فصلنامه علمی پژوهش‌های اقتصاد صنعتی
سال چهارم، شماره سیزدهم، پاییز ۱۳۹۹ (۶۰-۴۷)
مقاله پژوهشی

Quarterly Journal of Industrial Economics Researches
Vol. 4, No. 13, October 2020 (47-60)

ارزیابی تأثیر عوامل قیمتی، درآمدی و کارایی بر شدت انرژی در صنعت برق ایران: کاربرد مدل SVAR در نیروگاه‌های حرارتی

***محمد صیادی[۱]، سیاب ممی‌پور[۲]، مریم چراغی[۳]**
۱. استادیار دانشکده اقتصاد، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
۲. دانشیار دانشکده اقتصاد، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
۳.کارشناس ارشد اقتصاد انرژی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
(دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۳ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۳)

Investigating the Impacts of Price, Income and Efficiency Factors on Energy intensity of Iran's Power Sector: Application of SVAR Model for Thermal Power Plants

***Mihammad Sayadi[1], Siab Mamipour[2], Maryam Cheraghi[3]**
1. Assistance Professor, Faculty of Economics, Kharazmi Uniersity, Tehran, Iran
2. Associate Professor, Faculty of Economics, Kharazmi Uniersity, Tehran, Iran
3. M.A. in Energy Economics, Kharazmi University, Tehran, Iran
(**Received:** 23/Dec/2020 **Accepted:** 22/Jan/2021)

چکیده:
هدف اصلی این پـژوهش، بررسـی نحـوه تـأثیر عوامـل قیمتـی، رانـدمان و درآمدی مؤثر بر شدت انرژی نیروگاه‌های حرارتی تولید برق در کشور اسـت. برای این منظور اثر راندمان (کارایی) نیروگاه‌ها، درآمد حاصل از فروش بـرق نیروگاه‌ها و قیمت سوخت‌های مصرفی بر روی شـدت انـرژی نیروگـاه‌هـای حرارتی در دوره زمانی ۱۳۹۷-۱۳۶۵ با استفاده از روش خود توضیح بـرداری ساختاری (SVAR) و رویکرد بلانچارد- کوآ مـورد بررسـی قـرار گرفـت. یافته‌های پژوهش بر اساس توابع ضربه- واکنش نشـان مـی‌دهـد، واکـنش متغیر شدت انرژی نیروگاه‌ها به یک تکانه افزایشی به انـدازه انحـراف معیـار وارد بر راندمان، منفی است. این یافته، انتظار تئوریکی اثر کاهنده راندمان بر شدت انرژی را برآورده می‌کند. همچنین، به دنبـال یـک تکانـه دائمـی وارد شده بر درآمد نیروگاه‌ها، شدت انرژی در نیروگاه‌ها کاهش می‌یابد. این یافته از این منظر که در بلندمدت با افـزایش درآمـد بنگـاه، تمایـل بـرای بهبـود فناوری مورد استفاده افزایش یافته و تقاضا بـرای انـرژی کـاهش مـی‌یابـد، مطابق انتظارات تئوریکی است. علاوه بر این، به دنبال یک تکانه وارد شـده به قیمت انرژی (سوخت نیروگاه‌ها)، واکنش متغیر شدت انرژی در نیروگاه‌هـا کاهشی است که این یافته با انتظار تئـوریکی مبتنـی بـر اینکـه بـا افـزایش قیمت انرژی، انگیزه‌ای وجود دارد که دارندگان سـرمایه‌هـای انـرژی بـر بـه افزایش کارایی و کاهش شدت انرژی متمایل شوند منطبق است. بر اسـاس یافته‌های تحقیق، بهبود راندمان نیروگاه‌هـا از طریـق تبـدیل نیروگـاه‌هـای گازی به چرخه ترکیبی، استفاده از فناوری‌های جدید و واقعی کـردن قیمـت سوخت توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: شدت انرژی، صنعت برق، راندمان، روش خود توضیح برداری ساختاری.
طبقه‌بندی JEL: L94، Q41.

Abstract:
The main purpose of this study is to investigate the impacts of price, efficiency and income factors on energy intensity of Iran's thermal power plants. To meet this end, while using SVAR method and Blanchard-Quah approach, the impacts of power plants efficiency, revenue from power sales and the fuel price on energy intensity of thermal power plants was investigated for the e period 1986-2018. The results based on Impulse-Response analysis show that the response of energy intensity of power plants to an incremental impulse on efficiency is negative. This finding is consistent with the theoretical expectation of a reducing effect of efficiciency improvement on energy intensity. Moreover, energy intensity in power plants decreases following an incremental impulse in power plant revenues. This finding is in line with the theoretical expectation that in the long run, with increasing firm revenue, they tend to use energy saving technology which leads to reduce energy consumption. In addition, an impulse to energy prices (fuels prices), result in a decrease in energy intensity, which is in line with the theoretical expectation that with rising energy prices, there is an incentive to increase efficiency as well as decrease the energy intensity. Based on findings, it is recommended to improve the efficiency of power plants by converting gas power plants into combined cycle, using new technologies and removing fuel price subsidies.

Keyword: Energy Intensity, Power Industry, Efficiency, SVAR.
JEL: L94, Q41.

* **نویسنده مسئول:** محمد صیادی
E-mail: m.sayadi@khu.ac.ir

*Corresponding Author: Mohammad Sayadi

۱- مقدمه

امروزه انرژی الکتریکی به‌عنوان یکی از پرکاربردترین انواع انرژی، نقشی حیاتی در تأمین امنیت انرژی جوامع مختلف ایفا می‌کند. صنعت برق به عنوان یکی از مهم‌ترین صنایع زیربنایی و اصلی، نقش اساسی و بنیادینی در ایجاد زیرساخت‌های توسعه ایفا می‌کند و از این ره‌گذر، بسترهای لازم را برای پویایی و رشد کشور در زمینه‌های گوناگون اقتصادی، صنعتی، فرهنگی و اجتماعی فراهم می‌سازد. از این رو، یکی از نیازهای مبرم و دغدغه های مهم بیشتر کشورهای صنعتی جهان در دو دهه اخیر، بهینه‌سازی این صنعت، افزایش کارآیی و پیش‌بینی ظرفیت‌های لازم برای پاسخگویی به تقاضای روزافزون انرژی الکتریکی بوده است. علاوه بر این در کشور ما با توجه به نیاز روزافزون به منابع انرژی و کم شدن منابع انرژی فسیلی، ضرورت سالم نگهداشتن محیط‌زیست، کاهش آلودگی هوا، محدودیت‌های برق‌رسانی و تأمین سوخت برای نقاط و روستاهای دورافتاده و استفاده بهینه از الکتریسیته از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

تجزیه شدت انرژی معیار مفیدی را برای درک و تحلیل وضعیت مصرف انرژی در بخش‌های مختلف فراهم می‌کند. تا با شناسایی عوامل مؤثر بر میزان شدت انرژی، سازوکارهای کاهش شدت انرژی را مشخص سازد لطفی و همکاران (۱۳۹۷). بنابراین آنچه باید مورد بررسی قرار گیرد وضعیت مصرف و شدت انرژی در بخش‌هایی است که تقاضاکننده اصلی انرژی هستند و پتانسیل‌های لازم را برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی دارند. در میان صنایع مختلف صنعت برق به خاطر نقش زیر بنایی و ارتباط پسین و پیشین زیادی که با سایر صنایع و عوامل مؤثر بر رشد اقتصادی دارد صنعتی پویا و تأثیرگذار هست و با توجه به فراگیری گسترده‌ی انرژی برق می‌توان آن را به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل بسترساز توسعه اقتصادی کشور محسوب کرد (حیدری و صادقی، ۱۳۹۸).

در حقیقت عرضه برق کافی را می‌توان پیش‌نیاز هر اقدام توسعه‌ای قلمداد نمود. با توجه به نوسانات مصرف انرژی در فعالیت‌های تولیدی و صنعتی و اهمیت توجه به کارایی انرژی و مصرف بهینه آن، بررسی شدت انرژی به‌عنوان شاخص منعکس‌کننده مصرف بهینه بسیار مهم است و مشخص می‌کند که تغییرات شدت انرژی در بخش تولیدی صنعت برق (نیروگاه‌ها)، در یک دوره مشخص تحت تأثیر چه عواملی قرار دارد. به‌رغم اینکه در خصوص تجزیه شدت انرژی در سایر بخش‌های مطالعات نسبتاً زیادی صورت گرفته است، اما در خصوص تجزیه شدت انرژی در نیروگاه‌های کشور به عوامل مختلف، مطالعه‌ای صورت نگرفته است. این در حالی است که به دلیل نقش پیشران و مکملی این صنعت در حرکت سایر صنایع، بهبود در عملکرد این بخش می‌تواند از اهمیت خاصی برخوردار باشد. در ادبیات اقتصادی نشان داده شده است که تغییرات شدت انرژی به سه عامل تقسیم می‌شود: تغییر تقاضا ناشی از قیمت، تغییر تقاضا ناشی از درآمد و بهبود کارایی انرژی (آذر و دولت‌آبادی، ۱۹۹۹). با توجه به اهمیت بررسی عوامل تعیین کننده و مؤثر بر شدت انرژی در اقتصاد ایران به ویژه در راستای سیاست اصلاح قیمت حامل‌های انرژی، سؤال اصلی این تحقیق آن است که سهم عوامل قیمتی، درآمدی و کارایی بر شدت انرژی در صنعت برق ایران (نیروگاه‌های حرارتی) به چه صورت است؟

در همین راستا هدف اصلی این پژوهش، تجزیه عوامل قیمتی، درآمدی و کارایی مؤثر بر شدت انرژی نیروگاه های حرارتی در ایران با استفاده از رویکرد خودتوضیحی برداری ساختاری[1] (رویکرد بلانچارد- کوآ)[2] است. برای این منظور، کارایی فنی نیروگاه‌ها، درآمد حاصل از فروش برق نیروگاه‌ها و قیمت سوخت‌های مصرفی بر روی شدت انرژی نیروگاه‌های حرارتی در دوره زمانی ۱۳۹۷-۱۳۶۵ در نظر گرفته شده است.

