فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی/ سال بیست‌ویکم / شماره ۸۵/ تابستان ۱۴۰۴/ صفحات ۱۴۵-۱۰۵

مدل‌سازی تقاضای برق بخش خانگی استان تهران: رویکرد سری‌های زمانی ساختاری

میرحسین موسوی [۱]
دانشیار، گروه اقتصاد، دانشکده علوم اجتماعی و اقتصادی، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران،
(hmousavi@alzahra.ac.ir)

اسماعیل صفرزاده
استادیار، گروه اقتصاد، دانشکده علوم اجتماعی و اقتصادی، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران ،
(e.safarzadeh@alzahra.ac.ir)

فرید دهقانی
مربی، گروه مطالعات انرژی، صنعت و معدن، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، تهران، ایران،
(fdehghani1979@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۳۰

چکیده

عدم تعادل بین عرضه و تقاضای برق باعث بوجود آمدن ناترازی در شبکه برق شده است. یکی از راهکارهای رفع این ناترازی‌ها اصلاح تعرفه‌های برق با هدف تشویق بهرهوری انرژی و سرمایهگذاری خصوصی است. نتیجه این راهکار تاثیر قابل توجه آن بر رفاه خانوار خواهد بود. در این مقاله، با معرفی مفهوم روند ضمنی و نقش آن در تقاضای برق اقدام به مدل‌سازی تقاضای برق با استفاده از روش سری‌های زمانی ساختاری در بخش خانگی استان تهران شده است. برای این منظور از داده‌های سری زمانی طی دوره ۱۴۰۱-۱۳۶۱ استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که ماهیت روند ضمنی تقاضای برق در بخش خانگی تصادفی و از نوع روند هموار است. کشش خود قیمتی کوتاه مدت و بلند مدت تقاضای برق به ترتیب برابر ۰,۰۲۹- و ۰,۳۹- است که نشان از بی کشش بودن تقاضای برق نسبت به تغییرات قیمت است. این واکنش در بلند مدت بیش از کوتاه مدت است. کشش درآمدی تقاضا در کوتاه مدت و بلندمدت به ترتیب ۰,۳۸ و ۰,۵ است. به این معنی که برق در سبد کالایی خانوار یک کالای نرمال ضروری است. گاز طبیعی نیز نقش کالای جانشین را برای برق در بخش خانگی دارد ولی درجه جانشینی بین آنها پایین است. همچنین این تقاضا نسبت به تعداد مشترکین در کوتاه مدت و بلند مدت باکشش است.

طبقه‌بندی JEL: E32, L94, D12, Q41, D50 .

کلیدواژه‌ها: عدم تعادل، تقاضای برق، روند ضمنی، سری زمانی ساختاری.

---

۱. نویسنده مسئول

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

۱- مقدمه

از اوایل دهه ۱۹۷۰ وقتی انرژی توجه سیاستمداران را در نتیجه اولین بحران نفتی به خود جلب کرد؛ تحقیق و بررسی روی تقاضای آن به منظور غلبه بر فهم محدود از ماهیت تقاضای انرژی، به شدت گسترش یافت (پیندایک[1]، ۱۹۷۹). مجادلات بین مهندسین و اقتصاددانان این حوزه منجر به تحولات روش‌شناسی چشم‌گیری شد که فرایند تصمیم‌گیری انرژی را به عنوان یک مجموعه تقویت نمود و طیف گسترده‌ای از مدل‌ها را برای تجزیه، تحلیل و پیش‌بینی تقاضا در دسترس قرار داد. مدل‌سازی تقاضای انرژی جزء ضروری برای برنامه‌ریزی انرژی، فرموله کردن استراتژی‌ها و توصیه‌های سیاستی است.

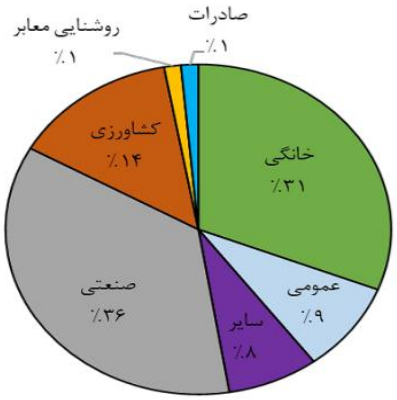
تقاضای انرژی که از تجزیه و تحلیل‌ها به دست می‌آید اغلب به خاطر محدودیت‌های ساختاری مدل و برخی فروض نامناسبی که وجود دارد از تقاضای واقعی انرژی منحرف می‌شود. بایستی در مدل‌سازی تقاضا به این نکته توجه نمود که مدل‌های پیچیده حتماً نتایج دقیق‌تری را به دنبال نخواهند داشت گاهی اوقات یک مدل ساده می‌تواند نتایج بهتری به همراه داشته باشد (آرمسترانگ[2]، ۲۰۰۱). همانطور که کومی[3] (۲۰۰۲) اشاره می‌کند مدل‌سازان تقاضای انرژی بایستی این سوال را از خود بپرسند که آیا ابزار مدل‌سازی در جامعه‌ای که می‌خواهند آن را پیاده کنند، قابل حصول است یا خیر؟ اینکه چرا نتایج حاصل از برخی مدل‌های تقاضای انرژی دور از واقعیت است می‌تواند چند دلیل داشته باشد. بر اساس مطالعه لایتنر و دیگران[4] (۲۰۰۳)، برخی از آنها شامل تشخیص نادرست رفتار تقاضاکنندگان و عرضه‌کنندگان انرژی، پوشش ناکامل اثرات محیطی و اجتماعی و فروض اقتصادی غیر واقعی است.

در بین بخش‌های مختلف اقتصادی متقاضی انرژی تامین انرژی بخش خانگی با توجه به مساله کرامت انسانی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. و از بین حامل‌های مختلف انرژی برق از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. امروزه بدون برق زندگی امکان‌پذیر نیست. در سال ۲۰۲۲، مصرف جهانی برق حدود ۲۵،۵۰۰ تراوات ساعت بوده است.

1. Pindyck
2. Armestrong
3. Koomey
4. Laitner & etal

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

بخش خانگی در بسیاری از کشورها سهم قابل توجهی از مصرف برق را به خود اختصاص می‌دهد. حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد از برق مصرفی در دنیا متعلق به بخش خانگی، ۴۰-۴۵ درصد بخش صنعت، ۳۰-۳۵ درصد بخش تجاری و عمومی و ۲-۳ درصد بخش حمل و نقل است. البته بخش حمل و نقل با توجه به پیشرفت تکنولوژی خودروهای برقی و وارد شدن به ناوگان حمل و نقل سهمش از مصرف برق در حال افزایش است (آژانس بین‌المللی انرژی، ۲۰۲۲). در ایران نیز در سال ۱۴۰۲ سهم بخش خانگی از مصرف برق ۳۱ درصد، بخش صنعت ۳۶ درصد، بخش کشاورزی ۱۴ درصد و ۱۷ درصد سایر بخش‌ها بوده است. لذا شواهد نشان می‌دهد که بخش خانگی دومین مصرف‌کننده برق در اقتصاد ایران است (نمودار ۱).



نمودار ۱. سهم بخش‌های مختلف اقتصادی مصرف‌کننده برق در سال ۱۴۰۲

منبع: شرکت مادرتخصصی توانیر، آمار تفصیلی صنعت برق ایران ویژه مدیریت راهبردی، ۱۴۰۲

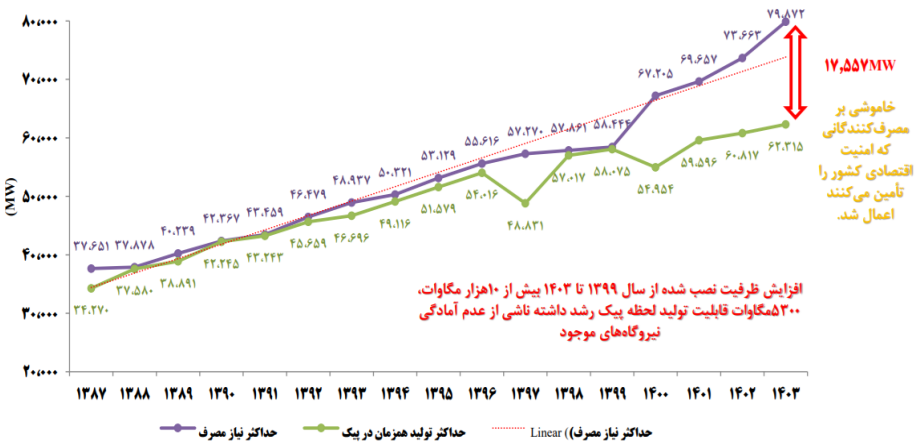
در این میان استان تهران به عنوان پایتخت و پرجمعیت‌ترین استان کشور سهم عمده‌ای از مصرف برق کشور دارد و عمده ترین بخش برق مصرفی در این استان مربوط به بخش خانگی است. بنابراین مدل‌سازی تقاضای برق در این استان و در بخش خانگی به منظور برنامه‌ریزی، تدوین استراتژی‌ها و توصیه‌های سیاستی از اهمیت بالایی برخوردار است.

مدل‌سازی تقاضای برق کاربردهای متنوعی می‌تواند داشته باشد. همان‌طور که باتاچاریا و تیمیلسینا[1] (۲۰۰۹)، نشان داده‌اند؛ این کاربردها می‌توانند از پیش‌بینی

1. Bhattacharyya and Timilsina

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

کوتاه‌مدت مصرف برق در شبکه‌ها و بازارهای برق گرفته تا شبیه‌سازی بارهای گرمایشی و الکتریکی در ساختمان‌ها و فرآیندهای صنعتی و پیش‌بینی‌های بلندمدت تقاضای انرژی ملی را شامل شوند. یکی دیگر از کارکردهای مدل‌سازی تقاضای برق برای سیاستگذاران، تدوین سیاست‌های حمایتی مناسب از بخش خانوار است به منظور کاهش مصرف در این بخش شود. متاسفانه در اقتصاد ایران سیاست‌های حمایتی دولت‌ها از عاملان اقتصادی (خانوارها و بنگاه‌ها) در چارچوب قیمت‌گذاری دستوری نهاده‌های تولیدی وکالاها و خدمات صورت گرفته است. این رویکرد با تاثیرگذاری بر قیمت‌های نسبی و انحراف آن از قیمت‌های تعادلی موجب تخصیص ناکارآمد منابع در اقتصاد شده است. رشد سریع مصرف انرژی، کاهش کارایی، افزایش آلاینده‌های زیست محیطی، بار هزینه‌ای بر بودجه دولت، قاچاق و شکاف درآمدی از جمله پیامدهای نامطلوب سیاست حمایتی قیمت‌گذاری دستوری در حوزه انرژی به طور عام و برق به طور خاص قلمداد می‌شود. این شیوه سیاست‌های حمایتی به دفعات با هدف تشویق بهره‌وری انرژی و سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در تولید برق اجرا شده است. شواهد تاریخی نشان می‌دهد که این راهکار به جز اثرات کوتاه مدت در میان مدت و بلندمدت کارساز نبوده است؛ چرا که مصرف برق به روند افزایشی خود ادامه داده است. در نمودار (۲) وضعیت عدم تعادل بین عرضه و تقاضای برق نشان داده شده است.



نمودار ۲. وضعیت ناترازی بین عرضه و تقاضای برق در لحظه پیک شبکه برق

منبع: کمیسیون بازار برق و بورس انرژی، سندیکای شرکت‌های تولید کننده برق، ۱۴۰۳

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

در این راستا هدف از مدل سازی تابع تقاضا برق در این مقاله در مرحله اول شناخت رفتار و الگوی مصرفی بخش خانگی در استان تهران است. به این معنی که مشخص شود بخش خانگی در استان تهران نسبت به تغییرات قیمتی برق و سایر حامل‌های انرژی و همچنین تغییرات درآمدی چه واکنشی نشان می‌دهد؟ به عبارت دیگر حساسیت تقاضای برق بخش خانگی استان تهران نسبت به قیمت برق، قیمت سایر حامل‌های انرژی و مخارج مصرفی چقدر است؟ در مرحله دوم هدف مقاله لحاظ کردن عوامل غیرقابل مشاهده (روند ضمنی) تاثیرگذار بر تقاضای برق در بخش خانگی به منظور برآورد دقیق تر کشش‌های قیمتی و درآمدی تقاضا است. لذا سوال‌های اصلی مقاله این است که با لحاظ کردن روند ضمنی در تابع تقاضا حساسیت تقاضای برق بخش خانگی استان تهران به قیمت برق، قیمت سایر حامل‌هاي انرژی (گاز طبیعی) و درآمد چقدر است؟ آیا با سیاست‌های قیمتی می‌توان ناترازی بوجود آمده در تامین برق بخش خانگی استان تهران را رفع کرد؟

ویژگی خاص این مقاله نسبت به سایر کارهای تجربی که در داخل کشور در خصوص مدل‌سازی تقاضای برق صورت گرفته است، این است که اولا تابع تقاضای برق از طریق رویکرد حداکثرسازی دو مرحله‌ای تابع مطلوبیت استخراج شده است. همچنین روند ضمنی[1] به عنوان یک متغیر نامشهود که از یک فرآیند تصادفی تبعیت می‌کند، در تابع تقاضا وارد شده است. متغیر روند اولا نقش ترجیحات مصرکنندگان را در تقاضای برق لحاظ می‌کند. ثانیاً نقش عوامل غیراقتصادی نظیر عوامل جمعیتی، اجتماعی و جغرافیایی را در تقاضای برق مد نظر قرار می‌دهد. با توجه به این موارد بایستی اطلاعات مربوط به پیشرفت تکنولوژیکی، ترجیحات مصرف کنندگان و عوامل غیراقتصادی در تابع تقاضا لحاظ شود. مشکل اینجاست که از یک طرف امکان اندازه‌گیری این عوامل وجود ندارد؛ و از طرف دیگر اثر این عوامل ممکن است در طول زمان تغییر کند و هریک در جهات مختلفی بر تقاضا اثر بگذارند. لذا برای اینکه بتوان اثرات عوامل مذکور را بر تقاضا لحاظ کرد؛ باید جزء روند در مدل تقاضای برق لحاظ شود تا از اریب‌دار شدن کشش‌های قیمتی و درآمدی تقاضا جلوگیری شود. هاروی و

1. Underlying Trend

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

همکارانش[1] (۱۹۸۹) برای لحاظ کردن این عوامل در تابع تقاضا مدل‌های سری زمانی ساختاری را پیشنهاد داده‌اند که مبنای مدل‌سازی تقاضای برق در این مقاله قرار گرفته است.

