The Effect of Economic Complexity on Energy Consumption in the Industrial Sector

Zahra Azizi[1] | z.azizi@alzahra.ac.ir

Abstract The relationship between technology and energy consumption is one of the most challenging issues in the field of energy policy. Various studies have investigated this relationship but did not come up with the same results. In this paper, using the economic complexity index, this relationship is evaluated for energy consumption in the industrial sector of Iran for the period 1971-2016. The findings show that the increasing complexity of the economy has led to an increase in energy consumption in the industrial sector, which can be due to two reasons: first, the rebound effects of technology, and second, the transfer of production to the industrial sector due to the change in the structure of production towards technological goods. On the other hand, as regards the cross-effects, economic complexity has reduced the positive coefficient of income, which indicates that with higher technology, increase in production, will increase energy consumption to a lesser extent. Consequently, from this perspective, economic complexity can lead to positive results in energy consumption in the industrial sector.

Keywords: Economic Complexity, Improvement of Technology, Energy Consumption, Rebound Effects, Industrial Sector.

JEL Classification: O33, Q41, Q55.

1. Assistant Professor, Faculty of Social Sciences and Economics, Alzahra University, Tehran, Iran.

The Journal of PLANNING & BUDGETING | Indexed In ISC | ISSN: 2251-9092 | Vol. 24 | No. 1 | Spring 2019 | PP 3-24

بررسی نحوه اثرگذاری پیچیدگی اقتصادی بر مصرف انرژی در بخش صنعت

زهرا عزیزی | z.azizi@alzahra.ac.ir
استادیار دانشکده علوم اجتماعی و اقتصادی دانشگاه الزهرا.

دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۰۲ | پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۲۰

چکیده: رابطه فناوری با مصرف انرژی یکی از موضوع‌های چالش‌برانگیز در حوزه سیاستگذاری اقتصاد انرژی است. تاکنون پژوهش‌های متعددی این رابطه را بررسی کرده‌اند که نتایج یکسانی را به‌دست نمی‌دهند. در این پژوهش، با استفاده از شاخص پیچیدگی اقتصادی، این ارتباط برای مصرف انرژی در بخش صنعت ایران در دوره ۱۳۹۵-۱۳۵۵ مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهند که افزایش پیچیدگی اقتصاد به‌طور مستقیم به افزایش مصرف انرژی در بخش صنعت منجر می‌شود که می‌تواند به دو دلیلِ غلبه آثار بازگشتی فناوری و همچنین، انتقال تولید به بخش صنعت به سبب تغییر ساختار تولید به سمت کالاهای فناورانه، باشد. از سوی دیگر، با در نظرگرفتن اثرهای تعاملی، پیچیدگی اقتصادی باعث کاهش ضریب مثبت ارزش‌افزوده بر مصرف انرژی می‌شود که نشان می‌دهد هرچه سطح فناوری بالاتر باشد، افزایش تولید، مصرف انرژی را کم‌تر از پیش افزایش می‌دهد. در نتیجه، از این منظر پیچیدگی اقتصادی می‌تواند نتایج مثبتی بر مصرف انرژی در بخش صنعت به دنبال داشته باشد.

کلیدواژه‌ها: پیچیدگی اقتصادی، پیشرفت فناوری، مصرف انرژی، آثار بازگشتی، بخش صنعت.
طبقه‌بندی JEL: Q55 ,Q41, O33.

فصلنامه علمی - پژوهشی برنامه‌ریزی و بودجه
شاپا (چاپی) ۲۲۵۱-۹۰۹۲ | نمایه در ISC
سال بیست و چهارم | شماره ۱ | بهار ۱۳۹۸ | ص ص ۲۴-۳

مقدمه

امروزه مسائل زیست‌محیطی، به‌ویژه تغییرهای اقلیمی، به‌طور فزاینده‌ای اهمیت یافته‌اند و الزام‌هایی را برای منطقی کردن مصرف انرژی ایجاد کرده‌اند. مقدار قابل‌توجه مصرف انرژی جهانی و رشد سریع آن، اثرهای زیست‌محیطی سنگینی را به دنبال دارد. جمعیت انسانی در جهان همچنان رشد می‌کند و کشورها در حال توسعهٔ اقتصادی هستند و این باعث افزایش شدید تقاضا برای انرژی در سطح جهان می‌شود. در حال حاضر، سهم عمده انرژی مورد استفاده در جهان، از منابع تجدیدناپذیر حاصل می‌شود. به همین دلیل، نگرانی‌ها از تخلیه منابع انرژی تشدید شده است (Irandoust, 2016). حرکت کشورها به سمت رشد بیش‌تر اقتصادی و بکارگیری حامل‌های انرژی به عنوان یکی از عوامل تولید، وجود محدودیت در استفاده از این منابع را بیش‌تر از پیش نمایان می‌سازد. از این‌رو، کشورها به دنبال راهکارهایی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در فرایند تولید هستند. در کشورهای درحال‌توسعه نفتی نظیر ایران، انرژی اهمیت دوچندانی در این رابطه دارد. چرا که عمده درآمدهای ارزی این کشورها از محل فروش نفت است و با مصرف ناکارامد انرژی در داخل، منابع ارزی زیادی از دست می‌رود، و با گذر زمان منابع موجود انرژی‌های فسیلی همچون نفت و گاز کاهش می‌یابد. به‌طور کلی، به منظور کاهش و بهینه‌سازی مصرف انرژی از دو نوع سیاست استفاده می‌شود: سیاست‌های قیمتی، که در ایران به دلیل پایین بودن کشش قیمتی تقاضا اثرگذاری لازم را ندارند (Farid Ghaderi *et al*., 2006؛ آذربایجانی و همکاران، ۱۳۸۶؛ صدرزاده مقدم و همکاران، ۱۳۹۲؛ عزیزی، ۱۳۹۷)، و سیاست‌های غیرقیمتی نظیر بهبود کارایی انرژی، پیشرفت فناوری، جایگزینی عوامل تولید یا تغییر نوع تولیدها (Yuan *et al*., 2009; Ladu & Meleddu, 2014؛ صادقی و همکاران، ۱۳۹۳؛ محمودزاده و همکاران، ۱۳۹۰).

بسیاری از پژوهشگران بر این باورند که نوآوری‌های فناورانه از جمله سیاست‌های غیرقیمتی هستند که می‌توانند کارایی انرژی را بهبود بخشند و در نتیجه، باعث کاهش مصرف انرژی شوند. اما پیشرفت فناورانه از مسیرهای مختلفی بر مصرف انرژی اثر می‌گذارد. از یک‌سو، ابزارها و تکنیک‌های جدیدی برای کاهش مصرف انرژی ایجاد می‌کند و از سوی دیگر، رشد اقتصادی را افزایش می‌دهد که به دنبال آن مصرف انرژی بیش‌تر می‌شود (Yuan *et al*., 2009). بنابراین، ارتباط بین پیشرفت فناوری و مصرف انرژی بسیار پیچیده است. همچنین، این ارتباط می‌تواند به نوع پیشرفت فناوری بستگی داشته باشد. به همین دلیل، نوع فناوری و شاخص بکار رفته برای سنجش آن می‌تواند دلیلی بر تفاوت نتایج در پژوهش‌های تجربی این حوزه باشد (Jacobsen, 2001). نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش‌های تجربی در مورد اثرگذاری فناوری بر مصرف انرژی یکسان نیست. گروهی از این

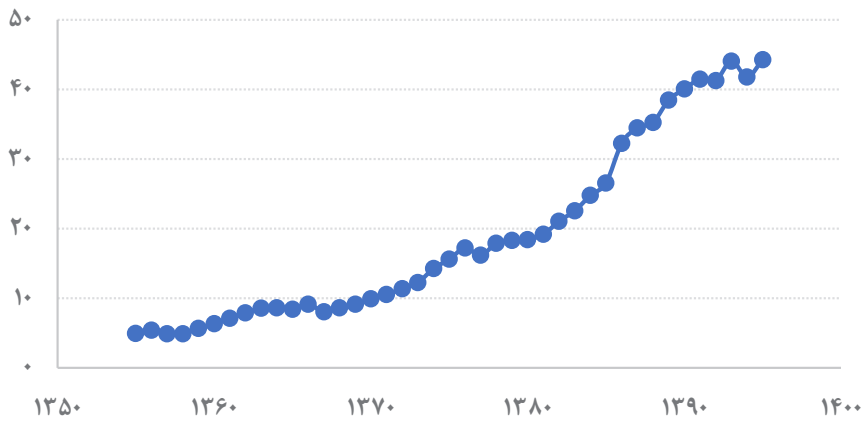
پژوهش‌ها نشان می‌دهند که بهبود فناوری می‌تواند موجب صرفه‌جویی در مصرف انرژی شود (Tang & Tan, 2013; Dargahi & Khameneh, 2019؛ سلمانی بیشک و همکاران، ۱۳۹۶)، و گروهی دیگر نیز عکس این نتیجه را به‌دست می‌آورند (Jin *et al*., 2018; Ma *et al*., 2009). از این‌رو، در ادبیات، اجماع مشخصی در مورد جهت اثرگذاری فناوری بر مصرف انرژی وجود ندارد.

