




## Nonlinear Effects of Transportation Infrastructure on Industrial Energy Efficiency in Iranian Provinces

- Ali Asqhar Salem**  Associate Professor, Theoretical Economics Dept., Faculty of Economics, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran
- Leyla Jabari** \*  Master of Economics, Faculty of Economics, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran
- Zahra Bayat**  Ph.D. Student, Faculty of Economics and Social Sciences, Bu- Ali Sina University, Hamadan, Iran

### Abstract

The aim of this study is to analyze the effect of transportation infrastructure on the energy efficiency of the industry in the provinces of Iran. The rapid growth of industries in the world during the last few years has led to an increase in energy consumption and carbon dioxide emissions. Energy efficiency contribute to economic growth, energy security, reduction of greenhouse gases, and energy sustainability. One of the factors affecting energy efficiency is transportation infrastructure, which, as the main capital of social development, can affect energy efficiency through various mechanisms. These infrastructures can have different effects on energy efficiency from the channels of the economy of scale, the effect of technology spillover and other external factors, and the effect of competition between production enterprises. We apply a panel threshold model to approximate the threshold effect of transportation infrastructure on industrial energy efficiency using data of 31 provinces of Iran from 2006 to 2019. The results showed that the transportation infrastructures have a non-linear effect on energy efficiency so that when the logarithm of real GDP is higher than the second threshold (15/66), transportation infrastructures significantly improve energy efficiency, and when the logarithm of GDP is lower than the first threshold (14/64), the expansion of this type of infrastructure reduces the energy efficiency of the industry, and between the two thresholds of transportation infrastructure, it does not affect the energy efficiency of the industry. In addition, technological progress and energy prices also have a positive and, significant effect on industrial energy efficiency.

**Keywords:** energy efficiency, transportation infrastructure, panel threshold model, advancement of technology.

**JEL Classification:** Q410 ,R490 ,C40 ,O30.

\* Corresponding Author: [lejljabari1997@yahoo.com](mailto:lejljabari1997@yahoo.com)

**How to Cite:** Salem, A. A., Jabari, L., Bayat, Z. (2022). Investigation of the Nonlinear Transportation Infrastructure Effects on Industrial Energy Efficiency in Iran Provinces Using a Panel Threshold Model. *Journal of Economic Research*, 85 (22), 119-153.



## عوامل موثر بر کارایی انرژی در بخش صنعت با تاکید بر اثرات آستانه‌ای زیرساخت‌های حمل و نقل جاده‌ای

دانشیار گروه اقتصاد نظری، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران

علی اصغر سالم

کارشناسی ارشد اقتصاد نظری، دانشگاه علامه طباطبایی، تهران، ایران

لیلا جباری\*

دانشجوی دکتری اقتصادی مالی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

زهرا بیات

### چکیده

هدف اصلی این مطالعه تحلیل اثر زیرساخت‌های حمل و نقل آن بر کارایی انرژی صنعت در استان‌های ایران است. رشد سریع صنایع در جهان طی چند سال اخیر منجر به افزایش مصرف انرژی و انتشار کربن دی‌اکسید شده است. کارایی انرژی مفهوم مهمی در اقتصاد است که طبق گفته محققان این حوزه، زمینه‌ساز رشد اقتصادی، امنیت انرژی، کاهش گازهای گلخانه‌ای و پایداری انرژی است و عوامل مختلفی بر آن اثر می‌گذارند. یکی از عوامل موثر بر کارایی انرژی زیرساخت‌های حمل و نقل است که به‌عنوان سرمایه اصلی توسعه اجتماعی، می‌تواند از طریق مکانیسم‌های گوناگونی مانند بر کارایی انرژی اثر بگذارد. این زیرساخت‌ها می‌توانند از کانال‌های اقتصاد مقیاس، اثر سرریز فناوری و سایر عوامل خارجی و اثر رقابت میان بنگاه‌های تولیدی بر کارایی انرژی اثرات متفاوتی داشته باشند. این مطالعه مبتنی بر داده‌های سالیانه ۱۳۹۷-۱۳۹۸ و با استفاده از مدل پنل آستانه نشان داد که زیرساخت‌های حمل و نقل اثر غیرخطی بر کارایی انرژی دارد؛ به طوری که هنگامی که لگاریتم تولید ناخالص داخلی حقیقی بالاتر از آستانه دوم (۱۵/۶۶) باشد، زیرساخت‌های حمل و نقل کارایی انرژی را به‌صورت معناداری ارتقا می‌دهند و هنگامی که لگاریتم تولید ناخالص داخلی کمتر از آستانه اول (۱۴/۶۴) باشد، گسترش این نوع زیرساخت‌ها، کارایی انرژی صنعت را کاهش می‌دهد و میان دو آستانه زیرساخت‌های حمل و نقل اثری بر کارایی انرژی صنعت ندارد. علاوه بر این، پیشرفت تکنولوژی و قیمت انرژی نیز اثر مثبت و معناداری بر کارایی انرژی صنعت دارد.

واژگان کلیدی: کارایی انرژی، زیرساخت‌های حمل و نقل، پنل آستانه‌ای، پیشرفت تکنولوژی

طبقه‌بندی JEL: Q410, R490, C40, O30

## ۱. مقدمه

در دهه‌های اخیر در کنار گسترش فعالیت‌های صنعتی، مصرف انرژی به شدت افزایش یافته و معضلات فراوانی را برای بشر به وجود آورده است. در جریان افزایش مصرف انرژی، دمای کره زمین بالا رفته و حیات انسان و بسیاری از موجودات به خطر انداخته است. استفاده بیش از حد از انرژی و نتایج ناشی از آن مانند اثرات منفی آن بر محیط‌زیست و پایان یافتن منابع، لزوم جایگزینی یک سیستم پایدار انرژی را مطرح ساخته است (Sher, et al. 2021). در این میان تبدیل سیستم ناپایدار به یک سیستم پایدار به منظور تضمین عرضه دائمی انرژی و حفظ محیط‌زیست به مسئله‌ای مهم، اما پیچیده بدل شده که اقدامات اساسی می‌طلبد. یکی از راه‌حل‌های افزایش پایداری انرژی و حفاظت از محیط‌زیست، افزایش کارایی انرژی است که به صورت افزایش سطح ستانده به ازای هر واحد انرژی مصرف شده یا کاهش در مصرف انرژی به ازای سطح ثابت ستانده در تولید، تعریف می‌شود (Wohlfarth, et al. 2020). این پدیده یکی از مقرون به صرفه‌ترین راه‌ها برای کاهش گازهای گلخانه‌ای<sup>۱</sup>، کاهش مصرف انرژی، افزایش رشد اقتصادی، بهبود امنیت انرژی و افزایش رقابت برای تولیدکنندگان است (Malinauskaite, et al., 2020)؛ از این رو، سرمایه‌گذاری بر پروژه‌های کارایی انرژی و شناسایی عوامل موثر بر آن در جهت تدوین سیاست‌های جامع برای افزایش کارایی انرژی و در نتیجه افزایش رشد اقتصادی و ارتقا رفاه جامعه بیش از پیش اهمیت یافته است (کفایی و نژاد آقائیان و ش، ۱۳۹۶).

یکی از این عوامل موثر بر کارایی انرژی، زیرساخت‌های حمل و نقل است که به عنوان سرمایه اصلی توسعه اجتماعی، وسیله‌ای مهمی برای افزایش تقاضای انرژی و تحریک رشد اقتصادی معرفی شده و از کانال‌های مختلفی بر کارایی انرژی اثر می‌گذارد. پیشرفت زیرساخت‌های حمل و نقل می‌تواند هزینه‌های حمل و نقل و در نهایت هزینه‌های تولیدی صنایع را به دلیل ارتقا تمرکز صنعتی و ایجاد صرفه‌های ناشی از

---

۱. به گازهایی که در جو یک سیاره وجود دارند، گفته می‌شود که در محدوده فرورسرخ به جذب و انتشار پرتوها می‌پردازند و علت اساسی اثر گلخانه‌ای هستند. این گازها به طور معمول شامل متان، کربن‌دی‌اکسید و بخار آب می‌شوند.

مقیاس تولید، کاهش دهد و این هزینه صرف به کارگیری نوآوری‌های انرژی‌اندوزا شود؛ در نتیجه این کار می‌تواند مصرف انرژی را در فرآیند تولید کاهش و کارایی انرژی صنایع را افزایش دهد. علاوه بر این، بهبود این زیرساخت‌ها می‌تواند به افزایش رشد اقتصادی کمک کند و سطح فعالیت‌های صنعتی را بهبود بخشد. در این حالت چنانچه هنوز اثرات خارجی مثبت ۲ رخ نداده باشد، گسترش زیرساخت‌های حمل‌ونقل می‌تواند کارایی انرژی را کاهش دهد. (Lin & Chen, 2020). علاوه بر این، ممکن است گسترش این زیرساخت‌ها اثر غیرخطی بر کارایی انرژی داشته باشند؛ به طوری که بیان می‌شود، این زیرساخت‌ها می‌توانند به افزایش رشد اقتصادی کمک کنند و مصرف انرژی را افزایش دهند. بنابراین تا سطحی که افزایش مصرف انرژی از رشد اقتصادی بیشتر است، گسترش این نوع زیرساخت‌ها می‌تواند کارایی انرژی را کاهش دهد و پس از آن، افزایش رشد اقتصادی بر افزایش مصرف انرژی پیشی گیرد و کارایی انرژی را افزایش دهد (Wang, et al., 2020).

زیرساخت‌های حمل‌ونقل می‌تواند بر کارایی انرژی اثر بگذارد که بررسی آن در بخش صنعت به دلایلی مهم‌تر است، چراکه از یک سو، صنعت یکی از بخش‌های اقتصادی است که می‌تواند به رشد اقتصادی کمک کند و از سوی دیگر، صنعت انرژی‌بری بالایی دارد که می‌تواند زمینه‌ساز کاهش کیفیت محیط‌زیست شود و افزایش کارایی انرژی این بخش می‌تواند کنار توسعه آن، مصرف انرژی را به ازای هر واحد تولید صنعتی کاهش دهد و تحقق همزمان دو هدف رشد اقتصادی و حفاظت از محیط‌زیست را فراهم آورد (گلی و صفری تخت شیرینی، ۱۳۹۸). با این وجود، در ایران به اثر زیرساخت‌های حمل‌ونقل بر کارایی انرژی صنعت توجه علمی چندانی نشده است.

- 
۱. نوآوری‌هایی که سبب کاهش مصرف انرژی در جریان تولید می‌شوند گاهی به آن‌ها اکو نوآوری یا نوآوری‌های زیست‌محیطی نیز گفته می‌شود که از طریق کاهش تاثیر شیوه تولید بر محیط‌زیست و استفاده کارا از منابع طبیعی از جمله انرژی به دنبال پیشرفت در جهت رسیدن به اهداف توسعه پایدار است (کمیسون اروپا، ۲۰۲۱).
  ۲. در علم اقتصاد اثرات خارجی به هزینه یا منفعتی گفته می‌شود که در حساب بنگاه اقتصادی منعکس نمی‌شود. علاوه بر این، اثرات خارجی به بنگاه‌های تحمیل می‌شود که در فرآیند تولید نقش ندارند و به دو دسته اثرات خارجی مثبت و منفی تبدیل می‌شوند. اثرات خارجی مثبت نیز زمانی رخ می‌دهد که افزایش تولید یک بنگاه، تولید بنگاه دیگر را افزایش دهد (عابدی و همکاران، ۱۳۸۹).

مطالعه پیش‌رو با هدف بررسی اثرات گسترش زیرساخت‌های حمل‌ونقل بر کارایی انرژی صنعت در ایران انجام می‌شود که در راستای این هدف ابتدا کارایی انرژی برای صنایع کارخانه‌ای هر استان محاسبه شده و سپس در کنار برخی از متغیرهای دیگر، اثر گسترش این زیرساخت‌ها بر کارایی انرژی بخش صنعت طی سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۹۷ مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مقاله حاضر در شش بخش ساماندهی شده است؛ پس از مقدمه به عنوان بخش نخست، در بخش دوم مبانی نظری موضوع تحقیق ارائه شده است. بخش سوم نیز به پیشینه تحقیق و در بخش چهارم نیز روش تحقیق و تصریح مدل اختصاص یافته است. در بخش پنجم نتایج برآورد و تفسیر آن مطرح شده و در نهایت در بخش آخر به جمع‌بندی و ارائه پیشنهادات سیاستی پرداخته شده است.

