

Estimation of Price Elasticity for Electricity Demand in Iran: Using Quantile Regression

Pouyan Kiani* 

Assistant Professor, Faculty Member of the Energy Economics Research Group, Niroo Research Institute, Tehran, Iran.

Kioumars Heydari 

Assistant Professor, Faculty Member of the Energy Economics Research Group, Niroo Research Institute, Tehran, Iran.

Maryam Nafisi Moghadam 

Ph.D. in Economics, University of Tabriz., Tabriz, Iran. Renewable Energy and Energy Efficiency Organization of Iran (SATBA), Tehran, Iran.

Abstract

The purpose of this study is to investigate the price elasticity of household and non-household electricity demand across 31 provinces of Iran from 2011 to 2021. Due to the skewness of the dependent variable, the panel quantile regression method was chosen. The results show that the price elasticity of household electricity demand ranges of -0.069 to -0.115. The price elasticity demand of non-household ranges from -0.021 to -0.043. It reveals that price elasticities are less than one for both groups. According to the results, electricity is an inelastic good in Iran. Also, the elasticity of electricity demand is higher for households than for non-household. Moreover, the results show that an increase in the price of natural gas, which is the closest substitute for electricity, has had a negligible impact on the electricity demand of the household and non-household sectors. Among other model results, we can mention the incredible influence of demand habits on household and non-household electricity demand.

Introduction

Electricity consumption in Iran has shown a consistent upward trend over time, particularly in the household sector. This increase is largely attributable to expanded access to the electricity grid, improved supply reliability, and the growing use of electrical appliances. Similarly, rising electricity intensity in industry and the increased use of groundwater through electric pumps in agriculture have deepened the reliance of non-household sectors on electricity. Given electricity's vital role in enhancing welfare and driving economic development, analyzing its demand is of considerable importance.

* Corresponding Author: pkiani@nri.ac.ir

How to Cite: Kiani, P., Heydari, K. & Nafisi Moghadam, M. (2024) Estimation of Price Elasticity for Electricity Demand in Iran: Using Quantile Regression. *Iranian Energy Economics*, 53 (14), 192-221.

Although numerous studies have estimated Iran's electricity demand using various econometric methods, the novelty of this study lies in its application of the quantile regression approach to estimate demand functions for both the household and non-household sectors. This method enables the estimation of price, income, and cross-price elasticities across different demand levels, allowing for a nuanced evaluation of the impacts of pricing and income policies. Consequently, this study provides valuable insights for policymakers in designing effective and timely interventions.

Methods and Material

The primary advantage of quantile regression lies in its ability to capture how changes in independent variables affect different points of the dependent variable's distribution. An analysis of electricity demand in the household and non-household sectors reveals that their distributions are non-normal, right-skewed, and contain numerous outliers. As a result, the ordinary least squares (OLS) method is not well-suited for identifying the determinants of these variables. Moreover, because quantile regression examines the entire distribution and provides a detailed depiction of the regression relationship, it is particularly appropriate for modeling skewed variables. Unlike conventional regression, which estimates the average effect of explanatory variables, quantile regression assesses these effects across various points of the conditional distribution (Coad and Rao, 2006; Mosteller and Tukey, 1977). Accordingly, this study applies the quantile regression approach to estimate electricity demand functions in both sectors.

Results and Discussion

In this study, electricity demand functions for both household and non-household sectors were estimated across 31 provinces in Iran during the period 2011–2021. The results show that the price elasticity of household electricity demand ranges from -0.069 to -0.115 , whereas for the non-household sector it ranges from -0.021 to -0.043 . This indicates that household electricity consumption is more sensitive to price changes than the non-household sector. Although substitution elasticities are low in both sectors, the household sector demonstrates greater responsiveness, particularly at higher consumption levels.

Another key finding is the positive effect of cooling degree days on household electricity consumption, suggesting that rising average temperatures and the consequent increase in cooling requirements are likely to boost household electricity demand. Furthermore, the income elasticity of household electricity demand is positive and significant at lower consumption levels, implying that in provinces with lower per capita electricity use, increases in household income lead to a more substantial rise in consumption. In contrast, the income elasticity of non-household electricity demand is higher at upper consumption levels.

Conclusion

A sound understanding of price elasticity enables policymakers to design pricing strategies that effectively influence consumption patterns and promote energy efficiency and conservation. The findings of this study indicate that the price elasticity of household electricity demand is greater than that of the non-household sector,

suggesting that households are more responsive to changes in electricity prices. Accordingly, during the study period, electricity pricing policies proved more effective in curbing consumption in the household sector compared to the non-household sector.

The results also show that the price elasticity of non-household electricity demand declines at higher levels of consumption. This implies that pricing policies are more effective in reducing demand among lower consumption quantiles within the non-household sector than among higher ones.

Cross-price elasticity is positive for both sectors. Notably, the cross-price elasticity of household electricity demand is consistently higher than that of the non-household sector across all quantiles. This difference can be attributed to the nature of electricity use in the non-household sector, where substituting electricity with alternative energy sources is often more difficult and costly. For instance, in the industrial and agricultural sectors, switching from electricity to gas involves significant financial and logistical challenges. In contrast, households may more easily respond to rising gas prices by switching to electric stoves or heating appliances.

Based on the findings of this study, the following policy recommendations are offered:

- Since consumption habits have a substantially greater influence on electricity use in both household and non-household sectors than electricity prices, there is significant potential for electricity savings through behavioral change. Thus, promoting the development of conscious, energy-saving habits is strongly recommended.
- Reforming electricity tariffs is essential to ensure that price signals function effectively. Such reforms should reflect the true cost of electricity supply to support more efficient demand management, enhance energy efficiency, and improve resource allocation.

Keywords: Price Elasticity, Household Electricity Demand, Quantile Regression, Non-Household Electricity Demand.

JEL Classification: C32, C13.



----- پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران -----

دوره ۱۴، شماره ۵۳، زمستان ۱۴۰۳، ۱۹۲-۲۲۱

Jiee.atu.ac.ir

DOI: <https://doi.org/10.22054/jiee.2024.50743.1736>

تحلیل کشش قیمتی تقاضای برق در ایران با استفاده از رگرسیون کوانتایل^۱

استادیار، گروه پژوهشی اقتصاد برق و انرژی، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران

پویان کیانی *

استادیار، گروه پژوهشی اقتصاد برق و انرژی، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران

کیومرث حیدری

دانش آموخته دکتری اقتصاد، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

مریم نفیسی مقدم

چکیده

هدف این مطالعه تحلیل کشش قیمتی تقاضای برق خانگی و غیرخانگی در ۳۱ استان ایران در دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۰ است. برای برآورد مدل با توجه به وجود چولگی در متغیر وابسته، روش رگرسیون کوانتایل انتخاب شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که کشش قیمتی برای تقاضای برق خانگی در بازه ۰/۰۶۹- تا ۰/۱۱۵- قرار دارد. در حالی که کشش قیمتی برای تقاضای برق غیرخانگی در بازه ۰/۰۲۱- تا ۰/۰۴۳- قرار می‌گیرد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اگرچه در هر دو بخش کشش قیمتی تقاضا کم است اما تقاضای برق خانگی با کشش‌تر از تقاضای برق غیرخانگی است. همچنین افزایش قیمت گاز طبیعی به عنوان نزدیک‌ترین جانشین برق تأثیر اندکی بر مصرف برق بخش خانگی و غیر خانگی داشته است. از دیگر نتایج مدل می‌توان به تأثیر بزرگ عادات مصرفی بر مصرف برق خانگی و غیر خانگی اشاره کرد.

کلید واژه‌ها: کشش قیمتی، تقاضای برق خانگی، رگرسیون کوانتایل، تقاضای برق غیر خانگی.

طبقه‌بندی JEL : C32, C13

۱. این مقاله مستخرج از طرح تحقیقاتی با عنوان "مطالعه جامع عملکرد اقتصادی صنعت برق" در پژوهشگاه نیرو است.
* نویسنده مسئول: pkiani@nri.ac.ir

۱. مقدمه

بررسی روند مصرف برق در ایران نشان می‌دهد که میزان مصرف برق در طی زمان در کشور روند صعودی داشته است. در بخش خانگی میزان استفاده از برق به دلیل دسترسی مصرف-کنندگان به شبکه برق، بهبود قابلیت اطمینان و نیز افزایش تعداد وسایل الکتریکی افزایش یافته است. از این رو با افزایش نفوذ برق به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع انرژی، انتظار می‌رود تغییراتی در تقاضای برق خانگی در ایران رخ داده باشد. از طرف دیگر افزایش شدت الکتریکی صنایع و همچنین افزایش استفاده از آب‌های زیرزمینی از طریق مجموعه‌های پمپ‌های الکتریکی نیز به ترتیب دو بخش صنعت و کشاورزی را بیشتر از گذشته به مصرف برق وابسته نموده است. بنابراین با گذشت زمان بخش خانگی و غیرخانگی بیشتر به صنعت برق وابسته شده‌اند.

بررسی تقاضای برق در بخش‌های مختلف در مطالعات زیادی مورد توجه قرار گرفته است. اهمیت این موضوع از آنجا ناشی می‌شود که انرژی الکتریکی به عنوان بخش جدایی-ناپذیر عصر کنونی در تمامی زوایای زندگی افراد جامعه حضور داشته و زمینه افزایش رفاه و آسایش افراد را فراهم نموده است. امروزه برق به دلیل ارتباط با سایر بخش‌ها و نهادهای اقتصادی (در قالب نهاده یا کالای نهایی)، نقش قابل توجهی در فرآیند تصمیم‌گیری‌های اقتصادی و پیشبرد اهداف توسعه کشورها ایفا می‌کند. از این رو تجزیه و تحلیل تقاضا برای برق جهت شناخت دقیق‌تر عوامل موثر و میزان تاثیر آن‌ها بر مصرف برق بسیار حائز اهمیت است (لطفعلی‌پور و همکاران، ۱۳۹۴). مطالعات زیادی پیرامون تابع تقاضای برق ایران در بخش‌های مختلف صورت گرفته و از روش‌های اقتصادسنجی متفاوتی برای برآورد تابع تقاضای برق استفاده شده است.

