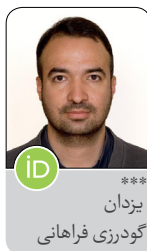


# بررسی اثر سیاست‌های صنعتی سبز بر پایداری بخش صنعت<sup>۱</sup>



| فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی | شماره ۱۲۰ | دوره ۳۰ | پاییز ۱۴۰۵ | ۴۱-۸۲ |

<https://doi.org/10.22034/ijts.2026.2087211.4256>

| دریافت: ۱۴۰۵/۰۱/۳۰ | بازنگری: ۱۴۰۵/۰۵/۰۵ | پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۰۶ |

## کلیدواژه‌ها

سیاست صنعتی سبز / توسعه پایدار / بخش صنعت / پیل دیتا / پیل آستانه‌ای پویا

## چکیده

در ادبیات نوین اقتصاد و توسعه پایدار، جهت‌دهی مسیر نوآوری‌ها به سمت گذار به اقتصاد سبز به‌عنوان یکی از الزامات اساسی مورد توجه قرار گرفته است. تشدید چالش‌های زیست‌محیطی در دهه‌های اخیر، نقش دولت‌ها در فرآیند تحول ساختاری را برجسته کرده و موجب شکل‌گیری نسل جدیدی از سیاست‌های صنعتی شده است که هدف آن‌ها صرفاً حمایت از تولید نیست، بلکه ایجاد تحول فناورانه، افزایش بهره‌وری و هدایت اقتصاد به سوی مسیرهای توسعه پایدار است. آسم‌اوغلو و همکاران (۲۰۱۹) نشان می‌دهند که در نبود مداخلات سیاستی، اقتصادها به دلیل وابستگی به مسیر گذشته ممکن است در فناوری‌های آلاینده قفل شوند. همچنین آگیون و همکاران (۲۰۱۹) تأکید می‌کنند که سیاست‌های صنعتی از طریق تحریک نوآوری سبز می‌توانند رشد اقتصادی و حفاظت از محیط‌زیست را به‌صورت همزمان تقویت کنند. بر این

۱. این مقاله برگرفته از رساله دکتری رضوان آقامیرزایی است.

\* دانشجوی دکتری اقتصاد، پردیس بین‌المللی کیش دانشگاه تهران.

\*\* استاد دانشکده اقتصاد دانشگاه تهران.

\*\*\* استادیار، دکتری تخصصی دانشکده اقتصاد دانشگاه تهران.

■ محسن مهرآرا، نویسنده مسئول

mirzaei.re@ut.ac.ir

mmehrara@ut.ac.ir

Yazdan.gudarzi@ut.ac.ir



اساس، هدف این پژوهش بررسی تجربی اثر سیاست‌های نوین صنعتی سبز بر توسعه پایدار بخش صنعت در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه است. برای این منظور، با استفاده از داده‌های پانلی سالانه دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ برای ۳۲ کشور توسعه‌یافته و ۳۰ کشور در حال توسعه، از جمله ایران، و اطلاعات پایگاه داده بانک جهانی (WDI)، مدل پنل آستانه‌ای پویا مبتنی بر چارچوب هانسن (۱۹۹۹) و توسعه‌های بعدی آن برآورد شده است. مانایی متغیرها با آزمون ایم، پسران و شین (IPS) و وجود رابطه بلندمدت با آزمون هم‌انباشتگی پانلی پدرونی بررسی شده است. همچنین آزمون‌های تشخیص تعداد رژیم‌ها، تعیین متغیر و مقدار بهینه آستانه و آزمون‌های تشخیصی مدل انجام شده است. در این پژوهش، انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از فعالیت‌های صنعتی به‌عنوان شاخص توسعه پایدار صنعتی در نظر گرفته شده و اثر مصرف انرژی تجدیدپذیر، حمایت از ثبت اختراع، هزینه‌های تحقیق و توسعه و صادرات محصولات های تک بر آن بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد مصرف انرژی تجدیدپذیر دارای اثر غیرخطی بر پایداری صنعتی است؛ به‌گونه‌ای که مقدار آستانه آن در کشورهای در حال توسعه ۱۱٫۲ درصد و در کشورهای توسعه‌یافته ۶ درصد برآورد شده است. همچنین مصرف انرژی تجدیدپذیر، صادرات محصولات های تک، هزینه‌های تحقیق و توسعه و ثبت اختراع اثر کاهنده بر انتشار دی‌اکسیدکربن صنعتی داشته‌اند، در حالی که شدت انتشار کربن و شدت مصرف انرژی اثر افزایشی بر انتشار آلاینده‌گی داشته‌اند. ضریب تصحیح خطا نیز نشان‌دهنده تعدیل مناسب به سمت تعادل بلندمدت است.

---

JEL: Q56, O32, L60, C33, Q01, O11 طبقه‌بندی

---



# Studying the Impact of Green Industrial Policies on the Sustainability of the Industrial Sector

Rezvan Aghamirzaei, PhD Student in Economics, Kish International Campus, Iran. 

Mohsen Mehrara, Professor of Economics, Faculty of Economics, University of Tehran, Iran. (Corresponding author) 

Yazdan Goudarzi, Assistant Professor, PhD, Faculty of Economics, University of Tehran, Iran. 

Vol 30, No. 120, Autumn 2026

Journal of Trade Studies (JTS)

 <https://doi.org/10.22034/ijts.2026.2087211.4256>

| Received: 19 Apr. 2026 | Revised: 27 July. 2026 | Accepted: 28 July. 2026 |

## Abstract

Recent literature on economics and sustainable development increasingly emphasizes the importance of directing innovation pathways toward the transition to a green economy. The intensification of environmental challenges in recent decades has highlighted the role of governments in structural transformation and has led to the emergence of a new generation of industrial policies. These policies aim not only to support production but also to promote technological transformation, enhance productivity, and guide economies toward sustainable development pathways. Acemoglu et al. (2019) argue that, in the absence of policy interventions, economies may become locked into polluting technologies due to path dependence. Similarly, Aghion et al. (2019) demonstrate that industrial policies can simultaneously promote economic growth and environmental protection through the stimulation of green innovation. Therefore, this study empirically investigates whether green industrial policies can create synergies between economic objectives and environmental sustainability. Using annual panel data from 2000 to 2024 for 32 developed and 30 developing countries, including Iran, obtained from the World Bank database (WDI), this study estimates a dynamic threshold panel model based on Hansen's (1999) framework and its subsequent extensions. The stationarity of variables is examined using the Im, Pesaran, and Shin (IPS) unit root test, while the existence of long-run relationships is assessed through the Pedroni panel cointegration test. Threshold determination, regime number tests, optimal threshold estimation, and diagnostic tests are also conducted. In the model, industrial CO<sub>2</sub> emissions are considered an indicator of sustainable industrial development, and the effects of renewable energy consumption, patent protection, research and development (R&D) expenditures, and high-tech exports are evaluated. The findings indicate that renewable energy consumption has a nonlinear effect on industrial sustainability, with threshold values estimated at 11.2% for developing countries and 6% for developed countries. Moreover, renewable energy consumption, high-tech exports, R&D expenditures, and patents have negative effects on industrial CO<sub>2</sub> emissions, while carbon emission intensity and energy consumption intensity positively affect pollution growth. The estimated error correction coefficient confirms an appropriate adjustment mechanism toward long-run equilibrium.

abbasiraei@iamu.ac.ir

JEL Classification: Q56, O32, L60, C33, Q01, O11

**Keywords:** Green Industrial Policy, Sustainable Development, Industrial Sector, Dynamic Threshold Panel Data Model

**Data Availability:** The data used or generated in this research are presented in the text of the article.

**Conflicts of Interest:** The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

در دهه‌های اخیر، فشارهای ناشی از تغییرات اقلیمی<sup>۱</sup>، محدودیت منابع طبیعی، افزایش تقاضای جهانی و رقابت فزاینده در بازارهای بین‌المللی، چشم‌انداز صنایع را به‌طور بنیادین دگرگون ساخته است. این دگرگونی موجب شده که سیاست‌گذاران و پژوهشگران توجه ویژه‌ای به نوآوری، کارایی زیست‌محیطی و پایداری اجتماعی در بخش‌های صنعتی داشته باشند. از یک سو، افزایش جمعیت جهانی و تغییر الگوی مصرف، فشار فزاینده‌ای بر ظرفیت تولید صنایع وارد کرده است؛ از سوی دیگر بخش صنعت سهم قابل توجهی در مصرف انرژی و آب و همچنین انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد. این تناقض میان ضرورت رشد و محدودیت‌های زیست‌محیطی، نقطه آغازین پرسش‌های عمیق درباره آینده این حوزه و نقش نوآوری در دستیابی به توسعه پایدار به ویژه در کشورهای در حال توسعه است، چراکه کشورهای در حال توسعه در مسیر گذار به صنایع پایدار با موانعی جدی روبه‌رو هستند از جمله محدودیت سرمایه، شکاف فناورانه و ضعف نهادهای تنظیم‌گر (رودریک و استیگلitz<sup>۲</sup>، ۲۰۲۴). با توجه به آثار ثروت‌زایی و اشتغال‌زایی صنعت از یک سو و آثار منفی آن بر محیط‌زیست، منابع طبیعی و سلامت اجتماعی از سوی دیگر، ایجاد هم‌افزایی بین صنعت و توسعه پایدار نیازمند راهبردهای نوآورانه و رویکردهایی است که در آن همگان از منافع اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی بهره‌مند شوند (پورتر و وندرلاین، ۱۹۹۵)<sup>۳</sup>. به عنوان نمونه در بعد اقتصادی صنعت می‌تواند به ایجاد فرصت‌های شغلی پایدار، سرمایه‌گذاری و رشد اقتصادی کمک کرده و با بهبود شرایط اقتصادی منجر به کاهش فقر شود (ساکس، ۲۰۱۵)<sup>۴</sup>. همچنین در بعد زیست‌محیطی استفاده از تکنولوژی‌های پاک و سبز در صنعت می‌تواند تأثیرات منفی بر محیط‌زیست را کاهش دهد، بطوریکه بسیاری از صنایع با تطبیق فرآیندهای تولیدی خود به استانداردهای زیست‌محیطی، می‌توانند سهم خود را در کاهش آلودگی، حفظ منابع طبیعی و مقابله با تغییرات اقلیمی ایفا کنند (هارت، ۱۹۹۷)<sup>۵</sup>. بر اساس آمارهای بین‌المللی آژانس جهانی انرژی، ایران در بین ۲۰ کشور با بیشترین عرضه کل انرژی جهان (مجموع عرضه بیش از ۷۵٪) قرار دارد. همگی این عرضه‌کنندگان عمده انرژی، به غیر از دو کشور ایران و برزیل در دهه منتهی به سال ۲۰۲۲ تلاش بسیاری برای کاهش شدت انرژی مصرفی خود داشته‌اند، هر چند در سطح اندک (مانند کانادا، عربستان و روسیه) (سازمان جهانی انرژی، ۲۰۲۵)<sup>۶</sup>.

1. Climate Change
2. Rodrik & Stiglitz
3. Porter & van der Linde
4. Sachs
5. Hart, S. L.
6. IEA: International Energy Agency



بنابر تعریف کمیسیون جهانی محیط زیست و توسعه (WCED)<sup>۱</sup> توسعه پایدار، توسعه‌ای است که نیازهای نسل کنونی را بدون به خطر انداختن توانایی نسل‌های آینده در پاسخ‌گویی به نیازهای خود، تامین می‌کند. در واقع توسعه پایدار مفهومی چندبعدی است که به دنبال ایجاد توازن بین رشد اقتصادی، عدالت اجتماعی و حفاظت از محیط زیست است و متکی بر سه ستون بنیادین پایداری اقتصادی، پایداری اجتماعی و پایداری زیست محیطی است. سازمان ملل متحد نیز از سال ۲۰۱۵ در قالب «دستور کار ۲۰۳۰ برای توسعه پایدار»، مفهوم توسعه پایدار را از طریق تدوین ۱۷ هدف توسعه پایدار (SDGs)<sup>۲</sup> عملیاتی کرده است (سازمان ملل، ۲۰۱۵).<sup>۳</sup>

بر اساس تعریف رودریک سیاست صنعتی شامل هر فعالیت عمدی دولتی است که بخش‌ها و فعالیت‌های اقتصادی خاصی را تحریک می‌کند و بدین ترتیب تغییرات ساختاری را ترویج می‌دهد (رودریک، ۲۰۰۷). اگرچه به طور سنتی هدف اصلی آن انتقال از جوامع کشاورزی به صنعتی بوده ولی اصطلاح سیاست صنعتی به طور گسترده‌تر به هر حمایت عمومی از تغییرات ساختاری اشاره دارد. سیاست صنعتی با حوزه‌های سیاستی متعددی از جمله سیاست تجاری، سیاست مالی، سیاست رقابت، سیاست زیرساخت، سیاست آموزش و سیاست اشتغال هم‌پوشانی دارد. سیاست‌های صنعتی عمدتاً با هدف افزایش کارایی اقتصادی و رقابت پذیری طراحی شده‌اند. با این حال افزایش بهره‌وری به تنهایی دنبال نمی‌شود، بلکه شمولیت اجتماعی، انسجام و پایداری زیست محیطی نیز در نظر گرفته می‌شوند (آیگینگر، ۲۰۱۴).<sup>۴</sup> به باور چانگ بازارها به دو دلیل رفتار انحصاری و اثرات خارجی<sup>۵</sup> ممکن است دچار شکست شوند (چانگ ۱۹۹۶).<sup>۶</sup> حوزه‌هایی مانند نوآوری، یادگیری و فناوری به شدت مستعد شکست بازار هستند و در عین حال پتانسیل توسعه بالایی دارند. از این رو است که حمایت عمومی از تحقیق و توسعه، شکل‌گیری سرمایه انسانی متخصص و انتقال فناوری از عناصر اساسی سیاست صنعتی در تقریباً همه اقتصادهای با عملکرد بالا هستند (آلتنبورگ و همکاران ۲۰۰۸).<sup>۷</sup> در حال حاضر یک پرسش مهم پیش روی کشورها قرار دارد، این‌که چگونه می‌توان سیاست‌های صنعتی را برای مقابله با چالش دوگانه تغییر ساختارهای اقتصادی به گونه‌ای طراحی کرد که هم رفاه افزایش یابد و هم فعالیت‌های ناپایدار زیست محیطی با فعالیت‌های پایدار جایگزین شوند. در واقع، آگاهی از نیاز به سیاست صنعتی سبز به وضوح در میان دینفعان کشورهای در حال توسعه در حال افزایش است، بطوریکه عموماً

1. World Commission on Environment and Development
2. Sustainable Development Goals
3. United Nations
4. Aiginger
5. Externality Effects
6. Chang, Ha-joon
7. Altenburg et al.



دولت های کشورهای با سطوح درآمدی بسیار متفاوت، استراتژی های اقتصاد سبز را تصویب کرده اند. از بسیاری جهات، هدایت سرمایه گذاری به سمت اقتصاد سبز تفاوت چندانی با هدایت آنها به سمت اهداف سیاست صنعتی مرسوم مانند ارزش افزوده بالاتر و افزایش بهره وری ندارد (آلتنبرگ و رودریک، ۲۰۱۷).<sup>۱</sup> همانطور که شوارتز می گوید، صنایع سبز اساسا صنایع نوزادی هستند، با تمام ویژگی های صنایع نوزاد و در معرض فرصت ها و چالش های مشابه برای ارتقای آنها (شوارتز، ۲۰۱۵).<sup>۲</sup> در نهایت مانند سیاست صنعتی، تغییر به صنایع سبز جدید نیاز به حمایت عمومی دارد و بنابراین باید راه هایی برای مقابله با بازندگان و هموار کردن سازگاری شرکت ها و نیروی کار پیدا کرد (فی و همکاران، ۲۰۱۵).<sup>۳</sup>

با توجه به مقدمه ذکر شده ساختار مطالعه حاضر از چهار بخش تشکیل شده است. بخش اول اختصاص به مساله کلی مورد بررسی داشته است. بخش دوم مبانی نظری پژوهش را در برمی گیرد که شامل دو بخش ادبیات موضوع و مرور مطالعات پیشین خواهد بود. در بخش سوم روش شناسی تحقیق و همچنین برآورد الگوی تجربی ارائه خواهد شد و در نهایت بخش پایانی، نتیجه گیری را در بر خواهد گرفت.

## ۲. مبانی نظری تحقیق

### ۲-۱. ادبیات موضوع

در حال حاضر ادبیات نوین اقتصادی و توسعه پایدار به طور فزاینده ای بر اهمیت جهت دهی مسیر نوآوری ها به سمت گذار به سوی اقتصاد سبز تاکید دارند. در سطح بین المللی، شواهد نشان می دهد که کشورهای که سیاست های صنعتی و نوآوری خود را به صورت هدفمند در جهت انرژی های تجدیدپذیر و فناوری های سبز طراحی کرده اند، توانسته اند همزمان بهره وری و رشد اقتصادی را ارتقا دهند و آثار زیست محیطی تولید را کاهش دهند (پاپ، ۲۰۱۹).<sup>۴</sup> این تجربه ها نشان می دهد که گذار به توسعه پایدار بدون سیاست گذاری فعال و هدفمند در این حوزه امکان پذیر نیست. پرداختن به تغییرات اقلیمی، شدت شکست های بازار متعددی را که منجر به عملکرد اقتصادی غیربهرینه می شوند کاهش، و انگیزه ها و اراده سیاسی را برای رسیدگی به آنها افزایش می دهد (استرن و استیگلیتز، ۲۰۲۳).<sup>۵</sup> بررسی های اخیر نشان می دهند برای مبارزه با تغییرات اقلیمی، نوآوری باید هر چه بیشتر به سمت فناوری های سبز مانند فناوری های تقویت کننده سوخت های فسیلی یا منابع انرژی پاک و تجدیدپذیر هدایت شود. در واقع مالیات کربن و یارانه به نوآوری های سبز می تواند به تغییر مسیر فناوری و کمک به مبارزه با تغییرات آب و هوایی کمک کند (آسم اوغلو و آگیون،

1. Tilman Altenburg, Dani Rodrik

2. J. Schwartz

3. M. Hallegatte Fay.et. al

4. Popp

5. Stern & Stiglitz



۲۰۲۳<sup>۱</sup> به این ترتیب سیاست‌های بهینه اقلیمی در چارچوب‌های جدید بسیار متفاوت از سایر مدل‌های اقتصادی قبلی هستند. در واقع استراتژی‌هایی که در گذشته به خوبی کار کرده‌اند، بعید است که در دهه‌های آینده این کار را انجام دهند. بنابراین شرایط جدید مستلزم رویکرد جدیدی برای توسعه است که بر دو حوزه اقتصادی گذار سبز و تقویت بهره‌وری نیروی کار تاکید کند (رودریک و استیگلیتز، ۲۰۲۴). به عنوان یکی از نمودهای عملی گذار سبز و حرکت به سمت جایگزینی سوخت‌های فسیلی با انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توان به گزارش سازمان جهانی انرژی<sup>۲</sup> اشاره کرد که تاکید می‌کند سه برابر کردن ظرفیت جهانی انرژی‌های تجدیدپذیر تا سال ۲۰۳۰ در دسترس و امکان‌پذیر است. طبق یک سناریوی شتاب‌یافته، ظرفیت جهانی انرژی‌های تجدیدپذیر در سال ۲۰۳۰ تقریباً به ۱۱۰۰۰ گیگاوات خواهد رسید و مسیری را برای دستیابی به هدف سه برابر کردن ارائه می‌دهد. در این سناریو، چین، اروپا، هند و ایالات متحده در مجموع ۸۰٪ از کل ظرفیت نصب‌شده در سراسر جهان را تأمین خواهند کرد (انجمن بین‌المللی انرژی، ۲۰۲۴)<sup>۳</sup>.

