-- Iranian Energy Economics------
Fall 2022, 44(11), 41-71
Jiee.atu.ac.ir
DOI: http://dx.doi.org/10.22054/jiee.2022.70675.1959

Original Research
Received: 24/Oct/2022
Accepted: 25/Dec/2022
ISSN: 2423-5954
eISSN: 2476-6437

Long-Term Forecasting of Iran's Electricity Demand (A Scenario-Based Approach Using a Combined ARDL and ARIMA Approach)

Hossein Hafezi *
Master Student of Energy Economics, Kharazmi University, Tehran, Iran

Mahbubeh Delfan
Assistant Professor, Department of Economics, Lorestan University, Lorestan, Iran

Abstract

The electricity industry is not only one of the most significant industries in the nation, but it is also one of the most significant pillars of economic development. The numerous roles that electricity plays in a country's economy make it clear that anticipating electricity consumption is crucial. In this regard, the combined ARDL and ARIMA technique is used in the current study to forecast the nation's electricity demand. With an emphasis on the impact of temperature and various rates of economic growth, this study attempts to forecast Iran's total electricity demand over 30 years (2021 to 2050) under 4 alternative scenarios. The development of the scenario is based on the rise in the nation's average temperature and various rates of economic growth. The first and second scenarios rely on the country's average temperature increase of 0. 26% per annum and economic growth rates of 2% and 8%. Furthermore, the third and fourth ones are based on the country's average temperature increase of 0. 45% a year and economic growth rates of 2 and 8%. The study's findings reveal that temperature and economic growth have a substantial impact on how much electricity is consumed, but they also indicate that as temperatures rise and the GDP expands, there will be a huge increase in demand for electricity. Additionally, additional findings show that the power demand is inelastic to price fluctuations. As a result, efforts to reduce electricity consumption should be based on policies to increase energy efficiency as well as policies to regulate temperature and greenhouse gas emissions by increasing the proportion of renewable technologies in the nation's electricity supply portfolio.

Keywords: Electricity Demand Forecast, Effect of Climate Change on Electricity Demand, ARDL Model, ARIMA Model.

JEL Classification: Q47 , Q54 , C51 , C53

* Corresponding Author: Hafezihussein8@gmail.com
How to Cite: Hafezi, H., 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, 44 (11), 41-71.

-- پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران ---------
دوره ۱۱، شماره ٤٤، پاییز ۱٤۰۱، ٤۱-۷۱
Jiee.atu.ac.ir
DOI: http://dx.doi.org/10.22054/jiee.2022.70675.1959

مقاله پژوهشی
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۰۴
ISSN: ۲۴۲۳-۵۹۵۴
eISSN: ۲۴۷۶-۶۴۳۷

پیش‌بینی بلندمدت تقاضای برق ایران (رویکرد مبتنی بر سناریوسازی با استفاده از رهیافت ترکیبی ARDL و ARIMA)

حسین حافظی * | دانشجوی کارشناسی ارشد رشته اقتصاد انرژی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
محبوبه دلفان | استادیار گروه اقتصاد، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

چکیده

بخش برق علاوه بر اینکه یکی از مهم‌ترین صنایع کشور محسوب می‌شود، از تأثیرگذارترین ارکان رشد و توسعه اقتصادی نیز به شمار می‌رود. بنابراین پیش‌بینی تقاضای برق با توجه به نقش‌های مختلفی که در اقتصاد یک کشور ایفا می‌کند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این راستا در مطالعه حاضر به پیش‌بینی تقاضای برق کشور با استفاده از رویکرد ترکیبی خود توضیح دهنده با وقفه‌های توزیعی و میانگین متحرک خود همبسته یکپارچه پرداخته شده است. این مطالعه در تلاش است با تأکید بر اثر دما و نرخ‌های متفاوت رشد اقتصادی طی ۴ سناریوی مختلف کل تقاضای برق ایران در یک بازه زمانی ۳۰ ساله (۲۰۵۰ تا ۲۰۲۱) را پیش‌بینی نماید. سناریوسازی مبتنی برافزایش میانگین دمای کشور و نرخ‌های متفاوت رشد اقتصادی است. سناریو اول و دوم مبتنی بر افزایش میانگین دمای کشور به میزان ۰/۲۶ درصد سالیانه و نرخ‌های رشد اقتصادی ۲ و ۸ درصدی است. همچنین سناریو سوم و چهارم مبتنی بر افزایش میانگین دمای کشور به میزان ۰/۴۵ درصد سالیانه و نرخ‌های رشد اقتصادی ۲ و ۸ درصدی است. نتایج حاصل از مطالعه نشان می‌دهد که به دنبال افزایش دما و رشد تولید ناخالص داخلی، تقاضای برق به‌طور چشمگیری افزایش خواهد یافت. همچنین سایر نتایج حاکی از بی‌کشش بودن تقاضای برق نسبت به تغییرات قیمتی است. لذا سیاست‌های محدودیت تقاضای برق بایستی مبتنی بر کنترل دما و انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق افزاش سهم تکنولوژی‌های تجدیدپذیر در سبد عرضه برق کشور و سیاست‌های مبتنی بر افزایش بهره‌وری انرژی باشد.

کلیدواژه‌ها: پیش‌بینی تقاضای برق، اثر تغییرات اقلیمی بر تقاضای برق، مدل ARDL، مدل ARIMA

طبقه‌بندی JEL: C53, C51, Q54, Q47

* نویسنده مسئول: Hafezihussein8@gmail.com

۱. مقدمه

بعد از انقلاب صنعتی، حامل‌های انرژی از مهم‌ترین نهاده‌های تولیدی در جهت تحقق رشد و توسعه اقتصادی بوده‌اند (صادقی و ذوالفقاری[1]، ۱۳۸۹)، به‌طوری‌که رشد صنعتی و توسعه اقتصادی تا حد زیادی به مقدار و سطح استفاده کارآمد از حامل‌های انرژی ارتباط پیدا کرده است (ترازنامه انرژی[2]، ۱۳۹۸). برق به‌عنوان یکی از مهم‌ترین حامل‌های انرژی، به دلیل ارتباط با سایر بخش‌ها و نهادهای اقتصادی (در قالب نهاده یا کالای نهایی)، نقش اساسی در دستیابی به توسعه اقتصادی پایدار دارد (آدام و بکو[3]، ۲۰۱۲). با توجه به گرایش روزافزون جوامع به استفاده از الکتریسیته در همه جنبه‌های زندگی (مانند برنامه کشورهای توسعه‌یافته جهت استفاده از خودروهای برقی)، مصرف انرژی الکتریکی به‌سرعت در حال افزایش است به‌طوری‌که با وجود تلاش‌های فراوان کشورها در جهت مدیریت مصرف انرژی الکتریکی، بر میزان تقاضای آن روزبه‌روز افزوده می‌شود. براساس گزارش‌های بین‌المللی، مصرف جهانی برق در سال ۲۰۲۰ به میزان ۲۶۱۰۷ تراوات ساعت بوده است که تقریباً معادل ۱۷ درصد کل مصرف نهایی انرژی جهانی است (داده‌های دنیای ما[4]، ۲۰۲۱). در سال ۲۰۲۰ کل مصرف برق ایران برابر با ۲۸۷ تراوات ساعت است که نسبت به سال قبل دارای رشدی معادل ۴/۵ درصد بوده است (آمار تفصیلی صنعت برق ایران ویژه مدیریت راهبردی[5]، ۱۳۹۹).

بررسی وضعیت کشور نشان می‌دهد که مصرف برق ایران طی سالیان اخیر به دلایلی از قبیل حجم بالای پرداخت یارانه انرژی که منجر به نزولی بودن قیمت برق در ۴۰ سال گذشته شده، رشد جمعیت، توسعه شهرنشینی، بهبود سطح زندگی و افزایش رفاه، افزایش دما، تغییرات آب و هوایی و توسعه صنعتی و تجاری افزایش یافته است (جلایی و همکاران[6]، ۱۳۹۲). لذا برنامه‌ریزی جهت مدیریت تولید و مصرف برق کشور امری ضروری است. پیش‌بینی تقاضای برق همواره نقش مهمی در برنامه‌ریزی ظرفیت و انتقال، برنامه‌ریزی تولید و قیمت‌گذاری داشته است (یوک سلطان و همکاران[7]، ۲۰۱۷). بنابراین

1. Sadeghi & Zolfaghari
2. Energy Balance, 2019
3. Philip Kofi Adom, William Bekoe
4. Ourworldindata
5. Tavanir
6. Jalaee et al.
7. Ergun Yukseltan, Ahmet Yucekaya, Ayse Humeyra Bilge

برنامه‌ریزی توسعه و آرایش بهینه نیروگاه‌های تولید برق در کشور مستلزم پیش‌بینی تقاضای برق برای افق زمانی بلندمدت با در نظر گرفتن طول عمر و زمان طولانی ساخت نیروگاه‌های جدید و همچنین تأکید و توجه بر منابع جدید مانند نیروگاه‌های بادی و خورشیدی فتوولتائیک[1] است (تروتر[2] و همکاران، ۲۰۱۶). به عبارت دیگر، کمبود نیروگاه‌های لازم جهت تولید برق و نیز واکنش مصرف‌کنندگان در مقابل تغییرات قیمت این محصول، ضرورت برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری صحیح برای برق را آشکارتر می‌کند. برای پیش‌بینی و دستیابی به شناخت ساختار رفتاری مصرف برق، لازم است به بررسی عوامل مؤثر بر تقاضای برق پرداخت. همچنین تغییرات در سیستم آب و هوایی زمین، پیامدهای مستقیم و غیرمستقیم بزرگی برای تقاضای برق در بسیاری از مناطق دارد (هیئت بین دولتی تغییر اقلیم[3]، ۲۰۱۳). به همین دلیل شناسایی عوامل اقلیمی تأثیرگذار و تعیین نقش این متغیرها در زمینه برنامه‌ریزی تقاضای برق از اهمیت بالایی برخوردار است (یان[4]، ۱۹۹۸). لذا متغیر دما به‌عنوان نماینده تأثیر تغییرات اقلیمی، یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تقاضای برق شناخته شده است (بسک و فوکو[5]، ۲۰۰۸). بنابر توضیحات فوق، پیش‌بینی تقاضای برق با توجه به نقش مختلفی که در اقتصاد یک کشور ایفا می‌کند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.. در مدل‌سازی تقاضا باید به این نکته توجه نمود که مدل‌های پیچیده لزوماً نتایج دقیق‌تری را به دنبال نخواهند داشت. گاهی اوقات یک مدل ساده می‌تواند نتایج بهتری به همراه داشته باشد (آرمسترانگ[6]، ۲۰۰۱). این مطالعه با استفاده از مدل اقتصادسنجی خود توضیح‌دهنده با وقفه‌های توزیعی[7] به بررسی کشش‌های بلندمدت و کوتاه‌مدت عوامل مؤثر مورد مطالعه (رشد اقتصادی و تغییرات دما) بر تقاضای برق کشور و همچنین پیش‌بینی تقاضای برق کل کشور تا پایان سال ۲۰۵۰ می‌پردازد. برای پیش‌بینی متغیرهای مستقل مدل مذکور در سال‌های مورد نظر، از پیش‌بینی منابع معتبر بین‌المللی برای جمعیت، تولید ناخالص داخلی و میانگین دمای سالیانه کشور و مدل «میانگین متحرک خود همسته یکپارچه»[8] برای پیش‌بینی قیمت حقیقی برق استفاده شده

1. Solar Photovoltaics
2. Ian M. Trotter
3. Intergovernmental Panel on Climate Change
4. Yuk Yee Yan
5. Marie Bessec, Julien Fouquau
6. Armestrong
7. Autoregressive Distributed Lag (ADRL)
8. Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)

است. درنهایت با جای‌گذاری مقادیر پیش‌بینی‌شده متغیرهای مستقل در مدل «خود توضیح‌دهنده با وقفه‌های توزیعی»، مقدار تقاضای برق تا سال ۲۰۵۰ پیش‌بینی شده است.

