نشریه علمی(فصلنامه) پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی
سال ششم/ شماره ۱۹/ تابستان ۱۳۹۹/ صفحات ۲۵۹ - ۲۲۹

تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های بار خانگی: مطالعه موردی استان تهران ۱۳۹۷-۱۳۸۵

زهرا سادات عادل برخوردار
استادیار دانشگاه شهید بهشتی (نویسنده مسئول)
z_adel@sbu.ac.ir
سمانه حبیب زاده
دانشجو دکتری دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، ایران
samane.habibzade@ut.ac.ir

در تحقیق حاضر به‌دلیل هزینه بالای به‌کارگیری اندازه‌گیری هوشمند در سطح کلان برای مشخص شدن توان مصرفی مشترکین، تفکیک مؤلفه‌های بار در بخش خانگی برای داده‌های بار تهران به منظور شناخت الگوی مصرف مشترکین خانگی و پتانسیل صرفه جویی انرژی در این بخش صورت گرفته است. طرح حاضر به شناسایی رفتار خانوار در زمان‌های کم باری، میان باری و اوج بار در طی سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۹۷ می‌پردازد. بدین منظور داده‌های ساعتی بار تجزیه شده و مؤلفه‌های تشکیل دهنده آن به کمک مدل بهینه‌سازی تخمین زده شده‌اند. تجزیه به‌نحوی صورت-گرفته‌است که داده‌های توان با داده‌های مصرف انرژی دوره‌ای برای تمامی بخش‌های مصرف‌کننده برق همخوانی داشته‌باشند. با مشخص شدن متوسط توان و الگوی مصرف مصارف نهایی در بخش خانگی وضعیت مصرف انرژی و توان را در مصارف نهایی منتخب ارزیابی شده‌است. نتایج نشان می‌دهد در بازه زمانی مورد بررسی توان یخچال فریزر و همچنین روشنایی به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است. در بخش روشنایی، مصرف یک خانوار در ساعات اوج مصرف بهار (حدود ساعت ۲۱) از حدود ۳۰۰ وات در سال ۱۳۸۵ به حدود ۱۳۰ وات در سال ۱۳۹۷ رسیده است. با وجود کاهش ۱۰۰ کیلووات ساعت در سال طی سال‌های مورد بررسی، پتانسیل کاهش مصرف یخچال‌فریزر بیش از ۲۵۰ کیلووات‌ساعت در سال به‌ازای یک خانوار است. بررسی منحنی بار مصرف نیز نشان می‌دهد علیرغم نفوذ تجهیزات مصرف کننده برق در بخش خانگی، توان روزانه یک خانوار در بار معیار در طی این بازه کاهش داشته که به دلیل بهبود بازده بخش روشنایی بوده‌است.

واژگان کلیدی: پتانسیل کاهش مصرف، بهبود بازده، روشنایی، بار معیار، مؤلفه‌های بار

تاریخ دریافت: ۱۹/ ۴ / ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: ۱۸/ ۶/ ۱۳۹۹

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

۱. مقدمه

در میان حامل‌های انرژی، برق به دلیل داشتن مزایای زیاد و تقاضای روزافزون نسبت به سایر منابع انرژی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تلاش‌های بسیاری به منظور کاهش مصرف انرژی الکتریکی یا وابستگی به آن صورت گرفته است ولی همچنان میزان تقاضا و مصرف روزبه روز بیشتر می‌شود (رنگریز و پشتونی زاده، ۱۳۹۳) . با افزایش روزافزون استفاده از لوازم الکتریکی خانگی سهم قابل توجه‌ای از مصارف برق به این بخش اختصاص یافته است. همچنین این بخش، قسمت عمده‌ای از یارانه برق را به خود اختصاص داده است. در سال‌های اخیر نیز دولت با پیشنهاد راهکارهایی نظیر هدفمندی یارانه‌ها به دنبال کاهش مصرف برق در این بخش بوده است (پورکاظمی و آقایی فر، ۱۳۹۴؛ جلالی و جعفری، ۱۳۹۲).

طبق آمار ترازنامه هیدروکربوری مصرف انرژی الکتریکی در بخش خانگی طی سال‌های اخیر روند صعودی داشته است. طبق آمارها مصرف برق در بخش خانگی در سال ۱۳۸۵، ۴۸۰۸۵ گیگاوات ساعت و در سال ۱۳۹۵، ۷۸۳۷۸ گیگاوات ساعت بوده است که نشان می‌دهد طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ ، ۶۳٪ رشد مصرف برق در بخش خانگی وجود داشته است. همچنین مصرف سرانه برق در بخش خانگی در سال ۱۳۸۵، ۲/۷۴ مگاوات ساعت به ازای هر خانوار و در سال ۱۳۹۵، ۳/۲۴ مگاوات ساعت به ازای هر خانوار می‌باشد که معادل افزایش ۱۸٪ مصرف سرانه برق در بخش خانگی است. با توجه به رشد روزافزودن مصرف برق در بخش خانگی، نهادینه شدن مدیریت مصرف در این بخش کمک فراوانی به اقتصاد ملی، صنعت برق و اقتصاد خانواده می‌کند (ترازنامه هیدروکربوری کشور، ۱۳۹۶). مدیریت مصرف برق شامل مجموعه‌ای از فعالیت‌های به‌هم‌پیوسته بین صنعت برق و مشترکین به منظور تعدیل بار مصرفی مشترکین جهت رسیدن به مطلوبیت یکسان در مصرف با کارایی بیشتر و هزینه کمتر می‌باشد. با اجرای مدیریت مصرف برق هم عرضه‌کنندگان و هم مصرف‌کنندگان به سود بیشتری دست می‌یابند. مدیریت مصرف سعی بر رساندن مصرف به معقول‌ترین حد مورد نیاز برای رفع نیاز واقعی دارد به‌طوری‌که

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

مصرف به سطح پایین‌تر از نیاز واقعی نرسد و اختلال در روند توسعه اقتصادی یا رفاه اجتماعی رخ ندهد (بالغ غازانی، ۱۳۸۸).

برنامه‌های مدیریت بار به دو دسته کلی بهره‌وری انرژی[1] و پاسخگویی بار[2] تقسیم‌بندی می‌شوند. بهره‌وری انرژی بر کاهش عمومی بار با تشویق به استفاده از فناوری‌ها و دستگاه‌های پربازده‌تر متمرکز است. استفاده از لامپ‌های کم مصرف به جای لامپ‌های رشته‌ای نمونه‌ای از روش بهره‌وری انرژی است. پاسخگویی بار نیز بر کاهش مصرف انرژی در زمان پیک متمرکز است. پاسخگویی بار شامل تغییر مصرف برق توسط مصرف‌کننده‌های نهایی نسبت به میزان الگوی مصرف معمول آنها در پاسخ به یکی از شرایط تغییر قیمت برق در زمان‌های مختلف، پرداخت‌های تشویقی جهت ایجاد انگیزه برای مصرف کمتر در زمان‌های قیمت بالای بازار برق و به خطر افتادن پایایی سیستم می‌باشد (فتوحی فیروزآبادی، ۱۳۹۴).

تصمیم برای اعمال راهکار مدیریت برق در درجه اول نیازمند شناخت وضعیت فعلی و پتانسیل‌های ممکن برای کاهش مصرف برق است. از این رو تحقیق حاضر با هدف ارائه راهکارهای مدیریت انرژی، به تجزیه داده‌های بار و تفکیک مؤلفه‌های آن پرداخته است.

در مطالعه حاضر تجزیه بار ساعتی از شبکه توزیع و محاسبات مصرف تجهیزات مصرف‌کننده برق که مبتنی بر آمار دسترسی به تجهیزات و توان و ساعات استفاده است برای استان تهران و به‌منظور شناخت رفتار متوسط مشترکین خانگی این استان صورت گرفته‌است. طرح حاضر برای تجزیه بار از الگوی تفکیک بر مبنای الگوی شناخته شده رفتاری استفاده می‌کند و سعی در بهبود مطالعات پیشین از جنبه‌های متعددی داشته است که در اینجا به آن اشاره می‌شود. بار معیار پایین و بهار (زمانی‌که بار سرمایشی و گرمایشی کمترین مقدار را داراست) و همچنین بار سرمایشی و گرمایشی از تفکیک م>لفه‌های بار کل برای کل سال و برای سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۷ به‌دست

1. Energy efficiency
2. Demand response

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

آمده است که نتایج مربوط به بار معیار در مقاله حاضر بیان می‌گردد. بر خلاف تمامی مطالعات پیشین که تجزیه بار انجام شده را با داده‌های مصرف ماهانه و ترازنامه انرژی مطابقت نمی‌دادند طرح حاضر تفکیک مؤلفه‌های بار را برای هر سال به نحوی انجام داده است که با داده‌های انرژی مصرفی ترازنامه و آمار قرائت کنتور همخوانی داشته باشد. تفکیک مؤلفه‌های بار حتی برای بار پایه نیز صورت پذیرفته‌است. به این ترتیب سهم بخش‌های مختلف مصرف‌کننده مانند صنعت و خانگی از بار معیار بهار و پاییز و سرمایش محاسبه شده است. تا حد امکان از پیش‌فرض‌های عددی ساده‌ساز اجتناب شده است. از آمارهای کمکی برای افزایش دقت تفکیک مؤلفه‌های بار استفاده شده است. برای به دست آوردن تقریب مناسبی از الگوی مصرف خانوار در سال‌های متفاوت، سه منبع اصلی آمارگیری‌های مرکز آمار ایران، آمارهای ساعت به ساعت بار و داده‌های قرائت کنتور زیربخش‌های مصرف‌کننده نهایی در دسترس است که طرح حاضر سعی در استفاده از اطلاعات موجود هر سه منبع نموده‌است.