## ۲. مبانی نظری

زیرساخت‌های حمل و نقل یکی از عوامل مهم اثرگذار بر کارایی انرژی است که به عنوان مرکز اصلی توسعه اجتماعی، ابزار ویژه برای تحریک رشد اقتصادی معرفی می‌شود. به عبارت دیگر، رشد اقتصادی همراه با جریان مکرر سرمایه، نیروی کار و انرژی همراه است که در بین آن‌ها زیرساخت‌های حمل و نقل نقش حیاتی ایفا می‌کند. در سال‌های اخیر، بر نقش مهم زیرساخت‌های حمل و نقل در تثبیت رشد اقتصادی، تنظیم ساختار انرژی و افزایش کارایی انرژی بسیار تاکید شده و ارتقای این زیرساخت‌ها به موضوع جهانی تبدیل شده است (Lin & Chen, 2020)؛ به همین دلیل، ادبیات رو به رشدی در خصوص مکانیسم‌های اثرگذاری زیرساخت‌های حمل و نقل بر کارایی انرژی به وجود آمده که در ادامه به این مکانیسم‌ها در کنار نحوه اثرگذاری برخی از متغیرهای دیگر اشاره می‌شود.

### ۲-۱. اثر خطی زیرساخت‌های حمل و نقل و کارایی انرژی در صنعت

نظریه‌های اقتصادی که ارتباط میان زیرساخت‌های حمل و نقل و کارایی انرژی را بیان می‌کنند، کاملاً متفاوت هستند. برخی از مطالعات مانند مطالعه لی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۸)،

---

1. Li, K., et al.

لین و چن<sup>۱</sup> (۲۰۲۰) و چن و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۲۱) نشان می‌دهند که بهبود زیرساخت‌های حمل و نقل، مسیر دستیابی به توسعه سبز را از طریق ترویج سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و سرمایه‌گذاری‌های داخلی بر فناوری‌های جدید انرژی‌اندوز، هموار می‌کنند. با این حال برخی دیگر از مطالعات مانند سوزا و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۳) و لی و وی<sup>۴</sup> (۲۰۱۵) استدلال می‌کنند که زیرساخت‌های حمل و نقل، کارایی انرژی را از طریق افزایش مصرف انرژی، کاهش می‌دهند (لی و همکاران، ۲۰۱۸).

در اکثر مطالعات انجام شده، مشاهده می‌شود که در بلندمدت، بهبود زیرساخت‌های حمل و نقل منجر به افزایش کارایی انرژی شده است و این در حالی است که در کوتاه مدت اثر آن بر کارایی انرژی منفی است. مجموعه رو به رشدی از ادبیات نظری، تاثیر زیرساخت‌های حمل و نقل بر کارایی انرژی را به واسطه اثر تمرکز صنعتی بر کارایی انرژی توضیح داده‌اند (Wang, et al., 2020). تمرکز صنعتی، بر اساس دو نظریه مکان‌یابی سنتی و نظریه جغرافیای اقتصاد جدید از جمله عوامل موثر بر کارایی انرژی است. تمرکز صنعتی با ایجاد صرفه‌های ناشی از مقیاس در توسعه زیربنای اقتصادی، ایجاد شرایط مساعد برای سرریز دانش و پیشرفت تکنولوژی میان واحدهای تولیدی و ایجاد رقابت موثر در جهت افزایش بهره‌وری، امکان کسب سهم بیشتر از بازار را فراهم می‌کند. بنابراین، صنایعی که دارای تمرکز بالا هستند به طور نسبی از کارایی بالاتری در تخصیص منابع برخوردار هستند و کارایی انرژی بیشتری را نیز تجربه می‌کنند (Liu, et al., 2017).

بنابر ادبیات موجود، بهبود زیرساخت‌های حمل و نقل منجر به کاهش هزینه‌های حمل و نقل و افزایش تعاملات میان واحدهای تولیدی می‌شود. اینکه چگونه زیرساخت‌های حمل و نقل می‌تواند به افزایش کارایی انرژی کمک کند به اثر مثبت زیرساخت‌های حمل و نقل بر تمرکز صنعتی بستگی دارد. در این رویکرد رابطه مثبتی میان زیرساخت‌های حمل و نقل و تراکم صنعتی وجود دارد؛ به طوری که بهبود زیرساخت‌های حمل و نقل از طریق کاهش هزینه‌های حمل و نقل، گسترش تعاملات

---

1. Lin, B., & Chen, Y.

2. Chen, M.

3. Souza

4. Li & Wei

میان واحدهای اقتصادی، سرریز دانش میان بنگاه‌های تولیدی و تخصیص منابع می‌تواند تمرکز صنعتی را گسترش دهد و از طریق همین افزایش تمرکز، کارایی انرژی در صنعت را افزایش دهد.

به‌طور کلی می‌توان اثر زیرساخت‌های حمل‌ونقل بر تمرکز صنعتی و در نهایت اثر آن بر کارایی انرژی صنایع را از سه طریق؛ یعنی ۱- اقتصاد مقیاس و اثر آن بر بهبود منابع، ۲- اثر سرریز فناوری و سایر عوامل خارجی و ۳- اثر رقابت میان بنگاه‌های تولیدی که این سه مکانیسم اثرگذاری زیرساخت‌های حمل و نقل بر کارایی انرژی به صورت خلاصه در شکل (۱) نشان داده شده است، توضیح داد.

برخی از مواقع، لزوماً بهبود زیرساخت‌های حمل و نقل منجر به تمرکز صنعتی و افزایش کارایی انرژی در صنعت نمی‌شود. در برخی از مطالعات مانند لین و چن (۲۰۲۰) و لی و همکاران (۲۰۱۸) نشان داده شده است که با گسترش زیرساخت‌های حمل‌ونقل، ارتباط میان واحدهای اقتصادی بالاتر می‌رود، فعالیت‌های صنعتی تشویق می‌شود، تولیدات صنعتی افزایش می‌یابد. با این حال در این مرحله که سطح زیرساخت‌های حمل و نقل پایین است، هنوز اثر عوامل خارجی مثبت مانند اثر اقتصاد مقیاس و سرریز فناوری رخ نداده و با گسترش زیرساخت‌های حمل‌ونقل، مصرف انرژی در پی افزایش فعالیت‌های صنعتی افزایش یافته و کارایی انرژی با گسترش این زیرساخت‌ها کاهش می‌یابد. علاوه بر این، بهبود زیرساخت‌های حمل و نقل منجر به تمرکز صنعتی شده و این امر منجر به کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل شده و مبلغ صرفه‌جویی شده حاصل از کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل را می‌توان صرف خرید فناوری‌های اقتصادی کرد که به صرفه‌جویی در مصرف انرژی کمک می‌کنند.

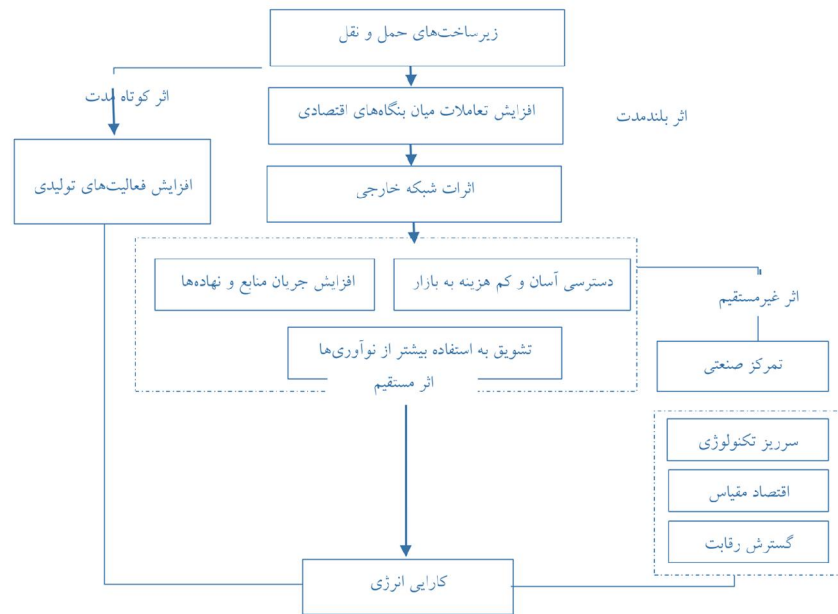
علاوه بر این، برخی از محققان معتقدند که بهبود زیرساخت‌های حمل و نقل، تمرکز صنعت را بالا می‌برد و این امر به دلیل به اشتراک‌گذاری دانش و تجربه‌های کاری میان واحدهای اقتصادی می‌تواند کارایی انرژی را بالاتر ببرد. به عنوان مثال، شائو و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۹) بیان می‌کنند که زمانی که گروهی از واحدهای تولیدی یا صنایع در کنار هم جمع می‌شوند، می‌توانند مجموعه‌ای از تجهیزاتی که به کنترل آلودگی کمک می‌کنند را به اشتراک بگذارند و از این طریق ستانده‌های نامطلوب خود را کاهش و کارایی

---

1. Shao, S., et al.

انرژی را افزایش دهند. در نهایت رقابت ایجاد شده در پی گسترش زیرساخت‌های حمل و نقل را می‌توان به صورت رقابت بنگاه‌ها در به‌کارگیری شیوه‌های متنوع برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی و به‌روز رسانی تجهیزات معرفی کرد. از آنجایی که بهبود زیرساخت‌های حمل و نقل منجر به تمرکز صنعتی و در نتیجه افزایش رقابت میان بنگاه‌ها برای ارتقا عملکردشان می‌شود، می‌توان بیان کرد که گسترش زیرساخت حمل و نقل و رقابت ناشی از آن می‌تواند به استفاده بیشتر بنگاه‌ها از تجهیزات به‌روز و افزایش کارایی انرژی کمک کند (Wang, et al., 2020).

شکل ۱. چهارچوب مفهومی اثرگذاری زیرساخت‌های حمل و نقل بر کارایی انرژی



منبع: Wang, et al., 2020

## ۲-۲. اثر غیرخطی زیرساخت‌های حمل و نقل و کارایی انرژی در صنعت

در ادبیات جدید اقتصادی، اثر غیرخطی زیرساخت‌ها بر کارایی انرژی در قالب اثر آن بر رشد اقتصادی و اقتصاد مقیاس توضیح داده می‌شود. گسترش زیرساخت‌های حمل و نقل می‌تواند از طریق افزایش ارتباط میان مناطق اقتصادی مختلف، سرریز دانش، گسترش



فناوری‌های جدید، کاهش زمان جابه‌جایی نیروی کار و افزایش حجم تجارت میان مناطق مختلف کشورها به افزایش میزان فعالیت‌های تولیدی و رشد اقتصادی کمک کند و مصرف انرژی را افزایش دهد (Lin, et al., 2021) با این حال، اینکه زیرساخت‌های حمل و نقل چه تاثیری بر کارایی انرژی داشته باشد به میزان افزایش مصرف انرژی و افزایش فعالیت‌ها بستگی دارد. بنابراین، زمانی که رشد اقتصادی پایین است، گسترش زیرساخت‌های حمل و نقل سبب افزایش فعالیت‌های اقتصادی می‌شود و این امر نیز سبب افزایش مصرف انرژی به علت افزایش مقیاس فعالیت‌های اقتصادی می‌شود. هنگامی که رشد اقتصادی بالا است در کنار افزایش سطح فعالیت‌های اقتصادی، حفاظت از محیط‌زیست نیز مورد توجه قرار می‌گیرد و سعی می‌شود از طریق به کارگیری فناوری‌های جدید در کنار حفظ ستانده، مصرف انرژی در جریان تولید کاهش یابد، چراکه معمولاً در مناطق با رشد اقتصادی بالا توانایی خرید تجهیزات انرژی‌اندوز وجود دارد و دغدغه‌های محیط‌زیستی نیز بیشتر است و سعی می‌شود با خرید این تجهیزات مصرف انرژی را به ازای هر واحد تولید کاهش و کارایی را افزایش دهد، اما هنگامی که رشد اقتصادی پایین است، گسترش زیرساخت‌های حمل و نقل منجر به افزایش مقیاس تولید شده و تنها اثر مقیاس رخ می‌دهد و چندان توجهی به استفاده از تجهیزات انرژی‌اندوز نمی‌شود، چراکه معمولاً توانایی خرید این تجهیزات وجود ندارد. به همین علت سرعت افزایش مصرف انرژی از افزایش تولید بیشتر بوده و کارایی انرژی کاهش می‌یابد (Xiong, et al., 2019 and Wang, et al., 2020).

