

## **Estimating the Energy Demand of Natural Gas, Electricity and Petroleum Products in Manufacturing Industries based on SURE Method**

**Iman Shaker Ardakani\***

**Mehdi Emami Meybodi\*\***

### **Abstract**

After the occurrence of the energy crisis in the 1970s, researchers began extensive study in the field of energy demand, so that considerable progress was made in the modeling of energy demand and the development of econometric techniques for their estimation. Evaluating the industrial sector energy demand is important and necessary for policy making in order to increase production and improve efficiency in this sector. The purpose of this study is to estimate the demand for major energy consumption in the industrial sector, including natural gas, electricity, and petroleum products (gas oil and mazut) in the form of a system of equations during the period 1988-2019. The results of this study, based on seemingly unrelated regression equations (SURE), show that the energy demand for natural gas and oil products is inelastic, and natural gas input is substituted by electricity, and oil product is substituted by natural gas. Also, the increase in the industrial value added has a positive and significant effect on the energy demand for natural gas and petroleum products. In addition, the increase in the ratio of capital to

\* Assistant Professor of Economics, Ardakan University, Ardakan, Yazd, Iran, [i.shaker@ardakan.ac.ir](mailto:i.shaker@ardakan.ac.ir)

\*\* Assistant Professor of Economics, Meybod University, Meybod, Yazd, Iran (Corresponding Author),  
[emami@meybod.ac.ir](mailto:emami@meybod.ac.ir)

Date received: 2023/03/14, Date of acceptance: 2023/09/27



Copyright © 2010, IHCS (Institute for Humanities and Cultural Studies). This is an Open Access article. This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.

labor in the industrial sector is accompanied by a decrease in the energy demand for natural gas and petroleum products and an increase in the energy demand for electricity.

**Keywords:** Energy Demand, Manufacturing Industries, System of Equations, Seemingly Unrelated Regression equations (SURE).

**JEL Classification:** Q41, L60, C32

## برآورد تقاضای انرژی گاز طبیعی، برق و فرآورده‌های نفتی در صنایع کارخانه‌ای برمبنای روش SURE

ایمان شاکر اردکانی\*

مهدی امامی میبیدی\*\*

### چکیده

پس از وقوع بحران انرژی در دهه ۱۹۷۰، محققان به سمت پژوهش‌های گسترده در حوزه تقاضای انرژی پرداختند به طوری که، پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای در مدلسازی تقاضای انرژی و توسعه تکنیک‌های اقتصادسنجی برای تخمین آن‌ها صورت پذیرفت. ارزیابی تقاضای انرژی بخش صنعت به منظور سیاست‌گذاری برای افزایش تولید و بهبود کارایی در این بخش مهم و ضروری است. هدف از این مطالعه برآورد تقاضای انرژی‌های مصرفی عمده در بخش صنعت اعم از انرژی گاز طبیعی، انرژی برق و انرژی فرآورده‌های نفتی (نفت گاز و نفت کوره) در قالب سیستم معادلات همزمان طی دوره ۱۳۹۸-۱۳۶۷ است. نتایج این پژوهش بر مبنای روش معادلات رگرسیون به ظاهر نامرتب نشان می‌دهد، تقاضا برای گاز طبیعی و فرآورده‌های نفتی بی‌کاهش بوده و نهاده انرژی گاز طبیعی با انرژی برق و انرژی فرآورده‌های نفتی با گاز طبیعی جانشین هستند. همچنین افزایش ارزش‌افزوده بخش صنعت بر تقاضا برای انرژی گاز طبیعی و فرآورده‌های نفتی تأثیر مثبت و معنی‌دار داشته است. علاوه بر این افزایش نسبت سرمایه به نیروی کار در بخش صنعت منجر به کاهش تقاضا برای انرژی گاز طبیعی و فرآورده‌های نفتی و افزایش تقاضا برای انرژی برق شده است.

**کلیدواژه‌ها:** تقاضای انرژی، صنایع کارخانه‌ای، سیستم معادلات، رگرسیون به ظاهر نامرتب.

\* استادیار اقتصاد، دانشگاه اردکان، اردکان، یزد، ایران، i.shaker@ardakan.ac.ir

\*\* استادیار اقتصاد، دانشگاه میبیدی، میبیدی، یزد، ایران (نویسنده مسئول)، emami@meybod.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۵



Copyright © 2018, IHCS (Institute for Humanities and Cultural Studies). This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International, which permits others to download this work, share it with others and Adapt the material for any purpose.

## ۱. مقدمه

امروزه بخش صنعت موتور محرک رشد و توسعه اقتصادی کشورهای جهان محسوب شده و زمینه افزایش رفاه و بهبود استاندارد زندگی انسان را فراهم نموده است. بخش صنعت به دلیل ایجاد اشتغال زیاد، پیوندهای پسین و پیشین گسترده با سایر بخش‌های اقتصادی، توجه به نوآوری و تحقیق و توسعه و ... جایگاه ویژه‌ای در برنامه‌ریزی کشورها برای توسعه اقتصادی دارد؛ اما این بخش مهم اقتصادی برای فعالیت مداوم و پایدار نیاز گسترده به انواع انرژی‌ها به عنوان یک نهاده مهم و ضروری دارد.

از این‌رو ارزیابی جنبه‌های نظری و تجربی تقاضای انرژی در بخش صنعت مهم و ضروری است به گونه‌ای که با آگاهی از متغیرهای تأثیرگذار بر تقاضای انرژی در بخش صنعت می‌توان سیاست‌گذاری مناسب در جهت برنامه‌ریزی و پیش‌بینی تقاضای انرژی در این بخش را به عمل آورد (ساطعی، ۱۳۸۴: ۲۶).

به لحاظ تاریخی قبل از اولین شوک نفتی، بخش انرژی بیشتر متمرکز بر عرضه بود که هدف آن تأمین تقاضای انرژی برون‌زا از طریق گسترش عرضه بود؛ اما از اوایل دهه ۱۹۷۰، زمانی که انرژی به دلیل افزایش ناگهانی قیمت مورد توجه سیاست‌گذاران قرار گرفت، تحقیقات در مورد تقاضای انرژی به طور قابل توجهی رشد کرد. از نظر اقتصادی، اصل تخمین و تجزیه و تحلیل تقاضا برای انرژی با کالاهای دیگر تفاوتی ندارد و پایه اقتصاد خرد تقاضای انرژی همانند سایر کالاها است. تقاضای انرژی می‌تواند به دلایل مختلفی ایجاد شود. خانوارها برای تأمین نیازهای خاص انرژی مصرف می‌کنند و این کار را با تقسیم درآمد خود در بین نیازهای رقابتی مختلف انجام می‌دهند تا بیشترین میزان رضایت را از کل مخارج کسب کنند؛ اما صنایع و کاربران تجاری، انرژی را به عنوان ورودی تولید تقاضا کرده و هدف آن‌ها حداقل کردن هزینه‌های تولید است؛ بنابراین اهداف تقاضای انرژی با یکدیگر متفاوت است و باید آن‌ها را از هم جدا کرد. (بهاتاچاریا (Bhattacharyya)، ۱۳۹۷: ۶۹)

براساس آخرین آمار و اطلاعات مصرف انرژی در کارگاه صنعتی کشور در سال ۱۳۹۸، مصرف نهایی انرژی در این بخش ۲۷۳ میلیون بشکه معادل نفت خام است که حدود یک‌چهارم از کل انرژی مصرفی در کشور را شامل می‌شود. در سال ۱۳۸۷ و قبل از اجرای طرح هدف‌مندی یارانه‌ها، حدود ۶۷ درصد از انرژی مصرفی بخش صنعت مربوط به

برآورد تقاضای انرژی گاز طبیعی، برق ... (ایمان شاکر اردکانی و مهدی امامی میدی) ۵

گاز طبیعی، ۱۵ درصد مربوط به نفت کوره، ۱۰ درصد مربوط به برق، ۶ درصد مربوط به نفت گاز و سهم ناچیزی هم به سایر سوخت‌ها همچون بنزین، نفت سفید، گاز مایع و زغال‌سنگ و چوب اختصاص داشته، اما در سال ۱۳۹۸ سهم انرژی گاز طبیعی به ۸۰ درصد، سهم انرژی برق به ۱۴ درصد افزایش یافته و سهم انرژی حاصل از نفت کوره به ۳ درصد و سهم انرژی حاصل از نفت گاز به ۲ درصد کاهش یافته است. سهم سایر انرژی‌ها نیز همچنان ناچیز بوده است؛ بنابراین می‌توان گفت گاز طبیعی بالاترین سهم از انرژی مصرفی در انواع صنایع تولیدی به خود اختصاص داده و انرژی برق در جایگاه دوم و فرآورده‌های نفتی (نفت گاز و نفت کوره و ...) در جایگاه بعدی قرار دارند. این در حالی است که در جریان هدف‌مندی یارانه‌ها، بیشترین افزایش قیمت حامل‌های انرژی مربوط به فرآورده‌های نفتی و سپس انرژی گاز طبیعی و در نهایت انرژی برق کمترین افزایش قیمت را داشته است.

بر اساس چارچوب تئوریک، تقاضای انرژی نه تنها تابعی از درآمد (ستاده) و قیمت انرژی، بلکه بستگی به قیمت سایر عوامل تولید نیز دارد. اما برخی مطالعات تجربی تحت فروضی خاص، تقاضای انرژی در یک بخش اقتصادی را تنها تابعی از درآمد و قیمت انرژی در نظر گرفته‌اند. با برآورد تابع تقاضای انرژی و به دست آوردن کشش قیمتی تقاضا، کشش متقاطع تقاضا، کشش درآمدی تقاضا و کشش ساختار فنی تولید زمینه برای سیاست‌گذاری مناسب جهت افزایش بهره‌وری انرژی، کاهش شدت مصرف انرژی و افزایش کارایی در بخش صنعت فراهم می‌شود.

با توجه به این که اکثر پروژه‌های انرژی نیاز به حجم زیادی سرمایه داشته و اجرای آن‌ها نیز زمان‌بر است، لذا سیاست‌گذاران باید همیشه به دنبال برنامه‌ریزی برای اجرای پروژه‌های جدید باشند که این تصمیم‌گیری وابسته به پیش‌بینی تقاضای حامل‌های انرژی در بخش‌های مختلف است. طی دهه‌های اخیر، کاربرد تحلیل اقتصادسنجی در تخمین تقاضای انرژی در بخش صنعت بسیار مورد توجه بوده و توجه به ساختار صنعت در برآورد تابع تقاضای انرژی مهم است (ورهرامی، ۱۳۹۵: ۹۰).

در این راستا هدف اصلی این پژوهش بررسی عوامل مؤثر بر تقاضای انرژی گاز طبیعی، انرژی برق و انرژی فرآورده‌های نفتی (نفت گاز و نفت کوره) صنایع کارخانه‌ای در قالب سیستم معادلات طی دوره ۱۳۶۷ الی ۱۳۹۸ است که بدین منظور از روش معادلات رگرسیون به ظاهر نامرتب (Seemingly Unrelated Regression Equations, SURE)، به دلیل وجود همبستگی هم‌زمان بین اجزاء اخلاص معادلات رگرسیون استفاده شده است.

مهم‌ترین جنبه‌های نوآوری این مطالعه به صورت زیر است:

۱. در این مطالعه از سیستم معادلات همزمان برای تخمین توابع تقاضا انرژی به جای تخمین تک معادلات استفاده شده است. این مسأله می‌تواند کارایی تخمین توابع مورد نظر را افزایش دهد. این در حالی است که، سایر مطالعات عمدتاً از رگرسیون‌های تک معادله ای برای تخمین توابع استفاده نموده‌اند.

۲. دوره زمانی در نظر گرفته شده (۱۳۶۷ الی ۱۳۹۸) نسبت به سایر مطالعات داخلی طولانی‌تر و نتایج قابل اعتمادتری را در پی داشته و هم دوره قبل از اجرای قانون هدف‌مندی یارانه‌ها و پس از آن را پوشش می‌دهد.

۳. روند مصرف حامل‌های انرژی در بخش صنعت طی دوره ۱۳۶۷ الی ۱۳۹۸ (آخرین سال در دسترس بودن داده‌ها) طی چند دهه مورد بررسی قرار گرفته است.

در این راستا در این پژوهش پس از مقدمه، در بخش دوم پیشینه تحقیق، در بخش سوم روش تحقیق، در بخش چهارم متغیرها و توصیف داده‌ها، بخش پنجم یافته‌های پژوهش و در بخش ششم نتیجه‌گیری و پیشنهادها ارائه شده است.