به کمک منحنی بار بخش خانگی در سال‌های مختلف می‌توان روند تغییرات انرژی مصرفی در یک ساعت را برای بخش خانگی و به تفکیک برخی مصارف نهایی مانند روشنایی را بررسی کرد و بر طبق آن تاثیر راهکارهای مدیریت انرژی در گذشته را بر کاهش توان بخش خانگی ارزیابی نمود.

۲. پیشینه تحقیق

بررسی الگوی مصرف ساعتی برق از حیث شناسایی رفتار خانوار در زمان‌های کم باری، میان باری و اوج بار حایز اهمیت است. داده‌هایی که نشان‌دهنده مصرف برق خانوار باشند به صورت انرژی و کمترین بازه زمانی منعکس شده در آن ماه می‌باشد. این داده‌ها که به عنوان داده‌های قرائت کنتور شناخته می‌شوند می‌توانند در تفکیک الگوی مصرف خانوار در فصول مختلف سال کمک کننده باشند لکن اطلاعی از توان مصرفی ارائه نمی‌دهند.

استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری هوشمند در مشخص شدن توان مصرفی مشترکین می‌تواند بسیار مفید باشد. مطالعات بسیاری در سطح جهانی برای شناخت الگوی مصرفی خانوارها با استفاده

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

از داده‌های اندازه‌گیری هوشمند توسعه داده شده است که از بین آن‌ها می‌توان به مطالعه لایکین[1] و همکاران (۲۰۱) اشاره نمود که بر اساس داده‌های اندازه‌گیری هوشمند مدلی برای کاهش بار در ساعات پیک مصرف ارائه کرده‌اند. گرچه اطلاعات به‌دست آمده از اندازه‌گیری هوشمند ارزشمند و برای انجام مطالعات بار سودمند می‌باشد لیکن به دلیل هزینه بالا هنوز در شبکه‌های توزیع به صورت گسترده مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. بنابراین تنها در سیستم‌های فوق توزیع اطلاعات ساعتی بار ذخیره‌سازی می‌گردد. لکن این داده‌ها از بخش عرضه‌کننده برق به‌دست می‌آیند و لذا آمار توان مصرفی تمامی مصارف نهایی در آنها مستتر است. برای شناسایی مصرف بخش خانگی می‌توان از داده‌های شبکه توزیع کمک گرفت. چالش اساسی، ترکیب داده مصرف انواع مصرف کنندگان نهایی در داده‌های بار موجود در شبکه توزیع است. لذا می‌بیست داده‌های بار تجزیه شده و مؤلفه‌های تشکیل دهنده بار ساعتی مورد بررسی و تخمین قرار گیرند.

به این منظور تجزیه بار به عنوان زیرمجموعه‌ای از تکنیک تجزیه سیگنال می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد که هدف آن استخراج سیگنال‌های منابع مستقل از یک سیگنال مختلط است. به علت عدم وجود اطلاع از سیگنال‌های تشکیل دهنده یک سیگنال نهایی، به این روش جداسازی کور منابع نیز گفته می‌شود (کروگر[2] و همکاران، ۲۰۱۳). جداسازی منابع در علوم مختلف کاربردهای فراوانی دارد به‌خصوص زمانی که اطلاعاتی چندانی از سیگنال‌های تشکیل دهنده سیگنال مشاهده شده نهایی وجود نداشته باشد (آیون[3] و همکاران، ۲۰۱۵). لیکن این روش غالباً به دلیل فروضی که برای تجزیه سیگنال اعمال می‌کند، در بحث تجزیه بار چندان مورد توجه قرار نگرفته است.

مطالعات اندکی در زمینه جداسازی کور منابع وجود دارند. یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای جداسازی کور منابع، روش آنالیز مؤلفه مستقل است که در زمینه تجزیه بار نیز معدود مطالعاتی به

1. Laicane
2. Kruger
3. Ayon

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

کمک آن انجام گرفته است. فرض قوی در این روش برای تجزیه سیگنال این است که مؤلفه‌های مستقل ازنظر آماری مستقل از یکدیگر و دارای توزیع غیر گاوسی هستند. بیشتر این مطالعات به تجزیه بار (جریان) چند خانوار برای دسترسی به اطلاعات توان مصرفی تجهیزات به‌کار گرفته شده توسط این خانوارها پرداخته‌اند.

ببریک[1] و ایریمیا (۲۰۱۹) از روش آنالیز مؤلفه‌های مستقل برای تجزیه بار شبکه‌ای که چهار خانوار را تغذیه می‌کرد استفاده کرده‌اند. فرض قوی در کار ایشان استقلال خانوارها در به‌کارگیری تجهیزات و الگوی مصرف ایشان بوده‌است. در پژوهشی مشابه، تانیگوچی[2] (۲۰۱۳) از اطلاعات نیم ساعته بار باس تغذیه کننده ۷ خانوار استفاده کرده و با فرض استقلال رفتار خانوارها، بار هر خانوار را برای دو ماه ژوئیه و اوت به‌دست آورده‌اند.

ژو و لو[3] (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای اقدام به تجزیه بار یک پست توزیع در یک منطقه کوچک نمودند. با توجه به کوچک بودن منطقه نوع مصارف تنها خانگی و تجاری در نظر گرفته شده و بازه زمانی مورد بررسی دو ماه بوده است. آنها برای تجزیه بار برای مدت دو ماه اقدام به استفاده از چند روش متفاوت برای تجزیه بار نموده‌اند که شامل روش آنالیز مؤلفه‌های مستقل و تجزیه و تحلیل موجک[4] می‌شود و با توجه به بار محاسباتی بالا، برای تعداد روزهای نسبتا کم انجام‌پذیر بوده است.

از معدود مطالعاتی که به جداسازی مؤلفه‌های بار پست‌های فوق توزیع –جایی که اطلاعات ساعتی بار ذخیره می‌شود– می‌توان به مطالعه کریمی‌پور و عسگری‌مقدم (۱۳۹۶) اشاره کرد. در این مطالعه برای جداسازی مؤلفه‌های بار در پست‌های فوق توزیع برق از تکنیک تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های مستقل[5] که هدفش تجزیه یک سیگنال به سیگنال‌های از هم مستقل است، استفاده

1. Bobrick and Irimia
2. Taniguchi
3. Zhu & Lu
4. Wavelet analysis
5. Independent Component Analysis (ICA)

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

کرده‌اند. تفکیک مؤلفه‌های بار به کمک تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های مستقل نیاز به منابع مستقل و غیرگوسی دارد. آن‌ها تغییرات ساعت به ساعت را تغییرات آهسته و غیرمستقل و تغییرات لحظه‌ای توان را تغییرات سریع (دقیقه‌ای یا ثانیه‌ای)، تصادفی و مستقل دانسته و به تفکیک مؤلفه‌های بار مستقل پرداخته‌اند. سپس با توجه به فرض یکسان بودن الگوی بار در مؤلفه‌های سریع و آهسته، نتایج تفکیک مؤلفه‌های بار در تغییرات تصادفی را به تغییرات آهسته ساعت به ساعت تعمیم داده‌اند. برای اجرای پیشنهاد خود از داده‌های موجود در نرم‌افزار پاور فاکتوری[1] استفاده کرده‌اند. این روش در صورت نبود اطلاعات ثانیه‌ای یا دقیقه‌ای توان قابل استفاده برای داده‌های ساعت به ساعت انرژی مصرفی در پست‌های فوق توزیع نیست. از طرفی بازه زمانی بررسی به کمک این روش محدود خواهد بود.

با توجه به محدودیت‌هایی از قبیل استقلال بین منابع، استفاده از روش‌های خلاقانه برای تجزیه بار مورد توجه است. به عنوان نمونه شایگان و همکاران (۱۳۹۴) به کمک آنالیز اجزای اصلی که یکی از تکنیک‌های داده‌کاوی است، اقدام به شناسایی مؤلفه‌های بار بر اساس داده‌های ساعتی یک ماه در ۳ فیدر خانگی، تجاری و اداری اهواز در سال ۱۳۹۲ نمودند. در این روش به کمک تکنیک‌های خوشه‌بندی الگوی هر سه دسته مشترکین شناسایی شده و ادعا شده‌است که درصورتی‌که کل بار فیدرهای یک پست فوق توزیع در اختیار باشد می‌توان با تفکیک مؤلفه‌ها، سهم مؤلفه‌های خانگی، اداری و تجاری در یک پست فوق توزیع را به‌دست آورد.