## ۲-۳. سایر عوامل موثر بر کارایی انرژی

### ۲-۳-۱. پیشرفت تکنولوژی و کارایی انرژی

پیشرفت فناوری نقش حیاتی در بهبود کارایی انرژی ایفا می‌کند و در سال‌های گذشته نیز مطالعات بسیاری به نقش وافر آن در افزایش کارایی انرژی اشاره کرده‌اند. برای مثال، ژانگ و فو<sup>۱</sup> (۲۰۲۲) استدلال می‌کنند که به کارگیری فناوری‌های جدید توسط یک واحد تولیدی سبب کاهش قیمت محصول آن واحد به علت کاهش هزینه‌های تولید می‌شود؛ در نتیجه این امر رقابت میان بنگاه‌های اقتصادی را افزایش می‌دهد و واحدهای

---

1. Zhang, R., & Fu, Y.

تولیدی دیگر را تشویق می‌کند تا فناوری‌های جدید انرژی‌اندوز را به کارگیرند یا اینکه از منابع تولید خود مانند انرژی به صورت کارا تر استفاده کنند که نتیجه این امر افزایش کارایی انرژی است.

وانگ و وانگ<sup>۱</sup> (۲۰۲۰) بیان می‌کنند که ابداع فناوری‌های جدید و به کارگیری آن‌ها در تولید می‌تواند مصرف انرژی‌های فسیلی را بهینه و روند استفاده از انرژی‌های پاک را در فرآیند تولید هموار کنند و سطح مصرف انرژی را بدون تاثیر بر سطح ستانده کاهش داده و کارایی انرژی را افزایش دهند.

### ۲-۳-۲. ساختار صنعت و کارایی انرژی

بسیاری از محققان از جمله ژائو و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۲۰)، پو و یانگ<sup>۳</sup> (۲۰۲۲)، وانگ و همکاران (۲۰۲۱) و شیونگ و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۹) بیان می‌کنند که بهبود ساختار صنعت می‌تواند کارایی انرژی را افزایش دهد، چراکه آنان معتقدند در جریان ارتقای ساختار صنعت به طور دائم سرمایه‌گذاری بر انرژی‌های پاک افزایش می‌یابد و انتشار آلاینده‌های ناشی از سوختن انرژی‌های تجدیدناپذیر کاهش می‌یابد و استفاده کامل از منابع تولید تشویق می‌شود و زمینه لازم برای افزایش کارایی انرژی فراهم می‌شود. برخی از محققان بیان می‌کنند که با بهبود ساختار صنعتی، تخصیص عوامل تولید عقلایی تر صورت می‌گیرد، ساختار عرضه و تقاضا میان صنایع به طور مداوم ارتقا می‌یابد، صنعت به تدریج به صنعت با ارزش افزوده بالاتر و انرژی‌اندوز تبدیل می‌شود.

ژائو و همکاران (۲۰۲۰) بیان می‌کنند که در جریان بهبود ساختار صنعت از یک سو صنایع تولیدی از صنایع انرژی‌بر و کاربر با تولید آلودگی بالا به صنایع متکی بر تکنولوژی و دوست‌دار محیط‌زیست تبدیل می‌شوند. به عنوان مثال، صنایع سنگین مانند صنعت پتروشیمی و فولاد به تولیدات پیشرفته با تولید نهایی بیشتر تغییر می‌یابند و کارایی انرژی بالاتر می‌رود (Zhao, et al., 2020) علاوه بر این، با بهبود تمرکز صنعتی تخصصی شدن صنایع تقویت می‌شود و این تغییرات مثبت سبب بهبود توزیع و افزایش

---

1. Wang, H., & Wang, M.

2. Zhao, X., et al

3. Pu, Z., & Yang, M.

4. Xiong, S., et al

بهره‌وری نیروی کار و سرمایه، کاهش مصرف انرژی و کاهش انتشار کربن دی اکسید شده و در نهایت کارایی انرژی را افزایش می‌دهد (Wang, et al., 2021).

### ۲-۳-۳. رشد اقتصادی و کارایی انرژی

اثر رشد اقتصادی بر کارایی انرژی را نیز می‌توان به واسطه دو دیدگاه مهم توضیح داد؛ در دیدگاه اول انتظار می‌رود که رشد اقتصادی، کارایی انرژی را کاهش دهد و در دیدگاه دوم انتظار می‌رود که رشد اقتصادی کارایی انرژی را افزایش دهد. طبق دیدگاه اول در سطوح اولیه رشد اقتصادی در پی افزایش مقیاس تولید معمولاً مصرف انرژی افزایش یافته و انتشار کربن دی اکسید را در محیط‌زیست افزایش می‌دهد و این امر کارایی انرژی را با افزایش سطح ستانده‌های نامطلوب کاهش می‌دهد (Shi et al., 2017). بنابراین دیدگاه دوم در این زمینه، جوامعی که تولید ناخالص داخلی بالاتری دارند، تمایل بیشتری به کسب آگاهی‌های زیست‌محیطی بیشتر و رعایت استانداردهای محیط‌زیستی وجود دارد و این یعنی می‌تواند ستانده‌های نامطلوب را در روند تولیدات صنعتی، کاهش دهد (Pan, et al., 2013). در جوامع با تولید ناخالص داخلی بالاتر، معمولاً سرمایه‌گذاری بر فناوری‌های پیشرفته بیشتر است که این میزان ستانده‌های مطلوب را افزایش و ستانده‌های نامطلوب و مصرف نهاده انرژی را کاهش می‌دهد و به ارتقا کارایی کمک می‌کند (Xiong, et al., 2019).

### ۲-۳-۴. قیمت انرژی و کارایی انرژی

قیمت انرژی از طریق تغییراتی که در عرضه و تقاضای انرژی و بهینه‌سازی ساختار مصرف انرژی ایجاد می‌کند، می‌تواند به بهبود کارایی انرژی کمک کند (Liu, et al., 2018). با افزایش قیمت انرژی، الگوهای به وجود می‌آیند که دارندگان سرمایه‌های انرژی بر ترغیب می‌شوند کارایی انرژی را افزایش دهند که این عمل می‌تواند با به‌سازی سرمایه‌های موجود یا جایگزینی آن‌ها صورت پذیرد. در کوتاه‌مدت افزایش قیمت انرژی هزینه استفاده از سرمایه و در نتیجه هزینه‌های تولید را بالا می‌برد، چراکه سرمایه ثابت است. بنابراین، تولیدکنندگان صنعتی با صرفه‌جویی در مصرف انرژی تا حد امکان تلاش می‌کنند تا هزینه‌های خود را کاهش دهند. به عبارت دیگر، از آنجایی که در کوتاه‌مدت سرمایه ثابت است، افزایش قیمت انرژی با کاهش نرخ استفاده از سرمایه

ممکن است که نتیجه این امر علاوه بر کاهش مصرف انرژی، کاهش میزان ستانده نیز خواهد بود. بنابراین، در کوتاه‌مدت اثر افزایش قیمت بر کارایی انرژی در صنعت، نامشخص است و اینکه کارایی انرژی چه تغییری کند به میزان کاهش در مصرف صنایع بستگی دارد. اما در بلندمدت با امکان‌پذیر بودن تغییر و دگرگونی در تکنولوژی تولید و انباره سرمایه<sup>۱</sup>، انباره‌های قدیمی با انباره‌های جدید، جایگزین می‌شوند که این مسئله می‌تواند سطح کارایی انرژی را افزایش دهد (درگاهی و بیابانی خامنه، ۱۳۹۴).

### ۳. مروری بر مطالعات تجربی

ادبیات تجربی در زمینه کارایی انرژی و عوامل موثر بر آن بسیار گسترده است با این حال مطالعات اندکی در خصوص اثر زیرساخت‌های حمل و نقل بر کارایی انرژی صنعت می‌توان یافت. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیشتر مطالعات اثر خطی زیرساخت‌های حمل و نقل بر کارایی انرژی را مورد بررسی قرار داده‌اند و اثر غیرخطی زیرساخت‌های حمل و نقل با وجود مبانی نظری قوی در این زمینه کمتر مورد توجه محققان قرار گرفته است. در مطالعات داخلی نیز با وجود تحقیقات بسیار در زمینه عوامل محیطی و اقتصادی-اجتماعی اثرگذار بر کارایی انرژی تاکنون مطالعه‌ای که به بررسی موضوع یادشده با مدل پنل آستانه پرداخته باشد، یافت نشد؛ از این رو، مطالعه حاضر به بررسی اثر زیرساخت حمل و نقل بر کارایی انرژی بخش صنعت در استان‌های ایران با مدل پنل آستانه می‌پردازد.

مروری بر ادبیات موضوع حکایت از آن دارد که مطالعات مرتبط با موضوع تحقیق را می‌توان در دو گروه به شرح زیر دسته‌بندی کرد:

بخش اول به اثر گسترش زیرساخت‌های حمل و نقل بر کارایی انرژی می‌پردازد.

بخش دوم سایر عوامل بر کارایی انرژی مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

بخش اول از مطالعات به بررسی اثر زیرساخت‌های حمل و نقل بر کارایی انرژی پرداخته‌اند که از این گروه مطالعات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

---

۱. خرید کالا با انگیزه کسب درآمد از آن در آینده یا حال را سرمایه می‌گویند و از آنجایی که جز متغیرهای انباره (متغیری که در یک زمان مشخص اندازه‌گیری می‌شود و در یک نقطه از زمان وجود دارد). است به آن معمولاً انباره سرمایه گویند (شاکری، ۱۳۹۵).

چن و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از مدل اتو رگرسیو با وقفه‌های توزیعی<sup>۱</sup> در قالب مطالعه‌ای با عنوان «اثر نوآورهای تکنولوژیکی بر کارایی انرژی در مناطق صنعتی» به بررسی اثر کوتاه مدت و بلندمدت نوآوری تکنولوژیکی در کنار شاخص اقتصاد سایه، جمعیت و زیرساخت‌های اقتصادی از جمله زیرساخت‌های حمل و نقل در ۱۹ کشور عضو منا طی سال‌های ۲۰۱۶-۱۹۹۰ پرداختند. نتایج مطالعه آنان نشان می‌دهد که در کوتاه‌مدت، گسترش زیرساخت‌های اقتصادی از جمله زیرساخت‌های حمل و نقل، شاخص نوآوری تکنولوژیکی اثر مثبت و معناداری بر کارایی انرژی دارند، اما تاثیر جمعیت و اقتصاد سایه بر کارایی انرژی منفی و معنادار است. علاوه بر این، نتایج بلندمدت نیز مشابه با نتایج کوتاه‌مدت است.

لین و چن (۲۰۲۰) با به‌کارگیری مدل توییت<sup>۲</sup> برای داده‌های ترکیبی به بررسی اثر زیرساخت‌های حمل و نقل بر عملکرد صنایع تولیدی استان‌های چین در انتشار کربن دی اکسید و انرژی طی سال‌های ۲۰۱۶-۱۹۹۸ پرداختند. نتایج مطالعات یادشده نشان می‌دهد که در مناطق غربی و مرکزی چین، زیرساخت‌های حمل و نقل اثر مثبت و معناداری بر کارایی انرژی دارد، اما در مناطق شرقی چین بر خلاف مناطق مرکزی و غربی، اثر زیرساخت‌های حمل و نقل منفی و معنادار است. همچنین در تمامی مناطق چین اثر رشد اقتصادی، پیشرفت فناوری و قیمت انرژی بر کارایی انرژی مثبت و معنادار است و ضریب به دست آمده برای ساختار صنعت منفی است.