مقاله حاضر بدین صورت سازماندهی شده است که پس از مقدمه، در بخش دوم به مبانی نظری پژوهش پرداخته می‌شود. در بخش سوم مروری بر مطالعات پیشین و شواهد تجربی پژوهش انجام می‌شود. بخش چهارم به تبیین روش‌شناسی پژوهش اختصاص دارد. بخش پنجم به تجزیه‌وتحلیل نتایج می‌پردازد. درنهایت در بخش ششم جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ارائه می‌شود.

۲- مبانی نظری و حقایق آشکار شده

۲-۱- تجزیه ساختاری شدت انرژی

شدت انرژی شاخصی برای تعیین کارایی انرژی در سطح اقتصاد ملی هر کشور است که از تقسیم مصرف نهایی انرژی (و یا عرضه انرژی اولیه) بر تولید ناخالص داخلی محاسبه می‌گردد و نشان می‌دهد که برای تولید مقدار معینی از کالاها و خدمات (برحسب واحد پول) چه مقدار انرژی به‌کاررفته است (ترازنامه انرژی، ۱۳۹۲). شدت انرژی در سطح یک صنعت یا یک فرآیند تولیدی خاص برحسب واحدهای فیزیکی محاسبه می‌شود. مقدار فیزیکی شدت انرژی حاصل تقسیم میزان انرژی

1. Structural Vector Auto Regressive (SVAR)
2. Blanchard and Quah

مصرف‌شده به محصول تولیدشده است. شدت انرژی می‌تواند متأثر از سطح استانداردهای زندگی، عوامل آب و هوایی یا ساختار اقتصادی و صنعتی یک کشور باشد.

با توجه به رابطه شدت انرژی، تغییرات در شدت انرژی، از دو زاویه سطح مصرف انرژی و همچنین سطح تولید متأثر است (رشیدی زاده و جهانگرد،۱۳۹۰). آنچه بر مقدار مصرف انرژی و در نهایت شدت انرژی اثرگذار است را می‌توان به عواملی همچون تکنولوژی تولید، قیمت و سطح مصرف نهاده‌های تولید و سطح تولید تفکیک نمود (ژا و همکاران[1]، ۲۰۱۲).

بطور کلی در چند دهه گذشته برای بررسی عوامل موثر بر تقاضای مصرف انرژی از دو رویکرد متفاوت استفاده شده است. نخست، تحلیل تجزیه ساختاری[2] و دیگری تحلیل تجزیه شاخص[3] می باشد. بنابر هدف پژوهش، روش تحلیل تجزیه ساختاری در این پژوهش مدنظر است. بر این اساس فرض می‌شود شدت انرژی تحت تأثیر متغیرهای مختلفی قرار دارد. فیشر- وندن[4] و همکاران (۲۰۰۴) برای تشخیص عوامل مؤثر بر شدت انرژی فرض کرده‌اند که هدف کلی اقتصاد و بنگاه‌ها، حداقل‌سازی تابع هزینه کل با فرم کاب- داگلاس به‌صورت رابطه زیر می‌باشد:

(۱)

$$c\left(P_K,P_L,P_E,P_M,Q\right)=A^{-1}P_K^{\alpha K}P_E^{aE}P_L^{aL}P_M^{aM}$$

که در آن، Q سطح محصول کل، P_K قیمت نهاده سرمایه، P_L قیمت نهاده کار، P_E قیمت نهاده انرژی، P_M قیمت نهاده مواد اولیه و α کشش نهاده می‌باشد. A نشان‌دهنده سطح فناوری است. بر اساس لم شفارد[5]، مقدار تقاضا برای هر نهاده برابر مشتق تابع هزینه نسبت به قیمت نهاده می‌باشد. بنابراین، مقدار تقاضا برای انرژی $D(Energy)$ برابر خواهد بود:

(۲)

$$D(Energy)=\frac{\alpha_E A^{-1}P_K^{\alpha K}P_E^{aE}P_L^{aL}P_M^{aM}Q}{P_E}$$

با تقسیم طرفین بر Q می‌توان شدت انرژی تعادلی را به دست آورد:

(۳)

$$\frac{D(Energy)}{Q}=\frac{\alpha_E A^{-1}P_K^{\alpha K}P_E^{aE}P_L^{aL}P_M^{aM}}{P_E}$$

بنابراین، شدت انرژی تحت تأثیر دو عامل مهم می‌باشد:

1. Zha et al. (2012)
2. Structural Decomposition Analysis
3. Index Decomposition Analysis
4. Fisher-Vanden et al. (2004)
5. Shephard's Lemma

فناوری تولید یا بهره‌وری کل عوامل و قیمت نسبی سایر نهاده‌های تولید به نهاده انرژی.

۲-۲- عامل فناوری و کارایی

مطابق نظریات اقتصادی، تقاضا انرژی یک تقاضای مشتق شده[6] و برآمده از مصرف دیگر کالاهاست. انرژی برای خود تقاضا نمی‌شود، بلکه ترکیب آن با انباره سرمایه (تجهیزات و لوازم) برای خدماتی مانند حمل و نقل و تولید کالاها به منظور دستیابی به سطحی از رضایتمندی مصرف می‌شود. بنابراین مصرف انرژی به کارایی انرژی، نرخ بهره‌گیری[7] از انباره تجهیزات و مقیاس عملیاتی[8] وابسته است (درگاهی و بیابانی خامنه، ۱۳۹۵). در نتیجه خواهیم داشت:

(۴)

$$E=\frac{U}{\varepsilon}K$$

که در آن E مصرف انرژی، U نرخ بهره‌مندی از سرمایه، ε کارایی انرژی سرمایه و K انباره سرمایه است. بر این اساس، بهبود کارایی انرژی از طریق ارتقای فناوری انرژی‌اندوز یکی از سازوکارهای اصلی کاهش مصرف انرژی است. توسعه فناوری اقتصاد را توانمند می‌سازد تا از انرژی کمتری برای رفع نیازهای اقتصادی بهره ببرد. در واقع، هرچه سطح فناوری یا بهره‌وری کل بالا باشد، برای تولید مقدار معین تولید (مثلاً یک واحد) نیاز به نهاده‌های تولیدی (ازجمله نهاده انرژی) کمتری است و بنابراین، شدت انرژی پایین خواهد بود. بنابراین، پیشرفت فناوری، امکان افزایش کارایی انرژی در وسایل انرژی بر را فراهم کرده و نیز به‌کارگیری روش‌ها و الگوهای حمل‌ونقل بهتر و بهره‌گیری از ظرفیت‌های ترانزیت انبوه را تسهیل کرده است و کاهش شدت انرژی کل کشور را به دنبال خواهد داشت. برای نشان دادن چگونگی تأثیر پیشرفت فناوری بر شدت انرژی یک اقتصاد سه بخشی شامل بخش کشاورزی (A)، بخش صنعت (I) و بخش خدمات (S) را می‌توان در نظر گرفت. جمع مصرف انرژی بخش‌ها برابر با جمع انرژی کل اقتصاد در اقتصاد خواهد بود ($E=E_A+E_I+E_S$). چنانچه شدت انرژی در هر بخش را با E_i/Y_i نشان دهیم، آنگاه شدت انرژی کل اقتصاد به صورت زیر خواهد بود:

(۵)

$$E/Y=\frac{E_A+E_I+E_S}{Y}=\frac{E_A}{Y_A}.\frac{Y_A}{Y}+\frac{E_I}{Y_I}.\frac{Y_I}{Y}+\frac{E_S}{Y_S}.\frac{Y_S}{Y}$$

6. Derived Demand
7. Utilization Rate
8. The Scale of the Operation

(۶)

$$E/_Y == \frac{E_A}{Y_A}.\varphi_A + \frac{E_I}{Y_I}.\varphi_I + \frac{E_S}{Y_S}.\varphi_S$$

(۷)

$$\varphi_A + \varphi_I + \varphi_S = 1$$

که φ_i سهم بخش i از کل تولید اقتصاد است. با توجه به روابط فوق، می‌توان نحوه تأثیر فناوری بر شدت انرژی را به صورت زیر نشان داد (مدلاک، ۲۰۱۱):[1]

(۸)

$$E/_Y == \frac{\left[\frac{u_A}{\varepsilon_A}\right]K_A}{Y_A}.\varphi_A + \frac{\left[\frac{u_I}{\varepsilon_I}\right]K_I}{Y_I}.\varphi_I + \frac{\left[\frac{u_S}{\varepsilon_S}\right]K_S}{Y_S}.\varphi_S$$

که ε_i کارایی بخش i است. بر اساس رابطه (۸)، افزایش در کارایی انرژی (بهره‌مندی از فناوری‌های جدید) در هر بخش، به کاهش شدت انرژی آن بخش و شدت انرژی کل می‌انجامد.

۲-۳- عوامل قیمتی

قیمت انرژی یکی دیگر از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده شدت انرژی است. در این خصوص، طبق سچور (۱۹۸۲)[2] و یورگنسن (۱۹۸۴)[3] در هنگام افزایش قیمت انرژی و ثبات سایر شرایط، تولیدکنندگان تمایل به بکارگیری مقادیر کمتر نهاده انرژی خواهند داشت و آن را با نهاده‌های ارزان‌تر جایگزین می‌کنند. با افزایش قیمت انرژی، انگیزه‌ای وجود دارد که دارندگان سرمایه‌های انرژی (مثلاً نیروگاه‌های برق) بر افزایش کارایی متمایل شوند که این کار می‌تواند با بهسازی سرمایه‌های موجود یا جایگزینی آن‌ها صورت گیرد. در هر صورت این اقدامات نیازمند سرمایه‌گذاری است که هنگام کاهش قیمت انرژی اتفاق نمی‌افتد. در کوتاه‌مدت، انتظار می‌رود با افزایش قیمت انرژی، هزینه‌های استفاده از سرمایه نیز افزایش یابد، زیرا سرمایه و فناوری ثابت هستند. بنابراین، مصرف‌کننده انرژی، پرتفوی خود را با کاهش مصرف انرژی تا حد ممکن بهینه‌سازی می‌کند. از آنجا که در کوتاه‌مدت سرمایه و تکنولوژی ثابت هستند، این تنها با کاهش یافتن نرخ استفاده از سرمایه امکان‌پذیر است و نتیجه این کاهش علاوه بر کاهش تقاضای انرژی، کاهش فعالیت اقتصادی نیز خواهد بود. در بلندمدت، با امکان‌پذیری دگرگونی سرمایه و فناوری، هنوز هم کاهش تقاضای انرژی اتفاق می‌افتد، اما با دگرگونی‌های فناوری و انباره سرمایه، انباره قدیمی با سرمایه جدید و فناوری های انرژی- کارا جایگزین می‌شود. به طور کلی، قیمت‌های بیشتر انرژی، فناوری‌های انرژی‌اندوز با سهم بالای سرمایه و نیروی کار را تحمیل می‌کند و در مقابل، قیمت‌های پایین انرژی فناوری‌های با سهم بیشتر نهاده انرژی و سهم کمتر سرمایه و نیروی کار را به وجود می‌آورد.