در ادامه سازمان‌دهی مقاله به این صورت است که در بخش دوم به معرفی مبانی نظری و پیشینه مطالعات تجربی پرداخته می‌شود. بخش سوم شامل روش‌شناسی و معرفی داده‌هاست. در بخش چهارم برآورد مدل و نتایج تخمین مدل تحقیق، تجزیه‌وتحلیل می‌شود. در پایان، نتایج مطالعه و پیشنهادهای سیاستی ارائه شده است.

۲. مبانی نظری

مدیریت مصرف انرژی برای تأمین رفاه اقتصادی آینده و امنیت محیط زیست بسیار مهم است. امروزه مسئله تغییرات اقلیمی یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های کشورها و مجامع بین‌المللی است. از مهم‌ترین علل ایجاد آن، می‌توان مصرف سوخت‌های فسیلی را برشمرد. طی دهه‌های اخیر از طریق توافق‌نامه‌های بین‌المللی تلاش‌هایی در جهت کنترل مصرف سوخت‌های فسیلی و میزان انتشار آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای صورت گرفته است که می‌توان پروتکل کیوتو و توافق‌نامه پاریس را از مهم‌ترین آن‌ها نام برد (قربانی و همکاران[1]، ۲۰۰۹). انرژی به‌عنوان نهاده مورد نیاز و حیاتی در تولیدات صنعتی، محصولات کشاورزی، سلامت، دسترسی به آب و برق، جمعیت، آموزش، کیفیت زندگی و غیره محسوب می‌گردد. لذا مدیریت تقاضای انرژی برای تخصیص صحیح منابع موجود مورد نیاز می‌باشد. از سال‌های اولیه دهه ۱۹۷۰ روش‌ها و مدل‌های پیش‌بینی گوناگونی برای مدیریت تقاضای انرژی جهت پیش‌بینی صحیح انرژی مورد نیاز آتی به کار گرفته شده است. این مدل‌ها شامل روش‌های متعارف مانند شاخص‌سازی ساده، تحلیل روند، روش تجزیه، بهینه‌یابی، تحلیل سناریو، روش‌های اقتصادسنجی، جداول داده ستانده و نیز تکنیک‌های محاسبات نرم‌افزاری مانند منطق فازی، الگوریتم ژنتیک، شبکه‌های عصبی و درنهایت مدل‌های فنی ـ اقتصادی پایین به بالا مانند مارکال[2] و لیپ[3] در سطوح ملی و منطقه‌ای برای مدل‌سازی، پیش‌بینی و مدیریت تقاضای انرژی مورد استفاده قرارگرفته‌اند. در رویکرد بهینه‌یابی براساس نظریه اقتصاد خرد، مقدار بهینه تقاضا برای انواع حامل‌های

1. Ghorbani et al.
2. MARKAL
3. LEAP

انرژی برای مصرف‌کننده به صورت زیر برآورد می‌شود. در بخش‌های مختلف تولیدی به‌منزله یک نهاده تولید، از حداقل‌سازی تابع هزینه مشتق می‌شود. یک بنگاه اقتصادی ترکیب نهاده‌های لازم را به‌گونه‌ای انتخاب می‌کند که بنگاه، حداقل هزینه ممکن را برای تولید مقدار معینی از محصول داشته باشد. برای مثال مسئله حداقل‌سازی خط هزینه همسان بنگاه نسبت به تابع تولید بنگاه خاص در زمان معین به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{Min: } C = rK + wL + p_mM + \ldots + p_tT \quad (۱)$$

$$\text{s.t: } \bar{Q} = f(K, L, M, E_1, E_2, \ldots, E_n, T) \quad (۲)$$

که در آن K، L و M به ترتیب معرف نهاده‌های سرمایه، نیروی کار و مواد اولیه است و Ei نیز i مین نوع از انرژی یعنی انرژی الکتریکی و سایر انرژی‌های جایگزین است و T نیز مجموعه‌ای از عوامل دیگر مانند تغییرات فناوری است. با حداقل کردن خط هزینه همسان بنگاه نسبت به سطح ثابتی از تولید، تابع تقاضا برای عوامل تولید ازجمله برق به دست می‌آید. اگر تقاضا برای برق به‌عنوان یک عامل تولید، به صورت زیر در نظر گرفته شود:

$$De = f(pi, pl\ pk, pm, y) \quad (۳)$$

بنابراین تابع تقاضای برق، تابعی از قیمت انرژی الکتریکی و قیمت انرژی جایگزین (pi)، قیمت نهاده‌های غیر انرژی (pm, pl, pk) و تولید یا درآمد (y) است (باتاچاریا[1]، ۲۰۱۱). به دلیل عدم کارایی پیش‌بینی‌های مدل‌های بهینه‌یابی در عمل، مطالعات اخیر از مدل‌های جایگزینی همانند اقتصادسنجی یا سری زمانی استفاده کرده‌اند. از انواع مدل‌های سری زمانی می‌توان به مدل‌های خودرگرسیونی، خودرگرسیون برداری[2] خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی[3]، میانگین متحرک خودهمبسته یکپارچه[4] و تعدیل جزئی پویا[5] اشاره کرد (چنگی آشتیانی و جلولی[6]، ۱۳۹۱) (لاخانی و بامب[7]، ۱۹۷۸). در این مطالعه از تلفیق مدل

1. Bhattacharyya
2. Vector Autoregressive
3. ARDL
4. ARIMA
5. DPAM
6. Changi Ashtiani & Jalouli
7. Hyder G. Lakhani, Balu Bumb

خود توضیح‌دهنده با وقفه‌های توزیعی[1] و میانگین متحرک خود همبسته یکپارچه[2] استفاده شده است.

۱-۲. پیشینه تحقیق

الف) مطالعات داخلی

نتایج مطالعه صمدی و همکاران[3] (۱۳۸۷) که در حوزه تحلیل تقاضای برق در ایران با استفاده از مفهوم هم جمعی و مدل میانگین متحرک خودهمبسته یکپارچه انجام دادند نشان می‌دهد که واکنش مصرف‌کنندگان برق در ایران به تغییرات درآمد و قیمت کاملاً محدود است. همچنین پیش‌بینی‌های مربوط به تقاضای برق در آینده حاکی از آن است که تقاضای سرانه برق با نرخ رشد سالیانه ۴/۴ درصد افزایش می‌یابد.

صادقی و ذوالفقاری (۱۳۸۹) با استفاده از تکنیک روش‌های غیرخطی شبکه عصبی مصنوعی و تبدیل موجک ـ شبکه عصبی و فرآیند خطی خودهمبسته میانگین متحرک به پیش‌بینی کوتاه‌مدت تقاضای برق کشور پرداختند. نتایج این مقاله نشان‌دهنده آن است که مدل‌های غیرخطی تبدیل موجک و شبکه عصبی پیش‌خور، نسبت به مدل خود همبسته میانگین متحرک، در پیش‌بینی روزانه برق کشور از دقت بالاتری برخوردار است.

چنگی آشتیانی و جلولی (۱۳۹۱) پژوهشی با عنوان برآورد تابع تقاضای برق و پیش‌بینی آن برای افق چشم‌انداز ۱۴۰۴ ایران و نقش آن در توسعه کشور با توجه به هدفمندسازی یارانه‌های انرژی با استفاده از مدل خود توضیح با وقفه‌های توزیعی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این پژوهش ضمن تأیید بی‌کشش بودن تقاضای برق نسبت به قیمت نشان می‌دهد که میزان تقاضای برق کل کشور با اجرای طرح هدفمندی یارانه‌ها در سال اول اجرای این سیاست با کاهش ۳/۵ درصدی در میزان تقاضا به میزان ۱۷۰ تراوات ساعت خواهد رسید و درنهایت تقاضای برق کل کشور در سال ۱۴۰۴ به ۲۴۰ تراوات ساعت خواهد رسید.

محمدی و همکاران[4] (۱۳۹۳) مطالعه‌ای در حوزه مدل‌سازی تقاضای برق در بخش صنعت ایران با استفاده از رویکرد مدل سری زمانی ساختاری انجام دادند و نتایج حاصل

1. Autoregressive Distributed Lags (ARDL)
2. Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)
3. Samadi et al.
4. Mohammadi et al.

حاکی از وجود ماهیت تصادفی متغیر روند است به‌طوری‌که عوامل برون‌زای اقتصادی در شکل‌گیری تقاضای برق در بخش صنعت، نقش مؤثری دارند. صعودی بودن (روند تقاضای اساسی انرژی[1]) نشان می‌دهد که انرژی برق در بخش صنعت به شکل بهینه مصرف نشده است. درحقیقت نقش عوامل برون‌زایی مانند پیشرفت تکنولوژی، تغییرات ساختاری اجرای برخی از استانداردهای کارایی و صرفه‌جویی انرژی و همچنین دولتی بودن فعالیت‌ها، در رشد مصرف برق در بخش صنعت تأثیرگذار بوده‌اند.

منظور و رضایی[2] (۱۳۹۳) اثرات اصلاح قیمت سوخت مصرفی نیروگاه‌ها و مالیات بر ارزش‌افزوده بر تقاضای برق کشور را با استفاده از تکنیک پویایی سیستمی مورد بررسی قرار دادند که نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی مدل حاکی از آن است که در صورت ادامهٔ روند قیمت‌های گذشته، بازار برق در افق سال ۱۴۰۰ با بیش از ۳۰۰ تراوات ساعت مازاد تقاضا در سال و درنتیجه با خاموشی مواجه خواهد شد. شبیه‌سازی بازار برق در چارچوب مدل پیشنهادی حاکی از آن است که اصلاح قیمت سوخت مصرفی نیروگاه‌ها در اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها موجب خواهد شد قیمت بازار برق به میزان چشمگیری افزایش‌یافته و درنتیجه تقاضا کاهش می‌یابد و بازار برق به تعادل می‌رسد. چنانچه اصلاح قیمت سوخت نیروگاه‌ها هم‌زمان با اجرای قانون مالیات بر ارزش‌افزوده شبیه‌سازی شود، نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که با فرض متوسط نرخ رشد اقتصادی تجربه‌شده در یک دهه اخیر (۵/۴ درصد)، تقاضای برق در پایان دوره ۵/۴ درصد کاهش می‌یابد.

پورکاظمی و آقایی‌فر[3] (۱۳۹۴) با به‌کارگیری رویکرد تلفیقی شبکهٔ عصبی مطالعه‌ای در حوزه بررسی تأثیر کاهش یارانه برق بر مصرف برق انجام دادند و نتایج پیش‌بینی آینده‌نگر به صورت پویا نشان می‌دهد که افزایش قیمت برق تا ۴۵۰ ریال بابت هر کیلووات ساعت (قیمت مصوب کنونی)، قیمت تمام‌شده اقتصادی معادل ۷۹۴ ریال و قیمت جهانی برابر با ۱۲۵۲/۵ ریال بابت هر کیلووات ساعت مصرف را به ترتیب ۹/۴۴ درصد، ۱۲/۱۹ درصد و ۱۴/۵۱ درصد کاهش می‌دهد.