لین و چن (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای دیگر با استفاده از مدل پنل آستانه به بررسی اثر زیرساخت‌های حمل و نقل بر کارایی انرژی صنایع ثانویه در ۳۰ استان چین، طی دوره زمانی ۲۰۱۶-۱۹۹۸ پرداخته و به این نتیجه دست یافتند که رشد اقتصادی، ساختار صنعت، پیشرفت تکنولوژی اثر مثبت و معناداری بر کارایی انرژی صنایع ثانویه چین دارد در حالی که قیمت انرژی، کارایی انرژی صنایع را کاهش می‌دهد. زیرساخت‌های حمل و نقل نیز اثر غیرخطی مثبتی بر کارایی انرژی دارد؛ به این معنا که اثر آن بر کارایی انرژی صنایع ثانویه در سطوح مختلف رشد اقتصادی در استان‌های چین مثبت و غیرخطی است.

---

1. Auto Regressive Distributed Lag (ARDL)

2. Tobit regression

وانگک و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای با استفاده از مدل اثرات ثابت و مدل پنل آستانه<sup>۱</sup> به بررسی اثر زیرساخت‌های حمل و نقل و تمرکز صنعتی بر کارایی انرژی صنایع استان‌های چین، طی بازه زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۰ پرداختند. نتایج حاصل از مدل اثرات ثابت نشان می‌دهد که قیمت انرژی، تمرکز صنعتی، بهبود تکنولوژی، رشد اقتصادی و سرمایه‌گذاری‌های مستقیم خارجی اثر مثبت و معناداری بر کارایی انرژی دارند، اما اثر مقررات زیست محیطی اعمال‌شده توسط دولت بر کارایی انرژی منفی و معنادار است. همچنین نتایج حاصل از مدل پنل آستانه نشان می‌دهد که تمرکز صنعتی و سرمایه‌گذاری‌های مستقیم خارجی اثر مثبت و معناداری بر کارایی انرژی دارد. علاوه بر این، زیرساخت‌های حمل و نقل اثر غیرخطی به شکل U بر کارایی انرژی صنایع در چین دارد.

لی و همکاران (۲۰۱۸) با به کارگیری مدل پنل فضایی<sup>۲</sup> به تجزیه و تحلیل اثر هشت متغیر نرخ شهرنشینی، سطح درآمد استانی، ساختار صنعت، زیرساخت‌های حمل و نقل، تجارت خارجی، ساختار مصرف انرژی و قیمت انرژی با تمرکز بر اثر شهرنشینی بر کارایی انرژی در ۳۰ استان چین طی سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۰۳ پرداختند. نتایج مطالعه آنان حاکی از آن است که قیمت انرژی، زیرساخت‌های حمل و نقل، تجارت خارجی اثر مثبت و معناداری بر کارایی انرژی دارد در حالی که اثر شهرنشینی، درآمد استانی، ساختار صنعت و ساختار مصرف انرژی بر کارایی انرژی در استان‌های چین منفی و معنادار است.

بخش دوم مطالعات که بخش عمده مطالعات در این زمینه را نیز تشکیل می‌دهد، نقش سایر عوامل موثر بر کارایی را مورد بررسی قرار گرفته است که از این مطالعات می‌توان به صورت خلاصه به موارد زیر اشاره کرد.

لی<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای اثر هفت عامل درآمد سرانه کشاورزی، سرمایه انسانی، ساختار صنعت کشاورزی، وقوع بلایای طبیعی، توسعه صنایع، سطح باز بودن اقتصادی و شهرنشینی را بر کارایی انرژی بخش کشاورزی در ۲۸ استان چین طی بازه زمانی ۲۰۱۸-۱۹۹۵ با استفاده روش گشتاورهای تعمیم‌یافته سیستمی<sup>۴</sup> مورد بررسی قرار

1. Panel Threshold Regression

2. Spatial Panel Models

3. Li, H.

4. System Generalized Method of Moment (GMM-SYS)

دادند. نتایج حاصل حاکی از آن است که سرمایه انسانی، ساختار صنعت کشاورزی، درآمد سرانه کشاورزی و شهرنشینی کارایی انرژی را افزایش می‌دهند. همچنین وقوع بلایای طبیعی، ساختار صنایع و سطح باز بودن اقتصادی کارایی انرژی بخش کشاورزی را در چین کاهش می‌دهد.

لیو و همکاران (۲۰۲۰) به شناسایی عوامل موثر بر کارایی انرژی در استان‌های چین طی بازه زمانی ۲۰۱۶-۲۰۰۶ با استفاده از مدل اثرات ثابت پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که تولید ناخالص داخلی، سطح تکنولوژی، قیمت انرژی، کارایی انرژی را به صورت معناداری افزایش می‌دهد در حالی که اثر ساختار صنعت و ساختار مصرف انرژی بر کارایی انرژی منفی و معنادار است.

اسکندری و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی اثر خطی تمرکز صنعتی بر کارایی انرژی بخش‌های صنعتی در استان‌های ایران طی سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۸۳ پرداختند. آنان از طریق روش تحلیل مرزی تصادفی<sup>۱</sup>، کارایی انرژی را برای کارگاه‌های صنعتی با ۱۰ کارکن و بیشتر محاسبه کرده و با استفاده از مدل اقتصادسنجی فضایی به تجزیه و تحلیل اثر خطی تمرکز صنعتی بر کارایی انرژی پرداختند. نتایج حاصل از مطالعه یادشده نشان می‌دهد که مخارج تحقیق و توسعه، کارایی انرژی صنایع را افزایش می‌دهد. همچنین مخارج ارتباطات و رایانه و تمرکز صنعتی، کارایی انرژی را کاهش می‌دهد.

گلی و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از مدل توییت به بررسی اثر تمرکز صنعتی در بخش صنعت در ایران طی سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۸۶ پرداختند. آنان به این منظور ابتدا کارایی انرژی را با استفاده از روش تحلیل مرزی تصادفی و شاخص تمرکز صنعتی را با به‌کارگیری شاخص الیسون- گلیسر<sup>۲</sup> محاسبه و سپس به بررسی اثر تمرکز صنعتی بر کارایی انرژی پرداختند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که قیمت انرژی،

#### 1. Stochastic Frontier Analysis (SFA)

۲. شاخص الیسون- گلیسر (Ellison- Glaseser Index) از جمله شاخص‌هایی است که تمام مزایای طبیعی و سرریز ناشی از تمرکز صنعتی را مد نظر قرار می‌دهد و مقدار آن بین ۱- و ۱ است؛ یعنی  $1 \leq \gamma \leq -1$ . مقادیر منفی نشان‌دهنده عدم تمرکز صنعتی و مقادیر مثبت نشان‌دهنده وجود تمرکز صنعتی است. این شاخص بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\gamma_i = \frac{(\sum_i (s_i - x_i)^2) - (1 - \sum_i x_i^2) (\frac{1}{N})}{(1 - \sum_i x_i^2) (1 - \frac{1}{N})}$$

مخارج تحقیق و توسعه و سرمایه انسانی اثر مثبت و معناداری بر کارایی انرژی صنایع در ایران دارد و تاثیر تمرکز صنعتی بر کارایی انرژی منفی و معنادار است. گلی و صفری تخت شیرینی (۱۳۹۸) با به کارگیری مدل توییت به برآورد شاخص کارایی انرژی با استفاده از روش تحلیل مرزی تصادفی و همچنین بررسی عوامل اثرگذار بر آن در استان‌های ایران طی سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۹۴ پرداختند. نتایج مطالعات آنان حاکی از آن است که صنعتی شدن، تولید حقیقی، قیمت انرژی، اثر مثبتی بر کارایی انرژی دارد. همچنین افزایش نرخ شهرنشینی و چگالی جمعیت، کارایی انرژی را کاهش می‌دهد.

کفایی و نژاد آقائیان‌وش (۱۳۹۶) نیز در قالب مطالعه‌ای به شناسایی عوامل موثر بر کارایی انرژی در چهار بخش کشاورزی، صنعت، خدمات و حمل و نقل طی بازه زمانی ۱۳۷۳-۱۳۹۱ با استفاده از داده‌های ترکیبی و روش حداقل مربعات تعمیم یافته پرداختند. نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان می‌دهد که افزایش قیمت انرژی، سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و ارزش افزوده بخش‌های اقتصادی مورد بررسی، کارایی انرژی را بهبود می‌بخشد. علاوه بر این، نسبت سرمایه به نیروی کار نیز، اثر منفی و معناداری بر کارایی انرژی دارد.

#### ۴. حقایق آشکار شده

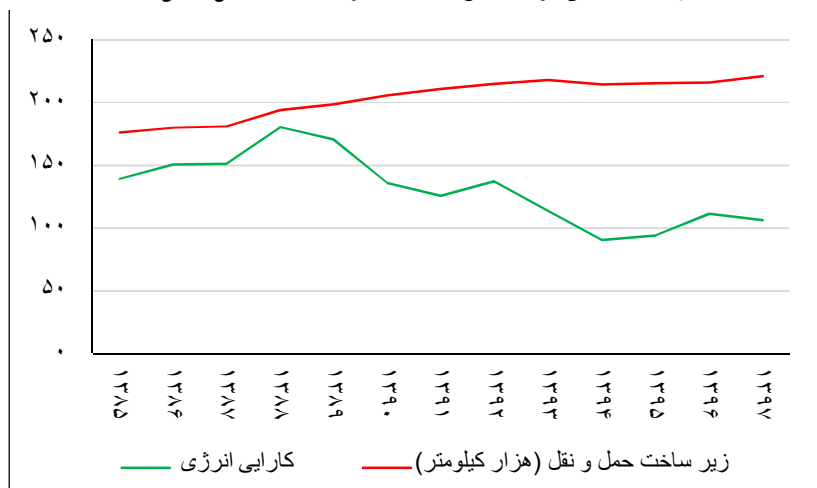
با توجه به مبانی نظری ارائه شده، در ادامه به بررسی برخی از حقایق آشکار شده مرتبط با کارایی انرژی و زیرساخت‌های حمل و نقل پرداخته می‌شود. همانطور که در نمودار (۱) نیز نشان داده شده، کارایی انرژی صنعت در سال ۱۳۸۸ از همه سال‌ها بالاتر است در نتیجه این سال می‌تواند به عنوان سال مرجع در میان سال‌های مورد نظر این مطالعه در نظر گرفته شود و سیاست تولیدی که در این سال استفاده شده در جهت افزایش کارایی صنعت در سال‌های آینده استفاده شود. کارایی انرژی طی سال‌های مورد بررسی جز چند سال ابتدایی تقریباً نزولی بوده است. با اینکه صنعت در سراسر جهان هر روز مدرن‌تر می‌شود و همواره شاهد به کارگیری روش‌ها و تکنولوژی‌های جدید جهت افزایش سطح تولید، بهینه کردن سطح انرژی و افزایش کارایی آن است (گراوند و همکاران، ۱۳۹۲)،



اما در ایران همانطور که از نتایج نیز پیداست کارایی انرژی به طور دائم نزولی بوده و مصرف انرژی به عنوان ورودی در فرآیند تولید، افزایش و سطح ستانده کاهش یافته است که این نتیجه را می‌توان به عدم به‌کارگیری تکنولوژی‌های جدید و استفاده از تجهیزات فرسوده در جریان تولیدات صنعتی نسبت داد.

همچنین در نمودار (۱) مشخص شده که زیرساخت‌های حمل و نقل نیز تقریباً صعودی بوده و این روند نشان می‌دهد که زیرساخت‌های حمل و نقل به عنوان حلقه واسط میان بخش‌های اقتصادی و محرک رشد اقتصادی مورد توجه مقامات کشور قرار گرفته است. دلیل گسترش زیرساخت‌ها طی این دوره را می‌توان افزایش بودجه عمرانی دولت در بخش حمل و نقل عنوان کرد. علاوه بر این، بررسی نمودار (۱) این حقیقت را آشکار می‌کند که رابطه میان زیرساخت‌های حمل و نقل و کارایی انرژی صنعت در کشور غیرخطی است و طی سال‌هایی؛ یعنی سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۸۸ و ۱۳۹۶-۱۳۹۴ مثبت بوده و در دوره‌های دیگر؛ یعنی از سال ۱۳۹۴-۱۳۸۹ رابطه میان این دو متغیر منفی بوده است.