## ۲. مبانی نظری پژوهش

انرژی در تابع تولید بنگاه اقتصادی به عنوان یک نهاده در کنار سایر عوامل تولید منجر به تولید کالا و خدمت شده و بنگاه اقتصادی با توجه به قیمت انرژی و سایر عوامل تولید به دنبال حداقل نمودن هزینه‌های تولید است. نتیجه این مسئله بهینه‌یابی بیانگر این است که تقاضای انرژی (در یک بخش اقتصادی) نه تنها تابعی از درآمد (ستاده) و قیمت انرژی، بلکه تابعی از قیمت سایر عوامل تولید نیز است. این در حالی است که در برخی مطالعات تجربی انرژی تحت فروض خاص، تقاضای انرژی در یک بخش اقتصادی تنها تابعی از درآمد و قیمت انرژی در نظر گرفته می‌شود.

## ۱.۲ مبانی نظری تقاضای انرژی

پس از وقوع بحران انرژی در دهه ۱۹۷۰، محققان به سمت پژوهش‌های گسترده در حوزه تقاضای انرژی پرداختند به طوری که، پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای در مدلسازی تقاضای انرژی

برآورد تقاضای انرژی گاز طبیعی، برق ... (ایمان شاکر اردکانی و مهدی امامی میدی) ۷

و توسعه تکنیک‌های اقتصادسنجی برای تخمین آن‌ها صورت پذیرفت. برنت و وود (Brendt & Wood) (۱۹۷۵) معتقدند که تقاضای انرژی بنگاه از تقاضا برای تولید بنگاه مشتق می‌شود. به عبارت دیگر، تقاضای انرژی یک تقاضای مشتق شده است. هدف اصلی بنگاه آن است که، سطحی از نهاده‌ها را انتخاب کند که هزینه کل بنگاه را با توجه به سطح مشخصی از تولید، حداقل کند. در این راستا، تقاضای مشتق شده نهاده به فناوری تولید و قیمت‌های نسبی بستگی خواهد داشت (خیابانی و توسلی، ۱۳۹۹: ۶۷).

توابع تقاضای نهاده‌ها را می‌توان از دو روش مشتق‌گیری از تابع سود نسبت به قیمت نهاده‌ها و یا مشتق‌گیری از تابع هزینه نسبت به قیمت هر نهاده استخراج کرد که در روش اول تابع تقاضای مستقیم و در روش دوم توابع تقاضای غیرمستقیم (مشروط) برای نهاده‌ها به دست می‌آید. در اکثر مطالعات انجام شده به منظور استخراج توابع تقاضای نهاده‌ها از روش دوم استفاده شده است. در این روش ابتدا یک تابع تولید انتخاب و تابع هزینه همزاد آن مشخص می‌گردد، سپس با مشتق‌گیری از تابع هزینه نسبت به قیمت هر یک از نهاده‌ها، توابع تقاضا به دست می‌آید. (صدرزاده و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۰۹).

حامل‌های انرژی، هم به عنوان کالای نهایی توسط مصرف‌کنندگان و هم به عنوان نهاده‌های تولیدی، توسط بنگاه‌های اقتصادی مورد تقاضا قرار می‌گیرند. تعیین مقدار تقاضا برای آن بخشی از حامل‌های انرژی که به عنوان نهاده تولیدی در بنگاه‌های اقتصادی در بخش‌های مختلف اقتصاد مورد استفاده قرار می‌گیرند، قابل تجزیه و تحلیل می‌باشد. بنگاه‌های تولیدی ممکن است به دنبال حداکثرسازی تولید با توجه به مقدار مشخصی هزینه‌ها یا در پی حداقل کردن هزینه‌ها با توجه به مقدار مشخصی تولید و یا به دنبال حداکثرسازی سود باشند. نتایج حاصل از تشکیل شرایط مرتبه اول و دوم، گویای آن است که در هر یک از سه حالت مذکور مقدار تقاضای بنگاه‌ها برای نهاده انرژی بستگی به قیمت حامل مورد نظر و قیمت سایر نهاده‌ها، قیمت محصول تولیدی و یا مقدار تولید محصول دارد. بنابراین می‌توان عمده‌ترین عوامل اقتصادی مؤثر بر تقاضای انرژی را متغیر قیمت و یک متغیر فعالیت مانند درآمد ملی حقیقی یا تولید ناخالص داخلی حقیقی یا ارزش افزوده حقیقی برای بخش مورد نظر قلمداد نمود. (باتاچاریا، ۲۰۱۰: ۷۵). بنابراین، تقاضا برای انواع حامل‌های انرژی در بخش‌های مختلف تولیدی از جمله بخش صنعت، به منزله‌ی یک نهاده تولید، براساس نظریه اقتصاد خرد از تابع تولید مشتق می‌شود. (شیرانی فخر و خوش اخلاق، ۱۳۹۵: ۱۲۰).

اصول تخمین و تحلیل تقاضای انرژی شبیه تقاضا برای سایر کالاها است. اما تقاضای انرژی به دلیل ویژگی‌های خاصی همچون مشکلات اندازه‌گیری نیاز به تحلیل‌های خاصی در بازارهای انرژی دارد. خانوارها انرژی را برای نیازهای خاص خود مصرف می‌کنند و درآمد خود را میان خواسته‌های مختلف خود تخصیص می‌دهند تا درجه‌ای از رضایت‌مندی را کسب نمایند. اما مصرف‌کنندگان صنعتی و تجاری، انرژی را به عنوان یک نهاده برای تولید تقاضا کرده و به دنبال حداقل کردن هزینه‌های تولید خود هستند، بنابراین انگیزه مصرف خانوار و مصرف‌کنندگان صنعتی و تجاری انرژی مشابه نیست. تحلیل تقاضای انرژی در سطح کلان برای موضوعات مربوط به سیاست‌گذاری موثر است. تقاضای انرژی میان مصارف مختلف همگن نیستند و عوامل رفتاری نیز بر تابع تقاضای انرژی موثر بوده و از بخشی به بخش دیگر متفاوت است. تقاضای انرژی در بخش صنعت در حقیقت تقاضای انرژی نهایی است. با روند صنعتی‌شدن جهان و توسعه اقتصادی تقاضای انرژی در بخش صنعت رشد چشم‌گیری داشته است و کشورهای آمریکا، چین و اتحادیه اروپا بیش از نیمی از تقاضای انرژی در بخش صنعت را به خود اختصاص داده‌اند. انرژی در بخش صنعت به عنوان یک نهاده برای تولید سایر کالا مصرف می‌شود. بنابراین میزان مصرف انرژی در بخش صنعت ارتباط مستقیم و غیرمستقیم با میزان تولید در این بخش دارد. (وره‌رامی، ۱۳۹۵: ۷۸).

در این بخش چارچوب تئوریک برای استخراج فرم تابعی تقاضای بنگاه‌های تولیدکننده کالاها و خدمات بر اساس رویکرد حداقل‌سازی تابع هزینه توضیح داده شده است. اگر فرم تابع تولید به صورت کاب - داگلاس باشد، رابطه بین تولید و عوامل تولید به شکل زیر بیان می‌شود:

$$Q=AK^{\alpha}L^{\beta}E^{\gamma}M^{\delta} \quad (1)$$

به طوری که، در این رابطه  $Q$ ،  $K$ ،  $L$ ،  $E$  و  $M$  به ترتیب سطح تولید، سرمایه، نیروی کار، مصرف انرژی و مواد اولیه هستند.  $\alpha$ ،  $\beta$ ،  $\gamma$  و  $\delta$  هم مقادیر ثابت مثبت هستند. در این جا می‌توان این فروض را در نظر گرفت که الف) یک تابع هزینه همچون تابع دوگانه برای تابع تولید وجود دارد. ب) قیمت‌گذاری عوامل بر اساس هزینه متوسط و ثابت است. ج) یک تابع ترجیحات در اقتصاد وجود دارد، بنابراین تقاضا برای کالاها و خدمات تابعی از قیمت و درآمد است. د) همه توابع فرم خاصی از کاب - داگلاس را دنبال می‌کنند. ه) شرط مرتبه اول از حداقل سازی هزینه‌ها استخراج می‌شود. بر اساس این فروض معادله تقاضای انرژی به صورت زیر به دست می‌آید:



برآورد تقاضای انرژی گاز طبیعی، برق ... (ایمان شاکر اردکانی و مهدی امامی میدی) ۹

$$\ln E = \alpha_0 + \alpha \ln p_k + \beta \ln p_l + \delta \ln p_m + \gamma \ln p_e + \eta \ln Q \quad (2)$$

در جایی که:

$$\alpha_0 = \frac{[-\ln A + \alpha \ln(\frac{\gamma}{\alpha}) + \beta \ln(\frac{\gamma}{\beta}) + \delta \ln(\frac{\gamma}{\delta})]}{[\alpha + \beta + \gamma + \delta]}, \alpha = \frac{\alpha}{[\alpha + \beta + \gamma + \delta]}, \beta = \frac{\beta}{[\alpha + \beta + \gamma + \delta]},$$

$$\delta = \frac{\delta}{[\alpha + \beta + \gamma + \delta]}, \gamma = \frac{(-\alpha - \beta - \delta)}{[\alpha + \beta + \gamma + \delta]}, \eta = \frac{1}{[\alpha + \beta + \gamma + \delta]} \quad (3)$$

با توجه به این که  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  و مقادیر مثبتی هستند، از روابط بالا می‌توان نتیجه گرفت،  $\alpha, \beta, \delta$  و  $\eta$  اعدادی مثبت و  $\gamma$  عددی منفی است (حسنو و میکائیلو (Hasanov & Mikayilov), ۲۰۲۰: ۳-۴). بنابراین رابطه (۲) بیانگر است که تقاضای بنگاه‌ها برای انرژی تابعی از قیمت‌های سرمایه، نیروی کار، مواد اولیه، انرژی و میزان تولید کل است. همان‌گونه که در مطالعه نوردهاوس (Nordhaus) (۱۹۷۷) مطرح شده است، توابع تقاضای اقتصاد برای هر محصولی می‌تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$Q_i = f^i(P_1, P_2, P_3, \dots, P_n, Y), i=1, 2, \dots, n \quad (4)$$

به طوری که،  $p_1$  بیانگر قیمت‌ها و  $Y$  میزان درآمد کل است. این تابع را در فرم لگاریتمی می‌توان به صورت زیر بازنویسی نمود:

$$\ln Q = \theta_0 + \theta_1 \ln p_k + \theta_2 \ln p_l + \theta_3 \ln p_m + \theta_4 \ln p_e + \theta_5 \ln Y \quad (5)$$

در این رابطه  $\theta_i$  ها برای  $i$  از ۱ تا ۴ مقادیر منفی هستند و تنها  $\theta_5$  بزرگ‌تر از صفر است. با فرض تعادل در بازار می‌توان معادله (۵) را در معادله (۲) جایگذاری و روابط زیر را به دست آورد:

$$\ln E = (\alpha_0 + \eta \theta_0) + (\alpha + \eta \theta_1) \ln p_k + (\beta + \eta \theta_2) \ln p_l + (\delta + \eta \theta_3) \ln p_m + (\gamma + \eta \theta_4) \ln p_e + \eta \theta_5 \ln Y \quad (6)$$

برای سادگی بیشتر می‌توان رابطه (۶) را به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$\ln E = \hat{\alpha}_0 + \hat{\alpha} \ln p_k + \hat{\beta} \ln p_l + \hat{\delta} \ln p_m + \hat{\gamma} \ln p_e + \hat{\eta} \ln Y \quad (7)$$

در این رابطه،  $\hat{\eta} = (\eta \theta_5)$  و  $\hat{\gamma} = (\gamma + \eta \theta_4)$ ،  $\hat{\delta} = (\delta + \eta \theta_3)$ ،  $\hat{\beta} = (\beta + \eta \theta_2)$ ،  $\hat{\alpha} = (\alpha + \eta \theta_1)$ ،  $\hat{\alpha}_0 = (\alpha_0 + \eta \theta_0)$  است. این رابطه نیز بیانگر این است که تقاضا برای انرژی تابعی از قیمت‌های عوامل تولید و درآمد است. با توجه به علامت‌های  $\hat{\gamma}$ ،  $\hat{\eta}$ ،  $\theta_4$  و  $\theta_5$  می‌توان مشاهده کرد که  $\hat{\delta} < 0$  در حالی که  $\hat{\eta} > 0$  است.