در نظریه اقتصادی، دلایل بروز ناکارایی در مصرف انرژی با ادبیات شکاف کارایی انرژی[4] توضیح داده می‌شود که بیانگر بهینه نبودن تصمیمات کارگزاران اقتصادی در انتخاب فناوری ها و تصمیمات مصرف انرژی است. به طور کلی، مهم‌ترین دلیل بروز شکاف کارایی انرژی به واقعی نبودن قیمت نسبی[5] انرژی بر می‌گردد که اغلب ناشی از پرداخت یارانه‌های انرژی و پایین نگه داشتن مصنوعی قیمت است و یک مانع بازاری تلقی می‌شود. واقعی نبودن قیمت نسبی انرژی بازار انرژی را با اولین مانع کارایی آن مواجه می‌کند و بدیهی است که مخدوش بودن سیگنال اطلاعاتی این بازار نیز به ناکارایی در تصمیمات بازیگران بازار ختم می‌شود (لینارس و لاباندیرا[6]، ۲۰۱۰).

سو وینگ (۲۰۰۸)[7]، با تمرکز بر رابطه میان قیمت انرژی، کارایی انرژی و شدت انرژی، سه کانال اثرگذاری قیمت انرژی بر شدت انرژی را جانشینی نهاده‌ها، ابداعات و تغییر در ترکیب صنایع مطرح می‌کند. پیشرفت تکنولوژی به لحاظ اهمیت اثرگذاری بر کارایی انرژی، پس از قیمت قرار می‌گیرد. از طرفی اصلاح قیمت نهاده‌های انرژی موجب بهبود کارایی عرضه‌کننده‌های انرژی می‌شود (ابونوری و لاجوردی، ۱۳۹۲).

۲-۴- عوامل درآمدی و ساختاری

درآمد و ساختار اقتصادی نیز از جمله عوامل مهم و مؤثر بر شدت انرژی است. در فرآیند توسعه اقتصادی، دگرگونی‌های ساختاری در سبک زندگی جامعه، رفتارهای مصرفی و ساختار تولیدی یک کشور به تغییراتی در شدت انرژی آن کشور می انجامد. در سطح کلان اعتقاد بر این است که در خلال فرآیند توسعه اقتصادی و در فاز صنعتی شدن به سبب گسترش صنایع مادر و زیرساخت‌ها، بر مصرف انرژی افزوده می‌شود. همچنین ثروت مصرف‌کنندگان نیز افزایش می‌یابد که به تبع آن تقاضای کالاهای کارخانه‌ای و با فناوری برتر را افزایش می‌دهد. در سطح بنگاه نیز، انتظار می‌رود در بلندمدت با افزایش درآمد بنگاه، تمایل آن‌ها برای بهبود فناوری مورد استفاده افزایش یافته و از منظر بهبود فناوری، تقاضا برای انرژی کاهش یابد. در نیروگاه‌های تولید برق برای محاسبه انرژی موردنیاز برای تولید یک کیلووات ساعت برق از رابطه ۹

1. Medlock 2011
2. Schurr (1982)
3. Jorgenson (1984)
4. Energy Efficiency Gap
5. Relative Prices
6. Linares and Labandeira (2010)
7. Sue wing, (2008)

استفاده می‌شود.

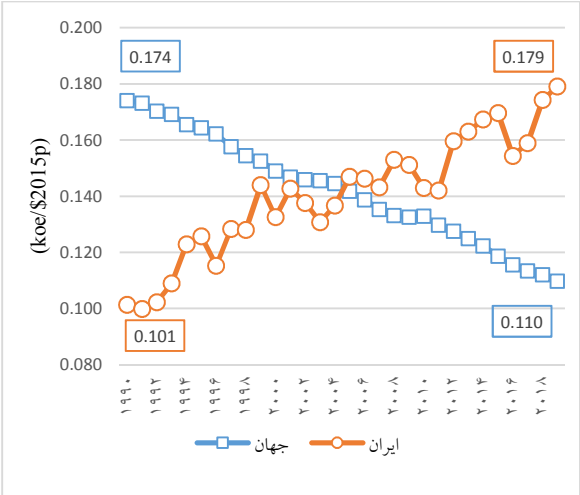
(۹)

$$C(kcal) = \frac{860(kcal/kwh)}{\alpha}$$

در رابطه بالا α راندمان دستگاه تبدیل‌کننده انرژی حرارتی به برق، C ارزش حرارتی"کیلوکالری" و ۸۶۰ ضریب تبدیل واحد کیلووات ساعت به کیلوکالری است. با توجه به رابطه بالا، هرقدر راندمان بالاتر باشد میزان انرژی حرارتی موردنیاز برای تولید یک کیلووات ساعت برق کمتر می‌شود. در ادامه مروری بر وضعیت شدت انرژی در ایران و وضعیت صنعت برق کشور انجام می‌شود.

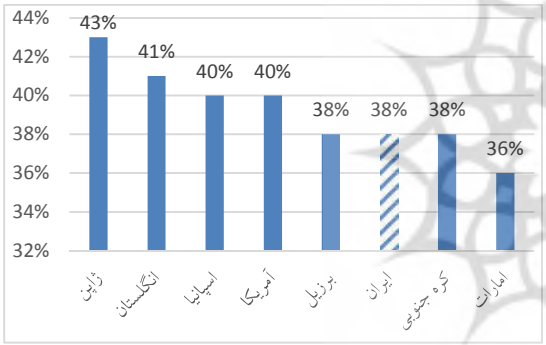
اقتصاد ایران یک اقتصاد مبتنی بر منابع طبیعی است و انرژی یک عامل تعیین‌کننده در تولید است. در شکل (۱) روند شاخص شدت انرژی در ایران و مقایسه آن با عملکرد جهان می‌توان مشاهده کرد. این شاخص نشان می‌دهد که به ازای هر واحد تولید ناخالص داخلی (بر حسب دلار ثابت سال ۲۰۱۵) که در اقتصاد ایجاد شده است، چه میزان انرژی (بر حسب کیلوگرم نفت معادل) در اقتصاد مصرف شده است. بالطبع هرچه مقدار این شاخص کمتر باشد، نشان می‌دهد که عامل انرژی با بهره وری بیشتر در اقتصاد همراه است. بر اساس اطلاعات ارائه شده در نمودار زیر، روند شدت مصرف انرژی از زمان ابلاغ سیاست های کلی اصلاح الگوی مصرف افزایشی بوده است، به نحوی که از ۰/۱۷ در سال ۱۳۸۹ با روند افزایشی به ۰/۲۰ در سال ۱۳۹۵ رسیده است. علاوه بر این، در کل دوره مورد بررسی شاخص شدت انرژی متوسط شدت انرژی خاورمیانه بالاتر بوده است. بالا بودن شدت مصرف انرژی ضمن هدر رفت منابع اقتصادی، موجبات ایجاد آلودگی محیطزیست و کاهش رفاه جامعه را نیز به همراه دارد.

راندمان نیروگاه ها یکی از عوامل مؤثر در میزان مصرف سوخت آن هاست و بهبود راندمان موجب می‌شود که فعالیت نیروگاه‌ها اقتصادی‌تر شود. مقایسه راندمان نیروگاه‌های حرارتی با برخی از کشورهای دنیا نشان می‌دهد، هرچند راندمان نیروگاه‌های حرارتی ایران با میزان ۳۸ درصد از کشور امارات مناسب‌تر بوده و همتراز با کشور کره جنوبی است، اما اختلاف قابل توجهی با کشور ژاپن (راندمان برابر با ۴۳ درصد) دارد. لازم به ذکر است، بازده ۳۸ درصدی مربوط به راندمان کل نیروگاه‌های حرارتی کشورمان است. بر اساس آمار توانیر (۱۳۹۸)، در بین نیروگاه‌های حرارتی کشور بیشترین راندمان برابر با ۴۴/۶ درصد مربوط به نیروگاه‌های چرخه ترکیبی و کمترین راندمان با رقم ۳۰/۹ درصد مربوط به نیروگاه‌های گازی است (شکل ۲).



شکل ۱. مقایسه روند شدت انرژی در ایران و جهان

Source: Enerdata، 2020



شکل ۲. مقایسه راندمان نیروگاه‌های حرارتی در ایران و کشورهای منتخب

Source: United Nations statistics division

۳- مطالعات پیشین

۳-۱- مطالعات داخلی

عربشاهی دلوئی و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه‌ای به به بررسی عوامل مؤثر بر کارایی مصرف انرژی در ۵ صنعت انرژی‌بر (شامل صنایع مواد غذایی و آشامیدنی، صنایع تولید زغال کک- پالایشگاه‌های نفت و سوخت‌های هسته‌ای، صنایع تولید مواد و محصولات شیمیایی، تولید سایر محصولات کانی غیر فلزی و تولید فلزات اساسی) برای کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیش‌تر طی سال‌های ۱۳۷۴-۱۳۹۴ پرداخته شده است. نتایج نشان می‌دهد میانگین کارایی کل صنایع انرژی‌بر در دوره مورد بررسی حدود ۶۱ درصد و صنعت تولید مواد و محصولات شیمیایی نسبت به سایر صنایع از کارایی بالاتری برخوردار بوده

است. همچنین متغیرهای محیطی آزادسازی تجاری و توسعه مالی توانسته‌اند تأثیر منفی و معناداری بر کارایی انرژی صنایع مذکور داشته باشند و سایر متغیرهای در نظر گرفته شده معنادار نبوده‌اند.