نمودار ۱. کارایی انرژی بخش صنعت و زیرساخت‌های حمل و نقل

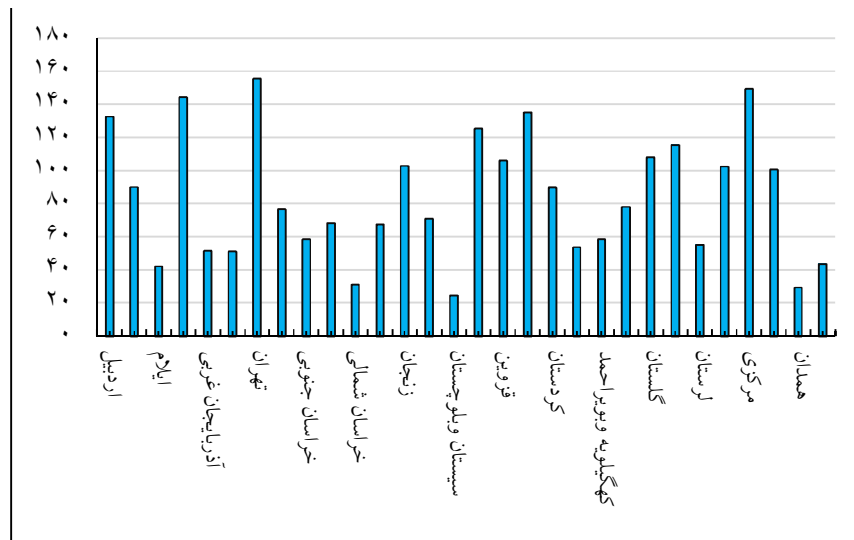


منبع: یافته‌های پژوهش

علاوه بر این، طبق نمودار (۲) نیز می‌توان این حقیقت را بازگو کرد که کارایی انرژی در استان‌های مختلف با توجه به ناهمگنی صنعتی آن‌ها متفاوت است؛ به طوری که

استان‌های تهران، آذربایجان شرقی و مرکزی بالاترین کارایی انرژی را میان استان‌های کشور به خود اختصاص داده‌اند. این حقیقت نشان می‌دهد که همگرایی در کارایی انرژی در استان‌ها به دلایل مختلف مانند عدم انتقال تجربه‌های مدیریتی موفق در صرفه‌جویی انرژی و فناوری‌های انرژی‌اندوز اتفاق نیفتاده است. علت چنین نتیجه‌ای، ستانده بالای صنعتی این استان‌ها در کنار استفاده از فناوری‌های تولیدی مدرن و بالا بودن میزان پیشرفت تکنولوژی در بخش صنعت است.

نمودار ۲. کارایی انرژی بخش صنعت در استان‌های ایران طی سال ۱۳۹۷



منبع: یافته‌های پژوهش

#### ۴. روش برآورد مدل

در این مطالعه برای بررسی اثر غیرخطی گسترش زیرساخت‌های حمل و نقل بر کارایی انرژی از مدل رگرسیون پنل آستانه‌ای استفاده می‌شود. این روش که برای اولین بار توسط هانسن<sup>۱</sup> (۱۹۹۹) ارائه شده به دنبال یافتن پاسخ برای این پرسش است که آیا توابع رگرسیونی به صورت یکنواخت از هم‌ی مشاهدات عبور می‌کنند یا می‌توانند به گروه‌های مجزا شکسته شوند؟ این مدل می‌تواند اثر متغیر توضیحی مورد بررسی را بر

1. Hansen, B. E.

متغیر وابسته در نقاط مختلف آستانه‌های به دست آمده یا رژیم‌های مختلف متغیر آستانه، برآورد کند؛ به طوری که این ضرایب برآورد شده برای متغیر توضیحی در نقاط بالا یا پایین یک مقدار آستانه مشخص متفاوت است (Xu, et al., 2021).

هانسن (۱۹۹۹) در مطالعه خود، روش‌های مناسب اقتصادسنجی برای رگرسیون آستانه برای داده‌های پانلی همراه با استفاده از مدل حداقل مربعات معمولی<sup>۱</sup> را معرفی می‌کند که در ادامه این روش مورد بررسی قرار می‌گیرد. معادله ساختاری رگرسیون پانل آستانه‌ای به صورت رابطه (۱) است.

$$y_{i,t} = \mu + x_{i,t} I(q_{i,t} < \gamma) \beta_1 + x_{i,t} I(q_{i,t} \geq \gamma) \beta_2 + u_i + e_{it} \quad (1)$$

در رابطه (۱)،  $I(0)$  تابع شاخص و  $q_{i,t}$  نیز متغیر آستانه است و  $(\beta = (\beta_1 \quad \beta_2))$ . بنابراین، رابطه (۱) برابر است با رابطه (۲):

$$y_{i,t} = \mu + x_{i,t}(q_{i,t}; \gamma) \beta + u_i + e_{i,t} \quad (2)$$

مشاهدات براساس اینکه متغیر آستانه کوچک‌تر یا بزرگ‌تر از حد آستانه  $\gamma$  باشد به دو رژیم تقسیم می‌شود. رژیم‌های مختلف بر اساس اختلاف میان شیب‌های  $\beta_1$  و  $\beta_2$  متمایز می‌شوند. شناسایی  $\beta_1$  و  $\beta_2$  مستلزم این است که اجزای  $x_{i,t}$  زمان-ثابت<sup>۲</sup> نباشد. همچنین فرض می‌شود که متغیر آستانه نیز زمان-ثابت نباشد و جز خطای  $e_{i,t}$  مستقل بوده و دارای میانگین صفر و واریانس ثابت  $\sigma^2$  است. برای برآورد  $\beta$  از روش حداقل مربعات معمولی استفاده شده و برآوردگر حداقل مربعات معمولی برای آن برابر است با:

$$\hat{\beta} = \{x^*(\gamma)' x^*(\gamma)\}^{-1} \{x^*(\gamma)' y\} \quad (3)$$

در رابطه (۳) برآوردگر  $\gamma$  مقداری است که مقدار مجموع مربعات باقی‌مانده را حداقل می‌کند و برابر است با رابطه (۴) (Wang, 2015):

$$\hat{\gamma} = \operatorname{argmin} S_1(\gamma) \quad (4)$$

---

1. Ordinary Least squares (OLS)  
2. Time invariant

چنانچه دو مقدار آستانه وجود داشته باشد، می‌توان مدل پنل آستانه‌ای را به صورت رابطه (۵) نوشت.

$$y_{i,t} = \mu + x_{i,t}I(q_{i,t} \leq \gamma_1)\beta_1 + x_{i,t}I(\gamma_1 < q_{i,t} \leq \gamma_2)\beta_2 + x_{i,t}I(q_{i,t} > \gamma_2)\beta_3 + u_i + \varepsilon_{i,t} \quad (5)$$

در رابطه (۵) همانطور که مشاهده می‌شود دو آستانه وجود دارد؛ به طوری که  $\gamma_1 < \gamma_2$  است و می‌توان تعداد آستانه‌ها را از طریق آماره F تعیین کرد (Jahanger, et al., 2022).

معناداری پارامتر آستانه نیز باید با استفاده از آزمون F برای ارزیابی فرض صفر مورد بررسی قرار گیرد. فرض صفر این آزمون نشان‌دهنده نبود هیچ اثر آستانه‌ای و در نتیجه برآورد مدل به صورت خطی بوده و فرض مخالف آن وجود یک حداقل آستانه در مدل است. (یعنی  $H_0: \beta_1 = \beta_2$ ) آماره این آزمون برابر است با:

$$F_1 = \frac{(S_0 - S_1)}{\hat{\sigma}^2} \quad (6)$$

در رابطه (۶)،  $S_0$  مجموع مربعات باقی‌مانده<sup>۱</sup> مدل خطی است (Wang, 2015).

##### ۵. مدل اقتصادسنجی و معرفی متغیرهای پژوهش

طبق ادبیات نظری موجود، زیرساخت‌های حمل و نقل ممکن است اثر غیرخطی بر کارایی انرژی داشته باشد؛ بنابراین، مدل اقتصادسنجی مورد نظر باید یک الگوی غیرخطی باشد؛ از این رو، برای تصریح آن اقداماتی باید انجام شود. بر اساس متون اقتصادسنجی برای تصریح یک مدل غیرخطی باید به ترتیب راه‌های زیر طی شود:

\* تصریح مدل خطی جهت ایجاد یک الگوی پایه برای آزمون کردن فرضیه خطی بودن مدل  
\* برآورد مدل غیرخطی آستانه‌ای

1. Residual Sum of Squares (RSS)

\* آزمون فرض معناداری پارامتر(های) آستانه‌ای.

### ۵-۱. گام اول: تصریح الگوی خطی

به منظور بررسی اثر زیرساخت‌های حمل و نقل بر کارایی انرژی صنعتی با توجه به ادبیات نظری و مطالعات تجربی در این زمینه در مطالعه حاضر، طبق مبانی نظری موجود و بر اساس مطالعه لین و چن (۲۰۲۰)، الگوی اقتصادی سنجی مربوط به اثر خطی زیرساخت‌های حمل و نقل بر کارایی انرژی صنایع کارخانه‌ای در استان‌های ایران طی سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۹۷ به صورت رابطه (۷) تعریف شده است.

$$\ln EF_{i,t} = \alpha_1 + \beta_1 \ln TI_{i,t} + \beta_2 \ln EG_{i,t} + \beta_3 \ln IS_{i,t} + \beta_4 \ln TP_{i,t} + \beta_5 \ln EP_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (7)$$

در رابطه (۷)،  $\ln TP$  متغیر وابسته بوده و نشان‌دهنده کارایی انرژی است.  $\ln TI$ ،  $\ln EG$ ،  $\ln TP$ ،  $\ln IS$  و  $\ln EP$  نیز متغیرهای توضیحی مدل هستند که به ترتیب نشان‌دهنده لگاریتم شاخص زیرساخت‌های حمل و نقل، لگاریتم رشد اقتصادی، لگاریتم پیشرفت فناوری، لگاریتم ساختار صنعت و در نهایت لگاریتم قیمت انرژی است که شرح دقیق این متغیرها، واحد سنجش، منبع و توصیف آماری آن‌ها در قالب جدول (۱) و (۲) ارائه شده است.