چگونگی سنجش میزان پیشرفت فنی نیز همواره یکی از دغدغه‌های موجود در این زمینه است و پژوهشگران از شاخص‌های مختلفی برای سنجش آن استفاده می‌کنند. برای مثال، در پژوهش‌های تجربی موجود از شاخص‌های میزان ثبت اختراع[1] (Griliches, 1998; Acs *et al*., 2002; Tang & Tan, 2013; Fei *et al*., 2014؛ سلمانی بیشک و همکاران، ۱۳۹۶)، مخارج تحقیق‌وتوسعه (R&D)[2] (Cohen & Klepper, 1991; Komen *et al*., 1997; Keller, 2002; Ang, 2009; Weixian & Fang, 2010; Irandoust, 2016)، بهره‌وری کل عوامل تولید (TFP)[3] (Crafts, 2003; Basu & Fernald, 2007; Ladu & Meleddu, 2014; Jin *et al*.,2018; Dargahi & Khameneh, 2019)، و نظیر آن برای سنجش رشد فناوری استفاده می‌شود که هرکدام به دلایلی مانند شمول و عملیاتی شدن، دچار نقصان در اندازه‌گیری درست بهبود سطح فناوری در کشورها هستند.

در این پژوهش، از شاخص جدید پیچیدگی اقتصادی به منظور سنجش پیشرفت فناوری استفاده می‌شود. از آن‌جا که مدت زیادی از مطرح شدن این شاخص نمی‌گذرد، کم‌تر مورد استفاده قرار گرفته است، هرچند که این شاخص کشورها را بر اساس تجمیع دانش و ظرفیت‌های فناورانه به‌خوبی تفکیک می‌کند (Hidalgo & Hausmann, 2009). به عبارت دیگر، پیچیدگی اقتصادی تمامی ظرفیت‌ها، سطح فناوری، نیروی کار ماهر، و دانش لازم برای تولید را در خود جای می‌دهد و می‌تواند ابعاد وسیع‌تری از بهبود فناوری و دانش فنی را در بر گیرد. همچنین، یکی از ویژگی‌های آن در نظرگرفتن تغییر در ساختار تولید و حرکت از اقتصاد سنتی مبتنی بر کشاورزی و صادرات مواد خام به اقتصاد صنعتی است. پژوهش حاضر برای اولین‌بار به بررسی اثر پیچیدگی اقتصادی در کنار قیمت و درآمد بر تقاضای انرژی در بخش صنعت در ایران در دوره ۱۳۹۵-۱۳۵۵ می‌پردازد. با بکارگیری این شاخص اثر پیشرفت فناوری بر مصرف انرژی در بخش صنعت مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. از سوی دیگر، با در نظر گرفتن اثر تعاملی پیچیدگی و تولید، تغییر ضریب اثرگذاری تولید بر مصرف انرژی در سطوح مختلف فناوری در الگو لحاظ می‌شود. این موضوع در سایر پژوهش‌های مربوط به مصرف انرژی صنعت در ایران در نظر نگرفته شده است.

1. Patent
2. Research & Development (R&D)
3. Total Factor Productivity (TFP)

بخش صنعت یکی از بخش‌های پرمصرف در زمینه انرژی است که در دو دهه اخیر سهمی حدود ۲۵ درصد از مصرف انرژی را در ایران به خود اختصاص داده است. همان‌طور که در نمودار (۱) دیده می‌شود، مصرف انرژی در این بخش رشد قابل‌ملاحظه‌ای در دهه‌های اخیر تجربه کرده است. به همین دلیل لازم است به عوامل اثرگذار بر مصرف انرژی در این بخش به صورت ویژه توجه شود. شناخت تابع تقاضا برای انرژی در بخش صنعت و عوامل تعیین‌کننده آن برای پیش‌بینی دقیق نیازهای فعلی و آینده، و سیاستگذاری مناسب در این بخش از اهمیت حیاتی برخوردار است.



نمودار ۱: مصرف انرژی در بخش صنعت

منبع: ترازنامه انرژی ایران

از سوی دیگر، بخش صنعت نسبت به سایر بخش‌ها وابستگی بیش‌تری به فناوری دارد. بیش‌تر محصولات تولیدشده در این بخش دانش فنی بیش‌تری در خود نهفته دارند یا با فناوری بالاتری به تولید می‌رسند. از این‌رو، در پژوهش حاضر به بررسی تاثیر پیچیدگی اقتصادی بر مصرف انرژی در این بخش پرداخته می‌شود. این پژوهش شامل شش بخش است. پس از مقدمه، مبانی نظری تقاضای انرژی و اثر فناوری بر تقاضای انرژی و پیشینهٔ تجربی آن بررسی می‌شود. در بخش سوم، مدل مورد برآورد، داده‌ها، و منابع آماری معرفی می‌شوند و در بخش چهارم، نتایج تجربی به‌دست‌آمده از برآورد الگو تبیین می‌شود. در انتها نیز نتیجه‌گیری و پیشنهادهای منتج از این پژوهش بیان می‌شوند.

مبانی نظری پژوهش

حامل‌های انرژی در بخش صنعت به عنوان نهاده تولید، توسط بنگاه‌های اقتصادی تقاضا می‌شوند. بر اساس این، تقاضا برای نهاده انرژی همانند دیگر نهاده‌ها از بیشینه‌سازی تولید، با توجه به مقدار مشخصی هزینه، یا در پی کمینه‌کردن هزینه، با توجه به مقدار مشخص تولید، یا بیشینه‌سازی سود به‌دست می‌آید. برای مثال، اگر تابع تولید یک بنگاه را به صورت رابطه (۱) در نظر بگیریم:

$$Q = F(L, K, E, T) \qquad (۱)$$

که در آن L، K، و E به‌ترتیب معرف نهاده‌های کار، سرمایه، و انرژی است، و T معرف سطح فناوری است که می‌تواند مقدار تولید را در سطح مشخصی از نهاده‌ها تغییر دهد. یک بنگاه اقتصادی، ترکیب نهاده‌ها را به‌گونه‌ای انتخاب می‌کند که کم‌ترین هزینه ممکن را برای مقدار مشخصی از محصول داشته باشد. نتایج حاصل از تشکیل شرایط مرتبه اول و دوم برای انتخاب سطح نهاده‌ها گویای آن است که مقدار تقاضای بنگاه‌ها برای نهاده انرژی را می‌توان به صورت رابطه (۲) نوشت:

$$E = E(p_k, p_l, p_e, Q, T) \qquad (۲)$$

بدین ترتیب، تقاضا برای انرژی به قیمت آن (p_e)، قیمت سایر نهاده‌ها (p_k, p_l)، مقدار تولید محصول (Q)، و سطح فناوری (T) بستگی دارد (Bhattacharyya, 2011). بنابراین، می‌توان عمده‌ترین عوامل اقتصادی موثر بر تقاضای انرژی را متغیر قیمت حقیقی انرژی و یک متغیر فعالیت مانند ارزش‌افزوده حقیقی بخش صنعت و سطح فناوری قلمداد کرد. در نگاه اول، ممکن است به نظر برسد که بهبود فناوری مصرف انرژی را کاهش می‌دهد، اما رشد فناوری می‌تواند از جهت‌های مختلف بر مصرف انرژی اثرگذار باشد. از یک مسیر، بهبود فناوری ابزارها و تکنیک‌های جدیدی را برای کاهش و صرفه‌جویی در مصرف انرژی ایجاد می‌کند. بسیاری از پژوهشگران بر این باورند که نوآوری‌های فناورانه و استفاده از عوامل تولید با فناوری بالاتر می‌تواند کارایی انرژی را بهبود بخشد و در نتیجه، باعث کاهش مصرف انرژی شود (Khan & Ahmed, 2009). اما پیشرفت فناوری از مسیری دیگر، باعث رشد اقتصادی می‌شود و پس از آن، مصرف انرژی را افزایش می‌دهد. این پدیده را اثر بازگشتی[1]