از منظر سیاست صنعتی، کشورهای در حال توسعه در دهه‌های اخیر راهبردهای مختلفی برای حمایت از صنایع کشور در پیش گرفته‌اند. سیاست‌هایی از قبیل اعطای یارانه انرژی، حمایت از صادرات (در قالب مشوق‌های صادراتی) و معافیت‌های مالیاتی. با این حال این سیاست‌ها عمدتاً بر افزایش تولید کمی متمرکز بوده و کمتر به جهت‌دهی به سمت نوآوری و دستیابی به اهداف زیست‌محیطی و پایداری توجه کرده‌اند. با توجه به شواهد موجود در اقتصاد بسیاری از کشورهای در حال توسعه، می‌توان گفت هم‌اکنون این کشورها در نقطه‌ای ایستاده‌اند که از یک سو ظرفیت بالایی برای ایجاد ارزش افزوده، اشتغال و توسعه صادرات دارند، و از سوی دیگر با محدودیت‌های جدی در زمینه نوآوری سبز، بهره‌وری و مصرف منابع و استانداردهای زیست‌محیطی مواجه‌اند. این وضعیت دوگانه، بازتاب همان چالشی است که ادبیات جهانی توسعه پایدار به‌ویژه در بحث گذار سبز و «قفل‌شدگی فناورانه» بر آن تاکید دارد (آسم‌اوغلو و آگیون، ۲۰۲۳). در چنین شرایطی، نقش سیاست صنعتی پایدار اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند، بطوریکه می‌تواند این بخش را به یکی از پیشران‌های توسعه پایدار در اقتصاد کشورها تبدیل کند. مجموعه شواهد آشکار می‌سازد که بدون بازطراحی سیاست صنعتی در کشورهای در حال توسعه، با محوری نوآوری سبز (راهی که کشورهای توسعه‌یافته در پیش گرفته‌اند)، ارتقای بهره‌وری، بهینه‌سازی مصرف منابع، رعایت استانداردهای زیست‌محیطی، صنایع این کشورها توان رقابت در عرصه جهانی و همسویی با اهداف توسعه پایدار را نخواهند داشت. بنابراین، پاسخ به این پرسش که چه مسیرهای نوین سیاست صنعتی می‌توانند اقتصاد کشورهای در حال توسعه را از وضعیت موجود به سمت توسعه‌ای پایدار، مبتنی بر نوآوری سبز و ارتقای

1. Acemoglu, Aghion

2. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY

3. IEA, 2024

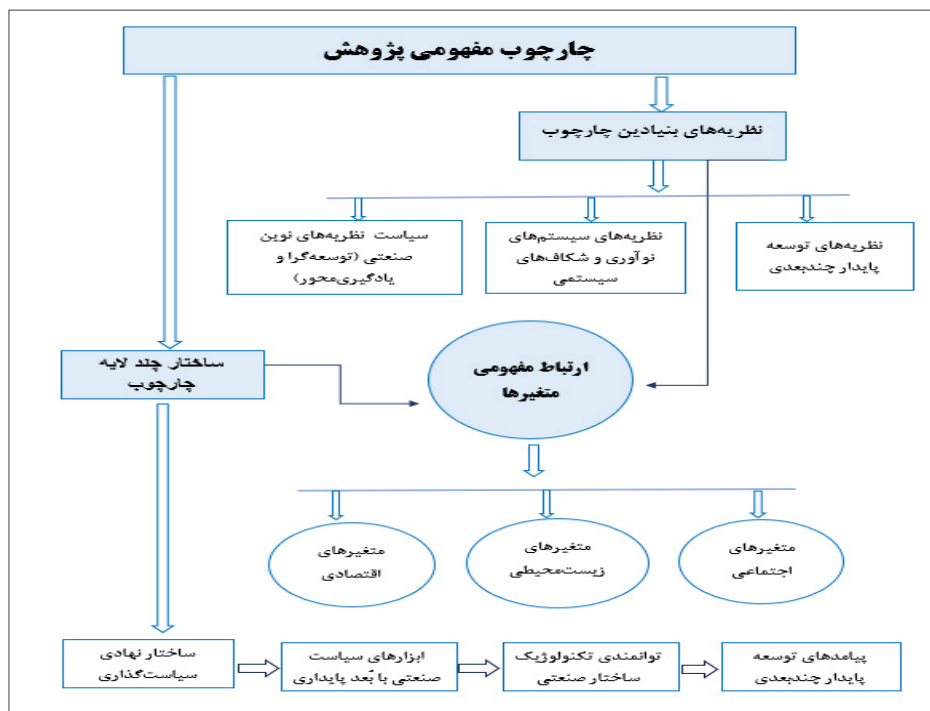


بهره‌وری سوق دهند، بسیار مفید بوده و می‌تواند مبنای سیاست‌گذاری در کشورهای در حال توسعه قرار گیرد بطوریکه این پایداری در هر سه بعد اقتصادی، محیط زیستی و اجتماعی جاری باشد.

### چارچوب مفهومی مدل (Conceptual Framework)

توسعه پایدار اقتصادی به عنوان یکی از ارکان اصلی توسعه در قرن ۲۱، مستلزم تعامل هم‌زمان و متوازن میان اهداف اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی است. بر اساس ادبیات نوین اقتصاد توسعه صنعتی (آسم اوغلو و آگیون، ۲۰۲۳؛ رودریک و استیگلیتز، ۲۰۲۴؛ استرن و استیگلیتز، ۲۰۲۳)، پایداری در سطح صنعت را می‌توان نتیجه تعامل میان سه محرک اساسی دانست از جمله بهره‌وری و نوآوری تکنولوژیک (عوامل اقتصادی)؛ کارایی مصرف انرژی و کاهش آلاینده‌ها (عوامل زیست محیطی) و در نهایت عدالت اجتماعی در توزیع فرصت‌های شغلی و برخورداری از امنیت غذایی (عوامل اجتماعی). در راستای پاسخ به چالش‌های فزاینده توسعه اقتصادی صنعتی با حفظ منابع طبیعی و انسجام اجتماعی، این پژوهش چارچوبی مفهومی را برای سنجش و تحلیل پایداری بخش صنعت<sup>۱</sup> ارائه می‌دهد. در این پژوهش، چارچوب مفهومی با الهام از الگوی سه بعدی اهداف توسعه پایدار سازمان ملل متحد (UN-SDGs) و با تطبیق آن با ساختارهای تحلیل صنعتی در سطح اقتصاد و همچنین مطابق با ادبیات نوین اقتصاد توسعه صنعتی طراحی شده است. چارچوب حاضر چارچوبی تحلیلی و چندلایه است که به صورت تلفیقی از نظریه‌های سیاست صنعتی نوین، نظریه‌های سیستم‌های نوآوری و نظریه‌های توسعه پایدار چندبعدی طراحی شده است. در این چارچوب، سیاست‌های صنعتی در حمایت از نوآوری تکنولوژیک در صنایع تولیدی با رویکرد توسعه پایدار مورد بررسی قرار خواهند گرفت. خلاصه‌ای از چارچوب مفهومی در چارت زیر آورده شده است.





ماخذ: یافته‌های پژوهش

### چارت ۱. چارچوب مفهومی پژوهش

**الف) نظریه‌های نوین سیاست صنعتی: سیاست صنعتی توسعه‌گرا و یادگیری‌محور:** بر خلاف نگاه نئوکلاسیکی که سیاست صنعتی را به مداخله در بازار برای اصلاح شکست‌های آن محدود می‌کند، نگاه توسعه‌گرا بر نقش دولت در «خلق بازارها»<sup>۲</sup> و «ایجاد ظرفیت‌های فناورانه»<sup>۳</sup> تاکید دارد. رودریک و استیگلیتز (۲۰۲۴) در مقاله‌ای ارزشمند به ضرورت بازنگری در استراتژی‌های رشد اقتصادی کشورهای در حال توسعه می‌پردازند. نویسندگان با اشاره به کاهش رشد اقتصادی در کشورهای در حال توسعه، به چالش‌های جدیدی که بر سر راه توسعه قرار دارد، می‌پردازند. فناوری‌های جدید، چالش آب و هوا و پیکربندی مجدد جهانی‌سازی مستلزم رویکرد جدیدی برای توسعه است که بر دو حوزه اقتصادی تاکید دارد: گذر سبز و تقویت بهره‌وری در خدمات غیرقابل تجارت (خدمات جذب نیروی کار). منبع اساسی

1. Developmental and Learning-Based Industrial Policy
2. Market Creation
3. Capability Building

توسعه اقتصادی در درازمدت یادگیری است، هم در سطح فرد، که در انباشت سرمایه انسانی و یادگیری برای یادگیری منعکس می‌شود و هم در سطوح بالاتر. یادگیری سازمانی و اجتماعی، از جمله بهبود شیوه حکومت، که نه تنها مستلزم درک اصول آنچه باعث ایجاد حکمرانی خوب می‌شود، است بلکه غلبه بر موانع اجرای آنها است. رشد اقتصادی پایدار مستلزم ایجاد این اصول است: سرمایه‌گذاری مداوم در آموزش و مهارت‌ها و بهبود کیفیت آموزش. رودریک و استیگلیتز با تأکید بر جایگاه توسعه سبز در پارادایم جدید رشد معتقدند رشد آینده زمانی پایدار خواهد بود که بتواند هم‌زمان سه هدف ارتقاء بهره‌وری و اشتغال؛ کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی؛ و هموارسازی مسیر گذار به اقتصاد کم‌کربن را محقق سازد. ابعاد کلیدی توسعه اقتصادی سبز برای تحقق اهداف در کشورهای در حال توسعه شامل برخورداری از انرژی و زیرساخت سبز با سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر (خورشیدی، بادی، زیست‌توده) و بهبود بهره‌وری انرژی در صنایع؛ کشاورزی پایدار با کاهش استفاده از نهاده‌های پرمصرف و تقویت زنجیره ارزش و نیز بهره‌گیری از فناوری‌های هوشمند کشاورزی و در نهایت ایجاد شهرها و خدمات سبز با طراحی سیستم‌های پاک و ارتقاء بهره‌وری در خدمات عمومی، هستند.

جدول ۱. رویکرد اصلی در استراتژی رشد نوین رودریک و استیگلیتز

| بعد تحلیلی                      | گذار سبز <sup>۱</sup>                                                                | تقویت بهره‌وری در خدمات غیرقابل تجارت <sup>۲</sup>                             |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| مبنای نظری                      | رشد اقتصادی باید همسو با اهداف اقلیمی و کربن‌زدایی باشد                              | رشد پایدار نیازمند کارایی و بهره‌وری در بخش‌های داخلی است                      |
| هدف اصلی                        | کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، توسعه صنایع پاک و سبز                                  | ارتقای کیفیت خدمات (حمل‌ونقل، زیرساخت، آموزش، سلامت، انرژی محلی)               |
| ابزارهای سیاستی                 | سیاست صنعتی سبز، مالیات کربن، یارانه انرژی‌های تجدیدپذیر، حمایت از نوآوری زیست‌محیطی | اصلاح نهادی، سرمایه‌گذاری در مهارت‌ها، بهبود رقابت‌پذیری و دیجیتالی‌سازی خدمات |
| مزایا                           | ایجاد فرصت‌های شغلی سبز، دسترسی به بازارهای جهانی پایدار، کاهش وابستگی به سوخت فسیلی | افزایش کارایی کل اقتصاد، کاهش هزینه‌های تولید، ارتقای رفاه اجتماعی             |
| چالش‌ها                         | هزینه بالای سرمایه‌گذاری اولیه، مقاومت صنایع سنتی، نیاز به فناوری پیشرفته            | ضعف نهادی، دشواری اصلاحات ساختاری، مقاومت گروه‌های ذی‌نفع داخلی                |
| پیامد برای کشورهای در حال توسعه | امکان جهش فناورانه سبز و کاهش وابستگی به مسیرهای پرکربن                              | تقویت پایه‌های داخلی توسعه، کاهش آسیب‌پذیری نسبت به نوسانات تجارت جهانی        |

ماخذ: یافته‌های پژوهش بر مبنای (رودریک و استیگلیتز، ۲۰۲۴)

1. Green Transition

2. Non-Tradables Productivity



**ب) نظریه‌های نظام نوآوری و شکاف‌های سیستمی<sup>۱</sup>:** آسم‌اوغلو و آگیون (۲۰۲۳) در نوشتاری مهم تاکید می‌کنند که برای مبارزه با تغییرات اقلیمی، بدون به خطر انداختن رشد اقتصادی بلندمدت، نوآوری باید به سمت فناوری‌های سبز هدایت شود. آنها در این مطالعه یک چارچوب مفهومی با نام تغییر فنی هدایت‌شده<sup>۲</sup> را توسعه می‌دهند. در این چارچوب، نوآوری می‌تواند به صورت درون‌زا یا به سمت فناوری‌های تقویت‌کننده سوخت‌های فسیلی یا منابع انرژی پاک (مانند انرژی‌های تجدیدپذیر) هدف قرار گیرد. این مطالعه شواهد تجربی از وابستگی به مسیر در انتخاب شرکت‌ها بین نوآوری سبز و آلاینده ارائه می‌دهد. سپس پیامدهای این وابستگی به مسیر را برای طراحی سیاست زیست‌محیطی و رشد اقتصادی ترسیم می‌کند. نویسندگان به طور خاص، نشان می‌دهند که چارچوب آنها پیامدهای متمایزی در مورد سیاست‌های زیست‌محیطی یک‌جانبه، همکاری‌های بین‌المللی، استفاده از منابع انرژی واسطه‌ای مانند گاز طبیعی و نقش جامعه مدنی دارد. آنها معتقدند هم مالیات کربن (یا سیاست‌های سقف و تجارت) و هم یارانه به نوآوری سبز می‌تواند به تغییر مسیر تغییرات فناوری و کمک به مبارزه با تغییرات آب و هوایی کمک کند. سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز ممکن است به جای عقب انداختن رشد اقتصادی، رشد اقتصادی را افزایش دهد، بنابراین مبارزه با تغییرات آب و هوایی با رشد اقتصادی سازگار است. در چارچوب آنها هنگامی که مجموعه‌ای از کشورها شروع به پیشبرد مرز فناوری پاک می‌کنند، سایر کشورها استفاده از این فناوری‌ها را سودآور می‌دانند. بر اساس مطالعات این نظریه‌پردازان، وابستگی به مسیر گذشته<sup>۳</sup> مانع بزرگی برای انتقال به انرژی پاک است و فناوری‌های فسیلی به واسطه سرمایه‌گذاری‌های گذشته، مزیت تولیدی بالاتری دارند و از این جهت، انتقال به فناوری‌های سبز دشوار است. دو ابزار پیشنهادی مهم در این خصوص «قیمت‌گذاری کربن» و «یارانه‌های سبز» برای نوآوری است.

مازوکاتو و رودریک (۲۰۲۳)<sup>۴</sup> در مطالعه‌ای به سیاست صنعتی مدرن مشروط پرداخته و استدلال می‌کنند که سیاست صنعتی مدرن نباید صرفاً به اعطای یارانه، وام یا حمایت دولتی محدود شود؛ بلکه این حمایت‌ها باید با شرط‌ها و تعهدات مشخص<sup>۵</sup> مانند تحقیق و توسعه (R&D)، آموزش کارکنان، توسعه فناوری و یا ارتقای بهره‌وری همراه باشد تا منافع عمومی تضمین شود. هدف اصلی مقاله ایجاد یک چارچوب طبقه‌بندی<sup>۶</sup> برای سیاست صنعتی مشروط و ارائه نمونه‌های واقعی از کشورها است. مقاله چند نمونه از کشورهای مختلف را بررسی می‌کند که نتیجه مشترک این نمونه‌ها آن است که شرط‌گذاری موثر

1. Innovation Systems & Systemic Failures
2. Directed Technological Change
3. Path Dependence
4. Mariana Mazzucato & Dani Rodrik
5. Conditionalities
6. Taxonomy



معمولا پویا، قابل پایش و مبتنی بر تعامل مستمر دولت و بنگاه‌هاست. اصول موفقیت سیاست صنعتی مشروط است بر پویایی و انعطاف‌پذیری مبنی بر اینکه شرط‌ها باید قابل تغییر با توجه به پیشرفت پروژه باشند؛ شفافیت و پایش مستمر، بطوریکه ارزیابی عملکرد به صورت دوره‌ای ضروری است؛ مشارکت دولت و بنگاه‌ها، با تاکید بر تعامل مستمر برای اطمینان از تحقق اهداف؛ و در نهایت تمرکز بر منافع عمومی، نه تنها سود مالی، بلکه نوآوری، اشتغال و توسعه پایدار، استوار است (مازوکاتو و رودریک، ۲۰۳۳). آنها استدلال می‌کنند که سیاست صنعتی موفق نه صرفا حمایت دولتی است و نه صرفا بازار آزاد؛ بلکه یک رابطه قراردادی و پویا میان دولت و بخش خصوصی است که در آن حمایت عمومی با تعهدات مشخص، قابل پایش و قابل اجرا همراه می‌شود. در این ساختار، شرط‌ها ابزار اصلی چارچوب هستند و هر نوع شرط عملکرد مشخصی دارد. این شرط‌ها همگی قابل پایش، قابل اندازه‌گیری و مشروط به حمایت دولت با رویکرد ماموریت‌محوری هستند، که امکان بازخورد و اصلاح سیاست را فراهم می‌کنند.