در این مطالعات کشش‌های قیمتی، درآمدی و متقاطع تقاضای برق در دوره‌های زمانی مختلف با استفاده از روش‌های گوناگون محاسبه شده و مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. تفاوت مطالعه حاضر با این مطالعات و یکی از جنبه‌های نوآوری این مطالعه استفاده از رویکرد رگرسیون کوانتایل برای برآورد تابع تقاضای برق خانگی و تابع تقاضای برق سایر بخش‌ها (کل تقاضای برق منهای تقاضای برق خانگی) می‌باشد. در این رویکرد امکان محاسبه کشش‌های قیمتی، درآمدی و متقاطع برای سطوح مختلف تقاضای برق وجود دارد. بنابراین نتایج آن می‌تواند میزان تأثیرپذیری سیاست‌های قیمتی و درآمدی بر سطوح

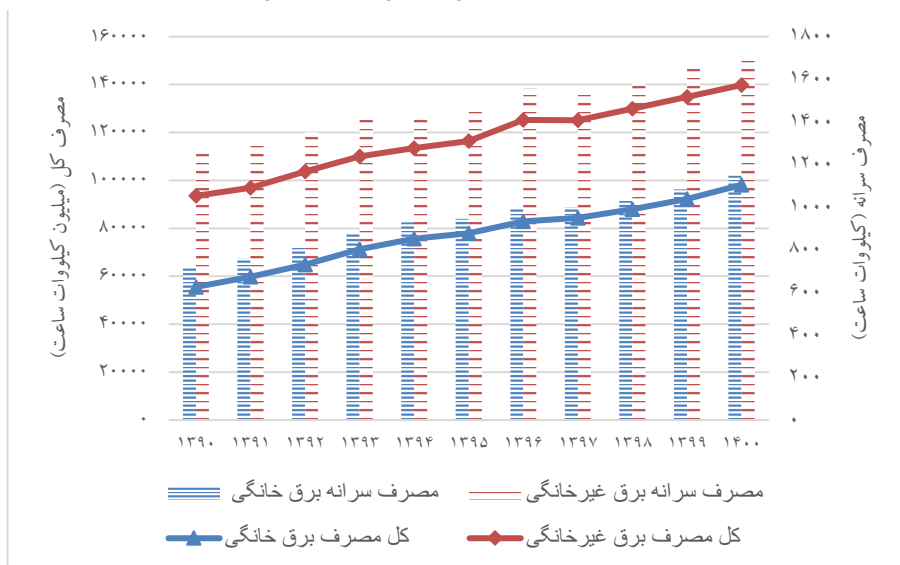
مختلف تقاضای برق را شناسایی کند و مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد. با توجه به آن که برق قابلیت ذخیره‌سازی ندارد آگاهی از رفتار تابع تقاضای برق، در راستای مدیریت عرضه آن بسیار مؤثر خواهد بود. لذا این مطالعه به سیاستگذاران در اتخاذ تصمیمات درست و به موقع، کمک شایانی می‌نماید.

ساختار مقاله حاضر به این صورت است که به ترتیب در بخش دوم تقاضای برق در ایران مورد بررسی قرار می‌گیرد. بخش سوم پیشینه تحقیق بیان می‌شود. در بخش چهارم روش - شناسی تحقیق مورد بررسی قرار می‌گیرد. بخش پنجم به تجزیه و تحلیل نتایج اختصاص می‌یابد. در بخش ششم نیز به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری پرداخته خواهد شد.

۲. تقاضای برق ایران

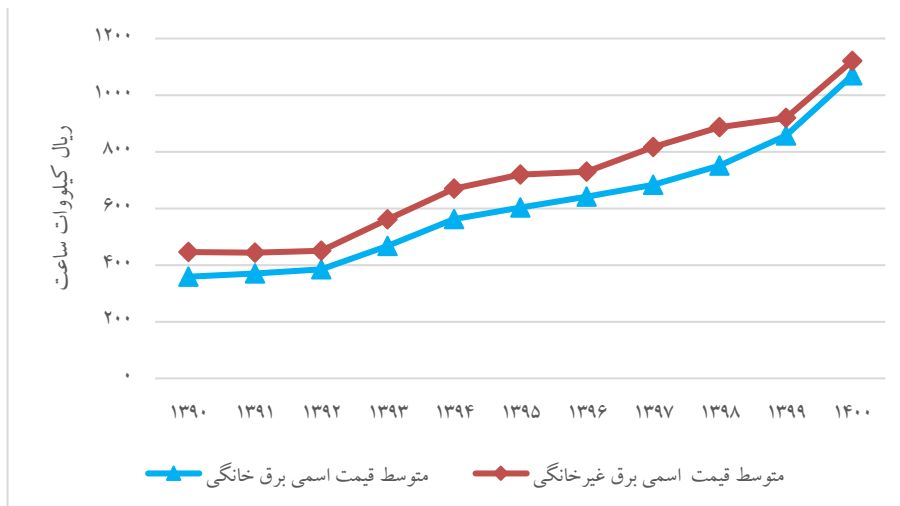
در سال‌های اخیر به دلیل رشد سریع جمعیت، توسعه شهرنشینی، افزایش سطح رفاه، تغییرات آب و هوا، واقعی نبودن تعرفه‌ها و توسعه صنعتی و تجاری روند مصرف برق در ایران افزایشی بوده است. نمودار (۱) روند مصرف برق برای بخش‌های خانگی و غیرخانگی را نشان می‌دهد. همانطور که در نمودار (۱) نیز مشاهده می‌شود، مصرف برق در بخش خانگی و غیرخانگی همواره رشد مثبت داشته است. در دهه گذشته رشد مصرف برق خانگی به طور متوسط سالانه ۵/۷ درصد و بخش غیرخانگی رشد ۵/۱ درصد بوده است. روند مصرف سرانه برق نیز افزایشی بوده است و در بخش خانگی از متوسط ۷۱۳ کیلووات ساعت در سال ۱۳۹۰ به ۱۱۴۷ کیلووات ساعت در سال ۱۴۰۰ رسیده است به عبارت دیگر، رشد ۷۰ درصدی نسبت به ابتدای دوره داشته است. در حالیکه سرانه مصرف برق غیرخانگی از ۱۲۷۱ کیلووات ساعت در سال ۱۳۹۰ به ۱۶۹۵ کیلووات ساعت در سال ۱۴۰۰ افزایش یافته و رشد ۳۳ درصدی داشته است.

نمودار ۱. مصرف برق در بخش خانگی و غیر خانگی



منبع: آمار تفصیلی صنعت برق ایران- توزیع نیروی برق- سال‌های مختلف، محاسبات تحقیق

نمودار ۲. قیمت اسمی برق در بخش خانگی و غیر خانگی



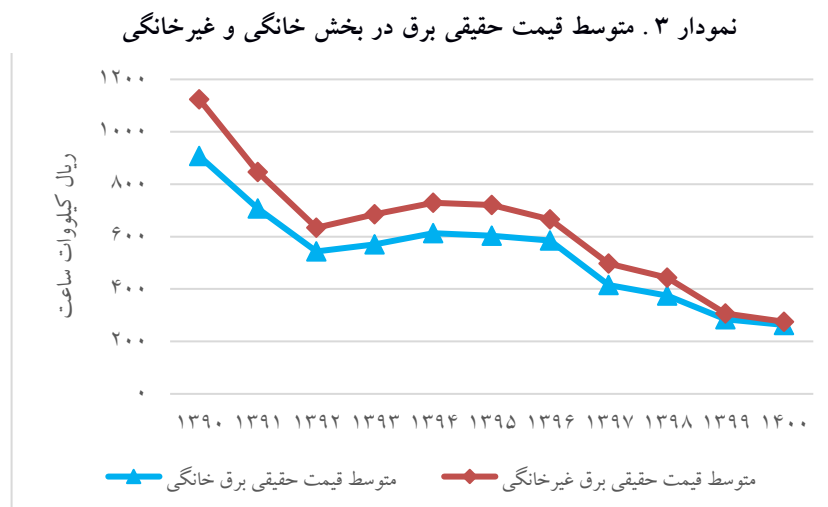
منبع: آمار تفصیلی صنعت برق ایران- توزیع نیروی برق- سال‌های مختلف

از لحاظ تئوری انتظار می‌رود بین تقاضای برق و قیمت آن رابطه منفی برقرار باشد، نمودار (۲) روند قیمت اسمی برق در بخش خانگی که برابر با متوسط نرخ فروش برق به

بخش خانگی است و متوسط قیمت اسمی بخش غیر خانگی که برابر با متوسط موزون نرخ فروش برق به سایر بخش‌ها (صنعت، کشاورزی، خدمات، عمومی، روشنایی) است را در دوره مورد بررسی نشان می‌دهد.

همانطور که در نمودار (۲) مشاهده می‌شود، قیمت اسمی برق در بخش خانگی و غیر خانگی روند صعودی داشته است و همواره متوسط قیمت اسمی برق بخش خانگی از غیر خانگی کمتر بوده است، اگرچه فاصله قیمت برق این دو بخش در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ کم شده است.

باید به این نکته توجه کرد که اگر چه قیمت اسمی برق در دوره مورد بررسی روند افزایشی داشته است اما تقاضای برق تابعی از قیمت حقیقی برق است. لذا در ادامه در نمودار (۳) قیمت حقیقی برق در دوره مورد بررسی در بخش خانگی و غیر خانگی ارائه شده است. برای حقیقی کردن قیمت برق از شاخص قیمت مصرف کننده در سال ۱۳۹۵ استفاده شده است.