1. Rebound Effect

می‌گویند. ایده اصلی اثر بازگشتی توسط جونز[1](۱۸۶۶)، مطرح گردید. وی در اقتصاد بریتانیا مشاهده کرد که با اختراع یک ماشین بخار کارامدتر، نه‌تنها مصرف ذغال‌سنگ کاهش نیافته بلکه تقاضا برای ذغال‌سنگ افزایش یافته است. سازوکار ایجاد آثار بازگشتی به این شکل است که با بهبود فناوری و کارایی بیش‌تر انرژی، قیمت موثر[2] یا به بیان دیگر، هزینه هر واحد خدمات دریافتی از انرژی کاهش می‌یابد. این امر سبب افزایش انگیزه برای استفاده از انرژی می‌شود و در نتیجه، تقاضای انرژی را افزایش می‌دهد. در واقع در این مسیر، مصرف انرژی ممکن است که به دلیل رشد اقتصادی بالاتر و کاهش ضمنی هزینه انرژی، بیش‌تر شود (Lin & Du, 2015).

بر اساس این، آثار بازگشتی بخشی از کاهش مصرف انرژی ناشی از بهبود فناوری را بازگشت می‌دهند. در صورتی که این آثار بازگشتی بزرگ‌تر از اثر اولیه باشند، حتی می‌توانند مصرف انرژی را افزایش دهند. بنابراین، اثر نهایی بهبود فناوری بر مصرف انرژی به بزرگی این دو اثر بستگی دارد و می‌تواند به افزایش، کاهش یا تغییر نیافتن مصرف انرژی منجر شود (Jin *et al*., 2018). از این‌رو، پژوهش‌های تجربی موجود در این زمینه نتایج واحدی را استخراج نمی‌کنند (Jacobsen, 2001). از جمله عوامل دیگری که سبب تفاوت در نتایج تجربی پژوهش‌ها می‌شود، تفاوت نوع بهبود در فناوری و بکارگیری شاخص‌های متنوع برای سنجش آن است. ما[3] و همکاران (۲۰۰۹)، نشان می‌دهند که بهبود فناوری و استفاده از فناوری‌های جدید به دلیل انرژی‌بر بودن، سبب افزایش مصرف انرژی در کشور چین می‌شود. به همین دلیل، نوع فناوری و شاخص بکار رفته برای سنجش آن می‌تواند دلیلی بر تفاوت نتایج در ادبیات تجربی این حوزه باشد (Jacobsen, 2001).

تاکنون معیارهای مختلفی برای سنجش بهبود فناوری مطرح شده است. برای مثال گریلیچز (۱۹۹۸)، اَکز و همکاران (۲۰۰۲)، تانگ و تان (۲۰۱۳)، و فی و همکاران (۲۰۱۴)، از میزان ثبت اختراع به عنوان شاخص پیشرفت فناوری استفاده می‌کنند که این داده‌ها شمول گسترده‌ای را برای رشد فناوری و عملیاتی شدن آن در بر نمی‌گیرد. بیش‌تر پژوهش‌های پیشین از جمله کوهن و کلپر (۱۹۹۱)، کومن و همکاران (۱۹۹۷)، کلر (۲۰۰۲)، آنگ (۲۰۰۹)، وای‌ژیان و فانگ (۲۰۱۰)، ایران‌دوست (۲۰۱۶)، از مخارج تحقیق‌وتوسعه (R&D)، به منظور معیار پیشرفت فناورانه استفاده می‌کنند؛ اما مخارج تحقیق‌وتوسعه به عنوان ورودی یک فرایند توسعه کالای جدید و پیشرفت فناورانه است و تمام مخارج تحقیق‌وتوسعه به پیشرفت فناورانه منجر نمی‌شود. پس این معیار، شاخص

1. Jones
2. Effective Price
3. Ma

مناسبی برای نشان دادن پیشرفت فناورانه نیست (Can & Gozgor, 2017). گروه دیگری از جمله کرفتز (۲۰۰۳)، باسو و فرناند (۲۰۰۷)، و لادو و ملدو (۲۰۱۴)، جین و همکاران (۲۰۱۸)، و درگاهی و خامنه (۲۰۱۹)، نیز از بهره‌وری کل عوامل تولید (TFP) استفاده می‌کنند. در نظرگرفتن TFP نیز به عنوان شاخص بهبود فناوری کاستی‌هایی دارد. رشد TFP می‌تواند به دلایل دیگری غیر از رشد فناوری اتفاق بیافتد. از طرفی، محاسبه TFP دارای پیچیدگی‌هایی است و روش یکسانی ندارد.

یکی از جدیدترین شاخص‌هایی که منعکس‌کننده میزان دانش و فناوری بکار رفته در ساختار تولید یک کشور است، پیچیدگی اقتصادی است. شاخص پیچیدگی اقتصادی در تلاش برای توضیح تفاوت در رشد اقتصادی کشورهای مختلف توسط هیدالگو و هاسمن (۲۰۰۹)، ارائه شد. این شاخص در سال‌های اخیر در گروهی از پژوهش‌ها به عنوان معیار پیشرفت فناوری از آن استفاده می‌شود (برای مثال، نگاه کنید به Can & Gozgor, 2017; Neagu & Teodoru, 2019). این شاخص سطح فناوری، دانش، و مهارت در اختیار یک کشور را با استفاده از متنوع بودن و پیچیدگی[1] محصولاتی که صادر می‌شوند، نشان می‌دهد. فرض این شاخص بر این پایه استوار است که کشورهایی که کالاهای با پیچیدگی بالا تولید می‌کنند، به‌طور حتم دارای فناوری، دانش، و مهارت لازم برای تولید آن کالا هستند (Hidalgo & Hausmann, 2009).

شاخص پیچیدگی اقتصادی به عنوان معیار تولید نوآورانه برتری‌هایی نسبت به سایر معیارها (از جمله تعداد اختراع‌ها و هزینه‌های تحقیق‌وتوسعه) دارد. این معیار ظرفیت‌های متناسب با ساختار تولید یک کشور را در جهت ایجاد نوآوری و همچنین، توانایی استفاده از این نوآوری‌ها در ساختار تولید نشان می‌دهد. دو مفهوم مهم در محاسبه این شاخص مورد استفاده قرار می‌گیرد: تنوع و فراگیر بودن[2] محصولات. تنوع محصولات به تعداد محصولات متمایزی که یک کشور تولید می‌کند اشاره دارد، و میزان بیش‌تر آن، نشان‌دهنده دانش تجمیع‌شده و توانایی استفاده از تاکتیک‌ها و نوآوری‌های صورت‌گرفته در ساختار تولید یک کشور است. فراگیر بودن محصولات نیز، تعداد کشورهایی را نشان می‌دهد که قادر به تولید آن محصول مشابه هستند. محصولاتی که نیازمند سطح بالای دانش هستند، تنها در کشورهایی تولید می‌شوند که فناوری و دانش تولید آن موجود باشد؛ بنابراین، هرچه کالای تولیدشده دارای پیچیدگی بیش‌تری باشد، از درجه فراگیری کم‌تری برخوردار است. برای مثال، فناوری تصویربرداری پزشکی، محصولی است که تنها توسط چند کشور (آمریکا و آلمان) صادر

1. Diversified & Complex
2. Ubiquity

می‌شود، و دارای فراگیری کم‌تری نسبت به محصولات چوبی است که توسط بسیاری از کشورها صادر می‌شود. در همین راستا، آلمان و آمریکا محصولات متنوعی را صادر می‌کنند. استفاده از دو مفهوم تنوع و فراگیر بودن محصولات در محاسبه پیچیدگی اقتصادی، اجازه می‌دهد که توانایی یک کشور در بازتولید محصولات رقابت‌پذیر از راه نوآوری‌های سازمانی نمودار شود. در مجموع، در حالی که معیارهای دیگر اندازه‌گیری ظرفیت‌های نوآورانه یک اقتصاد از جمله تعداد ثبت اختراع[1] و مخارج تحقیق‌وتوسعه به‌ترتیب معیارهایی برای نشان دادن حقوق قانونی ثبت اختراع و نحوه تخصیص منابع شرکت‌ها هستند، شاخص پیچیدگی اقتصادی، نشان‌دهنده ظرفیت‌های موجود در ساختار تولید یک کشور است (Hausmann *et al*., 2014 به نقل از Sweet & Maggio, 2015). از این‌رو، در پژوهش حاضر برای سنجش بهبود فناوری از شاخص پیچیدگی اقتصادی استفاده می‌شود. با در نظرگرفتن این شاخص به بررسی اثر پیچیدگی اقتصادی در کنار قیمت و درآمد بر مصرف انرژی در بخش صنعت پرداخته می‌شود.

