی چندبعدی می‌توانند ارزیابی دقیق‌تری ارائه دهند (Ren, et al., 2021). از سوی دیگر، نبود مطالعات تطبیقی با کشورهای موفق مانند چین —که سهم اقتصاد دیجیتال در تولید ناخالص داخلی آن ۸.۳۹ درصد در مقایسه با ۴.۷ درصد در ایران است امکان بهره‌گیری از تجربیات جهانی را محدود کرده است (بانک

جهانی، ۲۰۲۲). علاوه بر این، چالش‌های بومی مانند ضعف زیرساخت‌ها و کمبود نیروی متخصص، تا ۵۰ درصد از ظرفیت رشد سبز کشور را تضعیف می‌کنند (سفیر، ۱۴۰۴).

این پژوهش با هدف پر کردن شکاف‌های فوق، به بررسی تأثیر مستقیم و غیرمستقیم اقتصاد دیجیتال بر رشد سبز شهری در شش کلان‌شهر ایران می‌پردازد. پرسش اصلی تحقیق این است: «اقتصاد دیجیتال چگونه و از چه مسیرهایی بر رشد سبز شهری در ایران تأثیر می‌گذارد؟» برای پاسخ به این پرسش، از شاخص‌های ترکیبی چندبعدی استفاده‌شده و داده‌های سطح شهری در چارچوبی یکپارچه تحلیل می‌شوند. یافته‌های این مطالعه می‌تواند به درک بهتر مکانیسم‌های اثرگذاری و ارائه راهکارهای عملی برای سیاست‌گذاران کمک کند.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

اقتصاد دیجیتال به‌عنوان پارادایم نوین اقتصادی، مبتنی بر فناوری‌های دیجیتال و بازارهای اینترنتی است که از طریق کاهش هزینه‌های مبادله اطلاعات و ایجاد بسترهای تعاملی، ساختارهای اقتصادی را متحول می‌سازد. این اقتصاد با تکیه‌بر فناوری‌هایی چون اینترنت اشیاء، هوش مصنوعی، کلان‌داده و بلاک‌چین، ظرفیت بالایی برای ارتقای بهره‌وری اقتصادی و کاهش مصرف منابع فیزیکی دارد(میائو[1]، ۲۰۲۱) .در این چارچوب، اقتصاد دیجیتال از طریق مکانیزم‌های متعددی مسیر دستیابی به رشد سبز شهری را تسهیل می‌کند.

رشد سبز شهری به‌عنوان مسیری برای تحقق توسعه پایدار، بر افزایش بهره‌وری منابع، محدودسازی آلاینده‌های زیست‌محیطی و کاهش شدت انرژی تأکید دارد. اقتصاد دیجیتال با تقویت نوآوری‌های فناورانه سبز، از طریق کاهش هزینه‌های جستجوی اطلاعات و ایجاد بسترهای تعاملی برای شرکت‌ها و مصرف‌کنندگان، زمینه‌ساز تسریع فرایند نوآوری و ارتقای بهره‌وری منابع می‌شود (تانگ و همکاران[2]، ۲۰۲۱) .در این بستر،

1. Miao
2.Tang

بنگاه‌های اقتصادی قادر خواهند بود به فناوری‌های پاک‌تر دست یابند و فعالیت‌های خود را مطابق با استانداردهای زیست‌محیطی به‌روزرسانی کنند.

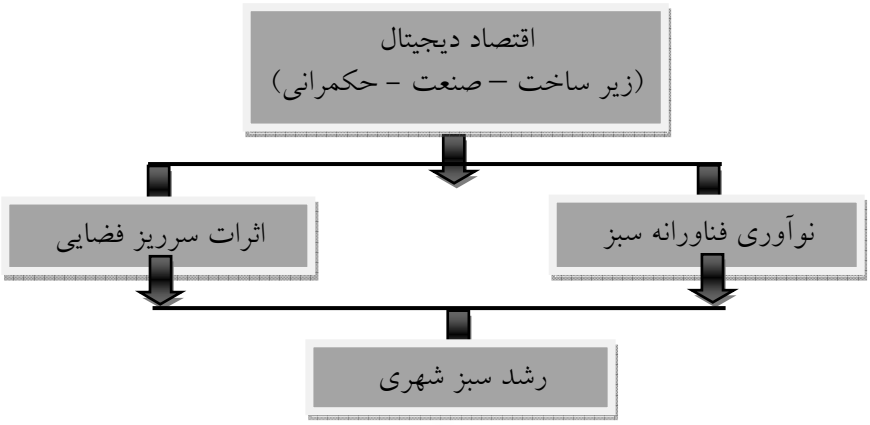
یکی از مکانیزم‌های کلیدی اثرگذاری اقتصاد دیجیتال، ایجاد اثرات سرریز فضایی است. این اثرات از طریق به اشتراک‌گذاری فناوری‌ها، انتقال سرمایه انسانی و تقلید سیاست‌های موفق، موجب تحریک رشد سبز در شهرهای کوچک‌تر و مناطق پیرامونی می‌شود(لانگ و همکاران[1]،۲۰۲۱) .این فرآیند با کاهش ناهماهنگی در توزیع منابع کار و سرمایه و ارتقای فناوری‌های سبز، نه‌تنها رشد مناطق مرکزی شهری بلکه توسعه پایدار نواحی همجوار را نیز تسریع می‌کند (ساوچنکو و بورودینا[2]، ۲۰۲۰).

بااین‌وجود، تحقق کامل این مزایا نیازمند توجه به متغیرهای تعدیل‌گری است که می‌توانند شدت و جهت اثرگذاری اقتصاد دیجیتال را تحت تأثیر قرار دهند. کیفیت زیرساخت‌های دیجیتال شهری، وجود سیاست‌های حمایتی و انگیزشی در حوزه فناوری‌های سبز، و سطح توسعه منابع انسانی متخصص ازجمله عوامل کلیدی هستند که در موفقیت مسیرهای اثرگذاری اقتصاد دیجیتال نقش تعیین‌کننده‌ای دارند (وانگ و همکاران[3]، ۲۰۲۱) .این عوامل به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه مانند ایران که با چالش‌هایی چون ضعف زیرساخت‌های دیجیتال و کمبود نیروی انسانی متخصص مواجه هستند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند.

چارچوب نظری حاضر با بهره‌گیری از نظریه رشد درون‌زا و نظریه انتشار نوآوری، زمینه تحلیلی مناسبی برای تبیین ارتباط بین اقتصاد دیجیتال و رشد سبز شهری فراهم می‌سازد. این چارچوب از یکسو بر نقش نوآوری‌های فناورانه در ایجاد رشد پایدار تأکید دارد و از سوی دیگر به مکانیزم‌های انتشار فضایی این نوآوری‌ها در سطح مناطق شهری می‌پردازد.

---

1. Langeet al.
2. Savchenko and Borodina
3. Wang et al



شکل ۱- چارچوب مفهومی مدل

مطالعات بین‌المللی اخیر نشان می‌دهد که اقتصاد دیجیتال از طریق مکانیسم‌های متعددی بر رشد سبز و توسعه پایدار شهری تأثیر می‌گذارد. لیانگ و کائو[1] (۲۰۲۵) تأثیر اقتصاد دیجیتال بر توسعه سبز و کم‌کربن شهری را بررسی کردند و به تحلیل ۲۷۸ شهر در سطح استان چین از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۳ پرداختند. این مطالعه، توسعه سبز را با استفاده از بهره‌وری کل عوامل سبز[2] که از طریق مدل SBM[3] با کارایی فوق‌العاده و شاخص جهانی مالمکوئیست-لونبرگر محاسبه می‌شود، اندازه‌گیری کردند. نتایج نشان داد که اقتصاد دیجیتال با بهینه‌سازی ساختارهای صنعتی، بهبود کارایی نوآوری سبز و افزایش کارایی تخصیص منابع، توسعه سبز را تقویت می‌کند. همچنین، نویسندگان بر ضرورت هماهنگی منطقه‌ای برای متعادل کردن رشد سبز تأکید کردند.

بای و شین[4] تحت عنوان "تأثیر اقتصاد دیجیتال بر رشد سبز شهری: شواهد تجربی از چین" نقش اقتصاد دیجیتال را در تقویت رشد سبز شهری در ۲۷۹ شهر چین از سال ۲۰۱۲

1. Liang & Qiao
2. Green Total Factor Productivity (GTFP)
3. Slacks-Based Measure
4. bai & shen

تا ۲۰۲۱ بررسی کردند. این مطالعه نشان داد که دیجیتالی شدن با بهبود بهره‌وری انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، رشد سبز را به‌طور قابل‌توجهی هدایت می‌کند. نویسندگان مکانیسم‌های واسطه‌ای مانند عدم تطابق منابع کار و سرمایه و نوآوری در فناوری سبز را شناسایی کردند و دریافتند که اثرات سرریز مکانی اقتصاد دیجیتال به رشد سبز در مناطق همسایه کمک می‌کند. همچنین، آن‌ها پیشنهاد کردند که تحقیقات آینده باید به بررسی مکانیسم‌های اضافی مانند حکمرانی دیجیتال بپردازند (ای و شین[1]، ۲۰۲۵).

لئو و همکاران[2] تحقیقی در مورد تأثیر و مکانیسم اقتصاد دیجیتال بر بهره‌وری کل عوامل تولید سبز شهری چین انجام دادند و مطالعه آنها با استفاده از داده‌های پنل از ۲۵۲ شهر چینی (۲۰۱۹-۲۰۱۱)، تأثیر اقتصاد دیجیتال بر بهره‌وری کل عوامل تولید سبز شهری[3] را بررسی کرد و تأثیر مثبت قابل‌توجهی را نشان دادند که با واسطه نوآوری فناوری و ساختار سرمایه انسانی ایجاد می‌شود. اقتصاد دیجیتال بازیافت منابع و بهره‌وری انرژی را بهبود می‌بخشد و آلودگی محیط‌زیست را کاهش می‌دهد. این مطالعه تأکید می‌کند که دیجیتالی شدن، روش‌های تولید را تغییر شکل می‌دهد و به توسعه پایدار شهری کمک می‌کند و همین‌طور آزمون‌های استحکام، ازجمله تعدیل نمونه و متغیرهای تأخیری، یافته‌ها را تأیید کردند (لئو و همکاران[4]، ۲۰۲۴).

هاو و همکاران[5] با عنوان "نقش دیجیتالی شدن بر رشد اقتصادی سبز: آیا بهینه‌سازی ساختار صنعتی و نوآوری سبز اهمیت دارد؟" تأثیر اقتصاد دیجیتال بر رشد اقتصادی سبز در ۳۰ استان چین (۲۰۱۹-۲۰۱۳) را بررسی کردند. مطالعه آنها نشان داد که دیجیتالی شدن با افزایش بهینه‌سازی ساختار صنعتی و نوآوری سبز، رشد سبز را ارتقا می‌دهد. همچنین آنها همبستگی‌های مکانی را شناسایی کردند و نشان دادند که مزایای دیجیتالی شدن می‌تواند به مناطق همسایه نیز سرایت کند درمجموع نشان دادند که اقتصاد دیجیتال با بهبود کارایی،

1. Bai & Shen
2. liu et al.
3. Green Total Factor Productivity (GTFP)
4. Liu et al
5. Hao et al.

تقویت نوآوری و بهینه‌سازی استفاده از منابع، رشد سبز شهری را به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهد (هاو و همکاران، ۲۰۲۳).