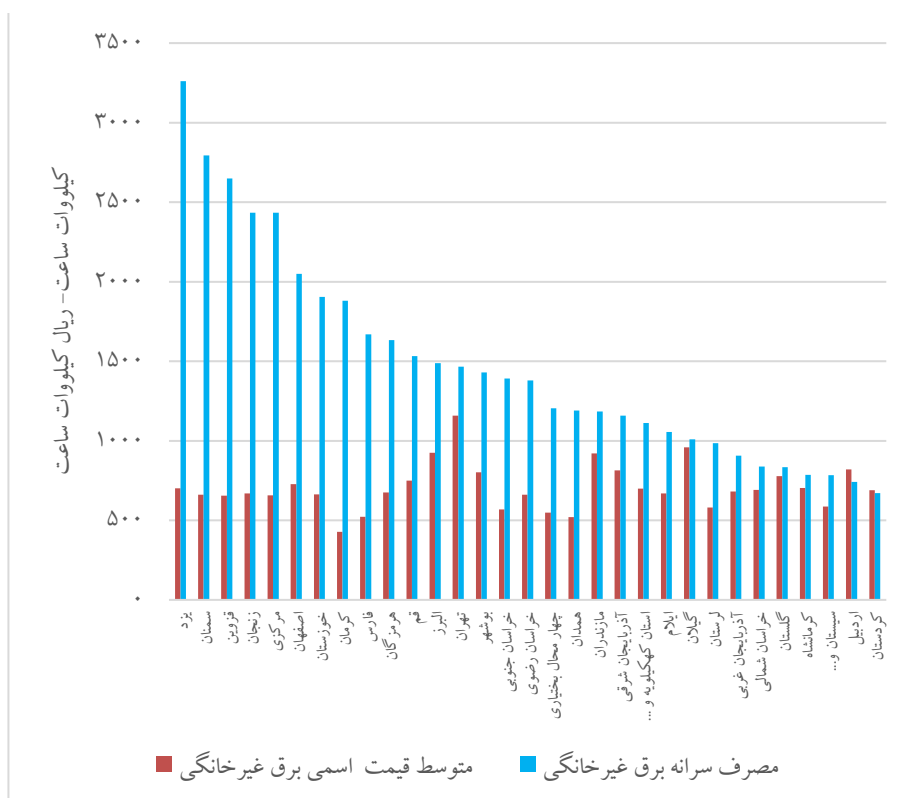
منبع: آمار تفصیلی صنعت برق ایران- توزیع نیروی برق- سال‌های مختلف

همانطور که در نمودار (۳) مشاهده می‌شود، روند قیمت حقیقی برق در بخش خانگی و غیر خانگی در دوره مورد بررسی نزولی بوده است. اگر چه نمودار (۲) حاکی از روند صعودی قیمت اسمی برق بوده است اما به دلیل وجود تورم موجود در کشور که در اکثر

است. سرانه مصرف در استان‌های بوشهر، خوزستان، و هرمزگان تفاوت زیادی با سایر استان‌های کشور دارد.

اگرچه این تفاوت در استان‌های دیگر کمتر است اما تفاوت زیادی بین مصرف سرانه سایر استان‌ها نیز وجود دارد برای مثال سرانه مصرف برق خانگی استان مازندران ۲ برابر بیشتر از استان چهارمحال و بختیاری است. بدلیل تعیین تعرفه‌های برق خانگی با توجه به شرایط آب و هوایی، متوسط قیمت برق در استان‌های بوشهر، هرمزگان و خوزستان بسیار کمتر از سایر استان‌های کشور است. بطوریکه متوسط قیمت برق در استان‌های تهران و مازندران بیش از ۴ برابر استان‌های بوشهر هرمزگان و خوزستان است.

نمودار ۵. متوسط قیمت اسمی و مصرف سرانه برق غیرخانگی استان‌های ایران در دوره ۱۴۰۰-۱۳۹۰



منبع: آمار تفصیلی صنعت برق ایران- توزیع نیروی برق- سال‌های مختلف، محاسبات تحقیق.

همانطور که در نمودار (۵) مشاهده می‌شود، تفاوت زیادی در متوسط قیمت برق بخش غیر خانگی در استان‌های ایران وجود ندارد. البته باید به این نکته اشاره کرد که متوسط قیمت برق در استان‌های تهران، گیلان، مازندران و البرز نسبت به سایر استان‌ها بیشتر است اما در مقایسه با بخش خانگی این تفاوت قیمت کمتر است. سرانه مصرف برق در بخش غیر خانگی نیز در استان‌های مختلف تفاوت زیادی دارد، برای مثال سرانه مصرف برق غیر خانگی در استان یزد، نزدیک به ۵ برابر سرانه مصرف برق غیر خانگی در استان کردستان است. دلیل این موضوع ساختار متفاوت اقتصاد این استان‌ها است.

با توجه به تفاوت زیاد در مصرف سرانه و قیمت برق در هر دو بخش خانگی و غیر خانگی در استان‌های کشور، استفاده از داده‌های تجمیع شده، گمراه کننده خواهد بود. لذا بهتر است برای بررسی وضعیت تقاضای برق در ایران از داده‌های استانی استفاده شود. از سوی دیگر با توجه به تفاوت بسیار زیاد سرانه مصرف برق و همچنین متوسط قیمت برق در استان‌های مختلف نتایج رویکردهای رگرسیون متداول همراه با تورش خواهد بود. لذا برآورد مدل با استفاده از رگرسیون کوانتایل می‌تواند بخشی از این خطا را کاهش دهد.^۱

۳. پیشینه تجربی

تران و ساهو^۲ (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای به بررسی پاسخ تقاضای برق صنعتی به تغییرات نامتقارن قیمت در هند در بازه زمانی ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۶ پرداختند. برای این منظور از مدل خودرگرسیون توزیعی با وقفه گسترده غیر خطی^۳ استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که تقاضای برق به افزایش زیاد قیمت، واکنش شدیدتری نشان می‌دهد.

تران و همکاران^۴ (۲۰۲۳) به بررسی کشش درآمدی و قیمتی تقاضای برق هند در دو سطح کلی و جزئی در بازه زمانی ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۰ پرداختند. برای این منظور از رویکرد

۱. نویسندگان به این موضوع واقف هستند که بهتر است تابع تقاضای برق و محاسبه کشش قیمتی، جانشینی و همچنین درآمدی با استفاده از اطلاعات خرد در سطح خانوار و بنگاه برآورد شود. اما عدم دسترسی به این اطلاعات و همچنین وجود قیدهای زیادی مانند تعرفه‌های پلکانی و دسته‌بندی‌های جغرافیایی و بخشی در مصرف کنندگان برق، موجب شده است در این مطالعه نیز مانند اکثر مطالعاتی که در رابطه با تقاضای برق در ایران انجام شده است از داده‌های کلی مصرف برق و همچنین از قیمت‌های میانگین استفاده شود.

2. Tran and Sahu

3. Nonlinear Autoregressive Distributed Lag (NARDL)

4. Tran et al

خودرگرسیون برداری با وقفه توزیعی^۱ استفاده شده است. نتایج تحقیق نشان داد که کشش درآمدی در بخش مسکونی و صنعتی نزدیک به یک و در بخش تجاری و کل بخش‌ها بیشتر از یک است. کشش قیمتی در بخش کل، مسکونی، صنعتی کوچکتر از یک است. اما کشش قیمتی در بخش تجاری از نظر آماری معنادار نیست.

جین و کیم^۲ (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای به محاسبه کشش درآمدی و کشش قیمتی تقاضای برق خانگی در ۱۸ کشور اتحادیه اروپا پرداختند. برای این منظور از رویکرد رگرسیون کونتایل استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که کشش درآمدی در چندک‌های پایین‌تر بیشتر است. در حالیکه کشش قیمتی تقریباً در همه چندک‌ها یکسان است.

اوک و امودی^۳ (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای به بررسی متغیرهایی مانند دما (گرمایش و سرمایش)، درآمد، جمعیت و قیمت بر تقاضای برق مسکونی کشورهای عضو گروه G7 در بازه زمانی ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۹ پرداختند. برای این منظور از رویکرد رگرسیون کونتایل استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که تقاضای برق در کشورهای مورد مطالعه از نظر آماری رابطه مثبت و معناداری با روزهای سرد دارد و در روزهای سرد افزایش تقاضای برق بیشتر از روزهای گرم است. همچنین نتایج نشان داد که افزایش یک درصدی درآمد تقاضای برق خانگی را به میزان کمتر از ۰/۵ درصد افزایش می‌دهد. از طرف دیگر، به طور متوسط افزایش یک درصدی قیمت برق موجب کاهش ۰/۱۱ درصدی تقاضای برق خانگی می‌شود. در پایان آنها نشان دادند که جمعیت یک عامل اثرگذار بر افزایش تقاضای برق خانگی است.

تالبی و همکاران^۴ (۲۰۲۲) در مطالعه خود به بررسی نقش قیمت، تولید ناخالص ملی و درجه شهرنشینی بر تقاضای برق خانگی در تونس در بازه زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۸ پرداختند. برای این منظور از رویکرد خود توضیحی با وقفه گسترده^۵ و آزمون علیت گرنجر استفاده شده است. نتایج نشان داد که در بلندمدت قیمت برق و شهرنشینی اثر مثبت و معناداری بر تقاضای برق خانگی دارند. همچنین نتایج آزمون علیت گرنجر نشان داد که در کوتاه مدت

-
1. Autoregressive Distributed Lag (ARDL)
 2. Jim and Kim
 3. Emenekwe and Emodi
 4. Talbi et al.
 5. Autoregressive Distributed Lag (ARDL)

علیت دو طرفه بین تقاضای برق خانگی و قیمت آن و بین تقاضای برق خانگی و شهرنشینی وجود دارد.

مارتینس و همکاران^۱ (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای به برآورد تقاضای برق خانگی برای ۵ منطقه برزیل بین سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۹ پرداختند. در این مطالعه از روش گشتاورهای تعمیم‌یافته^۲ برای برآورد مدل استفاده شده است. نتایج نشان داد که کشش‌های درآمدی و قیمتی در بلندمدت از کوتاه‌مدت بیشتر است. کشش قیمتی تقاضا در مناطق مختلف در کوتاه‌مدت در بازه ۰/۱۰۳- تا ۰/۶۴۲- و کشش درآمدی در بازه ۰/۱۱۷- تا ۱/۰۰۱- قرار دارد.

آهر و همکاران^۳ (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای به شناسایی کشش تقاضای برق برای خانواده‌های برزیلی پرداختند. آن‌ها با استفاده از رگرسیون کوانتایل داده‌های اولیه حاصل از نظرسنجی بودجه خانوار برای دو دوره، ۱۹۹۸-۱۹۹۹ و ۲۰۱۳-۲۰۰۸ در منطقه شهری سائو پائولو را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج نشان داد که کشش قیمتی تقاضا در بازه ۰/۴۶- تا ۰/۵۶- و کشش درآمدی در بازه ۰/۲۰- تا ۰/۳۲- قرار دارد. بنابراین نتایج حاکی از آن است که پاسخ رفتاری خانوار به افزایش قیمت در گروه‌های مختلف یکنواخت نیست و واکنش در میزان تقاضای پایین‌تر، قوی‌تر است.

کاسمانینگرام^۴ (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای به بررسی تاثیرپذیری تقاضای برق خانوار به تغییر قیمت و درآمد در خانوارهای اندونزی برای سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۴ پرداخت. نتایج برآورد مدل تقاضای برق با استفاده از رگرسیون کوانتایل نشان داد که تقاضای برق شهری نسبت به قیمت و درآمد بی‌کشش است و کشش درآمدی کمتر از کشش قیمت می‌باشد.