ظاهراً تفاوت بین معادلات (۲) و (۷) در این است که اولی تقاضای انرژی را تابعی از تولید (ستاده) می‌داند در حالی که دومی آن را تابعی از درآمد معرفی می‌کند. اما معادله (۷) را می‌توان به معادله (۸) تقلیل داد، که در آن قیمت سایر نهاده‌ها بر اساس برخی مفروضات حذف شده و تقاضای انرژی فقط به قیمت و درآمد مرتبط است.

$$\ln E = \alpha_1 + \alpha_2 \ln p_e + \alpha_3 \ln Y \quad (8)$$

به طور مشابه، بر اساس برخی فروض می‌توان معادله (۲) را نیز به فرم معادله (۸) تقلیل داد، به طوری که  $Y$  جایگزین  $Q$  شود. مطالعات بینستوک و دانزیل (Beenstock & Dalziel) (۱۹۸۶) و نوردھاس (۱۹۷۷) فرض می‌کنند که قیمت کالاهای سرمایه‌ای با شاخص قیمت GDP دارای همبستگی خطی است و قیمت نیروی کار نیز نسبتی از شاخص قیمت ضمنی GDP است، لذا در معادله (۸) تنها ستاده و قیمت انرژی باقی می‌ماند. برخی مطالعات دیگر نیز با فرض همگنی بلندمدت بین قیمت انرژی و سایر عوامل موجود در معادله تقاضای انرژی، معادله را طوری اصلاح می‌کنند که در آن متغیرهای توضیحی فقط قیمت انرژی و درآمد (ستاده) است. معادله (۸) در تحلیل‌های تجربی تقاضای انرژی نیز بسیار پرکاربرد است (حسنو و میکائیلو، ۲۰۲۰: ۴).

## ۲.۲ پیشینه تجربی

هنریکسون و همکاران (Henriksson et al.) (۲۰۱۲)، در مطالعه‌ای به بررسی تغییرات قیمتی و هزینه‌های تحقیق و توسعه بر تقاضای انرژی برق و کارایی آن در صنعت کاغذ و محصولات کاغذی در سوئد با استفاده از رویکرد پانل دیتا پرداختند. نتایج تجربی این مطالعه نشان می‌دهد که تقاضای برق در صنعت کاغذ و محصولات کاغذی سوئد نسبتاً بی‌کشش بوده و اجرای برنامه‌های تحقیق و توسعه در صرفه‌جویی در مصرف برق صنعت کاغذ و محصولات کاغذی مؤثر بوده است.

شولت و همکاران (Schulte et al.) (۲۰۱۴)، در مطالعه‌ای به ارزیابی نقش فناوری اطلاعات و ارتباطات در تقاضای انرژی در کشورهای OECD بر اساس تابع هزینه متغیر محدود شده و روش پانل دیتا پرداختند. یافته‌های آن‌ها نشان می‌دهد، این رابطه با توجه به انواع مختلف انرژی متفاوت است به گونه‌ای که فناوری اطلاعات و ارتباطات ارتباط منفی با تقاضا برای انرژی غیر الکتریکی دارد، اما تأثیر قابل توجهی در تقاضا برای انرژی الکتریکی نیز ندارد.

برآورد تقاضای انرژی گاز طبیعی، برق ... (ایمان شاکر اردکانی و مهدی امامی میدی) ۱۱

همچنین نتایج بیانگر این است که از نظر کمی، تأثیر فناوری اطلاعات و ارتباطات بر تقاضای برای نهاده انرژی بیشتر از تقاضای برای نهاده نیروی کار است.

لین و چن (Lin & Chen) (۲۰۱۷)، در مطالعه‌ای به بررسی عوامل مؤثر بر تقاضا و کارایی انرژی صنایع کارخانه‌ای چین بر اساس روش هم‌جمعی جوهانسون پرداختند. بر اساس نتایج این پژوهش، تولید ناخالص داخلی، شاخص قیمت انرژی و سهم صنایع ثانویه تأثیر بلندمدت بر تقاضای انرژی صنایع کارخانه‌ای چین داشته و ضریب شاخص قیمت انرژی منفی و معنی‌دار و ضریب دو متغیر دیگر مثبت و معنی‌دار است. همچنین بر اساس یافته‌های این پژوهش اگر دولت مرکزی چین اقدامات لازم را در جهت صرفه‌جویی در مصرف انرژی بخش صنعت انجام دهد، پیش‌بینی می‌شود که تقاضا انرژی در این بخش به ۱۱۱۳/۸ میلیون تن معادل زغال‌سنگ در سال ۲۰۳۰ میلادی خواهد رسید.

حسنو و میکائیلو (۲۰۲۰)، در مطالعه‌ای به بازبینی دیدگاه‌های تئوریک پیرامون تقاضای انرژی پرداختند. بر اساس نتایج این مطالعه از یک‌سو تحمیل مشخصات تقاضای انرژی بر روی داده‌ها بدون بررسی مفروضات مربوطه به داده‌ها می‌تواند منجر به تخمین‌های تورش‌دار و تقریب‌های بسیار ضعیف شده و از سوی دیگر تحمیل مشخصات کلی تقاضای انرژی بدون در نظر گرفتن ویژگی‌های داده‌ها نیز می‌تواند به تخمین‌های اضافی و تقریب کم‌تر از حد واقعی ختم شود. بنابراین بر اساس یافته‌های این نتایج ترکیب نظریه تقاضای انرژی با داده‌های تجربی می‌تواند تخمین‌های بدون تورش نزدیک به مقادیر واقعی ارائه دهد.

پاراماتی و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی به بررسی نقش فناوری زیست‌محیطی، بر تقاضا و کارایی انرژی در کشورهای عضو OECD پرداختند. بر اساس نتایج این پژوهش و بر مبنای رویکردهای مختلف پانل دیتا، فناوری زیست‌محیطی تأثیر منفی قابل‌توجهی بر تقاضای انرژی داشته و از طریق کاهش شدت انرژی، نقش مهمی در بهبود کارایی انرژی ایفا می‌کند. این شواهد نشان می‌دهد که فناوری زیست‌محیطی به اقتصادهای OECD کمک می‌کند تا مصرف کلی انرژی خود را کاهش دهند و کارایی کلی انرژی را در کشورهای مربوطه بهبود بخشند. نتایج تجربی این پژوهش نیز نشان می‌دهد که توسعه مالی و درآمد عوامل کلیدی تعیین‌کننده تقاضای انرژی هستند.

امیررضا و همکاران (Amir Reza et al.) (۲۰۲۲) به پیش‌بینی تقاضای انرژی در پاکستان تا سال ۲۰۳۰ و پیشنهادی برای استفاده از منابع انرژی داخلی مانند زغال‌سنگ، گاز طبیعی و منابع خورشیدی موجود در استان بلوچستان پاکستان برای تامین برق مورد نیاز کشور ارائه

نموده است. با نرم‌افزار برنامه‌ریزی جایگزین انرژی (LEAP)، نتایج نشان می‌دهد که، پیش‌بینی تقاضای انرژی پاکستان ۳۹۹ تراوات ساعت در سناریوی پایه و ۳۱۲ تراوات ساعت در سناریوی حفظ انرژی است. پتانسیل تولید برق دارایی‌های انرژی داخلی موجود در بلوچستان در مجموع ۵۰۰.۰۴۱ تراوات ساعت است که شامل گاز طبیعی ۳۹۲.۷۶۸ تراوات ساعت، خورشیدی ۸۴.۹۳۵ تراوات ساعت و زغال سنگ ۲۲.۳۳۸ تراوات ساعت است. این تحقیق به ادارات دولتی مربوطه در پاکستان برای توسعه ظرفیت انرژی مطابق با تقاضای انرژی مورد نیاز و کاهش بحران‌های انرژی در پاکستان کمک می‌کند.

امامی و قادری (۲۰۲۳) به پیش‌بینی تقاضای انرژی در ایران تا سال ۲۰۴۰ با یک مدل بهینه‌سازی مبتنی بر الگوریتم‌های یادگیری ماشین پرداخته‌اند. در این مطالعه، داده‌های مربوط به تولید برق و سوخت مصرف در نیروگاه‌ها، واردات و صادرات برق و هفت بخش عمده مصرف‌کننده انرژی (مسکونی، تجاری، صنعتی، حمل و نقل، عمومی، کشاورزی و غیره) جمع‌آوری شده است. نتایج الگوریتم PSO رشد ۷۵.۶۵ درصدی تقاضای کل انرژی در تمام بخش‌ها را نشان می‌دهد و الگوریتم Grey-Wolf Optimizer رشد ۸۲.۹۴ درصدی را پیش‌بینی می‌کند.

رائو و همکاران (Rao et al.) (۲۰۲۳) به پیش‌بینی تقاضای انرژی در چین با استفاده از مدل هموارسازی نمایی دوم رگرسیون-بردار داده‌های ترکیبی پرداخته‌اند. نتایج پیش‌بینی تقاضا برای زغال‌سنگ، نفت، گاز طبیعی و برق نشان می‌دهد که اشتهای چین برای انرژی در دهه آینده با نرخ سالانه ۲.۶ درصد رشد خواهد کرد. تقاضا برای زغال سنگ ابتدا افزایش می‌یابد و سپس با نرخ ۰.۷۹ درصد در سال کاهش می‌یابد. نرخ رشد سالانه تقاضا برای نفت به نسبت ۳.۵۲ درصد ثابت خواهد بود. با این حال، تقاضا برای گاز طبیعی و برق به سرعت افزایش خواهد یافت و بالاترین نرخ رشد سالانه ۸.۰۵ درصد است که به آگاهی بیشتر از انرژی پاک اشاره دارد.

آذربایجانی، شریفی و شجاعی (۱۳۸۶)، در پژوهشی به تخمین تابع تقاضای گاز طبیعی در بخش صنعت کشور با استفاده از مدل ARDL و الگوی تصحیح خطا پرداختند. یافته‌های آن‌ها نشان می‌دهد قیمت واقعی گاز و برق در بخش صنعت بر مصرف گاز طبیعی در این بخش در کوتاه مدت و بلندمدت تأثیر معنی‌دار نداشته و بر اساس ضرایب کشش متقاطع تقاضا دو نهاد انرژی گاز طبیعی و فرآورده‌های نفتی مکمل یکدیگر هستند. علاوه بر این سایر نتایج

برآورد تقاضای انرژی گاز طبیعی، برق ... (ایمان شاکر اردکانی و مهدی امامی میدی) ۱۳

نشان می‌دهد ارزش افزوده بخش صنعت در کوتاه مدت و بلندمدت بر تقاضای صنعت برای گاز طبیعی تأثیر مثبت و معنی‌دار دارد.

صدر زاده مقدم، صادقی و قدس الهی (۱۳۹۲)، در مطالعه‌ای به بررسی عوامل مؤثر بر تقاضای انرژی و کشش قیمتی و جانشینی نهاده‌ها در بخش صنعت با رویکرد بهینه‌سازی دو مرحله‌ای پرداختند. آن‌ها در این پژوهش در ابتدا عوامل مؤثر بر تقاضای انرژی در بخش صنعت را شناسایی و سپس با استفاده از تابع لاجیت و روش SUR کشش‌های قیمتی و جانشینی میان عوامل مؤثر بر تقاضای انرژی را محاسبه نمودند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد تغییر در قیمت حامل‌های انرژی تأثیر چندانی بر مصرف انرژی در بخش صنعت ندارد. علاوه بر این یافته‌ها بیانگر جانشینی بین انرژی برق و گاز طبیعی و فرآورده‌های نفتی و زغال سنگ و مکمل بودن فرآورده‌های نفتی و برق، برق و زغال سنگ و زغال سنگ و گاز طبیعی در بخش صنعت است.

شیرانی فخر و خوش اخلاق (۱۳۹۵)، در مطالعه‌ای به برآورد تابع تقاضا برای حامل‌های انرژی در زیر بخش صنایع نساجی، پوشاک و چرم بر اساس مدل سری زمانی ساختاری طی دوره زمانی ۱۳۶۰-۱۳۹۲ پرداختند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد کشش قیمتی تقاضا برای گاز طبیعی، برق، نفت گاز و نفت کوره در کوتاه مدت کوچک‌تر از یک و در بلندمدت کشش قیمتی برق پایین و برای سایر حامل‌های انرژی بخش صنعت بزرگ‌تر از یک بوده است. علاوه بر این نتایج بیانگر این است که کشش تولیدی تقاضا برای همه حامل‌های انرژی در کوتاه‌مدت کمتر از یک و مقدار این کشش در بلندمدت به جزء برای انرژی گاز طبیعی کمتر از یک است و اقلیم معتدل و مرطوب بهترین شرایط تولید را در صنایع نساجی فراهم می‌کند.