پژوهش‌های تجربی گسترده‌ای در رابطه با تخمین تابع تقاضای انرژی وجود دارد که بسیاری از این پژوهش‌ها نقش پیشرفت فناوری را در تقاضای انرژی در نظر نمی‌گیرند. در جدول (۱)، پژوهش‌هایی که به بررسی مصرف انرژی در بخش صنعت می‌پردازند، به‌طور خلاصه اشاره می‌شوند. در این پژوهش‌ها، مصرف انرژی اغلب تابعی از قیمت و تولید این بخش است.

1. Patents

جدول ۱: خلاصه‌ای از پژوهش‌های مربوط به مصرف انرژی در بخش صنعت

پژوهشگران	کشور	روش	نتایج
فرید قادری و همکاران (۲۰۰۶)	تقاضای برق ۱۷ گروه از صنایع ایران	OLS	کشش قیمتی تقاضای برق برای بیش‌تر صنایع به‌جز پوشاک بی‌کشش و کشش تولیدی برای بیش‌تر صنایع به‌جز چاپ بی‌کشش است.
کانی و همکاران[1] (۲۰۱۳)	تقاضای گاز طبیعی در بخش صنعت ایران	STAR	تقاضای گاز طبیعی در بخش صنعت یک مدل غیرخطی دو رژیمی را دنبال می‌کند. ارزش‌افزوده بخش صنعت و قیمت واقعی برق رابطه مثبت، و قیمت واقعی گاز طبیعی رابطه معکوس با تقاضای گاز طبیعی در بخش صنعت دارد.
حیدری و صادقی (۱۳۸۴)	گاز طبیعی در صنعت ایران	ARDL & ECM	کشش قیمتی کوتاه‌مدت و بلندمدت به‌ترتیب ۰/۱۲- و ۰/۲۱-، و کشش تولیدی کوتاه‌مدت و بلندمدت به‌ترتیب ۰/۵۹ و ۰/۹۸ است.
آذربایجانی و همکاران (۱۳۸۶)	گاز طبیعی در بخش صنعت ایران	ECM	قیمت واقعی گاز طبیعی و برق در بخش صنعت بر مصرف گاز طبیعی اثر ندارد. کشش کوتاه‌مدت برابر با ۳/۸۶ و بلندمدت از کوتاه‌مدت کم‌تر است.
صدرزاده مقدم و همکاران (۱۳۹۲)	تقاضای انرژی در صنعت ایران	SUR	کشش‌های قیمتی و درآمدی تقاضای انرژی پایین است. کشش‌های جانشینی نشان‌دهنده بیش‌ترین جانشینی بین ذغال‌سنگ و فرآورده‌های نفتی و کم‌ترین میزان مربوط به فرآورده‌های نفتی و برق است.
شیرانی و همکاران (۱۳۹۳)	گاز طبیعی در صنعت ایران	سری زمانی ساختاری	کشش‌ناپذیری تقاضای گاز طبیعی نسبت به درآمد و قیمت و همچنین، کم‌تر بودن کشش قیمتی در کوتاه‌مدت از بلندمدت. نتیجه برای درآمد برخلاف این است.
شیرانی و خوش اخلاق (۱۳۹۵)	انواع انرژی در صنعت ایران	سری زمانی ساختاری	کشش قیمتی در کوتاه‌مدت کم‌تر از واحد است و در بلندمدت برای برق پایین، و برای سایر حامل‌های انرژی بزرگ‌تر از واحد است. کشش تولیدی در کوتاه‌مدت کم‌تر از واحد و در بلندمدت به‌جز گاز طبیعی کم‌تر از واحد است.

1. Kani *et al*.

همان‌طور که گفته شد، بخش بزرگی از پژوهش‌های تجربی تغییر فناوری را در تابع تقاضای انرژی در نظر نمی‌گیرند و پژوهش‌هایی که به بررسی نقش بهبود فناوری در تقاضا برای انرژی می‌پردازند، گستردگی کم‌تری دارند، اما، به‌ویژه در دهه اخیر، این موضوع مورد توجه قرار گرفته است. در ادامه، پژوهش‌هایی که بر پیشرفت فناوری و اثر آن بر مصرف انرژی تمرکز دارند، بررسی می‌شوند.

تانگ و تان (۲۰۱۳)، از شاخص ثبت اختراع برای سنجش رابطه بین رشد فناوری و انتشار آلایندگی و مصرف انرژی استفاده می‌کنند. ایشان در چارچوب یک الگوی ARDL برای کشور مالزی در دوره ۲۰۰۹-۱۹۷۰ نشان می‌دهند که بهبود فناوری در کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی اثر مثبت دارد. فی و همکاران (۲۰۱۴)، از تعداد فعالیت‌های ثبت اختراع برای کشف رابطه علّی بین نوآوری‌های فناورانه، رشد، و انرژی‌های پاک در نیوزیلند و نروژ در دوره ۲۰۱۰-۱۹۷۱ استفاده می‌کنند. نتایج‌شان بر اساس رویکرد ARDL نشان می‌دهد که نوآوری‌های فناورانه نقشی مهم در گسترش انرژی‌های پاک و رشد اقتصادی دارند. لادو و ملدو (۲۰۱۴)، به بررسی رابطه بلندمدت بین بهره‌وری کل عوامل تولید (TFP)، و مصرف انرژی در ایتالیا از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۸ در سطح منطقه‌ای می‌پردازند. TFP به عنوان شاخصی از تغییرهای فناورانه و از تکنیک تخمین پانل پویا[1] برای بررسی این‌که آیا ارتباط بین پیشرفت فناوری و استفاده از انرژی وجود دارد، استفاده می‌کند. نتایج آن پژوهش نشان می‌دهد که در مناطقی از ایتالیا که TFP بیش‌تری دارند، استفاده از منابع کمیاب کاهش می‌یابد و حمایت از رشد پایدار اتفاق می‌افتد. کن و گزگور (۲۰۱۷)، اثر پیچیدگی اقتصادی بر انتشار دی‌اکسید کربن را در کشور فرانسه مورد بررسی قرار می‌دهند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که اثر پیچیدگی اقتصادی در بلندمدت بر انتشار دی‌اکسید کربن منفی و معنادار است؛ همچنین، مصرف انرژی به عنوان یک متغیر توضیحی دیگر در مدل آن‌ها، سطح انتشار دی‌اکسید کربن را به‌طور معناداری افزایش می‌دهد. جین و همکاران (۲۰۱۸)، رابطه بین مصرف انرژی و نوآوری فناورانه را در چارچوب یک الگوی پانل برای مناطق مختلف چین در دوره ۲۰۱۲-۱۹۹۵ بررسی می‌کنند. ایشان نیز از بهره‌وری عوامل تولید به عنوان معیار فناوری استفاده می‌کنند. نتایج این پژوهش بیان می‌کند که فناوری به افزایش مصرف انرژی در کوتاه‌مدت منجر می‌شود، در حالی که در بلندمدت، یک رابطه مثبت دوطرفه بین مصرف انرژی، رشد اقتصادی، و نوآوری فناوری برقرار است. بنابراین، بهبود فناوری به مصرف بیش‌تر انرژی در مناطق مختلف چین منجر می‌شود.