سلیمی‌فر و همکاران[4] (۱۳۹۶) به بررسی تأثیر ارزش افزوده بخش صنعت بر تقاضای برق این بخش و پیش‌بینی تقاضای برق صنعت تا پایان برنامه پنجم توسعه با توجه به

1. Underlying Energy Demand Trend (UEDT)
2. Manzour & Rezaee
3. Pourkazemi & Aghaeifar
4. Salimifar et al.

اصلاحات قیمتی با استفاده از رویکرد خود توضیح‌دهنده با وقفه‌های توزیعی پرداختند یافته‌های حاصل از مطالعه حاکی از افزایش مصرف برق است.

مهینی‌زاده و همکاران[1] (۱۳۹۶) با بررسی مطالعه‌ای در زمینه تجزیه‌وتحلیل کارایی نهاده برق در صنایع تولیدی ایران با تأکید بر هدفمندسازی یارانه‌ها و استفاده از مدل الگوی تعدیل جزئی، روش گشتاور تعمیم‌یافته و معیار انرژی بری به این نتیجه رسیدند که قانون هدفمندسازی یارانه‌ها برخلاف انتظارات حداقل در کوتاه‌مدت نتوانسته به بهبود کارایی مصرف برق در صنایع تولیدی کشور منجر شود.

رستمی و همکاران (۱۳۹۷) پیش‌بینی تقاضای برق کشور را با کاربرد مدل ترکیبی تعدیل جزئی پویا و میانگین متحرک خود همبسته یکپارچه[2] بررسی کردند که یافته‌های مطالعه بیانگر بی‌کشش بودن تقاضای برق نسبت به تغییرات قیمت است. نتایج پیش‌بینی نشان می‌دهد مقدار تقاضای سرانه برق تا سال ۱۴۰۸ نسبت به سال ۱۳۹۳ حدود ۴۵ درصد رشد خواهد داشت.

فتاحی و همکاران[3] (۱۳۹۹) آثار زیست‌محیطی اصلاح یارانه‌های انرژی در برنامه‌ریزی بلندمدت بخش برق ایران را با استفاده از مدل‌های خودتوضیح‌دهنده با وقفه‌های توزیعی، میانگین متحرک خود همبسته یکپارچه و برنامه‌ریزی بلندمدت انرژی(مسیج[4]) انجام داده و به این نتیجه رسیدند که با در نظر گرفتن جنبه‌های فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی در سناریوهای مختلف، تسریع در اصلاح قیمت انرژی دارای آثار فنی ـ اقتصادی و محیط زیستی قابل توجه است.

قهرمانی و همکاران[5] (۱۳۹۹) موضوع نقش اصلاح یارانه‌های سوخت‌های فسیلی در توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر با استفاده از مدل‌های مسیج و فضا ـ حالت را مورد بررسی قرار دادند. نتیجه حاصل از آن بیانگر این است که اگرچه با حذف یارانه‌ها حساسیت مصرف‌کننده به قیمت افزایش می‌یابد اما این واکنش در طول زمان متفاوت است به‌طوری‌که هرچه زودتر یارانه حذف شود اثر بیشتری روی تقاضا دارد و بالعکس.

---

1. Mahinizadeh et al.
2. ARIMA
3. Fattahi et al.
4. Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact (MESSAGE)
5. Ghahramani et al.

مقاله سلیمیان و همکاران[1] (۱۴۰۰) در حوزه ظرفیت مصرف انرژی در ایران در افق ۱۴۲۰ با رویکرد مدل‌سازی جامع عرضه و تقاضای انرژی با استفاده از مدل‌های مسیج و مدل تحلیل تقاضای انرژی[2] و با بررسی دو سناریو ادامه روند موجود با صرفه‌جویی و بدون آن انجام شد و نتایج حاکی از آن است که بیشترین پتانسیل کاهش، به گاز طبیعی و بنزین مربوط می‌باشد و برق و گازوئیل در جایگاه بعدی قرار می‌گیرند.

موسوی و همکاران[3] (۱۴۰۰) مطالعه‌ای در زمینه مدل‌سازی تقاضای کل برق با استفاده از تکنیک اقتصادسنجی پانل فضایی را بررسی کردند که نتایج حاکی از آن است که کشش قیمتی تقاضای کل برق (۰/۰۸-)، کشش متقاطع تقاضای برق (۰/۰۶۵-) و کشش درآمدی (۰/۱۱) و کشش تقاضا نسبت به تغییرات دما از حساسیت بالاتری (با کشش) برخوردار است. با توجه به کشش قیمتی برق نسبت به تغییرات گاز طبیعی می‌توان عنوان کرد که انرژی برق و گاز طبیعی نسبت به هم کالای جانشین هستند و همچنین براساس کشش درآمدی، برق یک کالای نرمال ضروری محسوب می‌شود.

ب) مطالعات خارجی

پژوهش آدام و بکو (۲۰۱۲) تحت عنوان پیش‌بینی پویا مصرف انرژی الکتریکی مورد نیاز غنا در سال ۲۰۲۰ به مقایسه روش‌های خود توضیح‌دهنده با وقفه‌های توزیعی و ماتریس جهش پذیرفته نقطه‌ای[4] پرداخته است. نتایج حاصل از این مطالعه بیانگر برتری مدل خود توضیح‌دهنده با وقفه‌های توزیعی نسبت به مدل ماتریس جهش پذیرفته نقطه‌ای است. همچنین سایر نتایج نیز نشان می‌دهد که مصرف برق غنا طی سه سناریو در بازه زمانی ۲۰۱۲ تا ۲۰۲۰ افزایش می‌یابد.

تروتر و همکاران (۲۰۱۶) در مقاله خود به بررسی تغییرات آب‌وهوا و تقاضای برق در برزیل: یک رویکرد تصادفی پرداختند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان‌دهنده رشد ثابت میانگین سالانه تقاضای برق تا رسیدن به پیک حدود ۱۰۷۱ تا ۱۲۰۰ تراوات ساعت در سال ۲۰۶۰ است.

1. Salimian et al.
2. Model for Analysis of Energy Demand (MAED)
3. Mousavi et al.
4. Percent Accepted Mutation (PAM)

مقاله یوک سلطان و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی پیش‌بینی تقاضای برق برای ترکیه: مدل‌سازی تغییرات دوره‌ای و تفکیک تقاضا با استفاده از مدل رگرسیون خطی برحسب هارمونیک‌های تغییرات روزانه، هفتگی و فصلی و مدولاسیون توسط هارمونیک‌های فصلی پرداخته است. نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از آن است که سهم تقاضای برق صنعتی مورد انتظار از کل تقاضا با استفاده از روزهای خاص مانند تعطیلات مذهبی حدود ۳۳ درصد است.

امودی و همکاران[1] (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای به بررسی اثر تغییرات آب و هوایی بر تقاضای برق در استرالیا با استفاده از تکنیک خود توضیح‌دهنده با وقفه‌های توزیعی پرداختند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که مصرف برق به دلیل گرم‌تر شدن دما به‌طور تدریجی افزایش می‌یابد.

آدوی و اسپاتارو[2] (۲۰۱۹) طی مطالعه‌ای، مدل‌سازی و پیش‌بینی تقاضای ساعتی برق در کشورهای غرب آفریقا با تکنیک تحلیل رگرسیون چندگانه انجام داده و نتایج حاصل از آن نشان می‌دهد که در سال ۲۰۳۰ تقاضای برق در منطقه آفریقای غربی پنج برابر سطح ۲۰۱۶ آن تخمین زده شده است.

لین و وانگ[3] (۲۰۲۰) به بررسی پژوهشی با عنوان تجزیه‌وتحلیل کشش و یارانه برای اصلاح تعرفه‌های برق خانگی در چین با استفاده از رویکرد پانل پویا پرداختند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که تقاضا برای برق مسکونی نسبت به قیمت بی‌کشش است.

میکایلوف[4] و همکاران (۲۰۲۰) پژوهشی تحت عنوان مدل‌سازی تقاضای برق در عربستان سعودی: آیا اختلافات منطقه‌ای مهم است؟ با استفاده از تکنیک‌های ادغامی مانند حداقل مربعات معمولی پویا[5]، رگرسیون همگونی متعارف[6] و حداقل مربعات معمولی کاملاً اصلاح‌شده[7] را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که افزایش (کاهش) درآمد (تولید ناخالص داخلی، درآمد قابل تصرف) منجر به افزایش (کاهش) مصرف برق می‌شود. این نتیجه اثبات می‌کند که برق از نظر درآمد یک کالای عادی است.

1. Emodi et al.
2. Omotola Adeoye, Catalina Spataru
3. Boqiang Lin, Yao Wang
4. Jeyhun I. Mikayilov
5. Dynamic Ordinary Least Squares (DOLS)
6. Canoncial Cointegration Regression (CCR)
7. Fully Modified Least Squares (FMOLS)

لیو و لین[1] (۲۰۲۱) به بررسی تأثیر همه‌گیری کووید ـ ۱۹ بر تقاضای برق در بریتانیا براساس پیش‌بینی سری‌های زمانی چند متغیره با حافظه کوتاه‌مدت دو جهته با استفاده از مدل سری زمانی چند متغیره[2] پرداختند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که تقاضای سالانه برق در بریتانیا مدت‌ها قبل از همه‌گیری کووید ـ ۱۹ سیری نزولی داشته است. به دنبال شیوع بیماری کووید ـ ۱۹ و اعمال محدودیت‌ها و قرنطینه در بریتانیا، محدودیت تقاضای برق بسیار شدیدتر شده است.

آدوبیان[3] و قاسم[4] (۲۰۲۱) مطالعه‌ای در حوزه اصلاح قیمت انرژی در عربستان سعودی: مدل‌سازی اثرات اقتصادی و زیست‌محیطی و درک پاسخ به تقاضا را با استفاده از تکنیک سری زمانی ساختاری هاروی (۱۹۹۰) مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از برآورد مدل نشان می‌دهد که تقاضای بنزین و تقاضای برق در عربستان سعودی علی‌رغم اصلاحات عمده‌ای که اخیراً به اجرا درآمده است، از نظر قیمت و درآمد بسیار باکشش است. همچنین سایر نتایج حاصل از مطالعه نشان می‌دهد که اصلاحات قیمت انرژی بیشترین نقش را در کاهش مصرف بنزین و برق مسکونی در سال ۲۰۱۸ داشته است.

ژو[5] و همکاران (۲۰۲۲) مطالعه‌ای در زمینه رابطه تقویت‌شده بین برق و رشد اقتصادی در چین: یک مطالعه تجربی با یک مدل معادلات ساختاری را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که اثرات مستقیم و غیرمستقیم مصرف برق بر رشد اقتصادی نیز با گذشت زمان افزایش یافته است. تأثیر غیرمستقیم مصرف برق بر رشد اقتصادی قوی‌تر از تأثیر مستقیم است.