در ادامه ساختار مقاله به شرح زیر سازماندهی شده است. در قسمت دوم مروری بر جنبه‌های نظری مدل‌های تقاضای انرژی با تاکید بر برق شده است. در قسمت سوم تابع تقاضای برق در بخش خانگی تصریح شده است. قسمت چهارم به بررسی ویژگی‌های آماری متغیرهای مورد استفاده در مقاله و برآورد تجربی مدل تقاضای تصریح شده پرداخته است. در نهایت نتیجه‌گیری و توصیه‌های سیاستی ارائه شده است.

۲- مروری بر ادبیات

۲-۱- پایه‌های مدل‌سازی تقاضای برق

پایه‌های خرد تقاضای مصرف کننده از هر کالا و خدمتی بر اساس حداکثرسازی مطلوبیت بنا شده است. در این چارچوب فرض می‌شود؛ ۱) مصرف‌کننده از مجموعه مصرفی، مجموعه امکان‌پذیر و ساختار ترجیحات خود آگاهی کامل دارد، ۲) ساختار ترجیحات توسط تابع مطلوبیت بیان می‌شود، ۳) مصرف‌کننده از عقلانیت کامل برخوردار است. به این معنی که توانایی تصمیم‌گیری دارد و تصمیماتش سازگار است. به عبارت دیگر اصل ترتیبات کامل و اصل انتقال پذیری در مورد مصرف کننده صادق است (کشاورز، ۱۳۹۵). در چنین ساختاری رفتار بهینه مصرف‌کننده در جایی شکل می‌گیرد که ارزش ذهنی نسبی کالاها و خدمات با ارزش بازاری نسبی آنها برابر باشد. آنچه از این تعریف به دست می‌آید تابع تقاضایی است که تمایل مصرف‌کنندگان به مصرف مقدار معینی از کالا و خدمات را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه اغلب این تمایل تامین نمی‌شود؛ مصرف و تقاضا از هم تفکیک می‌شوند. در واقع مصرف کالا بخشی از تقاضاست که عملاً به وقوع پیوسته است (لیارد، .

تقاضای کالاها و خدمات ممکن است بر اساس حداکثر مطلوبیت حاصل نشده باشد، از طرف دیگر ممکن است مصرف کنندگان به عوامل تعیین‌کننده تقاضا به سرعت

1. Harvey and et al

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

واکنش نشان ندهند. در این صورت دو مفهوم تقاضای واقعی و بالقوه از هم تفکیک می‌شوند. تقاضای واقعی مقداری از تقاضاست که در همان دوره اتفاق می‌افتد و تقاضای بالقوه مقداری از تقاضاست که می‌توانست در همین دوره جاری رخ دهد؛ اما به دلایل فنی و اقتصادی به وقوع نمی پیوندد. اگر قیمت برق در زمان $(t-1)$تغییر یابد، بخشی از تقاضای برق در همین زمان به تغییر قیمت واکنش نشان می‌دهد، اما تا تکمیل اثر این تغییر بر مقدار تقاضا زمان بیشتری لازم است. به عنوان مثال مدت زمان بیشتری لازم است تا تجهیزات با انرژی‌بری کمتر جایگزین تجهیزات با انرژی بری بالا شود. بر همین اساس تقاضای برق به دو بخش «تقاضای محدود شده» و یا «تقاضای آزاد» تقسیم می‌شود. تقاضای محدود شده آن بخش از تقاضای برق است که به تجهیزات انرژی‌بری که در گذشته تهیه شده‌اند، اختصاص دارد. این تقاضا بدین دلیل وجود دارد که در گذشته تجهیزات انرژی‌بر خریداری شده و استفاده می‌شوند و می‌توان گفت که تغییر قیمت برق این بخش از تقاضا را حداقل در کوتاه مدت چندان تحت تاثیر قرار نمی‌دهد. تقاضای آزاد آن بخش از تقاضای برق است که به خاطر نیازهای فعلی و خرید تجهیزات انرژی‌بر جدید ایجاد می‌شود. این بخش از تقاضا نسبت به تغییرات متغیرهای اقتصادی مانند قیمت واکنش نشان می‌دهد.

در مورد کالای برق باید به چند واقعیت توجه کرد. واقعیت اول اینکه، بر خلاف عمده کالاهایی که مورد مصرف مستقیم قرار می‌گیرند، کالای برق مستقیماً مصرف نمی‌شود؛ بلکه تقاضای برق یک تقاضای مشتق شده است که به خاطر تقاضا برای خدمات دیگری مشتق می‌شود (مثل تقاضای سرمایش در هوای گرم یا گرمایش در هوای سرد).

واقعیت دوم اینکه، عرضه‌کنندگان برق به دلیل هزینه‌های بالاتر تمایل دارند که از مصرف‌کنندگان بخش خانگی در زمان‌های اوج بار مصرف و یا حتی در برخی از مواقع زمان‌های مختلف طی روز، نرخ‌های بیشتری اخذ نمایند. در مطالعات تقاضای برق بر مبنای داده‌های سالانه این تغییرات قیمت تا حد زیادی مورد چشم پوشی واقع شده است.

ماهیت سوم کالای برق این است که قابلیت ذخیره کردن مستقیم ندارد و باید برای ذخیره کردن تبدیل به حالت‌های دیگری شود. ذخیره‌سازی انرژی شبکه مجموعه‌ای از

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

روش‌هایی است که برای ذخیره انرژی در مقیاس بزرگ در یک شبکه برق الکتریکی، استفاده می‌شود. انرژی الکتریکی در مواقعی که تولید برق فراوان و ارزان است (به ویژه از منابع انرژی متناوب مانند برق تجدیدپذیر از نیروی باد، نیروی جزر و مد و انرژی خورشیدی)، یا زمانی که تقاضای مصرف برق کم است، ذخیره می‌شود و بعداً زمانی که تقاضا افزایش یابد، به شبکه برق بازگردانده می‌شود. از سال ۲۰۲۰، بزرگ‌ترین شکل ذخیره‌سازی انرژی شبکه، شامل احداث سد و نیروگاه‌های برق آبی و همین‌طور نیروگاه‌های برق آبی با ذخیره پمپ بوده‌است. از جمله روش‌های غیرمستقیم ذخیره کردن برق می‌توان به هیدروالکتریک پمپاژ شده از برق[۱]، هوای فشرده[۲]، هوای مایع، دی اکسید کربن فشرده، هیدروژن، باتری‌ها وذخیره انرژی حرارتی برای تولید اشاره کرد(ویسواناتان و همکاران[۳]، ۲۰۲۲).

برق برای تمامی بخش‌های اقتصادی بویژه بخش خانگی در دنیای مدرن امروزی بسیار حیاتی است، زیرا تأمین‌کننده انرژی مورد نیاز برای وسایل و سیستم‌های ضروری است (افتوتس و همکاران[۴]،۲۰۲۱). با رشد اقتصادی و افزایش شهرنشینی، شناخت عوامل تعیین‌کننده تقاضای برق خانگی برای سیاست‌گذاران، تأمین‌کنندگان انرژی و برنامه‌ریزان محیط زیست اهمیت ویژه‌ای دارد (آکیل و همکاران[۵]، ۲۰۲۰ – علی و همکاران[۶]، ۲۰۲۱). دو عامل اقتصادی کلیدی در این زمینه عبارتند از کشش‌های درآمدی و قیمتی که میزان حساسیت تقاضای برق نسبت به تغییرات درآمد خانوار و قیمت برق را اندازه‌گیری می‌کنند (احمد و نصیر[۷]، ۲۰۱۹). این کشش‌ها نقش اساسی در تدوین سیاست‌های مؤثر انرژی، مدیریت تعادل بین عرضه و تقاضا، و ارتقاء بهره‌وری انرژی ایفا می‌کنند (تقوایی و همکاران[۸]، ۲۰۲۳). به طور معمول، افزایش درآمد خانوار به

---

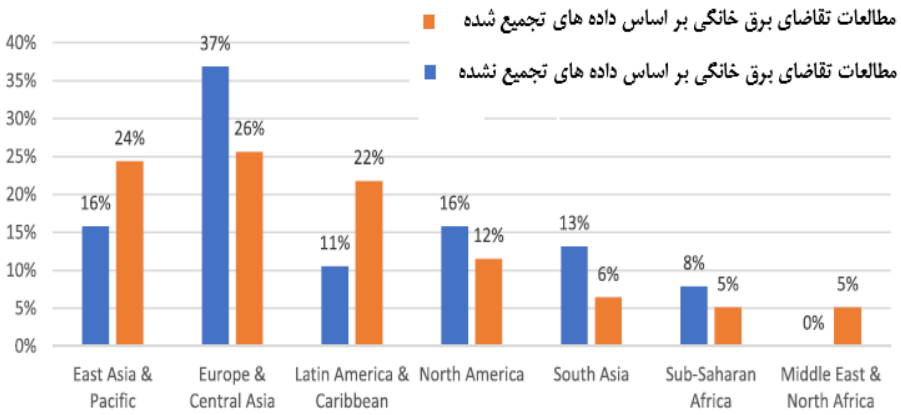
۱. این مورد بیشتر برای پمپاژ آب یا مخزن استفاده میشود. هنگامی که آب از مخزن خارج می‌شود، از طریق یک توربین به سمت پایین جریان می‌یابد تا برق تولید کند.

۲. یکی از روش‌های ذخیره‌سازی انرژی شبکه، استفاده از برق در شرایط غیر پیک یا از منابع تجدیدپذیر برای فشرده‌سازی هوا است که معمولاً در یک معدن قدیمی ذخیره می‌شود. هنگامی که تقاضای برق زیاد است، هوای فشرده با استفاده از مقدار کمی سوخت گاز طبیعی گرم شده و سپس از طریق توربو اکسپندرها برای تولید برق به کار گرفته می‌شود.

3. Viswanathan and etal
4. Ofetotse and et al
5. Akil and et al
6. Ali et al
7. Ahmed and Nisar
8. Taghvaee and et al

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

دلیل افزایش تعداد وسایل الکتریکی و فضای زندگی بیشتر، منجر به افزایش مصرف برق می‌شود(سینگ و همکاران[1]، ۲۰۲۲). از سوی دیگر، افزایش قیمت برق می‌تواند مصرف را کاهش دهد، اگرچه میزان این پاسخ بسته به بخش‌ها و خانوارهای مختلف متفاوت است(ظهوری و همکاران، ۲۰۱۹). توزیع مطالعات تقاضای برق خانگی برحسب منطقه در نمودار (۳) آمده است. شواهد نشان می‌دهد که بیشترین تحقیقات تقاضای برق بخش خانگی در کشورهای با درآمد بالا صورت گرفته است و تحقیقات کمی در کشورهای کم‌درآمد در این حوزه انجام شده است. کمبود تحقیقات در کشورهای با درآمد پائین مانع از درک الگوهای مصرف برق در بخش خانگی می‌شود. در مقابل، فراوانی مطالعات در کشورهای با درآمد بالا بینش‌های دقیق و توسعه سیاست‌های انرژی مؤثری ارائه می‌دهد. تحلیل کشش‌های درآمدی و قیمتی تقاضای برق با استفاده از داده‌های تجمیع شده و تجمیع نشده[2] در این مطالعات همواره کم کشش بودن تقاضای برق در بخش خانگی را نشان می‌دهد و نقش ضروری برق در بخش خانگی و تأثیر اندک تغییرات درآمد و قیمت بر مصرف آن را برجسته می‌کند. لذا این بینش برای تدوین سیاست‌های آگاهانه و استراتژی‌های مدیریت انرژی مؤثر ضروری است تا آینده‌ای پایدار و باثبات در بخش انرژی تضمین شود.



نمودار ۳. سهم مناطق از مطالعات صورت گرفته در خصوص تقاضای برق خانگی

منبع: مابینزی و همکاران، ۲۰۲۴

مابینزی و همکاران[3] (۲۰۲۴) تحلیلی در ارتباط با برابری میانگین‌ها و واریانس‌ها در مورد کشش‌های درآمدی و قیمتی تقاضای برق بخش خانگی در میان کشورهای

1. Singh and et al
2. Aggregated and Disaggregated data
3. Mubbinzi and et al

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

مختلف ارائه دادند که نتیج نشان‌دهنده تفاوت‌های معنادار این کشش‌ها بین کشورهای مختلف است. میانگین کشش‌ها و واریانس‌های آن‌ها به طور قابل‌توجهی متغیر است که ماهیت پیچیده و ناهمگن واکنش تقاضای برق بخش خانگی به تغییرات قیمتی و درآمدی را نشان می‌دهد. تفاوت معنادار کشش‌ها تحت تأثیر نوع داده‌های استفاده‌شده و شرایط اقتصادی- اجتماعی هر منطقه است. داده‌های تجمیع نشده درک دقیق‌تر و جزئی‌تری از رفتار مصرفی بخش خانگی را ارائه می‌دهند، به‌ویژه در مناطقی با نابرابری درآمدی قابل‌توجه، که در آن‌ها خانوارهای کم‌درآمد به تغییرات قیمت و درآمد حساس‌تر هستند. داده‌های تجمیع شده برای درک روندهای اقتصادی کلان مفید هستند. معمولاً تجمیع داده‌ها تفاوت‌های بین گروه‌های مختلف مصرفی را هموار می‌کنند و به تخمین‌های کمتر کشش قیمتی و درآمدی منجر می‌شوند. برخی از مطالعات که در مقاله مابینزی و همکاران کشش‌های قیمتی و درآمدی تقاضای برق خانگی را مورد بررسی قرار داده اند در جدول (۱) گزارش شده است.

جدول ۱. کشش‌های درآمدی و قیمتی تقاضای برق خانگی در مطالعات مختلف

محقق[1]	کشور	دوره زمانی	کشش درآمدی		کشش قیمتی	
			کوتاه مدت	بلندمدت	کوتاه مدت	بلندمدت
مودیانو، ۱۹۸۴	برزیل	۸۱-۱۹۶۳	۰,۳۳	۱,۱۳	-۰,۱۲	-۰,۴
دوناتوس و مرگوس، ۱۹۹۱	یونان	۸۶-۱۹۶۱	۱,۵۰	۰,۵۳	-۰,۵۸	-۰,۲۱
انگ و همکاران، ۱۹۹۲	سنگاپور	۹۰-۱۹۷۱		۱		-۰,۳۵
بنتزن و انگستد، ۱۹۹۳	دانمارک	۸۱-۱۹۶۰		۱,۲۱		-۰,۴۷
اندراده و لوبائو، ۱۹۹۷	برزیل	۹۵-۱۹۶۳	۰,۲۱	۰,۲۱	-۰,۰۶	-۰,۰۵
کریستودولاکیس و کالیویتیس، ۱۹۹۷	یونان	۹۰-۱۹۷۰	۱,۸۵	۱,۳۳		-۰,۲۵
سیلک و جوتس، ۱۹۹۷	ایالات متحده	۹۳-۱۹۴۹	۰,۳۹	۰,۵۲	-۰,۶۳	-۰,۴۸
بوسه و شوکلا، ۱۹۹۹	هند	۹۴-۱۹۸۵	۰,۸۸		-۰,۶۵ تا -۱,۳۵	
فلیپینی، ۱۹۹۹	سوئیس	۹۰-۱۹۸۷		۰,۳۳		-۰,۳۰

1. (Modiano),(Donatos and Mergos), (Ang and et al), (Bentzen and Engsted), (Andrade and Lobão), (Christodoulakis and Kalyvitis), (Silk and Joutz), (Bose and Shukla), (Filippini), (Hondroyiannis), (De Vita et al), (Siqueira et al), (Halicioglu), (Narayan et al), (Inglesi), (Jamil and Ahmad), (Polemis and Dagoumas), (Sun and Lin), (Ivy-Yap and Bekhet), (Othman and Hariri).