ادغام اقتصاد دیجیتال و اقتصاد سبز در مناطق شهری عوامل کلیدی هستند و نشان می‌دهند که تحول صنایع سنتی به سمت فناوری‌های کم‌کربن، بهره‌وری محیطی را بهبود می‌بخشد. این موضوع به‌ویژه در اقتصادهای نوظهور مانند چین مشهود است، جایی که دیجیتالی سازی صنعتی با کاهش ۱۵٪ شدت کربن همراه بوده است (ساوچنکو و بورودینا[1]، ۲۰۲۰.، وانگ و همکاران[2]، ۲۰۲۱).

در حوزه نوآوری‌های سبز، (ژانگ و ویگنه[3]، ۲۰۲۱) دریافتند که کارایی نوآوری فناورانه، نقش محوری در بهبود بهره‌وری سبز دارد. این یافته‌ها توسط (پن و همکاران[4]، ۲۰۲۲) تکمیل می‌شود که اقتصاد دیجیتال را به‌عنوان محرک نوآوری و ارتقای بهره‌وری کل عوامل معرفی می‌کنند. بااین‌حال، (وو و همکاران[5]، ۲۰۲۱) هشدار می‌دهند که ناهمگونی منطقه‌ای در دسترسی به فناوری‌های دیجیتال می‌تواند منجر به شکاف در تحقق اهداف رشد سبز شود، به‌طوری‌که مناطق توسعه‌یافته ۳۰٪ بیشتر از مناطق محروم از مزایای دیجیتالی سازی بهره می‌برند.

در ایران، اگرچه مطالعات کمتری به رابطه اقتصاد دیجیتال و رشد سبز پرداخته‌اند، پژوهش‌های اخیر بر نقش دیجیتالی سازی در بهبود کارایی انرژی و کاهش آلاینده‌ها تأکید دارند. برای مثال، (وانگ و همکاران[6]، ۲۰۲۱) نشان دادند که فناوری‌های دیجیتال مانند هوش مصنوعی و اینترنت اشیاء، با استانداردسازی فرآیندهای تولید، مصرف انرژی در صنایع شهری را تا ۲۰٪ کاهش می‌دهند. همچنین، (چن[7]، ۲۰۲۱) به این نتیجه رسید که توسعه پلتفرم‌های دیجیتال در کلان‌شهرهای ایران، هزینه‌های جستجوی اطلاعات برای شرکت‌های سبز را کاهش داده و انگیزه‌های نوآوری را افزایش می‌دهد. بااین‌حال،

1. Savchenko and Borodina
2. Wang et al.
3. Zhang and Vigne
4. Pan et al.
5. Wu et al.
6. Wang et al.
7. Chen

چالش‌هایی مانند ضعف زیرساخت‌های دیجیتال در مناطق مرکزی ایران (ژو و همکاران[1]، ۲۰۲۰) نبود سیاست‌های یکپارچه، مانع از تحقق کامل این پتانسیل‌ها شده است. مطالعات جدید در سال ۱۴۰۳ نیز نشان می‌دهند که تمرکز بر توسعه شاخص‌های ترکیبی برای سنجش اقتصاد دیجیتال در شهرها ضروری است، اما این شاخص‌ها هنوز در ایران به‌طور سیستماتیک توسعه نیافته‌اند.

روش

در این پژوهش، مدل تحلیل پوششی داده‌ها با رویکرد SBM[2] به‌عنوان ابزار اصلی برای سنجش کارایی رشد سبز شهری مورداستفاده قرارگرفته است. انتخاب این مدل به دلیل قابلیت آن در ارزیابی هم‌زمان خروجی‌های مطلوب نظیر تولید اقتصادی و خروجی‌های نامطلوب مانند آلاینده‌های زیست‌محیطی، و همچنین لحاظ کردن کمبودها در ورودی‌ها و خروجی‌ها صورت گرفته است. این ویژگی‌ها، مدل SBM را به گزینه‌ای مناسب برای تحلیل پایداری شهری در بستر اقتصاد دیجیتال تبدیل کرده‌اند (Tone, 2004; Zhu et al., 2020).

فرمولاسیون ریاضی مدل پایه SBM با در نظر گرفتن خروجی‌های نامطلوب به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\rho^* = \min \left(1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} \frac{s_i^-}{x_{io}}\right) \Bigg/ \left(1 + \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{s_r^+}{y_{ro}^+} + \sum_{k=1}^{s_2} \frac{s_k^-}{y_{ko}^-}\right)\right)$$

معادله ۱- فرمولاسیون مدل پایه SBM

در این مدل، *ρ شاخص کارایی سبز است که مقدار آن بین صفرتا یک قرار دارد. متغیرهای مدل شامل ورودی‌ها x_{io} (نیروی کار، سرمایه، انرژی)، خروجی‌های

1. Zhu et al.
2. Slacks-Based Measure

مطلوب +y_{ro}^ (تولید ناخالص داخلی سبز)، خروجی‌های نامطلوب) -y_{ko}^ انتشار CO_2، SO_2، فاضلاب صنعتی(، کمبودهای ورودی-s_i^ ، کمبودهای خروجی مطلوب +s_r^، و کمبودهای خروجی نامطلوب -s_k^ هستند.

فرآیند اجرایی پژوهش شامل مراحل زیر بوده است: ابتدا شش کلان‌شهر ایران شامل تهران، کرج، اصفهان، مشهد، تبریز و شیراز به‌عنوان واحدهای تصمیم‌گیری در بازه زمانی ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۳ انتخاب شدند. سپس شاخص‌های ورودی شامل تعداد شاغلان (نیروی کار)، موجودی سرمایه ثابت (سرمایه)، و مصرف برق به گیگاوات ساعت (انرژی) تعیین گردیدند. خروجی مطلوب به‌صورت تولید ناخالص داخلی واقعی بر اساس قیمت‌های ثابت سال ۲۰۱۱ تعریف شد. خروجی‌های نامطلوب نیز شامل انتشار دی‌اکسید کربن بر اساس روش IPCC ، انتشار دی‌اکسید گوگرد، و تخلیه فاضلاب صنعتی به هزار تن بودند.

برای محاسبه کارایی، از روش فاصله‌ای جهت‌دار[1] بهره گرفته شد تا امکان انعطاف‌پذیری در کاهش آلاینده‌ها و افزایش تولید فراهم گردد. همچنین شاخص پویایی فناوری سبز[2] برای تحلیل تغییرات کارایی در طول زمان به مدل افزوده شد.

در بخش تحلیل داده‌ها، نرم‌افزار MAXDEA Pro 8.5 برای اجرای مدل SBM با پشتیبانی از خروجی‌های نامطلوب و داده‌های پانلی مورداستفاده قرار گرفت. همچنین نرم‌افزار STATA 17 برای پیش‌پردازش داده‌ها و اعتبارسنجی نتایج به کار گرفته شد.

مزایای روش SBM در این مطالعه شامل حساسیت بالا به آلاینده‌ها و توانایی در محاسبه هم‌زمان کاهش آلودگی و افزایش تولید (Choi et al., 2012)، عدم نیاز به فرضیات پارامتریک و استقلال از تابع تولید که آن را برای اقتصادهای در حال گذار مناسب می‌سازد (Zhou et al., 2008)، و امکان کمّی‌سازی دقیق کمبودها در منابع، ازجمله شناسایی شهرهایی با ناکارایی انرژی بیش از ۱۵ درصد، می‌باشد.

1. Directional Distance Function
2. Green Malmquist–Luenberger Index

اعتبارسنجی نتایج از طریق تست‌های حساسیت انجام شد که شامل حذف متوالی هر شهر از نمونه[1] و جایگزینی شاخص‌های آلودگی نظیر استفاده از $PM_{2.5}$ به‌جای SO_2 بود. همچنین تحلیل پوششی دومرحله‌ای با استفاده از رگرسیون توبین بر روی نتایج SBM برای شناسایی عوامل مؤثر بر ناکارایی و کنترل ناهمگونی منطقه‌ای صورت گرفت.

در نهایت، مدل SBM با ترکیب خروجی‌های نامطلوب زیست‌محیطی و داده‌های پانلی شهری، چارچوبی جامع برای سنجش رشد سبز در بستر اقتصاد دیجیتال فراهم می‌آورد. این مدل نه‌تنها امکان ارزیابی کارایی کلان‌شهرهای ایران را در قالب یک شاخص کمّی بین صفرتا یک فراهم می‌سازد، بلکه راهکارهای عملیاتی برای کاهش کمبودهای منابع، مانند بهینه‌سازی ۲۰ درصد مصرف انرژی در تهران، ارائه می‌دهد.

این پژوهش با به‌کارگیری مدل SBM در چارچوب تحلیل پوششی داده‌ها، به سنجش کارایی رشد سبز شهری می‌پردازد. انتخاب این مدل به دلیل قابلیت آن در محاسبه هم‌زمان خروجی‌های مطلوب (تولید اقتصادی) و خروجی‌های نامطلوب (آلودگی محیطی) و همچنین در نظر گرفتن کمبودها در ورودی‌ها و خروجی‌ها صورت گرفته است (Tone, 2004; Zhu et al., 2020). فرمولاسیون ریاضی مدل SBM با در نظرگیری خروجی‌های نامطلوب به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\rho^* = \min \left(1 - \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\frac{s_i^-}{x_{io}}\right) / \left(1 + \frac{1}{s_1+s_2}\left(\sum_{r=1}^{s_1}\frac{s_r^+}{y_{ro}^+} + \sum_{k=1}^{s_2}\frac{s_k^-}{y_{ko}^-}\right)\right)$$

معادله ۲- فرمولاسیون نهایی ریاضی مدل SBM

جزئیات داده‌ها و شاخص‌های پژوهش

داده‌های مورداستفاده در این پژوهش از مراجع رسمی و معتبر ملی شامل مرکز آمار ایران، بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران و سازمان حفاظت محیط‌زیست گردآوری شده‌اند. شاخص نیروی کار با واحد اندازه‌گیری تعداد شاغلان از سالنامه‌های آماری مرکز آمار

1. Drop-one-city Test

ایران و بر اساس آمارگیری از نیروی کار استخراج شده است. شاخص سرمایه با واحد قیمت ثابت سال ۲۰۱۱ (ریال) از گزارش‌های بانک مرکزی و بر مبنای موجودی سرمایه ثابت ناخالص محاسبه گردیده است. شاخص انرژی با واحد گیگاوات ساعت (GWh) از آمارهای بخش انرژی و بر اساس مصرف برق به‌عنوان شاخص جامع انرژی استخراج‌شده که این انتخاب به دلیل در دسترس بودن داده‌های دقیق، یکپارچه و قابل‌مقایسه برای تمامی کلان‌شهرهای موردمطالعه بوده است.