حیدری و صادقی (۱۳۹۸) در مطالعه خود به تجزیه رفتار شدت انرژی با تأکید بر زیرساخت‌های اقتصادی و نهادی در گروه کشورهای با شاخص‌های کلان و نهادی متفاوت با استفاده از شاخص ایده‌آل فیشر پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد، در کشورهای ایران و روسیه عامل اصلی در توضیح تغییرات شدت انرژی، عدم کارایی بوده است، اما در کشور عربستان، تغییرات ساختاری در جهت فعالیت‌های انرژی‌بر، اثر بهبود کارایی را خنثی کرده است.

اسدی ملک‌آبادی و مراسلی (۱۳۹۷) با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها و تابع مسافت خروجی به تجزیه تغییر شدت انرژی به چهار جزء؛ تغییر کارایی فنی، تغییر کارایی تکنولوژیکی، نسبت موجودی سرمایه به انرژی و نسبت نیروی کار به انرژی در بخش صنعت ایران طی دوره ۱۳۸۳–۱۳۹۳، پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که اثر تغییر نسبت سرمایه به انرژی عامل مهم کاهش شدت انرژی در بخش صنعت کشور است. دیگر اجزاء، نسبت تغییر نیروی کار به انرژی، تغییر کارایی فنی و تغییر کارایی تکنولوژی موجب افزایش شدت انرژی اکثر صنایع بوده‌اند.

لطفی و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای به تجزیه عوامل مؤثر بر شدت انرژی در قالب آثار تولیدی، ساختاری، شدت انرژی بخشی، تغییرات تکنولوژی، تغییرات کارایی فنی، جانشینی نیروی کار با انرژی و جانشینی سرمایه با انرژی برای سه بخش اقتصادی کشور، صنعت، حمل‌ونقل و کشاورزی در دوره زمانی سال‌های ۱۳۹۱–۱۳۸۵ و به تفکیک انرژی‌های مصرفی نفت خام و فرآورده‌های نفتی، گاز طبیعی و برق پرداخته‌شده است. نتایج حاصل از مطالعه نشان می‌دهد که شدت انرژی در طول دوره زمانی مورد بررسی در هر سه بخش افزایش داشته است. اثر جانشینی نیروی کار با انرژی و اثر تولیدی بیشترین سهم را در توضیح عوامل مؤثر بر تغییرات کل شدت انرژی داشته‌اند و اثر تغییرات کارایی فنی، پایین‌ترین سهم را در توضیح رشد مصرف کل و شدت انرژی داشته است.

محمدپور و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهش خود به بررسی اثر حذف یارانه انرژی، بر میزان شدت انرژی در صنعت ایران با استفاده از رویکرد داده‌های سری‌های زمانی – فصلی در بازه زمانی ۱۳۹۲–۱۳۸۵ با استفاده از تابع هزینه کاب داگلاس مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که رابطه منفی و معنی‌داری بین شدت انرژی و قیمت انرژی برقرار است همچنین نتایج نشان می‌دهد با پیشرفت فناوری در طول زمان، شدت انرژی کاهش می‌یابد. سپس طرح آزادسازی قیمت انرژی، با فرض افزایش یکنواخت قیمت اسمی در دوره‌ی زمانی ۱۳۹۲–۱۳۸۹ مورد بررسی قرار دادند. یافته‌ها حاکی از آن است که پس از آزادسازی قیمت انرژی، شدت انرژی کاهش می‌یابد به‌طوری‌که بیشترین میزان کاهش در سال اول اجرای سیاست آزادسازی بوده و در سال‌های بعد از میزان کاهش شدت انرژی کاسته شده است.

رشیدی‌زاده و جهانگرد (۱۳۹۰) به تجزیه‌وتحلیل تغییر شدت انرژی در فعالیت‌های اقتصاد ایران با رویکرد SDA (تجزیه ساختاری)[1] پرداختند. با در نظر گرفتن کل دوره یعنی ۸۰–۱۳۶۵، تغییرات شدت انرژی روند صعودی داشته است. در سال‌های ۸۰–۱۳۷۰ نیز تجزیه شدت انرژی نشان می‌دهد که در قیاس با دوره‌ی قبل تغییرات محسوسی اتفاق افتاده است. به این صورت که دو عامل ضریب مصرف انرژی و ضریب فناوری باعث افزایش شدت انرژی در اقتصاد ایران شده‌اند و مابقی عوامل در جهت عکس عمل کرده‌اند. این در حالی است که ضریب فناوری در کل دوره متناسب با رشد مصرف انرژی حرکت نکرده بنابراین نتوانسته از روند صعودی شدت انرژی بکاهد. درنتیجه در کل، طی دوره‌ی ۸۰–۱۳۶۵ شدت انرژی در ایران افزایش پیداکرده است که نشان‌دهنده کاهش بهره‌وری نیز هست.

اشرفی و گلی (۱۳۸۹) با استفاده از شاخص ایده آل فیشر و با دو اثر شدتی و ساختاری، شدت انرژی را طی دوره (۱۳۶۵–۱۳۶۰) محاسبه و تجزیه کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که اثر ساختاری تقریباً ثابت و اثر شدتی روندی صعودی داشته است. اثر ساختاری طی دوره‌ی (۱۳۶۵–۱۳۶۰) بزرگ‌تر از یک و در دوره‌ی (۱۳۷۳–۱۳۶۶) کوچک‌تر از یک و از سال ۱۳۶۷ مجدداً افزایش‌یافته و بزرگ‌تر از یک بوده است. بزرگ‌تر از یک بودن این اثر نشان‌دهنده این است که اقتصاد کشور به سمت تولید و فعالیت‌های پیشرفته که مصرف انرژی در آن‌ها بالا بوده است. باوجود این، اندازه کوچک این اثر نشان می‌دهد که افزایش شدت انرژی ناشی از تغییر در ترکیب یا سهم فعالیت-های اقتصادی اندک بوده است.

ابونوری و نیکبان (۱۳۸۹) شدت مصرف انرژی بر اساس شاخص دیویژیا در سیمان تهران را به اثرات ساختاری، تولیدی و شدت خالص، تجزیه کردند که این تجزیه بر اساس داده‌های سری زمانی طی سال‌های ۱۳۷۵ ـ ۱۳۸۵ و با استفاده از

1. Structural Decomposition Analysis

روش‌های چهارگانه ویژه تجزیه شدت مصرف انرژی، صورت گرفته است که روش (PDMI ـ AVE) به دلیل داشتن کمترین میزان پسماند به عنان بهترین مدل هست و حاکی از آن است که اثر ساختاری دارای سهم اندکی در توضیح تغییرات مصرف انرژی بوده و اثرات شدت خالص و تولیدی سهم غالبی در این توضیح‌دارند. بنابراین تلاش‌های خوبی در راستای کاهش شدت انرژی و به‌تبع آن افزایش کارایی در سیمان تهران انجام‌شده، اما به دلیل عدم انعطاف‌پذیری تابع تولید، این تلاش‌ها در برخی سال‌ها با شکست مواجه شده است.

۳-۲- مطالعات خارجی

لوان و همکاران (۲۰۲۰)[1] در مطالعه‌ای به تعیین عوامل مؤثر بر شدت انرژی در صنایع چین با تأکید بر تغییرات ساختاری و تحولات فناورانه پرداخته‌اند. نتایج استفاده از مدل پانل پویا آستانه‌ای[2] حاکی از تأثیر غیرخطی تغییرات ساختاری و فناورانه بر شدت انرژی صنایع دارد. همچنین افزایش نهاده تحقیق و توسعه و بهبود ساختار مالکیت نقش مهمی در کنترل شدت انرژی صنایع ایفا می‌کند.

یولاه و همکاران (۲۰۱۹)[3] در مطالعه خود به بررسی عوامل مؤثر بر شدت الکتریسیته و کارایی در پاکستان با استفاده از روش پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد، درآمد سرانه مهم‌ترین عامل افزایش دهنده شدت الکتریسیته از طریق تضعیف کارایی است. در حالی که تحصیلات عالی کارایی الکتریسیته را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، قیمت الکتریسیته نقش غیرمؤثری در تغییرات شدت الکتریسیته ایفا می‌کند که می‌تواند به دلیل این باشد که قیمت‌های الکتریسیته اجازه تعدیل با تغییرات در هزینه‌ها را ندارد.

وانگ و هی[4] (۲۰۱۷)، در مقاله "پتانسیل کاهش شدت انرژی منطقه‌ای چین: روش تجزیه‌وتحلیل غیر پارامتری" پتانسیل کاهش شدت انرژی در چین همچنین منابع کاهش شدت انرژی را با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) و تحلیل تجزیه شاخص بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد در دوره نمونه پتانسیل کاهش شدت انرژی مناطق غربی به‌طور قابل‌توجهی از مناطق شرقی و مرکزی بالاتر است. شدت انرژی مناطق شرقی ۱۰ الی ۲۰ درصد، مناطق غربی ۳۰ الی ۴۵ درصد و کل مناطق چینی در حال حاضر ۲۵ تا ۳۰ درصد می‌تواند کاهش یابد. در مناطق شرقی افزایش بهره‌وری فنی و پیشرفت تکنولوژی هردو موجبات کاهش پتانسیل کاهش شدت انرژی را فراهم می‌کنند. اما طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ پتانسیل‌های کاهش شدت انرژی مناطق غربی روندی صعودی دارد. بنابراین باید به مناطق غربی جهت بهبود تکنولوژی تولید توجه بیشتری کنند.

آدوم[5] (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای تحت عنوان " اثرات نامتقارن عوامل تعیین‌کننده‌ی شدت انرژی در نیجریه" به بررسی عوامل تعیین‌کننده‌ی شدت انرژی با استفاده از روش اقتصادسنجی OLS در نیجریه پرداخته است که عواملی مانند آزادسازی تجاری و افزایش سرمایه‌گذاری خارجی موجب کاهش شدت انرژی در نیجریه شده است.