مطالعات تجربی متعددی در زمینه پیش‌بینی بلندمدت و کوتاه‌مدت تقاضای برق صورت گرفته است که بر اثرگذاری قیمت برق و تغییرات اقلیمی بر تقاضای برق و ضرورت اصلاح یارانه قیمت برق تأکید داشته‌اند. بررسی این مطالعات نشان می‌دهد تأثیرات هم‌زمان تغییرات اقلیمی در کنار نرخ‌های رشد اقتصادی متفاوت بر تقاضای برق همچنان مغفول مانده است. لذا نوآوری این مطالعه در نظر گرفتن اثرات هم‌زمان نرخ‌های متفاوت رشد اقتصادی و تغییرات دمای کشور بر میزان تقاضای برق تحت سناریوهای جداگانه است.

---

1. Xiaolei Liu, Zi Lin
2. Bidirectional Long Short-Term Memory (Bi-LSTM)
3. Mohammad Aldubyan
4. Anwar Gasim
5. Guangyue Xu

۳. روش‌شناسی

این قسمت به معرفی مدل و داده‌های مورد استفاده در این تحقیق می‌پردازد. هدف این مطالعه بررسی ارتباط بلندمدت بین متغیرهای مستقل و تقاضای برق کشور و همچنین تخمین تابع تقاضای برق و پیش‌بینی کل تقاضای برق کشور برای ۳۰ سال آینده با استفاده از مدل خود توضیح‌دهنده با وقفه‌های توزیعی است. برای پیش‌بینی متغیرهای مستقل مدل مذکور، از پیش‌بینی منابع معتبر بین‌المللی برای جمعیت، تولید ناخالص داخلی و میانگین دمای سالیانه کشور و مدل میانگین متحرک خودهمبسته یکپارچه برای پیش‌بینی قیمت حقیقی برق استفاده شده است. درنهایت با جای‌گذاری مقادیر پیش‌بینی‌شده متغیرهای مستقل در مدل خودتوضیح‌دهنده با وقفه‌های توزیعی، مقدار تقاضای برق تا سال ۲۰۵۰ پیش‌بینی شده است.

۳-۱. مدل خودتوضیح‌دهنده با وقفه‌های توزیعی

مدل خودتوضیح‌دهنده با وقفه‌های توزیعی نخستین‌بار توسط پسران و همکاران توسعه داده شد (پسران و همکاران[1]، ۲۰۰۱). این مدل در زمینه تقاضای حامل‌های انرژی به‌ویژه الکتریسیته مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های این مدل که منجر به استفاده گسترده از آن شده توانایی استفاده هم‌زمان از متغیرهای مانا و نامانا (که با یک‌بار تفاضل‌گیری مانا می‌شوند) است. مدل خودتوضیح‌دهنده با وقفه‌های توزیعی به دلیل در نظر گرفتن پویایی کوتاه‌مدت و بلندمدت برای پیش‌بینی بسیار مفید می‌باشد. همچنین این مدل علاوه بر ضرایب کوتاه‌مدت، با ارائه تخمین بلندمدت و اثبات این رابطه، امکان پیش‌بینی را برای پژوهشگر فراهم می‌کند. (آدام و بکو، ۲۰۱۲). معمولاً مدل‌سازی تقاضای برق براساس تئوری تقاضای سنتی است که تقاضا برای یک محصول را به‌عنوان تابعی از قیمت، درآمد و جمعیت مشخص می‌کند. اما در برخی مطالعات سعی شده تا اثر تغییرات دما به‌عنوان یک متغیر توضیحی بر تغییرات تقاضای برق در نظر گرفته شود (امودی و همکاران[2]، ۲۰۱۸؛ واین، ۲۰۰۸). در این مطالعه، معادله تقاضای برق به بررسی اثر تغییر اقلیم بر تقاضای برق می‌پردازد بنابراین معادله تقاضای برق ایران علاوه بر قیمت حقیقی برق، تولید ناخالص داخلی حقیقی و جمعیت، اثر تغییر دمای سالیانه کشور نیز به نمایندگی

1. Pesaran et al.
2. Nnaemeka Vincent Emodi, Taha Chaiechi and ABM Rabiul Alam Beg

اثر تغییر اقلیم به‌عنوان متغیر توضیحی در مدل لحاظ شده است (همانند مطالعات زایر و ابراهیم، ۱۹۹۶؛ هور و همکاران، ۲۰۰۵؛ کایتز،[1] ۲۰۲۰؛ آریسوی و ازترک،[2] ۲۰۱۴ و کوفی ادام و بکو، ۲۰۱۲).

$$lnEC_t=\alpha + \beta_1 lnEP_t + \beta_2 lnGDP_t + \beta_3 lnPOP_t + \beta_4 lnTemp_t + \varepsilon_t \quad (٤)$$

بنابراین متغیرهای مورداستفاده در مدل خودتوضیح‌دهنده با وقفه‌های توزیعی شامل متغیرهای مصرف برق (EC_t) ، قیمت حقیقی برق (EP_t)، تولید ناخالص داخلی حقیقی (GDP_t)، جمعیت (POP_t) و تغییرات دما $(Temp_t)$ استبه دلیل اختلاف در واحد متغیرهای موجود در مدل، از لگاریتم طبیعی (ln) آن‌ها استفاده شده است تاخالص از واحد شوند و ضرایب به‌صورت کشش قابل تفسیر باشند. β_1، β_2 ، β_3 وβ_4 به ترتیب بیانگر کشش‌های قیمتی، درآمدی، جمعیتی و دما هستند.

۲-۳. مدل میانگین متحرک خودهمبسته یکپارچه[3]

در مدل میانگین متحرک خودهمبسته یکپارچه هر متغیر توسط داده‌های گذشته خود و جزء خطا توضیح داده می‌شود. این مدل شامل دو روند اتورگرسیو و میانگین متحرک می‌باشد (جمیل[4]، ۲۰۲۰). در این مدل ابتدا باید وقفه‌های مناسب q , d , p تشخیص داده شود. همان‌طور که در معادله زیر که فرم کلی مدل میانگین متحرک خودهمبسته یکپارچه را نشان می‌دهد، p تعداد جملات خود توضیح (اتورگرسیو)، q تعداد جملات میانگین متحرک و d تعداد تفاضل‌گیری لازم برای مانا شدن متغیرها است که معمولاً توسط معیارهای اطلاعاتی AIC[5] و SBC[6] تشخیص داده می‌شوند (رستمی و همکاران، ۱۳۹۷).

$$\Delta_{dyt} = \mu + \sum_{i=1}^{p} \beta_i \Delta_d y_{t-i} + \sum_{i=1}^{q} \theta_i \varepsilon_{t-i} + \varepsilon_t \quad (۵)$$

در مرحله دوم، مدل انتخاب‌شده براساس نتایج حاصل از مرحلهٔ اول (یعنی پس از بررسی مانایی و تعیین d،p و q) برآورد می‌گردد. در مرحله سوم برای حصول اطمینان از تناسب

1. Kayetz
2. Arisoy & Ozturk
3. ARIMA
4. Jamil
5. Akaike Information Criterion
6. Schwarzs Bayesian Criterion

مدل انتخاب‌شده با داده‌های موجود، باقیمانده‌های مدل برآورد شده جمع‌آوری می‌گردد و از نظر عدم وجود خودهمبستگی، همسانی واریانس و نرمال بودن تحت آزمون قرار می‌گیرند (صمدی و همکاران، ۱۳۸۷) (باکس و جنکینز[1]، ۱۹۷۸).

۳-۳. داده‌های مورد استفاده

در این مطالعه از داده‌های سری زمانی کل تقاضای برق، تولید ناخالص داخلی حقیقی، جمعیت، قیمت حقیقی برق و میانگین دمای سالیانه کشور از سال ۱۹۶۸ تا ۲۰۲۰ برای پیش‌بینی داده‌های جمعیت، تولید ناخالص داخلی حقیقی، قیمت حقیقی برق، کل تقاضای برق و میانگین دمای سالیانه کشور در بازه زمانی ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰ استفاده شده است.

جدول ۱. متغیرهای مورد استفاده در پژوهش

ردیف	نام متغیر	منبع
۱	میانگین دمای سالیانه ایران	بانک جهانی
۲	مصرف برق ایران	ترازنامه انرژی
۳	قیمت اسمی برق	توانیر
٤	شاخص بهای خرده‌فروشی سال پایه ۱۳۹۵	بانک مرکزی
٥	جمعیت	بانک جهانی
٦	تولید ناخالص داخلی برحسب سال پایه ۲۰۱۵	صندوق بین‌المللی پول

در این مطالعه برای تخمین مدل و محاسبات مورد نیاز از نرم‌افزارهای «ای ویوز ۱۲»[2] و اکسل[3] استفاده شده است.

٤. برآورد تابع تقاضای برق

قبل از برآورد مدل ابتدا باید مانایی متغیرها بررسی شود. آزمون مانایی متغیرها از الزامات مهم در برآوردهای معادلات اقتصادی با داده‌های سری زمانی است (چنگی آشتیانی و جلولی، ۱۳۹۱). نا مانا بودن سری‌های زمانی (داشتن ریشه واحد) منجر به رگرسیون کاذب می‌شود. بنابراین مطابق با نظریه هم‌جمعی نوین، ضروری می‌باشد تا نسبت به مانایی یا نامانایی متغیرها اقدام گردد که متداول‌ترین روش برای سنجش مانایی متغیرها آزمون ریشه

1. GEP Box, GM Jenkins
2. Eviews 12
3. Excel

واحد دیکی فولر تعمیم‌یافته (ADF[1]) می‌باشد. در آزمون ریشه واحد، فرضیه صفر یعنی وجود ریشه واحد در مقابل عدم وجود ریشه واحد را آزمون می‌کند.

جدول ۲. نتایج آزمون دیکی فولر برای متغیرهای الگوی تقاضای برق

متغیر	آزمون ADF		درجه مانایی
	آماره	مرز بحرانی	
$lnEC_t$	-۷/۷۲	-۳/٤۹	$I(0)$
$lnEP_t$	-٦/۹۹	-۳/۵	$I(1)$
$lnGDP_t$	-٤/۹۲	-۳/۵	$I(1)$
$lnPOP_t$	-۲/۹٤	-۲/۹۲	$I(1)$
$lnTemp_t$	-۵/۸۲	-۳/٤۹	$I(0)$

* مانایی متغیرها در سطح ۵ درصد بررسی شده است.

منبع: یافته های پژوهش

نتایج حاصل از جدول ۲ نشان می‌دهد متغیرهای $lnEC_t$ و $lnTemp_t$ در سطح مانا هستند. لازم به ذکر است متغیر مصرف برق در سطح مانا نبوده و با یک‌بار تفاضل‌گیری مانا می‌شود. اما مطابق جدول فوق لگاریتم مصرف برق در سطح مانا است. همچنین سایر نتایج نیز نشان می‌دهد دیگر متغیرها در سطح مانا نبوده اما با یک‌بار تفاضل‌گیری مانا می‌شوند. پس شروط اولیه جهت برآورد مدل خودتوضیح‌دهنده با وقفه‌های توزیعی فراهم است. در مرحله بعد مدل به روش خودتوضیح‌دهنده با وقفه‌های توزیعی در بازه زمانی ۱۹۷۷-۲۰۲۰ برآورد شده و چون تعداد داده‌ها کمتر از ۱۰۰ است، از معیار شوارتز بیزین جهت تعیین تعداد وقفه بهینه استفاده خواهد شد. سپس ضرایب الگو برآورد می‌شود. مدل خودتوضیح‌دهنده با وقفه‌های توزیعی با تعداد وقفه بهینه برآورد شده، (۱،۰،۱،۰،۴) می‌باشد که معادله (۶) آن را نشان می‌دهد.

$$nEC_t = \alpha + \beta_1 lnEC_{t-1} + \beta_2 lnEP_t + \beta_3 lnGDP_t + \beta_4 lnGDP_{t-1} + \beta_5 lnPOP_t + \beta_6 lnTemp_t + \beta_7 lnTemp_{t-1} + \beta_8 lnTemp_{t-2} + \beta_9 lnTemp_{t-3} + \beta_{10} lnTemp_{t-4} + \varepsilon_t \quad (۶)$$

1. Agumented Dickey–Fuller

براساس نتایج مدل تحقیق در جدول (۳) می‌توان گفت که علامت تمامی ضرایب تخمین زده شده انتظارات تئوریک را برآورده می‌کند. این بدین‌معنی است که قیمت واقعی برق دارای تأثیر منفی بر مقدار کل تقاضای برق می‌باشد که تأییدکننده قانون تقاضا در اقتصاد خرد است. همچنین طبق تئوری اقتصادی تقاضا، تولید ناخالص داخلی حقیقی و جمعیت اثر مثبتی بر تقاضای برق در دوره مورد بررسی دارد. همچنین اثر متغیر دما بر تقاضای برق نیز مثبت می‌باشد.