دسته‌ای دیگر از مقالات رویکرد تفکیک مؤلفه‌های بار را با رویکرد مفهومی و با توجه به پیش‌فرض‌های الگوی مصرفی مشترکین در روزهای مختلف سال انجام داده‌اند. در این رویکرد اطلاعات ساعتی بار دریافت و با توجه به فروض منطقی به اجزای تشکیل دهنده آن تقسیم می‌شود. اولین نمونه این روش در سال ۱۳۶۸ مطرح شد. در مطالعه مذکور (کاظمی آذربایجانی و مسعودی، ۱۳۶۸) با متوسط‌گیری از آمار ساعت به ساعت بار طی سال‌های ۱۳۵۲-۱۳۶۶ و حذف نویز، اقدام

1. Power Factory

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

به تفکیک مؤلفه‌های بار برای روزهای روزهای کاری، پنج‌شنبه و جمعه در بار معیار پاییز و بهار نموده‌اند. استفاده از پیش‌فرض‌های رفتاری ساده‌شونده موجب شده بود تمامی محاسبات در قالب یک فایل اکسل قابل پیاده‌سازی باشد.

در نمونه کار مشابه، سلیمیان و همکاران (۱۳۸۴) بار مصرفی مشترکان فیدرهای نمونه خانگی تحت پوشش شرکت برق منطقه‌ای یزد را به مؤلفه‌های تشکیل‌دهنده آن تفکیک و سهم هر یک از این مؤلفه‌ها را براورد کردند. گرچه فیدرهای خانگی تنها مورد بررسی بوده‌اند و در نتیجه سایر بارها مانند بار صنایع تفکیک نشده‌اند لیکن در طرح مذکور برای تعیین رفتار مصرف‌کنندگان و واقعی‌تر کردن مفروضات از پرسشنامه در هر بازه زمانی برای جداسازی مؤلفه‌های بار استفاده کردند و سپس میزان کارایی آن در تخمین پتانسیل کاهش مؤلفه‌های تشکیل‌دهنده بار مورد ارزیابی قراردادند. در پرسشنامه‌های مربوطه مواردی همچون امکانات و ظرفیت روشنایی، سرمایشی، گرمایشی، تعداد و زمان استفاده از انواع وسایل برقی خانگی در طی ۵ مقطع زمانی مورد سوال واقع شده که از این اطلاعات پرسشنامه‌ها و نمودارهای حاصل از آمار ثبات‌ها جهت تخمین مؤلفه‌های بار خانگی استفاده شده است. آن‌ها نهایتاً با تجزیه بار، پتانسیل کاهش مصرف انرژی الکتریکی را به‌دست آوردند.

در نمونه مطالعه دیگر قیومی و همکاران (۱۳۸۱) جهت مطالعه مؤلفه‌های بار استان‌ها، اطلاعات مورد نیاز را از دو طریق استفاده از بار ساعتی و مراجعه مستقیم حضوری و مصاحبه در استان‌های مختلف جمع‌آوری کردند. طبق بررسی آن‌ها پیک بار در هفته آخر فروردین و هفته آخر مهر اتفاق می‌افتد. مصارف انرژی بقیه روزهای سال نیز از روش تجزیه بار و با توجه به مقدار بار پایه و فرضیات منطقی به‌دست آمده است. در روش استفاده شده توسط آن‌ها سهم روشنایی، گرمایش و سرمایش به تفکیک روزهای وسط هفته، پنجشنبه یا جمعه تخمین زده شده است. مبنای کار آنها برای تجزیه بار آمارگیری و استفاده از فرضیات منطقی جهت تجزیه بار بوده است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

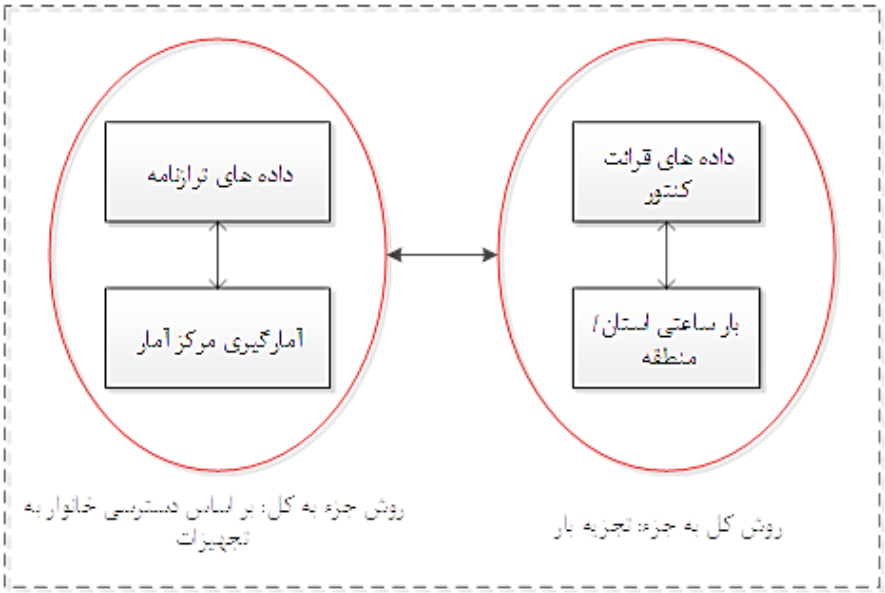
۳. روش استخراج منحنی بار خانگی

در این پژوهش برای به دست آوردن تقریب مناسبی از الگوی مصرف خانوارها در استان تهران در سال‌های متفاوت، سه منبع اصلی آمار و اطلاعات طی بازه زمانی ۱۳۸۵ الی ۱۳۹۷ در دسترس بوده است: ۱. آمارگیری‌های مرکز آمار ایران که شامل داده‌های مربوط به بخش تقاضا است. ۲. آمارهای شرکت مدیریت برق شبکه ایران که شامل آمار بارهای ساعتی است و مربوط به بخش عرضه است. ۳. داده‌های قرائت کنتور زیربخش‌های مصرف کننده نهایی.

روند کلی استخراج اطلاعات از سه منبع داده مذکور در شکل ۱ نشان داده شده است. در روش کل به جزء که همان تفکیک مؤلفه‌های بار است، از آمار بار ساعتی به همراه داده‌های قرائت کنتور استفاده می‌شود. در روش جزء به کل با استفاده از داده‌های مرکز آمار ایران، میزان سرانه مصرف برق به تفکیک تجهیزات (مثل یخچال) محاسبه می‌شود. با جمع این مقادیر، میزان مصرف در هر زیربخش (مثل سرمایش) به دست می‌آید و با جمع مصرف زیربخش‌ها، مقدار مصرف برق یک خانوار به صورت میانگین برای استان محاسبه شده و می‌توان مصرف برق کل خانوارها را محاسبه کرد.

در نهایت با توجه به نتایج حاصل شده از هر روش، تبادل اطلاعات بین دو فایل محاسباتی صورت می‌پذیرد و سعی می‌شود خطا با کاهش مفروضات به‌کار گرفته شده در هر روش، کاهش یابد. توضیح روش جزء به کل و جزء به کل در بخش‌های بعد ارائه خواهد شد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]



شکل ۱. ارتباط بین داده ها

۳-۱. روش جزء به کل

در این بخش برای محاسبه مصرف برق خانوار به تفکیک مصارف نهایی از میزان دسترسی خانوار به تجهیزات ($Avail_i$)، ساعت مصرف ($Hours_i$) و توان مصرفی ($Power_i$) هر یک از تجهیزات مطابق معادله (۱) برای محاسبه مقدار مصرف برق هر تجهیز استفاده شده است.

$$E_tec_i = Avail_i \times Power_i \times Hours_i \qquad (۱)$$

۳-۲. روش کل به جزء

بارهایی که توسط شرکت‌های برق تغذیه می‌شوند، ترکیب متنوعی از مصرف‌کنندگان مختلف را در برمی‌گیرند، که هر کدام انرژی الکتریکی را در جهت هدف خاصی نظیر گرمایش، سرمایش، روشنایی و یا به حرکت درآوردن ماشین‌های صنعتی و... مورد استفاده قرار می‌دهند. این بارها

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

تابعی از عوامل مختلف نظیر شرایط آب و هوایی، اوقات روز، شرایط و ساختار اقتصادی جامعه، تعرفه‌های برق و... می‌باشند. با شناخت کامل و تجزیه و تحلیل منحنی بار مشترکین می‌توان اطلاعات ارزشمندی در زمینه الگوی مصرف خانگی به‌دست آورد.