مولایی و انتظار (۱۳۹۸)، در مطالعه‌ای به بررسی عوامل مؤثر بر تقاضای انرژی فسیلی در بخش صنعت ایران طی دوره ۱۳۶۱ الی ۱۳۹۴ با استفاده از روش ARDL پرداختند. بر اساس نتایج این مطالعه تقاضای بخش صنعت برای انرژی‌های فسیلی با کشش بوده و سیاست قیمتی در بهینه کردن تقاضای بنگاه‌های صنعتی مؤثر بوده و بر اساس مقدار ضریب کشش متقاطع تقاضا در کوتاه مدت و بلندمدت بین انرژی فسیلی و انرژی الکتریکی رابطه جانشینی وجود دارد. علاوه بر این نتایج نشان می‌دهد که ضریب کشش درآمدی برای تقاضای انرژی فسیلی در بخش صنعت مثبت و معنی‌دار است.

خیابانی و توسلی (۱۳۹۹)، در پژوهشی به بررسی و مقایسه تخمین مدل‌های تقاضا انرژی در رویکرد تک معادله‌ای و سیستمی پرداختند. بر اساس یافته‌های این پژوهش رویکردهای

تک معادله‌ای با وجود سادگی در برآورد پارامترها، با مشکلاتی نظیر درون‌زایی و بی‌ثباتی در پارامترها مواجه بوده و به دلیل ضعف پایه‌های نظری در تفسیر دقیق اقتصادی کشش‌های خودی و متقاطع با مشکل روبرو است. همچنین نتایج نشان می‌دهد، ساختار معادلات تقاضا در رویکرد سیستمی بر پایه مبانی اقتصاد خرد بوده و همین امر موجب شده است که کشش‌های خودی و متقاطع به سهولت از این مدل‌ها استخراج شده و تعاملات بین حامل‌های انرژی نیز لحاظ گردد، ولی ضعف این رویکرد وابستگی بیش از حد آن به انواع فرم‌های تبعی انعطاف‌پذیر است.

ارزیابی مطالعات داخلی بیانگر این واقعیت است که در اکثر آن‌ها تقاضای انرژی‌های مصرفی در بخش صنعت به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفته است، لذا وجه تمایز اصلی پژوهش حاضر برآورد تابع تقاضای انرژی‌های مصرفی عمده در صنایع کارخانه در قالب یک سیستم معادلات به صورت همزمان است که از کارایی بیشتری برخوردار است. ارزیابی مطالعات خارجی مرور شده نیز موید این موضوع است که قیمت‌های انرژی و درآمد (ستاده) از مهم‌ترین عوامل موثر بر تقاضای انرژی در بخش صنعت در کنار سایر عوامل هم‌چون فناوری اطلاعات و ارتباطات و تحقیق و توسعه مطرح هستند.

### ۳. روش‌شناسی تحقیق

در تحلیل‌های اقتصادی معمولاً مجموعه‌ای از معادلات وجود دارد. برای مثال تخمین تابع تقاضا چند کالا یا تقاضای چند انرژی مصرفی در یک بخش و ... در این شرایط جملات اخلاص معادلات مختلف در یک زمان مشخص برخی عوامل غیرقابل اندازه‌گیری و یا حذف‌شده را اندازه‌گیری می‌کنند، لذا این جملات اخلاص می‌توانند همبسته باشند. این ارتباط به همبستگی هم‌زمان (Contemporaneous correlation) معروف است. تحت این شرایط، تخمین معادلات به صورت هم‌زمان دارای کارایی بیشتری نسبت به تخمین معادلات به صورت تکی و جداگانه است. روش مناسب برای تخمین چنین معادلاتی به تخمین رگرسیون‌های به ظاهر نامرتب (SURE) معروف است. شکل ماتریسی این معادلات را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

برآورد تقاضای انرژی گاز طبیعی، برق ... (ایمان شاکر اردکانی و مهدی امامی میدی) ۱۵

$$Y=XB+e \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_T \end{bmatrix}_{T \times 1} = \begin{bmatrix} 1 & x_{21} & x_{31} & \cdot & \cdot & x_{k1} \\ 1 & x_{22} & x_{32} & \cdot & \cdot & x_{k2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_{2T} & x_{3T} & \cdot & \cdot & x_{kT} \end{bmatrix}_{T \times K} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_T \end{bmatrix}_{T \times 1} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_T \end{bmatrix}_{T \times 1} \quad (9)$$

در این جا T بیانگر تعداد معادلات است. ماتریس واریانس - کوواریانس باقیمانده‌ها نیز به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$E(e\acute{e})=E \left( \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \acute{e}_1 \\ \acute{e}_2 \\ \vdots \\ \acute{e}_T \end{bmatrix} \right) = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \cdot & \cdot & \sigma_{1T} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \cdot & \cdot & \sigma_{2T} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{T1} & \sigma_{T2} & \cdot & \cdot & \sigma_{TT} \end{bmatrix} \Theta I_T \quad (10)$$

برای تخمین چنین معادلاتی از روش حداقل مربعات تعمیم یافته (Generalized Least Squares, GLS) استفاده می‌شود. پارامترهای مجهول با استفاده از ماتریس واریانس-کوواریانس و بر اساس رابطه (۱۱) تخمین زده می‌شود:

$$\hat{\beta} = (\acute{X}^{-1}X)^{-1} \acute{X}^{-1}Y \quad (11)$$

اگر همبستگی همزمان بین معادلات وجود نداشته باشد، روش OLS از کارایی لازم برای تخمین معادلات برخوردار است و نیازی به استفاده از روش SURE نیست. به عبارتی دیگر روش SURE برای ماتریس واریانس - کوواریانس غیر قطری مناسب است، لذا نیاز است فرضیه غیر قطری بودن ضرایب ماتریس واریانس - کوواریانس مورد آزمون قرار گیرد. برای آزمون همبستگی همزمان دو روش آماره ضریب لاگرانژ (Lagrange Multiplier) و آماره نسبت راست‌نمایی (Log-Likelihood Ratio Statistic) تعریف شده است. بر اساس این روش‌ها فرضیه صفر مبتنی بر عدم همبستگی همزمان بر اساس آماره چی دو مورد آزمون قرار می‌گیرد. در صورت رد فرضیه صفر استفاده از روش SURE از کارایی بیشتری برخوردار است (تشکینی، ۱۳۹۵: ۲۸۳).

با توجه به متدولوژی مطرح در بخش مبانی نظری تقاضا برای انرژی تابعی از قیمت انرژی و سطح تولیدی در نظر گرفته می‌شود. بررسی انرژی مصرفی در بخش صنایع تولید ایران نیز نشان می‌دهد گاز طبیعی، برق و فرآورده‌های نفتی سهم اصلی تأمین انرژی در این بخش را برعهده دارند. بنابراین در این پژوهش سه تابع تقاضا برای انرژی‌های گاز طبیعی، برق و

فرآورده‌های نفتی<sup>۱</sup> (نفت گاز و نفت کوره) در قالب یک سیستم معادلات تقاضای انرژی به صورت لگاریتمی - خطی به صورت معادلات زیر تعریف می‌شود:

$$\begin{cases} \ln E_{gt} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln P_{gt} + \alpha_2 \ln P_{et} + \alpha_3 \ln P_{ot} + \alpha_4 \ln V_t + \alpha_5 \ln KL_t + \alpha_6 \ln E_{g,t-1} + \alpha_7 \ln KL_{t-1} + u_{1t} \\ \ln E_{et} = \beta_0 + \beta_1 \ln P_{et} + \beta_2 \ln P_{gt} + \beta_3 \ln P_{ot} + \beta_4 \ln V_t + \beta_5 \ln KL_t + \beta_6 \ln E_{e,t-1} + u_{2t} \\ \ln E_{ot} = \gamma_0 + \gamma_1 \ln P_{ot} + \gamma_2 \ln P_{gt} + \gamma_3 \ln P_{et} + \gamma_4 \ln V_t + \gamma_5 \ln KL_t + \gamma_6 \ln E_{o,t-1} + \gamma_7 \ln P_{e,t-1} + u_{3t} \end{cases} \quad (12)$$

در این سیستم معادلات  $E_{gt}$ ، بیانگر تقاضای صنعت برای گاز طبیعی،  $E_{et}$ ، تقاضای صنعت برای انرژی برق،  $E_{ot}$ ، تقاضای صنعت برای نفت کوره و نفت گاز،  $P_{gt}$ ، قیمت واقعی گاز طبیعی در بخش صنعت،  $P_{et}$ ، قیمت واقعی برق در بخش صنعت،  $P_{ot}$ ، متوسط قیمت واقعی نفت گاز و نفت کوره،  $V_t$ ، ارزش افزوده واقعی بخش صنعت،  $KL_t$ ، ساختار فنی تولید (نسبت سرمایه به نیروی کار) است. علاوه بر این برای در نظر گرفتن پویایی تقاضای انرژی در سیستم معادلات با استفاده از معیار شوارتز-بیزین (Schwarz-Bayesian) تعداد وقفه‌های بهینه متغیر وابسته و متغیرهای توضیحی در هر مدل تعیین شده است. بر این اساس در مدل تقاضای انرژی برای گاز طبیعی مقادیر با وقفه متغیر وابسته ( $E_{g,t-1}$ ) و متغیر نسبت سرمایه به تولید ( $KL_{t-1}$ ) در نظر گرفته شده است. در مدل تقاضای انرژی برق تنها متغیر با وقفه وابسته ( $E_{e,t-1}$ ) لحاظ شده است. در معادله تقاضای انرژی فرآورده‌های نفتی نیز مقادیر با وقفه متغیر وابسته ( $E_{o,t-1}$ ) و متغیر قیمت واقعی برق ( $P_{e,t-1}$ ) در نظر گرفته شده است. در این سیستم معادلات ضرایب قیمت‌ها بیانگر کشش قیمتی تقاضا و کشش متقاطع تقاضای انرژی بوده و ضریب ارزش افزوده نیز بیانگر کشش درآمدی تقاضای انرژی می‌باشد. ضریب نسبت سرمایه به نیروی کار نیز به نوعی کشش فنی (تکنولوژی) تقاضای انرژی را منعکس می‌کند.

#### ۴. متغیرها و توصیف داده‌ها

##### ۱.۴ آمار و اطلاعات

با مشخص شدن متغیرهای حاضر در سیستم معادلات رگرسیونی تقاضای انرژی، آمار و اطلاعات مربوط آن‌ها طی دوره ۱۳۶۷ الی ۱۳۹۸ از مرکز آمار ایران، ترازنامه انرژی، بخش آمار و داده بانک مرکزی و نتایج آمارگیری از کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر استخراج شده است. در این جا واحدهای تقاضا برای انرژی گاز طبیعی بر حسب میلیون مترمکعب، تقاضا برای انرژی برق بر حسب میلیون کیلووات ساعت و تقاضای نفت کوره و نفت گاز بر حسب هزار لیتر می‌باشد. قیمت‌های هر یک از انرژی‌های مصرفی نیز با استفاده از شاخص



برآورد تقاضای انرژی گاز طبیعی، برق ... (ایمان شاکر اردکانی و مهدی امامی میدی) ۱۷

قیمت مصرف‌کننده (سال پایه ۱۳۹۵) واقعی شده است و بر حسب ریال به واحد انرژی مربوطه می‌باشند. ارزش افزوده بخش صنعت نیز بر حسب میلیارد ریال بوده و بر اساس شاخص قیمت مصرف‌کننده (سال پایه ۱۳۹۵) واقعی شده است. علاوه بر این نسبت سرمایه به نیروی کار نیز بر حسب میلیارد ریال به ازای هر نفر شاغل در بخش صنعت بیان می‌شود. همچنین به منظور انجام آزمون‌ها و تخمین سیستم معادلات به روش SURE از بسته‌های نرم‌افزاری Stata 12 و Microfit 5 استفاده شده است.

#### ۲.۴ توصیف متغیرها

در این بخش، به تحلیل آمار توصیفی از متغیرهای مورد استفاده در مدل تحقیق پرداخته شده است. جدول (۱)، آمار توصیفی مربوط به متغیرهای مدل تقاضای انرژی در صنایع کارخانه‌ای طی دوره ۱۳۶۷ الی ۱۳۹۸ بر حسب میانگین، انحراف معیار، حداقل و حداکثر مقادیر متغیرها را نشان می‌دهد.