جدول ۲. انواع شرط‌ها و کارکرد آنها در نظریه مازوکاتو و رودریک

| نوع شرط                  | کارکرد اصلی                                | نمونه سیاست                                     |
|--------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| شرط مالی / اقتصادی       | تضمین بازگشت سرمایه عمومی و کارایی اقتصادی | بازپرداخت یارانه، الزام به سرمایه‌گذاری در R&D  |
| شرط نوآوری / تکنولوژی    | هدایت نوآوری به سمت اهداف بلندمدت          | الزام به ثبت پتنت، انتقال تکنولوژی              |
| شرط اجتماعی / اشتغال     | تضمین ارزش اجتماعی و عدالت                 | ایجاد شغل محلی، توسعه مناطق کمترتوسعه‌یافته     |
| شرط محیط‌زیستی / پایداری | تضمین توسعه پایدار                         | رعایت استانداردهای محیط زیستی، کاهش انتشار کربن |

ماخذ: یافته‌های پژوهش بر مبنای (مازوکاتو و رودریک، ۲۰۳۳)

در نهایت مازوکاتو و رودریک تاکید می‌کنند که سیاست صنعتی دوباره بازگشته و در دستور کار قرار گرفته است و نیاز به بازنگری جسورانه دارد. هدایت سرمایه‌گذاری‌ها در مسیرهای مطلوب کافی نیست و لازم است اطمینان حاصل شود که مزایا تا حد امکان به طور گسترده به اشتراک گذاشته می‌شوند. مشروط بودن سیاست‌ها، ابزاری قدرتمند است که دولت‌ها می‌توانند از آن برای شکل‌دهی مشترک سرمایه‌گذاری و ایجاد بازارها با بخش خصوصی استفاده کنند. در واقع، با مشروط‌سازی، برای کمک به هدایت نوآوری و هدایت رشد به سمت دستیابی به بالاترین منافع عمومی، سیاست صنعتی می‌تواند منجر به تحول شود. در غیر این صورت ممکن است اعمال سیاست‌ها فقط به یارانه‌ها، ضمانت‌ها و کمک‌های مالی برای شرکت‌ها منجر شوند تا بتوانند به بقای خود ادامه دهند. چنین تحولی می‌تواند در قلب یک استراتژی توسعه باشد، به ویژه برای کشورهایی که در سرمایه‌گذاری تجاری دچار رکود هستند. به عنوان مثال، تدارکات را می‌توان



به زنجیره‌های تامین سبزتر، سرمایه‌گذاری مجدد سود و شرایط کاری بهتر مشروط کرد. البته، اعمال شرایط زیاده‌نیز می‌تواند نوآوری را خفه کند. موارد مورد بحث در این مقاله، طیف وسیعی از شرایط به کار گرفته شده و همچنین تأثیراتی را که در تغییر رابطه بین دولت و بخش خصوصی در کشورهای مختلف ایجاد کرده‌اند، نشان می‌دهد.

**پ) نظریه توسعه پایدار چندبعدی<sup>۱</sup>:** استرن و استیگلیتز (۲۰۲۳)<sup>۲</sup> در مقاله‌ای یک مسئله مهم و شاید چالش برانگیز را بررسی می‌کنند، اینکه آیا مقابله با تغییرات اقلیمی لزوماً به هزینه اقتصادی منجر می‌شود؟ آن‌ها برخلاف دیدگاه‌های رایج، نشان می‌دهند که نه تنها لزوماً این چنین نیست، بلکه اقدامات قوی در این حوزه می‌تواند منجر به رشد اقتصادی و به‌ویژه در بعد رفاه اجتماعی گسترده‌تر شود. این مطالعه توضیح می‌دهد که چگونه پرداختن به تغییرات اقلیمی، شدت این شکست‌ها را کاهش می‌دهد و انگیزه‌ها و اراده سیاسی را برای رسیدگی به آنها افزایش می‌دهد. در این مطالعه بسته‌های سیاستی شناسایی می‌شود که شکست‌های بازار را کاهش، رشد را افزایش و انتشار کربن را کاهش می‌دهند. در نهایت، نویسندگان استدلال می‌کنند که گذار سبز زمانی اتفاق می‌افتد که هم به دلیل کمبودهای مداوم تقاضای کل و هم پیشرفت‌های فناوری، از جمله هوش مصنوعی و باتیک شدن، هزینه‌های فرصت اقتصادی انجام اقدامات قوی اقلیمی ممکن است به طور ویژه کم و مزایای آن به طور ویژه زیاد باشد. این مطالعه به مکانیزم‌های مثبتی اشاره می‌کند که باعث می‌شود اقدامات اقلیمی، رشد را تقویت کنند. نویسندگان قصد دارند در مقاله نشان دهند که چرا اقدام علیه تغییر اقلیم نه فقط یک هزینه اجتناب‌ناپذیر بلکه می‌تواند یک محرک رشد اقتصادی باشد و به این ترتیب مکانیزم‌های اثرگذاری اقدامات اقلیمی بر رشد را در چند زمینه مختلف برمی‌شمردند که در جدول زیر منعکس شده است. این جدول خلاصه‌ای از این مکانیزم‌ها، شیوه اثرگذاری و پیامد آنها برای رشد اقتصادی را نشان می‌دهد.

جدول ۳. مکانیزم‌های مثبت اقدام اقلیمی بر رشد اقتصادی

| پیامد برای رشد اقتصادی                                                   | شیوه اثرگذاری                                                                                                                                 | مکانیزم مثبت                |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| افزایش کارایی تخصیصی، کاهش اتلاف منابع، جذب سرمایه‌گذاری در بخش‌های نوین | سیاست اقلیمی فقط مشکل انتشار کربن را حل نمی‌کند، بلکه ناکارایی‌های بازار سرمایه، اطلاعات ناقص، و قفل‌شدگی فناوری‌های قدیمی را هم برطرف می‌کند | ۱. رفع ناکارایی‌های چندگانه |
| ارتقای بهره‌وری کل عوامل (TFP)، ایجاد صنایع جدید، افزایش رشد بلندمدت     | گذار به اقتصاد سبز منجر به توسعه فناوری‌های پاک (باتری، هیدروژن، انرژی تجدیدپذیر) و سرریز <sup>۳</sup> به صنایع دیگر می‌شود                   | ۲. موج نوآوری و بهره‌وری    |

1. Multidimensional Sustainable Development
2. Nicholas Stern, Joseph E. Stiglitz
3. Spillover



| مکانیزم مثبت                          | شیوه اثرگذاری                                                                                                  | پیامد برای رشد اقتصادی                                                         |
|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| ۳. مدیریت ریسک و ثبات کلان            | کاهش خطر بلایای اقلیمی، شوک‌های عرضه و بی‌ثباتی مالی از طریق کاهش کربن                                         | تقویت امنیت سرمایه‌گذاری، افزایش پیش‌بینی‌پذیری اقتصاد، رشد پایدارتر           |
| ۴. تحریک تقاضای کل                    | سرمایه‌گذاری‌های عظیم در انرژی‌های پاک و زیرساخت سبز، تقاضای کل را در کوتاه‌مدت تحریک می‌کند                   | افزایش اشتغال، رشد تولید ناخالص داخلی در کوتاه‌مدت، جلوگیری از رکود            |
| ۵. بهبود توزیع و سلامت اجتماعی        | درآمدهای مالیات کربن می‌توانند به خانوارهای کم‌درآمد بازگردانده شوند و کاهش الودگی سلامت عمومی را بهبود می‌دهد | کاهش نابرابری، افزایش بهره‌وری نیروی کار، ارتقای رفاه اجتماعی                  |
| ۶. تقویت سرمایه اجتماعی و سیاست‌گذاری | سپاس‌گذاری اقلیمی موفق ظرفیت نهادی و یادگیری اجتماعی را تقویت می‌کند                                           | سرریز مثبت به سایر حوزه‌های سیاستی (آموزش، بهداشت، دیجیتال) و رشد نهادی پایدار |

ماخذ: یافته‌های پژوهش بر مبنای (استرن و استیگلیتز، ۲۰۲۳)

## ۲-۲. مرور مطالعات پیشین

در بخش مرور مطالعات این پژوهش، سه گروه مطالعات خارجی، مطالعات داخل کشور و مطالعات سازمان‌های بین‌المللی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. البته با توجه به زاویه جدید نگاه این پژوهش، مطالعاتی که به طور مستقیم در حوزه این بررسی بوده و شاخصه‌ها و متغیرهای آن را در بر بگیرند کمتر یافت شده است. با این حال در این بخش، مطالعاتی که نزدیکی بیشتری با موضوعات طیف سیاست‌های صنعتی سبز و توسعه پایدار در بخش صنعت دارند معرفی خواهند شد. با این توضیح که در اصل پژوهش، مطالعات مورد بررسی خارجی و سازمان‌های بین‌المللی، دامنه وسیع‌تری را پوشش داده است که بنابر محدودیت‌های موجود، در این مقاله فقط به تعداد معدودی از آنها اشاره خواهد شد.

**مرور مطالعات خارجی:** آسم‌اوغلو و همکاران (۲۰۱۹)<sup>۱</sup> در مطالعه‌ای اقدام به بررسی اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت رونق گاز شیل در اقتصاد نمودند که در آن می‌توان انرژی را با زغال سنگ، گاز طبیعی یا یک منبع انرژی پاک تولید کرد. آنها از داده‌های تولید برق و هزینه‌های تولید برق با استفاده از زغال سنگ، گاز و انواع مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر و از پایگاه داده آماری ثبت اختراعات جهانی<sup>۲</sup> از سال ۲۰۱۸ برای برآورد نسخه استاتیک مدل خود استفاده کرده‌اند. نتایج اولیه پژوهش آنها نشان داد که در کوتاه مدت برای ایالات متحده، کاهش قیمت گاز طبیعی (شبیه به انقلاب گاز شیل) منجر به کاهش انتشار CO<sub>2</sub> می‌شود و این به کشورها اجازه می‌دهد تا از زغال سنگ دور شوند که به نوبه خود انتشار CO<sub>2</sub> را کاهش می‌دهد. لوان و همکاران (۲۰۲۵)<sup>۳</sup> در مطالعه‌ای به بررسی رابطه بین پذیرش انرژی پاک، صنعتی شدن و توسعه پایدار

1. Acemoglu et al

2. PATSTAT

3. Luan et al.



در ۳۷ کشور جنوب صحرای آفریقا در دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ با استفاده از رویکرد گشتاورهای تعمیم یافته سیستمی (GMM)<sup>۱</sup> پرداختند. تجزیه و تحلیل‌های مدل نشان می‌دهد که انرژی تجدیدپذیر تاثیر مثبت و معناداری بر توسعه پایدار دارد که نشان می‌دهد واحد افزایش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر منجر به افزایش ۰/۵۲ درصدی تحقق توسعه پایدار می‌شود. همچنین دسترسی به سوخت‌های پاک و فناوری‌ها برای پخت و پز تاثیر مثبت و قابل توجهی بر توسعه پایدار را نشان می‌دهد. کچکوا و وارزینگ (۲۰۲۵)<sup>۲</sup> به بررسی تاثیر ثروت منابع طبیعی بر پایداری انرژی با تمرکز ویژه بر نقش تعدیل‌کننده مخارج حفاظت از محیط زیست دولت<sup>۳</sup> پرداختند. آنها با استفاده از داده‌های ۳۰ کشور OECD در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲، تجزیه و تحلیلی از روش‌های اقتصادسنجی پیشرفته از جمله خطاهای استاندارد (DK)<sup>۴</sup> و (IV-GMM)<sup>۵</sup> و پویا از مدل رگرسیون آستانه پانل (DPTR)<sup>۶</sup> استفاده کرده‌اند. یافته‌های پژوهش رابطه‌ای ظریف بین ثروت منابع طبیعی و پایداری انرژی را نشان می‌دهند. در ابتدا، ثروت منابع همبستگی منفی با انرژی است. با این حال، فراتر از آستانه بحرانی ۳۵/۲ درصد، این رابطه معکوس شده و مثبت می‌شود. جاکوب و اورلند<sup>۷</sup> (۲۰۲۴) به بررسی رابطه‌ی میان سیاست‌های صنعتی سبز و قیمت‌گذاری کربن در گذار به اقتصاد کم‌کربن پرداخته‌اند. در مطالعه آنها اشاره شده که قیمت‌گذاری کربن اعم از مالیات کربن یا نظام تجارت انتشار (ETS)<sup>۸</sup> از جنبه نظری، کاراترین ابزار برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است، زیرا با درونی‌سازی هزینه‌های اجتماعی آلودگی، انگیزه‌های بازار را به سمت کاهش انتشار هدایت می‌کند. یافته‌های تجربی مقاله نشان می‌دهد که کشورهایی که سیاست قیمت‌گذاری کربن را اجرا کرده‌اند، در مقایسه با سایر کشورها به‌طور میانگین بین ۲ تا ۱۵ درصد کاهش انتشار تجربه کرده‌اند.

اسگر و همکاران (۲۰۲۴)<sup>۹</sup> به بررسی تعامل پیچیده محرک‌های اجتماعی-اقتصادی تاثیرگذار بر پایداری زیست محیطی در کشورهای واردکننده نفت در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱ پرداخته‌اند. مطالعه با استفاده از روش حداقل مربعات تعمیم یافته امکان پذیر (FGLS)<sup>۱۰</sup> برای بررسی روابط پیچیده بین پایداری محیط زیست در محیط زیست نوآوری‌های ذهنی، قیمت انرژی، انرژی سبز، انرژی فسیلی، تولیدات کشاورزی و تولیدات صنعتی، داده‌های پانزده کشور عمده واردکننده نفت را مورد بررسی قرار می‌دهد. برای ارزیابی پایداری

1. System Generalized Method of Moments
2. G.S. Ketchoua & M.A.K Wirajing
3. GEPE: government environmental protection expenditure
4. Driscoll-Kraay
5. Instrumental Variable Generalised Method of Moments
6. Dynamic Panel Threshold Regression (DPTR) Model
7. Jakob & Overland
8. Emissions Trading System
9. Asghar et al.
10. Feasible Generalized Least Squares



زیست محیطی از داده‌های دی‌اکسید کربن (CO<sub>2</sub>)، انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG) استفاده شده است. بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، عوامل محوری اجتماعی و اقتصادی از جمله نوآوری‌های زیست محیطی، پذیرش انرژی سبز و قیمت انرژی را به عنوان محرک‌های کلیدی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای شناسایی می‌کند. نوآوری‌های زیست محیطی، کاتالیز فناوری‌های پاک‌تر، به عنوان ابزاری موثر در مهار انتشار گازهای گلخانه‌ای خطرناک و ترویج منابع انرژی سبز ظاهر می‌شوند. کلوزا و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای بر تعاملات بین توسعه سیاست‌های اقلیمی و اهداف مختلف توسعه پایدار تمرکز کردند، این مطالعه داده‌های پانل را برای ۲۵ کشور عضو اتحادیه اروپا تجزیه و تحلیل کرده و نتایج تحقیق نشان می‌دهد که دستیابی به اهداف سیاست اقلیمی نه تنها به طور مستقیم، بلکه به طور غیرمستقیم با تسهیل اجرای اهدافی مانند (نوآوری و زیرساخت‌ها)<sup>۳</sup>، (شهرها و جوامع پایدار)<sup>۴</sup> و (مالیات زیست محیطی)<sup>۵</sup> امکان پذیر است. استفی فراید (۲۰۱۸)<sup>۶</sup> در پژوهشی در خصوص سیاست اقلیمی و نوآوری<sup>۷</sup> اقدام به بررسی تأثیر کمی مالیات کربن بر نوآوری نموده است. او معتقد است مالیات بر کربن می‌تواند نوآوری در فناوری‌های سبز را القا کند. پژوهش فوق یک مدل تعادل عمومی از نوآوری و انرژی درون‌زا را توسعه می‌دهد که از آن برای تعیین کمیت اثرات دینامیکی مالیات کربن استفاده می‌شود و در واقع کمی‌سازی پاسخ فناوری، قیمت‌ها و سایر مجموعه‌های کلان اقتصادی را به سیاست‌های آب و هوایی توسعه می‌دهد. یک نتیجه کلیدی پژوهش این است که نوآوری درون‌زا مشوق‌های قیمت ایجاد شده توسط مالیات کربن را تقویت می‌کند. تغییر در نوآوری در پاسخ به مالیات کربن، قیمت نسبی انرژی سبز به فسیلی را در کوتاه مدت تقریباً ۷ درصد و در بلندمدت ۱۷ درصد کاهش می‌دهد. علاوه بر این، سطح نسبی فناوری سبز به فسیلی تقریباً دو و نیم برابر ارزش آن در مسیر رشد متعادل پایه تثبیت می‌شود. این مالیات از طریق قیمت‌ها برای تغییر نوآوری از انرژی فسیلی به انرژی سبز عمل می‌کند. این تغییر در نوآوری، فناوری سبز را در مقایسه با مسیر رشد متعادل پایه افزایش می‌دهد و قیمت انرژی سبز را کاهش می‌دهد. و در نهایت آبادی و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای<sup>۹</sup> نسبت به معرفی روش «کنترل ترکیبی» برای تحلیل اثرات سیاستی بر نهادهای سطح کلان (کشور، منطقه) اقدام نمودند. آنها از متدولوژی ساخت یک «کنترل مصنوعی» ترکیبی از مشاهدات برای

1. greenhouse gas

2. Kluza et al.

3. SDG9

4. SDG11

5. SDG17

6. Stephanie Fried

7. Climate Policy and Innovation: A Quantitative Macroeconomic Analysis

8. Abadie et al

9. Synthetic Control Methods for Comparative Case Studies.



برآورد کانترفاکچوال متغیر تحت مداخله وسنجش اعتبار استفاده کردند. نتایج نشان داد روش آنها روشی بسیار مناسب برای مطالعات موردی سیاست صنعتی یا طرح‌های ملی/منطقه‌ای تغییر ساختار است و در ادبیات جدید سیاست صنعتی کاربردهای گسترده‌ای یافته است.