تغییر بار به صورت روزانه، هفتگی، فصلی و سالیانه صورت می‌پذیرد. در ایام مختلف هفته نیز به علت تعطیلی بعضی از فعالیت‌ها در برخی روزها (پنجشنبه و جمعه) تغییرات تناوبی در بار پدید می‌آید. از سوی دیگر تغییر دمای هوا و ساعت طلوع و غروب خورشید در طول سال موجب تغییر بار در ماه‌های مختلف سال می‌گردد. علاوه بر این بار ماه‌های گرم به علت مصارف سرمایشی و بار ماه‌های سرد به علت مصارف گرمایشی بیشتر از بار ماه‌های بهار و پاییز است و ساعات پیک شب نیز با تغییر ساعت غروب آفتاب در ماه‌های مختلف سال تغییر می‌کند. علاوه بر تغییرات فوق، بار به طور نرمال دارای یک رشد عادی است، که می‌تواند ناشی از افزایش جمعیت و رشد اقتصادی باشد. تغییرات دوره‌ای در طول یک سال و از بررسی داده‌های بار ساعتی سالانه مشخص می‌شوند. روند افزایش مصرف از مقایسه مصرف در سال‌های مختلف به‌دست می‌آید. تغییرات دوره‌ای روزانه از دسته‌بندی شبانه روز به بازه‌های ساعتی مشخص به‌دست می‌آید. مثلاً بازه زمانی ۳ الی ۵ صبح و یا ۱۷ الی ۱۹ عصر. تغییرات دوره‌ای هفتگی با توجه به الگوی مصرفی که در هفته‌ها به طور متناوب وجود دارد و از تقسیم روزهای هفته به ۴ دسته شنبه، روزهای کاری، ۵شنبه و جمعه به‌دست می‌آید. تغییرات دوره‌ای فصلی نیز به دلیل تغییر دما و نیاز خانوار به تأمین گرمایش/سرمایش به چهار دسته بار معیار بهار، بار گرمایشی، بار معیار پاییز و بار سرمایشی تقسیم‌بندی می‌شوند.

بار معیار زمانی است که مجموعه بار گرمایشی و سرمایشی شبکه کمترین میزان خود را دارا است. مقاطع فوق در بهار و پاییز قرار دارد. البته تاریخ دقیق آن می‌بایست با توجه به منحنی نیاز مصرف مشخص شود و این تاریخ در هر سال کمی متفاوت است. منحنی بار ایام فوق (بار معیار در بهار و پاییز) به عنوان منحنی‌های معیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای کاهش متغیرهای تخمین و برای انعکاس تغییرات دوره‌ای فصلی از چهار هفته نماینده در سال استفاده می‌شود: هفته

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

بار معیار بهار، هفته بار سرمایشی، هفته بار معیار پاییز و هفته بار گرمایشی. این هفته‌ها از متوسط‌گیری منحنی نیاز مصرف در تاریخ‌های مربوط به بار معیار، بار سرمایشی و بار گرمایشی محاسبه می‌شوند.

برای تجزیه مؤلفه‌های بار، از مدل بهینه‌سازی کمک گرفته شده است که طی آن منحنی نیاز مصرف به مؤلفه‌های تشکیل دهنده آن به نحوی تجزیه می‌شود که پس از لحاظ تلفات توزیع، مقدار کل مصرف در یک سال که از جمع مصارف ساعتی هر زیر بخش به‌دست می‌آید کمترین خطا را نسبت به آمار ترازنامه انرژی داشته باشد. تابع هدف مدل بهینه سازی در معادله (۲) نشان داده شده است.

$$Min\ Error_t = \sum \left(E_{Modelled_t^s} - E_{Balance_t^s}\right)^2 \qquad (۲)$$

که در آن:

$Error_t$: خطای برآورد مدل در دوره t

$E_{Modelled_t^s}$: مقدار انرژی الکتریکی برآورد شده در دوره t برای بخش مصرف‌کننده نهایی s

$E_{Balance_t^s}$: آمار ارائه شده در ترازنامه انرژی مربوط به برق مصرف شده در دوره t برای بخش مصرف‌کننده نهایی s

قیود حاکم به سه دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول، قیود برابری بار در هر گروه ساعتی می‌باشد به این معنا که مجموع بار زیر بخش‌های مختلف در هر ساعت می‌بایست با مقدار کل بار ساعتی آن ساعت برابر باشد. شکل کلی این دسته از معادلات در معادله (۳) نشان داده شده است.

$$EHT_{trans_{t,h}} = \sum_s EH_{Modelled_{t,h}^s} \qquad (۳)$$

که در آن:

$EHT_{trans_{t,h}}$: داده‌های بار برق در ساعت h در دوره t

$EH_{Modelled_{t,h}^s}$: مقدار برآورد شده در مدل برای مصرف برق بخش s در ساعت h در دوره t

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

دسته دوم، قیود حاکم بر مصرف است. این دسته از قیود ناشی از روابط منطقی و شناخته شده بین مصرف زیربخش‌ها در ساعات و روزهای مختلف است. به عنوان مثال، مصرف خانگی در روزهای کاری در ساعات اداری کمتر از مصرف روز جمعه خانگی در همان ساعات است. برای مشخص شدن اینکه در روزهای کاری توان مصرفی خانوار چه درصدی از توان روز جمعه است، ضریبی به عنوان متغیر در نظر گرفته شده است. شکل کلی این معادلات در معادله (۴) نشان داده شده است.

$$E_\text{sector}_{i,h,d1} = Coeff_{i,h,d2d1} \times E_\text{sector}_{i,h,d2} \qquad (۴)$$

که در آن:

$E_\text{sector}_{i,h,d1}$: مصرف برق در ساعت h روز d1 برای بخش i ام.

$E_\text{sector}_{i,h,d2}$: مصرف برق در ساعت h روز d2 برای بخش i ام.

$\text{Coeff}_{i,h,d2d1}$: نسبت مصرف برق در ساعت h روز d1 به روز d2

اضافه شدن این دسته از قیود باعث می‌شود مسئله به شکل برنامه‌ریزی غیرخطی باشد. برنامه‌ریزی غیرخطی می‌تواند چندین بهینه محلی داشته باشد. برای آنکه مدل بتواند به نقطه بهینه معقول برسد، می‌بایست آنچه از لحاظ مصرف، معقول به نظر می‌رسد را به عنوان قیودی به مدل اضافه کرد. اینکه چه نوع مصرفی به صورت معقول می‌تواند به شمار آید نیاز به داده‌های دیگری دارد. در سطح استانی، دو دسته داده دیگر وجود دارد که می‌توان از پردازش آنها برای کمک به تعیین حدود منطقی و معقول مصرف بهره گرفت:

۱. داده‌های هزینه درآمد خانوار و آمارگیری مصرف انرژی خانوار در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵

۲. داده‌های قرائت کنتور

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

۳-۳. همگرایی نتایج محاسبات

با انتقال داده‌ها بین دو روش محاسباتی جزء به کل و کل به جزء، سعی شده است نتایج محاسبات در هر دو روش به یک جواب و روند در سال‌های مختلف همگرا شوند. به عنوان مثال با مشخص شدن روند تغییرات بار روشنایی اضافه شده در سر شب در بخش خانگی از رویکرد کل به جزء (یا همان تفکیک مؤلفه‌های بار)، روند تغییر در مصرف برق برای تأمین روشنایی کل سال در رویکرد جزء به کل تصحیح شده است. به عنوان مثالی دیگر، از محاسبات مصرف برق یخچال فریزر در سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ که از داده‌های آمارگیری انرژی سال ۹۰ (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۰) و انرژی و محیط زیست سال ۹۵ مرکز آمار ایران (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵) به‌دست آمده است، برای تعیین محدوده سهم خانوار از بار پایه در مدل تفکیک مؤلفه‌های بار کمک گرفته شده است[۱].

٤. نتایج محاسبات و پتانسیل سنجی

برای بررسی سهولت تغییر پذیری تقاضا نسبت به سیاست‌های مدیریت بار ابتدا نیاز به انجام پتانسیل‌سنجی کاهش / جابه‌جایی تقاضای برق است. انجام پتانسیل‌سنجی کاهش/ جابه‌جایی توان و انرژی مصرفی باید با توجه به الگوی مصرف خانوارها انجام پذیرد تا با توجه به آن مقدار ممکن کاهش مصرف برق، جابه‌جایی بار و پیک‌سایی در بخش خانگی مشخص شود.

بررسی پتانسیل کاهش مصرف انرژی الکتریکی در بخش خانگی به تفکیک تجهیزات امکان پذیر است. برای هر تجهیز با توجه به متوسط توان فعلی در منطقه مورد نظر و همچنین نمونه دارای کمترین مصرف برق که در بازار فعلی ایران موجود می‌باشد می‌توان پتانسیل کاهش مصرف برق را به‌دست آورد. این مساله در درجه اول نیازمند مشخص شدن متوسط توان مصرفی تجهیز و در مرحله دوم نیازمند بررسی بازار و استاندارد مصرف برای تجهیزات مورد استفاده بخش خانگی می‌باشد.