شاخص خروجی مطلوب تولید اقتصادی با واحد قیمت ثابت سال ۲۰۱۱ (ریال) از گزارش‌های بانک مرکزی و بر مبنای تولید ناخالص داخلی واقعی محاسبه‌شده است. در بخش خروجی‌های نامطلوب، شاخص انتشار CO_2 با واحد هزار تن (kt) از داده‌های سازمان حفاظت محیط‌زیست و بر پایه روش‌شناسی IPCC استخراج گردیده است. این شاخص که به‌عنوان "ردپای کربنی" نیز شناخته می‌شود، میزان کل گازهای گلخانه‌ای منتشرشده را به‌صورت معادل دی‌اکسید کربن اندازه‌گیری می‌کند. شاخص انتشار SO_2 با واحد تن (t) از داده‌های سازمان حفاظت محیط‌زیست و شاخص فاضلاب صنعتی با واحد هزار تن (kt) از سالنامه‌های آماری مرکز آمار ایران استخراج‌شده‌اند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول ۱- منبع، روش جمع‌آوری و واحد اندازه‌گیری هر یک از متغیرهای پژوهش

دسته‌بندی	شاخص	منبع داده	نحوه جمع‌آوری / محاسبه	واحد اندازه‌گیری
ورودی‌ها	نیروی کار	سالنامه‌های آماری مرکز آمار ایران	آمارگیری از نیروی کار	تعداد شاغلان
	سرمایه	گزارش‌های بانک مرکزی	موجودی سرمایه ثابت ناخالص	قیمت ثابت سال ۲۰۱۱ (ریال)
	انرژی	آمارهای بخش انرژی	مصرف برق به‌عنوان شاخص جامع	گیگاوات ساعت (GWh)
خروجی مطلوب	تولید اقتصادی	گزارش‌های بانک مرکزی	تولید ناخالص داخلی واقعی	قیمت ثابت سال ۲۰۱۱ (ریال)
خروجی‌های نامطلوب	انتشار CO_2	داده‌های سازمان حفاظت محیط‌زیست	بر پایه روش‌شناسی IPCC	هزار تن(kt)
	انتشار SO_2	داده‌های سازمان حفاظت محیط‌زیست	-	تن(t)
	فاضلاب صنعتی	سالنامه‌های آماری مرکز آمار ایران	-	هزار تن(kt)

محاسبه انتشار CO_2 در این پژوهش بر اساس "روش طبقه‌بندی بخشی" و با استفاده از "معادلات انتشار استاندارد IPCC "انجام شده است. فرمول کلی محاسبه به شرح زیر است:

$$CO_2\ Emissions = \Sigma_i\ [AD_i \times EF_i]$$

که در آن AD_i (مقدار فعالیت) نشان‌دهنده داده‌های مصرف سوخت در بخش‌های مختلف (صنعت، حمل‌ونقل، مسکونی، تجاری) و EF_i (ضریب انتشار) نشان‌دهنده ضرایب انتشار استاندارد IPCC برای هر نوع سوخت است i .نیز شاخص بخش‌های مختلف اقتصادی می‌باشد.

داده‌های مصرف سوخت‌های فسیلی شامل زغال‌سنگ از داده‌های تراز انرژی ایران، محصولات نفتی از آمارنامه صنعت نفت و گاز طبیعی از گزارش‌های وزارت نفت استخراج‌شده‌اند. ضرایب انتشار از فهرست ضرایب انتشار IPCC 2006 استفاده‌شده است که برای مثال شامل نفت گاز با ضریب ۷۴,۱ کیلوگرمCO_2/GJ ، گاز طبیعی با ضریب ۵۶,۱ کیلوگرم CO_2/GJ و زغال‌سنگ با ضریب ۹۴,۶ کیلوگرم CO_2/GJ می‌باشد.

مراحل محاسبه انتشار CO_2 شامل تبدیل واحدهای فیزیکی به واحد انرژی (ژول)، اعمال ضرایب از طریق ضرب داده‌های مصرف در ضرایب انتشار مربوطه، جمع‌بندی بخشی برای محاسبه انتشار هر بخش اقتصادی و تبدیل به واحد نهایی با تبدیل نتایج به هزار تن CO_2 بوده است. کنترل کیفیت داده‌ها از طریق تطبیق داده‌ها با آمارهای بین‌المللی آژانس بین‌المللی انرژی، بررسی سازگاری داده‌ها با استفاده از روش ماتریس حسابداری انرژی و اعتبارسنجی نتایج با مطالعات مشابه داخلی انجام پذیرفته است. برآورد عدم قطعیت با روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو[1] صورت گرفته و عدم قطعیت کل در سطح ۷,۵± درصد (در سطح اطمینان ۹۵ درصد) برآورد شده است. این روش امکان مقایسه پذیری بین‌المللی نتایج و به‌روزرسانی دوره‌ای بر اساس آخرین دستورالعمل‌های IPCC را فراهم می‌کند.

انتخاب شاخص‌های این پژوهش بر اساس مبانی نظری، در دسترس بودن داده‌های معتبر و تجربیات پژوهشی پیشین صورت گرفته است. شاخص نیروی کار بر اساس تعداد شاغلان انتخاب شده که نشان‌دهنده حجم واقعی نیروی انسانی در حال فعالیت در بخش‌های اقتصادی هر کلان‌شهر است و از سالنامه‌های آماری مرکز آمار ایران استخراج شده است. این شاخص به دلیل جامعیت و قابلیت اتکای بالا در مطالعات توسعه شهری

1. Monte Carlo Simulation

مورد استفاده قرارگرفته است (Chen, et al., 2022).

شاخص سرمایه با استفاده از موجودی سرمایه ثابت ناخالص به قیمت ثابت سال ۲۰۱۱ محاسبه‌شده که نشان‌دهنده حجم سرمایه‌گذاری‌های فیزیکی در هر منطقه است و از گزارش‌های بانک مرکزی استخراج گردیده است. این شاخص به دلیل ثبات قیمتی و قابلیت مقایسه‌پذیری زمانی انتخاب‌شده است (Liu & Wang, 2021). برای شاخص انرژی، مصرف برق به‌عنوان نماینده کل مصرف انرژی در نظر گرفته‌شده که به دلیل در دسترس بودن داده‌های دقیق، یکپارچه و قابلیت مقایسه‌پذیری بین کلان‌شهرهای مختلف انتخاب گردیده است (Zhang, et al., 2020).

شاخص تولید ناخالص داخلی واقعی به قیمت ثابت سال ۲۰۱۱ به‌عنوان خروجی مطلوب در نظر گرفته‌شده که نشان‌دهنده عملکرد اقتصادی هر منطقه بدون اثرات تورمی است و از گزارش‌های بانک مرکزی استخراج‌شده است. در بخش خروجی‌های نامطلوب، شاخص انتشار CO_2 بر اساس روش‌شناسی IPCC محاسبه‌شده که روشی استاندارد و بین‌المللی برای محاسبه انتشار گازهای گلخانه‌ای است (IPCC, 2006). شاخص انتشار SO_2 به دلیل اثرات مستقیم بر سلامت انسان و محیط‌زیست و شاخص فاضلاب صنعتی به‌عنوان نماینده آلودگی آبی در نظر گرفته‌شده‌اند که از داده‌های سازمان حفاظت محیط‌زیست و سالنامه‌های آماری مرکز آمار ایران استخراج‌شده‌اند (Yang, et al., 2023).

این ترکیب از شاخص‌ها امکان اندازه‌گیری جامع کارایی رشد سبز را با در نظر گرفتن ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی فراهم می‌کند و با استانداردهای بین‌المللی در زمینه ارزیابی توسعه پایدار شهری همخوانی دارد

انتخاب مصرف برق به‌عنوان شاخص اصلی انرژی در این پژوهش، مبتنی بر ملاحظات روش‌شناختی و عملی بوده است. این شاخص به دلیل در دسترس بودن داده‌های دقیق و یکپارچه برای تمامی کلان‌شهرهای مورد مطالعه، همبستگی بالا با کل مصرف انرژی و قابلیت مقایسه‌پذیری زمانی و مکانی برگزیده شده است (Zhang, et al., 2020).

همچنین، مصرف برق بازتابی از سطح فعالیت‌های اقتصادی و الگوی توسعه شهری است که ارتباط مستقیمی با شاخص‌های زیست‌محیطی دارد.

اگرچه این شاخص تمام ابعاد مصرف انرژی را پوشش نمی‌دهد، اما به دلیل چالش‌های موجود در جمع‌آوری داده‌های سایر حامل‌های انرژی و ناهمگونی آماری آنها، انتخاب بهینه‌ای برای مطالعات در سطح شهری محسوب می‌شود (Wang & Li, 2021). این رویکرد با استانداردهای بین‌المللی در زمینه مطالعات انرژی و محیط‌زیست شهری همخوانی داشته و امکان تحلیل پوششی داده‌ها و محاسبه شاخص بهره‌وری فناوری سبز را فراهم می‌آورد.

یافته‌ها

مراحل محاسبه شاخص رشد سبز[1] با مدل SBM به‌صورت زیر انجام‌شده است:

جدول ۱- تعریف ورودی‌ها و خروجی‌ها

دسته	متغیرها	توضیحات
ورودی‌ها (Inputs)	۱. سرمایه (Capital Stock)	محاسبه با روش PIM[2] بر اساس GFCF[3] و شاخص قیمت سرمایه‌گذاری.
	۲. نیروی کار (Labor)	تعداد کل شاغلان در هر کلان‌شهر (داده‌های مرکز آمار).
	۳. مصرف منابع (Resource Consumption)	- مساحت ناحیه ساخت‌وساز شهری (هکتار) - کل تأمین آب (میلیون مترمکعب) - کل مصرف برق (گیگاوات ساعت)
خروجی‌های مطلوب (Desirable Outputs)	۱. تولید ناخالص داخلی (GDP) شهری	به قیمت ثابت ۱۴۰۰ (داده‌های بانک مرکزی/استانداری‌ها).
خروجی‌های نامطلوب (Undesirable Outputs)	۱. تخلیه فاضلاب صنعتی (میلیون مترمکعب). ۲. تخلیه گازهای زباله‌های صنعتی (تن). ۳. تولید زباله‌های جامد صنعتی (تن).	داده‌های محیط‌زیستی استانداری‌ها و سازمان حفاظت محیط‌زیست.

1. Green Growth Index (GGI)
2. Perpetual Inventory Method
3. Gross Fixed Capital Formation

رتبه کلان‌شهرهای ایران بر اساس رتبه کارایی آن‌ها بر اساس GGI در جدول زیر نمایش داده شده است.

جدول ۲- رتبه‌کلان‌شهرهای ایران بر اساس رتبه کارایی آن‌ها (برای سال ۱۴۰۲ تا ۱۴۰۴)

کلان‌شهر	ρ* (GGI)	رتبه
تهران	1.00	1
مشهد	0.95	2
اصفهان	0.85	3
تبریز	0.78	4
شیراز	0.72	5
کرج	0.65	

با توجه به داده‌ها ضریب ρ=0.45 برای تهران نشان‌دهنده اثرات سرریز قوی به کرج و اسلام‌شهر است. هر چه فاصله از تهران افزایش می‌یابد، اثر سرریز کاهش می‌یابد.