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

کشش قیمتی		کشش درآمدی		دوره زمانی	کشور	محقق[1]
بلندمدت	کوتاه مدت	بلندمدت	کوتاه مدت			
-۰,۴۱	-۰,۴۱	۱,۵۶	۰,۲۰	۹۹-۱۹۸۶	یونان	هوندروویانیس، ۲۰۰۴
-۰,۳۴		۱,۲۷		۲۰۰۲-۱۹۸۰	نامیبیا	دویتا و همکاران، ۲۰۰۶
-۰,۴۱	-۰,۳۰	۱,۴۰	۰,۱۸	۲۰۰۳-۱۹۷۰	برزیل	سینکواریا و همکاران، ۲۰۰۶
-۰,۵۲ تا -۰,۶۳	-۰,۳۳ تا -۰,۴۶	۰,۴۹ تا ۰,۷	۰,۳۷ تا ۰,۴۴	۲۰۰۵-۱۹۶۸	ترکیه	هالیچی اغلو، ۲۰۰۷
-۱,۴۵ تا -۱,۵۶	-۰,۱۱	۰,۲۵ تا ۰,۳۱		۲۰۰۳-۱۹۷۸	کشورهای G7	نارایان و همکاران، ۲۰۰۷
-۰,۶۵		۰,۴۲		۲۰۰۵-۱۹۸۰	آفریقای جنوبی	اینگلسی، ۲۰۱۰
-۱,۲۲	-۰,۰۷	۱,۹۷	۰,۴۹	۲۰۰۸-۱۹۶۱	پاکستان	جمیل و احمد، ۲۰۱۱
-۰,۰۸	-۰,۲۹	۰,۱۹	۴,۴۵	۲۰۱۱-۱۹۷۰	یونان	پولمیس و داگوماس، ۲۰۱۳
	-۰,۱۲		۰,۴۷	۲۰۰۷-۲۰۰۰	چین	سان و لین، ۲۰۱۳
-۰,۹۴		۱,۴۲		۲۰۱۳-۱۹۷۸	مالزی	ایوی یاپ و بخت، ۲۰۱۵
۰,۷۱		۰,۳۸		۲۰۲۰-۱۹۸۰	مالزی	اوتمان و حریری، ۲۰۲۱

۲-۲- تکنیک‌های مدل‌سازی تقاضای برق

در ادبیات علمی، طبقه‌بندی‌های متنوعی برای تکنیک‌های مدل‌سازی تقاضای انرژی وجود دارد. ورویب و همکاران[1] (۲۰۲۱)، به بررسی سیستماتیک ۴۱۹ مقاله درباره مدل‌سازی تقاضای انرژی که بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ منتشر شده‌اند، پرداخته‌اند. هدف از این بررسی، ارائه یک نمای کلی و جامع از ادبیات مورد بررسی و طبقه‌بندی تکنیک‌های مدل‌سازی تقاضای انرژی بوده است. برخلاف ادبیات تجربی موجود، این مطالعه تمامی جنبه‌های مدل‌های تقاضای انرژی از جمله تکنیک‌ها، دقت پیش‌بینی،

1. Verwiebe and etal

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

ورودی‌ها، حامل‌های انرژی، بخش‌ها، افق زمانی، و دقت مکانی را تحلیل کرده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که تکنیک‌های یادگیری ماشین بیشترین استفاده را در میان مقالات دارند. این تکنیک‌ها عمدتاً برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت برق در سطح منطقه‌ای به‌کار رفته‌اند و به‌طور عمده بر داده‌های تاریخی برق تکیه دارند. مدل‌های مهندسی‌محور وابستگی کمتری به داده‌های تاریخی داشته و مصرف وسایل را در بازه‌های زمانی طولانی‌تر پوشش داده‌اند. تکنیک‌های فرا ابتکاری و مدل‌های عدم قطعیت معمولاً در مدل‌های ترکیبی استفاده شده‌اند. تکنیک‌های آماری نیز به‌طور گسترده برای مدل‌سازی تقاضای انرژی استفاده شده‌اند و اغلب به‌عنوان معیار مقایسه برای سایر تکنیک‌ها عمل کرده‌اند. سطح دقت پیش‌بینی، که با معیار خطای میانگین درصد مطلق اندازه‌گیری شده، برای تمامی تکنیک‌ها در سطوح مشابهی قرار دارد. دبناث و مورشد[1] (۲۰۱۸) تکنیک‌های پیش‌بینی برای برنامه‌ریزی عرضه و تقاضای انرژی انرژی را بررسی کرده‌اند. آن‌ها ۴۸۳ مدل از مقالات منتشرشده بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۷ را بررسی کرده و گستره جغرافیایی، بازه‌های زمانی، و معیارهای عملکرد را تحلیل کرده‌اند. ایشان تکنیک‌های مدل‌سازی تقاضا را به چهار دسته آماری، هوش محاسباتی، برنامه‌ریزی ریاضی، و همچنین تکنیک‌های مستقل و ترکیبی تقسیم کرده‌اند. در دسته تکنیک‌های آماری، آن‌ها رگرسیون، تحلیل سری زمانی و مدل‌های خودرگرسیونی با واریانس شرطی ناهمسان را تعریف کرده‌اند. در دسته هوش محاسباتی، تکنیک‌هایی مانند یادگیری ماشین، مدل‌های عدم قطعیت، روش‌های فرا ابتکاری و روش‌های مبتنی بر خبره ذکر شده‌اند. هونگ و فان[2] (۲۰۱۶)، تکنیک‌ها را به دو دسته کلی آماری و هوش مصنوعی تقسیم کرده‌اند. دسته آماری شامل رگرسیون چندگانه خطی و تکنیک‌های سری زمانی است، در حالی که دسته هوش مصنوعی شامل تکنیک‌هایی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی، رگرسیون فازی، ماشین‌های بردار پشتیبان و ماشین‌های گرادیان تقویتی است. وی و همکاران[3] (۲۰۱۹) تکنیک‌ها را به دو دسته تکنیک‌های مرسوم (مانندمدل‌های سری زمانی، رگرسیون و مدل‌های خاکستری) و تکنیک‌های هوش مصنوعی (مانند شبکه‌های عصبی و ماشین‌های بردار

1. Debnath and Mourshed
2. Hong and Fon
3. Wei and etal

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

پشتیبان) تقسیم کرده‌اند. کوستر و همکاران[1] (۲۰۱۷) مروری بر تکنیک‌های پیش بینی برق کرده‌اند. ۴۱ مقاله در خصوص تکنیک‌های به‌کار رفته، داده‌های ورودی، رویه‌های پیش‌پردازش، گستره جغرافیایی، وضوح زمانی، و افق پیش‌بینی بررسی کرده‌اند. دسته‌هایی مانند مدل‌های سری زمانی، مدل‌های رگرسیون، شبکه‌های عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان و تکنیک‌های پایین‌به‌بالا را بررسی کرده‌اند. ریوا و همکاران[2] (۲۰۱۸) مطالعه‌ای بر ۱۳۰ مقاله مرورشده در زمینه برنامه‌ریزی انرژی بلندمدت روستایی انجام داده‌اند که بخش‌های برق، نفت، و گرمایش را در دو سوی تقاضا و عرضه پوشش می‌دهد. مقالات بررسی‌شده بر اساس پوشش مکانی، افق زمانی، حامل انرژی، مدل‌های ریاضی، و استفاده انرژی طبقه‌بندی شده‌اند.

در روش‌شناسی مدل‌های تقاضای انرژی نیاز به پاسخ به یک پرسش کلیدی است و آن این است که باید کدام یک از مدل‌ها برای استخراج کشش‌های قیمت و درآمدی تقاضا با توجه به اهداف پژوهش‌ها انتخاب شوند. در پاسخ به این پرسش، دو رویکرد برای مدل‌سازی تقاضای انرژی در ادبیات مطرح شده است. گروه اول شامل سیستم معادلات همزمان است که به شدت به انواع فرم‌های تبعی انعطاف پذیر؛ به ویژه ترانسلوگ وابسته است و از آنها به عنوان سهم مخارج یاد می‌شود. گروه دوم، رویکرد تک معادله‌ای است که به اصطلاح تک معادله تقاضای واقعی نامیده می‌شود (هال[3]، ۱۹۸۶). پژوهش‌های بسیاری در ادبیات اقتصادی وجود دارد که از هر دو رویکرد برای مدل‌سازی تقاضای انرژی استفاده کرده‌اند. به عنوان نمونه برای رویکرد تک معادله‌ای می‌توان به آلتینی و یالتا[4] (۲۰۱۶)، داگر[5] (۲۰۱۲)، لیدله و هانتینگتون[6] (۲۰۲۰) اشاره کرد. در رویکرد سیستمی هم می‌توان به کارهای ما و استرن (۲۰۱۶)، هی و لین (۲۰۱۹)، لیو و همکاران (۲۰۱۸)، بولوک و کاچ (۲۰۱۰) اشاره کرد. ولی هر یک از این روش‌ها با کاستی‌ها و مزایایی مواجه‌اند. خیابانی و توسلی (۱۳۹۹)، در مقاله‌ای به بررسی مدل‌سازی تقاضای انرژی از منظر روش‌شناسی و برآورد پرداخته‌اند. مقاله تمرکز

1. Kuster and etal
2. Riva
3. Hall
4. Altinay and Yalta
5. Dagher
6. Liddle and Huntington

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

خود را بر دو رویکرد اصلی مدل‌های تک معادله‌ای و مدل‌های سیستمی در این حوزه قرار داده است. مدل‌های تک‌معادله‌ای به دلیل سادگی در برآورد پارامترها رایج است اما با مشکلاتی چون درون‌زایی، بی‌ثباتی پارامترها و فقدان پایه نظری قوی مواجه است. لذا این محدودیت‌ها باعث می‌شوند تفسیر اقتصادی کشش‌های قیمتی و متقاطع دقیق نباشد. مدل‌های سیستمی تقاضا بر پایه نظریه اقتصاد خرد بنا شده و امکان استخراج کشش‌های قیمتی خودی و متقاطع و جانشینی بین حامل‌های انرژی را فراهم می‌کند. با این حال، حساسیت بالایی به انتخاب فرم تابعی دارد و ممکن است نتایج متغیری ارائه دهد. مطالعه ویژگی‌ها و محدودیت‌های دو فرم اصلی در مدل‌های سیستمی، ترانسلوگ و لاجیت خطی، نشان می‌دهد که مدل لاجیت خطی با شرایط منظم‌بودن نظریه اقتصادی سازگاری بیشتری دارد و برآوردهای دقیق‌تری ارائه می‌کند. رویکرد سیستمی امکان بررسی تعاملات بین حامل‌های انرژی و محاسبه کشش‌های مختلف را فراهم می‌کند. رویکرد تک‌معادله‌ای به دلیل سادگی برای بررسی رفتار غیرقیمتی مصرف مناسب است اما دقت کمتری در تحلیل‌های جانشینی دارد.

۳- تصریح تجربی تابع تقاضای برق

در ادبیات اقتصاد خرد چهار رویکرد برای استخراج تابع تقاضای مصرف کننده معرفی شده است. رویکرد اول حداکثرسازی تابع مطلوبیت مستقیم با توجه به محدودیت بودجه است. در این روش بر اساس شرایط بهینگی مرتبه اول توابع تقاضا برای کالاها و خدمات استخراج می‌شود. رویکرد دوم استخراج تابع تقاضا، استفاده از قضیه روی[1] است. این روش مبتنی بر تابع مطلوبیت غیرمستقیم است. رویکرد سوم استفاده از لم شفارد می‌باشد که مبتنی بر تابع مخارج مصرف کننده است. در این روش تابع مخارج مصرف کننده با توجه به سطح معینی از مطلوبیت به حداقل می‌رسد. رویکرد چهارم استفاده از رهیافت دیفرانسیلی است. در این روش سهم کالا و خدمات از مخارج مصرفی کل مصرف کننده به جای مقدار تقاضای کالا و خدمات در نظر گرفته است.