۱. دقت شود بار پایه همان بار ساعات ۳ الی ۵ صبح است که مصرف کنندگان ثابت در مدار بوده و برای بخش خانگی شامل یخچال فریزر و اندکی بار روشنایی و تجهیزاتی که در پریز هستند می‌شود.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

جدول ۱. درصد خطای برآورد مصرف انرژی سالانه بخش خانگی در مدل نسبت به داده‌های ترازنامه انرژی

سال	درصد
۱۳۸۵	-۰/۱٪
۱۳۸۶	-۰/۳٪
۱۳۸۷	۰/۰٪
۱۳۸۸	۲/۳٪
۱۳۸۹	-۰/۷٪
۱۳۹۰	۱/۵٪
۱۳۹۱	-۰/۹٪
۱۳۹۲	-۱/۱٪
۱۳۹۳	-۰/۹٪
۱۳۹۴	-۰/۷٪
۱۳۹۵	-۰/۸٪
۱۳۹۶	-۰/۸٪
۱۳۹۷	-۱/۲٪

مأخذ: نتایج تحقیق

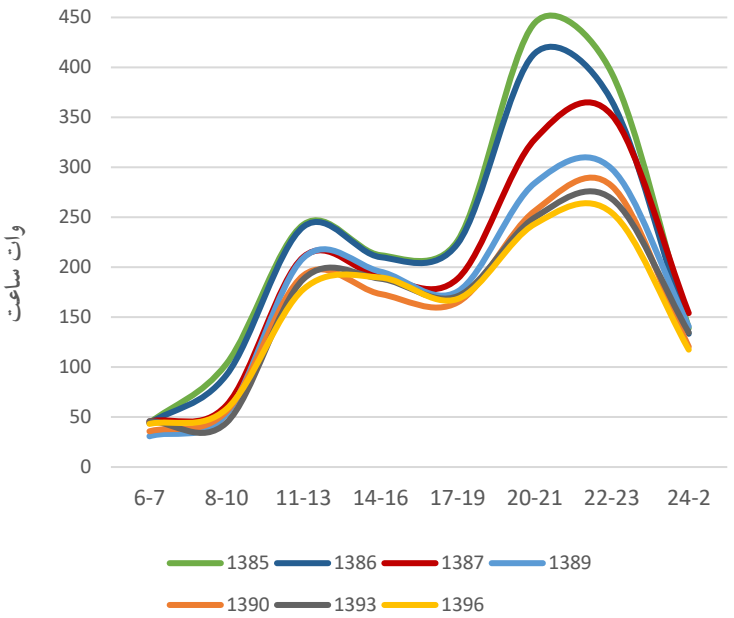
٤-۱. منحنی بار روزانه

شکل ۲ متوسط انرژی مصرفی در یک ساعت برای یک خانوار را در بار معیار بهار برای سال‌های مختلف نشان می‌دهد.[۱] نفوذ تکنولوژی‌های برقی مانند ماشین ظرفشویی و مایکروفر از یک سو و کاهش توان روشنایی مداوم و همچنین مدیریت بار از سمت خانوار از سوی دیگر دو اثر متضاد بر مصرف برق خانوار می‌گذارند. در دوره مورد بررسی برآیند این آثار در مجموع، کاهش توان مصرفی خانوار بوده است. مطابق شکل مصرف یک خانوار در فصل بهار در سال ۱۳۸۵ در ساعات

۱. مصرف یخچال و فریزر در این منحنی نیست.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

۲۰ الی ۲۱ حدود ۴۵۰ وات بوده است. این مقدار با مطالعه سلیمیان و همکاران (۱۳۸۴) برای یزد که حدود ۴۶۰ وات بوده همخوانی نشان می‌دهد و تشابه مصرف را در این ساعات نشان می‌دهد.

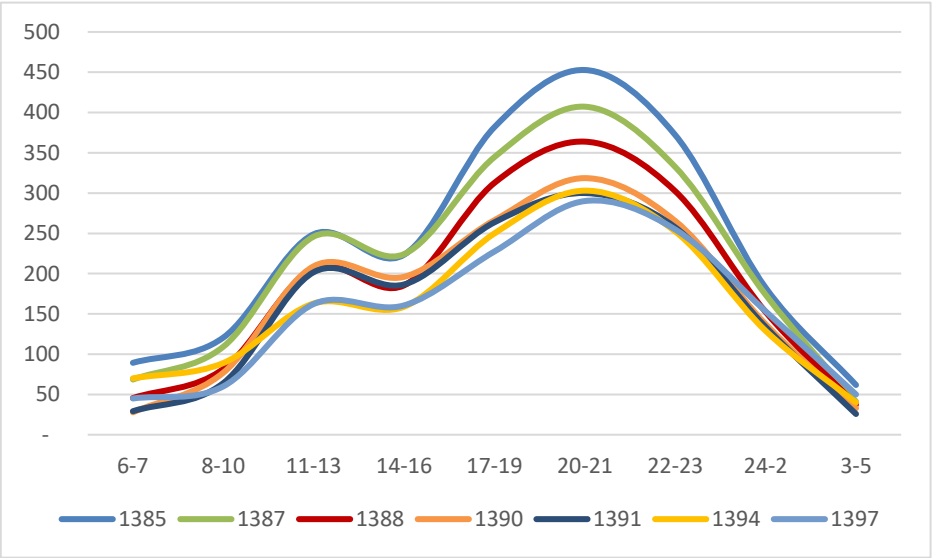


شکل ۲. منحنی بار روزانه یک خانوار در روز جمعه بار معیار بهار

بررسی نتایج شکل ۲ برای بار معیار بهار و در روز جمعه برای سال‌های مختلف نشان می‌دهد پیک مصرف برق بخش خانگی از ساعات ۲۰-۲۱ در نیمه دوم دهه ۸۰ به ساعات ۲۲-۲۳ در دهه ۹۰ جابه‌جا شده است. این مسأله می‌تواند ناشی از عدم اطلاع مشترکین خانگی از ساعت اتمام دوره اوج بار باشد[1]. به عبارت دیگر خانوارها بار تقاضا را از ساعات ۲۰-۲۱ به ساعات دیگر، ازجمله ۲۲-۲۳ شیفت داده‌اند.

۱. عامل مهم دیگر، تغییر الگوی زندگی خانوارها و تاخیر ساعات خواب است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

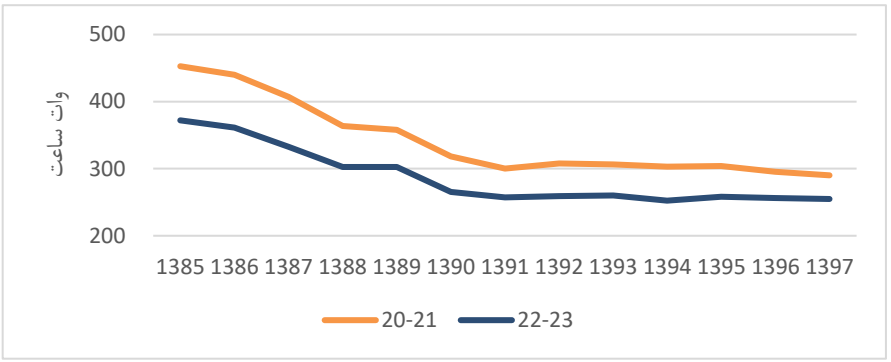


شکل ۳. منحنی بار روزانه یک خانوار در روز جمعه بار معیار پاییز

تغییرات منحنی بار روزانه خانوار نشان دهنده کاهش مصرف در ساعات مختلف روز است. با توجه به شکل ۳، پیک مصرف خانوار در بار معیار پاییز در همان ساعات ۲۰-۲۱ باقی مانده است لیکن مقدار کاهش مصرف در ساعات ۲۰-۲۱ از تمامی ساعات دیگر بیشتر بوده است. مطالعه انجام شده بر روی تقاضای برق خانگی در شهرستان‌های استان تهران نشان می‌دهد تقاضا از ساعات پیک مصرف به ساعات دیگر منتقل شده است (وراهرامی، ۱۳۹۵). این مساله می‌تواند تمایز در میزان افزایش مصرف در ساعات پیک و غیر پیک را توجیه نماید.