لی و لین[6] (۲۰۱۴)، در مطالعه خود به بررسی اثر ساختار صنعتی اقتصاد چین بر شدت انرژی پرداخته‌اند. محققین در این مطالعه با استفاده از مدل هم جمعی آستانه‌ای غیرخطی برای سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۹ دریافته‌اند که سهم صنعت درصورتی‌که در کل اقتصاد معادل ۴۰ درصد باشد، اثر ساختار صنعتی اقتصاد بر شدت انرژی با آثار ساختاری معنی‌دار مثبت یا منفی همراه است، لذا پیشنهادشده است که سیاست‌گذاران در اقتصاد چین، سهم ارزش‌افزوده صنعت را کاهش داده تا بتوانند با افزایش پیشرفت و توسعه فناوری، موجبات کاهش شدت انرژی را فراهم آورند.

سورل[7](۲۰۰۹) در بررسی خود تحت عنوان "بررسی عوامل کلیدی مؤثر در بهبود شدت انرژی" با پیروی از روش سو وینگ[8] و به کار بردن تابع هزینه متغیر محدود (RVCF)[9]دلایل بهبود شدت انرژی را در بنگاه‌های صنعتی ژاپن و صنایع فلزی پایه در انگلیس بررسی می‌کند و نتیجه می‌گیرد که جایگزینی بین نهاده‌ها در اثر تغییر قیمت‌های نسبی (ناشی از افزایش قیمت انرژی) در بهبود شدت انرژی تمام صنایع مشارکت دارند. پیشرفت فنّاوری در طول زمان تأثیر مثبتی بر شدت انرژی در ژاپن داشته، اما اثر آن بر صنعت فلزات پایه در انگلیس منفی بوده و ابداعات تکنولوژی ناشی از افزایش قیمت انرژی (افزایش R&D) اثری مثبت روی بهبود شدت انرژی بر صنعت فلزات پایه در انگلیس داشته است.

1. Luan et al. (2020)
2. dynamic panel threshold model
3. Ullah et al. (2019)
4. Wang, Weijun He (2017)
5. Adom (2015)
6. Li and Lin (2014)
7. Sorrell, (2009)
8. Sue Wing
9. Restricted Variable Cost Function

کورنلیه و فنکهاوزر[1] (۲۰۰۴) با استفاده از روش‌های ریاضی و تجزیه‌وتحلیل داده‌های انرژی برای دوره‌ی ۱۹۹۲ـ۱۹۹۸ عامل اصلی در بهبود شدت انرژی کشورهای در حال گذار را شناسایی کردند و نشان دادند که قیمت انرژی و پیشرفت در بازسازی شرکت دو عامل مهم برای استفاده از انرژی کارآمدتر هستند.

ما و همکاران[2] (۲۰۰۸) در بررسی خود به نام "اقتصاد انرژی چین تغییرات فنی و تکنولوژیکی تقاضای عوامل و جانشینی بین عوامل" با استفاده از تابع هزینه ترنسلوگ کشش‌های تقاضای انرژی در اقتصاد چین را تخمین زدند و به این نتیجه دست یافتند که شدت انرژی مصرفی چین به دلیل استفاده فزاینده از تکنولوژی‌های تشدیدکننده مصرف انرژی طی دوره (۲۰۰۴-۱۹۹۵) صعودی است.

بررسی مطالعات ادبیات موضوعی نشان می‌دهد که در خصوص تجزیه شدت انرژی به طور کل مطالعات نسبتاً زیادی صورت گرفته است، اما در خصوص تجزیه شدت انرژی در نیروگاه‌های حرارتی به عوامل مختلف قیمتی، کارایی و درآمدی و تفکیک آن به تفکیک اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت مطالعه‌ای یافت نشد. با توجه به نقش پیشران و مکملی این صنعت در حرکت سایر صنایع، بررسی سازوکارهای بهبود عملکرد این صنعت می‌تواند از اهمیت خاصی برخوردار باشد. بر این اساس، هدف اصلی این مطالعه، روابط کوتاه‌مدت و بلندمدت بین شدت انرژی و عوامل قیمت انرژی، کارایی فنی و درآمد در بخش نیروگاه‌های حرارتی تولید برق است.

۴- روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش برای برآورد مدل از مدل خود رگرسیون برداری ساختاری (SVAR)[3] استفاده می‌شود. در رویکرد SVAR تلاش بر این است که بر اساس نظریه‌ی اقتصادی از طریق تحمیل محدودیت‌هایی، تکانه‌های ساختاری از میان بی‌نهایت تغییرات تصادفی متغیرها شناسایی و تفکیک شوند تا به تفسیری اقتصادی از تکانه‌ها دست‌یافت. احتمالاً مناسب‌ترین توصیف از مدل‌های SVAR تعریف بریتونگ[4] (۱۹۹۸) است که این مدل‌ها را ابزاری کاربردی برای تحلیل داده‌ها تحت هدایت تئوری معرفی می‌کند. فرم خود رگرسیون برداری نامقید[5] برای این نامقید است که نظریه‌ی اقتصادی مشخصی در چگونگی برآورد معادلات سیستم آن و نحوه تأثیرگذاری متغیرها بر یکدیگر نقش ندارد و توابع واکنش تکانه‌ای منتج از آن فاقد پشتوانه‌ی اقتصادی هستند. در مقابل روش خود رگرسیون برداری ساختاری مدل‌سازی بر اساس نظریه اقتصادی را فراهم می‌کند. بلانچارد و برنانکی[6] (۱۹۸۶)، سیمز و واتسون[7] (۱۹۸۶) با در نظر گرفتن محدودیت‌های نظری روی اثرات هم‌زمان تکانه‌ها، الگوی خود توضیح برداری را توسعه دادند. سپس بلانچارد وکوآ (۱۹۸۹)، کلاریدا و گالی[8] (۱۹۹۴) و آستلی و گارت[9] (۱۹۹۶) با اعمال محدودیت‌های نظری روی اثرات بلندمدت تکانه‌ها، توابع عکس‌العمل آنی را شناسایی کردند.

چگونگی شناسایی تکانه‌ها خود به دو دسته قیود کوتاه‌مدت و بلندمدت تقسیم می‌شوند. در محدودیت‌های شناسایی که کوتاه‌مدت نام‌گذاری می‌شوند، واکنش آنی متغیرها تنها به برخی از تکانه‌های ساختاری وجود خواهد داشت. در محدودیت‌های بلندمدت که شاپیرو واتسون (۱۹۸۸) و بلانچارد و کوآ (۱۹۸۹) ارائه کردند، محدودیت‌ها بر روی پویایی‌ها و ضرایب بلندمدت تکانه‌های ساختاری اعمال‌شده و تکانه‌ها به دو نوع با آثار موقت دائمی تقسیم می‌شوند. اثرات تکانه‌های موقتی در طول زمان از بین می‌روند، اما تکانه‌های دائمی اثرات دائمی بر جای می‌گذارند. برای بهره‌گیری از رویکرد بلانچارد – کوآدر شناسایی تکانه‌های موقت و دائمی ابتدا باید یک مدل خود رگرسیون برداری نامقید برآورد کرد، سپس با تحمیل محدودیت‌های بلندمدت، الگوی ساختاری را ایجاد و شناسا کرد.

الگوی مورد استفاده در پژوهش به‌صورت زیر است:

(۱۰)

$$Y_t = \sum_{i=1}^{p} A_i\, Y_{t-i} + CD_t + U_t$$

(۱۱)

$$U_t \sim N(0, \sum u)$$

Y_t ، بردار متغیرهای درون‌زای سیستم شامل (شدت انرژی ، لگاریتم قیمت انرژی، لگاریتم کارایی فنی و لگاریتم درآمد) ماتریس A_i، رابطه بین بردار Y_t و وقفه‌های مربوط به آن، ماتریس D_t متغیرهای برون‌زا نظیر عرض از مبدأ، انواع متغیرهای مجازی و روند را نشان می‌دهد. بردار U_t نیز بردار باقیمانده‌های فرم حل‌شده‌ی مدل خود رگرسیون برداری است که بین این باقیمانده‌ها همبستگی وجود دارد.

جهت شناسایی تکانه‌های ساختاری غیرقابل مشاهده،

1. Cornelio and Fankhauser, (2004)
2. Ma et al, (2008)
3. Structural Vector Auto Regressive
4. Breitung, (1998)
5. Unrestricted VAR
6. Blanchard and Bernanke
7. Sims and Watson
8. Clarida & Gali
9. Astley & Garratt

بایستی برخی قیود شناسایی را بر الگوی VAR تقلیل یافته غیرمقید[1]تحمیل نمود. در الگوی VAR چهار متغیر پژوهش حاضر، ماتریس مربوطه دارای ۱۶ عنصر است که یک سیستم معادلات ۴ معادله‌ای را تشکیل می‌دهد. لذا برای دقیقاً مشخص شدن سیستم معادلات باید به تعداد $\frac{(n^2-n)}{2}$ قید بر الگو تحمیل نمود (یاوری و همکاران، ۱۳۹۱). برای اعمال قید شناسایی یک ماتریس پایین مثلثی تشکیل می‌شود که در آن عنصر بالای قطر اصلی صفر خواهند بود:

(۱۲)

$$\begin{bmatrix} A_{11}(L) & 0 & 0 & 0 \\ A_{21}(L) & A_{22}(L) & 0 & 0 \\ A_{31}(L) & A_{32}(L) & A_{33}(L) & 0 \\ A_{41}(L) & A_{42}(L) & A_{43}(L) & A_{44}(L) \end{bmatrix}$$

با اعمال این قید و با استفاده از تجزیه چولسکی مبتنی بر ماتریس واریانس- کوواریانس وزنی می‌توان مدل فوق را از الگوی VAR تقلیل یافته شناسایی نمود. بر این اساس و با فرض مانا بودن متغیرها، الگوی VAR به صورت زیر است:

(۱۳)

$$\begin{bmatrix} lPE_{1t} \\ lQ_{2t} \\ lI_{3t} \\ IE_{4t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11}(L) & 0 & 0 & 0 \\ A_{21}(L) & A_{22}(L) & 0 & 0 \\ A_{31}(L) & A_{32}(L) & A_{33}(L) & 0 \\ A_{41}(L) & A_{42}(L) & A_{43}(L) & A_{44}(L) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_t^{lp} \\ \epsilon_t^{lq} \\ \epsilon_t^{li} \\ \epsilon_t^{ie} \end{bmatrix}$$

۵- تجزیه و تحلیل یافته‌های پژوهش

۵-۱- داده‌ها و متغیرهای الگو

مبتنی بر مبانی نظری تحقیق، متغیرهای مورد استفاده در مدلسازی شدت انرژی نیروگاه‌های حرارتی به صورت زیر است:

(۱۴)

$$EI = F(LPE, LQ, LR)$$

IE : شدت مصرف انرژی در نیروگاه‌های حرارتی؛

LPE : لگاریتم قیمت سوخت‌های مصرف‌شده در نیروگاه‌های حرارتی (گازوئیل،گاز، نفت کوره)؛

LQ : لگاریتم راندمان کل نیروگاه‌های حرارتی؛ و LR : لگاریتم درآمد نیروگاه‌های حرارتی.