جدول ۱. آمار توصیفی مربوط به متغیرهای مدل تقاضای انرژی در صنایع کارخانه‌ای طی دوره ۱۳۶۷ الی ۱۳۹۸

متغیر	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
تقاضای گاز طبیعی (میلیون متر مکعب)	۱۳۶۹۵	۱۰۶۴۶	۱۸۷۳	۳۵۱۶۹
تقاضای برق (میلیون کیلووات ساعت)	۴۲۹۷۳	۲۶۰۳۳	۷۸۵۲	۹۶۹۸۹
تقاضای فرآورده‌های نفتی (هزار لیتر)	۷۰۶۵۲۶۳	۱۹۴۸۲۰۰	۳۱۱۹۶۱۵	۱۰۵۹۸۵۷۷
قیمت گاز طبیعی (ریال / متر مکعب)	۹	۴/۲	۲	۲۱/۱
قیمت برق (ریال / کیلووات ساعت)	۱۰	۴/۱	۴	۱۷/۶
قیمت فرآورده‌های نفتی (ریال / لیتر)	۱۴	۱۴/۲	۲/۵	۵۴/۷
ارزش افزوده بخش صنعت (میلیارد ریال)	۱۷۵۲۳	۶۹۶۱	۴۶۵۳	۳۱۴۶۴
نسبت سرمایه به نیروی کار (نفر / میلیارد ریال)	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۴

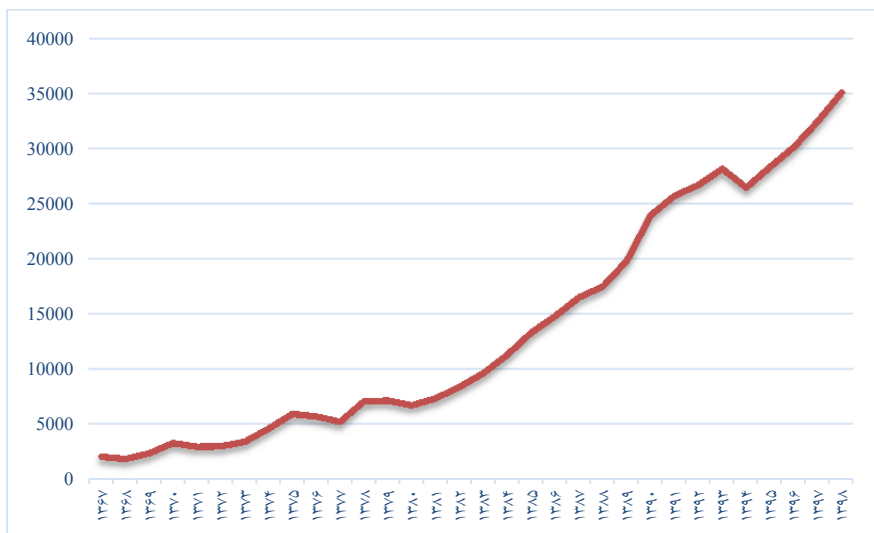
منبع: مرکز آمار ایران و یافته‌های تحقیق

بررسی آمار توصیفی متغیرهای مربوط به تقاضای انرژی در صنایع کارخانه‌ای بیان‌گر این است که به طور متوسط ۱۳۶۹۵ میلیون متر مکعب گاز طبیعی، ۴۲۹۷۳ میلیون کیلووات

ساعت انرژی برق و ۷۰۶۵۲۶۳ هزار لیتر فرآورده‌های نفتی (شامل نفت کوره و نفت گاز) برای ایجاد ۱۷۵۲۳ میلیارد ریال ارزش افزوده در صنعت در هر سال مصرف شده است. این درحالی است که متوسط قیمت واقعی گاز طبیعی، برق و فرآورده‌های نفتی عرضه شده به بخش صنعت به ترتیب ۹، ۱۰ و ۱۴ ریال به ازای هر واحد بوده است. علاوه بر این متوسط نسبت سرمایه واقعی به نیروی کار در بخش صنعت به ازای هر نفر ۰/۰۳ میلیارد ریال می باشد. حداقل تقاضا گاز طبیعی و برق برای بخش صنعت در سال‌های ابتدایی دوره و حداکثر تقاضا مربوط به سال پایانی دوره اتفاق افتاده است که بیانگر روند افزایشی مصرف این دو حامل انرژی است، اما در مورد تقاضا برای فرآورده‌های نفتی حداقل مصرف در سال پایانی رخ داده است که بیانگر روند کاهشی مصرف فرآورده‌های نفتی در صنایع تولیدی است. این درحالی است طی دوره مورد بررسی حداقل قیمت واقعی گاز طبیعی ۲ ریال و حداکثر قیمت آن حدود ۲۱ ریال به ازای هر مترمکعب، حداقل قیمت واقعی انرژی برق ۴ ریال و حداکثر قیمت آن حدود ۱۸ ریال به ازای هر کیلووات ساعت و حداقل قیمت واقعی انرژی برق ۴ ریال و حداکثر قیمت آن حدود ۱۸ ریال به ازای هر کیلووات ساعت و حداقل قیمت واقعی فرآورده‌های نفتی ۲/۵ ریال و حداکثر قیمت آن حدود ۵۵ ریال به ازای هر لیتر تعیین شده است. در ادامه به منظور بررسی روند مصرف حامل‌های انرژی در صنایع کارخانه‌ای و تغییرات قیمت این حامل‌ها طی سه دهه گذشته نمودارهای (۱) الی (۶) ارائه و مورد تحلیل قرار گرفته است.

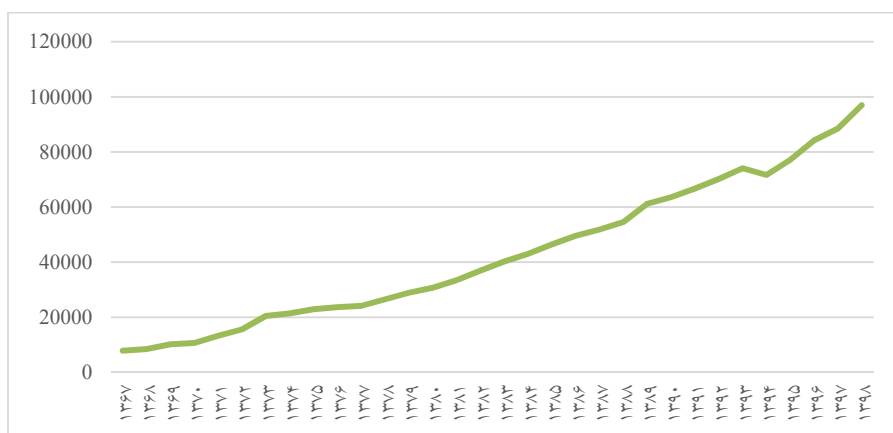
وضعیت مصرف گاز طبیعی طی دوره ۱۳۶۷ الی ۱۳۹۸ در بخش صنعت در نمودار (۱) بیانگر این است که از ابتدای دوره تا سال ۱۳۸۱ مصرف این حامل انرژی علی‌رغم فراز و نشیب روندی صعودی داشته و از سال ۱۳۸۱ به بعد مصرف آن از رشدی فزاینده برخوردار است. این رشد که به طور متوسط سالیانه ۱۰ درصد بوده است به دلیل افزایش تولید واقعی بخش صنعت و جانشینی گاز طبیعی با سایر حامل‌ها به ویژه فرآورده‌های نفتی است. این روند افزایشی تا سال ۱۳۹۳ ادامه و در سال ۱۳۹۴ کاهش یافته است که علت این موضوع کاهش تولید صنایع کارخانه‌ای به دلایل تشدید شرایط تحریمی بوده است. همچنین اجرای طرح هدف‌مندی یارانه‌ها در سال ۱۳۸۹ مصرف گاز طبیعی و جانشینی آن را در بخش صنعت سرعت بخشیده است.

برآورد تقاضای انرژی گاز طبیعی، برق ... (ایمان شاکر اردکانی و مهدی امامی میدی) ۱۹



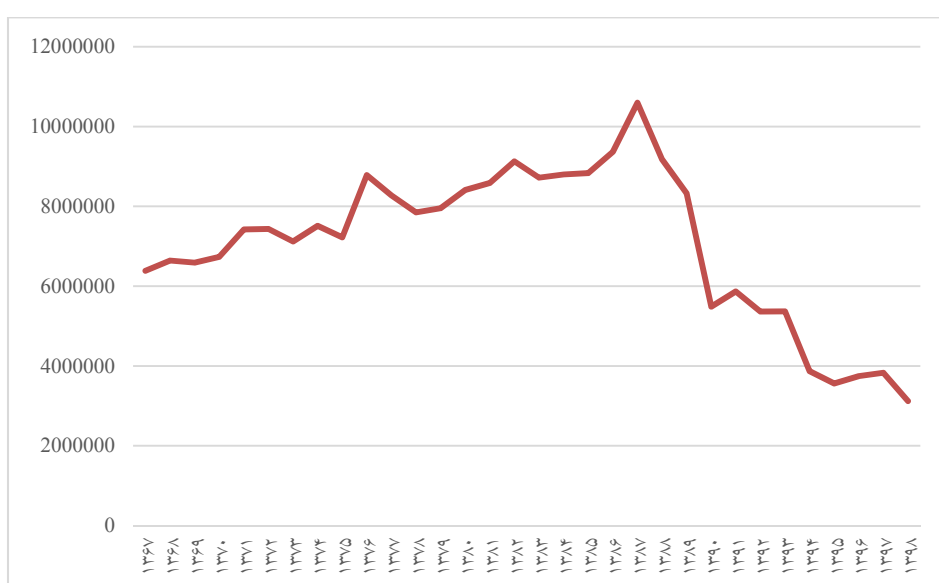
نمودار ۱. روند مصرف گاز طبیعی (میلیون متر مکعب) در صنایع کارخانه ای طی دوره ۱۳۶۷ - ۱۳۹۸

وضعیت مصرف انرژی برق طی دوره ۱۳۶۷ الی ۱۳۹۸ در بخش صنعت در نمودار (۲) شبیه مصرف گاز طبیعی است به گونه‌ای که مصرف این حامل انرژی نیز دارای روندی صعودی بوده و به طور متوسط مصرف آن سالیانه ۹ درصد رشد داشته است. اما تنها در سال ۱۳۹۴ روند مصرف انرژی برق در بخش صنعت نزولی بوده است که علت آن عمدتاً ناشی از کاهش تولید صنایع کارخانه‌ای به دلایل تحریم و آثار آن بوده است.



نمودار ۲. روند مصرف برق (میلیون کیلووات ساعت) در صنایع کارخانه ای طی دوره ۱۳۶۷ الی ۱۳۹۸

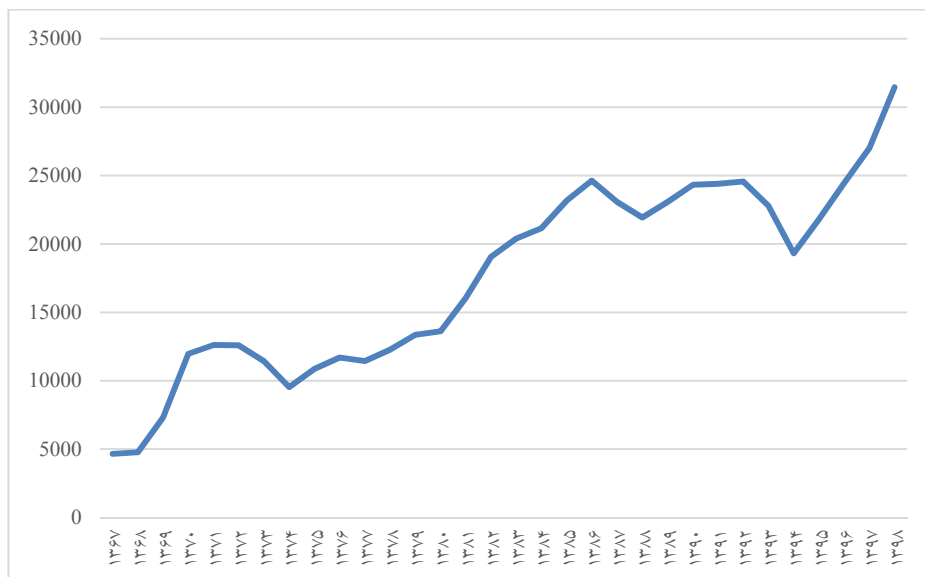
وضعیت مصرف فرآورده های نفتی طی دوره ۱۳۶۷ الی ۱۳۹۸ در بخش صنعت در نمودار (۳) بیانگر روندی متفاوت نسبت به دو حامل انرژی گاز طبیعی و برق است، به گونه ای که مصرف این حامل انرژی علی رغم فراز و نشیب زیاد تا سال ۱۳۸۷ دارای روندی صعودی بوده و از این سال به بعد به شدت کاهش داشته است. اجرای قانون هدفمندی یارانه ها و افزایش قیمت فرآورده های نفتی نسبت با سایر حامل های انرژی و جانشینی سایر حامل های انرژی و بهبود تکنولوژی از مهمترین دلایل این روند کاهشی است.