روند تغییرات مصرف یک خانوار در ساعات ۲۰-۲۱ و ۲۲-۲۳ در روز جمعه بار معیار پاییز در شکل ۴ نشان داده شده است. مطابق نتایج نمودار، سرعت کاهش مصرف در ساعات ۲۰-۲۱ بیش از ساعات ۲۲-۲۳ بوده است. علاوه بر آن، شیب کاهشی مصرف از سال ۱۳۹۲ افت زیادی پیدا کرده است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]



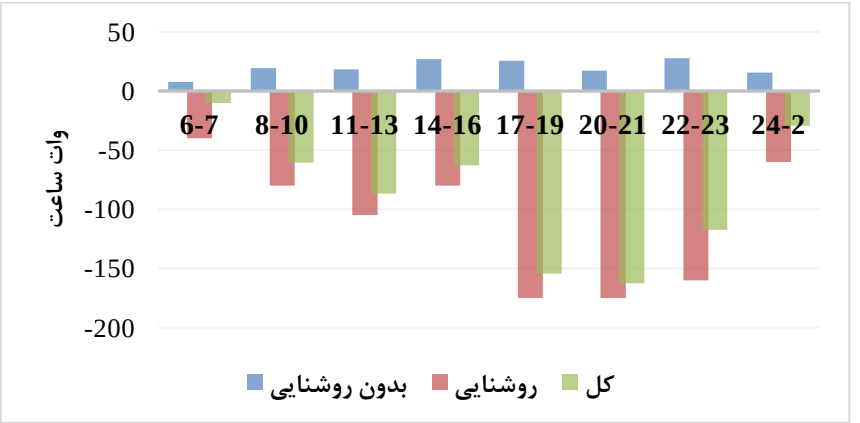
شکل ۴. روند تغییرات مصرف یک خانوار در ساعات ۲۰-۲۱ و ۲۲-۲۳ در روز جمعه بار معیار پاییز

برای بررسی تأثیر کاهش مصرف برق روشنایی برای جابه‌جایی رو به پایین منحنی بار خانوار، تغییرات مصرف برق یک خانوار در روز جمعه بار معیار پاییز در سال ۱۳۹۷ نسبت به سال ۱۳۸۵ در شکل ۵ مقایسه شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود همزمان با کاهش مصرف برق برای تأمین روشنایی، مصرف سایر تجهیزات در سال ۱۳۹۷ نسبت به سال ۱۳۸۵ افزایش یافته است. در نهایت با توجه به غلبه کاهش مصرف برق برای تأمین روشنایی، مقدار مصرف برق روزانه خانوار کاهش یافته است که این مطلب در شکل ۳ نیز مشاهده می‌شود.

مقدار افزایش مصرف برق تجهیزات بجز لامپ‌ها و یخچال فریزر در روز جمعه بار معیار پاییز در سال ۱۳۹۷ نسبت به سال ۱۳۸۵ در حدود ۴۰۰ وات ساعت در یک روز است که این عمدتاً به‌دلیل افزایش دسترسی به تجهیزاتی مانند فر برقی، مایکروفر و ماشین ظرفشویی به‌خصوص در استان تهران است.[۱] نکته قابل توجه دیگر، افزایش مصرف در ساعات ۲۲-۲۳ نسبت به ساعات ۲۱-۲۰ است که مشابه بار معیار بهار می‌تواند ناشی از عدم اطلاع مشترکین خانگی از ساعت اتمام دوره اوج بار و همچنین تغییر در الگوی زندگی خانوارها باشد.

۱. افزایش توان برخی تجهیزات مانند تلویزیون عامل دیگر است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]



شکل ۵. تغییر مصرف برق خانوار در بار معیار پاییز در سال ۱۳۹۷ نسبت به سال ۱۳۸۵

٤-۲. محاسبات و پتانسیل‌سنجی روشنایی

نفوذ لامپ‌های کم مصرف و ال ای دی[1] در طول ۱۵ سال گذشته باعث صرفه جویی در مصرف انرژی و توان برق برای تأمین روشنایی شده است. برای محاسبه متوسط توان روشنایی خانوارها، از روش کل به جزء و تفکیک مؤلفه‌های بار در مرحله اول، مقدار بار روشنایی اضافه شده در سر شب در بخش خانگی برای سال‌های ۱۳۸۵ الی ۱۳۹۷ محاسبه شد. با تعمیم الگوی تغییر توان روشنایی اضافه شده در سر شب در سال‌های مختلف به بار روشنایی که به صورت پیش فرض به مقدار ثابت در طول روز وجود دارد[2]، می‌توان توان[3] کل روشنایی خانگی را در طول روز برای سال‌های مختلف محاسبه نمود. جدول ۲ مقدار متوسط توان روشنایی خانگی اضافه شده در سر

1. LED

۲. این مقدار مصرف برق برای تامین روشنایی در طول روز به دلیل فرهنگ و الگوی زندگی خانوار است که بهره‌گیری از نور طبیعی را کم و نیاز به استفاده از نور لامپ را در طول روز ناگزیر می سازد.

۳. شایان ذکر است منظور از توان، توان لحظه‌ای نیست. با توجه به اینکه داده‌های مربوطه، انرژی مصرفی در یک ساعت هستند عبارت توان با اغماض و با فرض ساده سازی توان متوسط در یک ساعت بکار گرفته شده است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

شب را در اوج مصرف پاییز (ساعت ۲۱)، مقدار متوسط توان روشنایی در روز و مقدار کل توان روشنایی خانگی را در ساعت اوج مصرف (ساعت ۲۱) نشان می‌دهد.

جدول ۲. مقدار متوسط توان روشنایی (وات) خانگی اضافه شده در سر شب، مقدار متوسط توان روشنایی در روز و مقدار کل توان روشنایی خانگی در ساعت اوج مصرف پاییز (ساعت ۲۱) برای یک خانوار

	متوسط توان روشنایی در روز	توان روشنایی خانگی اضافه شده در سر شب	کل توان روشنایی خانگی در ساعت اوج مصرف
۱۳۸۵	۹۰	۲۲۰.۸	۳۱۱
۱۳۸۶	۷۵/۲	۲۰۷/۳	۲۸۲
۱۳۸۷	۵۸/۴	۱۶۳/۴	۲۲۲
۱۳۸۸	۵۶/۹	۱۴۵	۲۰۲
۱۳۸۹	۵۴/۴	۱۲۵	۱۷۹
۱۳۹۰	۴۲	۱۱۲/۹	۱۵۵
۱۳۹۱	۴۳/۳	۷۹/۹	۱۴۱
۱۳۹۲	۴۳	۹۸/۶	۱۴۲
۱۳۹۳	۴۳/۸	۹۹/۳	۱۴۳
۱۳۹۴	۴۳/۹	۹۴	۱۳۸
۱۳۹۵	۴۳/۵	۹۳/۶	۱۳۷
۱۳۹۶	۴۲	۹۰/۴	۱۳۲

مأخذ: نتایج تحقیق

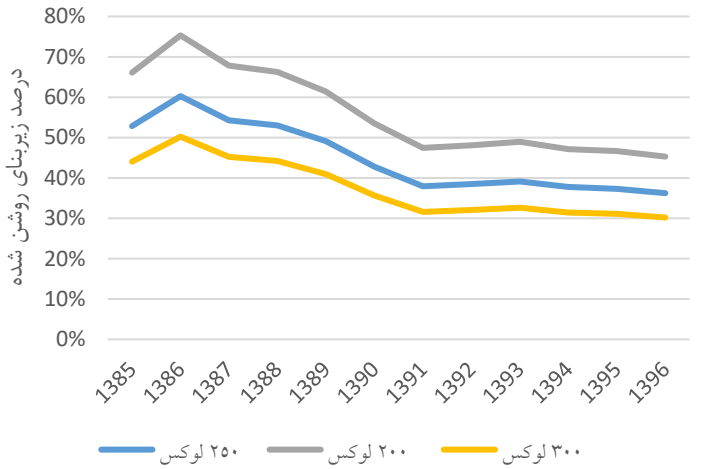
برای بررسی پتانسیل کاهش مصرف برق مورد استفاده برای تأمین روشنایی نیاز به مشخص بودن سهم انواع لامپ‌های مورد استفاده در بخش خانگی می‌باشد. در دو سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ این آمارگیری انجام شده است و مطابق آن سهم انواع لامپ‌ها در تأمین روشنایی خانوارها ارائه شده است. آنچه که از داده‌های نفود تکنولوژی مشخص است نفوذ لامپ‌های ال ای دی و جایگزینی آنها حتی با لامپ‌های کم مصرف می‌باشد. از آنجایی که داده‌های نفوذ لامپ برای سال‌های دیگر

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

موجود نیست از منحنی S شکل نفوذ فناوری‌های جدید برای تخمین نفوذ لامپ‌های ال ای دی استفاده شده‌است. با مشخص شدن سهم و نفوذ لامپ‌ها در بخش خانگی و همچنین به کمک توان روشنایی در هر ساعت می‌توان تقریبی از مقدار لومن بخش خانگی در ساعات مختلف شبانه روز به‌دست آورد.

با توجه به اهمیت توان مصرفی خانوارها در ساعات اوج مصرف، متوسط شار نوری یک خانوار نمونه در ساعات پیک مصرف مورد بررسی بیشتر قرار می‌گیرد. مقدار شار نوری یک خانوار در هر ساعت از ضرب مقدار شدت روشنایی (لوکس) در سطح زیربنای روشن شده به‌دست می‌آید. از آنجایی‌که آماری در این مورد وجود ندارد، برای تعیین پتانسیل صرفه‌جویی مصرف برق برای تأمین روشنایی در ساعات پیک مصرف نیاز به اعمال مفروضاتی منطقی در مورد لوکس یا درصد سطح زیربنای روشن شده است. از آنجایی‌که استاندارد متوسطی برای سطح روشنایی مناطق مختلف منزل مانند سالن پذیرایی و اتاق خواب و آشپزخانه وجود دارد می‌توان با فرض سطوح مختلف شدت روشنایی در سال‌های مختلف، تقریبی از سطح زیربنای روشن شده در هر سال را با توجه به مقدار لومن تأمین شده در بخش خانگی مشخص نمود. شکل ۶ سطح زیر بنای روشن شده را در سال‌های مختلف به ازای سه فرض منطقی ۲۰۰ و ۲۵۰ و ۳۰۰ لوکس برای متوسط مقدار سطح روشنایی در خانه‌ها نشان می‌دهد.