رابطه فوق نشان می‌دهد که شدت مصرف انرژی در نیروگاه‌های حرارتی تابعی از لگاریتم قیمت انرژی مصرف‌شده در نیروگاه‌ها، لگاریتم راندمان نیروگاه‌ها و لگاریتم درآمدی که از فروش و تولید برق نصیب نیروگاه‌های حرارتی می‌شود، در نظر گرفته شده است. در این تحقیق مدل زیر به کمک روش SVAR برآورد می‌شود.

(۱۵)

$$IE_t = \beta_0 + \beta_1 lnpe_t + \beta_1 lnq_t + \beta_2 lnr_t$$

تمامی داده‌ها به صورت سری زمانی سالیانه مربوط به دوره ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۷ و به قیمت ثابت سال ۱۳۹۰ در نظر گرفته می‌شوند. داده‌های مربوط به سری زمانی مصرف حامل‌های انرژی، راندمان و درآمد کل نیروگاه‌های حرارتی از وزارت نیرو گردآوری شده است. همچنین داده‌های مربوط به قیمت حامل‌های انرژی در بخش نیروگاه‌های برق از ترازنامه انرژی سال‌های مختلف جمع‌آوری گردیده است. لازم به ذکر است که برای قیمت حامل‌های انرژی مورد استفاده در نیروگاه‌ها، میانگین قیمت‌های (گازوئیل، نفت کوره، و گاز طبیعی) مورد استفاده قرار گرفته شده است.

۵-۲- بررسی وضعیت پایایی متغیرها

تصمیم‌گیری در مورد اینکه از سطح یا تفاضل یک سری استفاده شود تأثیر زیادی بر پیش‌بینی سری دارد. فرضیه صفر آزمون ریشه واحد KPSS[2] (۱۹۹۲) بر مانایی سری زمانی دلالت دارد. در این مطالعه برای بررسی مانایی متغیرها از آزمون KPSS استفاده شده است. با توجه به نتایج جدول (۱) و مقایسه مقادیر آماره آزمون با مقدار بحرانی آزمون در سطح ۱ درصد تمامی متغیرها در سطح مانا و یا به عبارت دیگر همه متغیرها $I(0)$ هستند.

جدول ۱. آزمون ریشه واحد متغیرها با استفاده از آزمون KPSS

متغیر	مقدار آماره آزمون	مقادیر بحرانی	نتیجه آزمون
شدت انرژی (EI)	۰/۱۶۹۵	۰/۲۱۶۰	$I(0)$
قیمت سوخت نیروگاه‌ها (LPE)	۰/۱۰۸۶	۰/۲۱۶۰	$I(0)$
راندمان نیروگاه‌ها (LQ)	۰/۱۳۷۳	۰/۲۱۶۰	$I(0)$
درآمد نیروگاه‌ها (LR)	۰/۱۶۱۲	۰/۲۱۶۰	$I(0)$

مأخذ: یافته‌های پژوهش

1. Unrestricted Reduced-Form VAR

2. Kwiatkowski-Philips-Schmidt-Shin

۵-۳- برآورد مدل با استفاده از روش خود رگرسیون برداری ساختاری (رویکرد بلانچارد- کوآ)

برای تعیین وقفه بهینه از معیارهای آکائیک، شوارتز – بیزین و حنان کوئین استفاده گردید که تعداد یک وقفه بهینه تعیین گردید. در ادامه ابتدا یک مدل VAR برآورد نموده و سپس با اعمال قیدهای بلندمدت (بلانچارد- کوآ) ضرایب مدل ساختاری استخراج می‌شود. محدودیت‌های بلندمدت را به شکل زیر به مدل تحمیل می‌کنیم درنتیجه ۱۰ پارامتر ساختاری باید برآورد شوند.

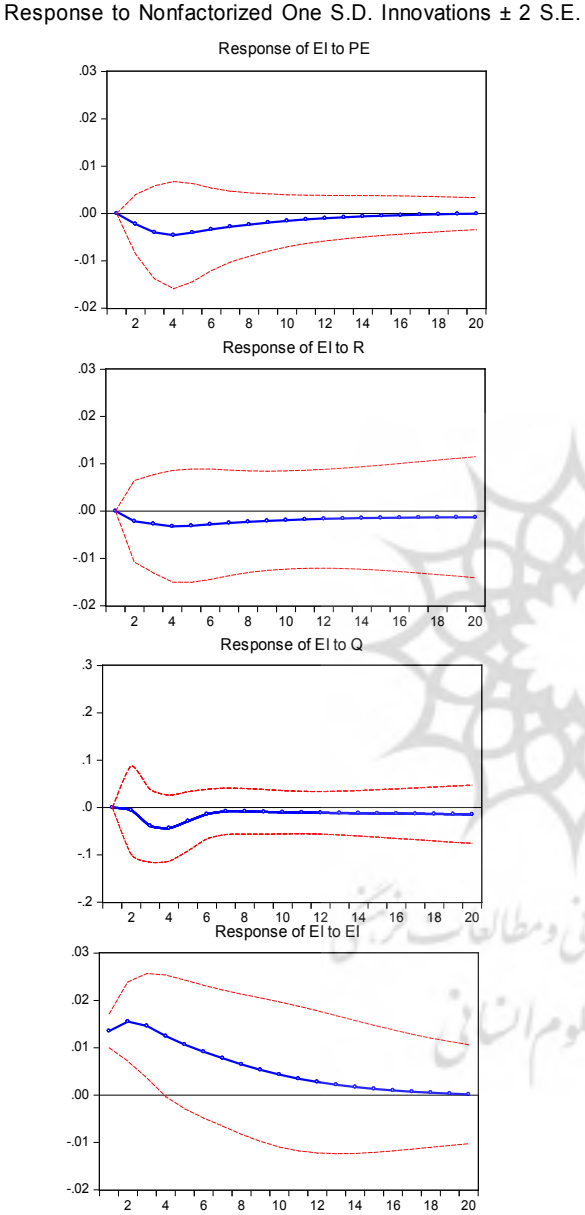
(۱۶)

$$\begin{bmatrix} lPE_{1t} \\ lQ_{2t} \\ lr_{3t} \\ EI_{4t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11}(L) & 0 & 0 & 0 \\ A_{21}(L) & A_{22}(L) & 0 & 0 \\ A_{31}(L) & A_{32}(L) & A_{33}(L) & 0 \\ A_{41}(L) & A_{42}(L) & A_{43}(L) & A_{44}(L) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_t^{lp} \\ \epsilon_t^{lq} \\ \epsilon_t^{lr} \\ \epsilon_t^{ie} \end{bmatrix}$$

مطابق با قیدهای بلندمدتی که بر سیستم مذکور واردشده است، تکانه‌های قیمت انرژی بر سایر متغیرها اثر دائمی و بلندمدت خواهد داشت، اما تکانه‌های متغیرهای دیگر بر قیمت انرژی اثرات دائمی نمی‌گذارد. تکانه کارایی فنی (راندمان) بر متغیرهای درآمد و شدت انرژی اثر دائمی خواهد داشت. به همین ترتیب تکانه‌های وارد بر شدت انرژی بر هیچ‌کدام از تغییرهای سیستم اثر دائمی نخواهد داشت.

۵-۴- توابع ضربه- واکنش (IRFS)[1]

پس از برآورد پارامترهای فرم ساختاری، امکان تجزیه‌وتحلیل اثر تکانه‌های ساختاری متغیرها بر شدت انرژی را با استفاده از توابع واکنش تکانه‌ای فراهم می‌شود. این توابع، ردیابی واکنش متغیرهای وابسته دستگاه نسبت به تکانه‌های هرکدام از متغیرها را ممکن می‌سازد. این تکانه‌ها معمولاً به‌اندازه‌ی یک انحراف معیار تکانه انتخاب می‌شوند. مجموعه شکل (۴)، تأثیر یک تکانه یا ضربه‌ای به اندازه یک انحراف معیار بر متغیرهای قیمت انرژی (PE)، راندمان نیروگاه‌ها (Q) درآمد نیروگاه‌ها (R) و شدت انرژی (EI) را بر شدت انرژی نیروگاه‌ها در بلندمدت نشان می‌دهد. بنا بر نتایج، به دنبال یک انحراف معیار تکانه دائمی وارد به قیمت انرژی (سوخت نیروگاه‌ها)، واکنش متغیر شدت انرژی کاهشی است. پس از گذشت حدود ۱۰ دوره زمانی، اثر تکانه تخلیه شده و همگرایی حاصل می‌شود. این یافته با انتظار تئوریکی مبتنی بر اینکه با افزایش قیمت انرژی، انگیزه‌ای وجود دارد که دارندگان سرمایه‌های انرژی (مثلاً نیروگاه‌های برق) بر افزایش کارایی متمایل شوند که این کار می‌تواند با بهسازی سرمایه‌های موجود یا جایگزینی آن‌ها صورت گیرد و شدت انرژی کاهش یابد، منطبق است.