1. Dynamic Panel

درگاهی و خامنه (۲۰۱۹)، به بررسی عوامل موثر بر شدت انرژی در ایران می‌پردازند. در این پژوهش، در کنار قیمت حقیقی انرژی، درآمد، و سهم بخش صنعت از TFP به منظور بررسی اثر رشد فناوری استفاده می‌شود. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، کشش شدت انرژی نسبت به بهره‌وری کل عوامل تولید، قیمت حقیقی انرژی، و توسعه بخش صنعت در کوتاه‌مدت و بلندمدت منفی است، در حالی که درآمد سرانه بر شدت مصرف انرژی اثر مثبت دارد. عبدلی و ورهرامی (۱۳۸۸)، اثر بهبود فناوری بر شدت مصرف انرژی را در بخش صنعت و کشاورزی مورد بررسی قرار می‌دهند. آن‌ها در چارچوب یک تابع تولید کاب ـ داگلاس در دوره ۱۳۸۶-۱۳۶۵ نشان می‌دهند که میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی با پیشرفت فناوری در بخش صنعت بیش‌تر از کشاورزی است که می‌تواند ناشی از وابستگی بیش‌تر صنعت به فناوری باشد. دهقان‌پور و اسماعیلی (۱۳۹۵)، به بررسی رابطه علّی بین عوامل فناوری کشاورزی و تقاضای انرژی در دوره ۱۳۹۰-۱۳۵۹ می‌پردازند. آن‌ها از تعداد ماشین‌آلات کشاورزی، مصرف کود، سطح زیرکشت آبی برای سنجش فناوری در این بخش استفاده می‌کنند. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده یک رابطه علّی قوی بین مصرف انرژی و فناوری در بخش کشاورزی است، به‌طوری که یک رابطه مثبت و پرکشش بین این دو تایید می‌شود. سلمانی بیشک و همکاران (۱۳۹۶)، اثر سطح فناوری، جمعیت، و رشد اقتصادی را بر مصرف انرژی الکتریکی در ایران در دوره ۱۳۹۱-۱۳۵۲ بررسی می‌کنند. در این پژوهش، تعداد حق اختراع ثبت‌شده به عنوان شاخص رشد فناوری در نظرگرفته می‌شود. نتایج برآورد به روش فازی نشان می‌دهد که رشد فناوری اثر منفی و معنادار بر مصرف انرژی الکتریکی در ایران دارد.

روش‌شناسی پژوهش

همان‌طور که در بخش نظری اشاره شد، تقاضای انرژی در بخش صنعت می‌تواند تابعی از قیمت حقیقی انرژی، ارزش‌افزوده حقیقی صنعت، و سطح فناوری در نظرگرفته شود. مطابق با بیش‌تر پژوهش‌ها، از فرم لگاریتمی تابع تقاضا برای شناسایی کشش‌پذیری تقاضای انرژی در بخش صنعت نسبت به عوامل اثرگذار استفاده می‌شود. از آن‌جا که واکنش تقاضای انرژی با توجه به سطح فناوری می‌تواند متفاوت باشد، از این‌رو، اثر متقاطع پیچیدگی اقتصادی و درآمد حقیقی، در الگو وارد می‌شود. در نظرگرفتن این عبارت به تصریح مناسب‌تر الگو کمک می‌کند. چرا که رشد اقتصادی در حضور فناوری یا بدون استفاده از دانش فنی بالا می‌تواند اثرهای متفاوتی بر مصرف انرژی داشته باشد (Bayat *et al*., 2017)، و در نظرگرفتن عبارت ضرب دو متغیر می‌تواند به شناسایی این اثر کمک کند.

از این‌رو، تابع (۳) مورد برآورد قرار می‌گیرد.

$$LE_t = \beta_0 + \beta_1 Lp_t + \beta_2 Ly_t + \beta_3 Leci_t + \beta_4 (Leci_t \times Ly_t) + \varepsilon_t \quad (۳)$$

که در آن، LE_t نشان‌دهنده لگاریتم مصرف انرژی کل در بخش صنعت، Lp_t لگاریتم شاخص قیمت حقیقی انرژی، Ly_t لگاریتم ارزش‌افزوده بخش صنعت، و $Leci_t$ لگاریتم شاخص پیچیدگی اقتصادی است.

به منظور برآورد این رابطه از داده‌های سالیانه ایران در دوره ۱۳۹۵-۱۳۵۵ استفاده می‌شود. شاخص پیچیدگی اقتصادی از اطلاعات ارائه‌شده توسط پایگاه اطلس دانشگاه امای‌تی[1] گردآوری می‌شود. برای محاسبه کل مصرف انرژی در بخش صنعت، مجموع مصرف نهایی کل حامل‌های انرژی برحسب معادل بشکه نفت از ترازنامه انرژی ایران[2] و همچنین، ارزش‌افزوده بخش صنعت به قیمت ثابت سال ۱۳۸۳ از آمارنامه‌های بانک مرکزی[3] استخراج می‌شود. قیمت حقیقی انرژی همانند پژوهش‌هایی مانند لی و لین[4] (۲۰۱۴)، به صورت نسبت شاخص قیمت اسمی انرژی تقسیم بر سطح عمومی قیمت‌ها محاسبه می‌شود. برای محاسبه شاخص قیمت اسمی انرژی باید سبدی از اصلی‌ترین حامل‌های انرژی در یک سال پایه مشخص شود و هزینه تمام‌شده این سبد بر اساس قیمت سال‌های مختلف محاسبه، و بر هزینه تمام‌شده آن در سال پایه تقسیم شود. از آن‌جا که اصلی‌ترین حامل‌های انرژی در ایران شامل فرآورده‌های نفتی، گاز طبیعی، و برق هستند، شاخص قیمت اسمی انرژی به صورت یک میانگین موزون از این حامل‌ها محاسبه می‌شود، و از آن‌جا که سال پایه در رابطه با متغیرهای دیگر سال ۱۳۸۳ است، پس باید از سبد مصرفی انرژی در این سال برای ساخت شاخص استفاده شود. آمارهای مورد نیاز برای محاسبه شاخص قیمت انرژی از ترازنامه انرژی ایران، آمارنامه مصرف فرآورده‌های نفتی انرژی‌زا مربوط به شرکت ملّی پخش فرآورده‌های نفتی ایران[5]، گزارش تفصیلی صنعت برق ایران[6]، و آمارنامه‌های بانک مرکزی استخراج می‌شوند.

1. www.atlas.media.mit.edu/en/rankings/country/eci/
2. http://pep.moe.gov.ir/getattachment/
3. www.cbi.ir
4. Li & Lin
5. www.niordc.ir
6. Isn.moe.gov.ir

تحلیل تجربی

در این بخش به منظور تحلیل آماری الگوی مورد مطالعه از نرم‌افزار Eviews9 استفاده می‌شود. پیش از تخمین الگو، برای اجتناب از رگرسیون کاذب نیاز است که درجه مانایی متغیرها مورد ارزیابی قرار گیرند. بدین منظور، از آزمون دیکی فولر تعمیم‌یافته[1] (ADF) استفاده می‌شود. در جدول (۲)، نتایج آزمون ایستایی برای لگاریتم متغیرهای مصرف انرژی بخش صنعت (LE)، شاخص پیچیدگی اقتصادی (Leci)، شاخص قیمت انرژی (Lp)، ارزش‌افزوده حقیقی صنعت (Ly)، و تفاضل مرتبه اول آن‌ها ارائه می‌شود.

جدول ۲: نتایج آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم‌یافته

نام متغیر	آماره آزمون برای سطح متغیرها	آماره آزمون برای تفاضل مرتبه اول متغیرها
LE	۰/۰۵	-۵/۶۴
Leci	-۲/۱۸	-۷/۰۳
Lp	-۱/۷۶	-۵/۶۶
Ly	۰/۲۰	-۵/۵۹
مقدار بحرانی در سطح ۹۵ درصد: ۲/۹۴-		

همان‌طور که در جدول (۲) ملاحظه می‌شود، با توجه به کوچک‌تر بودن قدر مطلق آماره آزمون برای سطح متغیرها از مقدار بحرانی، فرضیهٔ صفر مبنی بر وجود ریشه واحد رد نمی‌شود، بنابراین کلیه متغیرها در سطح نامانا هستند. به همین دلیل، آزمون ریشه واحد بر تفاضل مرتبه اول متغیرها نیز انجام می‌شود. نتایج این آزمون نشان می‌دهد که فرضیه صفر مبنی بر وجود ریشه واحد برای تفاضل مرتبه اول متغیرها در سطح اطمینان ۹۵ درصد رد می‌شود، بنابراین تفاضل مرتبه اول کلیه متغیرها مانا‌ست. از این‌رو، متغیرهای مورد بررسی جمعی از درجه اول I(۱) هستند. در نتیجه، لازم است از وجود رابطه هم‌تجمعی بین متغیرها اطمینان حاصل شود. بدین منظور، از آزمون یوهانسون یوسیلیوس استفاده می‌شود. نتایج این آزمون در جداول (۳) و (۴) بیان می‌شوند.