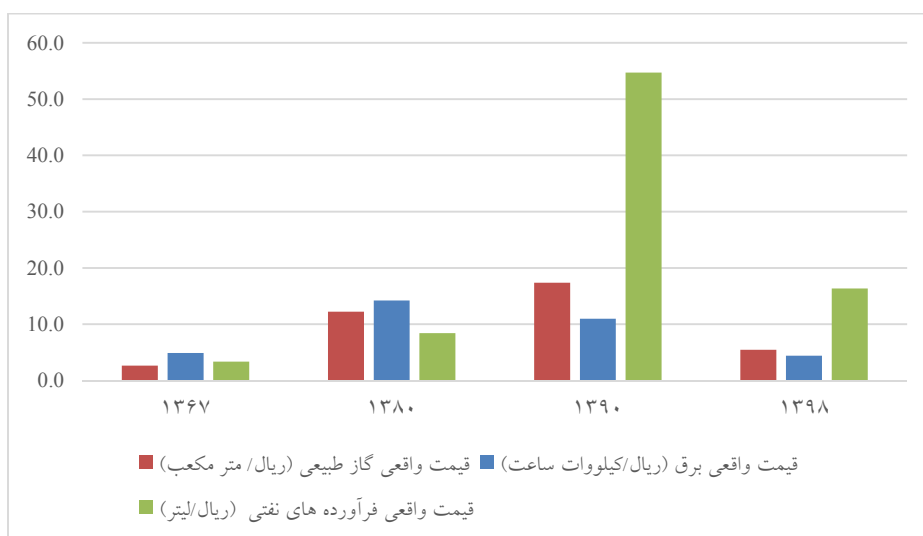
نمودار ۳. روند مصرف فرآورده های نفتی (هزار لیتر) در صنایع کارخانه ای طی دوره ۱۳۶۷ الی ۱۳۹۸

ارزیابی روند ارزش افزوده واقعی ایجاد شده توسط بخش صنعت طی دوره ۱۳۶۷ الی ۱۳۹۸ در نمودار (۴) بیانگر این است که اگر چه روند کلی صعودی است اما در دوره های مختلف بعد از افزایش، ارزش افزوده واقعی روندی کاهشی داشته است. برای مثال در سال ۱۳۸۶ بالاترین ارزش افزوده واقعی از ابتدای دوره رخ داده است و از این سال به بعد تا سال ۱۳۹۷ ارزش افزوده واقعی از مقدار ۲۴۶۲۹ ریال در سال ۱۳۸۶ فراتر نرفته است. همچنین کاهش ارزش افزوده واقعی از سال ۱۳۹۲ الی ۱۳۹۴ منجر به کاهش تقاضا برای حامل های انرژی شده است.

۲۱. برآورد تقاضای انرژی گاز طبیعی، برق ... (ایمان شاکر اردکانی و مهدی امامی میبدی)

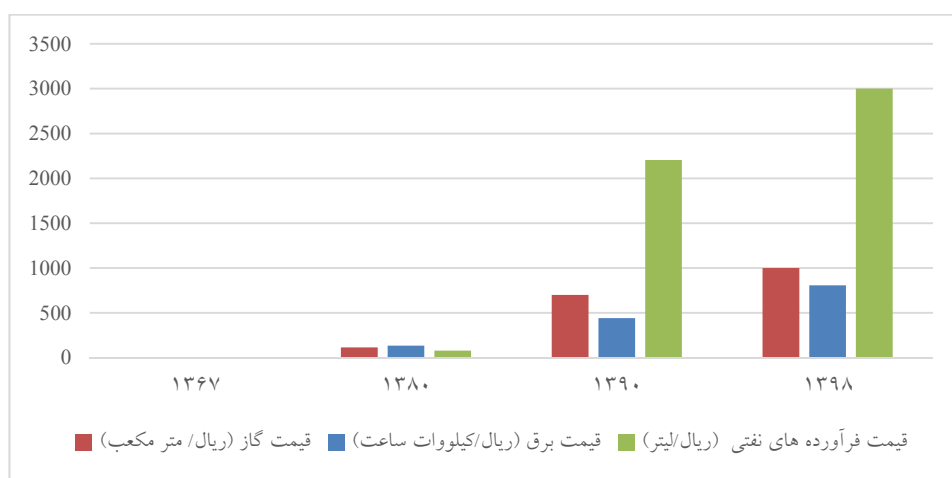


نمودار ۴. ارزش افزوده واقعی بخش صنعت (میلیارد ریال) طی دوره ۱۳۶۷ الی ۱۳۹۸



نمودار ۵. قیمت های واقعی حامل های انرژی مصرفی در صنایع کارخانه ای

ارزیابی قیمت واقعی حامل‌های انرژی مصرفی در صنایع کارخانه‌ای بیانگر این واقعیت است که در دهه‌های قبل از ۹۰ روند قیمت واقعی حامل‌های انرژی صعودی بوده است اما از سال ۱۳۹۰ قیمت واقعی حامل انرژی برای صنایع تولیدی کاهش محسوسی داشته است. این در حالی است که قیمت اسمی حامل‌های انرژی طی سال‌های اخیر همراه با افزایش بوده است.



شکل ۶. قیمت‌های اسمی حامل‌های انرژی مصرفی در صنایع کارخانه‌ای

## ۵. یافته‌های پژوهش

قبل از تخمین سیستم معادلات تقاضای انرژی در بخش صنعت لازم است در ابتدا آزمون ریشه واحد برای متغیرهای حاضر در مدل به منظور اطمینان از عدم تشکیل رگرسیون کاذب و اطمینان از نتایج برآورد صورت پذیرد. نتایج آزمون ریشه واحد (مانایی متغیرها) بر اساس روش دیکی - فولر تعمیم‌یافته (Augmented Dicky Fuller, ADF) در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲. نتایج آزمون ریشه واحد ADF متغیرهای سیستم معادلات تقاضای انرژی

متغیرها	سطح	یک‌بار تفاضل‌گیری
LnEg	نامانا	مانا
LnEe	مانا	مانا

برآورد تقاضای انرژی گاز طبیعی، برق ... (ایمان شاکر اردکانی و مهدی امامی میبدی) ۲۳

متغیرها	سطح	یکبار تفاضل گیری
LnEo	نامانا	مانا
LnPg	نامانا	مانا
LnPe	نامانا	مانا
LnPo	نامانا	مانا
LnV	نامانا	مانا
LnKL	نامانا	مانا

منبع: یافته‌های تحقیق

بر اساس نتایج جدول (۲)، خروجی آزمون ADF نشان می‌دهد همه متغیرها به جزء متغیر تقاضای برای برق در سطح نامانا بوده و در سطح ۵ درصد خطا نمی‌توان فرضیه صفر مبنی بر وجود یک ریشه واحد را برای آن‌ها رد نمود. این در حالی است که همه متغیرها نامانا با یکبار تفاضل گیری مانا می‌شوند<sup>۲</sup>. بر اساس این نتایج باید متغیرها را به صورت تفاضل مرتبه اول در مدل به کار گرفت اما با توجه به اهمیت متغیرها در سطح برای تحلیل تقاضای انرژی در مرحله بعد نیاز به آزمون انگل – گرنجر تعمیم یافته (Augmented Engle-Granger, AEG) به منظور بررسی هم انباشتگی بین متغیرها می‌باشد. نتایج آزمون AEG که بر مبنای آزمون ریشه واحد پسماندهای هر معادله تقاضای انرژی صورت می‌پذیرد، وجود هم انباشتگی بین متغیرها در هر مدل را تأیید می‌کند.

در جدول (۳)، آزمون هم انباشتگی میان متغیرهای سیستم معادلات تقاضا برای انرژی آورده شده است. نتایج نشان از تأیید فرضیه وجود هم انباشتگی میان متغیرها دارد.

جدول ۳. آزمون هم انباشتگی بین متغیرهای سیستم معادلات تقاضا برای انرژی در بخش صنعت

معادله	آماره آزمون	احتمال	نتیجه
تقاضا برای گاز طبیعی	-۶/۱۱	۰/۰۰	رد فرضیه صفر (تأیید هم انباشتگی)
تقاضا برای برق	-۵/۹۴	۰/۰۰	رد فرضیه صفر (تأیید هم انباشتگی)
تقاضا برای فرآورده های نفتی	-۶/۵۸	۰/۰۰	رد فرضیه صفر (تأیید هم انباشتگی)

منبع: یافته‌های تحقیق

اما قبل از برآورد سیستم معادلات به روش SURE نیاز به آزمون همبستگی همزمان بین اجزای اخلاص هر معادله رگرسیونی است. نتایج این آزمون بر اساس آماره ضریب لاگرانژ (LM) و نسبت راستنمایی (LR) در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴. آزمون همبستگی همزمان در سیستم معادلات تقاضا برای انرژی در بخش صنعت

آماره	مقدار	احتمال	نتیجه
ضریب لاگرانژ	۱۰/۵۶	۰/۰۱۴	رد فرضیه صفر (تأیید همبستگی همزمان)
نسبت راستنمایی	۱۳/۶۱	۰/۰۰۵	رد فرضیه صفر (تأیید همبستگی همزمان)

منبع: یافته‌های تحقیق

نتایج ارائه شده در جدول (۴) بیانگر این است که بر مبنای مقادیر و احتمال هر دو آماره فرضیه صفر رد و با تأیید همبستگی همزمان بین اجزای اخلاص معادلات می‌توان از روش SURE برای تخمین سیستم معادلات تقاضا برای انرژی‌های گاز طبیعی، برق و فرآورده‌های نفتی استفاده نمود. نتایج تخمین تقاضای انواع انرژی در بخش صنعت بر اساس روش معادلات رگرسیون به ظاهر نامرتبط برای دوره ۱۳۶۷ الی ۱۳۹۸ در جداول (۵) ارائه شده است.

جدول ۵. نتایج برآورد تابع تقاضای برای انرژی گاز طبیعی در بخش صنعت

متغیر	ضریب	آماره t	احتمال
C	-۲/۶۱	-۴/۹۸	۰/۰۰
LnPg	-۰/۶۳	-۵/۶۶	۰/۰۰
LnPe	۰/۵۰	۵/۲۳	۰/۰۰
LnPo	-۰/۱۲	-۰/۷۰	۰/۴۹
LnV	۰/۶۴	۳/۷۱	۰/۰۰
LnKL	-۰/۵۲	-۳/۰۴	۰/۰۱
LnEg <sub>t-1</sub>	۰/۹۷	۱۵/۸۱	۰/۰۰
LnKL <sub>t-1</sub>	۰/۱۵	۴/۲۵	۰/۰۰
R <sup>2</sup>	۰/۹۹		



برآورد تقاضای انرژی گاز طبیعی، برق ... (ایمان شاکر اردکانی و مهدی امامی میدی) ۲۵

متغیر	ضریب	آماره t	احتمال
F(Prob)	۰/۰۰		
آزمون‌های تشخیص		آماره $\chi^2$ (احتمال)	آماره F (احتمال)
آزمون خودهمبستگی سریالی		۲/۰۵ (۰/۱۵)	۱/۵۵ (۰/۲۳)
آزمون واریانس ناهمسانی		۳/۳۲ (۰/۰۷)	۳/۴۲ (۰/۰۷)
آزمون فرم تابعی		۱/۱۵ (۰/۲۸)	۰/۸۵ (۰/۳۷)

منبع: یافته‌های تحقیق

نتایج ارائه شده در جدول (۵)، بیانگر این است که همه ضرایب متغیرها در تابع تقاضای گاز طبیعی به جزء قیمت واقعی انرژی فرآورده‌های نفتی در سطح ۵ درصد خطا، معنی‌دار هستند. ضریب متغیر قیمت واقعی گاز طبیعی مطابق با تئوری‌های اقتصادی منفی و مقدار آن که بیان‌گر کاهش قیمتی تقاضای انرژی گاز است برابر با ۰/۶۳ است. این بدین معنی که تقاضا برای گاز طبیعی در بخش صنعت بی‌کاهش بوده و به طور متوسط به ازای هر یک درصد افزایش (کاهش) قیمت گاز طبیعی، تنها ۰/۶۳ درصد مصرف گاز طبیعی در بخش صنعت کاهش (افزایش) می‌یابد. علاوه بر این ضریب مثبت قیمت واقعی انرژی برق نیز مؤید جانشینی بین دو نهاد انرژی گاز طبیعی و برق است به گونه‌ای که به طور متوسط با افزایش (کاهش) یک درصد در قیمت انرژی برق تقاضا برای انرژی گاز طبیعی در بخش صنعت نیز ۰/۵ درصد افزایش (کاهش) می‌یابد. ضریب متغیر ارزش افزوده واقعی صنعت نیز بیانگر کاهش درآمدی تقاضا است که مقدار آن ۰/۶۴ است بدین مفهوم که با افزایش (کاهش) یک درصدی در ارزش افزوده صنعت، تقاضا برای انرژی گاز طبیعی ۰/۶۴ درصد افزایش (کاهش) می‌یابد. همچنین متغیر نسبت سرمایه به نیروی کار (بیانگر ساختار فنی تولید) دارای تأثیر منفی و معنی‌دار بر تقاضا برای انرژی گاز طبیعی است که بیانگر این واقعیت است که بهبود ساختار فنی تولید اثری کاهشی بر مصرف انرژی گاز طبیعی در بخش صنعت داشته و به نوعی موجب صرفه‌جویی در مصرف انرژی گاز طبیعی می‌شود. علاوه بر این متغیرهای با وقفه تقاضا برای انرژی گاز طبیعی و همچنین نسبت سرمایه به نیروی کار هر دو تأثیر مثبت و معنی‌داری بر تقاضا برای گاز طبیعی دارند. ضریب تعیین ( $R^2$ ) نیز در این جا بیانگر قدرت بالای توضیح دهنده متغیرهای توضیحی مدل است.