(EI: شدت انرژی نیروگاه‌ها، PE: قیمت سوخت نیروگاه‌ها، Q: راندمان نیروگاه‌ها، R: درآمد نیروگاه‌ها)

شکل ۳. واکنش شدت انرژی به یک انحراف معیار تکانه‌های ساختاری دائمی

مأخذ: یافته‌های پژوهش

واکنش شدت انرژی به ضربه دائمی وارد بر راندمان نیروگاه‌ها منفی است، بدین مفهوم که با افزایش راندمان نیروگاه‌ها، شدت انرژی کاهش می‌یابد. بر اساس ضربه واکنش مربوط به تکانه راندمان، اثر تکانه در بلندمدت تخلیه شده و

1. Impulse- Response Functions

همگرایی حاصل شده است. این یافته، انتظار تئوریک اثر کاهنده راندمان بر شدت انرژی را برآورده می‌کند.

تکانه دائمی درآمد نیروگاه‌ها تا دوره پنجم نیز با کاهش شدت انرژی همراه می‌شود. اما از دوره‌ی ششم به بعد اثر کاهشی تکانه شروع به تخلیه شدن می‌کند و در بلندمدت پایین‌تر از وضعیت تعادلی پایدار می‌گردد. این یافته مطابق انتظار تئوریک است که در بلندمدت با افزایش درآمد بنگاه، تمایل آن‌ها برای بهبود فناوری مورد استفاده افزایش یافته و از منظر بهبود فناوری، تقاضا برای انرژی و شدت انرژی کاهش یابد.

در اثر یک تکانه به شدت انرژی نیز متغیر شدت انرژی در دوره‌ی اول در سطح ۰/۰۰۵۴ درصد بالاتر از وضعیت تعادلی اولیه قرار می‌گیرد پس ازآن سیر نزولی به خود می‌گیرد ولی این روند در کوتاه‌مدت سرعت بیشتری دارد و در بلندمدت به سمت تعادل اولیه کاهش می‌یابد.

۵-۵- تجزیه واریانس

تجزیه واریانس یک آزمون برون‌زایی خارج از دوره‌ی نمونه است نشان می‌دهد که تکانه‌های جاری و باوقفه متغیرهای توضیحی بر مقدار جاری متغیر وابسته چقدر تأثیرگذار است (کمبل[1]، ۱۹۹۰). به کمک این روش می‌توان دریافت که تغییرات یک متغیر (سری زمانی) تا چه حد متأثر از اجزای اختلال خود متغیر بوده و تا چه میزان از اجزای اختلال سایر متغیرهای درون سیستم تأثیر پذیرفته است. در جدول (۲) نتیجه تجزیه واریانس ساختاری متغیر شدت انرژی گزارش شده است. بر اساس خروجی ارائه شده، در کوتاه‌مدت متغیرهای راندمان و قیمت بیشترین تأثیر را بر تغییرات واریانس شدت انرژی نیروگاه‌ها دارند که در مجموع ۸۳ درصد از واریانس خطای پیش‌بینی شدت انرژی در نیروگاه‌ها را شامل می‌شود. هرچند در طول دوره بلندمدت سهم قیمت کاهش و سهم راندمان افزایش می‌یابد تکانه قیمتی حدود ۲۴/۹۱ درصد از نوسانات شدت انرژی را توضیح می‌دهد، درحالی‌که سهم متغیر راندمان از تغییرات شدت انرژی حدود ۵۶ درصد می‌باشد و بیشترین سهم از تغییرات واریانس خطای پیش‌بینی شدت انرژی را به خود اختصاص داده است. اما سهم خود متغیر شدت انرژی از تغییراتش در بلندمدت ۱۳/۶۸ درصد می‌باشد. کم‌ترین سهم از توضیح واریانس خطای پیش‌بینی شدت انرژی هم به تغییرات درآمدی تعلق دارد که در کوتاه‌مدت کمتر از واحد تأثیر دارد ولی رفته‌رفته سهم آن افزایش می‌یابد و به ۵ درصد می رسد. به‌طورکلی نتایج تجزیه واریانس خطای پیش‌بینی شدت انرژی نیروگاه‌ها حاکی از آن است که تغییرات پیش‌بینی‌نشده و غیرمنتظره در متغیر راندمان بیشترین تأثیر را در تغییرات واریانس خطای پیش‌بینی شدت انرژی نیروگاه‌ها دارد. از نظر درجه اهمیت عوامل مذکور در تغییرات شدت انرژی، ابتدا عوامل فناورانه و مرتبط با بهره‌وری کل قرار دارند، دوم عوامل قیمتی، پس‌ازآن عوامل ساختاری تعیین‌کننده‌اند و عوامل درآمدی در درجه اهمیت آخر قرار می‌گیرد.

جدول ۲. نتیجه تجزیه واریانس ساختاری متغیر شدت انرژی نیروگاه‌ها

دوره	انحراف معیار	تکانه قیمت انرژی	تکانه راندمان	تکانه درآمد	شدت انرژی
۱	۰/۱۶۵۵	۴۰/۹۸	۴۲/۴۶	۰/۲۹۵۴	۱۶/۲۵
۲	۰/۱۸۷۲	۳۷/۰۲	۴۷/۴۰	۰/۸۷۲۲	۱۴/۶۹
۳	۰/۱۹۵۷	۳۴/۳۳	۵۰/۰۹	۱/۷۱	۱۳/۸۶
۴	۰/۱۹۹۲	۳۲/۲۹	۵۱/۷۱	۲/۵۵	۱۳/۴۳
۵	۰/۲۰۱۹	۳۰/۶۴	۵۲/۸۳	۳/۲۷	۱۳/۲۴
۶	۰/۲۰۳۸	۲۹/۲۲	۵۳/۷۲	۳/۸۴	۱۳/۲۰
۷	۰/۲۰۵۶	۲۷/۹۷	۵۳/۷۲	۴/۲۹	۱۳/۲۶
۸	۰/۲۰۷۴	۲۶/۸۵	۵۵/۱۵	۴/۶۳	۱۳/۳۷
۹	۰/۲۰۹۲	۲۵/۸۳	۵۵/۷۶	۴/۸۸	۱۳/۵۲
۱۰	۰/۲۱۰۹	۲۴/۹۱	۵۶/۳۱	۵/۰۸	۱۳/۶۸

مأخذ: محاسبات پژوهش

۶- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه صنعت برق نقشی بنیادین در فراهم‌آوری زیرساخت‌های مورد نیاز سایر صنایع و توسعه اقتصادی جوامع ایفاد می‌کند، بهبود عملکرد این صنعت از اهمیت خاصی برخوردار است. شدت فزاینده انرژی به دلیل اتلاف منابع و افزایش قیمت تمام‌شده محصولات انرژی‌بر، می‌تواند تهدیدی اساسی برای امنیت انرژی کشور قلمداد شود. به دلیل نقش مهم و زیربنایی صنعت برق در تأمین انرژی بخش‌های مختلف اقتصاد کشور، بررسی عوامل مؤثر بر نحوه کارکرد این صنعت به ویژه از منظر شدت مصرف انرژی می‌تواند از اهمیت خاصی برخوردار باشد. در همین راستا، هدف اصلی این پژوهش بررسی

1. Campbell, (1990)

تأثیر عوامل قیمتی، کارایی و درآمدی بر شدت انرژی نیروگاههای حرارتی برق ایران بود که بر اساس آن با استفاده از مدل خود توضیح برداری ساختاری (رویکرد بلانچارد- کوآ) به بررسی تأثیر قیمت سوخت مصرفی نیروگاهها، درآمد حاصل از تولید برق نیروگاهها و راندمان نیروگاهها برای تولید برق بر شدت‌انرژی پرداخته شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از برآورد مدل SVAR، توابع ضربه – واکنش و تجزیه واریانس متغیر راندمان بر متغیر شدت انرژی اثر منفی می‌گذارد، یعنی با افزایش راندمان، شدت انرژی کاهش و باعث بهبود مصرف انرژی در نیروگاهها می‌شود. در این صورت برای تولید یک کیلووات برق سوخت کمتری به کار می‌شود.

واکنش شدت انرژی به یک انحراف معیار تکانه‌های متغیرهای مستقل نیز نشان داد که متغیر شدت انرژی با تکانه وارده بر راندمان در دوره کوتاه‌مدت کاهش می‌یابد و رفته‌رفته اثر تکانه کمتر شده، سیر صعودی به خود می‌گیرد در بلندمدت در سطحی کمتر از صفر پایدار می‌شود. همچنین متغیری که در پیش‌بینی نوسانات شدت انرژی بیشترین سهم را دارد متغیر کارایی است. متغیر قیمت انرژی با شدت انرژی رابطه معناداری دارد، به نحوی که با توجه به توابع واکنش، به دلیل نوع قیمت‌گذاری سوخت در کشور، این رابطه در کوتاه‌مدت مثبت اما در بلندمدت بلندمدت منفی است. توابع ضربه واکنش شدت انرژی نیز نتایجی مشابه با ضریب بلندمدت قیمت انرژی را ارائه می‌دهد. سهم متغیر قیمت انرژی از نوسانات پیش‌بینی‌نشده شدت انرژی نیز در کوتاه‌مدت از بلندمدت بیشتر است. اما متغیر درآمد که اثر معناداری بر شدت انرژی نداشته کمترین سهم را از تجزیه واریانس شدت انرژی داراست همچنین در اثر تکانه وارده بر آن، متغیر شدت انرژی تغییر چندانی نمی‌کند؛ به‌طوری‌که اثر آن در بلندمدت به صفر نزدیک می‌شود.