1. Augmented Dicky Fuller

جدول ۳: نتایج آزمون اثر

سطح عدم‌اطمینان	مقدار بحرانی	آماره آزمون	فرضیه صفر
۰/۰۰۰	۸۸/۸۰	۱۱۲/۰۷	$r = 0$
۰/۰۳۱	۶۳/۸۷	۶۶/۱۶	$r \leq 1$
۰/۱۰۱	۴۲/۹۲	۳۹/۷۷	$r \leq 2$

مقادیر بحرانی در سطح ۹۵ درصد محاسبه شده است.

جدول ۴: نتایج آزمون بیشینهٔ مقدار ویژه

سطح عدم‌اطمینان	مقدار بحرانی	آماره آزمون	فرضیه صفر
۰/۰۰۵	۳۸/۳۳	۴۵/۹۰	$r = 0$
۰/۲۱۲	۳۲/۱۱	۲۶/۳۹	$r \leq 1$
۰/۳۲۵	۲۱/۳۸	۱۳/۱۹	$r \leq 2$

مقادیر بحرانی در سطح ۹۵ درصد محاسبه شده است.

بر اساس آزمون اثر در سطح اطمینان ۹۵ درصد، وجود دست‌کم دو بردار هم‌تجمعی و بر اساس آزمون بیشینهٔ مقدار ویژه، وجود یک بردار هم‌تجمعی در رابطه بین متغیرهای الگو، تایید می‌شود. با تایید وجود رابطه هم‌تجمعی بین متغیرها، می‌توان از فقدان رگرسیون کاذب و وجود ارتباط حقیقی بین متغیرهای الگو اطمینان حاصل نمود. با توجه به تایید وجود ارتباط بین متغیرها، اثرگذاری متغیرهای توضیحی بر مصرف انرژی در بخش صنعت توسط برآورد معادله (۳) صورت می‌پذیرد. نتایج حاصل از تخمین الگو در جدول (۵) ارائه می‌شود.

جدول ۵: نتایج تخمین معادله مصرف انرژی در بخش صنعت

متغیر	ضرایب برآوردشده	آماره t
عرض از مبدا	-۷/۰۲***	-۱۱/۳۱
Lp	-۰/۰۸	-۰/۵۴
Ly	۰/۷۶***	۱۶/۲۳
Leci	۱/۸۹*	۱/۹۳
Leci*Ly	-۰/۳۴**	-۲/۰۱
R^2	۰/۹۷	
F-Statistic	۲۶۲/۱۱	
Prob (F-Statistic)	۰/۰۰۰	

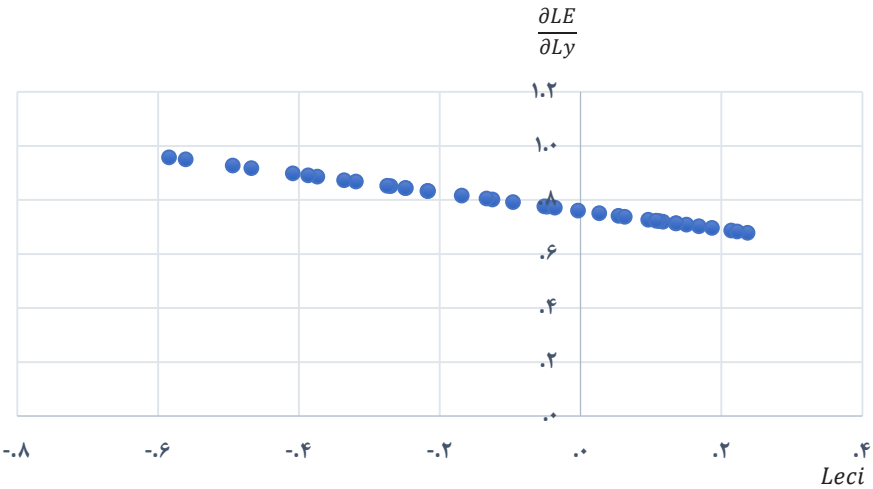
*** معناداری ضریب در سطح ۹۹ درصد، ** معناداری ضریب در سطح ۹۵ درصد،
* معناداری ضریب در سطح ۹۰ درصد

در جدول (۵)، ملاحظه می‌شود که بر اساس ضریب تعیین، متغیرهای توضیحی می‌توانند ۹۷ درصد از تغییرهای متغیر وابسته را توضیح دهند. بر اساس آماره F، مدل برآوردشده در سطح ۹۹ درصد معنادار است و مناسب بودن کل الگو مورد تایید قرار می‌گیرد. همچنین، کلیه ضرایب به‌جز شاخص قیمت نیز از معناداری قابل‌قبولی برخوردار هستند. معنادار نبودن ضریب شاخص قیمت نشان می‌دهد که تقاضای انرژی در بخش صنعت نسبت به این متغیر واکنش معناداری نشان نمی‌دهد. سایر پژوهش‌های انجام‌شده در ایران نیز نتایج مشابهی برای شاخص قیمت به‌دست می‌آورند که حاکی از واکنش نداشتن به قیمت یا کشش‌پذیری بسیار پایین آن است. می‌توان گفت که اختصاص یارانه به حامل‌های انرژی در ایران و در نتیجه، پایین بودن قیمت آن در سال‌های متمادی، سبب می‌شود که تقاضاکنندگان بخش صنعت واکنش چندانی به تغییرهای این متغیر نشان ندهند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، ضریب لگاریتم ارزش‌افزوده صنعت (ly)، برابر با ۰/۷۶ برآورد می‌شود. از آن‌جا که الگو به صورت لگاریتمی در نظرگرفته می‌شود، این ضریب کشش‌پذیری تابع تقاضای انرژی را در بخش صنعت نسبت به ارزش‌افزوده آن نشان می‌دهد. مقدار به‌دست‌آمده ضریب مورد نظر نشان می‌دهد که کشش درآمدی تقاضای انرژی در این بخش کم‌تر از واحد است. این نتیجه، با نتایج صدرزاده مقدم و همکاران (۱۳۹۲)، و شیرانی و همکاران (۱۳۹۳) مطابقت دارد.

ضریب به‌دست‌آمده از متغیر پیچیدگی اقتصادی مثبت است و در سطح ۹۰ درصد معنادار است. اگرچه در نگاه اول به نظر می‌رسد که رشد فناوری باید اثر کاهنده بر مصرف انرژی داشته باشد، اما همان‌طور که در بخش مبانی نظری گفته شد، این اثر می‌تواند به دلیل وجود آثار بازگشتی مثبت شود. در واقع، مثبت بودن این ضریب نشان می‌دهد که رشد فناوری به افزایش بیش‌تر تولید در بخش صنعت منجر می‌شود و در نتیجه، مصرف انرژی را در این بخش افزایش می‌دهد. از سوی دیگر، در پژوهش حاضر از شاخص پیچیدگی اقتصادی استفاده می‌شود و افزایش پیچیدگی اقتصادی به معنای تغییر در ساختار اقتصاد و متنوع شدن تولید از کالاهای اولیه و کشاورزی به کالاهای صنعتی و پیچیده‌تر است (Neagu & Teodoru, 2019). رشد این شاخص منعکس‌کننده میزان دانش و فناوری بکار رفته در تولید یک کشور است. محصولاتی که نیازمند سطح بالای دانش هستند، به‌طور معمول در بخش صنعت تولید می‌شوند. از این‌رو، افزایش شاخص پیچیدگی اقتصادی می‌تواند نشان‌دهنده انتقال تولید به بخش‌های دارای دانش فنی بالاتر نظیر صنعت باشد که این مسئله به افزایش مصرف انرژی در این بخش منجر می‌شود. برای بررسی اثر غیرمستقیم پیچیدگی اقتصادی، از کانال تغییر ضریب ارزش‌افزوده از ضریب متقاطع پیچیدگی اقتصادی با ارزش‌افزوده بخش صنعت استفاده می‌شود. منطبق بر نتایج، مقدار این ضریب منفی است و در سطح ۹۵ درصد معنادار است. علامت این ضریب نشان می‌دهد که رشد ارزش‌افزوده بخش صنعت، اگر همراه با فناوری بالاتر باشد، می‌تواند به افزایش کم‌تری در مصرف انرژی منجر شود. تفسیر دقیق این ضریب را می‌توان با مشتق‌گیری از مصرف انرژی نسبت به درآمد ارائه نمود. با توجه به معادله (۳)، و ضرایب به‌دست‌آمده در جدول (۵)، می‌توان نشان داد که ضریب نهایی ارزش‌افزوده از رابطه (۴) به‌دست می‌آید.