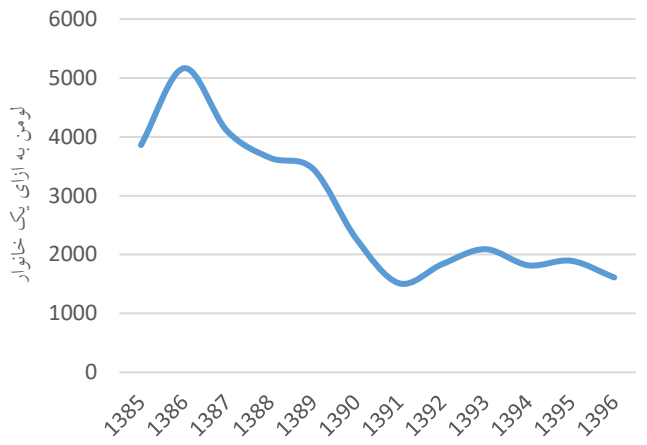
[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]



شکل ۶. درصد زیربنای روشن شده در خانه در ساعت پیک مصرف (ساعت ۲۱ پاییز) برای سه مقدار متفاوت متوسط شدت نور ۳۰۰ و ۲۰۰ و ۲۵۰ لوکس.

سطح روشنایی ۲۰۰ لوکس و روشن شدن ۴۶٪ از فضای خانه در سال ۱۳۹۶ نشان دهنده این است که اگر مقدار لوکس در حد پیشنهادی کمیته ملی روشنایی ایران باشد، تأمین ۴۶٪ از فضای خانه از مقدار حداکثری ضریب همزمانی ۶۰٪ که در برخی مطالعات به‌صورت پیش‌فرض در نظر گرفته می‌شود، کمتر است. تأمین روشنایی برای ۴۶٪ از فضای خانه با متوسط سطح زیر بنای ۹۲متر مربع، ۴۲ متر مربع می‌شود. به ازای متوسط تعداد افراد خانوار ۳/۴ نفر در منطقه مورد بررسی، روشن‌شدن ۴۲ مترمربع از فضای خانه معادل تأمین روشنایی سرانه ۱۲/۵ متر مربع به ازای هر نفر می‌شود. گرچه استاندارد خاصی در رابطه متوسط سرانه فضای روشن شده در خانه موجود نیست لیکن در روشنایی معابر، تأمین روشنایی ۱۰ متر مربع برای هر فرد مقدار قابل قبولی از نظر قرار گرفتن در هاله مشخص نور و عدم تاریکی محسوب می‌شود.(پولسن و اندرسن، ۲۰۱۲). اگر ۱۰متر مربع برای فضای روشن شده هر فرد در نظر گرفته شود، با فرض شدت روشنایی ۲۰۰ لوکس و آمار موجود تعداد افراد در یک خانوار (بعد خانوار) در هر سال، پتانسیل صرفه‌جویی در مصرف برق برای ساعات پیک محاسبه می‌شود (شکل ۷).

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]



شکل ۷. پتانسیل صرفه‌جویی روشنایی به ازای یک خانوار در ساعات پیک

افزایش قیمت برق در ساعات اوج مصرف در نیمه دوم دهه ۸۰ و همچنین افزایش سطح کلی قیمت‌ها پس از اعمال طرح هدفمندی یارانه‌ها بر مصرف برق برای تأمین روشنایی خانوارها تأثیر گذاشته است که در اثر آن پتانسیل صرفه‌جویی کاهش یافته است. با ارزان شدن نسبی برق در سال۹۲، مصرف افزایش و پتانسیل صرفه‌جویی نیز افزایش داشته است.(شکل ۷)

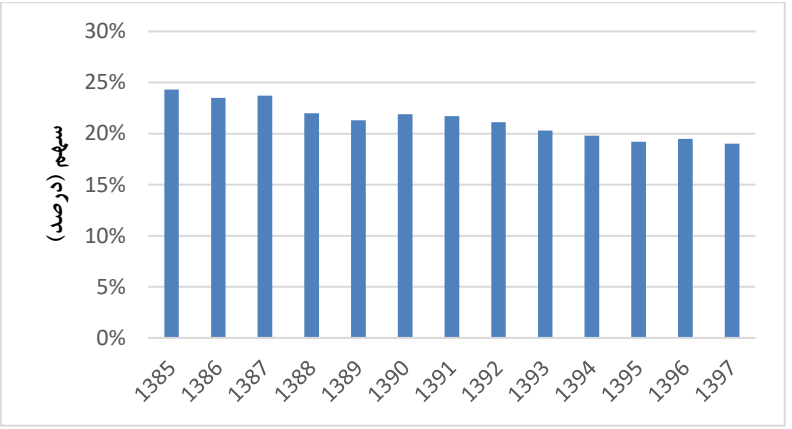
٤-۳. بار پایه خانگی و پتانسیل‌سنجی یخچال فریزر

بار پایه خانگی شامل بار یخچال- فریزر و میزان کم بار روشنایی است که در شب‌ها هنگام خواب روشن است[۱]. بار پایه خانگی از حاصل‌ضرب سهم خانگی از بار پایه هر سال در مقدار بار پایه در بار معیار بهار و پاییز پس از کسر روشنایی[۲] محاسبه می‌شود.

۱. مصرف برق تجهیزاتی که خاموش ولی به برق وصل هستند نیز در این بار وجود دارد.

۲. مقدار بار روشنایی به صورت مستقیم قابل محاسبه نبوده است. با تقریب، در سال ۱۳۸۵ یک لامپ ۴۰ وات و در سال‌های بعد به نسبت بهبود بازده روشنایی، توان روشنایی در بار پایه کاهش یافته است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]



شکل ۸. سهم بخش خانگی از بار پایه در بار معیار

با توجه به تعداد خانوار در هر سال، سری زمانی مقدار متوسط مصرف برق یک خانوار برای تأمین برق یخچال و فریزر محاسبه می‌شود. (جدول ۳). یکی از عواملی که باعث افزایش متوسط مصرف برخی تجهیزات مانند یخچال و فریزر می‌شود دسترسی بیش از ۱ برای برخی خانوارهاست که از آمار مرکز آمار ایران به‌دست می‌آید.

جدول ۳. متوسط مصرف سالیانه یخچال و فریزر برای یک خانوار

سال	مصرف برق سالیانه (kWh)
۱۳۸۵	۹۸۳
۱۳۸۶	۹۷۴
۱۳۸۷	۹۶۲
۱۳۸۸	۹۵۱
۱۳۸۹	۹۳۵
۱۳۹۰	۹۱۸
۱۳۹۱	۹۰۷
۱۳۹۲	۹۰۱
۱۳۹۳	۸۹۷
۱۳۹۴	۸۹۴
۱۳۹۵	۸۹۲
۱۳۹۶	۸۹۱
۱۳۹۷	۸۸۹

مأخذ: نتایج تحقیق

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

با توجه به حد پایین مصرف انرژی تجهیزات می‌توان کمترین مصرف را برای تجهیزاتی مانند یخچال، فریزر و یخچال فریزر ساید بای ساید به‌دست آورد و از مقایسه آن با مقادیر فعلی پتانسیل صرفه جویی را محاسبه نمود. حد پایین مصرف انرژی بر اساس مقدار مصرف انرژی تجهیزات نو که بالاترین رتبه انرژی را دارند و با فرض عدم تغییر در الگوی مصرف محاسبه شده است. به عبارت دیگر در محاسبه حد پایین مصرف برق یخچال، تعداد دفعات باز و بسته شدن درب که از آمار سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ محاسبه شده است، مطابق با الگوی فعلی در نظر گرفته شده و در معادلات محاسبه انرژی طبق استاندارد قرار داده شده است (جدول ۴).

جدول ۴. حد پایین مصرف یخچال و فریزر (ماخذ: موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران)

تجهیز	فریزر (kWh درسال)	یخچال (kWh درسال)	یخچال-فریزر (kWh درسال)
حد پایین مصرف	۳۷۵	۲۶۹	۶۱۵

مأخذ: نتایج تحقیق

پتانسیل کاهش مصرف سالانه انرژی یخچال و فریزر با شرط عدم تغییر الگوی مصرف (دفعات باز و بسته شدن درب یخچال و فریزر) و با لحاظ درصد دسترسی به هر تجهیز در هر سال، از تفاضل مصرف انرژی فعلی با حد پایین مصرف انرژی در طول یک سال و برای یک خانوار نمونه با توجه به روابط ارائه شده توسط موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به‌دست می‌آید (جدول ۵).