**مرور مطالعات داخلی:** احمد اسماعیل و صادقی (۱۴۰۴) در مطالعه‌ای به بررسی توسعه استراتژی‌های پایدار و انعطاف‌پذیر در فناوری سبز پرداخته‌اند. این مطالعه به شناسایی و اولویت‌بندی شاخص‌های کلیدی فناوری‌های سبز با استفاده از یک رویکرد ترکیبی و سیستماتیک می‌پردازد. نتایج نشان می‌دهد که بنیاد سرمایه‌گذاری زیست‌محیطی و کارایی بالاترین تاثیر را دارند. آنها استراتژی‌هایی برای حمایت از فناوری‌های سبز شامل توسعه مالیات‌های زیست‌محیطی، ارائه مشوق‌های مالی برای سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر و ایجاد زیرساخت‌های مناسب پیشنهاد می‌دهند... صرفی (۱۴۰۳) در مطالعه‌ای به بررسی تاثیر سیاست‌های سبز اتحادیه اروپا بر نوآوری ساخت و ساز پایدار در کشورهای در حال توسعه پرداخته است. داده‌ها از طریق تحلیل و بررسی اسناد سیاستی اتحادیه اروپا، گزارش‌های پروژه‌های ساخت و ساز پایدار و مطالعات موردی در کشورهای در حال توسعه جمع‌آوری شده‌اند. یافته‌ها نشان می‌دهد که سیاست‌های سبز اتحادیه اروپا از طریق مکانیسم‌هایی چون انتقال دانش، حمایت‌های مالی و همکاری‌های فنی، بر انتشار نوآوری‌های ساخت و ساز پایدار تاثیر می‌گذارند. محمدی و همکاران (۱۴۰۱) در یک مطالعه به بررسی اثر تمرکز صنعتی بر انتشار دی‌اکسید کربن در بخش صنعت ایران پرداخته‌اند. این تحقیق با استفاده از الگوی اقتصادسنجی پانل، برای ۳۰ استان طی دوره زمانی ۱۳۹۷-۱۳۹۰ انجام شده است. نتایج حاصل از برآورد مدل نشان می‌دهد که تمرکز صنعتی، شدت انرژی، جمعیت و تولید ناخالص داخلی اثر مثبت و معنی‌داری بر انتشار دی‌اکسید کربن دارد. خدادادی و همکاران (۱۴۰۱) در مطالعه‌ای به بررسی اثر تغییر ساختار صنعتی بر انتشار دی‌اکسید کربن در استان‌های ایران پرداختند. این مطالعه با استفاده از الگوی اقتصادسنجی فضایی، طی سال‌های ۱۳۹۴ - ۱۳۸۷، برای ۳۰ استان ایران انجام شده است. براساس نتایج به دست آمده از تخمین مدل تاثیر تولید ناخالص داخلی سرانه، شدت انرژی و جمعیت بر انتشار دی‌اکسید کربن مثبت و معنادار و تاثیر تغییرات ساختار صنعتی بر انتشار دی‌اکسید کربن منفی و بی‌معنا بوده است. از سوی دیگر تاثیرگذاری فضایی تغییرات ساختار صنعتی بر انتشار دی‌اکسید کربن منفی و معنادار است.

رسولی‌زاده و ضیایی (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای به بررسی عوامل موثر بر انتشار دی‌اکسید کربن در کشورهای منتخب OECD پرداختند. آنها از الگوی داده‌های پنلی با استفاده از روش حداقل مربعات تعمیم یافته استفاده کرده‌اند. نتایج این پژوهش نشان داد که میزان مصرف انرژی تاثیر مثبت و معنی‌دار و جمعیت روستایی تاثیر منفی و معنی‌داری بر میزان انتشار دی‌اکسید کربن در این کشورها در بازه زمانی ۲۰۱۴-۱۹۹۰ دارد. ذبیحی و همکاران (۱۴۰۲) در یک مطالعه به بررسی نقش ریسک‌های اقتصادی، مالی و سیاسی بر



انتشار کربن در ایران پرداختند. در این مطالعه از رویکرد مدل سازی رگرسیون کوانتایل بر کوانتایل (QQR) در بازه زمانی سالانه ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ استفاده شده است. نتایج به دست آمده، بیانگر آن است که متغیرهای ریسک اقتصادی و ریسک مالی و ریسک سیاسی، هر سه در تمام کوانتایل ها تاثیر مثبت بر سرانه انتشار کربن داشته است. بدین ترتیب، لزوم توجه به ثبات اقتصادی، مالی و سیاسی در کشور ایران برای بهبود کیفیت محیط زیست و کاهش انتشار کربن از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. در نهایت کازرونی و فشاری (۱۳۸۹) در مطالعه ای به بررسی رابطه بلندمدت بین صادرات کالاهای صنعتی و شاخص کیفیت محیط زیست در ایران پرداخته اند. آنها متغیر انتشار گاز دی اکسید کربن را به عنوان شاخصی برای کیفیت محیط زیست در ایران در نظر گرفته و از روش هم انباشتگی خودرگرسیون با وقفه های توزیعی برای بررسی رابطه بلندمدت بین متغیرهای مدل استفاده کرده اند. نتایج تخمین این بررسی بیانگر این است که رابطه تعادلی بلندمدت بین متغیرهای صادرات کالاهای صنعتی و شاخص آلودگی هوا برقرار بوده و متغیرهای صادرات کالاهای صنعتی، تولید ناخالص داخلی و تراکم جمعیت تاثیر مثبت و معنی داری بر میزان انتشار گاز دی اکسید کربن دارند.

**مرور مطالعات سازمان های بین المللی:** آژانس جهانی انرژی در گزارش سالانه مرور انرژی جهانی<sup>۱</sup> (۲۰۲۶) تحولات و روندهای کلان انرژی جهانی را با تمرکز بر انتشار گازهای گلخانه ای، مصرف سوخت های فسیلی و رشد انرژی های تجدیدپذیر مورد تحلیل قرار داده است. یافته های این گزارش نشان می دهد که سال ۲۰۲۵ نقطه عطفی در ساختار رشد انرژی جهانی بوده است، زیرا برای نخستین بار در تاریخ معاصر، منابع کم کربن، به ویژه انرژی های تجدیدپذیر بیشترین سهم را در رشد تقاضای انرژی جهانی به خود اختصاص داده اند. با وجود این پیشرفت ها، سوخت های فسیلی همچنان نقش غالب را در ترکیب انرژی جهانی ایفا می کنند. یکی از نکات کلیدی قابل توجه که در گزارش آمده است، حاکی از آن است که انرژی خورشیدی بیش از ۷۵٪ از رشد جهانی تجدیدپذیرها را به خود اختصاص داده است و ظرفیت جهانی تجدیدپذیرها افزایش یافته و سهم آن از تولید برق جهانی رشد چشمگیری داشته است. گزارش ۲۰۲۶ تصویری واضح از مسیر فعلی انرژی جهانی ارائه می دهد. اینکه مصرف انرژی همچنان در حال افزایش است، انرژی های تجدیدپذیر رشد چشمگیری دارند، اما روند کاهش انتشار گازهای گلخانه ای به کندی پیش می رود. بنابراین دستیابی به اهداف کاهش انتشار گازهای گلخانه ای نیازمند تحول سریع در بخش های انرژی فسیلی و افزایش سرمایه گذاری در زیرساخت های برق پاک و ذخیره انرژی است. در مجموع با وجود رشد اندک انتشار، روند کلی نشان دهنده ورود سیستم انرژی جهانی به مرحله ای است که در آن کاهش انتشار دیگر عمده تا از طریق بهره وری و توسعه فناوری های پاک حاصل می شود، نه کاهش تقاضای انرژی.

سازمان توسعه صنعتی ملل متحد<sup>۱</sup> (یونیدو) در گزارش توسعه صنعتی ۲۰۲۶ چارچوبی برای تحلیل آینده صنعتی شدن و سیاست‌های توسعه صنعتی در سطح جهانی ارائه می‌دهد. هدف گزارش ارائه راهبردی برای ایجاد صنایع آینده‌محور است که هم رشد اقتصادی پایدار را تضمین کنند و هم با اهداف توسعه پایدار و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای همخوانی داشته باشند (یونیدو، ۲۰۲۶).<sup>۲</sup> گزارش تاکید می‌کند که صنعتی شدن هنوز موتور اصلی رشد اقتصادی و ایجاد اشتغال در کشورهای درحال توسعه است و صنایع صنعتی محیط اصلی ظهور فناوری‌های سبز و پیشرفته هستند. بنابراین ظرفیت صنعتی نه تنها به تولید کالا بلکه به خلق دانش و مزیت‌های رقابتی بلندمدت مرتبط است. در زمینه گذار سبز، گزارش تصریح می‌کند که کشورها می‌توانند با سرمایه‌گذاری در انرژی پاک و فناوری‌های کم‌کربن، انتشار گازهای گلخانه‌ای صنایع خود را تا ۴۵٪ کاهش دهند و همزمان رشد صنعتی را حفظ کنند. این ارقام نشان می‌دهد که سیاست صنعتی هوشمند و سبز می‌تواند اهداف محیط زیستی و توسعه اقتصادی را همزمان محقق کند. گزارش دو سناریوی راهبردی برای آینده ارائه می‌دهد، یکی تمرکز بر توسعه ظرفیت‌های تولیدی، جذب سرمایه‌گذاری و ایجاد اشتغال صنعتی<sup>۳</sup> و دیگری توسعه صنعتی همراه با سرمایه‌گذاری در انرژی پاک<sup>۴</sup>، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای؛ و یک نقشه راه تحلیلی و سیاستی برای کشورهای درحال توسعه فراهم می‌کند که هدف آن ایجاد صنایع آینده‌محور، سبز، دیجیتال و تاب‌آور است. در این گزارش بر جایگاه گذار سبز و کربن‌زدایی صنعتی در بازتوزیع مزیت‌های صنعتی جهانی تاکید می‌شود و یکی از محوری‌ترین ابعاد آن بازتعریف رابطه میان صنعت، رشد اقتصادی و گذار سبز است. گزارش استدلال می‌کند که گذار سبز خود به یک محرک درون‌زا برای تحول ساختاری صنعت جهانی تبدیل شده است. در مجموع می‌توان دید که گزارش ۲۰۲۶ یونیدو، گذار سبز را نه یک سیاست مکمل، بلکه هسته مرکزی تحول صنعتی آینده تلقی کرده و بر اهمیت تلفیق صنعتی شدن، نوآوری دیجیتال و گذار سبز تاکید دارد. از آنجا که این گزارش نشان می‌دهد که گذار سبز، بازتعریف‌کننده مزیت‌های صنعتی جهانی است؛ کربن‌زدایی صنعتی بدون سیاست صنعتی فعال امکان‌پذیر نیست؛ نوآوری سبز به طور ساختاری در صنعت متمرکز است؛ و شکاف توسعه‌ای می‌تواند بسته به سیاست‌گذاری در فرآیند گذار سبز تشدید یا کاهش یابد، بنابراین از دیدگاه نظری، این چارچوب به طور مستقیم با ادبیات اقتصاد تکاملی، دولت توسعه‌گرا و نظریه تحول ساختاری همسواست و نشان می‌دهد که مسیر توسعه آینده نه از «صنعت یا محیط زیست»، بلکه از ادغام همزمان این دو در قالب سیاست صنعتی سبز عبور می‌کند.

1. United Nations Industrial Development Organization
2. Industrial Development Report 2026
3. UNIDO, 2026
4. Industrialization Push
5. Clean Energy and Just Industrialization Push



جدول ۴. تبیین سیاست‌های صنعتی سبز (متغیرها) پژوهش بر اساس نظریه‌های بنیادین و بررسی‌های مروری

| سیاست صنعتی                                   | مرجع در نظریه‌های بنیادین                                                                                                                   | مرجع در مقالات مروری                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| کاهش انتشار دی اکسید کربن از فعالیت‌های صنعتی | استرن و استیگلitz (۲۰۲۳)<br>آسم‌اوغلو و آگیون (۲۰۲۳)<br>رودریک و استیگلitz (۲۰۲۴)<br>پوپ (۲۰۱۹)<br>مازوکاتو و رودریک (۲۰۲۳)                 | آسم‌اوغلو و همکاران (۲۰۱۹)؛ شنگ و همکاران (۲۰۲۴)<br>مادزار و همکاران (۲۰۲۴)؛ کلارک و همکاران (۲۰۲۰)<br>نوتارنیکولا و همکاران (۲۰۱۷)؛ پور و نمسک (۲۰۱۸)<br>کوکوراچی و همکاران (۲۰۱۹)؛ استفی فراید (۲۰۱۸)<br>جاکوب و اورلند (۲۰۲۴)؛ اسگر و همکاران (۲۰۲۴)<br>کلوزا و همکاران (۲۰۲۴)؛ رسولی‌زاده و ضیایی (۱۳۹۸)<br>خدادادی و همکاران (۱۴۰۱) |
| افزایش استفاده از انرژی تجدیدپذیر             | رودریک و استیگلitz (۲۰۲۴)<br>آسم‌اوغلو و همکاران (۲۰۱۹)<br>استرن و استیگلitz (۲۰۲۳)<br>مازوکاتو و رودریک (۲۰۲۳)<br>آلتنبرگ و همکاران (۲۰۱۷) | آسم‌اوغلو و همکاران (۲۰۱۹)؛ مادزار و همکاران (۲۰۲۴)<br>گارسیا سانچز و راما (۲۰۲۵)؛ استفی فراید (۲۰۱۸)<br>جاکوب و اورلند (۲۰۲۴)؛ لوان و همکاران (۲۰۲۵)<br>اسگر و همکاران (۲۰۲۴)؛ کلوزا و همکاران (۲۰۲۴)<br>کچکوا و وارژینگ (۲۰۲۵)<br>سازمان همکاری و توسعه اقتصادی (۲۰۲۲)<br>سازمان جهانی انرژی (۲۰۲۶)                                    |
| کاهش شدت انتشار کربن و شدت مصرف انرژی         | آسم‌اوغلو و همکاران (۲۰۱۹)<br>آسم‌اوغلو و آگیون (۲۰۲۳)<br>آلتنبرگ و همکاران (۲۰۱۷)<br>رودریک و استیگلitz (۲۰۲۴)<br>آیگینگر و رودریک ۲۰۲۰    | پور و نمسک (۲۰۱۸)؛ جاکوب و اورلند (۲۰۲۴)<br>استفی فراید (۲۰۱۸)؛ لوان و همکاران (۲۰۲۵)<br>اسگر و همکاران (۲۰۲۴)؛ کلوزا و همکاران (۲۰۲۴)<br>کچکوا و وارژینگ (۲۰۲۵)؛ رسولی‌زاده و ضیایی (۱۳۹۸)<br>خدادادی و همکاران (۱۴۰۱)<br>سازمان همکاری و توسعه اقتصادی (۲۰۲۲)<br>سازمان جهانی انرژی (۲۰۲۶)                                             |
| توسعه پتنت (درخواست ثبت اختراع)               | آسم‌اوغلو و آگیون (۲۰۲۳)<br>مازوکاتو و رودریک (۲۰۲۳)<br>آگیون و همکاران (۲۰۱۹)                                                              | آسم‌اوغلو و همکاران (۲۰۱۹)<br>گارسیا سانچز و راما (۲۰۲۵)<br>استفی فراید (۲۰۱۸)<br>اسگر و همکاران (۲۰۲۴)                                                                                                                                                                                                                                  |
| افزایش هزینه‌های تحقیق و توسعه                | استرن و استیگلitz (۲۰۲۳)<br>آسم‌اوغلو و آگیون (۲۰۲۳)<br>آگیون و همکاران (۲۰۱۹)                                                              | آسم‌اوغلو و همکاران (۲۰۱۹)<br>گارسیا سانچز و راما (۲۰۲۵)<br>استفی فراید (۲۰۱۸)                                                                                                                                                                                                                                                           |
| توسعه صادرات محصولات های تک                   | آسم‌اوغلو و آگیون (۲۰۲۳)<br>آیگینگر (۲۰۱۴)<br>آیگینگر و رودریک ۲۰۲۰<br>آلتنبرگ و همکاران (۲۰۱۷)                                             | مارا و کولانتوریو (۲۰۲۳)<br>تیتل بویم و میلی (۲۰۲۲)                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

ماخذ: یافته‌های پژوهش



### ۳. روش تحقیق

پژوهش حاضر از نوع کاربردی-کمی<sup>۱</sup> و به لحاظ روش، توصیفی-تحلیلی با رویکرد اقتصادسنجی داده‌های پانل با ساختار غیرخطی است. استفاده از داده‌های پانل این امکان را فراهم می‌کند تا هم تفاوت‌های مقطعی (کشوری) و هم تغییرات زمانی تحلیل شوند. در این مطالعه به منظور ارزیابی ارتباط غیرخطی بین متغیرها از مدل رگرسیون آستانه‌ای پنلی پویا استفاده شده است. به منظور برآورد مدل این پژوهش از نرم‌افزار STATA و روش‌های متداول اقتصادسنجی استفاده شده است. گردآوری داده‌ها در این پژوهش به روش کتابخانه‌ای و از منابع رسمی پایگاه‌های داده بین‌المللی بانک جهانی<sup>۲</sup> و به روش ساخت سری‌های زمانی تخصصی برای پژوهش، استخراج شده‌اند. در این پژوهش که به منظور بررسی اثر علی<sup>۳</sup> برخی از متغیرهای اقتصادی و زیست‌محیطی (با تمرکز بر سیاست‌های سبز صنعتی)، بر توسعه پایدار بخش صنعت طراحی شده است، با توجه به ماهیت داده‌ها که هم در بعد زمانی (t) و هم در بعد مقطعی (i) در دسترس بوده‌اند از رویکرد تحلیل داده‌های پانلی (مدل مقایسه بین‌المللی)<sup>۴</sup> به عنوان یک روش پویا در آن استفاده شده است. جامعه آماری این پژوهش ۶۲ کشور شامل دو گروه ۳۲ و ۳۰ تایی از کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه از جمله ایران است. معیار انتخاب گروه کشورها، همگونی در سطح درآمد سرانه و ساختار اقتصادی آنها است. بازه زمانی برای هر کشور و هر متغیر در این مطالعه با توجه به در دسترس بودن آمارهای آن در دوره زمانی ۱۹۷۰ تا ۲۰۲۴ در تناوب بوده است. تخمین مدل ریاضی پژوهش برای دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ صورت گرفته است.