$$\frac{\partial LE}{\partial Ly} = \beta_1 + \beta_4 Leci_t \rightarrow \frac{\partial LE}{\partial Ly} = 0.76 - 0.34 Leci_t \qquad (۴)$$

این رابطه در نمودار (۲) ترسیم شده است. ضریب نهایی درآمد با افزایش سطح پیچیدگی اقتصادی کاهش می‌یابد. یعنی در سطوح بالاتر فناوری، رشد ارزش‌افزوده، مصرف انرژی را کم‌تر افزایش می‌دهد. با توجه به این نتیجه، پیچیدگی اقتصادی از کانال کاهش ضریب ارزش‌افزوده به‌طور غیرمستقیم می‌تواند بر مصرف انرژی در بخش صنعت اثرگذار باشد.



نمودار ۲: رابطه ضریب ارزش‌افزوده با شاخص پیچیدگی اقتصادی

در انتها، برای اطمینان از مناسب بودن الگوی برآوردشده از نظر آماری، لازم است فروض کلاسیک رگرسیون در مورد آن ارزیابی شوند. در جدول (۶)، نتایج این آزمون‌ها ارائه می‌شود.

جدول ۶: فروض کلاسیک رگرسیون

فرضیه مورد آزمون	نوع آزمون	آماره آزمون	prob
نرمال بودن جمله‌های پسماند	Jarque-Bera	۰/۷۳	۰/۶۹
نبود خودهمبستگی	F-statistic	۱/۶۰	۰/۲۱
	Obs*R-squared	۳/۴۹	۰/۱۸
نبود واریانس ناهمسانی	F-statistic	۰/۶۷	۰/۶۱
	Obs*R-squared	۲/۸۷	۰/۵۷
	Scaled explained SS	۱/۴۴	۰/۸۳

بر اساس نتایج جدول (۶)، فروض کلاسیک رگرسیون برای الگوی برآوردشده برقرار است. بنابراین، می‌توان به نتایج حاصل از برآورد اعتماد کرد.

بحث و نتیجه‌گیری

شاخص پیچیدگی اقتصادی یکی از جدیدترین شاخص‌های مطرح‌شده برای اندازه‌گیری سطح فناوری و دانش فنی بکار رفته در تولید کشورهاست که می‌تواند معیار مناسبی برای سنجش پیشرفت فناوری در یک کشور باشد. پژوهش حاضر با استفاده از داده‌های اقتصاد ایران در دوره ۱۳۹۵-۱۳۵۵ اثر پیچیدگی اقتصادی را بر مصرف انرژی در بخش صنعت برآورد می‌کند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که کشش‌پذیری مصرف انرژی نسبت به ارزش‌افزوده مثبت و کوچک‌تر از یک است. همچنین، یافته‌های ما مانند بیش‌تر پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه اقتصاد انرژی در ایران (آذربایجانی و همکاران، ۱۳۸۶؛ صدرزاده مقدم و همکاران، ۱۳۹۲؛ عزیزی، ۱۳۹۷)، تاییدکننده کارایی اندک سیاست‌های قیمتی برای کاهش مصرف انرژی است. از طرفی، افزایش پیچیدگی اقتصاد نیز در بخش صنعت در دوره مورد بررسی نمی‌تواند به کاهش مصرف انرژی منجر شود و به نظر می‌رسد که آثار بازگشتی فناوری می‌تواند بر بهبود ناشی از افزایش کارایی انرژی غلبه کند و در نهایت، مصرف انرژی را در این بخش افزایش دهد. از سوی دیگر، پیچیدگی بیش‌تر اقتصادی می‌تواند نشان‌دهنده انتقال تولید به بخش‌های دارای دانش فنی بالاتر نظیر صنعت باشد. همچنین، یکی از ویژگی‌های این شاخص در نظرگرفتن تغییر در ساختار تولید و حرکت از اقتصاد سنتی مبتنی بر کشاورزی و صادرات مواد خام به اقتصاد صنعتی است، که این مسئله به افزایش مصرف انرژی در این بخش منجر می‌شود. اثرهای متقاطع این شاخص بر ضریب ارزش‌افزوده نشان می‌دهد که هرچه بر میزان فناوری افزوده گردد، افزایش تولید می‌تواند مصرف انرژی را کم‌تر از پیش افزایش دهد که از این منظر، نتایج مثبتی بر مصرف انرژی در این بخش به دنبال دارد. این نتیجه، یکی از یافته‌های مهم به‌شمار می‌رود، چرا که با در نظرگرفتن شاخص پیچیدگی اقتصادی، انتقال و تغییر ساختار تولید را در الگوی مصرف انرژی بخش صنعت لحاظ می‌کند و با در نظرگرفتن اثر تعاملی آن با رشد تولید، می‌تواند تغییر کشش‌پذیری مصرف انرژی این بخش را نسبت به تولید، مبتنی بر سطح پیچیدگی اقتصادی، بررسی کند.

شناخت عوامل اثرگذار بر مصرف انرژی و همچنین، شناسایی دقیق‌تر ضرایب اثرگذاری آن‌ها می‌تواند سیاستگذاران را برای برنامه‌ریزی مناسب‌تر آماده کند. طبق نتایج این پژوهش، پیچیدگی اقتصادی در بخش صنعت به مصرف بیش‌تر انرژی منجر می‌شود. با توجه به حرکت کشور {ایران} به سمت توسعه فناوری، نیاز بخش صنعت به انرژی در سال‌های پیشارو افزایش خواهد یافت. از این‌رو،

نیاز است که سیاستگذاران برای تامین نیازهای این بخش برنامه‌ریزی لازم را اتخاذ نمایند. با توجه به محدودیت‌های موجود در استفاده از انرژی‌های فسیلی که عوارضی همچون آلایندگی محیط‌زیست و تخلیه منابع را به دنبال دارد، باید برای توسعه انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر سرمایه‌گذاری‌های لازم صورت پذیرد و به منظور کاهش مصرف انرژی، از سیاست‌های افزایش‌دهنده کارایی انرژی یا جلوگیری از هدررفت آن، به‌ویژه در سایر بخش‌های اقتصادی، استفاده شود.

این پژوهش از اولین پژوهش‌هایی است که در حوزه اثرگذاری پیچیدگی بر مصرف انرژی انجام می‌شود. با توجه به این‌که پیچیدگی اقتصادی سبب تغییر در ساختار تولید و توزیع آن میان بخش‌های مختلف اقتصادی می‌شود، می‌توان در پژوهش‌های بعدی بر تغییر مصرف انرژی در سایر بخش‌های اقتصادی متمرکز شد.

منابع

الف) فارسی

آذربایجانی، کریم؛ شریفی، علیمراد، و شجاعی، عبدالناصر (۱۳۸۶). تخمین تابع تقاضای گاز طبیعی در بخش صنعت کشور. *مجله توسعه و سرمایه*، ۱(۱)، ۷۰-۴۷.

حیدری، ابراهیم، و صادقی، حسین (۱۳۸۴). تخمین کارایی انرژی در بخش صنعت ایران در قالب تابع تقاضای تعدیل جزئی. *مجله تحقیقات اقتصادی*، ۱(۶۸)، ۲۰۰-۱۷۹.

دهقان‌پور، حامد، و اسماعیلی، عبدالکریم (۱۳۹۵). بررسی رابطه بین تکنولوژی کشاورزی و تقاضای انرژی در ایران. *تحقیقات اقتصاد کشاورزی*، ۸(۱)، ۴۹-۳۵.

سلمانی بیشک، محمدرضا؛ شکری، مصطفی، و عابدزاده، کاظم (۱۳۹۶). بررسی عوامل اقتصادی موثر بر انتشار گاز دی‌اکسید کربن در ایران. *نشریه انرژی ایران*، ۲۰(۱)، ۷۴-۵۵.