جدول ۳. برآورد ضرایب کوتاه‌مدت و بلندمدت الگوی تابع تقاضای برق ایران با استفاده از مدل خود توضیح‌دهنده با وقفه‌های توزیعی

متغیرها	ضرایب بلندمدت	ضرایب کوتاه‌مدت
کشش قیمتی	-۰/۰۱۱	***-۰/۰۹
کشش درآمدی	**۰/۱۸	**۰/۵٤
کشش جمعیتی	*۰/۲۳	**۱/۸۲
کشش دما	**۰/۰۹	**٤/۸۳
R^2تعدیل‌یافته	۰/۹۹	
ضریب تصحیح خطا	***-۰/۱۲	
آزمون باند	F-Statistic = ۱۰۵/۸٦ F[I(۰)] = ۲/۵٦ F[I(۱)] = ۳/٤۹	
آزمون عدم وجود خودهمبستگی(LM Test)	۲/۳۵ (Prob = ۰/۱۱)	
آزمون همسانی واریانس	۱/۰۷ (Prob = ۰/٤۱)	
آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها	۲/۵ (Prob = ۰/۲۸)	
آزمون ریست رمزی	Prob = ۰/۹۳	

*، **، *** به ترتیب نشانگر معنی‌داری ضرایب در سطوح ۱۰٪، ۵٪ و ۱٪ است.

منبع: یافته های پژوهش

نتایج حاصل از مدل خودتوضیح‌دهنده با وقفه‌های توزیعی نشان می‌دهد که حساسیت مصرف‌کنندگان به تغییرات قیمت برق نسبت به تغییرات درآمد، دما و جمعیت کمتر است و برق یک کالای کم‌کشش محسوب می‌شود به‌طوری‌که افزایش ۱ درصدی قیمت برق، در کوتاه‌مدت و بلندمدت به ترتیب منجر به کاهش مصرف برق به‌اندازه ۰۱ / ۰ و ۰۹ / ۰ درصد می‌شود. در حالی که متغیرهای درآمد، دما و جمعیت اثری مثبت بر مصرف برق دارند. اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت متغیر دما بر مصرف برق به ترتیب معادل با ۰/۰۹ و ۴/۸۳ درصد است. همچنین تأثیرات کوتاه‌مدت و بلندمدت به ازای یک

درصد افزایش تولید ناخالص داخلی و یا جمعیت بر مصرف برق، به ترتیب برابر با ۰/۱۸، ۰/۵۴، ۰/۲۳ و ۱/۸۲ درصد است. بنابراین با توجه به افزایش ملایم و مستمر درآمد، دما و جمعیت درگذر زمان، افزایش مستمر مصرف برق قابل توجیه است. تنها متغیر قیمت واقعی برق است که می‌تواند مانعی برافزایش مصرف برق باشد و یا سرعت افزایش مصرف برق را کاهش دهد اما وجود یارانه قیمتی مانع نقش‌آفرینی این متغیر در رفتار مصرفی افراد شده است (فتاحی و همکاران، ۱۳۹۹). به عبارت دیگر، از یک‌طرف تثبیت قیمت اسمی برق توسط دولت (یارانه قیمتی) و وجود تورم‌های بالا در اقتصاد ایران منجر به کاهش قیمت واقعی برق در طی زمان شده است. همچنین اثر دما بر تقاضای برق بسیار زیاد است. به‌گونه‌ای که افزایش یک‌درصدی دما، مصرف برق را ۴ برابر بیشتر افزایش خواهد داد. به نظر می‌رسد قدر مطلق اثر دما، تولید ناخالص داخلی و جمعیت، مانع از عملکرد اثر افزایش قیمت بر کاهش مصرف برق خواهند شد و به نحوی، حتی در صورت اصلاح یارانه قیمت برق، موجب اثر بازگشتی[1] خواهند شد. آزمون‌های خودهمبستگی و ناهمسانی واریانس نشان می‌دهد که مدل مشکل خودهمبستگی و ناهمسانی واریانس ندارد. همچنین آزمون باند وجود رابطه بلندمدت را تأیید می‌کند. سایر آزمون‌ها ازجمله جارک ـ برا بر توزیع نرمال داده‌ها و ریست رمزی بر درستی تصریح شکل الگو تأکید دارند.

۱-٤. پیش‌بینی تقاضای برق با مدل ترکیبی خود توضیح‌دهنده با وقفه‌های توزیعی و میانگین متحرک خودهمبسته یکپارچه

این مطالعه برای افزایش در دقت پیش‌بینی تقاضای برق ایران براساس رویکرد اخیر در ادبیات موضوع تقاضای انرژی از مدل خود توضیح‌دهنده با وقفه‌های توزیعی، میانگین متحرک خود همبسته یکپارچه و همچنین پیش‌بینی برخی منابع بین‌المللی معتبر استفاده می‌کند. در گام نخست پیش‌بینی مقادیر متغیرهای دما، جمعیت و تولید ناخالص داخلی حقیقی توسط منابع بین‌المللی معتبر جمع‌آوری می‌شود. در گام دوم متغیر قیمت حقیقی برق با استفاده از مدل میانگین متحرک خود همبسته یکپارچه و با فرض تداوم وضعیت فعلی(پرداخت یارانه) پیش‌بینی می‌شود. درنهایت مقادیر پیش‌بینی‌ها را در مدل پایه‌ای

1. Rebound Effect

تخمین زده‌شده که در این مطالعه مدل خودتوضیح‌دهنده با وقفه‌های توزیعی است، جای‌گذاری کرده و مقادیر آینده تقاضای برق کل کشور محاسبه می‌گردد. جهت پیش‌بینی مقدار متغیر توضیحی قیمت حقیقی برق در مدل خود توضیح‌دهنده با وقفه‌های توزیعی با استفاده از مدل میانگین متحرک خود همبسته یکپارچه، مطابق مطالعه پسران به دلیل کم بودن تعداد مشاهدات سالیانه، حداکثر مرتبه وقفه‌های بهینه برابر با ۲ انتخاب می‌شود تا تعداد درجه آزادی کمتری از دست برود و نتایج قابل استنادتر باشند. بعد از انتخاب حداکثر وقفه‌ها، مدل بهینه میانگین متحرک خود همبسته یکپارچه با استفاده از معیارهای اطلاعاتی آکائیک و شوارتز انتخاب می‌شود. درواقع مدل بهینه، مدلی است که دارای کمترین مقادیر معیارهای اطلاعاتی *آکائیک و شوارتز* باشد. نتایج تخمین مدل‌های مختلف میانگین متحرک خودهمبسته یکپارچه (p, d, q) در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ٤. مدل‌های میانگین متحرک خودهمبسته یکپارچه پیشنهادی برای پیش‌بینی قیمت حقیقی برق

نام متغیر	$lnEP_t$			
مدل پیشنهادی	ARIMA (۰و۱و۱)	ARIMA (۱و۱و۰)	ARIMA (۱و۱و۱)	ARIMA (۰و۱و۰)
معیارهای اطلاعاتی				
AIC	-۰/٦٤	-۰/٦٤	-۰/۷	-۰/٦۷
SBC	۰/۵۳	-۰/۵۳	-۰/۵۵	-۰/٦

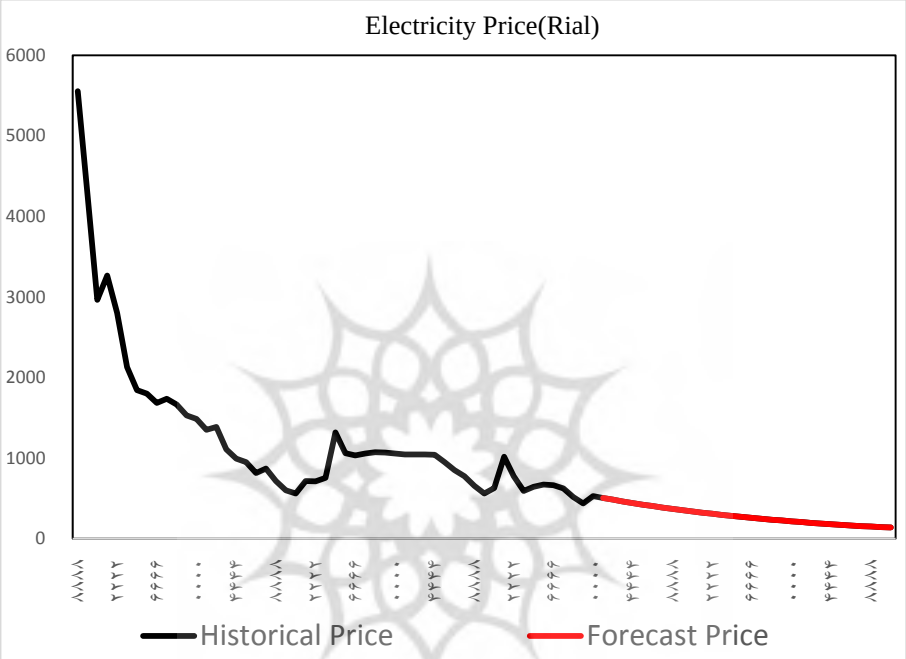
منبع: یافته‌های پژوهش

نتایج جدول (۴) نشان می‌دهد که مدل میانگین متحرک خودهمبسته یکپارچه (۰ و ۱ و ۰) برای پیش‌بینی قیمت حقیقی برق مناسب است زیرا در این مدل، معیارهای اطلاعاتی آکائیک و شوارتز کمترین مقادیر هستند. برآورد مدل‌ها با استفاده از نرم‌افزار «ای ویوز ۱۲» صورت گرفته است.

براساس نتایج حاصل از پیش‌بینی قیمت حقیقی برق توسط مدل میانگین متحرک خود همبسته یکپارچه و مطابق نمودار (۱)، قیمت حقیقی برق ایران از ۵۵۵۸ ریال در سال ۱۹۶۸ به ۵۲۹ ریال در سال ۲۰۲۰ رسیده است. در صورت تداوم روند فعلی، قیمت حقیقی برق ایران براساس نتایج حاصل از مدل به ۱۳۶ ریال در سال ۲۰۵۰ خواهد رسید. مطابق نتایج حاصل از مدل خودتوضیح‌دهنده با وقفه‌های توزیعی می‌دانیم که مصرف

برق با قیمت حقیقی برق رابطه‌ای معکوس دارد. پس با توجه به پیش‌بینی انجام‌شده و با توجه به نزولی بودن قیمت حقیقی برق انتظار افزایش چشمگیر مصرف برق را در بازه زمانی مطالعه داریم.