هدف از این مطالعه، تحلیل اثر سیاست‌های نوین صنعتی سبز بر توسعه پایدار بخش صنعت در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه، بر اساس داده‌های مقطعی سری زمانی کشورها است. در تدوین چارچوب اقتصادسنجی این پژوهش، استفاده از داده‌های پانل این امکان را فراهم می‌کند تا هم تفاوت‌های مقطعی (کشوری) و هم تغییرات زمانی تحلیل شوند. تغییرات سیاست‌های صنعتی سبز مانند توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه (R&D) فناوری‌های پاک و حمایت از نوآوری سبز، هر یک می‌توانند بسته به سطح، تاثیرگذاری متفاوتی بر عملکرد پایداری در بخش صنعت داشته باشند. در ضرورت روش شناختی پژوهش می‌توان مشاهده کرد که بخش عمده‌ای از مطالعات تجربی موجود، از مدل‌های خطی استفاده کرده‌اند. در این‌گونه از مطالعات فرض می‌شود که اثر سیاست در تمامی کشورها و در تمامی سطوح توسعه یکسان است، در حالیکه این فرض با واقعیت اقتصاد جهانی سازگار نیست. چرا که مثلاً کشورهای توسعه‌یافته دارای ویژگی‌هایی هستند نظیر ظرفیت بالای نوآوری، نهادهای کارآمد، بازارهای مالی توسعه‌یافته و سرمایه انسانی پیشرفته و توسعه‌یافته. در مقابل، بسیاری

1. Quantitative
2. WDI, WORLD BANK
3. Causal
4. Cross-Country Panel



از کشورهای در حال توسعه با ضعف نهادی، محدودیت منابع مالی، شکاف فناوری و وابستگی به صنایع آلاینده مواجه‌اند. بنابراین انتظار می‌رود که اثر سیاست صنعتی سبز در این دو گروه کشور متفاوت باشد. هانسن (۱۹۹۹)<sup>۱</sup> نشان می‌دهد که در چنین شرایطی مدل‌های آستانه‌ای می‌توانند نسبت به مدل‌های خطی تصویر دقیق‌تری از واقعیت ارائه دهند. به همین دلیل، استفاده از مدل پنل آستانه‌ای دینامیک یکی از مهم‌ترین نوآوری‌های روش‌شناختی این پژوهش محسوب می‌شود. در این پژوهش در مجموع در چهار مرحله قبل و بعد از تخمین مدل از آزمون‌های آماری مختلف استفاده شده است شامل (۱) برای سنجش مانایی متغیرها انجام آزمون ریشه واحد ایم، پسران و شین (IPS). (۲) برای سنجش صحت وجود رابطه بلندمدت بین متغیرهای پژوهش، انجام آزمون هم‌انباشتگی پانلی پدرونی. (۳) در آستانه تخمین مدل، آزمون تعداد رژیم‌ها، متغیر آستانه و تخمین سطح بهینه آستانه در دو گروه کشورها به تفکیک. (۴) بعد از تخمین مدل، آزمون‌های تشخیصی برای مدل برآورد شده شامل آزمون عدم وجود خطای خودهمبستگی، آزمون نرمال بودن باقیمانده‌ها و آزمون عدم وجود ناهمسانی واریانس.

**تشریح روش‌های آماری پژوهش:** تحلیل اثرات غیرخطی در داده‌های پانل، به ویژه زمانی که اثرات متغیرهای توضیحی در سطوح مختلف متفاوت است، یکی از مباحث مهم اقتصادسنجی مدرن است. مدل‌های آستانه‌ای ابزار مناسبی برای مطالعه چنین پدیده‌هایی هستند. ادبیات این مدل یکی از مهم‌ترین شاخه‌های اقتصادسنجی غیرخطی است که هدف آن مدل‌سازی ناهمگنی ساختاری<sup>۲</sup> در روابط اقتصادی است. ایده مرکزی این ادبیات آن است که رابطه بین متغیرهای اقتصادی لزوماً خطی و پایدار نیست، بلکه می‌تواند به صورت تابعی از یک متغیر آستانه‌ای تغییر کند. مدل‌های پنل آستانه‌ای<sup>۳</sup> که نخستین بار توسط هانسن (۱۹۹۹) معرفی شد ابزار آماری قدرتمندی برای تحلیل روابط غیرخطی در داده‌های پنل ارائه می‌دهند که امکان بررسی اثر متغیرهای توضیحی بر متغیر وابسته را در رژیم‌های مختلف آستانه فراهم می‌کند. در واقع برخلاف مدل‌های خطی سنتی که فرض می‌کنند اثر متغیرها یکسان و یکنواخت است، این مدل‌ها تغییرات وابسته به سطح متغیر آستانه‌ای را لحاظ می‌کند (هانسن، ۱۹۹۹). مدل‌های پنل آستانه‌ای که از سال ۱۹۹۹ معرفی و توسعه داده شده‌اند، انواع مختلفی دارند مانند: پنل آستانه‌ای با اثرات ثابت<sup>۴</sup>، پنل آستانه‌ای با اثرات تصادفی<sup>۵</sup>، پنل‌های آستانه‌ای با دینامیک‌های زمانی و پنل‌های با متغیرهای وابسته درون‌زا<sup>۶</sup>. مقاله بنیادین هانسن (۱۹۹۹) مدل رگرسیون پنل آستانه‌ای با اثرات

1. Hansen, B. E.

2. Structural Heterogeneity

3. Panel Threshold Models

4. Fixed Effects Panel Threshold

5. Random Effects Panel Threshold

6. Endogenous Panel Threshold



ثابت را معرفی و تخمین و آزمون آن را تشریح کرده است. مدل پیشنهادی هانسن دارای سه ویژگی اساسی بود شامل کنترل اثرات ثابت واحدها، مناسب بودن برای داده‌های کوتاه‌مدت و متوازن و در نهایت قابلیت مقایسه مستقیم اثرها در رژیم‌های مختلف. این مدل در داده‌های پنلی متوازن غیردینامیک، امکان وجود پارامتر آستانه و دو ناحیه غیرخطی را فراهم می‌کند و روش حداقل مربعات<sup>۱</sup> همراه با استنباط مبتنی بر شبیه‌سازی را ارائه می‌دهد. هانسن نتایج ضرایب برآورد و آزمون فرض صفر عدم آستانه را بررسی کرده و اهمیت آستانه داده‌محور را نشان داده است. هانسن همچنین آزمونی برای عدم وجود آستانه (یکسان بودن ضرایب در دو رژیم) با استفاده از آماره F پیشنهاد داد. پس از مدل پایه، مطالعات متعددی مانند کرمر و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۹) این مباحث را ارتقا بخشیدند و مدل آستانه پنلی را به صورت دینامیک (پویا) گسترش دادند. برای مثال دانگ و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۲) یک مدل آستانه‌ای پنل دینامیک ارائه کردند تا اثر متقارن و ناهمگن ساختار سرمایه‌ای را بررسی کنند. آنها روش GMM را برای تخمین مدل معرفی کرده و شیوه استنباط آن را توضیح دادند.

در توسعه‌های بعدی و در مقاله ارزشمند سئو و شین<sup>۴</sup> (۲۰۱۶) یک چارچوب مدل پنل آستانه‌ای دینامیک<sup>۵</sup> (DPTM) قوی با تخمین سازگار و استنباط مجانبی معتبر ارائه شد. در این مقاله نویسندگان چارچوبی ارائه کرده‌اند که دینامیک پنل، اثرات ثابت و آستانه غیرخطی را همزمان ترکیب می‌کند. این مرحله یک جهش اساسی در ادبیات پنل‌های آستانه‌ای محسوب می‌شود، زیرا این سه عنصر مهم را به صورت همزمان وارد مدل می‌کنند. در واقع این مقاله به موضوع مهم مدل‌سازی دینامیک‌های نامتقارن غیرخطی<sup>۶</sup> و ناهمگنی خاص مشاهده نشده<sup>۷</sup> در چارچوب داده‌های پانل آستانه، به طور همزمان می‌پردازد. برای این منظور، رویکردهای استاتیک هانسن (۱۹۹۹، ۲۰۰۰) و کانر و هانسن<sup>۸</sup> (۲۰۰۴) را به مدل داده‌های پانلی پویا با متغیر آستانه درون‌زا و متغیرهای رگرسیونی تعمیم می‌دهد. هنگامی که متغیر آستانه برون‌زای قوی<sup>۹</sup> باشد، مقاله یک تخمین‌گر حداقل مربعات دو مرحله‌ای<sup>۱۰</sup> کارآمدتر را پیشنهاد می‌کند. در این مقاله نظریه مجانبی<sup>۱۱</sup> ارائه می‌شود و روش آزمایش برای اثرات آستانه و برون‌زایی متغیر آستانه نیز توسعه داده

1. Least Squares
2. Kremer, Bick & Nautz
3. Dang, Kim & Shin
4. Seo & Shin
5. Dynamic Panel Threshold Model
6. Nonlinear Asymmetric Dynamics Modeling
7. Unobserved Individual Heterogeneity
8. Caner & Hansen
9. Strictly Exogenous
10. Two-Step Least Squares Estimator
11. Asymptotic Theory



می‌شود. بعدتر پژوهش‌های اخیر روش‌های برآورد و آزمون‌های جدیدتری را برای مدل‌های پانل آستانه‌ای ارائه کرده‌اند. به عنوان نمونه یانگ<sup>۱</sup> (۲۰۲۴) بر پایه تبدیلات تغییر استاتیک کمی، مدل آستانه‌ای با آستانه وابسته به کوواریانت را معرفی نموده و روش‌های برآورد مبتنی بر شبیه‌سازی را ارائه کرده است. این مقاله روش‌های آزمون خطی بودن، آزمون ثبات آستانه و انتخاب تعداد آستانه را نیز پیشنهاد می‌کند. در نوشتار یانگ ابزارهای نرم‌افزاری جدید (از جمله دستورات استاتا) برای تخمین مدل‌های آستانه‌ای پویا در دسترس قرار گرفته‌اند که مبتنی برای روش‌های GMM و آزمون‌های بوت استرپ<sup>۲</sup> هستند.

در این مطالعه با توجه به ساختار پژوهش از مدل داده‌های پنلی آستانه‌ای دینامیک مبتنی بر مدل هانسن (۱۹۹۹) و توسعه‌های بعدی آن، یعنی هانسن و کانر (۲۰۰۴) و همچنین سنو و شین (۲۰۱۶) با تعمیم و به‌کارگیری روش GMM استفاده شده است. برای این منظور ابتدا مدل با فرض وجود دو رژیم بالا و پایین در نظر گرفته می‌شود و برای تخمین مدل، ابتدا باید سطوح آستانه ( ) به صورت درون‌زا تخمین زده شوند. در واقع آستانه‌هایی هستند که نقاط چرخش جهت اثرگذاری متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته هستند. مشاهدات براساس اینکه متغیر آستانه کوچک‌تر یا بزرگ‌تر از حد آستانه باشد به دو رژیم تقسیم می‌شوند. رژیم‌های مختلف بر اساس اختلاف میان شیب‌ها متمایز می‌شوند. همچنین فرض می‌شود که متغیر آستانه، استاتیک نباشد و جزء خطا مستقل بوده و دارای میانگین صفر و واریانس ثابت است. برای برآورد ضرایب، از روش حداقل مربعات معمولی استفاده می‌شود.

در این مطالعه مدل آستانه‌ای را با دو رژیم متفاوت مورد بررسی قرار می‌دهیم.

$$y_t = \varphi_0^1 + \sum_{i=1}^k \varphi_i^1 x_{it} + \varepsilon_t, Z_t \leq \gamma \quad (1)$$

$$y_t = \varphi_0^1 + \sum_{i=1}^k \varphi_i^1 x_{it} + \varepsilon_t, Z_t > \gamma \quad (2)$$

که در آن  $Z$  متغیر آستانه بوده و نشان‌دهنده مقدار آستانه است. متغیرهای توضیحی در بیشتر موارد شامل وقفه متغیرهای وابسته و توضیحی بوده است. در این الگو به ازای هر متغیر آستانه، مقدار در مجموعه مقادیر ممکن آن تغییر داده می‌شود، بطوریکه مجموع مربعات باقیمانده حداقل شود. از میان الگوهای رقیب مبتنی بر متغیرهای مختلف آستانه، الگویی انتخاب می‌شود که معیار انتخاب الگو (در اینجا معیار شوارتز<sup>۳</sup>) را حداقل کرده باشد. ساختار مدل مورد استفاده در این مطالعه به شرح زیر است:

(۳)

$$y_{it} = \alpha_i + \beta_0 y_{it-1} + \beta_1 x_{it} + \beta_2 z_{it} I(Z_{it} \leq \gamma_1) + \beta_2 z_{it} I(\gamma_1 \leq Z_{it} \leq \gamma_2) + \beta_2 z_{it} I(Z_{it} \geq \gamma_2) + \varepsilon_{it}$$

1. Lixiong Yang
2. Bootstrapping
3. Schwarz criteria



در مدل فوق  $y$  بیانگر متغیر وابسته بوده که انتشار دی اکسید کربن از فعالیت‌های صنعتی است.  $X$  بیانگر متغیرهای مستقل بوده که شامل مصرف انرژی تجدیدپذیر، شدت انتشار کربن، شدت مصرف انرژی، پتنت، هزینه‌های تحقیق و توسعه و صادرات محصولات های تک است.  $Z$  نیز بیانگر متغیری است که در آن عامل رفتار آستانه‌ای است. متغیر آستانه در این مطالعه مصرف انرژی تجدیدپذیر است. لازم به توضیح است که انتخاب متغیرهای مدل بر اساس نظریات بنیادین چارچوب مفهومی پژوهش و نیز مرور مطالعات و پیشینه پژوهش که خلاصه‌ای از آنها در جدول زیر منعکس شده، صورت گرفته است.

جدول ۵. تبیین متغیرهای مدل

| متغیر در مدل                                                                              | واحد اندازه‌گیری                         | نوع متغیر | نام متغیر                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------|------------------------------------------|
| (CO <sub>2</sub> ): Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> ) emissions from Industrial Processes | میلیون تن                                | وابسته    | انتشار دی اکسید کربن از فعالیت‌های صنعتی |
| (Ren): Renewable energy consumption                                                       | سهم انرژی تجدیدپذیر از کل مصرف انرژی (%) | آستانه    | مصرف انرژی تجدیدپذیر                     |
| (Cin): Carbon intensity of GDP                                                            | انتشار کربن / تولید ناخالص داخلی (%)     | مستقل     | شدت انتشار کربن                          |
| (Ein): Energy intensity level of primary energy                                           | عرضه انرژی / تولید ناخالص داخلی (%)      | مستقل     | شدت مصرف انرژی                           |
| (Pat): Patent applications, residents                                                     | تعداد درخواست‌های ثبت اختراع، ساکنین     | مستقل     | پتنت                                     |
| (Rd): Research and development expenditure                                                | درصد از تولید ناخالص داخلی (of GDP %)    | مستقل     | هزینه‌های تحقیق و توسعه                  |
| Medium and high-tech exports (Hit):                                                       | درصد از کل صادرات ساخت (%)               | مستقل     | صادرات محصولات های تک                    |

ماخذ: یافته‌های پژوهش

## ۴. برآورد مدل تجربی

قبل از مدل‌سازی تحقیق برای جلوگیری از انجام رگرسیون‌های کاذب، ابتدا مانایی متغیرها مورد بررسی قرار گرفته که برای این منظور از آزمون ایم، شین و پسران (IPS) استفاده نموده‌ایم. با استفاده از آزمون‌های صورت گرفته این موضوع که آیا سری‌های زمانی مورد استفاده فرایندی مانا (با مرتبه انباشتگی صفر) و یا اگر (با مرتبه انباشتگی غیر صفر) دارند، بررسی شده است. برای این منظور آزمون ریشه واحد بر روی متغیرهای پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است. آزمون ریشه واحد در حالت وجود عرض از مبدا و روند انجام شده است و نتایج جدول (۶) نشان دهنده این است که تمامی متغیرهای پژوهش به دلیل اینکه مقدار سطح معنی‌داری گزارش

شده برای این متغیرها بیشتر از ۰/۰۵ می باشد، در سطح اطمینان ۹۵ درصد بوده و فرضیه صفر مبنی بر وجود ریشه واحد رد نشده و این متغیرها در سطح نامانا و انباشته از مرتبه اول هستند.

جدول ۶. آزمون ریشه واحد آزمون ایم، پسران و شین (IPS) متغیرهای پژوهش

| کشورهای توسعه یافته |             | کشورهای در حال توسعه |             | متغیرها                                  |
|---------------------|-------------|----------------------|-------------|------------------------------------------|
| سطح معنی داری       | آماره آزمون | سطح معنی داری        | آماره آزمون |                                          |
| ۰/۴۱۸               | ۰/۷۹۸       | ۰/۴۴۱                | ۰/۱۴۳       | انتشار دی اکسید کربن از فعالیت های صنعتی |
| ۰/۳۸۸               | ۱/۲۷۴       | ۰/۴۵۳                | ۰/۳۹۴       | مصرف انرژی تجدیدپذیر                     |
| ۰/۴۶۱               | ۰/۲۶۵       | ۰/۳۱۴                | -۰/۴۵۲      | شدت انتشار کربن                          |
| ۰/۵۹۷               | -۰/۳۹۵      | ۰/۶۲۳                | -۰/۴۵۳      | شدت مصرف انرژی                           |
| ۰/۱۱۴               | ۱/۰۱۵       | ۰/۱۷۵                | -۰/۶۵۱      | پتنت                                     |
| ۰/۲۹۸               | ۰/۶۲۱       | ۰/۱۴۳                | -۰/۳۵۴      | هزینه های تحقیق و توسعه                  |
| ۰/۳۳۶               | ۰/۲۷۶       | ۰/۲۳۱                | ۰/۶۷۸       | صادرات محصولات های تک                    |

ماخذ: یافته های پژوهش

در ادامه و قبل از برآورد مدل، صحت وجود رابطه بلندمدت بین متغیرهای تحقیق را با استفاده از آزمون هم انباشتگی بررسی می نماییم. پیترو پدرونی<sup>۱</sup> (۱۹۹۹، ۲۰۰۴) هفت آزمون هم انباشتگی را در دو گروه کلی پیشنهاد کرد که به عرض از مبدا و ضرایب روند زمانی اجازه داده می شود که در بین واحدهای فردی متفاوت باشند. گروه اول مبتنی بر روش درون بعدی بوده و مشتمل بر آماره  $\nu$  پنلی، آماره  $\rho$  پانلی، آماره  $PP$  پنلی و آماره  $ADF$  پنلی، هستند. گروه دوم که سه آماره  $\rho$  گروهی،  $PP$  گروهی و  $ADF$  گروهی را شامل می شود، مبتنی بر روش بین - بعدی است. برای هر دو گروه، تحت فرضیه صفر، نامانا است و بین متغیرهای مدل ارتباط بلندمدت وجود ندارد، در صورتی که فرضیه مقابل مبتنی بر وجود بردار هم انباشتگی میان متغیرها است. برای آماره های گروه اول فرضیه در مقابل فرضیه آزمون می شود. در صورتی که برای آماره های گروه دوم فرضیه در مقابل فرضیه آزمون می شود.