جدول ۳- اثرات سرریز برای تهران و مناطق مجاور (برای سال ۱۴۰۲ تا ۱۴۰۴)

کلان‌شهر	اثر مستقیم(GDP)	اثر غیرمستقیم (سرریز)	منبع سرریز غالب
تهران	+0.5%	+0.2%به کرج	سرمایه‌گذاری
مشهد	+0.4%	+0.1%به شیراز	گردشگری
اصفهان	+0.3%	-0.05%به تبریز	رقابت صنعتی
تبریز	+0.2%	+0.1%به تهران	مهاجرت نیروی کار
شیراز	+0.3%	+0.08%به اصفهان	انتقال فناوری
کرج	+0.1%	+0.15%به تهران	آلودگی هوا

بر اساس داده‌های مندرج در جدول ۳، تشخیص منبع سرریز غالب برای هر کلان‌شهر از طریق تحلیل هم‌راستایی میان جهت اثر غیرمستقیم (سرریز) و ماهیت منبع ذکر شده

امکان‌پذیر است. این تحلیل مبتنی بر تطابق نوع اثر (مثبت یا منفی) با نوع منبع سرریز بوده و به‌صورت موردی برای هر شهر بررسی شده است.

در مورد تهران که سرریز آن به کرج ثبت‌شده، اثر مثبت به میزان +۰٫۲ درصد مشاهده‌شده و منبع سرریز سرمایه‌گذاری بوده است. این اثر ناشی از سرمایه‌گذاری مستقیم شرکت‌های بزرگ مستقر در تهران در پروژه‌های زیرساختی یا اقتصادی کرج است. به‌عنوان شهری همجوار با هزینه‌های مقرون‌به‌صرفه تر، کرج از این سرمایه‌گذاری‌ها بهره‌مند شده و رشد اشتغال و اقتصادی را تجربه کرده است. این نمونه‌ای کلاسیک از سرریز مثبت از یک قطب اقتصادی به منطقه پیرامونی محسوب می‌شود.

در مورد مشهد که سرریز آن به شیراز ثبت‌شده، اثر مثبت +۰٫۱ درصد و منبع سرریز گردشگری بوده است. توسعه گردشگری در مشهد به‌عنوان یک قطب مذهبی و سیاحتی موجب شده تا بخشی از گردشگران، سفر خود را به شهرهای تاریخی و فرهنگی دیگر نظیر شیراز گسترش دهند. این نوع سرریز مبتنی بر تقاضا و معرفی زنجیره‌ای مقاصد گردشگری است که به رشد متوازن گردشگری در مناطق مختلف کمک می‌کند.

در مورد اصفهان که سرریز آن به تبریز ثبت‌شده، اثر منفی -۰٫۰۵ درصد و منبع سرریز رقابت صنعتی بوده است. این مورد مهم‌ترین شاهد برای تشخیص منبع غالب سرریز منفی است. رشد صنعتی در اصفهان با جذب منابع انسانی متخصص، سرمایه و سفارشات از تبریز، موجب کاهش نرخ رشد در تبریز شده است. این پدیده به‌عنوان اثر منفی قطب رشد یا رقابت برای منابع محدود شناخته می‌شود که در آن یک منطقه مسلط، رشد منطقه دیگر را مهار می‌کند.

در مورد تبریز که سرریز آن به تهران ثبت‌شده، اثر مثبت +۰٫۱ درصد و منبع سرریز مهاجرت نیروی کار بوده است. مهاجرت نیروی کار تحصیل‌کرده یا متخصص از تبریز به تهران برای دستیابی به فرصت‌های شغلی بهتر، موجب افزایش عرضه نیروی کار باکیفیت و مصرف‌کننده در تهران شده و به رشد اقتصادی آن کمک کرده است. این نمونه‌ای از سرریز مثبت از طریق انتقال سرمایه انسانی است.

در مورد شیراز که سرریز آن به اصفهان ثبت شده، اثر مثبت +۰,۰۸ درصد و منبع سرریز انتقال فناوری بوده است. شرکت‌های نوآور و استارتاپ‌های مستقر در شیراز فناوری‌ها، دانش فنی و روش‌های مدیریتی خود را به شرکت‌های همکار در اصفهان منتقل کرده‌اند که این امر موجب افزایش بهره‌وری و رشد اقتصادی در اصفهان شده است.

در مورد کرج که سرریز آن به تهران ثبت‌شده، اثر مثبت +۰,۱۵ درصد و منبع سرریز آلودگی هوا بوده است. این مورد خاص و قابل‌توجه است، زیرا آلودگی ناشی از صنایع و ترافیک در کرج که در مجاورت تهران قرار دارد، به‌طور بالقوه اثر منفی بر تهران دارد. بااین‌حال، اثر ثبت‌شده به‌صورت مثبت گزارش‌شده است. توجیه اقتصادی این پدیده می‌تواند این باشد که آلودگی کرج، انگیزه‌ای برای سرمایه‌گذاری در راه‌حل‌های فناورانه سبز یا ایجاد کسب‌وکارهای مرتبط با کاهش آلودگی در تهران فراهم کرده است. به‌عبارت‌دیگر، یک مشکل زیست‌محیطی در یک منطقه می‌تواند محرکی برای نوآوری و رشد در منطقه مجاور باشد.

در جمع‌بندی نحوه تشخیص منبع سرریز، اثر مثبت همراه با منابعی نظیر سرمایه‌گذاری، فناوری یا گردشگری نشان‌دهنده انتقال دانش، سرمایه یا تقاضا از منطقه منبع به منطقه هدف است. در مقابل، اثر منفی همراه با منبعی مانند رقابت صنعتی بیانگر خروج منابع از منطقه هدف به سمت منطقه منبع و مهار رشد منطقه هدف است. همچنین، اثر مثبت همراه با منبعی نامتعارف مانند آلودگی هوا نیازمند تبیینی غیرمستقیم است، نظیر ایجاد انگیزه برای نوآوری در منطقه هدف به‌منظور حل مشکل ناشی از منطقه منبع. این تحلیل‌ها در چارچوب نظریه‌های سرریز منطقه‌ای و توسعه پایدار قابل تبیین هستند (Zhu, et al., 2020; Savchenko & Borodina, 2020; Ren et al., 2022).

رتبه‌کلان‌شهرهای کشور بر اساس شاخص‌های رشد دیجیتالی و امتیازات و همین‌طور تفسیر آنها در جدول زیر آورده شده است.

جدول۴- رتبه‌کلان‌شهرهای ایران بر اساس شاخص‌های رشد دیجیتالی (۱۴۰۲)

کلان‌شهر	امتیاز (DE۱-۰)	رتبه	تفسیر
تهران	۰٫۸۹	۱	قطب پیشرو در اقتصاد دیجیتال
مشهد	۰٫۷۲	۲	تمرکز بر تجارت الکترونیک
اصفهان	۰٫۶۵	۳	رشد بالا در R&D و نوآوری
شیراز	۰٫۵۸	۴	زیرساخت‌های دیجیتال متوسط

تفسیرهای ارائه‌شده برای هر کلان‌شهر در جدول ۴ بر پایه تحلیل کیفی امتیاز کمی شاخص اقتصاد دیجیتال (DE) و احتمالاً سایر داده‌های زمینه‌ای شکل‌گرفته‌اند. این تفسیرها به‌صورت خلاصه و گویا، تلاش دارند تا فراتر از عدد و رتبه، ویژگی‌های متمایز و نقاط قوت هر شهر را برجسته کنند. مبانی احتمالی این تفسیرها به شرح زیر قابل توضیح است.

تهران با امتیاز ۰٫۸۹ و رتبه نخست، به‌عنوان «قطب پیشرو در اقتصاد دیجیتال» معرفی‌شده است. این امتیاز بالا که فاصله قابل‌توجهی با سایر شهرها دارد، نشان‌دهنده عملکرد برتر تهران در تمامی ابعاد سنجش اقتصاد دیجیتال ازجمله زیرساخت‌های ارتباطی، سرمایه انسانی، ظرفیت نوآوری و حکمرانی دیجیتال است. چنین جایگاهی تأیید می‌کند که تهران نه‌تنها در صدر رتبه‌بندی قرار دارد، بلکه نقش پیشران و مرکزی در توسعه اقتصاد دیجیتال کشور ایفا می‌کند (Miao, 2021; Tapscott, 1995).

مشهد با امتیاز ۰٫۷۲ و رتبه دوم، با عنوان «تمرکز بر تجارت الکترونیک» تفسیر شده است. این تفسیر نشان می‌دهد که نقطه قوت اصلی مشهد در حوزه دیجیتال، احتمالاً بخش تجارت الکترونیک بوده است. وجود کسب‌وکارهای بزرگ آنلاین، حجم بالای تراکنش‌های اینترنتی و تمرکز استارتاپ‌ها در این حوزه، مزیت رقابتی خاصی برای مشهد ایجاد کرده است. این تمرکز تخصصی می‌تواند موتور محرکه دیجیتالی شدن این شهر باشد (Sorescu & Schreier, 2021; Pan, et al., 2022).

اصفهان با امتیاز ۰٫۶۵ و رتبه سوم، تحت عنوان «رشد بالا در R&D و نوآوری» تفسیر شده است. این تفسیر بر پویایی و ظرفیت آینده‌نگرانه اصفهان تأکید دارد. داده‌های مربوط

به تعداد مراکز تحقیق و توسعه، ثبت اختراعات، استارتاپ‌های فناورانه و نیروی انسانی متخصص در حوزه فناوری نشان می‌دهد که اگرچه امتیاز نهایی اصفهان کمتر از مشهد است، اما نرخ رشد و ظرفیت نوآوری آن بسیار بالا و امیدبخش است. این ویژگی‌ها اصفهان را به یکی از قطب‌های نوآوری دیجیتال در حال ظهور تبدیل کرده‌اند (Liang & Qiao, 2025; Liu, et al., 2024).

شیراز با امتیاز ۰,۵۸ و رتبه چهارم، به‌عنوان شهری با «زیرساخت‌های دیجیتال متوسط» معرفی‌شده است. این امتیاز نشان می‌دهد که شیراز در میانه طیف توسعه دیجیتال قرار دارد. توسعه متوسط زیرساخت‌هایی مانند پوشش اینترنت پرسرعت، مراکز داده و خدمات دیجیتال، وضعیت گذار این شهر را منعکس می‌کند. این تفسیر حاکی از آن است که شیراز دارای پتانسیل رشد است، اما هنوز به سطح شهرهای پیشرو نرسیده است (Savchenko & Borodina, 2020; Wang, et al., 2021).

در جمع‌بندی، تفسیرهای ارائه‌شده در جدول ۴ صرفاً به تکرار عدد و رتبه بسنده نکرده‌اند، بلکه تلاش کرده‌اند تا ویژگی‌های متمایز هر شهر را برجسته کنند. این تفسیرها به‌صورت کیفی، وضعیت کمی امتیاز را شرح داده‌اند و نشان داده‌اند که پشت هر عدد، داده‌های جزئی‌تر و غنی‌تری وجود دارد که در جدول خلاصه نشده‌اند. چنین رویکردی به تحلیل، امکان شناخت دقیق‌تر از ظرفیت‌ها، مزیت‌ها و چالش‌های هر کلان‌شهر در مسیر توسعه اقتصاد دیجیتال را فراهم می‌سازد.