هوانگ^۵ (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای با استفاده از رگرسیون کوانتایل به بررسی عوامل تعیین‌کننده مصرف برق خانوار در تایوان در دوره ۲۰۰۲-۱۹۸۱ پرداخت. نتایج وی نشان داد که خصوصیات جمعیت شناختی، اجتماعی، اقتصادی و خانگی بر مصرف برق خانوار در بین سطوح تقاضای مختلف متفاوت است و در طول زمان تغییر می‌کند. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که خانوارهای کم درآمد و کوچک ممکن است مصرف برق بالاتری را بر اساس

1. Martins et al.

2. Generalized Method of Moments (GMM)

3. Uhr et al.

4. Kusumaningrum

5. Huang

سراهنه داشته باشند. بنابراین، با کاهش حجم خانوار، افزایش تقاضای برق سرنه که ناشی از تغییر اندازه خانوار است، باید مورد توجه قرار گیرد.

وصال و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای به تخمین کسش قیمتی تقاضای برق در استان فارس پرداختند. آن‌ها برای شناسایی کسش قیمتی برق خانگی با توجه به تغییرات برونزای قیمت و عدم امکان ذخیره‌سازی برق از روش ناپیوستگی رگرسیون استفاده کردند. نتایج نشان داد که یک درصد افزایش در قیمت برق، به طور متوسط مصرف برق را حدود ۰/۴ تا ۰/۷ کاهش می‌دهد.

موسوی و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای به مدل‌سازی تقاضای کل برق ایران با استفاده از داده‌های ۲۸ استان و روش پانل فضایی برای دوره ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ پرداختند. نتایج نشان داد که کسش قیمتی تقاضای کل برق ۰/۰۸-، کسش متقاطع تقاضای برق ۰/۰۶۵-، کسش درآمدی ۰/۱۱ و کسش تقاضا نسبت به تغییرات دما ۱/۹ بوده است.

دریکوند و عسگری (۱۳۹۹) در مطالعه‌ای به برآورد اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت قیمت برق بر تقاضای برق خانگی در استان‌های ایران برای دوره زمانی ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۳ با استفاده از روش پانل خودرگرسیون برداری با وقفه توزیعی پرداختند. نتایج نشان داد که کسش قیمتی در کوتاه‌مدت ۰/۰۶- و در بلندمدت کسش قیمتی ۲/۳۸- بوده است. همچنین کسش قیمتی در کوتاه‌مدت ۵/۳۹- و در بلندمدت ۵۲/۴۰- بوده است.

ورهرامی و موحدیان (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای با استفاده از روش پنل پویا طی دوره ۱۳۹۰-۱۳۸۰ به برآورد تابع تقاضای انرژی الکتریکی در بخش خانگی شهرستان‌های منتخب استان تهران (تهران، ورامین، فیروزکوه و دماوند) پرداختند. نتایج برآورد مدل آنها در کوتاه‌مدت بیانگر این است که با افزایش یک درصد قیمت برق، ۰/۴۲ درصد از تقاضای برق کاهش می‌یابد. تأثیر قیمت انرژی جانشین همانند گاز بر مصرف برق بسیار اندک است، بین تقاضا و درآمد خانوار نیز یک رابطه مثبت و معنادار وجود دارد. مؤثرترین عامل در تغییر تقاضا، مصرف در دوره گذشته، و ضریب آن ۰/۶۵ می‌باشد. نتایج برآورد مدل در بلندمدت حاکی از آن است که تغییر قیمت برق، تقاضای برق را ۱/۲- درصد تغییر می‌دهد و با افزایش یک درصد درآمد، تقاضای برق ۰/۱ درصد افزایش می‌یابد.

قره باغی و امامی میبدی (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای به بررسی عوامل تأثیرگذار بر روند مصرف برق در بخش‌های صنعت، خانگی و کشاورزی پرداختند. آن‌ها در راستای این هدف تابع

تقاضای برق در سه بخش فوق‌الذکر را به کمک داده‌های سری زمانی سال‌های ۱۳۵۵-۱۳۹۲ به روش حداقل مربعات معمولی^۱ برآورد کردند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که ارتباط معناداری بین مصرف انرژی الکتریکی با تعداد مشترکین به‌ویژه در بخش خانگی و ارزش افزوده در بخش صنعت وجود دارد. همچنین شاخص قیمت انرژی محاسبه‌شده در این تحقیق نشانگر عدم وجود جانشین مؤثر و قوی برای برق در هر سه بخش است.

ورهرامی و شاطری (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای با استفاده از روش پنل پویا طی دوره ۱۳۹۲-۱۳۸۰، به برآورد تابع تقاضای انرژی الکتریکی در بخش صنعت استان‌های منتخب (تهران، اصفهان، خوزستان، مرکزی و هرمزگان) که بیشترین مقدار استفاده از برق را در بخش صنعت داشته‌اند، پرداختند. نتایج حاصل از برآورد مدل آن‌ها در کوتاه‌مدت بیانگر این است که با افزایش یک درصد قیمت برق، ۰/۰۵ درصد از تقاضای برق کاهش می‌یابد. قیمت فرآورده‌های نفتی به عنوان یک کالای مکمل در بخش صنعت در نظر گرفته شده است، بین تقاضا و ارزش افزوده بخش صنعت و تعداد مشترکین نیز یک رابطه مثبت و معنادار وجود دارد. مؤثرترین عامل در تغییر تقاضا، مصرف در دوره گذشته است به طوریکه با افزایش یک درصد مصرف در دوره گذشته ۰/۸۸ درصد تقاضا افزایش می‌یابد. نتایج برآورد مدل در بلندمدت حاکی از آن است که تغییر قیمت برق و تغییر شاخص قیمت فرآورده‌های نفتی، تقاضای برق را ۰/۴۱ درصد تغییر می‌دهد و با افزایش یک درصد ارزش افزوده، تقاضای برق ۰/۲۵ درصد افزایش می‌یابد.

لطفعلی‌پور و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه‌ای با استفاده از مفهوم روند اساسی تقاضای انرژی^۲ و بکارگیری آن در الگوی سری زمانی ساختاری^۳، توابع تقاضای برق ایران در بخش‌های خانگی و صنعتی طی دوره ۱۳۹۰-۱۳۵۵ را برآورد کردند. نتایج نشان داد که ماهیت روند اساسی تقاضای انرژی در تابع تقاضای برق بخش صنعتی، مدل سطح نسبی با انتقال و در تابع تقاضای برق در بخش خانگی مدل روند یکنواخت می‌باشد. همچنین، تقاضای برق در بخش‌های مذکور نسبت به قیمت و درآمد در کوتاه‌مدت و بلندمدت بی‌کشش است.

1. Ordinary Least Squares (OLS)
 2. Underling Energy Demand Trend (UEDT)
 3. Structural Time Series Model (STSM)

جلایی و همکاران (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای با استفاده از داده‌های تابلویی ۲۸ استان کشور، به بررسی شاخص‌های اثرگذار بر مصرف برق خانگی ایران طی دوره زمانی ۱۳۸۸-۱۳۸۱ پرداختند. براساس نتایج بدست آمده، قیمت برق در بخش خانگی ایران تأثیر اندکی بر مصرف برق در این بخش دارد. همچنین تأثیر قیمت انرژی‌های جانشین نظیر گاز طبیعی و نفت بر مصرف برق اندک است. همچنین نتایج حاکی از این است که مصرف برق در بخش خانگی بیشتر تحت تأثیر عادات مصرفی بوده است.

چگنی آشتیانی (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای با استفاده از داده‌های سری زمانی و تکنیک‌های همجمعی در اقتصادسنجی، بخصوص مدل‌های پویای خودتوضیح با وقفه‌های توزیعی و ساز و کار تصحیح خطا^۱، روابط بلندمدت و کوتاه‌مدت مدل تقاضای انرژی الکتریکی کل کشور را برآورد کردند. پس از تخمین توابع تقاضای برق کل کشور، پیش‌بینی تقاضای برق کل کشور و بخش‌های فوق صورت پذیرفت. نتایج نشان داد که تقاضای برق نسبت به قیمت در ایران بی‌کشش است.

۴. روش‌شناسی تحقیق

۴-۱. رگرسیون کوانتایل

رگرسیون کوانتایل یک روش آماری است که نخستین بار بوسیله‌ی کونکر و باست^۲ (۱۹۷۸) معرفی شد. اساس این روش بر تابع چندک شرطی استوار است که در آن یک مجموعه از قدر مطلق خطا در اشکال نامتقارن حداقل می‌شود. رگرسیون کوانتایل تغییرات در کوانتایل‌های شرطی را توصیف می‌کند در حالیکه مدل رگرسیون خطی تغییر در میانگین شرطی متغیر وابسته در واکنش به تغییر در متغیرهای توضیحی را بیان می‌کند. به عنوان مثال در بررسی اثر سیاست‌های مالیاتی، اگر فرض شود چهل درصد بالای جامعه ثروتمند هستند رگرسیون کوانتایل قادر است که بر روی این بخش خاص تمرکز نماید، در حالیکه مدل میانگین شرطی توانایی این کار را ندارد. همچنین می‌توان اثر متغیرهای توضیحی را بر متغیر وابسته در کوانتایل‌های مختلف بررسی نمود. به عنوان مثال ممکن است در قسمت پایین توزیع متغیر وابسته (کوانتایل ۰/۲۵) اثر منفی و در قسمت بالای توزیع (کوانتایل‌های ۰/۷۵)

1. Error Correction Model (ECM)

2. Koenker & Bassett

اثر مثبت وجود داشته باشد. این نشان می‌دهد که عملکرد در بالای توزیع شرطی متغیر وابسته با افزایش متغیر مستقل تغییر نموده است.