در این مقاله از رویکرد مدل‌سازی آماری تک معادله‌ای و روش حداکثرسازی تابع مطلوبیت مستقیم نسبت به محدودیت بودجه استفاده می‌شود. برق مورد استفاده در

1. Roy's Lemma

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

بخش خانگی خودش جزئی از حامل‌های انرژی است که توسط مصرف‌کنندگان نهایی مورد استفاده قرار می‌گیرد و حامل‌های انرژی خود بخشی از کالاها و خدماتی است که در سبد مصرفی خانوار قرار دارد. بنابراین اگر کلیه کالاهایی که مصرف‌کنندگان در تابع مطلوبیت خود قرار می‌دهند به دو بخش کالاهای انرژی و کالاهای غیرانرژی تقسیم شود؛ مطابق بحث ویمن – جونز[1] (۱۹۸۶)، تابع تقاضای برق را می‌توان از طریق یک فرایند دو مرحله‌ای به دست آورد به گونه‌ای که مصرف کننده در هر مرحله بودجه خود را به بهترین نحو بین کالاهای مختلف تخصیص می‌دهد (احمدیان و همکاران[2]، ۲۰۰۷). در مرحله اول مصرف کننده مخارج خود را بین کالاهای انرژی (q_e) و غیرانرژی (q_{ne}) تخصیص می‌دهد. در این صورت تابع مطلوبیت برای مصرف کننده به صورت زیر خواهد بود.

$$u_1 = u_1(q_e, q_{ne}) \qquad (۱)$$

قید بودجه مصرف کننده با توجه به قیمت کالاهای انرژی و غیرانرژی به صورت زیر است:

$$y = p_e q_e + p_{ne} q_{ne} \qquad (۲)$$

با حداکثرسازی تابع مطلوبیت (۱) نسبت به قید بودجه (۲) می‌توان تابع تقاضای کالاهای انرژی و غیر انرژی را به صورت زیر استخراج کرد:

$$\begin{aligned} q_e^* &= q_e^*(p_e, p_{ne}, y) \\ q_{ne}^* &= q_{ne}^*(p_e, p_{ne}, y) \end{aligned} \qquad (۳)$$

حاصلضرب میزان تقاضای انرژی در قیمت آن $\left(y_e = p_e q_e^*\right)$ مخارج مصرفی تخصیص یافته توسط مصرف کننده برای کالای انرژی را نشان می‌دهد. پس از مشخص شدن مخارج مصرفی برای کالاهای انرژی در مرحله اول، این مخارج مصرفی در مرحله دوم فرآیند تخصیص به انواع حامل‌های انرژی اختصاص داده می‌شود. حامل‌های انرژی در حالت کلی به چهار گروه اصلی فرآورده‌های نفتی، گازطبیعی، برق و زغال سنگ

1. Weyman - Jones
2. Ahmadian and ethal, 2007

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

تقسیم می‌شوند. با توجه به هدف تحقیق به صورت دو گروه برق و سایر حامل‌های انرژی در نظر گرفته می‌شود. که به ترتیب با نماد $(elec)$ و (oe) نشان داده می‌شوند. اگر مقادیر مصرفی برق و سایر حامل‌های انرژی توسط مصرف کننده به ترتیب با (q_{elec})، (q_{oe}) نشان داده شود در این صورت تابع مطلوبیت به صورت زیر خواهد بود:

$$u_2 = u_2(q_{elec}, q_{oe}) \qquad (۴)$$

محدودیت درآمدی مصرف کننده در این حالت y_e است. اگر قیمت حامل‌های انرژی مذکور را به ترتیب با (p_{elec}) و (p_{oe}) نشان داده شوند در این صورت محدودیت درآمدی به صورت زیر خواهد بود:

$$y_e = p_{elec}q_{elec} + p_{oe}q_{oe} \qquad (۵)$$

با حداکثرسازی تابع مطلوبیت (۴) نسبت به قید (۵) می‌توان توابع تقاضای برق و سایر حامل‌های انرژی به صورت زیر استخراج کرد:

$$\begin{aligned} q^*_{elec} &= q^*_{elec}(p_{elec}, p_{oe}, y_e) \\ q^*_{oe} &= q^*_{oe}(p_{pet}, p_{oe}, y_e) \end{aligned} \qquad (۶)$$

با فرض توابع مطلوبیت به شکل $\left(u_1 = q_e^{\alpha_1} q_{ne}^{\alpha_2}\right)$، $\left(u_2 = \exp(q_{elec}^{\gamma_1} q_{oe}^{\gamma_2})\right)$ باشد در این صورت توابع تقاضای استخراج شده در رابطه (۷) به صورت زیر خواهند بود (موناسینگه و شرام[1]، ۱۹۹۳):

$$\begin{aligned} q_{elec} &= k\, p_{elec}^{\delta_1}\, p_{oe}^{\delta_2}\, y^{\delta_3} \\ q_{oe} &= h\, p_{elec}^{\phi_1}\, p_{oe}^{\phi_2}\, y^{\phi_3} \end{aligned} \qquad (۷)$$

که در آن $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \phi_1, \phi_2, \phi_3, h, k$ پارامترهایی هستند که به پارامترهای α, γ, β در توابع مطلوبیت فرضی فوق‌الذکر بستگی دارند. پارامترهای δ_1, ϕ_2 به

1. Munasinghe and Schramm

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

ترتیب بیانگر کشش خودی قیمتی تقاضای برق و سایر حامل‌های انرژی در بخش خانگی هستند. با گرفتن لگاریتم از طرفین و ساده کردن آن تابع تقاضای برق در بخش خانگی به شکل زیر خواهد بود:

$$\ln q_{elec} = \ln k + \delta_1 \ln p_{elec} + \delta_2 \ln p_{oe} + \delta_3 \ln y \qquad (۸)$$

یک مدل هیچگاه قادر به توصیف دقیق وقایع به صورتی که در جهان واقع است، نیست. اصل قلت متغیرهای توضیحی حکم می‌کند که برای توصیف واقعیت‌ها نباید از مدل‌های پیچیده‌ای که فاقد ارزش علمی هستند، استفاده کرد. از طرف دیگر، لازم است به منظور اجتناب از هر نوع خطای تصریح، متغیرهای کلیدی و اثرگذار در مدل وارد شوند. بر اساس ادبیات نظری مرور شده و رابطه (۸) که از مبانی نظری مصرف‌کننده استخراج شده است، از جمله متغیرهای اصلی تاثیرگذار بر تقاضای برق می‌توان به قیمت برق، قیمت سایر حامل‌های انرژی و مخارج مصرف کننده، تعداد مشترکین و شرایط آب و هوایی است.

علاوه بر متغیرهای مذکور عوامل دیگری از قبیل کارایی فنی، ترجیحات استفاده کنندگان و عوامل غیراقتصادی نیز بر میزان تقاضای برق اثر گذار هستند. نوآوری این مقاله هم در وارد کردن این نوع متغیرها در مدل تقاضای برق است تا از این طریق از اریب‌دار شدن مهمترین مولفه‌های تابع تقاضا یعنی کشش‌ها اجتناب شود. آثار این عوامل ممکن است در طول زمان دارای روند معینی نباشند؛ لذا عدم مدل‌سازی صحیح آنها می‌تواند منجر به اریب‌دار شدن نتایج شود. بنابراین اینکه اثرات فوق چگونه در مدل لحاظ شوند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (احمدیان، چیت نیس و هانت[1]، ۲۰۰۷).

کارایی فنی یا به عبارتی پیشرفت تکنولوژی یکی از عواملی است که همواره تابع تقاضا را تحت تاثیر قرار می‌دهد. تقاضای برق یک نوع تقاضای مشتق شده است. به این معنی که برق برای استفاده در تجهیزات الکتریکی در بخش خانگی تقاضا می‌شود و به تنهایی مصرف نمی‌شود. بنابراین میزان برق مصرفی بستگی به سطح تکنولوژی لوازم الکتریکی دارد. افزایش کارایی وسایل برقی در اثر پیشرفت‌های فنی در شرایط ثبات سایر عوامل، منجر به کاهش مصرف برق خواهد شد. نه تنها پیشرفت‌های فنی بلکه

1. Ahmadian, chitnis and hunt

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

عوامل برونزای دیگری نظیر ترجیحات استفاده‌کنندگان و عوامل غیراقتصادی (عوامل جمعیتی، اجتماعی و جغرافیایی) می‌توانند به طور مثبت یا منفی بر تقاضا تاثیر گذار باشند.

تغییر در کارایی از طریق توسعه تکنولوژی یکی از عوامل مهم تعیین کننده روند در متغیرهای اقتصادی است. تکنولوژی در حقیقت نوع مشخصی از دانش مرتبط با فعالیت‌های انسان است. بخشی از این دانش در ماشین‌آلات و تجهیزات و بخشی در مردم، ساختارهای سازمانی و الگوهای رفتاری نهفته است. از بخش اول معمولاً به عنوان تکنولوژی متبلور و از بخش دوم به عنوان تکنولوژی غیر متبلور یاد می‌شود. پیشرفت تکنولوژی متبلور زمانی رخ می‌دهد که ماشین آلات و تجهیزات فرسوده با ماشین آلات و تجهیزات جدیدتر جایگزین شود، زیرا تکنولوژی در ماشین آلات و تجهیزات جدیدتر نهفته است. لذا این مورد نیاز به تغییر ساختار تولید و در نتیجه سرمایه گذاری جدید دارد. در حالت پیشرفت تکنولوژی غیر متبلور نیازی به جایگزینی ماشین آلات و تجهیزات و در نتیجه تغییر سرمایه موجود نیست بلکه این مورد در دانش مصرف‌کننده و رفتار مصرفی آنها نهفته است. منظور از دانش در این حالت استفاده کارا از منابع موجود است (چیت نیس، ۱۳۸۴).[۱] لازم به ذکر است که وقتی گفته می‌شود تغییرات تکنیکی (از هر دو نوع) اتفاق افتاده است دارای دو بخش برونزا و درونزا است. بخشی که به صورت برونزا است در طول زمان به طور مستقل صورت می‌گیرد و بخش درونزای آن در اثر تغییراتی است که در سایر عوامل رخ می‌دهند. به عنوان مثال تغییرات تکنیکی که در اثر افزایش قیمت برق در تجهیزات انرژی بر بوجود می‌آید. با توجه به اینکه جزء درونزای تغییرات تکنیکی در طول زمان الزاماً با نرخ ثابتی صورت نمی گیرد لذا مدل‌سازی این جزء از تغییرات تکنیکی به صورت تابع خطی از زمان روش نامناسبی خواهد بود. برخلاف جزء درونزا می‌توان پیشرفت تکنیکی برونزا را به صورت تابع خطی ساده از زمان در نظر گرفت. علاوه بر توسعه تکنولوژی، ترجیحات مصرف‌کنندگان نیز یکی دیگر از عوامل تاثیرگذار بر میزان تقاضای برق است. تغییر در عوامل غیراقتصادی نظیر عوامل جمعیتی، اجتماعی و جغرافیایی می‌تواند مدل‌سازی تقاضا را تحت تاثیر قرار

۱. جهت مطالعه بیشتر به منبع چیت نیس، ۱۳۸۴ مراجعه شود.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

دهد. به عنوان نمونه ساختار جمعیتی، ساختار سنی، تراکم جمعیت،میزان تحصیلات افراد خانوار... همگی می‌توانند بر تقاضای برق در بخش خانگی موثر باشند.

هاروی و همکارانش[1] (۱۹۸۹)، جولیوس[2] (۲۰۰۹)، برای لحاظ کردن این عوامل مدل‌های سری زمانی ساختاری را توسعه دادند. در این روش هر سری زمانی ترکیبی از یک جزء روند و یک جزء نامنظم در نظر گرفته شده است. مدل مورد استفاده در این مطالعه یک مدل سری زمانی ساختاری است که به روند غیر قابل مشاهده اجازه می‌دهد در طول زمان به طور تصادفی تغییر داشته باشد. در حالت کلی این مدل‌ها را می‌توان به صورت زیر نشان داده می‌شوند:

$$Q_t = \mu_t + Z_t'\delta + \varepsilon_t \rightarrow \begin{cases} (1) \rightarrow \mu_t = \mu_{t-1} + \beta_{t-1} + \eta_t \\ (2) \rightarrow \beta_t = \beta_{t-1} + \xi_t \end{cases} \qquad (۹)$$

که در آن Q_t متغیر وابسته، μ_t جزء روند، Z_t بردار متغیرهای توضیحی، δ پارامترهای نامعلوم و ε_t جزء تصادفی مدل است که فرض می‌شود که دارای خاصیت وایت نویز $\varepsilon_t \approx NID(0,\sigma_\varepsilon^2)$ است. همچنین فرض بر این است که جزء روند دارای فرآیند تصادفی بود که در ردر قالب معادلات (۱) و (۲) در رابطه (۹) نشان داده شده است. ξ_t, η_t دارای خاصیت وایت نویز ($\eta_t \approx NID(0,\sigma_\eta^2)$ و $\xi_t \approx NID(0,\sigma_\xi^2)$) هستند. این معادلات به ترتیب، بیانگر سطح و شیب روند هستند. فرآیند فوق را به این صورت می‌توان توصیف کرد که روند در یک دوره برابر با روند در یک دوره قبل به علاوه جزء رشد و برخی عوامل غیرقابل پیش بینی است که جزء رشد همان شیب است که در طول زمان متغیر است. واریانس‌های $\sigma_\eta^2, \sigma_\xi^2$ ابر پارامتر[3] نامیده می‌شوند که نقش بسیار مهمی در تعیین ماهیت روند دارند. حالت‌های ممکن برای فرآیند تصادفی روند در جدول (۲) نشان داده شده است.

1. Harvey & etal, 1989
2. Julles
3. Hyper parameter

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

جدول ۲. حالت‌های متختلف فرآیند تصادفی روند

حالت	بدون سطح و $\left(\sigma_\eta^2 = 0\right)$	سطح ثابت و $\left(\sigma_\eta^2 = 0\right)$	سطح تصادفی و $\left(\sigma_\eta^2 \neq 0\right)$
بدون شیب و $\left(\sigma_\xi^2 = 0\right)$	(۱): رگرسیون متعارف بدون جزء ثابت و روند زمانی[۱]	(۲): رگرسیون متعارف با جزء ثابت و بدون روند زمانی[۲]	(۳): مدل سطح محلی (گام تصافی همراه با نویز)[۳]
شیب ثابت و $\left(\sigma_\xi^2 = 0\right)$	(۴): رگرسیون متعارف بدون جزء ثابت و با روند زمانی	(۵): رگرسیون متعارف با جزء ثابت و روند زمانی[۴]	(۶): مدل سطح محلی با جزء رانش[۵]
شیب تصادفی و $\left(\sigma_\xi^2 \neq 0\right)$	(۷): رگرسیون متعارف بدون جزء ثابت و با روند تصادفی	(۸): مدل روند هموار[۶]	(۹): مدل روند محلی[۷]

منبع: هانت، جاج و نینومیا، ۲۰۰۳

بررسی ادبیات تجربی مدل‌های سری زمانی ساختاری نشان می‌دهد که افرادی از جمله هاروی و کوپمن[۸] (۱۹۹۳)، هاروی و شفارد[۹] (۱۹۹۳)، هاروی، کوپمن و شفارد[۱۰] (۲۰۰۵)، هانت و نینومیا[۱۱] (۲۰۰۳)، هانت، جاج و نینومیا[۱۲] (۲۰۰۰، ۲۰۰۳)، دیمیتروپولوس، هانت و جاج[۱۳] (۲۰۰۵)، آماراویکرما و هانت[۱۴] (۲۰۰۸)، برودستاک و هانت[۱۵] (۲۰۱۰)، آگنولوچی[۱۶] (۲۰۱۰)، دلاور و هانت (۲۰۱۱)، سلیمان سعد[۱۷] (۲۰۱۱)، چیت نیس و هانت[۱۸] (۲۰۱۱، ۲۰۱۲)، کریمی و همکاران[۱۹] (۲۰۲۴) و در داخل کشور

1. Conventional regression but with no constant and no time trend
2. Conventional regression with a constant but no time trend
3. Local Level Model (random walk plus noise)
4. Conventional regression with a constant and a time trend
5. Local Level Model with Drift
6. Smooth Trend Model
7. Local Trend Model
8. Harvey and Koopman
9. Harveyand Shephard
10. Harvey, Koopman and Shephard
11. Hunt and Ninomiya
12. Hunt, Judge and Ninomiya
13. Dimitropoulos, Hunt and Judge
14. Amarawickrama and Hunt,
15. Broadstock, and Hun
16. Agnolucci
17. Sa'ad, Suleiman
18. Chitnis and Hunt
19. Karimi and etal

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

موسوی، پدرام و صداقت (۲۰۱۴)، چیت نیس (۱۳۸۴)، شاکری و همکاران (۱۳۸۹)، میبدی امامی (۱۳۸۹)، امیرمعینی (۱۳۹۴)، لطفی پور، فلاحی و ناظمی معزآبادی (۱۳۹۴) از مدل‌های سری زمانی ساختاری برای مدل سازی تقاضای انرژی استفاده کرده‌اند.