توصیه‌های سیاستی تحقیق مبتنی بر یافته‌های تحقیق را بدین صورت می‌توان ارائه کرد: با توجه به اینکه از نظر درجه اهمیت، عامل راندمان، عامل قیمتی و عامل درآمدی به ترتیب بیشترین تأثیر را بر شدت انرژی نیروگاه‌های حرارتی کشور دارا می‌باشند و با توجه به آمارهای وزارت نیرو (۱۳۹۸)، در بین نیروگاه‌های حرارتی کشور، بیشترین راندمان مربوط به نیروگاه‌های چرخه ترکیبی است، تبدیل نیروگاه‌های گازی و بخاری به نیروگاه‌های چرخه ترکیبی می‌تواند راندمان نیروگاه‌های حرارتی کشور را به میزان قابل توجهی افزایش دهد و از این کانال شدت انرژی نیروگاه‌ها را کاهش دهد. علاوه بر این، کاهش مصرف داخلی برق در نیروگاه‌ها با تبدیل نیروگاه‌های حرارتی به نیروگاه‌های سیکل ترکیبی و استفاده از فناوری‌های جدید می‌تواند توان نیروگاهی را بدون سرمایه‌گذاری نه‌چندان زیاد افزایش دهد. همچنین مبتنی بر یافته‌های تحقیق، با توجه به اینکه افزایش قیمت انرژی (سوخت نیروگاه‌ها) یا واقعی کردن قیمت‌ها، انگیزه‌ای وجود دارد که دارندگان سرمایه‌های انرژی (نیروگاه‌های برق) بر افزایش کارایی متمایل شوند و شدت انرژی از کانال کارایی کاهش یابد، واقعی کردن قیمت حامل‌های انرژی در راستای سیاست‌های کاهش شدت انرژی پیشنهاد می‌شود.

برای مطالعات آتی نیز پیشنهاد می‌شود، به منظور افزایش دقت یافته‌های تحقیق، از روش‌های دیگر از جمله تجزیه شاخص به تجزیه شدت انرژی در نیروگاه‌های کشور پرداخته شود و نتایج با یافته‌های این تحقیق مورد مقایسه قرار گیرد.

منابع

ابونوری، اسمعیل و حسن لاجوردی (۱۳۹۲)، "تأثیر تشکیل بازار برق ایران بر کارایی نیروگاه‌های برق ایران"، *نشریه کیفیت و بهره‌وری صنعت برق ایران*، ۲(۳)، صص ۵۷-۵۰.

ابونوری، عباسعلی. نیکبان، آزاده (۱۳۸۹). "عوامل مؤثر بر شدت مصرف انرژی به روش دیویژیا (مطالعه موردی سیمان تهران)". *فصلنامه مدل‌سازی اقتصادی*، (۱)۳، صص ۳۹-۲۱.

اسدی ملک آبادی, حدیث, مراسلی, عزیز. (۱۳۹۷). "تجزیه تغییر شدت انرژی در بخش صنعت ایران: رویکرد تابع مسافت". *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، ۸(۲۹)، صص ۲۵-۱.

آمار تفصیلی صنعت برق ایران، ویژه مدیریت راهبردی سال ۱۳۹۸.

حیدری، کیومرث، صادقی، سمیه (۱۳۹۸). "تجزیه رفتار شدت انرژی با تأکید بر زیرساخت‌های اقتصادی و نهادی: شواهدی از ایران و کشورهای منتخب". *تحقیقات اقتصادی*، ۵۴(۱)، صص ۲۱-۴۵.

درگاهی، حسن، بیابانی خامنه، کاظم. (۱۳۹۵). "نقش عوامل قیمتی، درآمدی و کارایی در شدت انرژی ایران". *تحقیقات اقتصادی*، ۵۱(۲)، صص ۳۵۵-۳۸۴.

رشیدی زاده، مریم. جهانگرد، اسفندیار (۱۳۹۰). "تجزیه‌وتحلیل تغییر شدت انرژی در فعالیت‌های اقتصاد ایران با رویکرد SDA" . فصلنامه اقتصادی

کاربردی، (۲)۲. صص ۳۴-۵۶.

عربشاهی دلوئی، مهدیه، فلاحی، محمدعلی، صالح نیا، نرگس. (۱۳۹۹). "بررسی عوامل محیطی مؤثر بر کارایی مصرف انرژی در صنایع منتخب انرژی‌بر ایران با استفاده از مدل دو مرحله‌ای تحلیل پوششی داده‌ها (TWO-Stage DEA)". *فصلنامه پژوهش های اقتصاد صنعتی*. doi: 10.30473/ indeco.2020.7089.

گلی، زینت و یکتا اشرفی (۱۳۸۹)، "بررسی شدت انرژی کشور و تجزیه آن با استفاده از شاخص ایده آل فیشر در ایران"، *فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی*. (۱)۱۸، صص ۵۴-۳۵.

لطفی، شبنم. فریدزاد، علی. سالم، علی‌اصغر. (۱۳۹۷). "تجزیه شدت انرژی در بخش‌های اقتصادی ایران: رویکرد تحلیل تجزیه مبتنی بر تولید". *فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی*، (۸۵)۲۲، صص ۳۷-۵۱.

محمدپور، کامران. سلیمانی، میلاد. سیستانی بدوئی، یاسر (۱۳۹۴). "تأثیر هدفمندی یارانه‌ها بر شدت انرژی در صنعت ایران"، *فصلنامه سیاست‌های راهبردی و کلان*، (۱۴)۱۴، صص ۱۲۴-۹۱.

مکیان، سید نظام‌الدین. نوروزی، علی.کاظمی، ابوطالب. شهیکی تاش، محمد نبی. زنگی آبادی، پروانه. (۲۰۱۵). "ارزیابی شدت انرژی و اثر تکنولوژی تولید بر کارایی تقاضای صنعتی انرژی (مورد ایران)". *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، ۴(۱۶)، ۲۰۹-۲۴۲.

وزارت نیرو، دفتر فن‌آوری اطلاعات، ارتباطات و آمار- معاون اطلاعات و آمار، معاونت تحقیقات و منابع انسانی، پنجاه سال آمار صنعت برق ایران در آیینه آمار (۱۳۹۴-۱۳۴۶).

وزارت نیرو، نشریه صنعت برق ایران (۱۳۹۴)، شرکت مادر تخصصی توانیر، دفتر فناوری، اطلاعات، ارتباطات و آمار- معاون اطلاعات آمار.

یاوری، کاظم، سحابی، بهرام، عصاری، عباس و رضا محسنی (۱۳۹۱)، "منابع نوسانات حسابجاری: مطالعه موردی ایران و مکزیک"، *فصلنامه سیاستگذاری اقتصادی*، ۴(۸)، صص ۲۸-۱.

Adom، P. K. (2015). “Asymmetric impacts of the determinants of energy intensity in Nigeria”.. *Energy Economics*، 49، 570-580.

Astley، M.، & Garrat، A. (1996). “Interpreting sterling exchange rate movements”. *Bank of England Quarterly Bulletin*، *36*(4)، 394-404.

Azar, C. & H. Dowlatabadi (1999), "A Review Of Technical Change In Assessment Of Climate Policy”. *Annual Review of Energy and the Environment* 24: 513-544.

Azusa، okagawa (2008)، " Econometric Analysis of Key Factors Contributing to Energy intensity Improvement”. *Resources and Energy Economics*، Vol. 34، PP.40 72.

Blanchard، O. J. (1987). “Vector Autoregressions and Reality: Comment”.. *Journal of Business & Economic Statistics*، *5*(4)، 449-451.

Blanchard، O. J.، & Quah، D. (1988). “*The dynamic effects of aggregate demand and supply disturbances*”. (No. w2737). National Bureau of Economic Research.

Branch, S. (2020). United Nations Statistics Division.

Breitung, J., & Franses, P. H. (1998). “On Phillips-Perron-type tests for seasonal unit roots”.. *Econometric Theory*, 200-221.

Campbell, J. Y. (1990). “*A variance decomposition for stock returns*”. (No. w3246). National Bureau of Economic Research.

Clarida، R.، & Gali، J. (1994، December). “Sources of real exchange-rate fluctuations: How important are nominal shocks? ”. In *Carnegie-Rochester conference series on public policy* (Vol. 41، pp. 1-56). North-Holland.

Cornelio، J.، & Fankhauser، S. (2004). “The energy intensity of transition countries”..

Energy Economics، 26(3)، 283-295.

ENERDATA, S. (2020). "*The energy world in 2020*". ENERDATA 2020 statistical yearbook.

Fisher-Vanden, K., Jefferson, G. H., Liu, H., & Tao, Q. (2004). "What is driving China's decline in energy intensity? ". *Resource and Energy economics*, *26*(1), 77-97.

Jorgenson, D. W. (1984). "The role of energy in productivity growth"., *The Energy Journal*, 5(3): 11-26.

Li، K.، & Lin، B. (2014). "The nonlinear impacts of industrial structure on China's energy intensity".. *Energy*، 69، 258-265.

Linares، P. & Labandeira، X. (2010)، "Energy Efficiency: Economics and Policy". *Journal of Economic Surveys*، 24(3)، 573-592.

Luan, B., Huang, J., Zou, H., & Huang, C. (2020). "Determining the factors driving China's industrial energy intensity: Evidence from technological innovation sources and structural change". *Science of the Total Environment*, 139767.

Ma، H.، Oxley، L.، Gibson، J.، & Kim، B. (2009). "Modeling China's energy consumption behavior and changes in energy intensity". *Environmental Modelling & Software*، 24(11)، 1293-1301.

Medlock, K. (2011). "Energy Demand Theory". Published In: Hunt, L. C., & Evans, J. (Eds.). (2011). *International Handbook on the Economics of Energy*. Edward Elgar Publishing.

Schurr, S. H. (1982). "Energy efficiency and productive efficiency: some thoughts based on American experience", *The Energy Journal*, 3(3): 3-14.

Sims، R. R.، Veres III، J. G.، Watson، P.، & Buckner، K. E. (1986). "The reliability and classification stability of the Learning Style Inventory". *Educational and Psychological Measurement*، *46*(3)، 753-760.

Sorrell, S. (2009). "Jevons' Paradox revisited: The evidence for backfire from improved energy efficiency". *Energy policy*, *37*(4), 1456-1469.

Ullah, A., Neelum, Z., & Jabeen, S. (2019). "Factors behind electricity intensity and efficiency: An econometric analysis for Pakistan". *Energy Strategy Reviews*, *26*, 100371.

Wang، Z.، & He، W. (2017). "Regional energy intensity reduction potential in China: A non-parametric analysis approach". *Journal of Cleaner Production*، *149*، 426-435.

Zha, D., Zhou, D., & Ding, N. (2012). "The determinants of aggregated electricity intensity in China". *Applied energy*, *97*, 150-156.