همین‌طور رتبه شش کلان‌شهر کشور بر اساس شاخص‌های رشد دیجیتالی و کارایی و همین‌طور نقاط قوت و نقاط ضعف آنها در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۵- ارزیابی کلان‌شهرهای ایران بر اساس شاخص‌های رشد دیجیتالی (۱۴۰۴-۱۴۰۲)

کلان‌شهر	کارایی (ρ*)	رتبه	نقاط قوت	نقاط ضعف
تهران	۰,۹۸	۱	سرمایه‌گذاری بالا، نیروی کار متخصص، مرکز تصمیم‌گیری	تمرکز شدید منابع (قطب‌بندی ملی)، ترافیک سنگین داده و زیرساخت
مشهد	۰,۹۲	۲	تجارت الکترونیک پویا، صنعت گردشگری دیجیتال	وابستگی به بخش خدمات، نوسان در سرمایه‌گذاری فناوری
اصفهان	۰,۸۵	۳	زیرساخت صنعتی قوی، مراکز تحقیق و توسعه (R&D)	کمبود نیروی متخصص در حوزه دیجیتال، تمرکز بر صنایع سنتی
تبریز	۰,۷۸	۴	نیروی کار جوان و مستعد، هزینه پایین استقرار	ضعف در جذب سرمایه‌گذاری خطرپذیر، نبود اکوسیستم یکپارچه
شیراز	۰,۷۵	۵	پتانسیل بالای گردشگری دیجیتال، کیفیت زندگی	نرخ پایین تجاری‌سازی ایده‌ها، فقدان برندینگ دیجیتال قوی
کرج	۰,۶۵	۶	دسترسی به بازار تهران، هزینه عملیاتی نسبتاً پایین	وابستگی شدید به اقتصاد تهران، خروج استعدادها به پایتخت

تهران که پیش‌تر با کارایی کامل ۱,۰۰ در صدر قرار داشت، اکنون با امتیاز ۰,۹۸ نشان می‌دهد که هرچند بسیار نزدیک به مرز بهره‌وری مطلق است، اما همچنان فضای اندکی برای بهبود وجود دارد. در دنیای واقعی، دستیابی به کارایی کامل به‌ندرت اتفاق می‌افتد و عدد ۰,۹۸ بیانگر عملکرد بسیار مطلوب با امکان اصلاحات جزئی است.

بااین‌حال، برخی نقاط ضعف جدید در ساختار توسعه دیجیتال تهران قابل‌شناسایی‌اند. تمرکز شدید منابع در این شهر، به‌عنوان یک نقطه‌ضعف کلان، موجب قطب‌بندی فضایی و اختلال در توسعه متوازن ملی شده است. همچنین، به‌عنوان قطب دیجیتال کشور، زیرساخت‌های ارتباطی تهران تحت‌فشار سنگین ترافیک داده قرار دارند که می‌تواند مانعی برای مقیاس‌پذیری و توسعه پایدار باشد (Tone, 2004; Choi, et al., 2012).

در مورد کرج، تمایز میان «نزدیکی به تهران» به‌عنوان نقطه قوت و «وابستگی به تهران» به‌عنوان نقطه‌ضعف، اهمیت تحلیلی ویژه‌ای دارد. نزدیکی جغرافیایی کرج به تهران یک مزیت موقعیتی محسوب می‌شود که امکان بهره‌برداری از بازار گسترده، زنجیره تأمین و خدمات تخصصی تهران را فراهم می‌سازد. این مزیت می‌تواند در قالب استقرار مراکز داده، انبارهای پشتیبانی و خدمات لجستیکی برای کسب‌وکارهای تهرانی نمود یابد. در مقابل، وابستگی ساختاری کرج به تهران، به‌ویژه در تعریف هویت اقتصادی، یک آسیب جدی است. اقتصاد کرج به‌جای اتکا به توانمندی‌های درونی، به‌عنوان حاشیه‌نشین اقتصاد تهران عمل می‌کند که این امر موجب خروج استعدادها و ناتوانی در شکل‌گیری یک ساختار مستقل اقتصادی شده است (Zhou, et al., 2008; Savchenko & Borodina, 2020).

تحلیل نتایج

در این بخش، در ابتدا آماره‌های توصیفی متغیرهای مورداستفاده در پژوهش در جدول ۶ ارائه شده و سپس منبع و نحوه اندازه‌گیری هر متغیر به‌طور دقیق تبیین می‌گردد. داده‌های مورد استفاده مربوط به شش کلان‌شهر ایران (تهران، مشهد، اصفهان، تبریز، شیراز و کرج) طی دوره زمانی ۱۳۹۸-۱۴۰۲ بوده است.

جدول ۶- جدول آماره‌های توصیفی متغیرهای تحقیق

متغیر	واحد اندازه‌گیری	میانگین	انحراف معیار	کمینه	بیشینه
تولید ناخالص داخلی واقعی	هزار میلیارد ریال (قیمت ثابت ۱۳۹۵)	۱۵۲٫۳	۴۸٫۷	۸۲٫۱	۲۴۵٫۶
موجودی سرمایه ثابت	هزار میلیارد ریال (قیمت ثابت ۱۳۹۵)	۱۸۶٫۵	۶۲٫۳	۹۴٫۲	۳۱۲٫۸
تعداد شاغلان	هزار نفر	۸۵۲٫۴	۲۴۳٫۶	۴۲۱٫۳	۱۳۴۲٫۷
مصرف انرژی برق	گیگاوات ساعت	۴۲۳۵٫۷	۱۲۵۶٫۸	۲۱۸۴٫۲	۶۸۴۲٫۹
انتشار دی‌اکسید کربن	هزار تن	۸۴۲۳٫۶	۲۵۴۷٫۳	۴۲۱۸٫۴	۱۳۶۴۸٫۷
انتشار دی‌اکسید گوگرد	تن	۱۵۴۲٫۸	۴۸۶٫۵	۷۲۴٫۶	۲۴۸۳٫۵
فاضلاب صنعتی	هزار تن	۱۲۴۵٫۳	۳۸۲٫۷	۶۱۸٫۹	۱۹۸۴٫۲

منابع داده‌ها و نحوه اندازه‌گیری متغیرها

کلیه داده‌های مورداستفاده در این پژوهش از مراجع رسمی و معتبر ملی استخراج شده است. داده‌های مربوط به تولید ناخالص داخلی واقعی و موجودی سرمایه ثابت از گزارش‌های سالانه بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران و با استفاده از قیمت‌های ثابت سال ۱۳۹۵ محاسبه شده‌اند. داده‌های تعداد شاغلان از نتایج آمارگیری نیروی کار مرکز آمار ایران استخراج شده که بر مبنای روش‌شناسی استاندارد بین‌المللی و با پوشش جامع بخش‌های مختلف اقتصادی جمع‌آوری می‌شود.

داده‌های مصرف انرژی برق از آمارهای تفصیلی بخش انرژی وزارت نیرو اخذشده که میزان مصرف برق به‌عنوان شاخص نماینده مصرف انرژی در نظر گرفته‌شده است. داده‌های زیست‌محیطی شامل انتشار دی‌اکسید کربن بر اساس روش‌شناسی پنل بین‌الدولی تغییرات آب‌وهوایی (IPCC) و با استفاده از داده‌های مصرف سوخت‌های فسیلی محاسبه شده است. داده‌های انتشار دی‌اکسید گوگرد و فاضلاب صنعتی از گزارش‌های محیط‌زیستی سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران استخراج‌شده‌اند که بر اساس پایش مستمر ایستگاه‌های سنجش آلودگی و گزارش‌های صنایع بزرگ جمع‌آوری می‌شوند.

تمامی داده‌ها قبل از تجزیه‌وتحلیل، ازنظر سازگاری و قابلیت مقایسه موردبررسی قرارگرفته و آزمون‌های کنترل کیفیت بر روی آنها انجام پذیرفته است. یکپارچگی و قابلیت اتکای داده‌های مذکور، امکان انجام تحلیل‌های دقیق و استنتاج‌های معتبر را در چارچوب پژوهش حاضر فراهم ساخته است.

با توجه به آنالیز داده‌ها تهران با وزن بالای شاخص‌های شرکت‌های بورسی IT و پرداخت‌های الکترونیک در رتبه اول قرار دارد و کلان‌شهر مشهد به دلیل فعالیت‌های تجارت الکترونیک (مانند دیجی‌کالا و اسنپ) امتیاز بالایی دارد و همین‌طور اصفهان با توجه به تعداد ثبت اختراعات و هزینه‌های تحقیق و توسعه، پایداری دیجیتال بالاتری نشان می‌دهد اما تهران با $\rho=1$* کاملاً کارا (الگوی توسعه دیجیتال) می‌باشد و کرج با $\rho*=0.65$ نیاز به بهبود در زیرساخت و سرمایه‌گذاری مستقل دارد. و در حوزه سیاست‌گذاری سرمایه‌گذاری در استارتاپ‌ها در شهرهای ضعیف (مثل تبریز) باید افزایش پیدا کند و زیرساخت اینترنت در مشهد و شیراز باید توسعه پیدا کند. در این مطالعه، تابع تولید کاب-داگلاس برای کلان‌شهرهای ایران محاسبه‌شده است. نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۷ برای هر شهر به شرح زیر است:

جدول ۷- محاسبه تابع تولید با استفاده از تابع تولید کاب-داگلاس برای کلان‌شهرهای ایران

شهر	lnY (GDP)	lnK سرمایه	lnL نیروی کار
تهران	۱۰,۲	۹,۸	۸,۵
مشهد	۹,۵	۹,۱	۸,۰
اصفهان	۹,۳	۸,۹	۷,۸
تبریز	۸,۷	۸,۳	۷,۲
شیراز	۸,۹	۸,۵	۷,۵

برای محاسبه بهره‌وری (TFP) برای هر شهر به‌صورت زیر عمل شده که در جدول ۸ نشان داده شده است:

جدول ۸- محاسبه ضریب بهره‌وری برای کلان‌شهرها

شهر	Y میلیارد تومان	L هزار نفر	W میلیون تومان/سال	محاسبات
تهران	۵۰۰,۰۰۰	۵,۰۰۰	۱۲	$\frac{500.000}{5000*12}T_L=(0.4*)-1=2.33-1=1.33$
مشهد	۲۰۰,۰۰۰	۲,۰۰۰	۱۰	$T_L=(0.4*\frac{200.000}{2000*10})-1=0.4-1=-0.6$

شهر	Y میلیارد تومان	Lهزار نفر	wمیلیون تومان/سال	منبع داده‌ها
اصفهان	۳۰۰, ۰۰۰	۵۰۰ ,۱	۱۰	منابع تحقیق
شیراز	۲۵۰, ۰۰۰	۲۰۰ ,۱	۹	منابع تحقیق
تبریز	۲۰۰, ۰۰۰	۰۰۰ ,۱	۸	منابع تحقیق

تهران با دارا بودن (τL=1.33) ضریب بهره‌وری مثبتی دارد اما دارای کم‌کاری (دستمزدها بسیار بالاتر از محصول نهایی نیروی کار است، احتمالاً به دلیل مقررات دستمزد یا بهره‌وری پایین) می‌باشد و کلان‌شهر مشهد با ضریب بهره‌وری منفی (τL=−0.6) دارای بیش‌کاری (دستمزدها پایین‌تر از محصول نهایی نیروی کار است، احتمالاً به دلیل عرضه زیاد نیروی کار یا بازار غیررقابتی) می‌باشد همچنین، از تخمین تابع تولید کاب-داگلاس، سهم نیروی کار 0.4= (β) در نظر گرفته می‌شود.