این در حالی است که ارزیابی آزمون‌های تشخیص (Diagnostic Tests) بر مبنای هر دو آماره چی دو و آماره F حاکی از این است که برای مدل تقاضای برای انرژی گاز طبیعی فرضیه‌های عدم خودهمبستگی سریالی، عدم واریانس ناهمسانی و عدم شکل نادرست تصریح مدل را در سطح اطمینان ۹۵ درصد را نمی‌تواند رد نمود لذا اعتبار آماری نتایج فوق مورد تأیید است.

جدول ۶. نتایج برآورد تابع تقاضای برای انرژی برق در بخش صنعت

متغیر	ضریب	آماره t	احتمال
C	۰/۶۸	۲/۱۵	۰/۰۴
LnPg	۰/۰۶	۱/۰۹	۰/۲۹
LnPe	-۰/۰۴	-۰/۷۷	۰/۴۵
LnPo	۰/۲۷	۲/۷۵	۰/۰۱
LnV	-۰/۱۵	-۱/۴۹	۰/۱۵
LnKL	۰/۳۱	۳/۰۸	۰/۰۱
LnEe <sub>t-1</sub>	۰/۸۱	۱۸/۶۹	۰/۰۰
R <sup>2</sup>	۰/۹۹		
F(Prob)	۰/۰۰		
آزمون‌های تشخیص			
آزمون خودهمبستگی سریالی	آماره $\chi^2$ (احتمال)	آماره F (احتمال)	
	۰/۹۳ (۰/۳۴)	۰/۷۱ (۰/۴۱)	
آزمون واریانس ناهمسانی	۲/۸ (۰/۰۹)	۲/۸۸ (۰/۱)	
آزمون فرم تابعی	۱/۴۶ (۰/۲۳)	۱/۱۴ (۰/۳۰)	

منبع: یافته‌های تحقیق

نتایج ارائه شده در جدول (۶)، نشان‌دهنده این است که تنها عرض از مبدأ، قیمت واقعی انرژی فرآورده‌های نفتی، نسبت سرمایه به نیروی کار و مقدار با وقفه تقاضای انرژی برق، متغیرهای مؤثر و معنی‌دار در معادله رگرسیونی تقاضای صنعت برای انرژی برق هستند. ضریب متغیر قیمت واقعی برق اگر چه مطابق با تئوری‌های اقتصادی منفی است اما به لحاظ آماری بی‌معنی است. علاوه بر این ضریب مثبت قیمت واقعی انرژی گاز نیز اگر چه مؤید جانشینی بین دو نهاد انرژی گاز طبیعی و برق است اما به لحاظ آماری بی‌معنی است. از سویی دیگر ضریب متغیر ارزش افزوده واقعی صنعت (کشش درآمدی تقاضا) نیز بی‌معنی است. اما ضریب

برآورد تقاضای انرژی گاز طبیعی، برق ... (ایمان شاکر اردکانی و مهدی امامی میدی) ۲۷

مثبت و معنی داری قیمت واقعی انرژی فرآورده‌های نفتی بیانگر این است که دو نهاد انرژی فرآورده‌های نفتی و برق جانشین بوده و به طور متوسط به ازای هر یک درصد افزایش (کاهش) قیمت فرآورده‌های نفتی، تقاضا برای انرژی برق در بخش صنعت ۰/۲۷ واحد افزایش (کاهش) می‌یابد. اما در این جا نسبت سرمایه به نیروی کار یا کشش فنی تولید برخلاف تقاضا برای گاز طبیعی، دارای ضریب مثبت و معنی دار است بدین مفهوم با بهبود ساختار فنی تولید در بخش صنعت تقاضا برای انرژی برق افزایش می‌یابد. علاوه بر این متغیر با وقفه تقاضا برای انرژی برق تأثیر مثبت و معنی داری بر تقاضا برای برق در صنعت دارد. مقدار ضریب تعیین ( $R^2$ ) در این جا بیانگر این است که متغیرهای مستقل در مدل توانسته‌اند ۹۹ درصد از تغییرات تقاضای برق در بخش صنعت را توضیح دهند.

اما در این جا نیز آماره‌های مربوط به آزمون‌های تشخیص عدم خودهمبستگی سریالی، عدم واریانس ناهمسانی و عدم شکل نادرست تصریح مدل را در سطح اطمینان ۹۵ درصد را مورد تأیید قرار داده، لذا نتایج ارائه شده برای مدل تقاضای انرژی برق صنعت قابل اطمینان است.

جدول ۷. نتایج برآورد تابع تقاضای برای انرژی فرآورده‌های نفتی در بخش صنعت

متغیر	ضریب	آماره t	احتمال
C	۴/۸	۳/۷۳	۰/۰۰
LnPg	۰/۲۷	۲/۲۱	۰/۰۴
LnPe	-۰/۴۲	-۳/۴۹	۰/۰۰
LnPo	-۰/۷۴	-۴/۲	۰/۰۰
LnV	۰/۶۷	۳/۰۰	۰/۰۱
LnKL	-۰/۵۹	-۳/۱۶	۰/۰۰
LnEo <sub>t-1</sub>	۰/۶۳	۷/۴۴	۰/۰۰
LnPe <sub>t-1</sub>	۰/۳۳	۴/۲	۰/۰۰
$R^2$	۰/۹۴		
F(Prob)	۰/۰۰		
آزمون‌های تشخیص			
آماره $\chi^2$ (احتمال)		آماره F (احتمال)	
آزمون خودهمبستگی سریالی		آزمون واریانس ناهمسانی	
۱/۸۵ (۰/۱۷)		۱/۳۹ (۰/۲۵)	
۳/۱۴ (۰/۰۸)		۳/۲۶ (۰/۰۸)	

متغیر	ضریب	آماره t	احتمال
آزمون فرم تابعی		۱/۰۴ (۰/۳۱)	۰/۸۷ (۰/۳۹)

منبع: یافته‌های تحقیق

نتایج ارائه شده در جدول (۷)، بیانگر این است که همه ضرایب متغیرهای مدل تقاضا برای انرژی فرآورده‌های نفتی (نفت گاز و نفت کوره) در سطح خطای ۵ درصد معنی دار هستند. ضریب متغیر قیمت واقعی فرآورده‌های نفتی (کشش قیمتی تقاضا) مطابق با تئوری‌های اقتصادی منفی و معنی دار است این بدین معنی که تقاضا برای فرآورده‌های نفتی در بخش صنعت بی‌کشش بوده و به طور متوسط به ازای هر یک درصد افزایش (کاهش) قیمت فرآورده‌های نفتی، ۰/۷۴ درصد تقاضا برای انرژی مربوطه در بخش صنعت کاهش (افزایش) می‌یابد. علاوه بر این ضریب مثبت و معنی دار قیمت واقعی انرژی گاز بیانگر جانشینی بین دو نهاده انرژی گاز طبیعی و فرآورده‌های نفتی در بخش صنعت است. این درحالی است که ضریب منفی و معنی دار قیمت واقعی انرژی برق بیانگر مکمل بودن دو نهاده انرژی برق و فرآورده‌های نفتی در بخش صنعت است، به گونه‌ای که با افزایش (کاهش) یک درصدی در قیمت واقعی انرژی برق، تقاضا برای انرژی فرآورده‌های نفتی ۰/۴۲ درصد کاهش (افزایش) می‌یابد.

از سویی دیگر ضریب متغیر ارزش افزوده واقعی صنعت (کشش درآمدی تقاضا) مثبت و معنی داری است. بدین معنی که به طور متوسط با افزایش (کاهش) یک درصدی در ارزش افزوده واقعی صنعت، تقاضا برای انرژی فرآورده‌های نفتی ۰/۶۷ واحد افزایش (کاهش) می‌یابد. در این جا نسبت سرمایه به نیروی کار، دارای ضریب منفی و معنی دار است، بدین مفهوم که با بهبود ساختار فنی تولید در بخش صنعت تقاضا برای انرژی فرآورده‌های نفتی کاهش می‌یابد. علاوه بر این ضریب متغیرهای با وقفه تقاضا برای انرژی فرآورده‌های نفتی و قیمت واقعی انرژی برق مثبت و معنی داری است. مقدار ضریب تعیین (R2) در این مدل نیز بیانگر این است که متغیرهای توضیحی ۹۴ درصد از تغییرات تقاضای فرآورده‌های نفتی در بخش صنعت را توضیح داده‌اند.

برآورد تقاضای انرژی گاز طبیعی، برق ... (ایمان شاکر اردکانی و مهدی امامی میدی) ۲۹

اما در این جا نیز احتمال همه آماره‌های مربوط به آزمون‌های تشخیص بالاتر از سطح معنی داری ۵ درصد بوده لذا عدم خودهمبستگی سریالی، عدم واریانس ناهمسانی و عدم شکل نادرست تصریح مدل تأیید شده، لذا نتایج ارائه شده در جدول (۷) قابل اعتماد است.

## ۶. نتیجه گیری

در مطالعه حاضر با هدف برآورد تقاضای انرژی‌های مصرفی عمده در بخش صنعت اعم از انرژی گاز طبیعی، انرژی برق و انرژی فرآورده‌های نفتی (نفت گاز و نفت کوره) در قالب سیستم معادلات طی دوره ۱۳۶۷-۱۳۹۸ از روش SURE بهره گرفته شده است. نتایج آزمون همبستگی همزمان اجزای اخلاص معادلات نشان می‌دهد، استفاده از روش مذکور کارایی برآوردها را در سیستم معادلات افزایش می‌دهد. بر اساس نتایج مربوط به کشش قیمتی تقاضا، قیمت واقعی انرژی گاز و انرژی فرآورده‌های نفتی بر تقاضا و مصرف این نوع انرژی‌ها در بخش صنعت مؤثر است، اما تغییرات قیمت واقعی برق تأثیر معنی داری بر تقاضا برای انرژی برق در بخش صنعت ندارد. این نتیجه با مطالعه آذربایجانی، شریفی و شجاعی (۱۳۸۶) و صدرزاده مقدم، صادقی و قدس الهی (۱۳۹۲) در مورد گاز طبیعی مغایر و با نتایج مطالعه مولایی و انتظار (۱۳۹۸) در مورد انرژی گاز طبیعی و فرآورده‌های نفتی سازگار است. عدم تأثیر معنی دار کشش قیمتی تقاضا برای انرژی برق بدین معنی است که با توجه به مصارف انرژی برق در بخش روشنایی، خط تولید، سرمایه‌گذاری و گرمایش و همچنین سهم ۱۳ درصد از انرژی مصرفی کل صنعت، با سیاست‌های قیمتی نمی‌توان مصرف انرژی برق در بخش صنعت را مدیریت نمود. بر اساس نتایج مربوطه به کشش متقاطع تقاضا انرژی، دو نهاد انرژی برق و گاز طبیعی جانشین بوده و همچنین دو نهاد انرژی گاز طبیعی و فرآورده‌های نفتی نیز جانشین هم‌دیگر هستند. این نتیجه با مطالعات مولایی و انتظار (۱۳۹۸) و صدرزاده مقدم، صادقی و قدس الهی (۱۳۹۲) سازگار بوده ولی با نتیجه مطالعه آذربایجانی، شریفی و شجاعی (۱۳۸۶) در مورد عدم جانشینی انرژی گاز و برق مغایر است.