1. Peter Pedroni



## جدول ۷ نتایج آزمون هم‌انباشتگی پنبلی

| متغیر وابسته انتشار دی اکسید کربن از فعالیت‌های صنعتی |                 |                      |                 | آماره‌های آزمون |
|-------------------------------------------------------|-----------------|----------------------|-----------------|-----------------|
| کشورهای توسعه یافته                                   |                 | کشورهای در حال توسعه |                 | آماره‌ها        |
| با روند زمانی                                         | بدون روند زمانی | با روند زمانی        | بدون روند زمانی |                 |
| ۰/۹۲                                                  | ۰/۹۸            | ۰/۸۷                 | ۰/۹۰            | آماره-۷ پنبلی   |
| ۰/۹۷                                                  | ۰/۹۵            | ۰/۷۹                 | ۰/۶۹            | آماره-۲۰ پنبلی  |
| ۰/۰۰                                                  | ۰/۰۰            | ۰/۰۰                 | ۰/۰۰            | آماره-PP پنبلی  |
| ۰/۰۰                                                  | ۰/۰۰            | ۰/۰۰                 | ۰/۰۰            | آماره-ADF پنبلی |
| ۰/۹۱                                                  | ۱/۰۰            | ۰/۸۴                 | ۰/۸۱            | آماره-۲۰ گروهی  |
| ۰/۰۰                                                  | ۰/۰۰            | ۰/۰۰                 | ۰/۰۰            | آماره-PP گروهی  |
| ۰/۰۳                                                  | ۰/۰۱            | ۰/۰۴                 | ۰/۰۲            | آماره-ADF گروهی |

ماخذ: یافته‌های پژوهش، اعداد بیانگر مقدار سطح معنی‌داری هستند.

همان‌طور که اطلاعات جدول (۷) نشان می‌دهند، برای دو حالت مورد نظر، اکثر مقادیر سطح خطای گزارش شده برای آماره‌های پدرونی کمتر از ۵ درصد یا ۰/۰۵ هستند و فرضیه صفر رد می‌شود؛ بنابراین می‌توان بیان کرد که رابطه بلندمدت بین متغیرها وجود دارد.

در ادامه به برآورد مدل آستانه‌ای پرداخته شده است. تعیین متغیر آستانه بهینه، تعداد رژیم‌ها و حد آستانه اولین گام در تحلیل الگوهای پنبلی آستانه‌ای است. در جدول (۸) متغیر آستانه صحیح به همراه تعداد رژیم‌ها و مقدار آستانه با استفاده از روش‌های جستجوی شبکه‌ای<sup>۱</sup> و معیار اطلاعات تعیین شده است.

## کشورهای در حال توسعه

جدول ۸. آزمون تعداد رژیم‌ها، متغیر آستانه و تخمین سطح بهینه آستانه در کشورهای در حال توسعه

| آزمون آستانه   | آماره F | آماره F مقیاس | مقدار بحرانی |
|----------------|---------|---------------|--------------|
| صفر در مقابل ۱ | ۷/۸۹    | ۵۵/۲۶         | ۲۱/۸۷        |
| ۱ در مقابل ۲   | ۳/۳۵    | ۲۳/۴۸         | ۲۴/۱۷        |

متغیر آستانه: وقفه اول رشد مصرف انرژی تجدیدپذیر، حد آستانه: ۲/۸ درصد (۱۱/۲ درصد در سال)

ماخذ: یافته‌های پژوهش

### 1. Grid Search

همانطور که در جدول (۸) ملاحظه می‌گردد در گروه کشورهای در حال توسعه، رشد مصرف انرژی تجدیدپذیر به عنوان متغیر آستانه برای تغییرات رژیم انتخاب می‌شود. حد آستانه رشد مصرف انرژی تجدیدپذیر ۲/۸ درصد (معادل ۱۱/۲ در سال) برآورد می‌شود. در واقع پس از عبور رشد مصرف انرژی تجدیدپذیر از آستانه مذکور ضرایب الگو دچار تغییر ساختاری می‌شوند. نتایج حاصل از تخمین الگوی آستانه در جدول (۹) ارائه شده است.

جدول ۹ برآورد ضرایب مدل پنل آستانه‌ای در کشورهای در حال توسعه

| متغیر                                             | ضریب   | سطح معنی داری |
|---------------------------------------------------|--------|---------------|
| متغیر آستانه: رشد مصرف انرژی تجدیدپذیر            |        |               |
| رژیم رشد مصرف انرژی تجدیدپذیر پایین $Ren < 0.028$ |        |               |
| عرض از مبدا                                       | -۰/۰۱۲ | ۰/۰۳          |
| وقفه متغیر وابسته                                 | ۰/۱۴۳  | ۰/۰۰          |
| مصرف انرژی تجدیدپذیر (Ren)                        | -۰/۳۵  | ۰/۰۱          |
| وقفه مصرف انرژی تجدیدپذیر                         | -۰/۱۲  | ۰/۰۰          |
| شدت انتشار کربن (Cin)                             | ۰/۱۷   | ۰/۰۱          |
| شدت مصرف انرژی (Ein)                              | ۰/۰۷   | ۰/۰۴          |
| پتنت (Pat)                                        | -۰/۰۲  | ۰/۰۳          |
| هزینه‌های تحقیق و توسعه (Rd)                      | -۰/۰۵  | ۰/۰۲          |
| صادرات محصولات های تک (Hit)                       | -۰/۱۲  | ۰/۰۴          |
| ECM(-۱)                                           | -۰/۲۸  | ۰/۰۰          |
| رژیم رشد مصرف انرژی تجدیدپذیر بالا $Ren > 0.028$  |        |               |
| عرض از مبدا                                       | -۰/۰۵  | ۰/۰۲          |
| وقفه متغیر وابسته                                 | ۰/۱۱۲  | ۰/۰۰          |
| مصرف انرژی تجدیدپذیر (Ren)                        | -۰/۵۴  | ۰/۰۰          |
| وقفه مصرف انرژی تجدیدپذیر                         | -۰/۱۳  | ۰/۰۴          |
| شدت انتشار کربن (Cin)                             | ۰/۰۶   | ۰/۰۰          |
| شدت مصرف انرژی (Ein)                              | ۰/۰۹   | ۰/۰۳          |
| پتنت (Pat)                                        | -۰/۰۴  | ۰/۰۰          |
| هزینه‌های تحقیق و توسعه (Rd)                      | -۰/۰۶  | ۰/۰۰          |



| متغیر                                  | ضریب       | سطح معنی داری          |
|----------------------------------------|------------|------------------------|
| متغیر آستانه: رشد مصرف انرژی تجدیدپذیر |            |                        |
| صادرات محصولات های تک (Hit)            | -۰/۱۵      | ۰/۰۳                   |
| ECM(-1)                                | -۰/۷۱      | ۰/۰۰                   |
| آماره های آزمون                        |            |                        |
| $DW=2.2$                               | $R^2=0.61$ | $F=10.60, Prob=0.0000$ |
| $AIC=-5.08$                            | $SC=-4.52$ | $HQC=-4.86$            |

ماخذ: یافته های پژوهش

با توجه به تخمین ضرایب و معنی داری آنها، معادلات برآورد شده برای رژیم ها و متغیرهای معنی دار بصورت زیر ارائه می شود (جدول ۱۰):

جدول ۱۰. برآورد معادلات پل آستانه ای در کشورهای در حال توسعه

|                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $Regime\ Ren < 0.028$                                                                                                                                          |
| $CO2_{it} = -0.012 + 0.143 CO2_{it-1} - 0.35Ren_{it} - 0.12Ren_{it-1} + 0.17Cin_{it} + 0.07Ein_{it} - 0.02Pat_{it} - 0.05Rd_{it} - 0.12Hit_{it} - 0.28ECM(-1)$ |
| $Regime\ Ren > 0.028$                                                                                                                                          |
| $CO2_{it} = -0.05 + 0.112 CO2_{it-1} - 0.54Ren_{it} - 0.13Ren_{it-1} + 0.06Cin_{it} + 0.09Ein_{it} - 0.04Pat_{it} - 0.06Rd_{it} - 0.15Hit_{it} - 0.71ECM(-1)$  |

ماخذ: یافته های پژوهش

در رژیم رشد مصرف انرژی تجدیدپذیر پایین در کشورهای در حال توسعه، مصرف انرژی تجدیدپذیر با ضریب منفی ۳۵٪ به عنوان مهم ترین عامل کاهش انتشار دی اکسید کربن شناخته شد. در این رژیم صادرات محصولات های تک با ضریب منفی ۱۲٪، هزینه های تحقیق و توسعه با ضریب منفی ۵٪ و متغیر پتنت با ضریب منفی ۲٪ اثرگذاری منفی بر انتشار دی اکسید کربن در بخش صنعت داشته است. متغیر شدت انتشار کربن با ضریب ۱۷٪ و شدت مصرف انرژی با ضریب ۷٪ اثرگذاری مثبتی بر رشد انتشار آلاینده گی و دی اکسید کربن در کشورهای در حال توسعه داشته است. در این رژیم ضریب تصحیح خطای مدل برابر با ۲۸- است که بیانگر این موضوع است که در صورت بروز شوک و ایجاد انحراف در مدل در هر دوره ۲۸ درصد از آن اصلاح شده و مدل به تعادل خود نزدیک می شود.

در رژیم رشد مصرف انرژی تجدیدپذیر بالا در کشورهای در حال توسعه، مصرف انرژی تجدیدپذیر با ضریب منفی ۵۴٪ به عنوان مهم ترین عامل کاهش انتشار دی اکسید کربن شناخته شد. در این رژیم صادرات محصولات های تک با ضریب منفی ۱۵٪، هزینه های تحقیق و توسعه با ضریب منفی ۶٪ و متغیر پتنت با ضریب منفی ۴٪ اثرگذاری منفی بر انتشار دی اکسید کربن در بخش صنعت داشته است.

متغیر شدت انتشار کربن با ضریب ۰/۰۶ و شدت مصرف انرژی با ضریب ۰/۰۹ اثرگذاری مثبتی بر رشد انتشار آلاینده‌گی و دی اکسید کربن در کشورهای در حال توسعه داشته است. در این رژیم ضریب تصحیح خطای مدل برابر با ۰/۷۱- است که بیانگر این موضوع است که در صورت بروز شوک و ایجاد انحراف در مدل در هر دوره ۷۱ درصد از آن اصلاح شده و مدل به تعادل خود نزدیک می شود. آزمون‌های تشخیصی برای مدل برآوردشده در کشورهای در حال توسعه در جدول (۱۱) نشان داده شده است.

#### جدول ۱۱. آزمون‌های تشخیصی

| ۱- آزمون عدم وجود خطای خودهمبستگی  |                                        |
|------------------------------------|----------------------------------------|
| ارزش احتمال آماره آزمون F          | فرضیه ی صفر: عدم وجود خطای خودهمبستگی  |
| ۰/۵۶                               | رد نمی شود.                            |
| ۲- آزمون نرمال بودن باقیمانده‌ها   |                                        |
| ارزش احتمال آماره $\chi^2$         | فرضیه صفر: نرمال بودن باقیمانده ها     |
| ۰/۴۱                               | رد نمی شود.                            |
| ۳- آزمون عدم وجود واریانس ناهمسانی |                                        |
| ارزش احتمال آماره‌های F            | فرضیه ی صفر: عدم وجود واریانس ناهمسانی |
| ۰/۱۹                               | رد نمی شود.                            |

ماخذ: یافته‌های پژوهش

بر اساس کلیه آزمون‌های تشخیصی، مدل غیرخطی برآورد شده نتایج رضایت بخشی ارائه داده است.

**کشورهای توسعه یافته:** تعیین متغیر آستانه بهینه، تعداد رژیم‌ها و حد آستانه اولین گام در تحلیل الگوهای پنبلی آستانه‌ای پویا است. در جدول (۱۱) متغیر آستانه صحیح به همراه تعداد رژیم‌ها و مقدار آستانه با استفاده از روش‌های جستجو و معیار اطلاعات برای کشورهای توسعه یافته تعیین شده است.

#### جدول ۱۲. آزمون تعداد رژیم‌ها، متغیر آستانه و تخمین سطح بهینه آستانه در کشورهای توسعه یافته

| آزمون آستانه                                                                         | آماره F | آماره F مقیاس | مقدار بحرانی |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------------|--------------|
| صفر در مقابل ۱                                                                       | ۶/۴۲    | ۳۴/۶۸         | ۱۲/۱۵        |
| ۱ در مقابل ۲                                                                         | ۴/۵۶    | ۱۹/۹۲         | ۱۳/۴۳        |
| متغیر آستانه: وقفه اول رشد مصرف انرژی تجدیدپذیر، حد آستانه: ۱/۵ درصد (۶ درصد در سال) |         |               |              |

منبع: یافته‌های پژوهش



همانطور که در جدول (۱۱) ملاحظه می‌شود، رشد مصرف انرژی تجدیدپذیر به عنوان متغیر آستانه برای تغییرات رژیم انتخاب می‌شود. حد آستانه رشد مصرف انرژی تجدیدپذیر ۱/۵ درصد (معادل ۶ در سال) برآورد می‌شود. در واقع پس از عبور رشد مصرف انرژی تجدیدپذیر از آستانه مذکور ضرایب الگو دچار تغییر ساختاری می‌شوند. نتایج حاصل از تخمین الگوی آستانه برای کشورهای توسعه یافته در جدول (۱۲) ارائه شده است.

جدول ۱۳. برآورد ضرایب مدل پنل آستانه‌ای در کشورهای توسعه یافته

| متغیر                                             | ضریب  | سطح معنی داری |
|---------------------------------------------------|-------|---------------|
| متغیر آستانه: رشد مصرف انرژی تجدیدپذیر            |       |               |
| رژیم رشد مصرف انرژی تجدیدپذیر پایین $Ren < 0.015$ |       |               |
| عرض از مبدا                                       | -۰/۶۲ | ۰/۰۳          |
| وقفه متغیر وابسته                                 | ۰/۱۶۸ | ۰/۰۰          |
| مصرف انرژی تجدیدپذیر (Ren)                        | -۰/۴۱ | ۰/۰۱          |
| وقفه مصرف انرژی تجدیدپذیر                         | -۰/۱۸ | ۰/۰۰          |
| شدت انتشار کربن (Cin)                             | ۰/۲۲  | ۰/۰۱          |
| شدت مصرف انرژی (Ein)                              | ۰/۱۰  | ۰/۰۴          |
| پتنت (Pat)                                        | -۰/۱۳ | ۰/۰۳          |
| هزینه‌های تحقیق و توسعه (Rd)                      | -۰/۱۸ | ۰/۰۲          |
| صادرات محصولات های تک (Hit)                       | -۰/۱۹ | ۰/۰۴          |
| ECM(-1)                                           | -۰/۳۹ | ۰/۰۰          |
| رژیم رشد مصرف انرژی تجدیدپذیر بالا $Ren > 0.015$  |       |               |
| عرض از مبدا                                       | -۰/۳۱ | ۰/۰۲          |
| وقفه متغیر وابسته                                 | ۰/۱۱۷ | ۰/۰۰          |
| مصرف انرژی تجدیدپذیر (Ren)                        | -۰/۶۷ | ۰/۰۰          |
| وقفه مصرف انرژی تجدیدپذیر                         | -۰/۲۱ | ۰/۰۴          |
| شدت انتشار کربن (Cin)                             | ۰/۲۸  | ۰/۰۰          |
| شدت مصرف انرژی (Ein)                              | ۰/۱۵  | ۰/۰۳          |
| پتنت (Pat)                                        | -۰/۱۶ | ۰/۰۰          |
| هزینه‌های تحقیق و توسعه (Rd)                      | -۰/۲۳ | ۰/۰۰          |

| متغیر                                  | ضریب         | سطح معنی داری                 |
|----------------------------------------|--------------|-------------------------------|
| متغیر آستانه: رشد مصرف انرژی تجدیدپذیر |              |                               |
| صادرات محصولات های تک (Hit)            | -۰/۲۹        | ۰/۰۳                          |
| ECM(-1)                                | -۰/۶۸        | ۰/۰۰                          |
| آماره های آزمون                        |              |                               |
| DW=1.95                                | $R^2 = 0.68$ | $F=12.83 \text{ Prob}=0.0000$ |
| AIC=-4.58                              | SC=-4.69     | HQC=-4.93                     |

ماخذ: یافته های پژوهش

با توجه به تخمین ضرایب و معنی داری آنها، معادلات برآورد شده برای رژیم ها و متغیرهای معنی دار بصورت زیر ارائه می شود (جدول ۱۳):

جدول ۱۴. برآورد معادلات پنل آستانه ای در کشورهای توسعه یافته

|                                                                                                                                                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $Regime \text{ Ren} < 0.015$                                                                                                                                  |
| $CO2_{it} = -0.62 + 0.168 CO2_{it-1} - 0.41Ren_{it} - 0.18Ren_{it-1} + 0.22Cin_{it} + 0.10Ein_{it} - 0.13Pat_{it} - 0.18Rd_{it} - 0.19Hit_{it} - 0.39ECM(-1)$ |
| $Regime \text{ Ren} > 0.015$                                                                                                                                  |
| $CO2_{it} = -0.31 + 0.117 CO2_{it-1} - 0.67Ren_{it} - 0.21Ren_{it-1} + 0.28Cin_{it} + 0.15Ein_{it} - 0.16Pat_{it} - 0.23Rd_{it} - 0.29Hit_{it} - 0.68ECM(-1)$ |

ماخذ: یافته های پژوهش

در رژیم رشد مصرف انرژی تجدیدپذیر پایین در کشورهای توسعه یافته، مصرف انرژی تجدیدپذیر با ضریب منفی ۰/۴۱ به عنوان مهم ترین عامل کاهش انتشار دی اکسید کربن شناخته شد. در این رژیم صادرات محصولات های تک با ضریب منفی ۰/۱۹، هزینه های تحقیق و توسعه با ضریب منفی ۰/۱۸ و متغیر پتنت با ضریب منفی ۰/۱۳ اثرگذاری منفی بر انتشار دی اکسید کربن در بخش صنعت داشته است. متغیر شدت انتشار کربن با ضریب ۰/۲۲ و شدت مصرف انرژی با ضریب ۰/۱۰ اثرگذاری مثبتی بر رشد انتشار آلاینده گی و دی اکسید کربن در کشورهای توسعه یافته داشته است. در این رژیم ضریب تصحیح خطای مدل برابر با ۰/۳۹- است که بیانگر این موضوع است که در صورت بروز شوک و ایجاد انحراف در مدل در هر دوره ۳۹ درصد از آن اصلاح شده و مدل به تعادل خود نزدیک می شود. در رژیم رشد مصرف انرژی تجدیدپذیر بالا در کشورهای توسعه یافته، مصرف انرژی تجدیدپذیر با ضریب منفی ۰/۶۷ به عنوان مهم ترین عامل کاهش انتشار دی اکسید کربن شناخته شد. در این رژیم صادرات محصولات های تک با ضریب منفی ۰/۲۹، هزینه های تحقیق و توسعه با ضریب منفی ۰/۲۳ و متغیر پتنت با ضریب منفی ۰/۱۶ اثرگذاری منفی بر انتشار دی اکسید کربن در بخش صنعت داشته است. متغیر شدت انتشار کربن با ضریب ۰/۲۸ و شدت مصرف



انرژی با ضریب ۰/۱۵ اثرگذاری مثبتی بر رشد انتشار آلاینده‌گی و دی اکسید کربن در کشورهای توسعه یافته داشته است. در این رژیم ضریب تصحیح خطای مدل برابر با ۰/۶۸- است که بیانگر این موضوع است که در صورت بروز شوک و ایجاد انحراف در مدل در هر دوره ۶۸ درصد از آن اصلاح شده و مدل به تعادل خود نزدیک می‌شود. آزمون‌های تشخیصی برای مدل برآورد شده در جدول (۱۴) نشان داده شده است.