با توجه به موارد فوق چنانچه در معادله (۸) روند ضمنی با ماهیت تصادفی، پویایی‌های بین تقاضای برق و سایر متغیرهای توضیحی و جزء اخلال تصادفی را اضافه کنیم مدل سری زمانی ساختاری تقاضای برق به صورت زیر استخراج خواهد شد:

$$A(L)Q_t^{elec} = \mu_t + B(L)p_t^{elec} + C(L)p_t^{oe} + D(L)y_t + E(L)\mathrm{sub}_t^{elec} + \varepsilon_t$$

$$\mu_t = \mu_{t-1} + \beta_{t-1} + \eta_t \rightarrow \eta_t \approx NID(0,\sigma_\eta^2) \qquad (a)$$

$$\beta_t = \beta_{t-1} + \xi_t \rightarrow \qquad \xi_t \approx NID(0,\sigma_\xi^2) \qquad (b)$$

$$\left(\mathrm{A(L)} = 1 - a_1 L - ..... - a_{p_1} L^{p_1}\right) \ , \ \left(B(L) = b_0 + b_1 L + ... + b_{p_2} L^{p_2}\right) \qquad (۱۰)$$

$$\left(C(L) = c_0 + c_1 L + ... + c_{p_3} L^{p_3}\right) \ , \ \left(D(L) = d_0 + d_1 L + ... + d_{p_4} L^{p_4}\right)$$

$$E(L) = e_0 + e_1 L + ... + e_{p_5} L^{p_5}$$

که در آن Q_t^{elec} مقدار تقاضای برق در بخش خانگی، p_t^{elec} قیمت واقعی برق در بخش خانگی، p_t^{oe} قیمت واقعی سایر حامل‌های انرژی، y_t مخارج مصرف کننده و sub_t^{elec} تعداد مشترکین برق خانگی است. μ_t نشان دهنده روند ضمنی که برای لحاظ اثرات متغیرهای غیرقابل مشاهده اثر گذار بر تقاضای برق خانگی وارد مدل شده است. دارای فرآیند تصادفی بوده و الگوی حرکتی آن بر اساس معادلات اجزاء (a,b) است. اجزاء A(L)، B(L)، C(L)، D(L) و E(L) بیانگر چند جمله‌ای عملگرهای وقفه هستند که نشان دهنده پویایی بین تقاضای برق و هریک از متغیرهای توضیحی است. برای به دست آورد کشش‌های قیمتی و درآمدی تقاضا متغیرها به صورت لگاریتمی وارد مدل شده‌اند. لذا پارامترهای برآورد شده در حکم کشش‌های کوتاه مدت و بلندمدت قیمتی و درآمدی تقاضای برق خواهد بود.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

۴- برآورد و تفسیر نتایج

۴-۱- روش برآورد تابع تقاضا

مدل سری زمانی ساختاری ارائه شده در معادله رگرسیونی (۱۰) به دلیل حضور روند ضمنی مدلی با جزء غیر قابل مشاهده است. مدل‌های با اجزاء غیر قابل مشاهده را نمی‌توان از طریق روش‌های معمول مانند حداقل مربعات معمولی برآورد کرد. با وجود این اگر در معادله (۱۰) اجزاء (a,b)در شکل فضا - حالت[1] و در قالب دو معادله وضعیت[2] و مشاهده[3] تنظیم شوند؛ با استفاده از الگوریتم کالمن فیلتر می‌تواند یک دسته معادلات بازگشتی تولید کند که پارامترهای نامعلوم از طریق روش حداکثر راستنمایی برآورد شوند. در شکل فضا - حالت متغیر غیر قابل مشاهده روند به عنوان متغیر وضعیت[4] تلقی می‌شود. معادله وضعیت برای مدل رگرسیونی (۱۰) به صورت زیر خواهد بود:

$$\alpha_t = \begin{bmatrix} \mu_t \\ \beta_t \\ \delta_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mu_{t-1} \\ \beta_{t-1} \\ \delta_{t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \eta_t \\ \xi_t \\ 0 \end{bmatrix} \qquad (۱۱)$$

که در آن α_t بیانگر بردار وضعیت است. معادله مشاهده نیز به صورت زیر تعریف می‌شود:

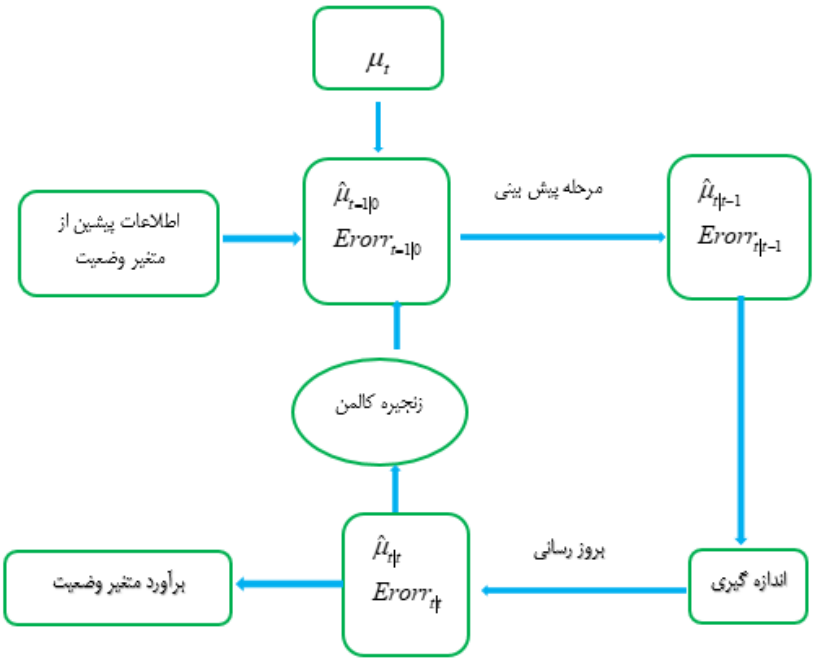
$$Q_t = \begin{bmatrix} 1 & 0 & Z_t' \end{bmatrix} \alpha_t + \varepsilon_t \qquad (۱۲)$$

که در آن (Z_t') بیانگر متغیرهای توضیحی و (δ_t) بردار پارامترهای مربوط به متغیرهای توضیحی هستند. نقش معادله مشاهده این است که بردار وضعیت غیرقابل مشاهده (α_t) را به مقادیر عددی قابل مشاهده(Q_t) مرتبط کند. معادله وضعیت پویایی بردار وضعیت را در طول زمان نشان می‌دهد. ترکیب معادله مشاهده و وضعیت

1. State space
2. Transaction equation
3. Measurement equation
4. State variable

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

متغیرهای غیرقابل مشاهده را با استفاده از متغیرهای قابل مشاهده برآورد می‌نماید. همه اجزاء اخلال مستقل و متقابلاً ناهمبسته هستند. ابرپارامترها توسط معادلات بازگشتی کالمن فیلتر و روش حداکثر راستنمایی برآورد می‌شوند و با در دست داشتن مقادیر این پارامترها برآوردهای مناسب (β_T, μ_T) توسط کالمن فیلتر برآورد می‌شوند[۱]. (β_T) و (μ_T) آخرین برآوردهای شیب و سطح روند در هر دوره را نشان می‌دهند. برآوردهای بهینه روند در کل دوره نمونه توسط الگوریتم هموارکننده کالمن فیلتر محاسبه می‌شوند، که به وسیله آن تحول روند می‌تواند تعقیب شود. در شکل (۱) نحوه اجرای الگوریتم فیلتر کالمن نشان داده شده است.



شکل ۱. فرآیند اجرای الگوریتم کالمن فیلتر

با توجه به حالات ارائه شده در جدول (۱) به منظور انتخاب مناسبترین حالت از طریق آماره نسبت راستنمایی (LR) به آزمون فرضیه تصادفی بودن هر دو جزء روند در مقابل حداقل ثابت بودن یکی از آنها اقدام می‌شود. آماره نسبت راستنمایی از طریق

۱. جهت مطالعه بیشتر به منابع Harvey (1989) - Harvey and Koopman, (1992) -Durbin and Koopman (1992) رجوع گردد.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

رابطه زیر به دست می‌آید. که در آن صورت کسر مقدار حداکثر راستنمایی حاصل از برآورد تابع تقاضایی است که در آن قید لحاظ شده است و مخرج آن مقدار حداکثر راستنمایی در حالت غیر مقید است. با توجه به اینکه معمولاً مقدار حداکثر راستنمایی مقید کمتر از حالت غیر مقید است؛ لذا نسبت کسر کوچکتر از یک خواهد شد. حال اگر قید معتبر باشد (یعنی قید رد نشود) در این صورت نسبت λ به سمت یک متمایل می‌شود و آماره LR به صفر متمایل می‌شود. ولی اگر قید معتبر نباشد نسبت λ به سمت صفر متمایل خواهد شد.

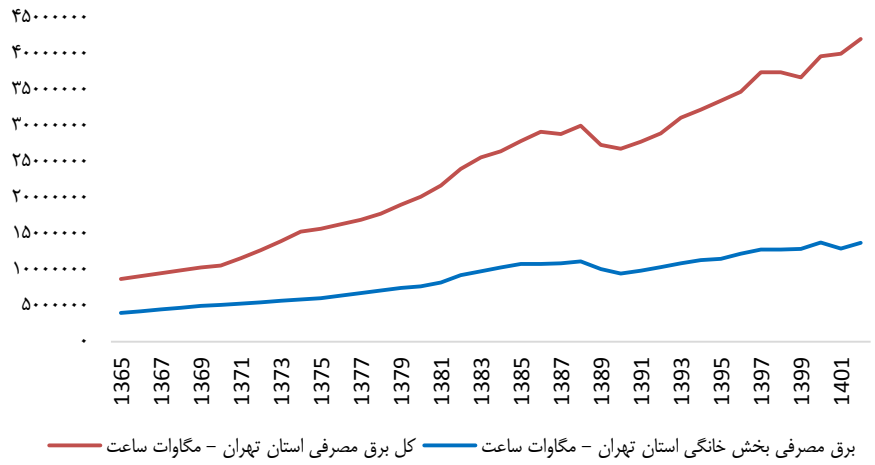
$$LR = -2\ln(\lambda) = -2\ln\left(\frac{L(\hat{\theta}_R)}{L(\hat{\theta}_{UR})}\right) \approx \chi^2(k) \qquad (۱۳)$$

۴-۲- داده‌ها

بر اساس سرشماری عمومی نفوس و مسکن مرکز آمار ایران (۱۳۹۵)، استان تهران دارای ۴۲۸۸۵۶۳ خانوار بوده است که حدود ۹۴٫۵ درصد از این خانوارها در نقاط شهری و ۵٫۵ درصد در نقاط روستایی ساکن بوده‌اند. برآورد جمعیتی مرکز آمار ایران در سال ۱۴۰۳ نشان می‌دهد که جمعیت استان تهران حدود ۱۴٬۴۲۵٬۰۰۰ نفر خواهد بود. با در نظر گرفتن بعد خانوار ۳٫۳ نفر که در این سرشماری گزارش شده است، تعداد خانوارهای استان تهران در سال ۱۴۰۳ به حدود ۴٬۳۷۲٬۷۲۷ خانوار برآورد می‌شود. بخش خانگی در ایران حدود ۳۲ درصد از کل مصرف برق کشور را در سال ۱۴۰۱ به خود اختصاص داده است و این رقم در استان تهران ۳۶٫۸ درصد بوده است؛ لذا به منظور برنامه‌ریزی مدیریت تقاضای شبکه برق، جامعه مورد هدف این مقاله استان تهران قرار گرفته است. داده‌های مورد استفاده در این مقاله شامل؛ تقاضای بخش خانگی برق، قیمت برق مصرفی، قیمت سایر حامل‌های انرژی، مخارج مصرفی خانوار و تعداد مشترکین برق هستند. تمامی آمار اطلاعات مربوط به مرکز آمار ایران از سالنامه آماری استان طی سال‌های مختلف و داده‌های درآمد مخارج خانوار طی سال‌های ۱۳۶۱ تا ۱۴۰۱ جمع آوری شده است. در مورد قیمت سایر حامل‌های انرژی لازم به ذکر است که با توجه به سهم بالای مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی قیمت این حامل به عنوان نماینده قیمت سایر حامل‌های انرژی استفاده شده است. همچنین از قیمت‌های واقعی

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

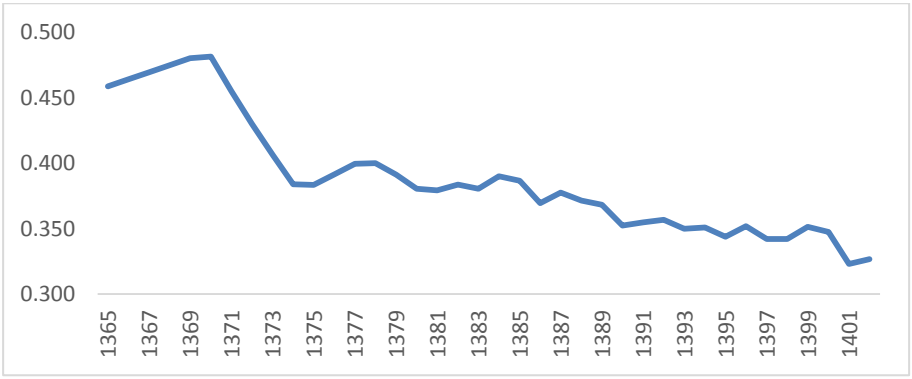
برق و گاز طبیعی استفاده شده است. برای واقعی کردن قیمت‌ها از شاخص قیمتی مصرف کننده بر پایه ۱۳۹۵ بانک مرکزی استفاده شده است. در نمودار (۴)، (۵) و (۶) به ترتیب روند کل مصرف برق و مصرف بخش خانگی استان تهران، سهم بخش خانگی از کل برق مصرفی استان تهران و قیمت‌های اسمی و واقعی برق بخش خانگی آورده شده است. مشاهده می‌شود روند مصرف برق در بخش خانگی با شیب ملایم‌تری نسبت به روند کل مصرف برق استان تهران حرکت می‌کند. به این معنی که سهم بخش خانگی از کل مصرف برق استان تهران دارای روند نزولی بوده است. چارک‌های اول، دوم و سوم مصرف برق بخش خانگی نشان می‌دهد که به ترتیب ۲۵ درصد، ۵۰ درصد و ۷۵ درصد از خانوارهای استان تهران میزان برق مصرفی‌شان کمتر از ۵۴۷۱۴۴۷ مگا وات ساعت، ۷۹۴۵۴۱۰ مگاوات ساعت و ۱۰۸۶۲۶۷۰ مگاوات ساعت است. متوسط برق مصرفی بخش خانگی ۸۴۱۷۰۵۱ مگاوات ساعت است. با توجه به اینکه میانه کمتر از میانگین است؛ لذا داده‌های مصرف برق خانگی دارای چولگی به سمت راست است.