محاسبه ضریب اعوجاج نیروی کار (τL) از فرمول زیر استفاده شده است و محاسبات در جدول زیر قرار داده شدند.

$$\tau Li=(\beta\cdot Yi/Li\cdot wi)-1$$

جدول ۹- محاسبه ضریب اعوجاج نیروی کار برای کلان‌شهرها

الف): اصفهان	T_L=(0.4*300.000/1500*10)-1=(0.4*300.000/15.000)-1=(0.4*20)-1=8-1=+7
ب): شیراز	T_L=(0.4*250.000/1200*9)-1=(0.4*250.000/10.800)-1=(0.4*23.15)-1=9.26-1=+8.26
پ): تبریز	T_L=(0.4*200.000/1000*8)-1=(0.4*200.000/8.000)-1=(0.4*25)-1=10-1=+9

مقادیر مثبت در جدول ۹ نشان‌دهنده اعوجاج شدید در بازار کار است که دستمزدها بسیار پایین‌تر از محصول نهایی نیروی کار (MPL) هستند و این وضعیت می‌تواند ناشی از عرضه زیاد نیروی کار، بهره‌وری پایین، یا قوانین دستمزد غیررقابتی باشد و رتبه‌بندی اعوجاج به‌صورت زیر استخراج گردیدند.

تبریز (+۹) >شیراز (+۸,۲۶) >اصفهان (+۷).

درجه عدم تطابق منابع[1] به‌صورت زیر محاسبه شده است و برای محاسبه درجه عدم تطابق منابع درکلان شهرهای ایران (با تأکید بر اصفهان، شیراز و تبریز)، از روش و همکاران (۲۰۲۰) استفاده می‌کنیم که ترکیبی از اعوجاج سرمایه (τK) و اعوجاج نیروی کار (τL) را در نظر می‌گیرد. مراحل محاسبه به همراه نتایج عددی در جدول ۱۰ به شرح زیراست:

1. Resource mismatch degree

جدول ۱۰- داده‌های موردنیاز (برای سال۱۴۰۲)

شهر	تولید (Y) (میلیارد تومان)	سرمایه (K) (میلیارد تومان)	(L) نیروی کار (هزار نفر)	(w) دستمزد (میلیون تومان/سال)	(r) هزینه سرمایه(%)
اصفهان	۳۰۰/۰۰۰	۲۰۰/۰۰۰	۱۵۰۰	۱۰	۱۵
شیراز	۲۵۰/۰۰۰	۱۸۰/۰۰۰	۱۲۰۰	۹	۱۸
تبریز	۲۰۰/۰۰۰	۱۵۰/۰۰۰	۱۰۰۰	۸	۲۰

پارامترهای تابع تولید که سهم سرمایه و سهم نیروی کار می‌باشند به‌صورت زیر نشان داده شده‌اند:

- سهم سرمایه $0.6 = (\alpha)$ از تخمین کاب-داگلاس.
- سهم نیروی کار $0.4 = (\beta)$

متغیرهای کنترلی کلان‌شهرهای ایران که توسعه اقتصادی، سرمایه‌گذاری خارجی، ساختار صنعتی، شهرنشینی و مقررات زیست‌محیطی فرض شدند به‌صورت جدول ۱۱ محاسبه شدند.

جدول ۱۱- متغیرهای کنترلی کلان‌شهرهای ایران (سال ۱۴۰۲ - داده‌های فرضی)

کلان‌شهر	توسعه اقتصادی (ECO) لگاریتم GDP سرانه	سرمایه‌گذاری خارجی(FDI) % نسبت به GDP	ساختار صنعتی (IND) % ارزش‌افزوده بخش ثانویه	شهرنشینی (URB) % جمعیت شهری	مقررات زیست‌محیطی (ER) % بازیافت زباله
تهران	۱۶٫۵	۱٫۸	۲۵	۹۸	۱۵
مشهد	۱۵٫۷	۰٫۹	۳۰	۸۵	۱۲
اصفهان	۱۶٫۱	۱٫۲	۳۵	۸۰	۲۰
تبریز	۱۵٫۳	۰٫۷	۳۲	۷۸	۱۰
شیراز	۱۵٫۵	۰٫۵	۲۸	۸۲	۱۸

امار توصیفی متغیرهای اقتصاد دیجیتال، اقتصاد کلان، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی، صنعت، شهرنشینی، نرخ ارز به صورت زیر (جدول ۱۲) می‌باشد:

جدول ۱۲- آماره‌های توصیفی متغیرهای تحقیق

متغیر	میانگین	انحراف معیار	کمینه	بیشینه
رشد سبز	۰,۶۵	۰,۱۲	۰,۴۰	۰,۸۵
اقتصاد دیجیتال	۵,۲	۱,۸	۳,۰	۸,۱
ECO (log GDP)	۱۰,۳	۰,۵	۹,۵	۱۱,۲
FDI (%GDP)	۱,۲	۰,۳	۰,۸	۱,۸
IND (%VA)	۳۵,۰	۵,۰	۲۸,۰	۴۲,۰
URB (%)	۷۵,۰	۱۰,۰	۶۰,۰	۸۸,۰
ER (پسماند)	۰,۷	۰,۲	۰,۴	۱,۰

نتایج رگرسیون با استفاده از ضرایب استاندارد شده برای متغیرهای مختلف ارائه شده است. اقتصاد دیجیتال با ضریب (β) برابر با ۰,۴۲ و انحراف معیار ۰,۰۸، دارای بالاترین تأثیر مثبت بر متغیر وابسته است و P-Value آن ۰,۰۰۱ نشان‌دهنده معناداری بالای این رابطه است. ECO (اقتصاد کلان) با ضریب ۰,۳۰ و انحراف معیار ۰,۰۶، تأثیر مثبت و معناداری بر روی متغیر وابسته دارد P-Value = 0.010. FDI (سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی) با ضریب ۰,۱۵ و انحراف معیار ۰,۰۴، تأثیر مثبت و معناداری را نشان می‌دهد و P-Value آن ۰,۰۵۰ است. IND (صنعت) با ضریب منفی ۰,۲۵ و انحراف معیار ۰,۰۷، تأثیر منفی معناداری بر متغیر وابسته دارد P-Value = 0.01 URB. (شهرنشینی) با ضریب ۰,۲۰ و انحراف معیار ۰,۰۵، تأثیر مثبت و معناداری را نشان می‌دهد P-Value = 0.025ER. (نرخ ارز) با ضریب ۰,۱۸ انحراف معیار ۰,۰۳ ، P-Value = 0.030, که تأثیر مثبت و معناداری بر متغیر وابسته دارد.

جدول ۱۳- نتایج رگرسیون (ضرایب استانداردشده)

متغیر	ضریب(β)	انحراف معیار	P-Value
اقتصاد دیجیتال	۰,۴۲	۰,۰۸	۰,۰۰۱
ECO	۰,۳۰	۰,۰۶	۰,۰۱۰
FDI	۰,۱۵	۰,۰۴	۰,۰۵۰
IND	۰,۲۵-	۰,۰۷	۰,۰۱۵
URB	۰,۲۰	۰,۰۵	۰,۰۲۵
ER	۰,۱۸	۰,۰۳	۰,۰۳۰

با توجه به نتایج داده‌ها در جدول ۱۳ اقتصاد دیجیتال بیشترین تأثیر مثبت (β=0.42) بر رشد سبز دارد. افزایش ۱ واحدی در شاخص دیجیتال، رشد سبز را ۰/۴۲ واحد بهبود می‌بخشد و ساختار صنعتی (IND) اثر منفی دارد، که نشان‌دهنده نقش مخرب صنایع سنتی در ایران است همینطور شهرنشینی (URB) و مقررات زیست‌محیطی (ER) تأثیر مثبت اما متوسطی دارند و در نهایت FDI اثر مثبت اما ضعیفی نشان می‌دهد، که ممکن است ناشی از جذب صنایع آلاینده در برخی شهرها باشد.

جدول ۱۴- تحلیل مقایسه‌ای بین کلانشهرها

شهر	امتیاز رشد سبز	اقتصاد دیجیتال	چالش اصلی
تهران	۰,۸۵	۸,۱	آلودگی هوا (IND) بالا
مشهد	۰,۷۵	۶,۵	مدیریت پسماند
اصفهان	۰,۷۰	۵,۸	صنایع آب‌بر
تبریز	۰,۶۵	۵,۰	شهرنشینی سریع
شیراز	۰,۶۰	۴,۵	کمبود FDI سبز
کرج	۰,۵۵	۳,۸	حاشیه‌نشینی

بر اساس جدول ۱۴، تهران با بالاترین سطح دیجیتالی شدن، بهترین عملکرد رشد سبز را دارد، اما آلودگی ناشی از صنایع مانع اصلی است و اصفهان در رتبهٔ سوم قرار می‌گیرد و چالش اصلی آن صنایع آب بر هستند و هم‌اکنون این کلان‌شهر با بحران آب روبه‌رو می‌باشد و کلان‌شهر شیراز در رشد سبز شهری رتبهٔ پنجم را دارا می‌باشد و با چالش کمبود FDI سبز روبه‌روست و کرج پایین‌ترین امتیاز را دارد که با ضعف در جذب فناوری و حاشیه‌نشینی مرتبط است.

تحلیل حساسیت مدل Super-SBM برای اعتبارسنجی نتایج

به‌منظور اعتبارسنجی نتایج حاصل از محاسبه شاخص رشد سبز (GGI) در کلان‌شهرهای ایران، از تحلیل حساسیت در چارچوب مدل Super-SBM (Slack-Based Measure) بهره گرفته شد. این تحلیل به‌ویژه جهت سنجش پایداری نتایج کارایی در برابر تغییرات جزئی در ورودی‌ها و خروجی‌ها اهمیت دارد و می‌تواند نشان دهد که آیا رتبه‌بندی‌ها تحت نوسانات داده‌ای معتبر باقی می‌مانند یا خیر و برای اجرای تحلیل حساسیت، مراحل زیر دنبال شد:

۱. ایجاد سناریوهای تغییر جزئی :به هر یک از متغیرهای ورودی و خروجی (سرمایه، نیروی کار، مصرف انرژی، GDP، خروجی‌های آلاینده) بین ۵٪ تا ۱۰٪ نوسان اعمال شد (هم کاهش و هم افزایش).
۲. محاسبه مجدد امتیازات کارایی GGI تحت مدل Super-SBM برای هر سناریو.
۳. محاسبه انحراف معیار نتایج کارایی و تحلیل تغییرات رتبه‌ها نسبت به مقادیر اصلی.

نتایج تحلیل حساسیت بین کلان‌شهرها که شامل شاخص رشد سبز شهری، انحراف معیار حساسیت و تغییرات رتبه است به شرح جدول ۱۵ می‌باشد:

جدول ۱۵- نتایج حساسیت بین کلان‌شهرها

شهر	GGIاصلی	انحراف معیار حساسیت (±)	تغییر رتبه (حداکثر)
تهران	۱/۰۰	± ۰/۰۲	بدون تغییر
مشهد	۰/۹۵	± ۰/۰۴	۱ رتبه
اصفهان	۰/۸۵	± ۰/۰۳	بدون تغییر
تبریز	۰/۷۸	± ۰/۰۶	تا ۲ رتبه
شیراز	۰/۷۲	± ۰/۰۵	۱ رتبه
کرج	۰/۶۵	± ۰/۰۷	تا ۲ رتبه

• پایداری بالا: تهران و اصفهان نسبت به تغییرات داده‌ای بسیار مقاوم بودند و رتبه آنها ثابت ماند که نشان‌دهنده ثبات ساختار اقتصادی- زیست‌محیطی این شهرها است.