جدول ۱. توضیح متغیرهای تحقیق

نام متغیر	توضیح	پایه آماری
کارایی انرژی	این متغیر براساس تعریف کارایی انرژی به صورت میزان ستانده به ازای یک واحد مصرف نهاده انرژی و همچنین مطالعه پو و یانگ (۲۰۲۲) به صورت نسبت ارزش ستانده حقیقی کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر به میزان مصرف انرژی‌های مختلف (گاز طبیعی، برق، زغال‌سنگ، نفت سفید، نفت کوره، نفت‌گاز و بنزین و...) آن‌ها محاسبه شده است (میلیون ریال به بشکه معادل نفت خام).	داده‌های صنعت مرکز آمار ایران
ساختار صنعت	این متغیر نیز مشابه با وانگ و وانگ (۲۰۲۰)، لین و چن (۲۰۲۰)، شی و همکاران (۲۰۱۷) و لی و همکاران (۲۰۲۱) به صورت لگاریتم نسبت ارزش افزوده صنعت به تولید ناخالص داخلی هر استان، تعریف شده است (میلیون ریال).	حساب‌های منطقه‌ای مرکز آمار ایران
زیرساخت حمل‌ونقل	به تبعیت از احمد و همکاران <sup>۱</sup> (۲۰۲۱) و وانگ و (۲۰۲۰) در این مطالعه نیز از طول راه‌های زمینی تحت حوزه استحفاظی وزارت راه و ترابری برای این متغیر استفاده شده است (کیلومتر).	سالنامه‌های آماری مرکز آمار ایران
پیشرفت تکنولوژی	مانند وانگ و وانگ (۲۰۲۰)، و ژانگ و فو (۲۰۲۲) مخارج حقیقی تحقیق و توسعه کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر برای متغیر پیشرفت فناوری در نظر گرفته شده است (میلیون ریال).	داده‌های صنعت مرکز آمار ایران
قیمت انرژی	از نسبت ارزش مصرف انرژی به میزان مصرف انرژی کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر به تفکیک استان‌ها برای این متغیر استفاده شده است (میلیون ریال به ازای هر بشکه نفت خام).	داده‌های صنعت مرکز آمار ایران
رشد اقتصادی	مطابق با مطالعه لی و همکاران (۲۰۱۸) و مگزینو و مله (۲۰۲۰) در این مطالعه نیز از تولید ناخالص داخلی حقیقی هر استان برای متغیر رشد اقتصادی استفاده شده و برای حقیقی‌سازی آن نیز از شاخص قیمت مصرف‌کننده بر اساس سال پایه ۱۳۹۰ استفاده شده است (میلیون ریال).	حساب‌های منطقه‌ای مرکز آمار ایران

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۲. توصیف آماری متغیرها

نام متغیر	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر	تعداد مشاهدات
Ln(EF)	۴/۷۱	۱/۲۸	-۱/۴۰	۱۰/۳۱	۳۹۰
Ln(IS)	-۱/۲۲	۰/۴۹	-۲/۰۷	-۰/۰۹	۳۹۰
Ln(EP)	۵/۵۴	۱/۰۸	۱/۷۲	۹/۹۸	۳۹۰
Ln(TI)	۸/۰۸	۰/۷۷	۶/۳۶	۹/۷۹	۳۹۰
Ln(EG)	۱۴/۸۶	۰/۸۹	۱۳/۴۰	۱۷/۴۷	۳۹۰
Ln(TP)	۰/۲۱	۰/۱۳	۰	۰/۵۷	۳۹۰

منبع: یافته‌های پژوهش

### ۵-۲. گام دوم: تصریح الگوی پنل آستانه‌ای

بر اساس مبانی نظری موجود در زمینه اثر غیرخطی زیرساخت‌های حمل و نقل بر کارایی انرژی صنعت و مطابق با مطالعه لین و چن (۲۰۲۰) در مطالعه حاضر جهت بررسی اثر غیرخطی گسترش زیرساخت‌های حمل و نقل بر کارایی انرژی صنعت در استان‌های ایران از فرم تبعی شماره (۸) استفاده می‌شود.

$$\begin{aligned}
 \ln EF_{i,t} = & \alpha_1 + \beta_1 \ln TI_{i,t} \cdot I(\ln EG_{i,t} \leq \gamma_1) \\
 & + \beta_2 \ln TI_{i,t} \cdot I(\gamma_1 < \ln EG_{i,t} \leq \gamma_2) \\
 & + \beta_3 \ln TI_{i,t} \cdot I(\gamma_2 < \ln EG_{i,t}) + \beta_4 \ln IS_{i,t} \\
 & + \beta_5 \ln TP_{i,t} + \beta_6 \ln EP_{i,t} + \beta_7 \ln EG_{i,t} + \varepsilon_{i,t}
 \end{aligned} \tag{۸}$$

از لین و چن (۲۰۲۰) متغیر رشد اقتصادی به عنوان متغیر آستانه‌ای انتخاب شده است که از طریق ضرایب  $\beta_1$  و  $\beta_2$  و  $\beta_3$  به سه رژیم تقسیم می‌شود. چنین تصریحی از مدل، این امکان را فراهم می‌سازد تا میزان اثر گسترش زیرساخت‌های حمل و نقل بر کارایی انرژی صنعت را در سه زیر مجموعه متفاوت، بسته به این که مقدار رشد اقتصادی کوچک‌تر یا بزرگ‌تر از مقدار آستانه باشد، تعیین شود.

### ۵-۳. گام سوم: آزمون‌های اثر آستانه‌ای

در مطالعه حاضر از روش بوت استرپ هانسن<sup>۱</sup> برای تعیین مقدار آماره F برای ارزیابی فرض صفر، مبنی بر وجود یک یا چند آستانه استفاده شده است که در ادامه نتایج این آزمون و نتایج برآورد مدل ارائه خواهد شد.

### ۶. نتایج برآورد و تفسیر یافته‌ها

پیش از برآورد مدل‌های پنل لازم است، ابتدا اطمینان حاصل شود که داده‌ها پانل هستند یا تلفیقی که برای این منظور از آزمون F-لیمر با فرضیه صفر مبنی بر یکسان بودن عرض از مبداها یا برآورد مدل به صورت تلفیقی استفاده می‌شود. پس از مشخص شدن تلفیقی یا پانلی بودن داده‌ها، مهم‌ترین موضوع انتخاب روش تخمین مدل به دو صورت روش اثرات ثابت یا تصادفی است و برای آن از آزمون هاسمن استفاده می‌شود. فرض صفر این آزمون برآورد مدل با روش اثرات تصادفی است. نتایج آزمون F-لیمر و هاسمن در جدول (۳) نمایش داده شده است. نتایج حاصل از دو آزمون نشان می‌دهد که مدل باید به صورت مدل اثرات ثابت برآورد شود.

جدول ۳. نتایج آزمون F-لیمر و آزمون هاسمن

نام متغیر	مقدار آماره	آماره آزمون	ارزش احتمال	نتیجه آزمون
آزمون F-لیمر	۴۳/۷۱***	F	۰/۰۰۰	برآورد مدل به صورت پنل دیتا
آزمون هاسمن	۳۴/۲۹***	$\chi^2$	۰/۰۰۰	برآورد مدل با روش اثرات ثابت

منبع: یافته‌های پژوهش

قبل از تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از مدل اثرات ثابت باید آزمون‌های تشخیصی مانند آزمون خودهمبستگی و واریانس ناهمسانی انجام شود. در مطالعه حاضر برای بررسی واریانس ناهمسانی و خودهمبستگی به ترتیب از آزمون واریانس ناهمسانی والد<sup>۲</sup> و آزمون خودهمبستگی وولدریج<sup>۳</sup> استفاده شده که نتایج آزمون‌های یادشده در جدول

1. Hansen Boot-Strap
2. Wald Heteroskedasticity Test
3. Wooldridge Serial Correlation Test



(۴) ارائه شده است. نتایج به دست آمده، نشان می‌دهد که فرض صفر هر دو آزمون مبنی بر نبود واریانس ناهمسانی و خودهمبستگی رد شده و وجود واریانس ناهمسانی و خودهمبستگی در مدل تایید می‌شود، بنابراین، مدل باید با روش حداقل مربعات تعمیم یافته برآورد شود.

جدول ۴. نتایج آزمون واریانس ناهمسانی والد و آزمون خودهمبستگی وولدریج

نام متغیر	مقدار آماره	آماره آزمون	ارزش احتمال	نتیجه آزمون
آزمون ناهمسانی واریانس	۵۵۰/۱۷***	$\chi^2$	۰/۰۰۰	وجود واریانس ناهمسانی
آزمون خودهمبستگی	۲۰/۶۹***	F	۰/۰۰۰۱	وجود خودهمبستگی

منبع: یافته‌های پژوهش

با توجه به تایید وجود واریانس ناهمسانی و خودهمبستگی مرتبه اول میان جملات اخلاص، برآورد نهایی مدل برای بررسی اثر خطی زیرساخت‌های حمل و نقل بر کارایی انرژی صنعت با استفاده از روش حداقل مربعات تعمیم یافته و اثرات ثابت در جدول (۴) ارائه شده است. نتایج برآورد مدل خطی نشان می‌دهد که ساختار حمل و نقل اثر منفی و معنادار بر کارایی انرژی دارد، این نتیجه با نتایج مطالعه لین و چن (۲۰۲۰) در مناطق شرقی چین سازگار است. رشد اقتصادی نیز اثر مثبت و معناداری بر کارایی انرژی صنعت در استان‌های ایران دارد و نتیجه به دست آمده نیز با مطالعه لین و چن (۲۰۲۰)، وانگ و همکاران (۲۰۲۰)، لیو و همکاران (۲۰۲۰)، گلی و صفری تخت شیرینی (۱۳۹۸) در استان‌های ایران مطابقت دارد. علاوه بر این، افزایش قیمت انرژی، کارایی انرژی صنعت را در استان‌های ایران افزایش می‌دهد. لین و چن (۲۰۲۰)، وانگ و همکاران (۲۰۲۰)، لی و همکاران (۲۰۱۸)، لیو و همکاران، گلی و همکاران (۱۳۹۹)، گلی و صفری تخت شیرینی (۱۳۹۸) و کفایی و نژاد آقائیان و ش (۱۳۹۶) نیز که به بررسی اثر قیمت انرژی بر کارایی انرژی پرداختند به نتیجه مشابه با این مطالعه در خصوص قیمت انرژی رسیدند. ساختار صنعت نیز اثر مثبت و معناداری بر کارایی انرژی صنعت دارد و این نتیجه با نتایج مطالعات لی و همکاران (۲۰۲۱) در بخش کشاورزی استان‌های چین و لین و چن (۲۰۲۰) در صنایع ثانویه در استان‌های چین سازگار است. در نهایت پیشرفت تکنولوژی نیز کارایی انرژی صنعت را در استان‌های ایران افزایش می‌دهد. چن و همکاران (۲۰۲۱)، لین و چن (۲۰۲۰)، وانگ و همکاران (۲۰۲۰)، لیو و همکاران

(۲۰۲۰)، اسکندری و همکاران (۱۳۹۹) و گلی و همکاران (۱۳۹۹) نیز مشابه با مطالعه حاضر به این نتیجه دست یافتند که پیشرفت تکنولوژی بر کارایی انرژی صنعت، تاثیر مثبت و معناداری بر کارایی انرژی دارد.

در ادامه نتایج حاصل از آزمون اثر آستانه‌ای نیز در قالب جدول (۵) برای بررسی اینکه مدل خطی است یا غیرخطی و همچنین تعیین تعداد آستانه‌ها ارائه شده است با توجه به نتایج این آزمون، مقدار آماره F در وضعیت دو آستانه‌ای بزرگ‌تر از مقدار آماره F بحرانی در سطح معناداری ۱۰ درصد است ( $۱۸/۸۲۸ < ۲۶/۵۷۳ < ۱۸/۲۵$ )، از این رو، فرض صفر این آزمون پذیرفته نشده و اثر زیرساخت‌های حمل و نقل بر کارایی انرژی غیرخطی بوده و مدل دارای دو آستانه است. در این مدل طبق مبانی نظری، متغیر رشد اقتصادی، متغیر دارای حد آستانه بدست آمده و نشان می‌دهد که زیرساخت‌های حمل و نقل با توجه به رژیم‌های مختلف این متغیر می‌تواند اثرات متفاوتی بر کارایی انرژی صنعت داشته باشد.

جدول ۵. نتایج آزمون اثر آستانه‌ای

Crit1	Crit5	Crit10	ارزش احتمال	مقدار آماره	تعداد آستانه
۲۶/۵۷۳	۱۸/۸۲۸	۱۵/۵۷۲	۰/۰۵۸	۱۸/۲۵**	دو آستانه

منبع: یافته‌های پژوهش

در نهایت، مدل رگرسیونی مورد نظر با مدل پنل آستانه‌ای برآورد شد که نتایج آن در جدول (۶) ارائه شده است.