نمودار ۴. روند کل مصرف برق و مصرف بخش خانگی استان تهران (مگاوات ساعت)

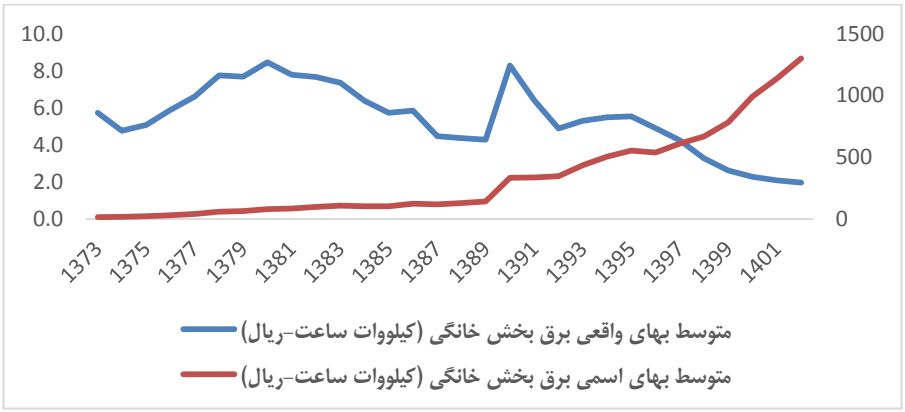
منبع: سالنامه آماری استان سال‌های ۱۴۰۲-۱۳۸۰

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]



نمودار ۵. روند سهم مصرف برق در بخش خانگی از کل در استان تهران

منبع: محاسبات تحقیق



نمودار ۶.روند قیمت اسمی و واقعی برق بخش خانگی

منبع: سالنامه آماری استان سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۸۰

۴-۳- بررسی مانایی متغیرهای مدل

به منظور جلوگیری از برآورد رگرسیون کاذب ابتدا مانایی متغیرها بررسی می‌شوند. بر اساس آزمون ریشه واحد با لحاظ شکست ساختاری، همه متغیرها در سطح نامانا بوده ولی پس از یک بار تفاضل‌گیری لگاریتمی مانا می‌شوند. نتایج در جدول (۳) نشان داده شده است.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

جدول ۳. آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم یافته با لحاظ شکست ساختاری در عرض از مبدا و شیب

سطح متغیرها			تفاضل مرتبه اول متغیرها		
متغیرها	آماره ADF	سطح احتمال معنی داری	متغیرها	آماره ADF	سطح احتمال معنی داری
$\log(q^{elec})$	-۴,۵۵۲	0.214	$D(\log(q^{elec}))$	-5.425	کمتر از ۰,۰۱
$\log(p^{elec})$	-۳,۲۱۲	0.921	$D(\log(p^{elec}))$	-۷,۶۷۴	کمتر از ۰,۰۱
$\log(p^{ng})$	-۲,۰۶۳	0.548	$D(\log(p^{ng}))$	-۱۴,۲۶۳	کمتر از ۰,۰۱
$\log(y)$	-۲,۰۵۴	0.263	$D(\log(y))$	-۶,۸۱۷	کمتر از ۰,۰۱
$\log(sub^{elec})$	-۱,۷۸۰	0.694	$D(\log(sub^{elec}))$	-۵,۸۱۷	کمتر از ۰,۰۱

منبع:محاسبات محقق

با توجه به اینکه با تفاضل‌گیری، جزء روندی سری‌ها که در بردارنده اطلاعات بلندمدت هستند از بین می‌رود، لذا به تبعیت از یوهانسون یوسیلیوس هم‌انباشتگی بین متغیرها بررسی می‌شود. چنانچه رابطه هم انباشتگی بین متغیرها برقرار باشد؛ در این صورت برآورد مدل با سطح متغیرها منجر به شکل‌گیری نتایج کاذب نخواهد شد. بررسی آزمون هم انباشتگی یوهانسون یوسیلیوس نشان می‌دهد که متغیرهای مدل دارای روابط هم انباشتگی هستند. تعداد بردارهای هم انباشته در حالات مختلف در جدول (۴) گزارش شده است.

جدول ۴.تعداد بردارهای هم انباشتگی بین متغیرهای مدل بر اساس آزمون یوهانسون یوسیلیوس

نبود روند در داده ها		روند خطی در داده ها		روند درجه دوم در داده ها
عدم حضور عرض از مبدا و روند در مدل	حضور عرض از مبدا و عدم حضور روند در مدل	حضور عرض از مبدا و عدم حضور روند در مدل	حضور عرض از مبدا و روند در مدل	حضور عرض از مبدا و روند در مدل
۴	۴	۲	۳	۵

منبع: محاسبات محقق

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

۴-۴- برآورد تابع تقاضای برق

با توجه به آزمون نسبت راستنمایی و بر اساس حالت۲های مختلف رگرسیون مطابق جدول (۱)، مناسبترین حالت ثابت بودن سطح روند و تصادفی بودن شیب آن یعنی حالت (۸) است. به عبارت دیگر، ماهیت روند ضمنی در تابع تقاضای برق از نوع روند هموار است. بررسی آزمون‌های خوبی برازش مدل نشان می‌دهد که متغیرهای توضیحی ۹۹ درصد از تغییرات تقاضای بخش خانگی را توضیح می‌دهند. همچنین بررسی آزمون‌های تشخیصی نشان می‌دهند که هیچگونه ناهمسانی واریانس، خود همبستگی و خودهمبستگی سریالی در اجزاء باقیمانده‌ها وجود ندارد. به عبارت دیگر اجزاء باقیمانده از هیچ نوع الگوی سیستماتیکی تبعیت نمی‌کند و دارای روند کاملاً تصادفی هستند. با توجه به آماره باون – شنتون[1] نشانه‌ای از غیر نرمال بودن باقیمانده‌ها در مدل وجود ندارد. این آماره ترکیبی از معیارهای کشیدگی و چولگی است و دارای توزیع χ^2 با درجه آزادی دو است. نتایج حاصل از برآورد در جدول (۵) گزارش شده است.

جدول ۵. نتایج برآورد تابع تقاضای برق خانگی استان تهران (ثابت بودن سطح و تصادفی بودن شیب روند)

متغیرهای توضیحی	$\log(q_{t-1}^{elec})$	$\log(p_t^{elec})$	$\log(p_{t-1}^{elec})$	$\log(p_t^{ng})$	$\log(y_t)$	$\log(sub_t^{elec})$
ضرایب	۰,۲۴	-۰,۰۲۹	-۰,۲۷	۰,۲۹	۰,۳۸	۱,۰۴
سطح احتمال معنی‌داری	۰,۰۰۴۵	۰,۰۰۳۵	۰,۰۰۲۷	۰,۰۰۴۵	۰,۰۰۰۱	۰,۰۰۵۵
سطح روند $\mu_{T=1401}$	شیب روند $\beta_{T=1401}$	واریانس سطح σ_η^2	واریانس شیب σ_ξ^2	R^2	$D-W$	LR
۱۳۷۳۱۷۲۹	۲۶۳۳۱۷,۸	۰,۰۰۰۰	$8*10^{-11}$	۰,۹۹۸	۱,۹۸۵	۰,۹۶۷
آزمون نرمالیتی باقیمانده‌های مدل						

1. Bowman - Shenton

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

باقیمانده‌های مدل تقاضای برق			فرمول محاسباتی آماره باون- شنتون
معیار	آماره χ^2	سطح احتمال	$S=\frac{T\left(\sqrt{b_1}\right)^2}{6}\approx\chi^2(1)$
چولگی	۰,۰۵۳۰	۰,۸۱۷	$K=\frac{T\left(b_2-3\right)^2}{24}\approx\chi^2(1)$
کشیدگی	۰,۷۰۶۹	۰,۴۰۱	$\sqrt{b_1}=\frac{m_3}{\left(m_3\right)^{3/2}}\quad,\quad b_2=\frac{m_4}{\left(m_2\right)^2}$
آماره باون- شنتون	۰,۷۵۹۹	۰,۶۸۴	$N_{B-S}=S+K\approx\chi^2(2)$

منبع: محاسبات محقق

بر اساس جدول (۵) کلیه متغیرهای تاثیرگذار بر تقاضای برق به لحاظ آماری در سطح ۵ درصد کاملاً معنی‌دار هستند. تابع تقاضای برآورد شده ماهیت پویا دارد؛ چرا که مقدار تقاضای برق در دوره گذشته در سمت راست تابع تقاضا ظاهر شده است. لذا پارامترهای برآورد شده ماهیت کوتاه مدت و بلندمدت پیدا می‌کنند. در مدل برآورد شده پارامترها در حکم کشش‌های تقاضای برق (خود قیمتی، قیمتی متقاطع و درآمدی) هستند که به صورت کوتاه مدت و بلندمدت قابل محاسبه هستند. کشش‌های محاسبه شده در جدول (۶) گزارش شده است.

جدول ۶. کشش‌های تقاضای برق بخش خانگی استان تهران

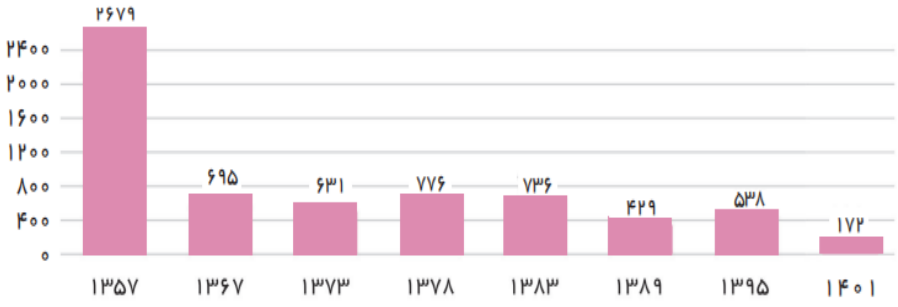
کشش خود قیمتی		کشش قیمتی متقاطع		کشش درآمدی	
کوتاه مدت	بلندمدت $\left(\frac{B(L)}{A(L)}\right)$	کوتاه مدت	بلندمدت $\left(\frac{C(L)}{A(L)}\right)$	کوتاه مدت	بلندمدت $\left(\frac{D(L)}{A(L)}\right)$
-۰,۰۲۹	-۰,۳۹	۰,۲۹	۰,۳۸	۰,۳۸	۰,۵

منبع: محاسبات محقق

کشش خود قیمتی تقاضای برق خانگی در کوتاه مدت برابر (-۰,۰۳) است. به این معنی که اگر قیمت برق خانگی ۱۰۰ درصد افزایش (کاهش) یابد با ثابت بودن سایر شرایط تقاضای آن به طور متوسط به اندازه ۳ درصد کاهش (افزایش) خواهد یافت. لذا برق یک کالای کم کشش است و تغییرات قیمتی تاثیر زیاد در کاهش تقاضای آن

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

ندارد. در بلندمدت این کشش افزایش یافته و به ۰٫۴- می‌رسد. به این معنی که اگر قیمت واقعی برق ۱۰ درصد افزایش (کاهش) یابد با فرض ثابت بودن سایر عوامل تقاضای برق در بلند مدت به طور متوسط ۴ درصد کاهش (افزایش) خواهد یافت. حتی افق زمانی که یکی از عوامل موثر بر مقدار کشش تقاضا است در خصوص کالای برق تاثیرگذار نیست. این مساله می‌تواند ناشی از جانشین‌های اندکی باشد که برای کالای برق در بخش خانگی وجود دارد. باید به این نکته توجه کرد که حساسیت تقاضا نسبت به تغییرات قیمت زمانی قابل تجزیه و تحلیل است که قیمت از انعطاف‌پذیری لازم برخوردار باشد. قیمت‌گذاری برق در یک فرآیند غیرشفاف اقتصادی و بر اساس چانه زنی بین ذینفعان و گروه‌های مختلف انجام می‌شود. در چنین ساختاری نباید انتظار داشت که تقاضا به تغییرات قیمتی پاسخ دهد؛ زیرا که قیمت نقش اصلی خود را که علامت دهی و تنظیم بازار است، ایفا نمی‌کند. در نمودار (۷) روند متوسط قیمت فروش برق در بخش خانگی نشان داده شده است. شواهد نشان می‌دهد که از قیمت واقعی برق در طول زمان روند کاهشی داشته است که به دلیل تعدیل قیمت برق به نسبت کمتر از افزایش سطح عمومی قیمت‌ها بوده است. همچنین بررسی ساختار قیمت حامل‌های انرژی به طور عام و قیمت برق به طور خاص با توجه به مسائل سیاسی و امنیتی در دهه‌های گذشته حکایت از قیمت گذاری دستوری دارد و این عوامل منجر به کم کشش شدن تقاضای برق خانگی شده است. اگر هدف از تعدیل‌های قیمتی در صنعت برق کاهش مصرف برق برای بهبود ناترازی‌های شکل گرفته در این صنعت باشد به دلیل کم کشش بودن تقاضای آن این امر تحقق نخواهد یافت.