یک رگرسیون کوانتایل در چارچوب مدل کوانکر و بوست (۱۹۷۸) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$y_{it} = x'_{it}\beta_0 + \varepsilon_{\theta it} \text{ with } Quant_{\theta}(y_{it}, x_{it}) = x'_{it}\beta_0 \quad (1)$$

که در آن i نشان‌دهنده مقاطع و t نشان‌دهنده زمان است. در این تحقیق y_{it} و x'_{it} به ترتیب نشان‌دهنده مصرف برق و برداری از رگرسورهاست که شامل قیمت برق، قیمت کالای جانشین و ... می‌باشد. β برداری از پارامترهای برآورد شده و ε برداری از اجزا اخلاص است. $Quant_{\theta}(y_{it}, x_{it})$ نشان‌دهنده کوانتایل شرطی θ ام از y_{it} در سطوح داده شده از x'_{it} است. رگرسیون کوانتایل θ ام که θ بین صفر و یک است به صورت زیر حل خواهد شد:

$$Quant_{\theta}(y_{it}|x_{it}, c_i) = x'_{it}\beta + c_i \quad (2)$$

در این رابطه c اثر تغییر مکان بر کوانتایل شرطی متغیر وابسته است. برای تخمین مدل فوق برای چندین کوانتایل راه حل زیر پیشنهاد می‌شود:

$$\begin{aligned} \min / \beta \frac{1}{n} \left\{ \sum_{i,t: y_{it} > x'_{it}\beta} \theta |y_{it} - x'_{it}\beta| \right. \\ \left. + \sum_{i,t: y_{it} < x'_{it}\beta} (1 - \theta) |y_{it} - x'_{it}\beta| \right\} \\ = \min / \beta \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \rho_{\theta} \varepsilon_{\theta it} \end{aligned} \quad (3)$$

جاییکه $\rho_{\theta}(\cdot)$ نشان‌دهنده تابع کنترل^۱ است که به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\rho_{\theta}(\varepsilon_{\theta it}) = \begin{cases} \theta \varepsilon_{\theta it} & \theta \varepsilon_{\theta it} \geq 0 \\ (1 - \theta) \varepsilon_{\theta it} & \theta \varepsilon_{\theta it} < 0 \end{cases} \quad (4)$$

این معادله براساس تکنیک برنامه ریزی خطی حل خواهد شد.

۲-۴. معرفی مدل و متغیرها

این مطالعه به دنبال برآورد تابع تقاضای برق در بخش خانگی و غیر خانگی ایران در بازه زمانی ۱۴۰۰-۱۳۹۰ است. به منظور برآورد تابع تقاضای برق خانگی از مدل (۵) استفاده می‌شود:

$$\ln QEH_{it}(\tau|X_{it}) = \alpha(\tau) + \beta_1(\tau)QEH_{it-1} + \beta_2(\tau) \ln PEH_{it} + \beta_3(\tau) \ln PGH_{it} + \beta_4(\tau) \ln INC_{it} + \beta_5(\tau) \ln CDD_{it} + \beta_6(\tau) \ln HDD_{it} + \varepsilon_{it}(\tau) \quad (5)$$

در این رابطه $\ln QEH_{it}$ ، لگاریتم مصرف برق سرانه بخش خانگی در استان i در دوره t ؛ $\ln PEH_{it}$ ، لگاریتم قیمت برق خانگی در استان i در دوره t ؛ $\ln PGH_{it}$ ، لگاریتم قیمت گاز طبیعی در استان i در دوره t ؛ $\ln INC_{it}$ ، لگاریتم درآمد سرانه خانوار (نسبت درآمد سالانه خانوار در هر استان به بعد خانوار آن استان) در استان i در دوره t ؛ $\ln CDD_{it}$ نیاز به سرمایش در استان i در دوره t ؛ $\ln HDD_{it}$ نیاز به گرمایش در استان i در دوره t است. برای محاسبه نیاز به سرمایش و گرمایش با توجه به مطالعات مختلفی از جمله مطالعه فلینی^۱ (۲۰۲۱) از دو رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\text{if } T_i \geq 24^\circ\text{C}, \text{ then } CDD = \sum (T_i - 21) \text{ else } CDD = 0 \quad (6)$$

$$\text{if } T_i \leq 15^\circ\text{C}, \text{ then } HDD = \sum (18 - T_i) \text{ else } HDD = 0 \quad (7)$$

CDD نیاز به سرمایش برحسب درجه - روز؛ T_i میانگین دمای روزانه به درجه، HDD نیاز به گرمایش را نشان می‌دهد. آستانه نیاز به سرمایش و گرمایش برحسب تعریف جمع تفاضل‌های میانگین‌های روزانه دما از آستانه معین در دوره مشخصی از سال است. به منظور برآورد تابع تقاضای برق غیر خانگی از مدل (۸) استفاده می‌شود:

$$\ln QEO_{it}(\tau|X_{it}) = \alpha(\tau) + \beta_1(\tau) \ln QEO_{it-1} + \beta_2(\tau) \ln PEO_{it} + \beta_3(\tau) \ln PGO_{it} + \beta_4(\tau) \ln GDP_{it} + \beta_5(\tau) \ln STR_{it} + \beta_5(\tau) \ln NUM_{it} + \varepsilon_{it}(\tau) \quad (8)$$

در این رابطه $\ln QEO_{it}$ ، لگاریتم مصرف برق سرانه غیر خانگی در استان i در دوره t ؛ $\ln PEO_{it}$ ، لگاریتم متوسط قیمت برق غیر خانگی در استان i در دوره t ؛ $\ln PGO_{it}$ ، لگاریتم قیمت گاز طبیعی در استان i در دوره t ؛ $\ln GDP_{it}$ ، لگاریتم سرانه تولید ناخالص داخلی بدون

1. Pellini

نفت در استان i در دوره t ؛ $\ln STR_{it}$ لگاریتم ارزش افزوده بخش صنعت به تولید ناخالص داخلی (به عنوان نشان دهنده تغییرات ساختاری در اقتصاد استان) در استان i در دوره t ؛ $\ln NUM_{it}$ لگاریتم تعداد مشترکان برق غیر خانگی در استان i در دوره t است. متغیرهای قیمتی و درآمد خانوار در این تحقیق با استفاده از شاخص قیمت مصرف کننده در سال پایه ۱۳۹۵ در هر استان به صورت متغیرهای حقیقی لحاظ شده است.

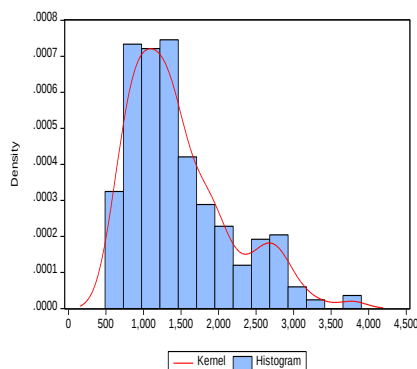
۵. تجزیه و تحلیل یافته‌ها

مهم‌ترین مزیت رگرسیون کوانتایل این است که روند تغییر متغیرهای مستقل را در سطوح مختلف متغیر وابسته به خوبی نشان می‌دهد. هیستوگرام متغیرهای تقاضای برق خانگی و غیر خانگی به ترتیب در نمودارهای (۶) و (۷) نشان داده شده است.

نمودار ۷. توزیع نرمال تقاضای برق

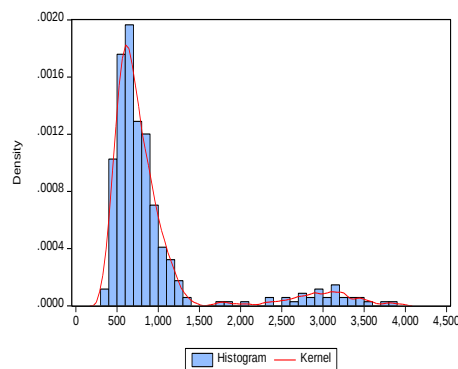
غیر خانگی

Q۷۱



نمودار ۶. توزیع نرمال تقاضای برق خانگی

Q۷۰



منبع: یافته‌های تحقیق

با دقت در نمودارهای (۶) و (۷) مشخص می‌شود که هر دو توزیع متغیرهای تقاضای برق خانگی و غیر خانگی چوله به راست و دارای نقاط پرت زیادی هستند. بنابراین فاقد توزیع نرمال هستند و رگرسیون حداقل مربعات برای بررسی عوامل موثر بر متغیرهای مورد نظر مناسب نیست. همچنین از آنجا که رگرسیون کوانتایل به بررسی تمام قسمت‌های توزیع و ارائه کامل شکل‌های رگرسیونی می‌پردازد، روش مناسبی در مدل‌سازی متغیرهای چوله می‌باشد. به عبارت دیگر، برخلاف رگرسیون معمولی که تنها اثرگذاری متغیرهای توضیحی

بر متغیر وابسته را در میانگین داده‌ها بررسی می‌کند رگرسیون کوانتایل قادر است اثر گذاری متغیرهای توضیحی بر متغیر وابسته را در توزیع‌های شرطی مختلف بیان کند (کود و رود،^۱ ۲۰۰۶؛ موستلر و توکی،^۲ ۱۹۷۷). در ادامه برای برآورد تابع تقاضای برق در دو بخش خانگی و غیرخانگی از رویکرد رگرسیون کوانتایل استفاده خواهد شد.

۱-۵. تقاضای برق خانگی

نتایج برآورد مدل (۵) با استفاده از رگرسیون کوانتایل برای دهک‌های مختلف مصرف برق خانگی در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱. نتایج حاصل از تخمین تابع تقاضای برق خانگی

چندک	وقفه اول تقاضای برق خانگی ($\ln QEH_{it-1}$)	قیمت برق خانگی ($\ln PEH_{it}$)	قیمت گاز طبیعی ($\ln PGH_{it}$)	درآمد سرانه خانوار ($\ln INC_{it}$)	نیاز به سرمایش ($\ln CDD_{it}$)	نیاز به گرمایش ($\ln HDD_{it}$)	مقدار ثابت (C)
۰/۱	۰/۸۷۹***	-۰/۱۱۵***	۰/۰۴۶***	۰/۰۵۷***	۰/۰۱۳	-۰/۰۰۵	۰/۲۱۹***
۰/۲	۰/۹۲۰***	-۰/۰۸۱***	۰/۰۳۴***	۰/۰۳۲**	۰/۰۰۸*	-۰/۰۰۱	۰/۱۸۴***
۰/۳	۰/۹۲۴***	-۰/۰۸۴***	۰/۰۳۶***	۰/۰۳۱**	۰/۰۰۵	-۰/۰۰۱	۰/۱۸۷***
۰/۴	۰/۹۲۵***	-۰/۰۸۶***	۰/۰۴۱***	۰/۰۲۵*	۰/۰۰۵*	۰/۰۰۱	۰/۲۰۵***
۰/۵	۰/۹۳۱***	-۰/۰۸۵***	۰/۰۳۹***	۰/۰۱۸	۰/۰۰۶**	۰/۰۰۲	۰/۲۱۶***
۰/۶	۰/۹۳۴***	-۰/۰۹۰***	۰/۰۴۱***	۰/۰۱۹	۰/۰۰۷***	۰/۰۰۴	۰/۲۰۸***
۰/۷	۰/۹۴۴***	-۰/۰۹۶***	۰/۰۴۷***	۰/۰۱۷	۰/۰۰۸***	۰/۰۱۱*	۰/۱۷۲***
۰/۸	۰/۹۶۰***	-۰/۰۶۹***	۰/۰۳۷***	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۷***	۰/۰۰۸	۰/۱۹۲***
۰/۹	۰/۹۷۰***	-۰/۰۰۳	۰/۰۱۹*	-۰/۰۰۵۴	۰/۰۰۷*	۰/۰۰۶	۰/۱۴۴