بر اساس نتایج برآورد معادله تقاضا برای فرآورده‌های نفتی علامت کشش متقاطع تقاضا بین قیمت گاز طبیعی و تقاضا برای فرآورده‌های نفتی مثبت و بیانگر جانشینی بین دو نهاد انرژی در بخش صنعت است؛ همان‌طور که در بخش ۴ (متغیرها و توصیف داده‌ها) بررسی شد، روند تغییرات مصرف انرژی گاز طبیعی در بیش از سه دهه گذشته نشان از روند کاملاً صعودی آن و دارد. به دلیل قیمت نسبتاً پایین این نوع انرژی، فرضیه جانشین شدن آن با سایر انرژی‌ها در

بخش صنعت مطرح گردید. روند نزولی مصرف فرآورده‌های نفتی از سال ۱۳۸۹ به بعد ر نمودار (۳) می‌تواند تأیید دیگری بر این موضوع باشد. نتایج به دست آمده را می‌توان به خوبی نمایان‌گر و مؤید این جانشینی بین دو نهاد انرژی دانست. این نتیجه نیز مغایر با یافته‌های مطالعه آذربایجانی، شریفی و شعاعی (۱۳۸۶) است که بر مبنای آن این دو نهاد انرژی مکمل معرفی می‌شوند. اما در مورد دو نهاد انرژی برق و فرآورده‌های نفتی، بر اساس نتایج برآورد معادله تقاضا برای انرژی برق، هر دو جانشین هستند. بر اساس آمار و اطلاعات کارگاه صنعتی، فرآورده‌های نفتی (نفت کوره و نفت گاز) در بخش‌های مختلف خط تولید، سرمایه‌ش و گرمایش، حمل و نقل و .... در صنایع تولیدی مورد استفاده قرار می‌گیرد که با افزایش قیمت فرآورده‌های نفتی، تقاضا برای آن‌ها کاهش یافته و تقاضا برای انرژی برق در اکثر این بخش‌ها جایگزین انرژی فرآورده‌های نفتی می‌شود.

بر مبنای نتایج برآورد معادله تقاضا برای فرآورده‌های نفتی دو نهاد انرژی برق و فرآورده‌های نفتی مکمل محسوب می‌شوند. بدین معنی که با افزایش قیمت انرژی برق تقاضا برای انرژی فرآورده‌های نفتی نیز کاهش می‌یابد. بر اساس نمودارهای (۲) و (۳) در بخش ۴، روند صعودی مصرف انرژی برق در سه دهه گذشته و روند نزولی مصرف فرآورده‌های نفتی از سال ۱۳۸۹ به بعد می‌تواند بیانگر جانشینی بین دو نهاد مذکور باشد. نتایج به دست آمده را می‌توان تأییدی بر این ادعا دانست. این نتیجه با یافته‌های پژوهش صدر زاده مقدم، صادقی و قدس الهی (۱۳۹۲) مطابقت دارد. بر اساس نتایج مربوطه به کشش درآمدی تقاضا، ارزش افزوده واقعی بخش صنعت تنها بر روی تقاضا برای انرژی گاز طبیعی و فرآورده‌های نفتی تأثیر مثبت و معنی‌دار داشته و بر روی تقاضا برای انرژی برق تأثیر معنی‌داری ندارد. در واقع با افزایش ارزش افزوده و گسترش سطح تولید صنایع کارخانه‌ای، تقاضا برای انرژی گاز طبیعی و فرآورده‌های نفتی افزایش یافته و به دنبال آن شدت مصرف این انرژی به میزان ضریب کشش درآمدی افزایش می‌یابد. این نتیجه با نتایج مطالعات آذربایجانی و همکاران (۱۳۸۶) و مولایی و انتظار (۱۳۹۸) همسو است.

ضریب نسبت سرمایه به تولید در تابع تقاضای انرژی برای گاز طبیعی و فرآورده‌های نفتی منفی و معنی‌داری بوده و بر تقاضا برای انرژی برق تأثیری مثبت و معنی‌دار دارد. این بدین مفهوم است که با ارتقاء ساختار فنی تولید و به کارگیری بیشتر سرمایه در جریان تولید، بهره‌وری سرمایه (به طور مستقیم) و بهره‌وری نیروی کار (به طور غیرمستقیم) میزان مصرف بخش صنعت از انرژی‌های فسیلی (گاز و فرآورده‌های نفتی) کاهش یافته است. این نتیجه با

برآورد تقاضای انرژی گاز طبیعی، برق ... (ایمان شاکر اردکانی و مهدی امامی میدی) ۳۱

یافته‌های مطالعه مولایی و انتظار (۱۳۹۸) مطابقت دارد. اما در مورد انرژی برق، افزایش نسبت سرمایه به نیروی کار به معنی به کارگیری ماشین‌آلات و دستگاه‌های با تکنولوژی‌های جدید در خط تولید، روشنایی و سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی و ... بخش صنعت است که عمدتاً انرژی آن‌ها با برق تأمین می‌شود.

از دیگر نتایج این پژوهش این است که مقادیر با وقفه انرژی‌های مصرفی در صنعت تأثیر مثبت و معنی‌داری بر مصرف این انرژی‌ها در دوره جاری داشته و در این بین ضریب مقدار با وقفه انرژی گاز طبیعی نسبت به مقادیر با وقفه سایر انرژی‌ها بزرگ‌تر است؛ این موضوع منعکس‌کننده این است که الگو و رفتار مصرفی بخش صنعت در بخش انرژی متمایل به مصرف بیشتر از انرژی گاز طبیعی است.

بنابراین و در مجموع با توجه به نتایج به دست آمده پیشنهاد می‌شود برای کنترل مصرف انرژی گاز طبیعی و فرآورده‌های نفتی و برق در بخش صنعت بیشتر از سیاست‌های غیر قیمتی (افزایش بهره‌وری، سهمیه بندی، بهبود تکنولوژی از طریق تحقیق و توسعه، فرهنگ سازی و ...) استفاده شود. با توجه به منابع عظیم گاز طبیعی در کشور و همچنین امکان جانشینی بین انرژی گاز طبیعی با فرآورده‌های نفتی پیشنهاد می‌شود با افزایش قیمت فرآورده‌های نفتی، انرژی گاز طبیعی (با آلودگی کمتر) در تأمین انرژی مصرفی صنایع تولیدی سهم بالاتری را به خود اختصاص دهد. علاوه بر این پیشنهاد می‌شود از طریق جایگزینی ماشین‌آلات جدید و استفاده از تکنولوژی به روز در خط تولید، سیستم‌های گرمایش و سرمایش، روشنایی، حمل‌ونقل و ... صنایع تولیدی، بهره‌وری انرژی گاز طبیعی و فرآورده‌های نفتی بهبود یابد.

## پی‌نوشت‌ها

۱. با توجه به سهم ناچیز سایر فرآورده‌های نفتی دیگر همچون بنزین، نفت سفید، گاز مایع و سایر سوخت‌ها، تقاضا برای فرآورده‌های نفتی در این جا تنها شامل تقاضا برای نفت گاز و نفت کوره است.
۲. نتایج آزمون‌های مانایی مربوط به متغیرهای با وقفه حاضر در مدل‌های تقاضای هر سه نوع انرژی نیز شبیه متغیرهای اصلی آن‌ها است.

## کتاب‌نامه

آذربایجانی، کریم؛ شریفی، علیمراد و عبدالناصر شجاعی (۱۳۸۷)، «تخمین تابع تقاضای گاز طبیعی در بخش صنعت کشور»، توسعه و سرمایه، ۱(۱)، صص ۴۷-۷۰.

- صدرزاده مقدم، سعید؛ صادقی، زین العابدین و احمد قدس الهی (۱۳۹۲)، «تخمین تابع تقاضای انرژی و کشش قیمتی و جانشینی نهاده‌ها در بخش صنعت: رگرسیون معادلات به ظاهر نامرتبط SUR»، *اقتصاد انرژی ایران (اقتصاد محیط زیست و انرژی)*، ۲(۶)، صص ۱۰۷-۱۲۷.
- شیرانی فخر، زهره و رحمان خوش اخلاق (۱۳۹۵)، «برآورد تابع تقاضای انرژی در زیربخش‌های صنعت ایران برای اقلیم‌های گوناگون (مطالعه موردی زیربخش صنایع نساجی، پوشاک و چرم)»، *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، ۵(۲۰)، صص ۱۱۵-۱۸۵.
- مولایی، محمد و ابوریحان انتظار (۱۳۹۸)، «عوامل مؤثر بر تقاضای انرژی فسیلی در بخش صنعت ایران»، *فصلنامه مطالعات اقتصادی کاربردی ایران*، ۸(۳۰)، صص ۱۷۷-۱۹۳.
- خیابانی ناصر و سلاله توسلی (۱۳۹۹)، «مروری بر مدل‌سازی تقاضای انرژی»، *فصلنامه برنامه ریزی و بودجه*، ۲۵(۳)، صص ۶۵-۹۴.
- ساطعی، مهسا (۱۳۸۴)، *تخمین تابع تقاضای برق در بخش صنعت کشور، پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته علوم اقتصادی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، اصفهان.*
- سویس سی، بهاتاچاریا (۱۳۹۷)، *اقتصاد انرژی: تعاریف، مفاهیم، بازارها و سیاست‌ها*، مترجم علی فرید زاد، جلد اول، چاپ دوم، تهران: نشر دانشگاه علامه طباطبایی.
- مرکز آمار ایران (۱۴۰۱)، *نتایج آمارگیری از مقدار مصرف انرژی در کارگاه‌های صنعتی ۱۰ نفر کارکن و بیشتر (۱۳۹۸-۱۳۹۴)*.
- مرکز آمار وزارت نیرو (۱۳۹۷)، *ترازنامه انرژی*.
- تشکیلی، احمد (۱۳۹۷)، *اقتصاد سنجی کاربردی به کمک مایکروفیت*، چاپ دوم، تهران: نور علم.
- دهقان، امید و مرتضی حسینی (۱۳۹۷)، *کاربرد STATA در حل مسائل اقتصادسنجی*، تهران: نشر چالش.
- ورهرامی، ویدا (۱۳۹۵)، *اقتصاد انرژی*، تهران: انتشارات دنیای اقتصاد.

- Amir Raza, M., Lal Khatri, K., Israr, A., Ibrar M., Ahmed, M., Rafique, K., & Saand, A. (2022). "Energy demand and production forecasting in Pakistan", *Energy Strategy Reviews*, 39, 100788.
- Beenstock, M. & Dalziel, A. (1986). "The demand for energy in the UK: A general equilibrium analysis", *Energy Economics*, 8, pp 90-98.
- Bhattacharyya, S, C., GovindaR, T. (2010). "Modelling energy demand of developing countries: Are the specific features adequately captured?", *Energy Policy*, No. 38, pp 113-120.
- Emami J. M., & Ghaderi, S.F. (2023). "Energy demand forecasting in seven sectors by an optimization model based on machine learning algorithms", *Sustainable Cities and Society*, 95, 104623.
- Hasanov, F. & Mikayilov, J.I (2020). "Revisiting Energy Demand Relationship: Theory and Empirical Application", *Sustainability*, 12, 2919, pp 1-15.
- Henriksson, E., Söderholm, P. & Wårell, L. (2012). "Industrial Electricity Demand and Energy Efficiency Policy: The Case Of The Swedish Mining Industry", *Energy policy*, 47, pp 437-446.



برآورد تقاضای انرژی گاز طبیعی، برق ... (ایمان شاکر اردکانی و مهدی امامی میبدی) ۳۳

Lin, B. & Chen, G. (2017). "Energy efficiency and conservation in China's Manufacturing Industry", *Journal of Cleaner Production*, 174, pp 492-501.

Nordhaus W.D. (1977). *International Studies of the Demand for Energy. In The Demand for Energy: An International Perspective*. Amsterdam, The Netherlands, USA and Canada, North-Holland Publishing Company.

Paramati, S.R & Shahzad, U. & Doğan, B. (2022). "The Role of Environmental Technology for Energy Demand and Energy Efficiency: Evidence from OECD Countries". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 153. pp 111735.

Rao, C., Zhang, Y., Wen, J., Xiao, X., & Goh, M. (2023). "Energy demand forecasting in China: A support vector regression-compositional data second exponential smoothing model", *Energy*, 263, Part C, 125955.

Schulte, P., Welsch, H. & Rexhäuser, S. (2014). "ICT and the Demand for Energy: Evidence from OECD Countries", *Environmental and Resource Economics*, pp 119-146.