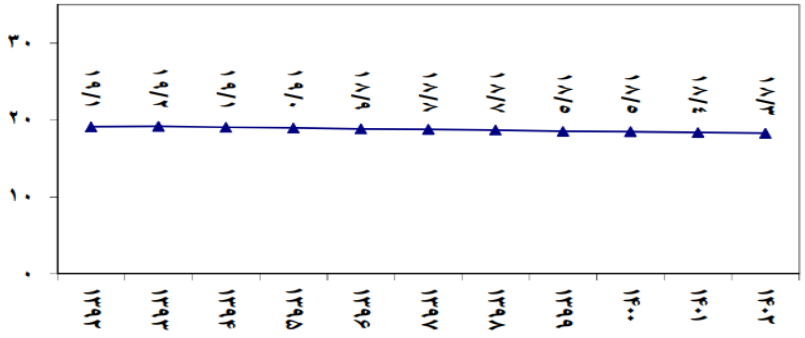


نمودار ۷. روند متوسط قی‌مت فروش برق در بخش خانگی به قی‌مت‌های ثابت ۱۳۹۵

منبع: آمارنامه صنعت برق، توانیر سالهای مختلف

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

بررسی کشش قیمتی متقاطع تقاضای برق نشان می‌دهد که گاز طبیعی یک کالای جانشین برای برق است؛ چرا که ضریب قیمت واقعی گاز طبیعی مثبت و برابر ۰,۲۹ است. این ضریب بیانگر کشش قیمتی متقاطع تقاضای برق در کوتاه مدت است و نشان می‌دهد که اگر قیمت گاز طبیعی ۱۰ درصد افزایش یابد، تقاضای برق خانگی به اندازه ۲,۹ درصد افزایش خواهد یافت. این کشش در بلند مدت به ۰,۳۸ رسیده است. مشاهده می‌شود که حساسیت تقاضای برق به تغییرات قیمت گاز طبیعی هم کم کشش است. کشش درآمدی تقاضای برق در کوتاه مدت و بلندمدت به ترتیب برابر (۰,۳۸) و (۰,۵) است که حکایت از این دارد که برق یک کالای نرمال ضروری است. اگر درآمد خانوار ۱۰ درصد افزایش (کاهش) یابد با ثبت بودن سایر شرایط تقاضای برق خانگی در کوتاه مدت و بلند مدت به ترتیب ۳,۸ درصد و ۵ درصد افزایش (کاهش) خواهد یافت. کشش تقاضای برق خانگی نسبت به تعداد مشترکین در کوتاه مدت و بلندمدت به ترتیب برابر (۱,۰۴) و (۱,۳۶) است. این نتیجه حاکی از آن است که تقاضای برق نسبت به این مولفه پرکشش است. یکی از دلایلی که کارشناسان صنعت برق برای وجود ناترازی‌های صنعت برق مطرح می‌کنند افزایش تعداد انشعابات در شبکه برق است. بررسی روند سهم مشترکین برق خانگی در استان تهران از کل مشترکین برق در نمودار (۸) نشان می‌دهد که در دهه ۹۰ این سهم از روند کاهشی برخوردار بوده است به طوری که از ۱۹,۱ درصد در سال ۱۳۹۲ به ۱۸,۵ درصد در سال ۱۳۹۹ و ۱۸,۳ درصد در سال ۱۴۰۲ رسیده است. لذا درست است که تقاضای برق نسبت به تعداد مشترکین حساس است ولی دلیل شکل‌گیری ناترازی‌های صنعت برق نمی‌تواند ناشی از این مولفه باشد.



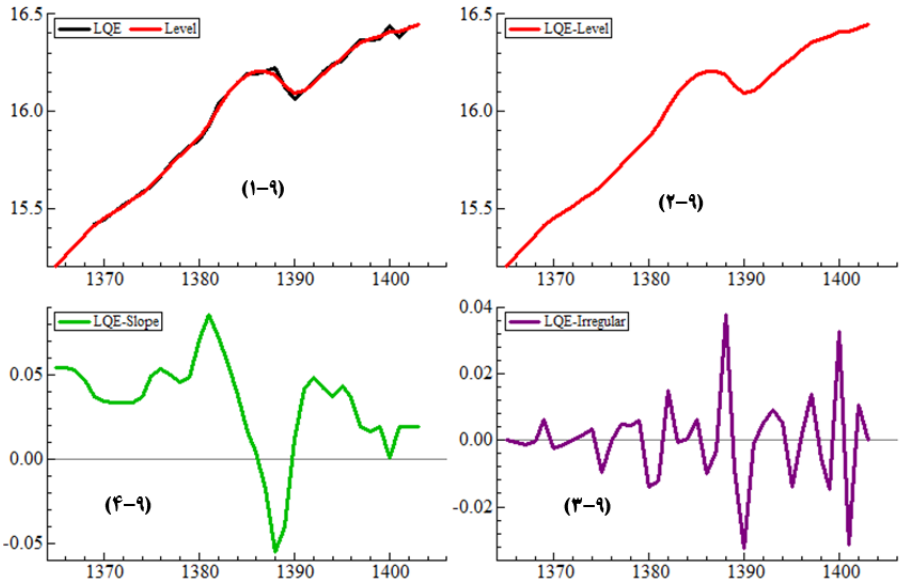
نمودار ۸. روند سهم مشترکین برق خانگی از کل مشترکین برق استان تهران

منبع: آمارنامه صنعت برق، توانیر، سال‌های مختلف

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

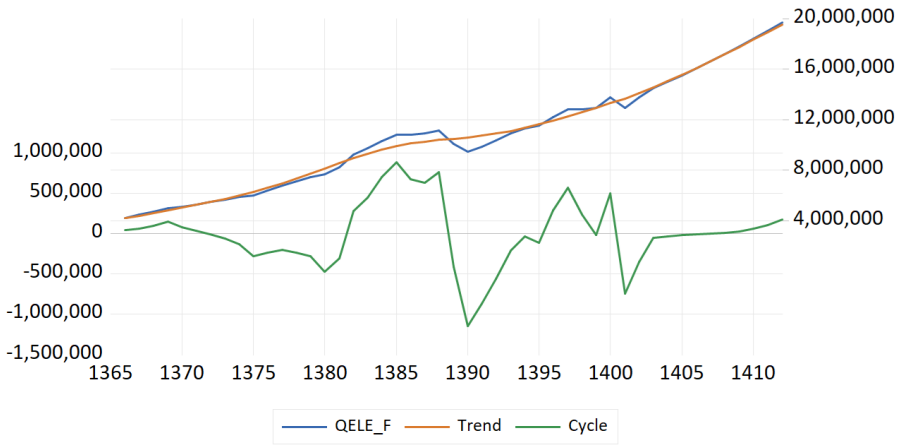
یکی دیگر از نتایج به دست آمده برآورد روند ضمنی تقاضای بخش خانگی است که نشان دهنده اثرات عواملی مانند پیشرفت تکنولوژی، ترجیحات مصرف‌کنندگان و عوامل غیر اقتصادی بر تقاضای برق بخش خانگی است. در نمودار (۹) ماهیت و ساختار روند ضمنی نشان داده شده است. نمودار (۹-۲) نشان دهنده سطح روند است که اولاً دارای ماهیت هموار بوده و ثانیاً به صورت غیرخطی است به طوری که طی سال‌های ۱۳۶۱ تا ۱۳۸۶ رفتار افزایشی داشته از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۰ رفتار کاهشی شده است و مجددا بعد از سال ۱۳۹۰ به رفتار افزایش خود ادامه داده است. مشاهده می‌شود اجرای قانون هدفمند کردن یارانه‌ها از سال ۱۳۸۹ که همراه با اصلاح قیمت حامل‌های انرژی بوده نتوانسته است رفتار مصرفی برق را اصلاح کند و صرفا یک اثر لحظه‌ای یک ساله داشته است. در طول سال‌های ۱۳۶۱ تا ۱۳۸۶ با فرض ثبات سایر عوامل موثر بر تقاضا منحنی تقاضای برق بخش خانگی به سمت چپ منتقل شده است. ولی طی دوره‌های ۱۳۸۶-۱۳۶۱ و ۱۴۰۱-۱۳۹۰ که روند در حال افزایش بوده با فرض ثابت بودن سایر عوامل منحنی تقاضا به سمت بالا منتقل شده است. پس مشاهده می‌شود چنانچه روند به شکل صحیح مدل‌سازی نشود با توجه به عدم لحاظ اثرات انتقالی تابع تقاضا کشش‌های قیمتی حاصل تورش‌دار خواهد بود. در حالت اول کشش قیمتی کمتر از حد و در حالت دوم بیشتر از حد تخمین زده می‌شود. در نمودار (۹-۱) روند واقعی تقاضای برق بخش خانگی و روند ضمنی برآورد شده باهم ترسیم شده اند. مشاهده می‌شود که روند ضمنی انحراف ناچیزی از روند واقعی تقاضا دارد که نشان دهنده این است که تقاضای برق به شدت تحت تاثیر عوامل غیرقابل مشاهده است. هرچه قدر منحنی روند ضمنی از روند واقعی دارای انحراف زیادتری باشد به معنی تاثیرگذاری کمتر عوامل غیرقابل مشاهده بر رفتار متغیر واقعی است. با توجه به اینکه تاثیر متغیرهای قیمتی و درآمدی در تابع تقاضای برق خانگی کنترل شده‌اند و نشان داده شد که تقاضای برق خانگی نسبت به این متغیرها کم کشش است؛ لذا با توجه به انحراف کم روند ضمنی از روند واقعی راهکارهای غیرقیمتی برای کنترل مصرف برق خانگی مناسب‌تر هستند و در سیاست‌گذاری باید بر متغیرهای غیرقیمتی مانند تغییرات تکنولوژی، ترجیحات مصرف کنندگان و سایر عوامل غیر اقتصادی برنامه‌ریزی کرد.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]



نمودار ۹. برآورد اجزای روند ضمنی تقاضای برق بخش خانگی

منبع: محاسبات محقق



نمودار ۱۰. پیش بینی مقدار تقاضای برق بخش خانگی استان تهران (واحد: مگاوات ساعت)

منبع: محاسبات محقق

در نمودار (۱۰) مقدار تحقق یافته تقاضای برق خانگی استان تهران برای دوره زمانی قبل از ۱۴۰۲ و مقدار پیش بینی شده آن برای بازه زمانی۱۰ ساله یعنی ۱۴۰۲

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

تا ۱۴۱۲ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که اگر رفتار مصرفی در بخش خانگی همانند گذشته باشد در این صورت تقاضای برق در بخش خانگی استان تهران از ۱۳,۷ میلیون مگاوات ساعت در سال ۱۴۰۲ به ۱۹,۷ میلیون مگاوات ساعت در سال ۱۴۱۲ افزایش خواهد یافت. در این نمودار منحنی به رنگ آبی مقادیر واقعی تقاضای برق را تا سال ۱۴۰۲ و مقادیر پیش بینی شده آن را برای دوره (۱۴۱۲-۱۴۰۲) نشان می‌دهد. منحنی‌های به رنگ نارنجی و سبز به ترتیب مقادیر بلندمدت و کوتاه مدت (چرخه ای) تقاضای برق را نشان می‌دهد. رفتار بلندمدت تقاضای برق تمایل به افزایش تقاضای برق در بخش خانگی استان تهران را نشان می‌دهد. رفتار کوتاه مدت نوسانات تقاضای برق به دلیل برخی سیاست‌های گذرا و مقطعی نشان می‌دهد. در جایی که مقادیر چرخه‌ای منفی هستند کمتر بودن تقاضای برق را از مقدار بلندمدت آن مسان می‌دهد و در جاهایی مقادیر چرخه‌ای مثبت هستند بیانگر بیشتر بودن تقاضا از مقدار بلندمدت آن است.

۵- نتیجه‌گیری

در بخش مروری بر ادبیات بیان شد که چهار روش برای استخراج تابع تقاضا وجود دارد. این چهار روش شامل؛ حداکثرسازی تابع مطلوبیت مستقیم با توجه به محدودیت بودجه، استفاده از اتحاد روی، استفاده از لم شفارد و رهیافت دیفرانسیلی بود. در این مقاله برای مدل سازی و استخراج تابع تقاضای برق بخش خانگی استان تهران از رویکرد حداکثر سازی دو مرحله‌ای تابع مطلوبیت مستقیم با توجه به محدودیت بودجه در هر مرحله استفاده شد. همچنین در بخش ادبیات نظری تاکید بر نقش عوامل غیرقابل مشاهده اثر گذار بر تقاضای برق شد. در ادبیات اقتصادی از این عوامل غیرقابل مشاهده به عنوان روند ضمنی یاد می‌شود. لذا برای لحاظ کردن نقش روند ضمنی در تابع تقاضای برق برای برآورد از روش اقتصادسنجی سری زمانی ساختاری استفاده شد. هدف از برآورد تابع تقاضا به دست آوردن کشش قیمتی و درآمدی تقاضای برق خانگی در استان تهران بوده است.

نتایج نشان‌دهنده؛ بی‌کشش بودن تقاضای برق نسبت به قیمت (کشش خود قیمتی برق در کوتاه‌مدت و بلندمدت به ترتیب ۰,۰۲۹- و ۰,۳۹- است. این ارقام حاکی از آن است که تقاضای برق به تغییرات قیمت واکنش اندکی نشان می‌دهد، به ویژه در

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

کوتاه‌مدت که وابستگی خانوارها به برق بیشتر محسوس است)، کشش درآمدی مثبت (کشش درآمدی تقاضای برق در کوتاه‌مدت و بلندمدت به ترتیب ۰,۳۸ و ۰,۵ است که بیانگر ماهیت ضروری بودن برق در سبد مصرفی خانوارها است. افزایش درآمد خانوارها به افزایش تقاضای برق به میزان کمتری منجر می‌شود)، نقش گاز طبیعی به عنوان کالای جانشین (گاز طبیعی نقش جانشینی برای برق ایفا می‌کند، اما کشش قیمتی متقاطع پایین (۰,۲۹ در کوتاه‌مدت و ۰,۳۸ در بلندمدت) نشان‌دهنده درجه پایین جانشینی بین این دو حامل انرژی است)، اثر تعداد مشترکین (نتایج نشان می‌دهد که تقاضای برق نسبت به تعداد مشترکین حساسیت بالایی دارد (کشش ۱,۰۴ در کوتاه‌مدت و ۱,۳۶ در بلندمدت)، و افزایش تعداد مشترکین می‌تواند منجر به افزایش تقاضای برق شود)، روند ضمنی تقاضا (روند ضمنی تقاضای برق، که شامل عوامل غیرقابل مشاهده مانند پیشرفت تکنولوژی، تغییرات جمعیتی و ترجیحات مصرف‌کنندگان است، نشان می‌دهد که این عوامل تأثیر قابل توجهی بر تقاضای برق دارند. اصلاح قیمت‌ها تنها توانسته اثر کوتاه‌مدت ایجاد کند و روند تقاضا به‌طور کلی تحت تأثیر باقی مانده است) و نتایج اصلاح قیمت برق (تحلیل‌ها حاکی از آن است که اصلاحات قیمتی اگرچه منجر به کاهش محدود تقاضا شده، اما اثرات آن پایدار نبوده و نتوانسته به کاهش قابل توجهی در ناترازی شبکه برق منجر شود) بوده است.