بر اساس نتایج حاصل از برآورد مدل رگرسیونی پنل آستانه‌ای، دو حد آستانه برای لگاریتم تولید ناخالص داخلی حقیقی برابر ۱۴/۶۴ و ۱۵/۶۶ است. متغیر لگاریتم زیرساخت‌های حمل و نقل در بالا، پایین و میان این دو حدود اثر متفاوتی بر کارایی انرژی دارد و تنها در دو سطح لگاریتم تولید ناخالص داخلی حقیقی؛ یعنی قبل از آستانه اول و بعد از آستانه دوم ضریب به‌دست آمده برای زیرساخت‌های حمل و نقل معنادار است. باید توجه داشت که متغیر  $\ln TI$  به علت متفاوت بودن علامت ضرایب برآورد شده، اثرات متفاوتی در رژیم‌های مختلف لگاریتم تولید ناخالص داخلی حقیقی بر کارایی انرژی صنعت دارد. در رژیم اول و در شرایطی که لگاریتم تولید ناخالص داخلی حقیقی کمتر از حد آستانه اول است، ضریب برآورد شده برای متغیر زیرساخت حمل و

نقل ۰/۱۸۲- و معنادار است. در رژیم دوم، یعنی در شرایطی که لگاریتم تولید ناخالص داخلی حقیقی میان دو حد آستانه است، ضریب آن ۰/۰۸۶- بوده و معنادار نیست، اما در رژیم سوم، یعنی شرایطی که لگاریتم تولید ناخالص داخلی حقیقی بیشتر از آستانه دوم است، ضریب به دست آمده برای زیرساخت‌های حمل و نقل برابر با ۰/۲۰۳ بوده و مثبت و معنادار است. در نتیجه می‌توان بیان کرد در استان‌های ایران، گسترش زیرساخت‌های حمل و نقل اثر غیرخطی بر کارایی انرژی دارد. وانگ و همکاران (۲۰۲۰) و لین و چن (۲۰۲۰) در چین نیز به نتیجه‌ای مشابه با این مطالعه رسیده و اثر غیرخطی زیرساخت‌های حمل و نقل بر کارایی انرژی صنعت را مورد تایید قرار می‌دهند.

جدول ۶. نتایج برآورد مدل

نام متغیر	مدل خطی (حداقل مربعات تعمیم‌یافته و اثرات ثابت)	مدل غیرخطی (مدل پنل آستانه‌ای)
Ln TI	-۰/۱۶۸***	-
Ln TP	۰/۴۷۹*	۱/۱۷۱***
Ln IS	۰/۲۱۵**	-۰/۰۵۸
Ln TI <sub>0</sub>	-	-۰/۱۸۲***
Ln TI <sub>1</sub>	-	-۰/۰۸۶
Ln TI <sub>2</sub>	-	۰/۲۰۳***
Ln EG	۰/۰۰۳**	-۰/۰۴۱
Ln EP	۰/۱۶۷***	۰/۰۸۱**

\*\*\*، \*\* و \* به ترتیب معناداری در سطح ۱، ۵ و ۱۰ درصد را نشان می‌دهد.

منبع: یافته‌های پژوهش

قبل از آستانه اول، گسترش زیرساخت‌های حمل و نقل می‌تواند کارایی انرژی را کاهش دهد، چراکه در این مرحله گسترش زیرساخت‌های حمل و نقل ارتباط میان

واحدهای اقتصادی را افزایش و از این طریق به گسترش فعالیت‌های اقتصادی کمک می‌کند؛ در این مرحله که سطح زیرساخت‌های حمل و نقل پایین است، هنوز اثر اقتصاد مقیاس و سرریز فناوری رخ نداده و مصرف انرژی با شدت بیشتری نسبت به فعالیت‌های صنعتی افزایش می‌یابد و در نتیجه گسترش زیرساخت‌های حمل و نقل، کارایی انرژی را کاهش می‌دهد. در میان دو آستانه زیرساخت‌های حمل و نقل اثر معناداری بر کارایی انرژی ندارد و در رژیم سوم لگاریتم تولید ناخالص داخلی حقیقی اقتصادی یا بعد از آستانه دوم، زیرساخت حمل و نقل کارایی را افزایش می‌دهد، زیرا در این مرحله گسترش زیرساخت‌های حمل و نقل منجر به افزایش تمرکز صنعتی و کاهش هزینه‌های حمل و نقل شده و مبلغ صرفه‌جویی شده حاصل از کاهش این هزینه‌ها را می‌توان صرف خرید فناوری‌های انرژی‌اندوز کرد که این امر کارایی انرژی را بالاتر می‌برد. همچنین پیشرفت تکنولوژی اثر مثبت و معناداری بر کارایی انرژی صنعت در سطح معناداری یک درصد دارد.

نتیجه به‌دست آمده در مطالعه حاضر با چن و همکاران (۲۰۲۱)، لین و چن (۲۰۲۰)، وانگ و همکاران (۲۰۲۰)، لیو و همکاران (۲۰۲۰)، اسکندری و همکاران (۱۳۹۹) و گلی و همکاران (۱۳۹۹) مشابه است. برای تفسیر نتیجه به‌دست آمده می‌توان گفت پیشرفت تکنولوژی منجر به تولید سرمایه‌های انرژی‌اندوز می‌شود که استفاده آن توسط یک بنگاه منجر به کاهش هزینه‌های تولید آن بنگاه تولیدی شده و می‌تواند قیمت کالاهای تولیدشده توسط آن را کاهش دهد؛ بنابراین، در کل بخش صنعت ممکن است رقابتی ایجاد شود که این رقابت دیگر تولیدکنندگان را به استفاده از فناوری‌های جدید و یا استفاده کاراتر از انرژی برای پایین آوردن قیمت محصولات و در نهایت توانایی رقابت در بازار ترغیب کند. همچنین بهبود تکنولوژی تولید، از طریق بهینه‌سازی مصرف انرژی‌های فسیلی در جریان تولید، بدون کاهش در میزان ستانده، مصرف انرژی را کاهش داده و کارایی انرژی را بهبود می‌بخشد.

نتایج همچنین نشان می‌دهد که افزایش قیمت انرژی، کارایی انرژی صنعت را به صورت معناداری افزایش داده است، چراکه تولیدکنندگان صنعتی در هنگام مواجهه با قیمت‌های انرژی بالاتر به دشواری می‌توانند تقاضای خود را کاهش دهند، زیرا کاهش تقاضای انرژی مستلزم به‌کارگیری سرمایه‌های انرژی‌اندوز است و این جایگزینی

سرمایه‌های فعلی با سرمایه‌های انرژی‌اندوز هزینه سنگینی را بر واحدهای تولیدی تحمیل می‌کند. بنگاه‌های تولیدی در کوتاه‌مدت به کندی به افزایش قیمت انرژی واکنش نشان می‌دهند، اما در بلندمدت انتظار می‌رود، افزایش قیمت انرژی تولیدکنندگان صنعتی را به سمت استفاده از فناوری‌های انرژی‌اندوز سوق دهد. بنابراین، به‌طور معمول تاثیرگذاری قیمت انرژی بر کارایی کند بوده و بیشتر در بلندمدت مطرح است.

نتایج حاصل در خصوص تاثیر قیمت انرژی بر کارایی انرژی در این مطالعه با نتایج به‌دست آمده در مطالعات لین و چن (۲۰۲۰)، وانگ و همکاران (۲۰۲۰)، لی و همکاران (۲۰۱۸)، لیو و همکاران، گلی و همکاران (۱۳۹۹)، گلی و صفری تخت شیرینی (۱۳۹۸) و کفایی و نژاد آقائیان وش (۱۳۹۶) مطابقت دارد.

## ۷. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در دهه‌های اخیر، در کنار گسترش فعالیت‌های صنعتی، مصرف انرژی به شدت افزایش یافته و معضلات فراوانی را برای بشر به وجود آورده است. در جریان افزایش مصرف انرژی، دمای کره زمین بالا رفته و حیات انسان و بسیاری از موجودات به خطر انداخته است. استفاده بیش از حد از انرژی و نتایج ناشی از آن مانند اثرات منفی آن بر محیط‌زیست و پایان یافتن منابع، لزوم جایگزینی یک سیستم پایدار انرژی را مطرح ساخته است. در این میان تبدیل سیستم ناپایدار به یک سیستم پایدار به منظور تضمین عرضه دائمی انرژی و حفظ محیط‌زیست به مسئله‌ای مهم اما پیچیده بدل شده که اقدامات اساسی می‌طلبد. یکی از راه‌حل‌های افزایش پایداری انرژی و حفاظت از محیط‌زیست، افزایش کارایی انرژی است که به صورت یکی از مقرون به صرفه‌ترین راه‌ها برای کاهش گازهای گلخانه‌ای، کاهش مصرف انرژی، افزایش رشد اقتصادی، بهبود امنیت انرژی و افزایش رقابت برای تولیدکنندگان معرفی می‌شود. از این رو، سرمایه‌گذاری بر پروژه‌های کارایی انرژی و شناسایی عوامل موثر بر آن در جهت تدوین سیاست‌های جامع برای افزایش کارایی انرژی و در نتیجه افزایش رشد اقتصادی و ارتقا رفاه جامعه بیش از پیش اهمیت یافته است. یکی از این عوامل موثر بر کارایی انرژی، زیرساخت‌های حمل و نقل است که می‌تواند اثرات متفاوتی بر آن داشته باشد. به عنوان سرمایه اصلی توسعه اجتماعی، زیرساخت‌های حمل و نقل اغلب وسیله‌ای مهم برای افزایش تقاضای انرژی و تحریک رشد اقتصادی معرفی شده و در سال‌های اخیر بهبود

آن، به نقطه کانونی مهمی برای دولت‌ها تبدیل شده است که سرمایه‌گذاری موثر در زیرساخت‌های حمل و نقل و توسعه آن‌ها می‌تواند نقش مهمی در تثبیت رشد اقتصادی و تعدیل ساختار انرژی و در نهایت کارایی انرژی صنایع ایفا کند. بنابراین، در مطالعه حاضر با استفاده از اطلاعات ۳۱ استان کشور طی بازه زمانی ۱۳۹۷-۱۳۸۵ تلاش شد اثر گسترش زیرساخت‌های حمل و نقل در کنار متغیرهای دیگری بر کارایی انرژی صنعت در استان‌های مختلف کشور شناسایی شد؛ برای این منظور از رگرسیون پنل آستانه‌ای استفاده شد، چراکه این مدل می‌تواند اثر متغیر توضیحی مورد بررسی را بر متغیر وابسته در رژیم‌های مختلف متغیر برآورد کند.

در مطالعه حاضر از متغیر لگاریتم تولید ناخالص داخلی حقیقی به عنوان متغیر آستانه استفاده و تلاش شد اثر زیرساخت‌های حمل و نقل در رژیم‌های مختلف لگاریتم تولید ناخالص داخلی حقیقی بر کارایی انرژی صنعت برآورد شود. علاوه بر این، قبل از برآورد مدل آزمون‌های تشخیصی لازم مانند آزمون F- لیمر برای بررسی تلفیقی یا پنل بودن مدل، آزمون هاسمن برای بررسی برآورد مدل با روش اثرات ثابت یا تصادفی و آزمون معناداری آستانه‌ها به منظور بررسی خطی و یا غیرخطی بودن مدل و تعیین تعداد آستانه‌ها انجام شد. نتایج آزمون نشان داد که مدل به صورت غیرخطی و پنل دیتا برآورد شود. علاوه بر این، مدل مورد نظر دارای دو آستانه است و امکان برآورد مدل با رگرسیون پنل آستانه‌ای وجود دارد.

نتایج مطالعه نشان داد که زیرساخت‌های حمل و نقل اثرات متفاوتی در رژیم‌های مختلف لگاریتم تولید ناخالص داخلی حقیقی بر کارایی انرژی صنعت دارد؛ در رژیم اول در شرایطی که لگاریتم تولید ناخالص داخلی حقیقی کمتر از آستانه اول است و در رژیم دوم، جایی که لگاریتم تولید ناخالص داخلی حقیقی میان دو آستانه اول و دوم است، زیرساخت‌های حمل و نقل اثر معناداری بر کارایی انرژی ندارند. در رژیم سوم؛ یعنی در شرایطی که متغیر آستانه تولید ناخالص داخلی حقیقی بزرگتر از آستانه دوم است، گسترش زیرساخت‌های حمل و نقل به صورت معناداری کارایی انرژی صنعت را افزایش می‌دهد. همچنین قیمت انرژی و پیشرفت تکنولوژی نیز اثر منفی و معناداری بر کارایی انرژی صنعت در استان‌های ایران دارند.

نتایج مطالعه حاکی از آن است که قیمت انرژی تاثیر مثبت و معناداری بر کارایی انرژی صنعت دارد. بنابراین، اصلاح قیمت انرژی در بخش صنعت و حقیقی کردن آن باید به عنوان یک اقدام اساسی در راستای افزایش کارایی انرژی تلقی و اجرایی شود. دولت باید با اجرای سیاست‌های افزایش تدریجی قیمت حامل‌های انرژی در صورت مساعد بودن شرایط برای خرید و استفاده تجهیزات انرژی‌اندوز توسط بنگاه‌های تولیدی، زمینه لازم برای افزایش کارایی انرژی صنایع را فراهم سازد. با این حال باید توجه داشت که حقیقی کردن قیمت انرژی شرط لازم بوده و شرط کافی برای افزایش کارایی انرژی نیست، چراکه اصلاح قیمت انرژی در بلندمدت به افزایش کارایی انرژی کمک می‌کند و در کوتاه‌مدت انجام اقدامات دیگری برای بهبود کارایی انرژی، ضروری است.