شیرانی فخر، زهره، و خوش‌اخلاق، رحمان (۱۳۹۵). برآورد تابع تقاضای انرژی در زیربخش‌های صنعت ایران برای اقلیم‌های گوناگون. *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، ۵(۲۰)، ۱۸۵-۱۱۵.

شیرانی فخر، زهره؛ خوش‌اخلاق، رحمان، و شریفی، علیمراد (۱۳۹۳). تخمین تابع تقاضای گاز طبیعی بخش صنعت ایران با استفاده از مدل سری زمانی ساختاری. *مطالعات اقتصادی کاربردی ایران*، ۳(۱۱)، ۱۵۷-۱۲۹.

صادقی، زین‌العابدین؛ عباسی، فاطمه، و ایرانی‌کرمانی، فاطمه (۱۳۹۳). بررسی اثرات واقعی کردن قیمت حامل‌های انرژی بر جانشینی درون‌عاملی و درون‌سوختی در ایران. *فصلنامه برنامه‌ریزی و بودجه*، ۹(۴)، ۸۵-۶۵.

صدرزاده مقدم، سعید؛ صادقی، زین‌العابدین، و قدس الهی، احمد (۱۳۹۲). تخمین تابع تقاضای انرژی و کشش قیمتی و جانشینی نهاده‌ها در بخش صنعت: رگرسیون معادلات به‌ظاهر نامرتبط SUR. *فصلنامه اقتصاد محیط‌زیست و انرژی*، ۲(۶)، ۱۲۷- ۱۰۷.

عبدلی، قهرمان، و ورهرامی، ویدا (۱۳۸۸). بررسی اثر پیشرفت تکنولوژی بر صرفه‌جویی مصرف انرژی در بخش صنعت و کشاورزی با استفاده از تابع کاب-داگلاس. *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، ۶(۲۳)، ۴۱-۲۳.

عزیزی، زهرا (۱۳۹۷). پویایی‌های نامتقارن تقاضای انرژی در ایران: با توجه به دوران رونق و رکود اقتصادی. *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، ۷(۲۸)، ۱۳۲-۱۰۵.

محمودزاده، محمود؛ صادقی، سمیه؛ صادقی، ثریا، و حمیدی افرا، فاطمه (۱۳۹۰). اثر حذف یارانه انرژی برق بر شدت انرژی آن در صنایع تولیدی ایران. *فصلنامه برنامه‌ریزی و بودجه*، ۱۶(۴)، ۱۲۷-۱۱۳.

ب) انگلیسی

Acs, Z. J., Anselin, L., & Varga, A. (2002). Patents and Innovation Counts as Measures of Regional Production of New Knowledge. *Research Policy*, 31(7), 1069-1085.

Ang, J. B. (2009). CO2 Emissions, Research and Technology Transfer in China. *Ecological Economics*, 68(10), 2658-2665.

Basu, S., & Fernald, J. (2007). Information and Communications Technology as a General-Purpose Technology: Evidence from US Industry Data. *German Economic Review*, 8(2), 146-173.

Bayat, T., Kayhan, S., & Senturk, M. (2017). Is There Any Asymmetry in Causality between Economic Growth and Energy Consumption? *Journal of Economic Cooperation & Development*, 38(4), 77-93.

Bhattacharyya, S. C. (2011). Energy Economics: Concepts, Issues, Markets and Governance: Springer.

Can, M., & Gozgor, G. (2017). The Impact of Economic Complexity on Carbon Emissions: Evidence from France. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(19), 16364-16370.

Cohen, W. M., & Klepper, S. (1991). *Firm Size versus Diversity in the Achievement of Technological* in Z.J. Acs and D.B. Audretsch (eds) Innovation and Technological Change: An International Comparison, Ann Arbor, MI: University of Michigan Press, 183-203.

Crafts, N. (2003). Quantifying the Contribution of Technological Change to Economic Growth in Different Eras: A Review of the Evidence. *Economic History Working Papers*, 22350.

Dargahi, H., & Khameneh, K. B. (2019). Energy Intensity Determinants in an Energy-Exporting Developing Economy: Case of Iran. *Energy*, 168(1), 1031-1044.

Farid Ghaderi, S., Azadeh, M., & Mohammadzadeh, S. (2006). Electricity Demand Function for the Industries of Iran. *Information Technology Journal*, 5(3), 401-404.

Fei, Q., Rasiah, R., & Shen, L. J. (2014). The Clean Energy-Growth Nexus with CO2 Emissions and Technological Innovation in Norway and New Zealand. *Energy & Environment*, 25(8), 1323-1344.

Griliches, Z. (1998). Patent Statistics as Economic Indicators: A Survey R&D and Productivity: *The Econometric Evidenc*e (287-343): University of Chicago Press.

Hausmann, R., Hidalgo, C. A., Bustos, S., Coscia, M., Simoes, A., & Yildirim, M. A. (2014). *The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity*: MIT Press.

Hidalgo, C. A., & Hausmann, R. (2009). The Building Blocks of Economic Complexity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(26), 10570-10575.

Irandoust, M. (2016). The Renewable Energy-Growth Nexus with Carbon Emissions and Technological Innovation: Evidence from the Nordic countries. *Ecological Indicators*, 69 (1), 118-125.

Jacobsen, H. K. (2001). Technological Progress and Long-Term Energy Demand-A Survey of Recent Approaches and a Danish Case. *Energy Policy*, 29(2), 147-157.

Jevons, W. S. (1866). The Coal Question; An Inquiry Concerning the Progress of the Nation, and the Probable Exhaustion of our Coal-Mines. *Fortnightly*, 6(34), 505-507.

Jin, L., Duan, K., & Tang, X. (2018). What is the Relationship between Technological Innovation and Energy Consumption? Empirical Analysis Based on Provincial Panel Data from China. *Sustainability*, 10(1), 145-158.

Kani, A., Abbaspour, M., & Abedi, Z. (2013). Estimation of Natural Gas Demand in Industry Sector of Iran: A Nonlinear Approach. *International Journal of Economics and Finance*, 5(9), 148-155.

Keller, W. (2002). Geographic Localization of International Technology Diffusion. *American Economic Review*, 92(1), 120-142.

Khan, A., & Ahmed, U. (2009). *Energy Demand in Pakistan: A Disaggregate Analysis*, Pakistan Institute of Development Economics, Islamabad.

Komen, M. H., Gerking, S., & Folmer, H. (1997). Income and Environmental R&D: Empirical Evidence from OECD Countries. *Environment and Development Economics*, 2(4), 505-515.

Ladu, M. G., & Meleddu, M. (2014). Is There Any Relationship between Energy and TFP (Total Factor Productivity)? A Panel Cointegration Approach for Italian Regions. *Energy*, 75(1), 560-567.

Li, K., & Lin, B. (2014). The Nonlinear Impacts of Industrial Structure on China's Energy Intensity. *Energy*, 69(1), 258-265.

Lin, B., & Du, K. (2015). Measuring Energy Rebound Effect in the Chinese Economy: An Economic Accounting Approach. *Energy Economics*, 50(1), 96-104.

Ma, H., Oxley, L., & Gibson, J. (2009). Substitution Possibilities and Determinants of Energy Intensity for China. *Energy Policy*, 37(5), 1793-1804.

Neagu, O., & Teodoru, M. C. (2019). The Relationship between Economic Complexity, Energy Consumption Structure and Greenhouse Gas Emission: Heterogeneous Panel Evidence from the EU Countries. *Sustainability*, 11(2), 497-526.

Sweet, C. M., & Maggio, D. S. E. (2015). Do Stronger Intellectual Property Rights Increase Innovation? *World Development*, 66(1), 665-677.

Tang, C. F., & Tan, E. C. (2013). Exploring the Nexus of Electricity Consumption,

Economic Growth, Energy Prices and Technology Innovation in Malaysia. *Applied Energy*, 104(1), 297-305.
Weixian, W., & Fang, Y. (2010). Impact of Technology Advance on Carbon Dioxide Emission in China [J]. *Statistical Research*, 7(7), 36-44.
Yuan, C., Liu, S., & Wu, J. (2009). Research on Energy-Saving Effect of Technological Progress Based on Cobb–Douglas Production Function. *Energy Policy*, 37(8), 2842-2846.