نمودار ۱. روند قیمت حقیقی برق و قیمت پیش‌بینی‌شده برق برحسب ریال از سال ۱۹۶۸ تا ۲۰۵۰

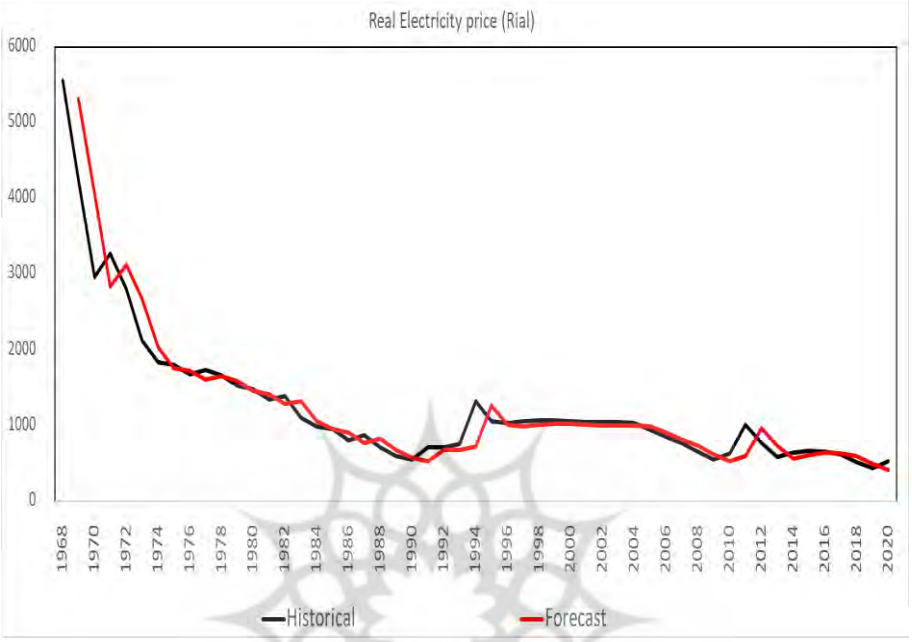


منبع: یافته‌های پژوهش

براساس یافته‌های تحقیق و مطابق نمودار (۲)، دقت پیش‌بینی مدل میانگین متحرک خود همبسته یکپارچه، جهت پیش‌بینی قیمت حقیقی برق بررسی شده است. یکی از معیارهای قابل قبول جهت ارزیابی دقت و صحت مدل استفاده از معیارهای تناسب بایاس، واریانس و کوواریانس[1] است. هر سه معیار به ترتیب ارقام ۰، ۰/۹۳ و ۰/۰۶۶ را نشان می‌دهد که حاکی از مناسب بودن مدل و بالا بودن دقت آن است. درست همان چیزی که در نمودار زیر قابل مشاهده است. هرچه نسبت کوواریانس درصد بالاتری را به خود اختصاص دهد و سهم نسبت بایاس و واریانس به صفر نزدیک‌تر باشند مدل مناسب‌تر است.

1. Bias proportion, Covariance proportion and Variance proportion

نمودار ۲. مقایسه قیمت حقیقی برق و قیمت حقیقی پیش‌بینی‌شده برحسب ریال در بازه زمانی ۱۹۶۸ تا ۲۰۲۰



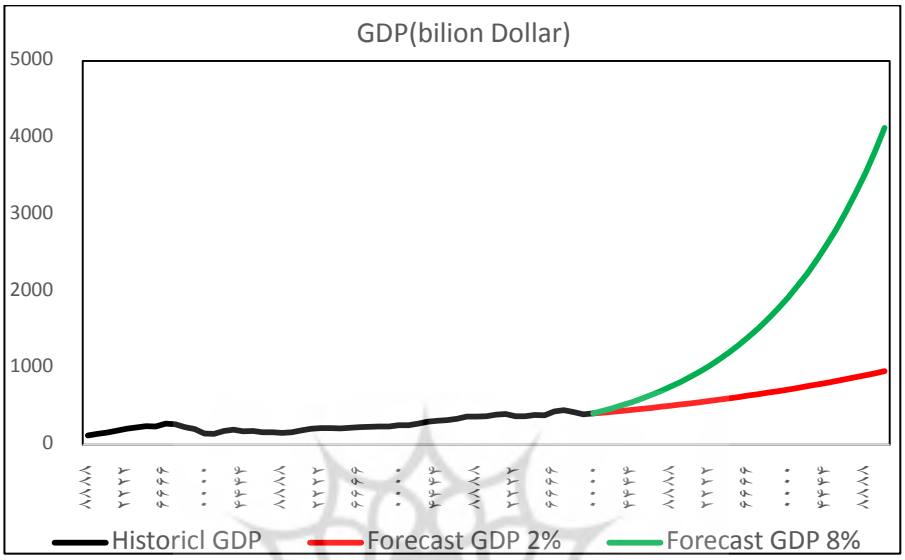
منبع: یافته‌های پژوهش

مقادیر پیش‌بینی‌شده قیمت حقیقی برق و همچنین مقادیر تاریخی قیمت حقیقی برق در جدول (۵) گزارش شده است. نتایج حاصل از مطالعه حاکی از دقت بالای مدل در پیش‌بینی قیمت در دوره زمانی برآورد می‌باشد.

براساس گزارش بانک جهانی و مطابق نمودار (۳)، تولید ناخالص داخلی ایران برحسب سال پایه ۲۰۱۵ از ۱۲۴ میلیارد دلار در سال ۱۹۶۸ به ۴۱۰ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۰ رسیده است. در این مطالعه تولید ناخالص داخلی مطابق گزارش صندوق بین‌المللی پول تحت سناریو (۱)، سالیانه ۲ درصد رشد خواهد کرد. بر مبنای این سناریو تولید ناخالص داخلی حقیقی به ۹۵۹ میلیارد دلار در سال ۲۰۵۰ خواهد رسید. همچنین مطابق اهداف برنامه ششم توسعه تحت سناریو (۲)، تولید ناخالص داخلی را سالیانه ۸ درصد رشد دادیم. بر مبنای این سناریو تولید ناخالص داخلی در پایان سال ۲۰۵۰ به ۴۱۲۸ میلیارد دلار خواهد رسید.[۱]

۱. سناریو رشد اقتصادی ۲ درصد سالیانه ایران مبتنی بر گزارش صندوق بین‌المللی پول می‌باشد. همچنین سناریو رشد اقتصادی ۸ درصد مطابق با سند برنامه ششم توسعه به‌عنوان آخرین برنامه توسعه ابلاغی است.

نمودار ۳. روند تولید ناخالص داخلی حقیقی تاریخی، تولید ناخالص داخلی حقیقی با رشد سالیانه ۲ و ۸ درصد برحسب میلیارد ریال



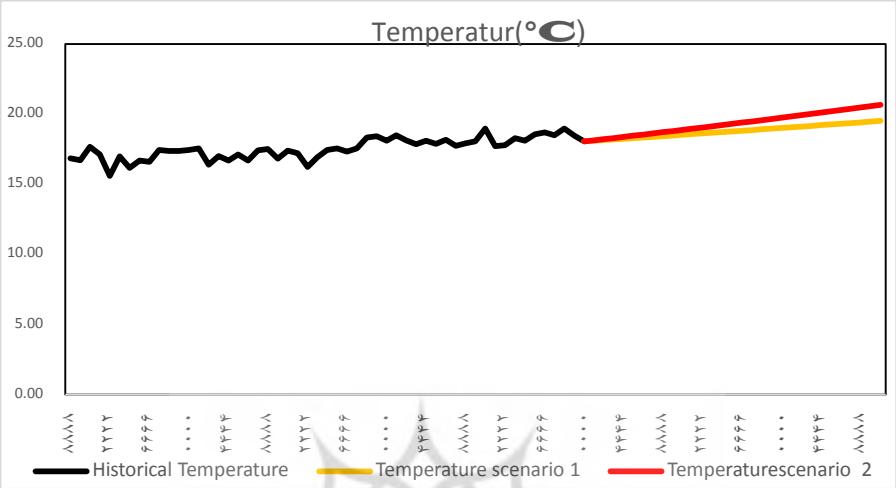
منبع: یافته‌های پژوهش

براساس گزارش بانک جهانی میانگین دمای ایران از ۱۶/۸۵ درجه سلسیوس در سال ۱۹۶۸ به ۱۸/۰۶ درجه سلسیوس در سال ۲۰۲۰ رسیده است. براساس نمودار (۴) و مطابق گزارش Berkeley Earth، طی دو سناریو میانگین دمای ایران تا سال ۲۰۵۰ پیش‌بینی شده است. سناریو اول تداوم روند فعلی یعنی رشد ۰/۲۶ درصد سالیانه افزایش دمای ایران و سناریو دوم رشد سالیانه ۰/۴۵ درصدی را برای ایران در نظر گرفته است.[۱] هر دو سناریو مبتنی بر شدت تداوم روند فعلی مصرف سوخت‌های فسیلی و میزان انتشار کربن ایران است. همان‌طورکه می‌دانید ایران رتبه اول پرداخت یارانه انرژی جهان را به خود اختصاص داده است که خود بزرگ‌ترین یارانه جهت افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی، افزایش انتشار کربن و تهدید تغییرات اقلیمی در ایران است. مطابق سناریو اول میانگین دمای ایران در پایان سال ۲۰۵۰ به ۱۹/۵۲ درجه سلسیوس و مطابق سناریو دوم دمای ایران به ۲۰/۶۶ درجه سلسیوس در پایان سال ۲۰۵۰ خواهد رسید.

---

۱. سازمان Berkeley Earth در گزارش خود طی دو سناریو میانگین دمای ایران را تا سال ۲۱۰۰پیش‌بینی کرده است. طی سناریو اول که مبتنی بر تداوم روند فعلی است میانگین دمای کشور ۰/۲۶ درصد سالیانه رشد خواهد داشت و مطابق سناریو دوم در حالت بدبینانه میانگین دمای کشور سالیانه به میزان ۰/۴۵ درصد رشد خواهد داشت.

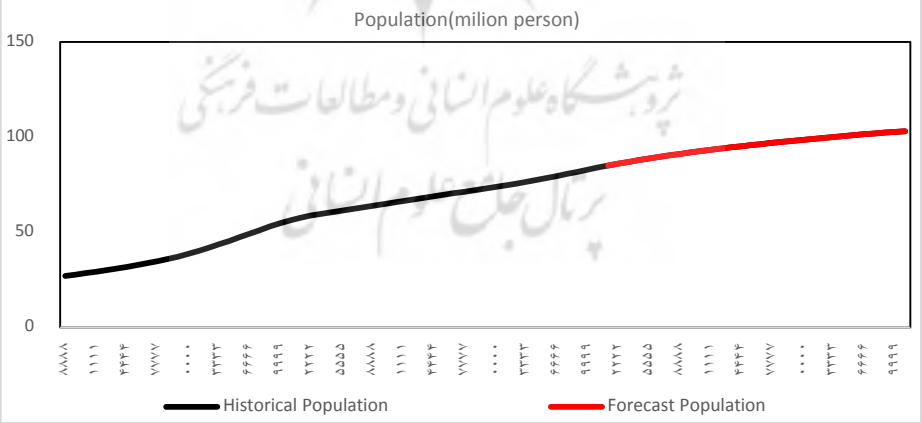
نمودار ٤. روند میانگین تغییرات سالیانه دمای ایران و پیش‌بینی میانگین دمای سالیانه براساس سناریو رشد ۰/۲٦ و ۰/٤٥ درصد سالیانه



منبع: یافته‌های پژوهش

براساس گزارش بانک جهانی[1] و مطابق نمودار (۵) جمعیت ایران از ۲۷ میلیون نفر در سال ۱۹۶۸ به ۸۴ میلیون نفر در سال ۲۰۲۰ رسیده است. مطابق پیش‌بینی گزارش بانک جهانی، جمعیت ایران در پایان سال ۲۰۵۰ به ۱۰۳ میلیون نفر خواهد رسید.