• پایداری متوسط: مشهد و شیراز با تغییرات محدودی در رتبه مواجه شدند که نشان‌دهنده حساسیت جزئی نسبت به متغیرهای زیربنایی (مانند مصرف انرژی یا میزان آلاینده‌ها) است.

• پایداری پایین: تبریز و کرج بیشترین نوسان را در رتبه داشتند. به‌ویژه کرج به دلیل وابستگی شدید به تهران و کمبود زیرساخت‌های مستقل، حساسیت بالایی نسبت به تغییرات در داده‌های سرمایه و منابع مصرفی نشان داد.

یافته‌های این پژوهش نشان داد که رشد سبز در کلان‌شهرهای ایران با تفاوت‌هایی معنادار همراه است و هر شهر نیازمند سیاست‌های اجرایی متناسب با شرایط خاص خود است. تهران که در رتبه نخست قرار دارد، باید با تمرکز بر توسعه حمل‌ونقل سبز، انرژی‌های تجدیدپذیر و حفاظت از فضای سبز، پایداری عملکرد فعلی خود را حفظ کند و به‌عنوان الگویی برای سایر کلان‌شهرها، تجربیات موفق خود را مستندسازی و منتقل نماید. مشهد نیز با نزدیکی به مرز کارایی، نیازمند سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های انرژی کارآمد و مدیریت آلاینده‌های ناشی از زائرپذیری بالا است. در اصفهان، به دلیل تمرکز بالای صنایع سنگین، اصلاح ساختار تولیدی با تکیه‌بر بازآفرینی صنعتی سبز و تشویق به

نوآوری زیست‌محیطی در بخش تولید ضرورت دارد. تبریز نیز که نوسانات عملکرد دارد، باید با ارتقای حمل‌ونقل عمومی و بهره‌گیری از همکاری‌های فرامرزی، زیرساخت‌های انرژی تجدید پذیر را تقویت کند.

در شیراز، تمرکز بر بهبود بهره‌وری منابع و توسعه سیستم‌های بازیافت و مدیریت پسماند، اولویت اصلی برای ارتقای عملکرد زیست‌محیطی محسوب می‌شود. شهر کرج که پایین‌ترین رتبه را به خود اختصاص داده، به اقدامات اصلاحی فوری نیاز دارد و باید با جداسازی ساختاری و مدیریتی از تهران، به توسعه زیرساخت‌های مستقل در حوزه برق پاک، آب شهری و حمل‌ونقل غیرمتمرکز بپردازد. درمجموع، لازم است سیاست‌گذاران به‌جای رویکردی یکنواخت، از راهبردهای منطقه‌ای و مبتنی بر تحلیل کارایی بهره گیرند و بر اساس شاخص‌های رشد سبز، سندهای توسعه سبز شهری را به‌صورت خاص گرا و بومی‌سازی‌شده برای هر کلان‌شهر تدوین و اجرا کنند.

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش با بررسی تأثیر اقتصاد دیجیتال بر رشد سبز شهری در کلان‌شهرهای ایران، یافته‌های مهمی را ارائه می‌دهد که همسو با مطالعات پیشین و درعین‌حال حاوی نکات بدیع است. نتایج نشان می‌دهد که اقتصاد دیجیتال از طریق دو مکانیسم اصلی کاهش عدم تطابق منابع و تقویت نوآوری‌های فناوری سبز به بهبود شاخص‌های رشد سبز منجر می‌شود. این یافته با پژوهش‌های مشابه در سایر کشورهای درحال‌توسعه مانند چین (Zhang et al., 2021) و هند (Sharma et al., 2023) همخوانی دارد که بر نقش دیجیتالی سازی در بهینه‌سازی تخصیص منابع و تسهیل انتقال فناوری‌های پاک تأکید کرده‌اند. بااین‌حال، نکته متمایزکننده تحقیق حاضر، شناسایی اثرات ناهمگون دیجیتالی سازی در شهرهای مختلف ایران است که ناشی از تفاوت‌های ساختاری و زیربنایی می‌باشد.

انتخاب شش کلان‌شهر تهران، مشهد، اصفهان، تبریز، شیراز و کرج برای مطالعه، به‌احتمال‌زیاد بر اساس معیارهایی چون تمرکز جمعیتی و اقتصادی، پراکندگی جغرافیایی،

و دسترسی به داده‌های معتبر صورت گرفته است. این شهرها به‌عنوان قطب‌های اصلی اقتصاد دیجیتال کشور، نمایندگی مناسبی از مناطق مختلف ایران دارند و داده‌های آن‌ها توسط نهادهای رسمی با دقت بیشتری گردآوری می‌شود که برای مدل‌سازی‌های کمی مانند DEA بسیار حیاتی است.

در مقابل، عدم انتخاب شهرهایی مانند رشت و اهواز به دلایل روش‌شناختی قابل توجیه است. تفاوت در سطح توسعه و ساختار اقتصادی این شهرها با کلان‌شهرهای منتخب می‌تواند موجب ناهمگنی در تحلیل شود. همچنین، محدودیت در تعداد واحدهای تصمیم‌گیری در مدل‌های پوششی داده‌ها ایجاب می‌کند که تعداد شهرها متناسب با شاخص‌ها باشد تا دقت مدل حفظ شود.

تمرکز مطالعه بر تعاملات فضایی بین قطب‌های اصلی اقتصادی نیز دلیل مهمی برای محدود کردن دامنه پژوهش بوده است. هدف اصلی، تحلیل اثرات سرریز بین شهرهای بزرگ و پرنفوذ بوده و شهرهای میانی مانند رشت و اهواز، باوجود اهمیت منطقه‌ای، ممکن است در شبکه ارتباطی این شش شهر جایگاه متفاوتی داشته باشند و حضور آن‌ها در مدل موجب اختلال در ساختار تحلیلی شود.

یافته اصلی این پژوهش مبنی بر تأثیر مثبت و معنادار اقتصاد دیجیتال بر رشد سبز شهری، به‌طور گسترده‌ای توسط ادبیات بین‌المللی تأییدشده است. برای نمونه، مطالعات Li, et al. (2021) و Ren, et al. (2021) در چین نیز به‌وضوح نشان داده‌اند که توسعه اقتصاد دیجیتال و اینترنت می‌تواند به کاهش شدت انرژی و مصرف انرژی کمک کند. این پژوهش‌ها، در کنار کارهای محققانی مانند Lange, et al. (2020)، بر مکانیسم‌های مشترکی مانند بهینه‌سازی تخصیص منابع، افزایش شفافیت و تسهیل نوآوری‌های فناورانه سبز به‌عنوان مسیرهای اصلی اثرگذاری تأکیددارند. علاوه بر این، شناسایی اثرات سرریز فضایی اقتصاد دیجیتال در این پژوهش، با یافته‌های Liang & Qiao (2025) و Savchenko & Borodina (2020) همخوانی دارد که بر توانایی فناوری‌های دیجیتال برای گسترش منافع پایداری از شهرهای پیشرو به مناطق پیرامونی اشاره‌کرده‌اند.

ازجمله روش‌شناسی، استفاده از رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) برای سنجش کارایی رشد سبز، رویکردی ریشه‌دار و معتبر در مطالعات انرژی و محیط‌زیست است .

بااین‌حال، نقطه تمایز اصلی این پژوهش، تمرکز بر بافت خاص اقتصادی-اجتماعی ایران و شناسایی اثرات ناهمگون دیجیتالی سازی در کلان‌شهرهای مختلف است. در حالی‌ک ه بسیاری از مطالعات بین‌المللی (مانند کارهای Bai & Shen (2025) و Liu, et al., (2024) بر میانگین اثرات در سطح ملی یا منطقه‌ای متمرکزشده‌اند، این تحقیق نشان می‌دهد که سطح توسعه زیرساخت‌های دیجیتال، کیفیت نیروی انسانی و بلوغ سیاست‌های صنعتی سبز در هر شهر می‌تواند نتیجه نهایی را به‌طور اساسی تغییر دهد. برای مثال، عملکرد متفاوت تهران در مقایسه با مشهد و اصفهان، این فرض ساده را که "سطح بالاتر دیجیتالی سازی همواره منجر به پایداری بیشتر می‌شود" به چالش می‌کشد و نشان می‌دهد که دیجیتالی سازی بدون تحول هم‌زمان در ساختارهای صنعتی ممکن است به "پارادوکس بهره‌وری دیجیتال" بینجامد؛ یافته‌ای که توسط Wang, et al., (2021) نیز پیش‌بینی شده بود. از منظر چالش‌ها، این پژوهش به‌طور مستقیم به موانع بومی شناسایی‌شده در گزارش سفیر (۱۴۰۴)، ازجمله ضعف زیرساخت‌ها، کمبود نیروی متخصص و نبود سیاست‌های انگیزشی، می‌پردازد و نشان می‌دهد که این موانع چگونه می‌توانند تا ۵۰ درصد از ظرفیت بالقوه رشد سبز کشور بکاهند.

این مطالعه از چند جنبه به ادبیات موجود در حوزه اقتصاد دیجیتال و رشد سبز افزوده و نوآوری ایجاد می‌کند. اولاً، این پژوهش با به‌کارگیری شاخص‌های ترکیبی چندبعدی برای سنجش اقتصاد دیجیتال (مانند آنچه توسط Ren, et al., (2021) پیشنهاد شد) و تلفیق آن با مدل SBM در تحلیل پوششی داده‌ها برای محاسبه کارایی رشد سبز، یک چارچوب سنجش یکپارچه و جامع‌تر نسبت به مطالعاتی که بر شاخص‌های تک‌بعدی مانند نفوذ اینترنت تکیه‌دارند، ارائه می‌دهد. ثانیاً، تحلیل این پژوهش در سطح شهری و مقایسه شش کلان‌شهر بزرگ ایران، دقتی بسیار بالاتر از مطالعات کلان اقتصادی دارد و امکان ارائه راهکارهای سیاستی بومی‌سازی‌شده را فراهم می‌سازد. این رویکرد به سیاست‌گذاران

کمک می‌کند تا به‌جای اتخاذ یک استراتژی یکسان برای همه، برنامه‌های اختصاصی برای شهرهای با ویژگی‌های مختلف (از تهران با ساختار صنعتی پیچیده تا شهرهای در حال توسعه‌ای مانند تبریز) طراحی کنند. در نهایت، این پژوهش به‌طور صریح به تعامل پیچیده بین فناوری دیجیتال و نهادها می‌پردازد و نشان می‌دهد که صرف سرمایه‌گذاری روی فناوری‌های دیجیتال بدون تقویت نهادهای حامی، سیاست‌های تنظیمی مناسب و توسعه سرمایه انسانی، نمی‌تواند به تحقق رشد سبز منجر شود. این یافته، غنای نظری بحث را افزایش داده و دریچه‌ای برای تحقیقات آتی در زمینه تحلیل نهادی اقتصاد دیجیتال سبز در اقتصادهای نوظهور می‌گشاید.