منبع: یافته‌های تحقیق

*: معنی‌دار در سطح خطای ده درصد

** : معنی‌دار در سطح خطای پنج درصد

***: معنی‌دار در سطح خطای یک درصد

1. Coad and Rao
2. Mosteller and Tukey

همانطور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود، نتایج نشان می‌دهد ضریب وقفه متغیر مصرف برق خانگی مثبت و معنی‌دار است و از نظر عددی بزرگ است؛ یعنی مصرف برق دوره جاری بخش خانگی تا حدود زیادی تحت تاثیر مصرف برق دوره قبل است. این عادت مصرفی با حرکت به سمت کوانتایل‌های بالاتر، افزایش نیز پیدا می‌کند.

بین متغیر قیمت برق خانگی و تقاضای برق خانگی در ۸ کوانتایل اول رابطه منفی و معنی‌داری وجود دارد؛ یعنی با افزایش قیمت برق خانگی، میزان تقاضای برق کاهش می‌یابد. در رگسیون کوانتایل تفسیر اندازه ضریب در هر چندک مانند رگسیون حداقل مربعات می‌باشد به طوری که در کوانتایل اول ضریب متغیر قیمت برابر با $-0/115$ است یعنی افزایش یک درصدی در قیمت برق در این کوانتایل موجب کاهش $0/115$ درصدی در مصرف برق خواهد شد. در حالیکه در کوانتایل هشتم با افزایش یک درصدی در قیمت برق خانگی، مصرف برق تنها $0/069$ درصد کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مصرف کنندگانی که سرانه مصرف برق کمتری دارند، حساسیت بیشتری نسبت به افزایش قیمت برق نشان می‌دهند. کشش قیمتی تقاضای برق در سایر دهک‌ها نزدیک به هم است. کشش قیمتی تقاضای برق دهک نهم که مصرف کنندگان با بیشترین سرانه مصرف در آن قرار دارند، از نظر آماری معنی‌دار نیست. بنابراین نمی‌توان در مورد حساسیت تقاضا نسبت به تغییرات قیمت در این دهک اظهار نظر کرد.

همچنین نتایج جدول (۱) حاکی از آن است که ضریب متغیر قیمت انرژی جانشین در تمامی کوانتایل‌ها معنی‌دار است. واکنش کوانتایل اول نسبت به تغییر قیمت گاز طبیعی نزدیک به $2/5$ برابر کوانتایل نهم است؛ یعنی با افزایش یک درصدی در قیمت گاز طبیعی مصرف برق کوانتایل اول $0/046$ درصد افزایش پیدا می‌کند در حالیکه در کوانتایل نهم مصرف برق تنها $0/019$ درصد افزایش پیدا می‌کند. این نتیجه دور از انتظار نبود زیرا همانطور که در نمودار (۵) مشاهده شد، استان‌هایی که کمترین سرانه مصرف برق را دارند استان‌های سردسیر کشور هستند و در کوانتایل اول قرار دارند در حالیکه استان‌های گرمسیر با بیشترین سرانه مصرف برق در کوانتایل نهم قرار دارند. بنابراین مصرف برق در استان‌های سردسیر که مصرف گاز بیشتری نیز دارند (گاز مهم‌ترین منبع برای گرمایش در ایران است) با افزایش قیمت گاز بیشتر افزایش پیدا می‌کند.

ضریب متغیر درآمد سرانه خانوار تنها در چهار کوانتایل اول معنی‌دار است و نشان می‌دهد که در سطوح پایین مصرف برق خانگی، افزایش درآمد خانوار می‌تواند موجب افزایش مصرف برق شود. همچنین با حرکت از کوانتایل اول به کوانتایل چهارم، حساسیت تقاضای برق خانگی نسبت به درآمد کاهش می‌یابد.

ضریب متغیر نیاز به سرمایه‌ش بجز در کوانتایل اول که معنی‌دار نیست در سایر کوانتایل‌ها تاثیر مثبت و معنی‌داری بر مصرف برق خانگی دارد. باید به این نکته توجه داشت که این متغیر با توجه به رابطه (۶) ساخته شده است و یک درصد افزایش در این متغیر به معنی یک درصد افزایش در میانگین دما نیست. با توجه به وضعیت دمای هر استان در طول سال، افزایش یک درصدی در میانگین دمای روزانه می‌تواند نیاز به سرمایه‌ش را چندین درصد افزایش دهد که برای استان‌های مختلف متفاوت است. لذا کوچک بودن ضریب این متغیر قابل قبول است.

ضریب متغیر نیاز به گرمایش از نظر آماری معنی‌دار نیست. با توجه به بالا بودن سطح دسترسی به گاز طبیعی در کشور، افزایش نیاز به گرمایش تاثیر معنی‌داری بر تقاضای برق خانگی ندارد.

۲-۵. تقاضای برق غیر خانگی

نتایج برآورد مدل (۸) با استفاده از رگرسیون کوانتایل در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۲. نتایج حاصل از تخمین تابع تقاضای برق غیر خانگی

چندک	وقفه اول تقاضای برق غیر خانگی ($\ln QEO_{it-1}$)	قیمت برق غیر خانگی ($\ln PEO_{it}$)	قیمت گاز طبیعی ($\ln PGO_{it}$)	تولید ناخالص داخلی سرانه ($\ln GDP_{it}$)	ساختار اقتصادی ($\ln STR_{it}$)	تعداد مشترکین ($\ln NUM_{it}$)	مقدار ثابت (C)
۰/۱	۰/۹۴۹***	-۰/۰۴۱**	۰/۰۱۷	-۰/۰۰۷	۰/۰۳۸***	۰/۰۱۹	۰/۱۸۴***
۰/۲	۰/۹۶۵***	-۰/۰۴۳**	۰/۰۱۷	-۰/۰۰۶	۰/۰۳۱***	۰/۰۱۵	۰/۱۵۷**
۰/۳	۰/۹۶۴***	-۰/۰۳۸***	۰/۰۲۱***	۰/۰۰۱	۰/۰۲۱**	۰/۰۰۵	۰/۱۳۴**
۰/۴	۰/۹۶۳***	-۰/۰۲۴**	۰/۰۱۴*	۰/۰۱۶	۰/۰۱۶**	-۰/۰۱۸	۰/۱۳۷***
۰/۵	۰/۹۵۱***	-۰/۰۲۳**	۰/۰۲۰***	۰/۰۱۷***	۰/۰۲۲***	-۰/۰۱۷***	۰/۱۵۴***

چندک	وقفه اول تقاضای برق غیر خانگی ($\ln QEO_{it-1}$)	قیمت برق غیر خانگی ($\ln PEO_{it}$)	قیمت گاز طبیعی ($\ln PGO_{it}$)	تولید ناخالص داخلی سرايه ($\ln GDP_{it}$)	ساختار اقتصادی ($\ln STR_{it}$)	تعداد مشترکین ($\ln NUM_{it}$)	مقدار ثابت (C)
۰/۶	۰/۹۴۵***	-۰/۰۳۳**	۰/۰۲۵**	۰/۰۲۳*	۰/۰۲۴**	-۰/۰۲۷**	۰/۱۸۷***
۰/۷	۰/۹۳۴***	-۰/۰۲۱*	۰/۰۲۰***	۰/۰۴۹***	۰/۰۲۱**	-۰/۰۵۱***	۰/۱۳۲**
۰/۸	۰/۹۴۴***	۰/۰۰۴	۰/۰۱۱	۰/۰۴۵***	۰/۰۱۷**	-۰/۰۵۲***	۰/۱۲۱***
۰/۹	۰/۹۲۵***	-۰/۰۱۸	۰/۰۱۹**	۰/۰۶۶***	۰/۰۰۶	-۰/۰۷۳***	۰/۱۴۴**

منبع: یافته‌های تحقیق

*: معنی‌دار در سطح خطای یک درصد

** : معنی‌دار در سطح خطای پنج درصد

***: معنی‌دار در سطح خطای ده درصد

همانطور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، وقفه اول تقاضای برق غیر خانگی مثبت و معنی‌دار و مقدار عددی این ضریب بسیار بزرگ است؛ یعنی در بخش غیر خانگی نیز عادات مصرفی مهم‌ترین عامل در تقاضای برق است. همچنین با حرکت به سمت کوانتایل‌های بالاتر این ضریب کاهش می‌یابد، یعنی عادت مصرف برق در کوانتایل‌های پایین مصرف برق، بیشتر است.

مطابق با انتظار متغیر متوسط قیمت برق بخش غیر خانگی تاثیر منفی بر مصرف برق این بخش دارد. ضریب این متغیر بجز در دو کوانتایل آخر در سایر کوانتایل‌ها از نظر آماری معنادار است. ضریب قیمت برق در کوانتایل‌های بالاتر نسبت به کوانتایل‌های پایین‌تر، کمتر است و حاکی از کم‌کشش‌تر بودن قیمت برق بخش غیر خانگی در کوانتایل‌های بالای مصرف برق است.

متغیر قیمت انرژی جانشین بجز در کوانتایل‌های اول، دوم و هفتم در سایر کوانتایل‌ها مثبت و معنادار است. میزان حساسیت تقاضای برق غیر خانگی نسبت به افزایش قیمت گاز طبیعی در کوانتایل‌هایی که از نظر آماری معنی‌دار هستند، نزدیک به ۰/۰۲ است و حاکی از آن است که یک درصد افزایش در قیمت گاز طبیعی موجب افزایش ۰/۰۲ درصدی در مصرف برق در بخش غیر خانگی می‌شود.