نمودار ۵. روند داده‌های تاریخی و پیش‌بینی جمعیت برحسب میلیون نفر



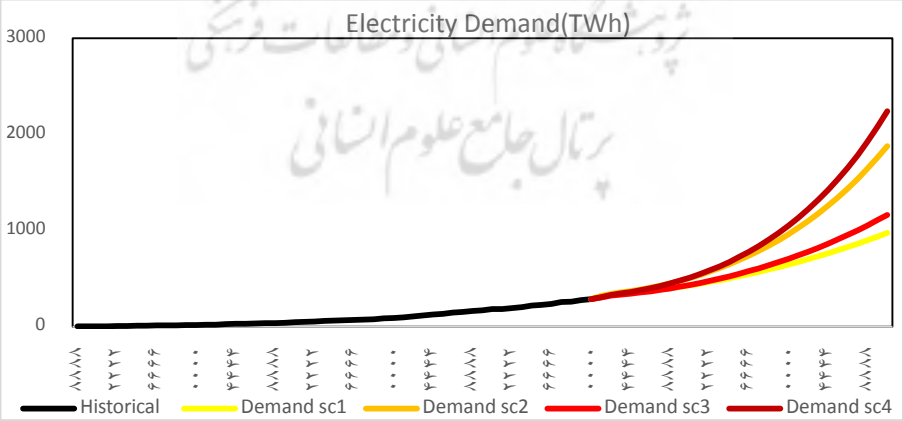
منبع: یافته‌های پژوهش

1. World Bank

حال مقادیر پیش‌بینی‌شده قیمت حقیقی برق، جمعیت، میانگین دما و تولید ناخالص داخلی حقیقی را در مدل خود توضیح‌دهنده با وقفه‌های توزیعی قرار می‌دهیم تا مصرف سالیانه برق کشور برای سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰ به دست آید. مطابق نتایج حاصل از پیش‌بینی مدل، تقاضای برق ایران تحت ۴ سناریو محاسبه شده است. سناریو اول مبتنی بر رشد اقتصادی ۲ درصد سالیانه و افزایش ۰/۲۶ درصد میانگین دمای سالیانه کشور است. بر مبنای این سناریو تقاضای برق در سال ۲۰۵۰ به ۹۷۵ تراوات ساعت خواهد رسید. سناریو دوم مبتنی بر رشد اقتصادی ۸ درصد سالیانه و افزایش میانگین دمای سالیانه کشور به میزان ۰/۲۶ درصد سالیانه است. بر مبنای این سناریو تقاضا برق در سال ۲۰۵۰ به ۱۸۷۷ تراوات ساعت در سال خواهد رسید. سناریو سوم مبتنی بر رشد اقتصادی ۲ درصد سالیانه و افزایش ۰/۴۵ درصد میانگین دمای سالیانه کشور است. مطابق این سناریو تقاضای برق کشور در سال ۲۰۵۰ به میزان ۱۱۶۳ تراوات ساعت خواهد رسید و در سناریو چهارم که مبتنی بر رشد ۸ درصدی اقتصادی به‌طور سالیانه و افزایش ۰/۴۵ درصدی میانگین دمای سالیانه کشور است، تقاضای برق در سال ۲۰۵۰ به ۲۲۴۰ تراوات ساعت خواهد رسید. هر ۴ سناریو با فرض تداوم روند فعلی قیمت یعنی عدم اصلاح قیمت برق می‌باشد.

مطابق نتایج حاصل از مطالعه و براساس نمودار (۶) روند تصاعدی افزایش کل تقاضای برق کشور طی هر ۴ سناریو به وضوح قابل مشاهده است. اثر افزایش دما و تولید ناخالص داخلی حقیقی بر مصرف برق، قابل‌ملاحظه است.

نمودار ٦. روند داده‌های تاریخی مصرف برق و پیش‌بینی تقاضای برق برحسب ٤ سناریو تا سال ۲۰۵۰ برحسب تراوات ساعت



منبع: یافته‌های پژوهش

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

آگاهی از میزان تقاضای برق در هر دوره به منظور برنامه‌ریزی دقیق و اعمال سیاست‌گذاری‌های لازم امری ضروری است. ازاین‌رو مطالعات تقاضای برق، بررسی تغییرات آن در گذر زمان و همچنین پیش‌بینی آن برای آینده از مهم‌ترین ارکان برنامه‌ریزی در زمینه توسعهٔ بهینه سیستم انرژی است (آریان‌پور و شفیعی[1]، ۲۰۱۵). هدف این مقاله تخمین تابع تقاضای برق در ایران و پیش‌بینی میزان تقاضای کل برق کشور برای دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ با استفاده از رویکرد خودتوضیح‌دهنده با وقفه‌های توزیعی است. این مطالعه با استفاده از کشش‌های قیمتی، درآمدی، جمعیتی و دما محاسبه‌شده براساس مدل خودتوضیح‌دهنده با وقفه‌های توزیعی، به پیش‌بینی تقاضای برق طی ۴ سناریو پرداخته است. سناریو ۱ و ۲ افزایش میانگین دمای کشور و رشد اقتصادی را نشان می‌دهد. به گونه‌ای که افزایش دمای کشور در این سناریوها برابر با ۰/۲۶ درصد سالیانه و رشد اقتصادی در سناریو اول و دوم به ترتیب ۲ و ۸ درصد می‌باشد. میزان تقاضای برق برحسب سناریو اول و دوم تا پایان سال ۲۰۵۰ به ترتیب به ۹۷۵ و ۱۸۷۷ تراوات ساعت خواهد رسید. افزایش میانگین دمای کشور در سناریو ۳ و ۴ معادل ۰/۴۵ درصد سالیانه و رشد اقتصادی در این سناریوها به ترتیب معادل ۲ و ۸ درصد است. همچنین میزان تقاضای برق در سناریو سوم و چهارم تا پایان سال ۲۰۵۰ به ترتیب به ۱۱۶۳ و ۲۲۴۰ تراوات ساعت خواهد رسید. همچنین دیگر نتایج مطالعه نشان‌دهنده رابطهٔ مستقیم تقاضای مصرف برق با اثر دما و نرخ‌های بالای رشد اقتصادی است. به عبارت دیگر کشورها جهت دستیابی به نرخ‌های بالاتر رشد اقتصادی به مراتب الکتریسیته بیشتری مصرف خواهند کرد. با افزایش مصرف انرژی علی‌الخصوص برق، میانگین دمای کشور به دنبال آثار ناشی از مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی و تغییرات اقلیمی، افزایش خواهد یافت که خود موجب افزایش بیشتر مصرف برق خواهد شد. جهت پاسخگویی به تقاضای برق پیش‌بینی‌شده طی سناریوهای معرفی‌شده باید سیاست‌هایی در جهت محدودیت تقاضای برق انجام گیرد. مطابق قانون تقاضا، قیمت‌های بالاتر برق می‌تواند باعث صرفه‌جویی در مصرف الکتریسیته شود. نتایج حاصل از این مطالعه ضمن اثبات

1. Aryanpur & Shafiei

رابطهٔ معکوس قیمت و تقاضای برق نشان می‌دهد با توجه به پایین بودن مقادیر کشش قیمتی در کوتاه‌مدت و بلندمدت، مصرف‌کنندگان نسبت به افزایش قیمت برق واکنش زیادی نشان نمی‌دهند. لذا محدودسازی تقاضای برق بایستی بیشتر به سوی سیاست‌های غیرقیمتی مانند بهبود تکنولوژی و افزایش بهره‌وری سیستم‌های مصرف‌کننده برق، آگاهی دادن و فرهنگ‌سازی درخصوص نحوه استفاده صحیح از انرژی الکتریکی (افزایش سواد انرژی)، بهینه کردن تکنولوژی‌های مصرف برق از طریق ارائه محصولات با کارایی انرژی بالا و مصرف انرژی پایین، مقاوم‌سازی ساختمان‌ها و تغییر سبک زندگی در جهت استفاده از وسایل کم‌مصرف انرژی متمرکز شود. دیگر نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که کشش دما نسبت به تغییرات قیمت، درآمد و جمعیت به ترتیب اثری، ۰٫۵، ۹ و ۲٫۵ برابری دارد. به عبارت دیگر متغیر دما اثرگذاری بالایی بر تقاضای برق دارد. بنابراین می‌توان این‌گونه استنباط کرد که با افزایش دما به دنبال تشدید تغییرات اقلیمی، تقاضای برق نیز با شیب تندتری افزایش خواهد یافت. لذا به‌کارگیری برخی استراتژی‌ها مانند بهبود بهره‌وری انرژی و افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد عرضه برق کشور، می‌تواند از طریق کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی موجب کاهش میزان انتشار آلاینده‌ها و کنترل دما شود. درنهایت می‌توان نتیجه گرفت که این استراتژی‌ها پتانسیل لازم برای مقابله با تغییرات اقلیمی و همچنین محدود کردن مصرف برق تا سال ۲۰۵۰ را دارند.

٦. تعارض منافع

تعارض منافع وجود ندارد.

۷. سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از داوران محترم که با نظرات ارزشمندشان باعث بهبود کیفیت مقاله شدند، سپاسگزارند.

ORCID

Hossein Hafezi https://orcid.org/0000-0001-5310-9243
Mahbubeh Delfan https://orcid.org/0000-0003-2752-6734

۸. منابع

آمار تفصیلی صنعت برق ایران ویژه مدیریت راهبردی (۱۳۹۹). شرکت مادر تخصصی توانیر. اسفندماه ۱۳۹۹.

پورکاظمی، محمدحسین و آقایی‌فر، رویا (۱۳۹۴). بررسی تأثیر کاهش یارانه برق بر مصرف برق با به‌کارگیری رویکرد تلفیقی شبکهٔ عصبی و اقتصادسنجی. *پژوهشنامه اقتصاد کلان*، ۱۰(۱۹).

ترازنامه انرژی (۱۳۹۸). معاونت امور برق و انرژی، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی. وزارت نیرو.

جلایی، عبدالمجید، جعفری، سعید و انصاری لاری، صالح (۱۳۹۲). برآورد تابع تقاضای برق خانگی در ایران با استفاده از داده‌های تابلویی استانی. *اقتصاد انرژی ایران* (اقتصاد محیط زیست و انرژی)، ۲(۸)، ۹۲-۶۹.

چنگی آشتیانی، علی و جلولی، مهدی (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. *پژوهش‌های رشد و توسعه اقتصادی*، ۲(۷)، ۱۹۱-۱۶۹.