جدول ۱۵. آزمون‌های تشخیصی

| ۱- آزمون عدم وجود خطای خودهمبستگی  |                                        |
|------------------------------------|----------------------------------------|
| ارزش احتمال آماره آزمون F          | فرضیه ی صفر: عدم وجود خطای خودهمبستگی  |
| ۰/۶۸                               | رد نمی‌شود.                            |
| ۲- آزمون نرمال بودن باقیمانده‌ها   |                                        |
| ارزش احتمال آماره $\chi^2$         | فرضیه صفر: نرمال بودن باقیمانده‌ها     |
| ۰/۵۲                               | رد نمی‌شود.                            |
| ۳- آزمون عدم وجود واریانس ناهمسانی |                                        |
| ارزش احتمال آماره‌های F            | فرضیه ی صفر: عدم وجود واریانس ناهمسانی |
| ۰/۲۳                               | رد نمی‌شود.                            |

ماخذ: یافته‌های پژوهش

به طور خلاصه بر اساس کلیه آزمون‌های تشخیصی، مدل غیرخطی برآورد شده نتایج رضایت بخشی ارائه داده است.

## ۵. نتیجه‌گیری و توصیه‌های سیاستی

هدف این مطالعه بررسی تاثیر سیاست‌های صنعتی سبز بر پایداری بخش صنعت در گروهی کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته بوده است. به منظور بررسی ارتباط بین متغیرها از مدل رگرسیون پنلی آستانه‌ای پویا استفاده شد. متغیر وابسته این تحقیق انتشار دی اکسید کربن از فعالیت‌های صنعتی بوده و متغیرهای مستقل نیز شامل مصرف انرژی تجدیدپذیر، شدت انتشار کربن، شدت مصرف انرژی، پتنت، هزینه‌های تحقیق و توسعه و صادرات محصولات‌های تک بوده است. نتایج بدست آمده بیانگر این است که مقدار آستانه در کشورهای در حال توسعه معادل با رشد مصرف انرژی تجدید پذیر معادل ۱۱/۲ درصد در سال و برای کشورهای توسعه یافته معادل ۶ درصد بوده است. در مدل برآورد شده اثرگذاری متغیرهای مصرف انرژی تجدیدپذیر، صادرات محصولات‌های تک، هزینه‌های تحقیق و توسعه و متغیر پتنت بر انتشار

دی اکسید کربن در بخش صنعت منفی بوده و تأثیر متغیرهای شدت انتشار کربن و شدت مصرف انرژی بر رشد انتشار آلاینده‌گی و دی اکسید کربن مثبت بوده است. نتایج بدست آمده از مطالعه حاضر با نتایج آسم‌اوگلو و همکاران (۲۰۱۹)؛ کلارک و همکاران (۲۰۲۰)، مادزار و همکاران (۲۰۲۴)، اسگر و همکاران (۲۰۲۴)، لوان و همکاران (۲۰۲۵)، رسولی‌زاده و ضیایی (۱۳۹۸)، خدادادی و همکاران (۱۴۰۱)، احمداسماعیل و صادقی (۱۴۰۴)، استفی فراید (۲۰۱۸)، جاکوب و اورلند (۲۰۲۴)، کچکوا و وارژینگ (۲۰۲۵)؛ همخوانی داشته است.

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که ارتباط میان سیاست‌های نوین صنعتی سبز و توسعه پایدار صنعتی، از یک رابطه خطی پیروی نمی‌کند، بلکه دارای ماهیتی غیرخطی و وابسته به آستانه است. به طور مشخص، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر نقش یک متغیر آستانه‌ای را ایفا می‌کند که پس از عبور از سطح بحرانی، اثر سیاست‌های مرتبط با نوآوری، تحقیق و توسعه و ارتقای ساختار تولید را به طور قابل توجهی تقویت می‌نماید. در واقع توسعه پایدار صنعتی را نمی‌توان صرفاً با اتکا به مدل‌های خطی رشد اقتصادی توضیح داد، بلکه این فرآیند نیازمند یک چارچوب سیستمی است که در آن سیاست صنعتی، نوآوری، گذار انرژی و تحول ساختاری به صورت هم‌زمان و تعاملی عمل می‌کنند، بنابراین سیاست‌های تدریجی و پراکنده برای گذار به اقتصاد کم‌کربن کافی نخواهند بود. کشورها و به‌ویژه کشورهای در حال توسعه، نیازمند استراتژی‌های جهشی و ماموریت محور هستند تا بتوانند از آستانه توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر عبور کنند. تنها در این صورت است که نوآوری، تحقیق و توسعه و ارتقای ساختار تولید می‌تواند اثر کامل خود را بر کاهش انتشار کربن نشان دهند. در کشورهای توسعه‌یافته، به دلیل وجود زیرساخت‌های فناورانه و نهادی، این فرآیند سریع‌تر و پایدارتر انجام می‌شود و در مقابل، کشورهای در حال توسعه با محدودیت‌های نهادی، مالی و تکنولوژیک بیشتری مواجه هستند که عبور از سطح آستانه را برای آنها دشوارتر می‌سازد.

مهم‌ترین یافته پژوهش حاضر به نقش مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در کاهش انتشار دی اکسید کربن صنعتی مربوط می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که در هر دو گروه کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه، افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر موجب کاهش انتشار دی اکسید کربن می‌شود، اما شدت این اثر پس از عبور از یک سطح آستانه به طور محسوسی افزایش می‌یابد. این نتیجه بیانگر آن است که رابطه میان انرژی‌های تجدیدپذیر و پایداری زیست‌محیطی ماهیتی غیرخطی دارد و دستیابی به منافع زیست‌محیطی گسترده مستلزم رسیدن به سطحی بحرانی از نفوذ فناوری‌های پاک در ساختار اقتصادی است. از دیدگاه نظریه تحول ساختاری رودریک توسعه اقتصادی نتیجه انتقال منابع به فعالیت‌های مولدتر و پیچیده‌تر است. در اقتصاد جهانی امروز، این تحول ساختاری بیش از گذشته به سمت فعالیت‌های سبز و کم‌کربن جهت‌گیری کرده است. بر این اساس، انرژی‌های تجدیدپذیر را می‌توان یکی از ارکان تحول ساختاری جدید دانست که زمینه انتقال اقتصاد از الگوی رشد مبتنی بر سوخت‌های فسیلی به الگوی رشد سبز را فراهم می‌کند. وجود



آستانه نشان می‌دهد که بازار به تنهایی قادر به ایجاد تحول گسترده در ساختار انرژی نیست و بر مبنای دیدگاه سیاست‌های ماموریت‌محور مازوکاتو، دولت باید از طریق سرمایه‌گذاری‌های بلندمدت، حمایت از فناوری‌های پاک و ایجاد زیرساخت‌های لازم، اقتصاد را به سطحی برساند که منافع ناشی از گذار سبز آشکار شود. علاوه بر این از منظر اقتصاد اقلیم نیز نتایج پژوهش با دیدگاه استرن مبنی بر این‌که سرمایه‌گذاری در انرژی‌های پاک نه یک هزینه، بلکه نوعی سرمایه‌گذاری توسعه‌ای برای کاهش هزینه‌های بلندمدت ناشی از تغییرات اقلیمی است، سازگار است. یافته‌های پژوهش حاضر نیز نشان می‌دهد که گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند به عنوان یکی از موثرترین ابزارهای کاهش انتشار کربن در بخش صنعت عمل کند.

همچنین نتایج نشان داد که شدت انتشار کربن در هر دو گروه کشورها اثر مثبت و معناداری بر انتشار دی‌اکسیدکربن دارد، اما پس از عبور از آستانه انرژی‌های تجدیدپذیر، شدت این اثر در کشورهای در حال توسعه کاهش قابل توجهی پیدا می‌کند. این نتیجه بیانگر آن است که توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند وابستگی ساختار تولید به فناوری‌های آلاینده را کاهش دهد. نظریه تغییر جهت فناوری آسم‌اوغلو و آگیون (۲۰۲۳) در اینجا قابل تبیین است. بر اساس این نظریه، اقتصادها ممکن است در مسیرهایی دچار قفل‌شدگی شوند و سرمایه‌گذاری‌های گذشته موجب تداوم استفاده از فناوری‌های آلاینده در آنها شود. گذار به فناوری‌های پاک مستلزم ایجاد انگیزه‌های جدید برای نوآوری و سرمایه‌گذاری در فناوری‌های سبز است. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که با افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر، وابستگی اقتصاد به مسیرهای فناورانه آلاینده کاهش یافته و شدت انتشار کربن تاثیر کمتری بر انتشار نهایی دی‌اکسیدکربن خواهد داشت. از دیدگاه آلتنبرگ و همکاران (۲۰۱۷) نیز، توسعه پایدار زمانی محقق می‌شود که سیاست‌های صنعتی بتوانند ساختار فناوری و الگوی تولید را به سمت فناوری‌های کم‌کربن هدایت کنند. بر اساس نتایج برآورد مدل‌های پژوهش شدت مصرف انرژی در تمامی رژیم‌ها اثر مثبت بر انتشار دی‌اکسیدکربن دارد و این نشان می‌دهد که افزایش مصرف انرژی نسبت به تولید اقتصادی همچنان یکی از مهم‌ترین عوامل تشدید آلودگی‌های زیست‌محیطی محسوب می‌شود. بر اساس دیدگاه استرن و استیگلیتز (۲۰۲۳) گذار سبز صرفاً به معنای جایگزینی سوخت‌های فسیلی با انرژی‌های تجدیدپذیر نیست، بلکه مستلزم ارتقای بهره‌وری انرژی نیز هست. به عبارت دیگر، کیفیت مصرف انرژی به اندازه منبع انرژی اهمیت دارد. بنابراین یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که سیاست‌های توسعه پایدار باید علاوه بر گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر، بر افزایش بهره‌وری انرژی و اصلاح الگوهای مصرف نیز متمرکز باشند. آگینگر (۲۰۱۴) نیز معتقد است که بهره‌وری انرژی یکی از پایه‌های اصلی رقابت‌پذیری اقتصادهای مدرن است. اقتصادهایی که با مصرف کمتر انرژی ارزش افزوده بیشتری تولید می‌کنند، هم از نظر اقتصادی و هم از نظر زیست‌محیطی عملکرد بهتری خواهند داشت.



بر اساس نظریه تحول ساختاری رودریک توسعه اقتصادی پایدار مستلزم حرکت از فعالیت‌های ساده و کم‌بهره‌ور به فعالیت‌های پیچیده و دانش‌بنیان است. صادرات محصولات با فناوری بالا بیانگر ارتقای قابلیت‌های تولیدی و فناوریانه کشورها است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که افزایش صادرات محصولات با فناوری بالا و متوسط سبب کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن می‌شود و این به این معنا است که ارتقای ساختار صادراتی و حرکت به سمت تولید کالاهای دانش‌بنیان می‌تواند به بهبود عملکرد زیست‌محیطی اقتصاد منجر شود. آگینگر (۲۰۱۴) استدلال می‌کند که مزیت رقابتی آینده کشورها نه در صنایع آلاینده و منبع‌محور، بلکه در صنایع دانش‌بنیان، تکنولوژیک و سبز شکل خواهد گرفت. بنابراین توسعه صادرات فناوری بر می‌تواند همزمان موجب افزایش رقابت‌پذیری و بهبود پایداری زیست‌محیطی شود. علاوه بر آن نتایج نشان می‌دهد که مخارج تحقیق و توسعه (R&D) و پتنت در تمامی رژیم‌ها موجب کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن می‌شوند و این اثر در کشورهای توسعه‌یافته قوی‌تر است. این یافته یکی از مهم‌ترین شواهد تجربی در تایید نظریه رشد درون‌زای آگیون است. این یافته با نظریه رشد شومپیتری (آگیون و همکاران، ۲۰۱۹) کاملاً سازگار است. آگیون معتقد است که نوآوری موتور اصلی رشد اقتصادی بلندمدت است و در عصر اقتصاد سبز، نوآوری باید در جهت فناوری‌های کم‌کربن هدایت شود. افزایش اثر هزینه‌های تحقیق و توسعه پتنت‌ها پس از عبور از آستانه انرژی‌های تجدیدپذیر نشان می‌دهد که نوآوری و انرژی‌های پاک مکمل یکدیگر هستند. به بیان دیگر، بازده زیست‌محیطی نوآوری زمانی افزایش می‌یابد که زیرساخت‌های لازم برای بهره‌برداری از فناوری‌های جدید فراهم شده باشد.

در نهایت، نتایج این پژوهش بیانگر آن است که توسعه صنعتی پایدار نتیجه تعامل میان چهار سازوکار کلیدی است: گذار انرژی (با توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر)، نوآوری فناوریانه، تحول ساختاری (با ارتقای ساختار تولید) و سیاست صنعتی سبز (با تاکید بر بهبود کیفیت نهادها). در این میان، انرژی‌های تجدیدپذیر نقش فعال‌کننده را ایفا می‌کنند که پس از رسیدن به سطح بحرانی، کل سیستم توسعه را وارد رژیم جدیدی از رشد کم‌کربن و پایدار می‌نمایند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مسیر آینده توسعه صنعتی در جهان، نه در افزایش صرف تولید یا رشد اقتصادی، بلکه در توانایی کشورها برای ایجاد هم‌زمانی میان نوآوری، انرژی پاک و سیاست صنعتی هوشمند نهفته است. این نتایج به طور همزمان از نظریه‌های تحول ساختاری رودریک، رشد شومپیتری آگیون، تغییر جهت فناوری آسم‌اوغلو و آگیون، اقتصاد ماموریت‌محور مازوکاتو، شکست بازار استیگلیتز، اقتصاد اقلیم استرن، رقابت‌پذیری پایدار آگینگر و سیاست صنعتی سبز آلتنبرگ حمایت می‌کند و نشان می‌دهد که گذار به توسعه صنعتی پایدار مستلزم اجرای یک بسته سیاستی هماهنگ و چندبعدی است.



**توصیه‌های سیاستی برای کشورهای در حال توسعه:** سیاست‌های صنعتی نوین طیف وسیعی از راهبردهای سبز در راستای ارتقای بهره‌وری را شامل می‌شوند، از جمله سرمایه‌گذاری در توسعه فناوری‌های پاک (باتری، هیدروژن، انرژی تجدیدپذیر)، اعطای یارانه انرژی‌های تجدیدپذیر، حمایت از نوآوری‌های زیست‌محیطی، سرمایه‌گذاری در پژوهش و توسعه سبز، برقراری مالیات کربن و تجارت انتشار بخش صنایع. اعمال این سیاست‌ها ضمن ایجاد شرایط گذار به اقتصاد سبز، منجر به سرریز منافع به سایر بخش‌های دیگر اقتصاد شده و در نهایت کاهش نابرابری، افزایش بهره‌وری نیروی کار و ارتقای رفاه اجتماعی را به دنبال خواهد داشت. با این حال در پایان این نوشتار، بر مبنای نتایج بدست آمده و انطباق آنها با مبنای نظری این پژوهش، توصیه‌های سیاستی برای کشورهای در حال توسعه و به ویژه ایران به این شرح پیشنهاد می‌گردد.

یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که در کشورهای در حال توسعه، اثر سیاست‌های صنعتی سبز وابسته به عبور از یک آستانه فناورانه است. بنابراین سیاست‌گذاری در این کشورها باید متمرکز، ماموریت‌محور و جهش‌زا باشد از جمله (۱) سیاست عبور از آستانه سبز<sup>۱</sup>. سرمایه‌گذاری‌های کوچک و پراکنده اثر محدود دارند. و عبور از آستانه باعث فعال شدن اثرات سرریز نوآوری، تحقیق و توسعه (R&D) و صادرات مبتنی بر تکنولوژی می‌شود. (۲) سیاست صنعتی ماموریت‌گرا و هدایت سرمایه‌گذاری (مازوکاتو و رودریک، ۲۰۲۳). کشورهای در حال توسعه نیازمند سیاست صنعتی فعال هستند، نه سیاست خنثی بازار. اقدامات کلیدی در این زمینه می‌تواند ایجاد صندوق‌های سرمایه‌گذاری سبز دولتی و طراحی ماموریت ملی گذار به اقتصاد کم‌کربن باشد. (۳) سیاست تقویت نظام ملی نوآوری (آگیون و استیگلیتز) با ایجاد پیوند بین دانشگاه-صنعت-دولت و حمایت از تحقیق و توسعه (R&D) همزمان با توسعه انرژی‌های پاک باشد. سیاست‌های ثبت اختراع (پتنت) باید نوآوری سبز را تشویق کنند. (۴) سیاست تغییر جهت فناوری به سمت انرژی پاک (آسم‌اوغلو و آگیون، ۲۰۲۳) برای خروج از قفل‌شدگی در فناوری‌های آلاینده بطوریکه، یارانه سوخت‌های فسیلی کاهش یابد، قیمت‌گذاری کربن اجرا شود و مشوق‌های نوآوری باید به سمت فناوری سبز هدایت شود. (۵) سیاست ارتقای بهره‌وری انرژی، با توجه به اینکه شدت انرژی در تمام رژیم‌ها اثر مثبت و معنی‌داری بر انتشار کربن دارد، سیاست‌های حوزه انرژی نباید فقط بر تامین انرژی پاک متمرکز باشند بلکه باید بر بهره‌وری انرژی نیز تمرکز کنند (استرن و استیگلیتز، ۲۰۲۳) و استانداردهای بهره‌وری صنعتی باید سخت‌گیرانه شوند.