ضرایب متغیر تولید ناخالص داخلی سرانه نیز در کوانتایل های پنجم تا نهم از نظر آماری معنی دار است و با حرکت به سمت کوانتایل های بالاتر، حساسیت تقاضای برق نسبت به تولید ناخالص داخلی افزایش می یابد. برای مثال در دهک نهم افزایش یک درصدی در تولید ناخالص داخلی سرانه بدون نفت موجب افزایش ۰/۰۶۶ درصدی در مصرف برق سرانه در این کوانتایل می شود در حالیکه در کوانتایل پنجم افزایش یک درصدی در تولید ناخالص داخلی سرانه تنها ۰/۰۱۷ درصد مصرف برق سرانه را افزایش می دهد. بنابراین در استان هایی که مصرف سرانه برق غیر خانگی بالاتری دارند، برای افزایش یک درصد در تولید ناخالص داخلی برق بیشتری نیاز دارند.

ضرایب متغیر تغییرات ساختاری اقتصاد بجز در کوانتایل نهم در سایر کوانتایل ها معنی دار است و با حرکت از کوانتایل های پایین به کوانتایل های بالاتر کاهش می یابد. ضریب این متغیر در کوانتایل اول برابر با ۰/۰۳۸ است و حاکی از آن است که اگر سهم ارزش افزوده بخش صنعت به کل تولید ناخالص داخلی یک درصد افزایش یابد، سرانه مصرف برق در بخش غیر خانگی ۰/۰۳۸ درصد افزایش می یابد. در حالیکه در کوانتایل هشتم افزایش یک درصدی در سهم ارزش افزوده بخش صنعت به تولید ناخالص داخلی سرانه، موجب افزایش ۰/۰۱۷ درصدی در مصرف برق می شود.

تعداد مشترکین به عنوان متغیر کنترلی در مدل آورده شده است و در کوانتایل های پنجم تا نهم تاثیر منفی و معنی داری بر مصرف بخش غیر خانگی دارد.

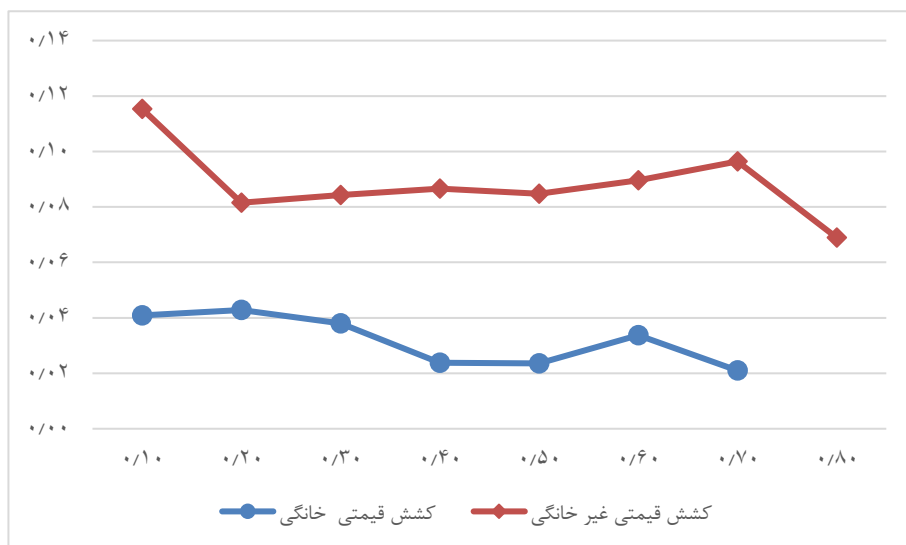
۵-۳. مقایسه نتایج دو مدل

با توجه به نتایج دو مدل در ادامه کشش قیمتی تقاضای برق بخش خانگی و غیر خانگی با هم مقایسه می شود. نمودار (۸) قدر مطلق کشش قیمتی برق در بخش خانگی و غیر خانگی را در کوانتایل های مختلف نشان می دهد.

همانطور که در نمودار (۸) مشاهده می شود، کشش قیمتی مصرف برق خانگی نسبت به مصرف برق غیر خانگی بیشتر است؛ یعنی بخش خانگی واکنش شدیدتری به افزایش قیمت برق در مقایسه با غیر خانگی نشان می دهد. لذا در سال های مورد بررسی سیاست های قیمتی برق در بخش خانگی در مقایسه با غیر خانگی از کارایی بیشتری در زمینه کاهش مصرف برق برخوردار است. همچنین نتایج نشان می دهد که کشش قیمتی تقاضای برق غیر خانگی در سطوح بالاتر مصرف کاهش پیدا می کند. بنابراین می توان نتیجه گرفت که سیاست های

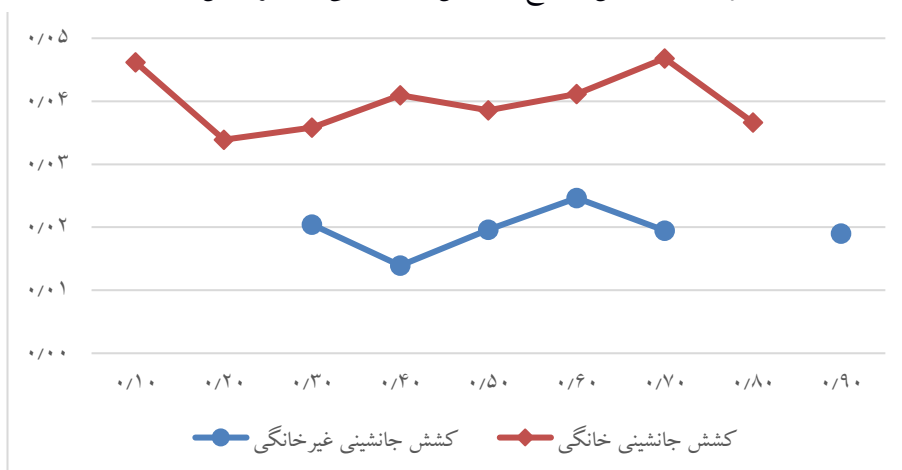
قیمتی در کوانتایل‌های پایین مصرفی بخش غیر خانگی در مقایسه با کوانتایل‌های بالا، تاثیر بیشتری بر تقاضای برق این بخش دارد.

نمودار ۸. قدر مطلق کشش قیمتی برق در بخش‌های خانگی و غیر خانگی در کوانتایل‌های مختلف



منبع: یافته‌های تحقیق

نمودار ۹. کشش متقاطع در بخش‌های خانگی و سایر بخش‌ها



منبع: یافته‌های تحقیق

کشش متقاطع برای دو تابع تقاضا در نمودار (۹) آورده شده است. همانطور که قبلاً نیز بیان شد کشش متقاطع برای هر دو تابع مثبت است. همانطور که مشاهده می‌شود، کشش متقاطع تقاضای برق خانگی بیشتر از کشش متقاطع تقاضای برق غیرخانگی در تمامی کوانتایل‌ها است. دلیل این موضوع به ساختار بخش غیر خانگی مصرف برق برمی‌گردد که نمی‌تواند به سرعت نسبت به افزایش قیمت انرژی جانشین واکنش نشان دهد. برای مثال در بخش صنعت و کشاورزی امکان جانشین کردن گاز بجای برق بسیار هزینه‌بر است و نیاز به زمانی زیادی دارد. درحالی‌که بخش خانگی با افزایش قیمت گاز می‌تواند اجاق یا وسیله گرمایشی برقی را جانشین وسیله گازی کند.

۶. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

دانش کافی از کشش قیمتی به سیاست‌گذاران در ایجاد سیاست‌های قیمت‌گذاری که بر الگوهای مصرف تأثیر می‌گذارد، کمک می‌کند و تمرکز بیشتر بر صرفه‌جویی و کارایی انرژی را تشویق می‌کند. در این مطالعه تابع تقاضای برق در بخش خانگی و غیرخانگی در دوره زمانی ۱۳۹۰-۱۴۰۰ برای ۳۱ استان ایران برآورد شده است. با توجه به اینکه توزیع متغیر وابسته برای هر دو مدل مذکور چوله بود، نتایج حاصل از رگرسیون حداقل مربعات قابل اعتماد نیست و می‌تواند گمراه‌کننده باشد. از اینرو در تحقیق حاضر از رگرسیون کوانتایل استفاده شده است که ویژگی‌های مناسبی را در برخورد با متغیر وابسته چوله دارد. نتایج حاکی از آن بود که کشش قیمتی برای تقاضای برق خانگی در بازه ۰/۰۶۹- تا ۰/۱۱۵- قرار دارد. همچنین کشش قیمتی برای تقاضای برق غیرخانگی در بازه ۰/۰۲۱- تا ۰/۰۴۳- قرار می‌گیرد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که حساسیت مصرف برق بخش خانگی نسبت به تغییرات قیمت برق در مقایسه با بخش غیرخانگی بیشتر است. همچنین نتایج نشان داد اگر چه کشش جانشینی در هر دو بخش کم است اما این کشش در تقاضای خانگی بیشتر از تابع تقاضای غیر خانگی بوده است و این اثر در هر دو بخش خانگی و غیرخانگی در کوانتایل‌های بالاتر مصرفی بیشتر بوده است.

از دیگر نتایج تحقیق می‌توان به تأثیر مثبت متغیر نیاز به سرمایه‌گذاری بر مصرف برق خانگی اشاره کرد. بنابراین می‌توان انتظار داشت با افزایش میانگین دمای هوای کشور و در نتیجه افزایش نیاز به سرمایه‌گذاری، تقاضای برق خانگی از این ناحیه افزایش یابد. کشش درآمدی تقاضای برق خانگی در سطوح پایین مصرف برق دارای تأثیر مثبت و معنی‌دار بود؛ یعنی در

استان‌هایی که سرانه مصرف پایین است با افزایش درآمد خانوار مصرف برق بیشتر افزایش پیدا می‌کند. اما کاهش درآمدی تقاضای برق غیرخانگی در سطوح بالاتر مصرفی، بیشتر بوده است. با توجه به نتایج تحقیق پیشنهاد می‌شود:

(۱) با توجه به اینکه عادات در مقایسه با قیمت برق تأثیر به مراتب بزرگتری در مصرف برق خانگی و غیرخانگی دارند. پتانسیل مهمی برای صرفه‌جویی در مصرف برق دارند، بنابراین پیشنهاد می‌شود، بر ایجاد عادات آگاهانه صرفه‌جویی در مصرف برق تکیه شود.