رستمی، مهدی؛ خادم‌وطنی، عسگر و امیدعلی، مصطفی (۱۳۹۷). پیش‌بینی تقاضای برق در ایران: کاربرد مدل ترکیبی تعدیل جزئی پویا و میانگین متحرک خودهمبسته یکپارچه (ARIMA). *فصلنامه مطالعات اقتصادی کاربردی ایران*، ۷(۲۵)، ۱۹۹-۱۷۷.

سلیمیان، زهره؛ گودرزی راد، رضا؛ فرمد، مجید؛ بداغی، مریم؛ مکاری‌زاده، وهاب و شفیع‌زاده، محمدعلی. (۱۴۰۰). ظرفیت‌های مدیریت مصرف انرژی در ایران در افق ۱۴۲۰: رویکرد مدل‌سازی جامع عرضه و تقاضای انرژی. *مجله پژوهش‌های برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری انرژی*، ۷(۱)، ۸۵-۵۱.

سلیمی‌فر، مصطفی؛ سیفی، احمد و شعوری، سعید. (۱۳۹۶). مطالعهٔ تأثیر ارزش افزوده بخش صنعت بر تقاضای برق این بخش و پیش‌بینی تقاضای برق صنعت با توجه به اصلاحات قیمتی. *مجله تحقیقات اقتصادی*، ۵۲(۲)، ۳۲۲-۳۱۱.

صادقی، حسین و ذوالفقاری، مهدی. (۱۳۸۹). پیش‌بینی کوتاه‌مدت تقاضای برق کشور با استفاده از شبکه‌های عصبی و تبدیل موجک. *اقتصاد مقداری (بررسی‌های اقتصادی)*، ۷(۲)، ۵۶-۲۷.

صبحی جویباری، فاطمه. (۱۳۹۷). پویایی عبور قیمت نفت بر شاخص‌های قیمت داخلی در ایران در طی زمان (با استفاده از رهیافت TVP) پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه خوارزمی.

صمدی، سعید، شهیدی، آمنه و محمدی، فرزانه. (۱۳۸۷). تحلیل تقاضای برق در ایران با استفاده از مفهوم هم جمعی و مدل ARIMA؛ (۱۳۸۸-۱۳۶۳). *دانش و توسعه*، ۱۵(۲۵)، ۱۳۶-۱۱۳.

فتاحی، مهشید؛ ممی‌پور، سیاب و آریان‌پور، وحید. (۱۳۹۹). آثار زیست‌محیطی اصلاح یارانه‌های انرژی در برنامه‌ریزی بلندمدت بخش برق ایران (با استفاده از مدل MESSAGE). (پایان‌نامه کارشناسی ارشد). دانشگاه خوارزمی.

قهرمانی، مهسا، ممی‌پور، سیاب و آریان‌پور، وحید. (۱۳۹۹). نقش اصلاح یارانه‌های سوخت فسیلی در توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران (با استفاده از مدل MESSAGE). (پایان‌نامه کارشناسی ارشد). دانشگاه خوارزمی.

محمدی، تیمور؛ خورسندی، مرتضی و امیرمعینی، مهران. (۱۳۹۳). مدل‌سازی تقاضای برق در بخش صنعت ایران: رویکرد مدل سری زمانی ساختاری. *فصلنامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی*، ۵(۱۸)،۱۱۷-۸۷.

منظور، داوود و رضایی، حسین. (۱۳۹۳). بررسی اثرات اصلاح قیمت سوخت مصرفی نیروگاه‌ها و مالیات بر ارزش افزوده بر تقاضای برق در کشور: رویکرد پویایی سیستمی. *مطالعات اقتصاد انرژی*، ۱۰(۴۰)، ۳۷-۲۱.

مهینی‌زاده، منصور؛ فیض‌پور، محمدعلی و عابدی، مریم. (۱۳۹۶). تجزیه و تحلیل کارایی نهاده برق در صنایع تولیدی ایران با تأکید بر هدفمندسازی یارانه‌ها. *پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، ۶(۲۲)، ۲۰۳-۱۶۵.

موسوی، میرحسین؛ دهنوی، جلال و شاطری، الهه. (۱۴۰۰). مدل‌سازی تقاضای کل برق با استفاده از اقتصادسنجی پانل فضایی. *مطالعات اقتصاد انرژی*، ۱۷(۶۸)، ۲۳-۱.

References

Adeoye, O. and Spataru, C. (2019). Modelling and forecasting hourly electricity demand in West African countries. *Applied Energy*, 242, 311-333.

Adom, P. K. and Bekoe, W. (2012). Conditional dynamic forecast of electrical energy consumption requirements in Ghana by 2020: A comparison of ARDL and PAM. *Energy*, 44(1), 367-38.

Adom, PK. (2011). Electricity consumption-economic growth nexus: the Ghanaian case. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 1(1), 18-31.

Aldubyan, M. and Gasim, A. (2021). Energy price reform in Saudi Arabia: Modeling the economic and environmental impacts and understanding the demand response. *Energy Policy*, 148, 111941.

Al-Zayer, J. and Al-Ibrahim, A.A. (1996). Modelling the Impact of Temperature on Electricity Consumption in the Eastern Province of Saudi Arabia, *Journal of Forecasting*, 15(2): 97-106.

Arisoy, I. and Ozturk, I. (2014). Estimating industrial and residential electricity demand in Turkey: A time varying parameter approach. *Energy*, 66, 959-964.

Armstrong, J. S. (Ed.). (2001). Principles of forecasting: a handbook for researchers and practitioners. *Springer Science & Business Media*, (Vol. 30).

Aryanpur, V. and Shafiei, E. (2015). Optimal deployment of renewable electricity technologies in Iran and implications for emissions reductions. *Energy*, 91, 882-893.

Bessec, M. and Fouquau, J. (2008). The Non-Linear Link between Electricity Consumption and Temperature in Europe: A Threshold Panel Approach, *Energy Economics*, 30, 2705-2721.

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

Box, G. E., Jenkins, G. M. and Reinsel, G. (1970). Time series analysis: forecasting and control Holden-day San Francisco. *BoxTime Series Analysis: Forecasting and Control Holden Day1970*.

Changi Ashtiani, A. and Jalouli, M. (2012). The Estimation of Electricity Demand Function and Prediction of its Consumption to 2025 in Iran. *Journal of Economic Growth and Development Research*, 2(7), 169-191. [In Persian]

De Vita, G., Endresen, K. and Hunt, L. C. (2006). An empirical analysis of energy demand in Namibia. *Energy policy*, 34(18), 3447-3463.

Emodi, N. V., Chaiechi, T. and Alam Beg, A. R. (2018). The impact of climate change on electricity demand in Australia. *Energy & Environment*, 29(7), 1263-1297.

Fattahi, M., Mamipour, S. and Aryanpur, V. (2020). Environmental Impacts of Energy Subsidies Modification on long-Term Planning of Iran's electricity sector (Using MESSAGE Model). (Unpublished Master's thesis). University of Kharazmi, Tehran, Iran [In Persian].

Ghahramani, M., Mamipour, S. and Aryanpur, V. (2020). The Role of Modifying Fossil Fuel Subsidies in Development of Renewable Energy in Iran (Using MESSAGE Model). (Unpublished Master's thesis). University of Kharazmi, Tehran, Iran [In Persian].

Ghorbani, M., Darijani, A., Koocheki, A. and Motallebi, M. (2009). Estimation of environmental costs of greenhouse gases emission in Mashhad dairy farms. *Agricultural Economics and Development*, 17(2), 43-63.

Hor, C. L., Watson, S. J. and Majithia, S. (2005). Analyzing the impact of weather variables on monthly electricity demand. *IEEE transactions on power systems*, 20(4), 2078-2085.

IPCC. Climate change 2013: the physical science basis. *Geneva: Intergovern-mental Panel on Climate Change; 2013*.

Jalaee, S., 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]

Jamil, R. (2020). Hydroelectricity consumption forecast for Pakistan using ARIMA modeling and supply-demand analysis for the year 2030. *Renewable Energy*, 154, 1-10.

Kaytez, F. (2020). A hybrid approach based on autoregressive integrated moving average and least-square support vector machine for long-term forecasting of net electricity consumption. *Energy*, *197*, 117-200.

Lakhani, H. G. and Bumb, B. (1978). Forecasting demand for electricity in Maryland: an econometric approach. *Technological forecasting and social change*, *11*(3), 237-259.

Lin, B. and Wang, Y. (2020). Analyzing the elasticity and subsidy to reform the residential electricity tariffs in China. *International Review of Economics & Finance*, 67, 189-206.

Liu, X. and Lin, Z. (2021). Impact of COVID-19 pandemic on electricity demand in the UK based on multivariate time series forecasting with bidirectional long short-term memory. *Energy*, *227*, 120455.

Mahinizadeh, M., Feizpour, M. and Abedi, M. (2017). Analysis of Electricity Efficiency in Iranian Manufacturing Industries with Regard to Subsidies Reform. *Iranian Energy Economics*, 6(22), 165-203. [In Persian]

Manzour, D. and Rezaee, H. (2014). Power Plant Fuel Price Reform, Value-added Tax and Electricity Demand in Iran: A System Dynamics Approach. *Energy Economics Review*, 10(40), 21-37. [In Persian]

Mikayilov, J. I., Hasanov, F. J., Olagunju, W. and Al-Shehri, M. H. (2020). Electricity demand modeling in Saudi Arabia: Do regional differences matter? *The Electricity Journal*, 33(6), 106772.

Mohammadi, T., Khorsandi, M. and Amirmoeini, M. (2014). Modeling Electricity Demand in the Industrial Sector in Iran: A Structural Time Series Model. *Journal of Economic Modeling Research, 5(18),* 87-117. [In Persian]

Mousavi, M., Dehnavi, J. and Shateri, E. (2021). Total Electricity Demand Modeling: An Application of Spatial Panel Econometric Method. *Quarterly Energy Economics Review*, *17(68)*, 1-2. [In Persian]

Pesaran, M. H., Shin, Y. and Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of applied econometrics*, 16(3), 289-326.

Pourkazemi, M. and Aghaeifar, R. (2015). Investigating the Effect of Electricity Subsidy Reduction on Electricity Consumption Using a Combined Approach of Neural Networks and Econometrics. *Macroeconomics Research Letter*, 10(19), 2-2. [In Persian]

Ritchie, H., Roser, M. and Rosado, P. (2020). Energy. Published online at Ourworldindata.org. Retrieved from: 'https:// ourworldindata.org/energy' [Online Resource]

Rostami, M., Khademvatani, A. and Omidali, M. (2018). Forecasting Electricity Demand in Iran: The application of a Hybrid Dynamic Partial Adjustment and ARIMA Model. *Journal of Applied Economics Studies in Iran*, 7(25), 177-199. [In Persian]

Sadeghi, H. (1), 17-20.

Yukseltan, E., Yucekaya, A. and Bilge, A. H. (2017). Forecasting electricity demand for Turkey: Modeling periodic variations and demand segregation. *Applied Energy*, 193, 287-296.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

استناد به این مقاله: حافظی، حسین؛ دلفان، محبوبه. (۱۴۰۱). پیش‌بینی بلندمدت تقاضای برق ایران (رویکرد مبتنی بر سناریوسازی با استفاده از رهیافت ترکیبی ARDL و ARIMA)، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، ۴۴ (۱۱)، ۴۱-۷۱.

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