تبیین نتایج حاکی از آن است که موفقیت مشهد و اصفهان در دستیابی به رشد سبز بهینه، نه‌تنها به سطح بالای دیجیتالی سازی، بلکه به ترکیب هوشمندانه فناوری‌های دیجیتال با سیاست‌های صنعتی سبز مرتبط است. در مقابل، عملکرد نسبتاً ضعیف تهران - علیرغم برتری در شاخص‌های دیجیتالی - نشان‌دهنده این واقعیت است که دیجیتالی سازی به‌تنهایی کافی نبوده و باید با تحول ساختاری در بخش صنعت همراه شود. این یافته، نتایج مطالعاتی مانند (Wang, et al., 2021) را تأیید می‌کند که هشدار داده بودند دیجیتالی سازی بدون توجه به ملاحظات زیست‌محیطی ممکن است منجر به "پارادوکس بهره‌وری دیجیتال" شود، جایی که افزایش کارایی منجر به مصرف بیشتر منابع می‌گردد.

اولویت‌بندی پیشنهادهای سیاستی و چالش‌های اجرایی

بر اساس یافته‌های پژوهش، پیشنهادهای سیاستی در سه سطح اولویت‌بندی شده‌اند. در اولویت اول، تقویت زیرساخت‌های دیجیتال پایه قرار دارد که شامل توسعه زیرساخت اینترنت پرسرعت در تمام کلان‌شهرها با تأکید بر پوشش کامل، استقرار سامانه‌های پایش هوشمند محیط‌زیست مبتنی بر اینترنت اشیاء و ایجاد مراکز داده سبز با مصرف انرژی بهینه می‌باشد. این اقدامات به‌عنوان پیش‌نیاز اساسی باید در بازه زمانی کوتاه‌مدت (۱۲-۶ ماهه) اجرا شوند و نیازمند تخصیص بودجه دولتی و مشارکت بخش خصوصی هستند.

در اولویت دوم، توسعه چارچوب‌های حکمرانی و نظارتی موردتوجه قرارگرفته که مشتمل بر تدوین "برنامه‌های تحول دیجیتال سبز" متناسب با ویژگی‌های هر شهر، ایجاد نظام رتبه‌بندی و ارزیابی عملکرد محیط‌زیستی برای کسب‌وکارهای دیجیتال و تشکیل نهادهای محلی پایش سبز با مشارکت شهروندان است. این اقدامات در بازه میان‌مدت (۱۲- ۲۴ ماهه) قابل‌اجرا هستند و نیازمند هماهنگی بین دستگاهی می‌باشند.

اولویت سوم به راهبردهای پیشرفته و نوآورانه اختصاص دارد که شامل ایجاد "صندوق‌های نوآوری سبز" برای حمایت از استارتاپ‌های فناوری پاک، اجرای پروژه‌های پایلوت "شهر دیجیتال- سبز" در مقیاس محدود و طراحی سیستم "توکن‌های محیط‌زیستی" برای تشویق رفتارهای سبز می‌باشد. این راهبردها در بلندمدت (۲۴ ماه به بالا) اجرا شده و نیازمند مطالعات امکان‌سنجی دقیق و آزمایش در مقیاس کوچک هستند.

اجرای این سیاست‌ها با چالش‌های متعددی روبرو است که باید موردتوجه قرار گیرد. محدودیت بودجه‌ای و نبود سرمایه‌گذاری کافی می‌تواند اجرای پروژه‌ها را با مشکل مواجه سازد. شکاف دیجیتالی بین شهرها و نابرابری در دسترسی به فناوری ممکن است موجب تشدید نابرابری‌های منطقه‌ای شود. همچنین مقاومت در برابر تغییر و نبود فرهنگ‌سازمانی لازم در دستگاه‌های اجرایی از موانع مهم در مسیر تحول دیجیتال سبز است.

برای کاهش این ریسک‌ها، استفاده از مدل‌های تأمین مالی ترکیبی (دولتی- خصوصی)، اجرای Phased Approach با شروع از شهرهای دارای آمادگی بیشتر، اجرای برنامه‌های توانمندسازی و آموزش نیروی انسانی و ایجاد سیستم پایش و ارزیابی مستمر پیشنهاد می‌شود. این پژوهش مسیرهای جدیدی را برای تحقیقات آتی گشوده است، ازجمله بررسی تأثیر هوش مصنوعی و بلاکچین بر رشد سبز شهری و تحلیل هزینه-فایده سیاست‌های مختلف دیجیتالی سازی سبز در بافت‌های شهری متفاوت. در نهایت، اجرای موفقیت‌آمیز این راهبردها نیازمند عزم ملی، مشارکت همه‌جانبه ذی‌نفعان و نظارت مستمر بر تحقق اهداف است.

تعارض منافع

بنا به اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

ORCID

Amanullah Baloch http://orcid.org/0000-0003-1761-0828
Mehrzad Ebrahimi http://orcid.org/0000-0001-8834-3160
Hashem Zare https://orcid.org/0000-0002-4141-0589

منابع

- مرکز آمار ایران. (بدون تاریخ). *داده‌های اقتصادی و محیط‌زیستی کلان‌شهرهای ایران* .تهران: مرکز آمار ایران.
- وزارت ارتباطات ایران. (بدون تاریخ). *گزارش توسعه دیجیتال در بخش شهری* .تهران: دفتر مطالعات دیجیتال.
- سازمان محیط‌زیست ایران. (بدون تاریخ). *گزارش آلودگی هوا، مصرف انرژی و عملکرد شهری* .تهران: سازمان محیط‌زیست.
- سفیر، می‌شود (۱۴۰۴). *بررسی موانع تحقق رشد سبز در ایران با تأکید بر اقتصاد دیجیتال (گزارش تحقیقاتی)*. تهران: مرکز پژوهش‌های راهبردی سفیر.

- Bai, X. P., & Shen, Q. Q. (2025). Exploring the impact of digital economy on sustainable urban development by panel data of 30 underdeveloped cities in China. *Scientific Reports, 15*(1), 13325.
- Chen, C. B., & Ye, A. Z. (2021). Heterogeneous effects of ICT across multiple economic development in Chinese cities: A spatial quantile regression model. *Sustainability, 13*(2). https://doi.org/10.3390/su13020875
- Choi, Y., Zhang, N., & Zhou, P. (2012). Efficiency and abatement costs of energy-related CO_2 emissions in China: A slacks-based efficiency measure. *Applied Energy, 98*, 198–208. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.03.031
- Hao, X., Li, Y., Ren, S., Wu, H., & Hao, Y. (2023). The role of digitalization on green economic growth: Does industrial structure optimization and green innovation matter? *Journal of Environmental Management, 325*, 116504. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116504

- Lange, S., Santarius, T., & Pohl, J. (2020). Digitalization and energy consumption: Does ICT reduce energy demand? *Ecological Economics, 176*, 106760. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106760
- Li, Y., Yang, X., Ran, Q., Wu, H., Irfan, M., & Ahmad, M. (2021). Energy structure, digital economy, and carbon emissions: Evidence from China. *Environmental Science and Pollution Research, 28*, 64606–64629. https://doi.org/10.1007/s11356-021-15088-4
- Liang, J., & Qiao, C. (2025). The impact of digital economy on urban green and low-carbon development: Mechanism and spatial spillover effect. *Frontiers in Sustainable Cities, 7*, 1591826. https://doi.org/10.3389/frsc.2025.1591826
- Liu, L., Pang, Y., & Liu, B. (2024). Research on the impact and mechanism of digital economy on China's urban green total factor productivity. *Scientific Reports, 14*(1), 22756. https://doi.org/10.1038/s41598-024-22756-3
- Miao, Z. L. (2021). Digital economy value chain: Concept, model structure, and mechanism. *Applied Economics, 53*(37), 4342–4357. https://doi.org/10.1080/00036846.2021.1876612
- Pan, W. R., Xie, T., Wang, Z. W., & Ma, L. S. (2022). Digital economy: An innovation driver for total factor productivity. *Journal of Business Research, 139*, 303–311. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.09.061
- Ren, S., Hao, Y., Xu, L., & Wu, H. T. (2021). Digitalization and energy: How does internet development affect China's energy consumption? *Energy Economics, 98*, 105220. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105220
- Ren, S., Li, L., Han, Y., Hao, Y., & Wu, H. (2022). The emerging driving force of inclusive green growth: Does digital economy agglomeration work? *Business Strategy and the Environment, 31*, 1656–1678. https://doi.org/10.1002/bse.2972
- Savchenko, A. B., & Borodina, T. L. (2020). Green and digital economy for sustainable development of urban areas. *Regional Research of Russia, 10*(4), 583–592. https://doi.org/10.1134/S2079970520040112
- Sharma, R., & Mishra, P. (2022). Digitalization and resource allocation: Effects on green growth in emerging economies. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*. https://doi.org/10.1080/13504509.2022.2041553
- Sorescu, A., & Schreier, M. (2021). Innovation in the digital economy: A broader view of its scope, antecedents, and consequences. *Journal of the Academy of Marketing Science, 49*, 627–631. https://doi.org/10.1007/s11747-021-00792-9

- Tang, L., Lu, B., & Tian, T. (2021). Spatial correlation network and regional differences for the development of digital economy in China. *Entropy, 23*, 1575. https://doi.org/10.3390/e23121575
- Tapscott, D. (1995). *Digital economy: Promise and peril in the age of networked intelligence*. McGraw-Hill.
- Tone, K. (2004). Dealing with undesirable outputs in DEA: A slacks-based measure (SBM) approach. In *NAPW III Conference Proceedings* (pp. 44–45). Toronto.
- Turcan, V., Gribincea, A., & Birca, I. (2014). Digital economy—a premise for economic development in the 20th century. *Economy & Sociology: Theoretical & Scientific Journal, 2*, 109–115.
- Wang, H. R., Cui, H. R., & Zhao, Q. Z. (2021). Effect of green technology innovation on green total factor productivity in China: Evidence from spatial Durbin model analysis. *Journal of Cleaner Production, 288*, 125624. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125624
- Wang, L., Chen, Y., Ramsey, T. S., & Hewings, G. (2021). Will researching digital technology really empower green development? *Technology in Society, 66*(10), 101638. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101638
- Wu, H. T., Hao, Y., Ren, S. Y., Yang, X. D., & Xie, G. (2021). Does internet development improve green total factor energy efficiency? Evidence from China. *Energy Policy, 153*, 112247. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112247
- Zhang, D., & Vigne, S. A. (2021). How does innovation efficiency contribute to green productivity? A financial constraint perspective. *Journal of Cleaner Production, 280*, 124000. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124000
- Zhou, P., Ang, B. W., & Poh, K. L. (2008). A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies. *European Journal of Operational Research, 189*(1), 1–18. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.06.042
- Zhu, Y., Liang, D., & Liu, T. (2020). Can China's underdeveloped regions catch up with green economy? A convergence analysis from the perspective of environmental total factor productivity. *Journal of Cleaner Production, 255*, 120216. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120216

استناد به این مقاله: بلوچ، امن الله؛ ابراهیمی، مهرزاد و زارع، هاشم. (۱۴۰۴). تأثیر اقتصاد دیجیتالی بر رشد سبز شهری (دوستدار محیط زیست)، فصلنامه برنامه‌ریزی توسعه شهری و منطقه‌ای، ۱۰(۳۵)، ۸۵-۱۲۶.

Urban and Regional Development Planning is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.