(۲) دلیل اینکه قیمت برق تأثیر قابل توجهی بر مصرف برق نداشته است این است که قیمت برق ایران توسط دولت تعیین می‌شود و به طور مصنوعی پایین نگه داشته شده است. این موضوع مخصوصاً در دهه گذشته شدیدتر شده است زیرا قیمت اسمی برق خیلی کمتر از افزایش در سطح عمومی قیمت‌ها رشد داشته است. لذا اصلاحات تعرفه‌ای برق برای ایفای نقش قیمت برق، ضروری است. این اصلاحات تعرفه‌ای باید منعکس کننده هزینه واقعی تامین برق باشد تا به مدیریت بهتر تقاضای برق و افزایش کارایی و تخصیص منابع کمک کند.

(۳) در حالی که این مطالعه تقاضای بخش خانگی را با غیر خانگی مقایسه کرده است. اما باید توجه داشت که کاهش‌های قیمتی و درآمدی در انواع مختلف بازارهای مصرف برق هم از نظر مقدار و هم از نظر تفسیر متفاوت است. لذا پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی تقاضای برق بخش‌های مختلف غیر خانگی (صنعت، کشاورزی، تجاری و عمومی) به تفکیک مورد بررسی قرار گیرد.

تعارض منافع

تعارض منافی نداریم

سپاسگزاری

نویسندگان لازم می‌دانند از حمایت پژوهشگاه نیرو و شرکت برق منطقه ای خراسان در انجام این پژوهش تشکر نمایند.

ORCID

Pouyan Kiani

Kioumars Heydari

Maryam Nafisi-Moghadam



<https://orcid.org/0000-0003-4475-2928>



<https://orcid.org/0000-0002-8845-8299>



<https://orcid.org/0000-0002-7328-808X>

منابع

- جلایی، سیدعبدالمجید، جعفری، سعید و انصاری لاری، صالح (۱۳۹۲). برآورد تابع تقاضای برق خانگی در ایران با استفاده از داده‌های تابلویی استانی. *پروژه‌نامه اقتصاد انرژی ایران*، ۲(۸)، ۶۹-۹۲.
- چگنی آشتیانی، علی. (۱۳۹۱). برآورد تابع تقاضای برق و پیش‌بینی آن برای افق چشم‌انداز ۱۴۰۴ ایران و نقش آن در توسعه کشور با توجه به هدفمند شدن یارانه‌های انرژی. *فصلنامه پژوهش‌های رشد و توسعه اقتصادی*، ۲(۷)، ۹۱-۱۰۱.
- حافظی، حسین و دلفان، محبوبه (۱۴۰۱). پیش‌بینی بلندمدت تقاضای برق ایران (رویکرد مبتنی بر سناریوسازی با استفاده از رهیافت ترکیبی ARDL و ARIMA)، *پروژه‌نامه اقتصاد انرژی ایران*، دوره ۱۱، شماره ۴۴، صفحات ۴۱-۷۱.
- دریکوند، اکرم و عسگری، حشمت‌الله (۱۳۹۹). برآورد اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت قیمت برق بر تقاضای برق خانگی در استان‌های ایران. *مجله توسعه و سرمایه*، ۵(۲)، ۳۱-۴۵.
- قره‌باغی صغری و امامی‌میدی، علی (۱۳۹۶). برآورد و بررسی تابع تقاضای برق ایران در سه بخش صنعت، خانگی و کشاورزی. *مجله اقتصادی (دوماهنامه بررسی مسائل و سیاست‌های اقتصادی)*، ۱۷ (۷ و ۸)، ۲۳-۳۹.
- لطفعلی‌پور، محمدرضا، فلاحتی، محمدعلی و ناظمی معزآبادی، سیما (۱۳۹۴). برآورد توابع تقاضای برق در بخش‌های خانگی و صنعتی ایران با بکارگیری الگوی سری زمانی ساختاری (STSM). *فصلنامه مطالعات اقتصادی کاربردی ایران*، ۴(۱۳)، ۱۸۷-۲۰۸.
- موسوی، میرحسین، دهنوی، جلال و شاطری، الهه (۱۴۰۰). مدل‌سازی تقاضای کل برق با استفاده از اقتصادسنجی پانل فضایی. *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، ۱۷ (۶۸)، ۲۳-۱.
- ورهرامی، ویدا و شاطری، نفیسه (۱۳۹۵). برآورد تابع تقاضای برق در بخش صنعت استان‌های بزرگ صنعتی با استفاده از پنل پویا. *فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی*، ۲(۴)، ۳۳-۵۹.
- ورهرامی، ویدا و موحدیان، مهرانوش (۱۳۹۶). برازش تابع تقاضای برق بخش خانگی شهرستان‌های منتخب استان تهران با استفاده از روش پنل پویا. *پژوهش‌های رشد و توسعه پایدار (پژوهش‌های اقتصادی)*، ۱۷ (۲)، ۱۲۱-۱۴۴.

وصال، محمد، چراغی، افشین و رحمتی، محمدحسین (۱۴۰۰). تخمین کشش قیمتی تقاضای برق خانگی به روش ناپیوستگی رگرسیون، مطالعه موردی استان فارس. فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی، ۲۹ (۹۹)، ۵۷-۷.

References

- Buchinsky, M. (1998). Recent advances in quantile regression models: a practical guideline for empirical research. *Journal of human resources*, 88-126.
- Changi Ashtiani, A. (2012). The Estimation of Electricity Demand Function and Prediction of its Consumption to 2025 in Iran. *Economic Growth and Development Research*, 2(7), 101-91. [In Persian]
- Coad, A. & Rao, R. (2006), Innovation and market value: a quantile regression analysis, *Economics Bulletin*, vol. 15, no. 13, pp. 1-10.
- Derikvand, A. and Asgari, H. (2021). Estimating the Short and Long Term Effects of Electricity Price on Household Electricity Demand in Iranian Provinces. *Journal of Development and Capital*, 5(2), 31-45. [In Persian]
- Emenekwe, C.C. & Emodi, N.V. (2022). Temperature and Residential Electricity Demand for Heating and Cooling in G7 Economies: A Method of Moments Panel Quantile Regression Approach. *Climate*, 10(10), 142.
- Hafezi, H. and Delfan, M. (2022). Long-Term Forecasting of Iran's Electricity Demand (A Scenario-Based Approach Using a Combined ARDL and ARIMA Approach). *Iranian Energy Economics*, 11(44), 41-71. [In Persian]
- Huang, W. H. (2015). The determinants of household electricity consumption in Taiwan: Evidence from quantile regression. *Energy*, 87, 120-133.
- Jalaei, S. A. , Jafari, S. and Ansari Lari, S. (2013). The Estimation of Electricity Consumption in the Residential Sector in Iran: A Provinces Panel. *Iranian Energy Economics*, 2(8), 69-92. [In Persian]
- Jin, T., & Kim, J. (2022). The elasticity of residential electricity demand and the rebound effect in 18 European Union countries. *Energy Sources*, Part B: Economics, Planning, and Policy, 17(1), 2053896.
- Koenker, R., & Bassett Jr, G. (1978). Regression quantiles. *Econometrica: journal of the Econometric Society*, 46 (1), 33-50.
- Kusumaningrum, S. N. (2018). The Sensitivity of Residential Electricity Demand in Indonesia. *Signifika. Jurnal Ilmu Ekonomi*, 7(2), 247-266.
- Lotfalipour, M. R. , Falahi, M. A. and Nazemi moezabadi, S. (2015). Estimating Residential and Industrial Electricity Demand Functions of Iran, using Structural Time Series Model (STSM). *Journal of Applied Economics Studies in Iran*, 4(13), 187-208. [In Persian]
- Martins, L. O. S., Amorim, I. R., de Araújo Mendes, V., Silva, M. S., Freires, F. G. M., Teles, E. O., & Torres, E. A. (2021). Price and income elasticities of residential electricity demand in Brazil and policy implications. *Utilities Policy*, 71, 101250.

- Mosteller, F. & Tukey, J. W. (1977), *Data analysis and Regression: A Second Course in Statistics*, Addison-Wesley Series in Behavioral Science: Quantitative Methods.
- Mousavi M, Dehnavi J, Shateri E. Total Electricity Demand Modeling: An Application of Spatial Panel Econometric Method. *QEER 2021*, 17 (68), 1-23. [In Persian]
- Pellini, E. (2021). Estimating income and price elasticities of residential electricity demand with Autometrics. *Energy Economics*, 101, 105411.
- Qarabaghi, Soghra, & Emami Meybodi, Ali. "Estimation and Analysis of Electricity Demand Function in Iran's Industry, Residential, and Agriculture Sectors. *Economic Journal (Bi-monthly Review of Economic Issues and Policies)*, 17(7 & 8), 23-39. [In Persian]
- Talbi, B., Jebli, M. B., Bashir, M. F., & Shahzad, U. (2022). Does economic progress and electricity price induce electricity demand: A new appraisal in context of Tunisia. *Journal of Public Affairs*, 22(1), e2379.
- Tran, N. D., & Sahu, N. C. (2023). Asymmetric price response of industrial electricity demand in India. *Utilities Policy*, 82, 101552.
- Uhr, D. D. A. P., Chagas, A. L. S., & Uhr, J. G. Z. (2019). Estimation of elasticities for electricity demand in Brazilian households and policy implications. *Energy Policy*, 129, 69-79.
- Varahrami V, Movahedian M. Estimation of Residential Electricity Demand among the Selected Counties in Tehran Province using Dynamic Panel Data Model. *QJER 2017*, 17 (2), 121-144. [In Persian]
- Varahrami V, Shateri N. Industrial Electricity Demand in Selected Provinces of Iran: A Dynamic Panel Data Model . *Quarterly Journal of Energy Policy and Planning Research 2016*, 2 (3), 33-59 [In Persian]
- Vesal M, Cheraghi A, Rahmati M. Household electricity demand estimation: a regression discontinuity design approach. *qjerp 2021*, 29 (99), 7-57. [In Persian]

استناد به این مقاله: کیانی، پویان؛ حیدری، کیومرث و نفیسی مقدم، مریم. (۱۴۰۳). تحلیل کشش قیمتی تقاضای برق در ایران با استفاده از رگرسیون کوانتایل، *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، ۵۳ (۱۴)، ۱۹۲-۲۲۱.



Iranian Energy Economics is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.