با توجه به یافته‌های این مقاله برای مدیریت تقاضای برق بخش خانگی استان تهران پیشنهاد می‌شود که به راهکارهای غیرقیمتی تاکید شود. از جمله این راهکارها ارتقای بهره وری انرژی از طریق ایجاد مشوق هایی برای خرید وسایل برقی با بازده انرژی بالاتر است. حمایت مالی برای جایگزینی تجهیزات الکتریکی با تکنولوژی قدیمی و فرسوده منجر به افزایش بهره وری مصرف انرژی می‌شود. اجبار کردن رعایت استانداردهای بهره وری انرژی در تولید و واردات وسایل برقی به مدیریت تقاضای برق خانگی کمک می‌کند. از راهکارهای غیرقیمتی دیگر می‌توان به سرمایه گذاری در توسعه زیرساخت‌های انرژی‌های تجدید پذیر از جمله انرژی‌های خورشیدی و بادی به عنوان مکمل هایی برای تامین برق بخش خانگی اشاره کرد. ارتقای فناوری‌های مدیریت شبکه برای کاهش تلفات انرژی و افزایش کارایی توزیع از دیگر راهکارهای غیرقیمتی است.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

در خصوص راهکارهای قیمتی جهت مدیریت تقاضای برق بخش خانگی می‌توان به طراحی تعرفه‌های پلکانی مبتنی بر میزان مصرف به گونه‌ای که مصرف‌کنندگان پرمصرف هزینه بیشتری پرداخت کنند، اشاره کرد. بازبینی ساختار یارانه‌ها در جهت کاهش یارانه‌های انرژی برای مصرف‌کنندگان پرمصرف، در عین حال حمایت از اقشار کم‌درآمد صورت گیرد. تغییر سیاست‌های قیمت‌گذاری برق به طوری که از رویکرد دستوری به سمت قیمت‌گذاری بر مبنای هزینه واقعی تولید و توزیع برق باشد. البته باید توجه کرد که هزینه‌های ناشی از مدیریت ناکارا، تکنولوژی‌های تولید و توزیع ناکارامد و قدیمی جزء هزینه‌های تولید و توزیع برق به حساب نیاید.

به طور کلی با توجه به ماهیت بی‌کشش تقاضای برق نسبت به قیمت و اهمیت عوامل غیرقیمتی ضروری است سیاست‌گذاری‌ها در این بخش از رویکردهای جامع و چندبُعدی پیروی کند. اتخاذ راهکارهای ترکیبی قیمتی و غیرقیمتی همراه با توسعه زیرساخت‌ها و ارتقای بهره‌وری انرژی، می‌تواند به‌طور موثری در کاهش ناترازی شبکه برق و بهبود مصرف انرژی در بخش خانگی استان تهران نقش‌آفرین باشد.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

منابع

- ۵۶ سال صنعت برق ایران در آئینه آمار (۱۴۰۱-۱۳۴۶)، دفتر فنآوری اطلاعات آمار و امنیت فضای مجازی، شرکت مادر تخصصی توانیر (۱۴۰۲).
- امامی میبدی، علی، محمدی، تیمور، سلطان‌العلمایی، سید محمدهادی (۱۳۸۹)، برآورد تابع تقاضای گاز طبیعی با استفاده از روش فیلتر کالمن (مطالعه موردی: تقاضای بخش خانگی در شهر تهران)، فصلنامه اقتصاد مقداری، سال ۷، شماره ۳، صص ۴۱-۲۳.
- امیرمعینی، مهران (۱۳۹۴)، اندازه گیری اثر عوامل برونزای غیراقتصادی بر تقاضای انرژی بخش صنعت ایران، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال ۱۰، شماره ۴۵، صص۱۱۲-۸۳.
- چیت نیس، مونا (۱۳۸۴)، برآورد کشش قیمتی تقاضای بنزین با استفاده از مدل سری زمانی ساختاری و مفهوم روند ضمنی، فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی، سال ۵، شماره ۳.
- خیابانی، ناصر، توسلی، سلاله (۱۳۹۹)، مروری بر مدلسازی نقاضای انرژی، فصلنامه برنامه و بودجه، سال ۲۵، شماره ۳، ۹۳-۶۵.
- سالنامه آماری استان تهران، سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان تهران، معاونت فنآوری و اطلاعات سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۲.
- سرشماری عمومی نفوس و مسکن ۱۳۹۵، مرکز امار ایران، ۱۴۰۲.
- شاکری، عباس، محمدی، تیمور، جهانگرد، اسفندیار، موسوی، میرحسین (۱۳۸۹)، تخمین مدل ساختاری تقاضای بنزین و نفت و گاز در بخش حمل و نقل ایران، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال۷، شماره ۲۵، صص ۳۱-۱.
- کشاورز حداد، غلامرضا (۱۳۹۵)، اقتصاد خرد میانه: همراه با مسائل حل شده، نشر نی.
- لطفعلی پور، محمد رضا، فلاحی، محمدعلی، ناظمی معزآبادی، سیما (۱۳۹۴)، برآورد توابع تقاضای برق در بخش‌های خانگی و صنعتی ایران با به کارگیری الگوی سری زمانی ساختاری، سال ۴، شماره ۱۳، صص ۲۰۸-۱۸۷.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

- محمدی، تیمور، خرسندی، مرتضی، امیرمعینی، مهران (۱۳۹۳)، مدل سازی تقاضای برق در بخش صنعت ایران رویکرد مدل سری زمانی ساختاری، فصلنامه مدلسازی اقتصادی، شماره ۱۸، صص ۱۱۴-۸۸.
- منظور، داوود، جدیدزاده، علی، شاهمرادی، اصغر (۱۳۸۶)، مدل سازی تقاضای انرژی خانگی در ایران: رویکرد تابع تقاضای انعطاف پذیر تقریبا ایده آل، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال ۶، شماره ۲۲، صص ۹۱-۷۱.
- موسوی، میرحسین، جلال، دهنوی، شاطری، الهه (۱۴۰۰)، مدل سازی تقاضای کل برق: رویکرد اقتصادسنجی پانل فضایی، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال ۱۷، شماره ۶۸، صص ۲۳-۱.
- Ahmadian, M, Chitnis, M and Lester C Hunt (2007), "Gasoline Demand, Pricing Policy and Social Welfare in Iran" SEEDS, Discussion Paper Series. NO.117
- Ahmed, N., Nisar, U., 2019. Electricity demand in Pakistan: A household analysis. J. Econ. Impact 1, 34–39.
- Akil, Y.S., Mangngenre, S., Amar, K., Pachri, H., 2020. Urban household electricity consumption: A study of providing information for energy policy planning. Int. J. Renew. Energy Res. 10, 1194–1200.
- Ali, S.S.S., Razman, M.R., Awang, A., Asyraf, M.R.M., Ishak, M.R., Ilyas, R.A., Lawrence, R.J., 2021. Critical determinants of household electricity consumption in a rapidly growing city. Sustainability 13, 4441.
- Altinay, G., & Yalta, A. T. (2016). Estimating the Evolution of Elasticities of Natural Gas Demand: The Case of Istanbul, Turkey. Empirical Economics, 51(1), 201-220.
- Armstrong, JS (2001), "Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners", Norwell, MA: Kluwer Academic.
- Bhattacharyya, S.C.; Timilsina, G.R. Energy Demand Models for Policy Formulation: A Comparative Study of Energy Demand Models; Policy Research Working Papers; The World Bank: Washington, DC, USA, 2009.
- Bölük, G., & Koç, A. A. (2010). Electricity Demand of Manufacturing Sector in Turkey: A Translog Cost Approach. Energy Economics, 32(3), 609-615 .

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

- Chitnis, M and L.Hunt (2004) The Effect of Energy Pricing Policy on Social Welfare in Iran; IAEE International Conference proceedings: Critical Infrastructure in the Energy Sector, Prague, Czech Republic.
- Dagher, L. (2012). Natural Gas Demand at the Utility Level: An Application of Dynamic Elasticities. Energy Economics, 34(4), 961-969
- Debnath, K.B.; Mourshed, M. Forecasting Methods in Energy Planning Models. Renew. Sustain. Energy Rev. 2018, 88, 297–325.
- Dimitropoulos, J.; Hunt, L. C. and Judge, G. (2005), Estimating Underlying Energy Demand Trends using UK annual data, Applied Economics, 12: 239-244.
- Hall, V. B. (1986). Major OECD Country Industrial Sector Interfuel Substitution Estimates, 1960–1979. Energy Economics, 8(2), 74-89
- Harvey, A. C. (1989) Forecasting, Structural Time Series Models and the Kalman Filter; Cambridge University Press, Cambridge.
- Harvey, A. C. and Koopman, S. J. (1992), Diagnostic Checking of Unobserved-Components Time Series Models; Journal of Business and Economic Statistics, 10, p.p. 377-389.
- Harvey, A. C. and Koopman, S. J. (1993), Forecasting Hourly Electricity Demand Using Time Varying Splines, Journal of American Statistical Association 88-424: 1228-1236.
- Harvey, A. C. and Shephard, N. (1993), Structural Time Series Models, In: Maddala.G.S.; Rao.C.R.; Vinod.H.D.(Eds), Handbook of Statistics, Vol. 11 North Holland: Amsterdam: 261-302.
- Harvey, A. C.; Koopman, S. J. and Shephard, N. (2005), State Space and Unobserved Component Models: Theory and Applications, Cambridge University Press: Cambridge, UK
- He, Y., & Lin, B. (2019). Heterogeneity and Asymmetric Effects in Energy Resources Allocation of the Manufacturing Sectors in China. Energy, 170(1), 1019-1035.
- Hong, T.; Fan, S. Probabilistic Electric Load Forecasting: A Tutorial Review. Int. J. Forecast. 2016, 32, 914–938 .
- Hunt, L. C. and Y. Ninomiya (2003) Unravelling Trends and Seasonality: A Structural Time Series Analysis of Transport Oil Demand in the UK and Japan; The Energy Journal, 24 (3), p.p. 63-96. 11 .

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

- Hunt, L.C, Judge, G. and Y. Ninomiya (2000), Modelling Technical Progress: An Application of the Stochastic Trend Model to UK Energy Demand; Surrey Energy Economics Discussion Paper, No.99, Surrey Energy Economics Centre (SEEC), Department of Economics, University of Surrey, Guildford, UK.
- Hunt, L.C. and G. Judge and Y. Ninomiya (2003a) Modelling Underlying Energy Demand Trends; Chapter in Hunt, L.C. (Ed), Energy in a Competitive Markets: Essays in Honour of Colin Robinson, Cheltenham, UK: Edward Elgar.
- Hunt, L.C. and G. Judge and Y. Ninomiya (2003b) Underlying Trends and Seasonality in UK Energy Demand: A Sectoral Analysis; Energy Economics, 25, p.p. 93-118.
- karimi, M. S., Doostkouei, S. G., Naysary, B., & Mousavi, M. H. (2024). Estimating hydrogen demand function: A structural time series model. Journal of Cleaner Production, 455, 142331 .
- Koomey, J. G. (2002), "From My Perspective: Avoiding "The Big Mistake" in Forecasting Technology Adoption, Technological Forecasting and Social Change, 69, pp. 511-18.
- Koopman S.J., A.C Harvey, J.A. Doornik and N. Shephard (2000), Stamp: Structural Time Series Analyser, Modeller and Predictor, London:Timberlake Consultants Press.
- Kuster, C.; Rezgui, Y.; Mourshed, M. Electrical Load Forecasting Models: A Critical Systematic Review. Sustain. Cities Soc. 2017, 35, 257–270.
- Laitner, J.A., S. J. DeCanio, J. G. Coomey and A. H. Sanstand (2003), Room for Improvement: Increasing The Value of Energy Modeling for Policy Analysis, Utilities Policy, 11, pp. 87-94.
- Liddle, B., & Huntington, H. (2020). Revisiting the Income Elasticity of Energy Consumption: A Heterogeneous, Common Factor, Dynamic OECD & Non-OECD Country Panel Analysis. The Energy Journal, 41(3), 207- 229 .
- Mousavi, M. H., Pedram, M., & Kalmarzi, H. S. (2014). An estimation of natural gas demand in household sector of Iran: The structural time series approach. Journal of Applied Sciences & Agriculture, 9(1), 130-138.
- Mubiinzi, G., Senyonga, L., Kaawaase, T. K., Wasswa, F., Adaramola, M. S., & Nantongo, M. (2024). Income and price elasticities of household

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]

electricity demand: A comparative systematic review of aggregated and disaggregated data studies. Energy Reports, 12, 4449–4465.

- Munasinghe, M, & Schramm, G (1983). Energy economics, demand management, and conservation policy, Van Nostrand Reinhold Co. New York, NY. https://www.osti.gov/biblio/6832377.
- Ofetotse, E.L., Essah, E.A., Yao, R., 2021. Evaluating the determinants of household electricity consumption using cluster analysis. J. Build. Eng. 43, 102487.
- Riva, F.; Tognollo, A.; Gardumi, F.; Colombo, E. Long-Term Energy Planning and Demand Forecast in Remote Areas of Developing Countries: Classification of Case Studies and Insights from a Modelling Perspective. Energy Strategy Rev. 2018, 20,71–89.
- Singh, J.P., Alam, O., Yassine, A., 2022. Influence of geodemographic factors on electricity consumption and forecasting models. IEEE Access 10, 70456–70466.
- Taghvaee, V.M., Arani, A.A., Soretz, S., Agheli, L., 2022. Comparing energy efficiency and price policy from a sustainable development perspective: Using fossil fuel demand elasticities in Iran. MRS Energy Sustain. 9, 480–493.
- Taghvaee, V.M., Arani, A.A., Soretz, S., Agheli, L., 2023. Diesel demand elasticities and sustainable development pillars of economy, environment and social (health): comparing two strategies of subsidy removal and energy efficiency. Environ. Dev. Sustain 25, 2285–2315.
- Verwiebe, P.A.; Seim, S.; Burges, S.; Schulz, L.; Müller- Kirchenbauer, J. (2021), Modeling Energy Demand:A Systematic Literature Review. Energies, 14, 7859 .
- Viswanathan, V., Mongird, K., Franks, R., Li, X., Sprenkle, V., & Baxter, R. (2022). Grid energy storage technology cost and performance assessment. U.S. Department of Energy .
- Wei, N.; Li, C.; Peng, X.; Zeng, F.; Lu, X. Conventional Models and Artificial Intelligence-Based Models for Energy Consumption Forecasting: A Review. J. Pet. Sci. Eng. 2019, 181, 106187.
- Weyman-Jones, T. (1986), The Economics of Energy Policy, England: Gower Publishing Company Limited.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-11-12]