**توصیه‌های سیاستی برای ایران:** با توجه به ساختار اقتصاد ایران که با مسائلی مانند وابستگی بالا به انرژی‌های فسیلی، شدت بالای کربن و انرژی، محدودیت در نوآوری‌های فناورانه خصوصی به ویژه در حوزه

گذار سبز، سهم پایین تحقیق و توسعه و نقش پررنگ دولت در اقتصاد، روبرو است، توصیه‌های سیاستی در این حوزه باید متمرکزتر و اجرایی‌تر باشند. بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان سیاست‌های زیر را به طور مشخص برای ایران پیشنهاد داد: (۱) سیاست جهش آستانه‌ای انرژی‌های تجدیدپذیر. با توجه به سطوح آستانه‌ای برآورد شده در این پژوهش، ایران باید برنامه‌ای برای جهش انرژی‌های تجدیدپذیر طراحی کند، با هدف عبور سریع از نقطه آستانه، نه توسعه تدریجی. در این راه تمرکز بر انرژی خورشیدی و بادی با توجه به مزیت اقلیمی توصیه می‌شود. (۲) سیاست اصلاح یارانه‌های انرژی و قیمت‌گذاری کربن (آسم‌اوغلو و آگیون، ۲۰۲۳) شامل اصلاح تدریجی یارانه‌های سوخت‌های فسیلی، ایجاد سیگنال قیمتی واقعی برای کربن و هدایت سرمایه‌گذاری به سمت انرژی پاک. (۳) سیاست تقویت پیوند دانشگاه-صنعت در فناوری‌های سبز با ایجاد کنسرسیوم‌های نوآوری سبز، حمایت از استارت‌آپ‌های انرژی پاک و تجاری‌سازی پتنت‌های دانشگاهی (آگیون و همکاران، ۲۰۱۹). (۴) سیاست ایجاد صندوق ملی تحول سبز (مازوکاتو و رودریک، ۲۰۲۳) با تاسیس صندوق سرمایه‌گذاری دولتی در انرژی‌های پاک؛ تامین مالی R&D سبز؛ و سرمایه‌گذاری مشترک با بخش خصوصی. این صندوق باید نقش سرمایه‌گذار اولیه خطرپذیر را ایفا کند. (۵) سیاست ارتقای بهره‌وری انرژی در صنعت ایران با اعمال استانداردهای سخت‌گیرانه انرژی در صنایع فولاد، سیمان و پتروشیمی؛ نوسازی تجهیزات صنعتی؛ و استفاده از فناوری‌های دیجیتال برای مدیریت انرژی. (۶) سیاست توسعه صادرات‌های-تک به عنوان استراتژی جایگزین نفت، با حرکت تدریجی از صادرات مواد خام به صادرات صنعتی پیچیده؛ حمایت از شرکت‌های دانش‌بنیان صادرات‌محور؛ و اتصال به زنجیره ارزش جهانی. (۷) بازطراحی سیاست صنعتی ایران بر محور پیچیدگی اقتصادی با انتقال تمرکز از صنایع انرژی‌بر به صنایع دانش‌بر؛ و توسعه صنایع ماشین‌آلات سبز و فناوری‌های پاک. (۸) سیاست اصلاح نهادی گذار سبز، با ایجاد ثبات در سیاست‌های انرژی و صنعت؛ کاهش مداخلات غیرقابل پیش‌بینی؛ و افزایش شفافیت در سیاست‌گذاری صنعتی. در پایان بر این نکته تاکید می‌شود که کشورها احتمالاً زمانی از مزایای بی‌شمار بهره‌مند می‌شوند که با اتخاذ موضعی فعال، تحول سبز خود را به گونه‌ای تسریع کنند که اهداف اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی را با هم ترکیب کند. سیاست‌های صنعتی سبزی که به خوبی طراحی شده‌اند نه تنها برای بازگرداندن توسعه اقتصادی به فضای عملیاتی امن برای بشریت بسیار مهم هستند، بلکه می‌توانند به عنوان یک برنامه سرمایه‌گذاری برای دستاوردهای بهره‌وری بلندمدت عمل کنند.

- احمد اسماعیل، صباح، صادقی، سید کمال. (۱۴۰۴). توسعه استراتژی‌های پایدار و انعطاف‌پذیر در فناوری سبز. مطالعات مدیریت توسعه سبز. doi: 10.22077/jgdms.2025.9288.1301
- خدادادی، ثریا، پهلوانی، مصیب و حسین‌زاده، رمضان. (۱۴۰۱). اثر تغییر ساختار صنعتی بر انتشار دی اکسیدکربن در استان‌های ایران: رهیافت اقتصادسنجی فضایی. فصلنامه علوم محیطی. ۲۳۶-۲۲۱، (۱)۲۰.
- ذبیحی، سیدمحمدقائم، اکبری، فاطمه و صالح‌نیا، نرگس. (۱۴۰۲). بررسی نقش ریسک‌های اقتصادی، مالی و سیاسی بر انتشار کربن در ایران: رهیافت رگرسیون کوانتایل بر کوانتایل (QQR). پژوهش‌های اقتصادی ایران. ۵۲-۷، (۹۶)۲۸.
- رسولی‌زاده، منیر و ضیایی، سامان. (۱۳۹۸). بررسی عوامل موثر بر انتشار دی اکسید کربن در کشورهای منتخب OECD با استفاده از الگوی پانل دیتا. نشریه محیط زیست طبیعی. ۳۵۲-۳۳۹، (۳)۷۲.
- صرفی، حمید. (۱۴۰۳). تاثیر سیاست‌های سبز اتحادیه اروپا بر نوآوری ساخت‌وساز پایدار در کشورهای درحال توسعه، چهارمین کنفرانس ملی مهندسی عمران، توسعه هوشمند و سیستم‌های پایدار. گرگان. <https://civilica.com/doc/2203197>
- کارزونی، علیرضا. فشاری، مجید (۱۳۸۹). تاثیر صادرات صنعتی بر زیست محیط ایران (۱۳۸۵-۱۳۵۲) فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، شماره ۵۵، تابستان ۱۳۸۹. ۲۱۲-۱۸۳.
- محمدی، مهران. حبیبی، فاتح و قادری، سامان. (۱۴۰۱). بررسی اثر تمرکز صنعتی بر انتشار دی اکسید کربن در بخش صنعت ایران. سیاست‌ها و تحقیقات اقتصادی. ۳۰-۱، (۳)۱.
- Acemoglu, D., & Aghion, P., (2023). Green innovation and the transition toward a clean economy (Working Paper No. 23-14). Peterson Institute for International Economics.
- Acemoglu D., Aghion P., Barrage L., Hémous D., (2019). Climate Change, Directed Innovation, and Energy Transition: The Long-run Consequences of the Shale Gas Revolution. MIT Press. Cambridge, Massachusetts. [https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2023.1062310305-750X/\\_2023](https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2023.1062310305-750X/_2023) The Author(s). Published by Elsevier Ltd
- Abadie, A., Diamond, A., & Hainmueller, J. (2010). Synthetic control methods for comparative case studies. Journal of the American Statistical Association, 105(490), 493-505.
- Aghion, P., Hepburn, C., & Zenghelis, A. (2019). Path dependence, innovation and the economics of climate change. London School of Economics and Political Science, Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment.
- Ahmad Esmail, Sabah. Sadeghi, Seyed Kamal. (1404). Developing sustainable and flexible strategies in green technology. Green Development Management Studies, doi: 10.22077/jgdms.2025.9288.1301. [ In Persian ]
- Aiginger, Karl. (2014). Industrial Policy for a Sustainable Growth Path. WIFO Working Papers, No. 469. Austrian Institute of Economic Research (WIFO).
- Aiginger, K., & Rodrik, D. (2020). Rebirth of Industrial Policy and an Agenda for the Twenty-First Century. Journal of Industry, Competition and Trade, 20(2), 189-207. DOI:10.1007/s10842-019-00322-3.
- Altenburg, Tilman, Rosendahl, Christina, Stamm Andreas, von Drachenfels, Christian (2008). Industrial Policy - A Key Element of the Social and Ecological Market Economy. Preliminary report, German Development Institute, Bonn. Academic Perspectives. PART 2.
- Altenburg, T. & Rodrik, D. (2017) Green industrial policy: Accelerating structural change towards wealthy green economies. Geneva, Bonn: UN Environment; German Development Institute (DIE).
- Ambec, Stefan. (2017). Gaining competitive advantage with green industrial policy. In Altenburg, T., & Assmann, C. (Eds.). (2017). Green Industrial Policy. Concept, Policies, Country Experiences (pp. 38-49). Geneva, Bonn: UN Environment; German Development Institute (DIE).



- Arellano, M., & Bond, S. R. (1991). Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations. *The Review of Economic Studies*, 58, 277-297.
- Asghar M., Leghari S., Ullah S., Nobanee H., (2024). Balancing environmental sustainability: Socio-economic drivers and policy pathways in oil-importing nations. *Energy Strategy Reviews*, 55, 101497. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101497>
- Blundell, R., & Bond, S. (1998). Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. *Journal of Econometrics*, 87(1), 115-143.
- Callaway, Brantly, Sant'Anna, Pedro H.C., (2021). Difference-in-Differences with multiple time periods. *J. Econometrics* 225 (2), 200-230.
- Caner, M., & Hansen, B. E. (2004). Instrumental variable estimation of a threshold model. *Econometric Theory*, 20(5), 813-843. <https://doi.org/10.1017/S0266466604205011>
- Chang, Ha-joon (1996). *The Political Economy of Industrial Policy*. New York: St.Martin's Press.
- Clark, M. A., Domingo, N. G. G., Colgan, K., Thakrar, S. K., Tilman, D., Lynch, J., ... & Hill, J. D. (2020). Global food system emissions and their environmental impacts. *Annual Review of Environment and Resources*, 45(1), 173-195
- Cucurachi, S., Scherer, L., Guinée, J. B., & Tukker, A. (2019). Life cycle assessment of food systems. *One Earth*, 1(3), 292-297.
- Dang, V. A., Kim, M., & Shin, Y. (2012). Asymmetric capital structure adjustments: New evidence from dynamic panel threshold models. *Journal of Empirical Finance*, 19(4), 465-482. <https://doi.org/10.1016/j.jempfin.2012.04.004>
- Dechezleprêtre, A., Martin, R., Bassi, S., (2015). Climate change policy, innovation and growth. Policy brief. London: Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment, London School of Economics and Political Science.
- Fay, M., Hallegatte, S., Vogt-Schilb, A., Rozenberg, J., Narloch, U., & Kerr, T. M. (2015). Decarbonizing development: Three steps to a zero-carbon future. *Climate change and development series*. Washington D.C.: World Bank.
- Fried, Stephanie (2018). Climate Policy and Innovation: A Quantitative Macroeconomic Analysis. *American Economic Journal: Macroeconomics* 2018, 10(1): 90-118. <https://doi.org/10.1257/mac.2015028990>
- Garcia-Sanchez, A.; Rama, R. (2025). Eco-Innovation in the Food and Beverage Industry: Persistence and the Influence of Crises. *Sustainability* 2025, 17, 2971. <https://doi.org/10.3390/su17072971>
- Hansen, B. E. (1999). Threshold effects in non-dynamic panels: Estimation, testing, and inference. *Journal of Econometrics*, 93(2), 345-368. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(99\)00025-1](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(99)00025-1)
- Hart, S. L. (1997). Beyond greening: Strategies for a sustainable world. *Harvard Business Review*, 75(1), 66-76.
- IEA, (2024). *Renewables 2024, Analysis and forecast to 2030, Revised version*.
- IEA, (2025). *Tracking SDG 7: The Energy Progress Report*.
- International Energy Agency (IEA). (2026a). *Global Energy Review 2026 - Key findings*. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2026/key-findings>.
- International Energy Agency (IEA). (2026b). *Global Energy Review 2026 - Electricity supply*. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2026/electricity-supply>.
- International Energy Agency (IEA). (2026c). *Global Energy Review 2026 - CO<sub>2</sub> emissions*. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2026/co2-emissions>.



- Jakob, M., & Overland, I. (2024). Green industrial policy can strengthen carbon pricing but not replace it. *Energy Research & Social Science*, 116, 103669. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103669>
- Ketchoua, G.S., Wirajing, M.A.K. (2025). The resource hypothesis revisited: Analysing the OECD experience in energy sustainability. *Energy Policy* 207, 114830. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2025.114830>
- Kluza, K., Ziolo, M., & Postula, M. (2024). Climate policy development and implementation from the Sustainable Development Goals perspective: Evidence from the European Union countries. *Energy Strategy Reviews*, 52, 101321. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101321>
- Khodadadi, Soraya, Pahlavani, Mosayeb and Hosseinzadeh, Ramadan. (1401). The effect of industrial restructuring on carbon dioxide emissions in Iranian provinces: a spatial econometric approach. *Quarterly Journal of Environmental Sciences*, 20(1), 221-236. [ In Persian ]
- Kremer, Stephanie; Bick, Alexander; Nautz, Dieter (2009). Inflation and growth: New evidence from a dynamic panel threshold analysis, SFB 649 Discussion Paper, No. 2009-036, Humboldt University of Berlin, Collaborative Research Center 649 - Economic Risk, Berlin.
- Luan Y., Tang D., Aderemi T., Osabohien R. (2025). Clean energy adoption, industrialization and sustainable development: A system GMM approach. *Energy Strategy Reviews*, 59, 101740. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2025.101740>
- Madzar, Lidija., Stojiljkovic, Jasmina., Todorov, Janko. (2024). EMPIRICAL EVALUATION OF SUSTAINABLE AGRICULTURAL MANAGEMENT IN SOUTHEAST EUROPEAN COUNTRIES USING PANEL DATA ANALYSIS. *Economics of Agriculture*, Year 71, No. 2, 2024, (pp. 653-665), Belgrade. doi:10.59267/ekoPolj2402653M.
- Marra, Alessandro. Colantorio, Emiliano (2023). On public policies in the energy transition: Evidence on the role of socio-technical regimes for renewable technologies. *Energy Economics* 128. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.107126>
- Mazzucato, M. and Rodrik, D. (2023). Industrial Policy with Conditionalities: A Taxonomy and Sample Cases. UCL Institute for Innovation and Public Purpose, Working Paper Series (IIPP WP 2023-07). Available at: <https://www.ucl.ac.uk/bartlett/publicpurpose/wp2023-07>
- Mealy, Penny. Teytelboym, Alexander (2022). Economic complexity and the green economy. *Research Policy* 51. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.103948>
- Mohammadi, Mehran , Habibi, Fateh and Ghaderi, Saman . (2010). Investigating the effect of industrial concentration on carbon dioxide emissions in the Iranian industrial sector. *Economic Policies and Research*, 1(3), 1-30. [ In Persian ]
- Notarnicola, B., Sala, S., Anton, A., McLaren, S. J., Saouter, E., & Sonesson, U. (2017). The role of life cycle assessment in supporting sustainable agri-food systems: A review of the challenges. *Journal of Cleaner Production*, 140(2), 399-409.
- Pedroni, Peter. (1999). Critical values for cointegration tests in heterogeneous panels with multiple regressors. *Oxford Bulletin of Economics and statistics* 61 (S1), 653-670.
- Pedroni, Peter. (2004). Panel Cointegration: Asymptotic and Finite Sample Properties of Pooled Time Series Tests with an Application to the Ppp Hypothesis. *Econometric Theory*, 20, 597-625. <https://doi.org/10.1017/S0266466604203073>
- Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987-992. <https://doi.org/10.1126/science.aag0216>.
- Popp, D. (2019). Environmental policy and innovation: A decade of research. *International Review of*

Environmental and Resource Economics, 13(3-4), 265-337.

- Porter, M. E., & van der Linde, C. (1995). Green and competitive: Ending the stalemate. Harvard Business Review, 73(5), 120-134.
- . Rasoulizadeh, Monir and Ziaei, Saman . (2019). Investigating the factors affecting carbon dioxide emissions in selected OECD countries using the panel data model. Journal of Natural Environment, 72(3), 339-352. [ In Persian ]
- Rodrik, Dani (2007). Normalizing Industrial Policy. Paper prepared for the Commission on Growth and Development, Cambridge, MA.
- Rodrik, D. (2008). Normalizing industrial policy. Commission on Growth and Development Working Paper No. 3.
- Rodrik, Dani., & Stiglitz, Joseph E., (2024), A NEW GROWTH STRATEGY FOR DEVELOPING NATIONS, Harvard University and Columbia University. An essay prepared for the IEA-ERIA Project on the New Global Economic Order.
- Sachs, J. D. (2015). The age of sustainable development. Columbia University Press.
- Schwartz, J. (2015). Norway Will Divest From Coal in Push Against Climate Change. NY Times. 05/06/2015.
- Sarafi, Hamid, 1403, The impact of EU green policies on sustainable construction innovation in developing countries, Fourth National Conference on Civil Engineering, Smart Development and Sustainable Systems, Gorgan, <https://civilica.com/doc/2203197>. [In Persian]
- Seo, M. H., & Shin, Y. (2016). Dynamic panels with threshold effect and endogeneity. Journal of Econometrics, 195(2), 169-186. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2016.03.005>
- Sheng, J.; Gao, X.; Sun, Y. (2024). Sustainability of the Food Industry: Ecological Efficiency and Influencing Mechanism of Carbon Emissions Trading Policy in China. Sustainability 2024, 16, 2059. <https://doi.org/10.3390/su16052059>
- Stern, Nicolas., & Stiglitz, Joseph E., (2023). Climate change and growth, Industrial and Corporate Change, 2023, 32, 277-303. DOI: <https://doi.org/10.1093/icc/dtad008>
- UNIDO. (2026a). Industrial Development Report 2026: The future of industrialization—Building future-ready industries for sustainable development. United Nations Industrial Development Organization.
- UNIDO. (2026b). The role of artificial intelligence in industrial development. Policy brief.
- United Nations. (2015). Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. United Nations. <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- World Bank (2026). World Development Indicator; CD.
- World Commission on Environment and Development. (1987). Our common future. Oxford University Press.
- Yang, Lixiong. (2024). Panel threshold model with covariate-dependent thresholds and its application to the cash flow/investment relationship. Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics, 28(4), 645-659. <https://doi.org/10.1515/snde-2022-0035>
- Zabihi, Seyed Mohammad Ghaem , Akbari, Fatemeh and Salehnia, Narges . (2011). Investigating the role of economic, financial and political risks on carbon emissions in Iran: Quantile-by-quantile regression (QQR) approach. Iranian Economic Research, 28(96), 7-52. [ In Persian ]