باتوجه به نقش پیشرفت تکنولوژی در افزایش کارایی انرژی، نهادهای ذی‌ربط می‌توانند با اجرای سیاست‌های تشویقی مختلف، واحدهای تولیدی را به سمتی سوق دهد که تکنولوژی‌های قدیمی و انرژی‌بر خود را با تکنولوژی‌های جدید جایگزین کنند. همچنین دولت می‌تواند از طریق ارائه تسهیلات بانکی با نرخ بهره پایین برای خرید تکنولوژی‌های انرژی‌اندوز به افزایش سرعت جایگزینی تکنولوژی‌های قدیمی با تکنولوژی‌های جدید در بخش صنعت کمک کند.

با توجه به اثر آستانه‌ای زیرساخت‌های حمل‌ونقل بر کارایی انرژی، دولت ملزم به سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های حمل و نقل متمایز بر اساس میزان رشد اقتصادی و توسعه استان‌های مختلف است. برای مناطقی که رشد اقتصادی بالاتری از حد آستانه دوم دارند باید سرمایه‌گذاری‌های دولتی بر زیرساخت‌های حمل و نقل و انجام اقدامات لازم برای جذب سرمایه‌گذار خصوصی به منظور گسترش زیرساخت‌ها با سرعت بیشتری انجام شود، زیرا نتایج حاکی از اثر مثبت زیرساخت‌های حمل و نقل بر کارایی انرژی صنعت در سطوح بالاتر رشد اقتصادی است.

باتوجه به اثر منفی و معنادار گسترش زیرساخت‌های حمل و نقل بر کارایی انرژی در رژیم اول متغیر تولید ناخالص داخلی حقیقی در مناطق با رشد اقتصادی کمتر از آستانه اول دولت در کنار بهبود زیرساخت‌های حمل و نقل از طریق ایجاد زمینه‌های لازم برای به‌کارگیری تکنولوژی‌های انرژی‌اندوز و سایر اقدامات احتمالی افزایش‌دهنده کارایی

انرژی مانند بازنگری در قوانین و دستورالعمل‌های مصرف انرژی، ایجاد مزیت رقابتی، سرعت بخشیدن به فرایند جایگزینی و... به افزایش کارایی انرژی در جریان تولید صنعت کمک کند.

از محدودیت‌های این مطالعه به نبود داده‌های قیمت انرژی‌ها به صورت استانی و به تفکیک انرژی‌ها و از همه مهم‌تر منظم نبودن داده‌های مانند تعداد مسافران و بارهای جابه‌جا شده از طریق حمل و نقل دریایی، هوایی و ریلی که برای محاسبه شاخص زیرساخت حمل و نقل دقیق ضروری است، می‌توان اشاره کرد.

### تعارض منافع

تعارض منافع وجود ندارد.

### ORCID

Ali Asqhar Salem



<http://orcid.org/0000-0002-1360-923X>

Leyla jabari



<http://orcid.org/0000-00001-6942-5494>

Zahra Bayat



<http://orcid.org/0000-0002-6480-5241>

### منابع

- اسکندری، بیتا، الماسی، مجتبی و اعظمی، سمیه. (۱۳۹۹) بررسی اثر تمرکز صنعتی در کارایی انرژی بخش صنعت در استان‌های ایران، *فصلنامه سیاست‌گذاری اقتصادی*، ۱۲(۲۴)، ۳۳۳-۳۰۹.
- درگاهی، حسین و بیابانی خامنه، کاظم. (۱۳۹۵). نقش عوامل قیمتی، درآمدی و کارایی در شدت انرژی ایران، *فصلنامه تحقیقات اقتصادی*، ۵۱(۲)، ۳۸۴-۳۵۵.
- کفایی، سید محمد علی و نژاد آقائیان و ش، پریا. (۱۳۹۶). شناسایی عوامل موثر بر کارایی انرژی بخشی در اقتصاد ایران، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، ۱۳(۵۲)، ۱-۳۴.
- گراوند، سهراب، مهرگان، نادر، صادقی، حسین و ملکشاهی، مجتبی. (۱۳۹۲). ارزیابی کارایی انرژی در صنعت پتروشیمی ایران، *فصلنامه سیاست‌گذاری اقتصادی*، ۵(۱۰)، ۷۴-۵۷.
- گلی، یونس، آرغا، لیلا و محنت‌فر، یوسف. (۱۳۹۹). اثر تمرکز صنعتی بر کارایی انرژی در بخش صنعت ایران، *فصلنامه اقتصاد و الگوسازی*، ۱۱(۱)، ۹۷-۱۱۹.
- گلی، یونس و صفری تخت شیرینی، میثم. (۱۳۹۸). برآورد کارایی انرژی و بررسی عوامل موثر بر آن در استان‌های ایران (رهیافت مدل توبیت)، *فصلنامه راهبرد اقتصادی*، ۵(۱۷)، ۱۰۷-۱۲۷.



## References

- Ahmed, K., Bhattacharya, M., Qazi, A. Q., & Ghumro, N. A. (2021). Transport infrastructure and industrial output in Pakistan: An empirical investigation. *Research in Transportation Economics*, 90(6), 101040
- Chen, M., Sinha, A., Hu, K., & Shah, M. I. (2021). Impact of technological innovation on energy efficiency in industry 4.0 era: Moderation of shadow economy in sustainable development. *Technological Forecasting and Social Change*, 164(3), 120-521.
- Dargahi, H., & Biabani Khameneh, K. (2016). The Role of the Price, Income and Efficiency Factors in Iran's Energy Intensity. *Journal of Economic Research (Tahghighat-E-Eghtesadi)*, 51 (2), 355-384. [In Persian]
- Eskandari, B., Almasi, M., & Azami, S. (2021). The effect of industrial concentration on the energy efficiency of the industry sector in the Iranian provinces. *The Journal of Economic Policy*, 12(24), 309-333. [In Persian]
- Garavand, S., Mehregan, N., Sadegh, H., & Malekshahi, M. (2013). Energy efficiency analysis in the petrochemical industry of Iran. *The Journal of Economic Policy*, 5(10), 57-74. [In Persian]
- Goli, Y., & safari takhtshirini, M.(2016). Estimation of Energy Efficiency and Factor Affecting on it's in Iran Province (Tobit approach). *Quarterly Journal of Economic Strategy*, 5 (17),107-127. [In Persian]
- Goli, Y., Argha, L., & Mehnatfar, Y. (2020). The Effect of Industrial Concentration on Energy Efficiency in Iranian Industrial Sector. *Journal of Economics and Modeling*, 11 (1), 97-119. [In Persian]
- Jahanger, A., Usman, M., & Ahmad, P. (2022). A step towards sustainable path: the effect of globalization on China's carbon productivity from panel threshold approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(6), 8353-8368.
- Kafaie, S. M. A., & Nejadaghaeianvash, P. (2017). Identifying the Factors that Effect Sectoral Energy Efficiency in the Iranian Economy. *Quarterly Energy Economics Review*, 13 (52), 1-34. [In Persian]
- Li, H., Luo, L., Zhang, X., & Zhang, J. (2021). Dynamic change of agricultural energy efficiency and its influencing factors in China. *Chinese Journal of Population, Resources and Environment*, 19(4), 311-320.

- Li, K., Fang, L., & He, L. (2018). How urbanization affects China's energy efficiency: a spatial econometric analysis. *Journal of Cleaner Production*, 200(27), 1130-1141.
- Lin, B., & Chen, Y. (2020). Transportation infrastructure and efficient energy services: A perspective of China's manufacturing industry. *Energy Economics*, 89(5), 104809.
- Lin, B., & Chen, Y. (2020). Will land transport infrastructure affect the energy and carbon dioxide emissions performance of China's manufacturing industry?. *Applied Energy*, 260(4), 114266.
- Lin, S., Dhakal, P. R., & Wu, Z. (2021). The impact of high-speed railway on China's regional economic growth based on the perspective of regional heterogeneity of quality of place. *Sustainability*, 13(9), 4820.
- Liu, H., Zhang, Z., Zhang, T., & Wang, L. (2020). Revisiting China's provincial energy efficiency and its influencing factors. *Energy*, 208(19), 118361.
- Liu, J., Cheng, Z., & Zhang, H. (2017). Does industrial agglomeration promote the increase of energy efficiency in China?. *Journal of Cleaner Production*, 164(33), 30-37.
- Liu, W., Zhan, J., Zhao, F., Wang, P., Li, Z., & Teng, Y. (2018). Changing trends and influencing factors of energy productivity growth: A case study in the Pearl River Delta Metropolitan Region. *Technological Forecasting and Social Change*, 137(12), 1-9.
- Malinauskaite, J., Jouhara, H., Egilegor, B., Al-Mansour, F., Ahmad, L., & Pusnik, M. (2020). Energy efficiency in the industrial sector in the EU, Slovenia, and Spain. *Energy*, 208 (19), 118398.
- Pan, H., Zhang, H., & Zhang, X. (2013). China's provincial industrial energy efficiency and its determinants. *Mathematical and Computer Modelling*, 58(5-6), 1032-1039.
- Pu, Z., & Yang, M. (2022). The impact of city commercial banks' expansion on China's regional energy efficiency. *Economic Analysis and Policy*, 73 (1), 10-28.
- Sher, F., Curnick, O., & Azizan, M. T. (2021). Sustainable Conversion of Renewable Energy Sources. *Sustainability*, 13(5), 2940.
- Shi, S. A., Xia, L., & Meng, M. (2017). Energy efficiency and its driving factors in China's three economic regions. *Sustainability*, 9(11), 2059.
- Wang, H., & Wang, M. (2020). Effects of technological innovation on energy efficiency in China: Evidence from dynamic panel of 284 cities. *Science of the Total Environment*, 709 (12), 136172.

- Wang, N., Zhu, Y., & Yang, T. (2020). The impact of transportation infrastructure and industrial agglomeration on energy efficiency: Evidence from China's industrial sectors. *Journal of Cleaner Production*, 244 (3), 118708.
- Wang, Q. (2015). Fixed-effect panel threshold model using Stata. *The Stata The Journal*, 15(1), 121-134.
- Wang, X., Song, J., & Duan, H. (2021). Coupling between energy efficiency and industrial structure: An urban agglomeration case. *Energy*, 234 (22), 121304.
- Wohlfarth, K., Worrell, E., & Eichhammer, W. (2020). Energy efficiency and demand response—two sides of the same coin?. *Energy Policy*, 137 (2), 111070.
- Xiong, S., Ma, X., & Ji, J. (2019). The impact of industrial structure efficiency on provincial industrial energy efficiency in China. *Journal of cleaner production*, 215 (10), 952-962.
- Xu, H., Wang, Y., Gao, C., & Liu, H. (2021). Road transportation green productivity and its threshold effects from environmental regulation. *Environmental Science and Pollution Research*, 30 (9), 1-14.
- Zhang, R., & Fu, Y. (2022). Technological progress effects on energy efficiency from the perspective of technological innovation and technology introduction: An empirical study of Guangdong, China. *Energy Reports*, 7 (8), 425-437.
- Zhao, X., Shang, Y., & Song, M. (2020). Industrial structure distortion and urban ecological efficiency from the perspective of green entrepreneurial ecosystems. *Socio-Economic Planning Sciences*, 72 (4), 100-757.

**استناد به این مقاله:** سالم، علی اصغر، جباری، لیلا و بیات، زهرا (۱۴۰۱). عوامل موثر بر کارایی انرژی در بخش صنعت با تاکید بر اثرات آستانه‌ای زیرساخت‌های حمل و نقل جاده‌ای، پژوهشنامه اقتصادی، ۸۵ (۲۲)، ۱۱۹-۱۵۳.



Journal of Economic Research is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.