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

جدول ۵. متوسط پتانسیل صرفه‌جویی در مصرف برق یخچال فریزر در یک خانوار
با توجه به متوسط دسترسی به تجهیزات در یک خانوار (kWh در سال)

سال	فریزر	یخچال	یخچال-فریزر
۱۳۸۵	۱۷۹	۳۰۸	۱
۱۳۸۶	۱۸۰	۲۹۱	۳
۱۳۸۷	۱۵۸	۲۷۴	۹
۱۳۸۸	۱۳۷	۲۴۸	۲۷
۱۳۸۹	۱۰۱	۲۰۷	۷۹
۱۳۹۰	۸۹	۲۱۰	۷۶
۱۳۹۱	۷۶	۱۹۳	۸۳
۱۳۹۲	۷۲	۱۶۵	۹۱
۱۳۹۳	۶۴	۱۵۱	۱۰۱
۱۳۹۴	۵۲	۱۲۴	۱۱۸
۱۳۹۵	۴۴	۱۰۷	۱۲۷
۱۳۹۶	۴۵	۹۸	۱۳۱

مأخذ: نتایج تحقیق

۵. نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

از آنجایی‌که داده‌های بار ساعت‌به‌ساعت توسط شرکت‌های توزیع برق برای هر سال وجود دارد، سطح تفکیک مؤلفه-های بار نیز در سطح شرکت‌های توزیع بوده و با احتساب تلفات توزیع می‌بایست با آمار مصرف انرژی زیربخش‌های مصرفی تطابق داشته باشد. با تحلیل داده‌های به‌دست آمده از تفکیک مؤلفه‌های بار و همچنین استفاده از داده‌های آمارگیری مرکز آمار ایران در سال‌های مختلف توان و انرژی مصرفی برای برخی مصارف خانگی مانند یخچال و فریزر، روشنایی و همچنین منحنی بار خانگی به‌دست آمده است.

بررسی نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد عمده تحول ایجاد شده در منطقه مورد بررسی در بخش روشنایی بوده‌است. با توجه به پتانسیل باقی‌مانده برای صرفه‌جویی در مصرف برق به نظر

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

می‌رسد تحقق پتانسیل باقی‌مانده برای کاهش لومن در ساعات پیک مصرف با اصلاح الگوی مصرف و به کمک عوامل قیمتی امکان‌پذیر باشد. این مسأله از تطابق زمانی بین کاهش لومن روشنایی و اعمال جریمه و پاداش برای مصرف در ساعات اوج و کم‌باری مشاهده می‌شود. بررسی میزان تأثیر تغییر قیمت بر مصرف برق روشنایی در ساعات پیک مصرف نیازمند انجام رگرسیون است که در مطالعات بعد انجام خواهد شد.

علاوه بر آن کاهش مصرف یخچال و فریزر در بازه زمانی مورد مطالعه مؤید تأثیر نفوذ تکنولوژی‌های با بازده بالاتر در بازار است. ازطرفی مقایسه مصرف سالانه یخچال فریزرها در منطقه مورد بررسی با مصرف یخچال فریزرهای با برچسب انرژی A و B نشان از پتانسیل بالای صرفه‌جویی در مصرف برق این تجهیزات دارد. با توجه به قیمت بالای این تجهیزات و بالا بودن زمان برگشت سرمایه حتی در شرایط افزایش شدید قیمت برق، تعویض این وسایل در پاسخ به مکانیزم‌های قیمتی از لحاظ تحلیل هزینه فایده موجه به نظر نمی‌رسد. لذا عمده تلاش برای تحقق پتانسیل صرفه‌جویی می‌بایست معطوف به تجهیزات جدید خریداری شده و در نتیجه سمت تولیدکننده تجهیزات باشد.

جابه‌جایی پیک مصرف برق بخش خانگی از ساعات ۲۰-۲۱ در نیمه دوم دهه ۸۰ به ساعات ۲۳-۲۰ در دهه ۹۰ می‌تواند ناشی از عدم اطلاع مشترکین خانگی از ساعت اتمام دوره اوج بار باشد. به عبارت دیگر خانوارها بار تقاضا را از ساعات ۲۰-۲۱ به ساعات دیگر، منجمله ۲۲-۲۳ شیفت داده‌اند. در این‌شرایط نیاز به استفاده از ابزارهایی به عنوان مکمل مشوق قیمتی برای کاهش تقاضا در تمامی ساعات پیک مصرف است. مطالعات انجام شده نیز نشان می‌دهد مشوق‌ها برای کاهش تقاضا در ساعات پیک نباید محدود به ابزار مالی باشد (منظور و سید حسین‌زاده یزدی، ۱۳۹۸). افزایش اطلاع‌رسانی به خانوارها از طریق کانال‌های ارتباطی که با توجه به فرهنگ و موقعیت جامعه هدف تدوین شده باشند می‌تواند به عنوان راهکاری مناسب در جهت مدیریت مصرف و کاهش تقاضا در ساعات پیک مصرف باشد (زارع شاه‌آبادی و همکاران، ۱۳۹).

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

مصرف سایر تجهیزات مانند فر برقی و ماشین‌ظرفشویی در سال زیاد نیست که دلیل اصلی آن دسترسی کم به این تجهیزات طبق آمار مرکز آمار ایران است. با افزایش نفوذ و دسترسی خانوارها به این تجهیزات و همچنین به دلیل سهولت کاربری آنها به‌خصوص در مناطقی مانند شهر تهران و سایر کلان‌شهرها، در آینده پتانسیل افزایش تقاضای برق خانگی به دلیل به‌کارگیری این‌گونه تجهیزات بالا خواهد بود. این مساله بخصوص در مورد تجهیزاتی مانند فر برقی که تمایل خانوار به استفاده از آن در ساعات پیک مصرف شب نیز خواهد بود نیازمند توجه سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان است و توجه دوسویه به تولیدکننده تجهیزات و الگوی مصرف خانگی را می‌طلبد.

سپاسگزاری

این پژوهش از محل قرارداد شماره ۸۲/۶۴۵ با مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی انجام شده است. نویسندگان این مقاله از هم‌فکری اعضای محترم دفتر انرژی این مرکز و همچنین داوران محترم طرح حاضر کمال سپاسگزاری را دارند.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

منابع

اداره استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (۱۳۸۹). وسایل برودتی خانگی (یخچال، فریزر و یخچال فریزر- ویژگی‌ها و روش‌های آزمون.

بانی، نادر و منوچهر هاشمی (۱۳۸۲). "مدیریت بار و مصرف در سمت تقاضای انرژی الکتریکی"، کنفرانس شبکه‌های توزیع برق، هشتمین دوره ۱۹۳-۱۸۳، صص ۳۱-۳۰.

بالغ غازانی، رقیه (۱۳۸۸). "مدیریت و بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی در کارخانه سیمان صوفیان"، کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، صص ۳-۱.

بهرنگ راد، مهدی؛ حقی فام، محمود رضا و سیدهادی حسینی (۱۳۸۴). "تعیین سهم مؤلفه‌های تشکیل دهنده بار به کمک الگوریتم ژنتیک". تهران: بیستمین کنفرانس بین المللی برق.

پورکاظمی، محمدحسین و رؤیا آقایی فر (۱۳۹۴). "بررسی تأثیر کاهش یارانه برق بر مصرف برق با به‌کارگیری رویکرد تلفیقی شبکه‌های عصبی و اقتصادسنجی"، *پژوهشنامه اقتصاد کلان*، دوره ۱۰، شماره ۱۹، صص ۵۲-۳۳.

جلالی، سید عبدالمجید و سعید جعفری (۱۳۹۲). "برآورد تابع تقاضای برق خانگی در ایران با استفاده از داده‌های تابلویی استانی"، *فصلنامه اقتصاد انرژی ایران*، ۹۲-۶۹، سال دوم، شماره ۸.

رنگریز، حسن و هومن پشتونی‌زاده (۱۳۹۳). "بررسی تأثیر هدفمندسازی یارانه‌ها بر مصرف برق مشترکان خانگی در شهر تهران با استفاده از الگوریتم ژنتیک"، *فصلنامه تحقیقات مدلسازی اقتصادی*، شماره ۱۷ پاییز ۹۳، صص ۱۴۲-۱۲۴.

زارع شاه آبادی، اکبر؛ حاجی زاده میمندی، مسعود؛ لطفعلیانی، علی‌محمد و زهره سلیمانی (۱۳۹۲). "بررسی تأثیر عوامل اجتماعی- فرهنگی بر الگوی مصرف انرژی در خانوارهای شهر یزد". *فصلنامه پژوهش‌های سیاست گذاری وبرنامه ریزی انرژی*، شماره ۳، صص ۵۰-۱۷.

سلیمیان، زهره؛ امینی، فرخ و امیر شریف یزدی (۱۳۸۴) " پتانسیل‌سنجی کمی کاهش مصرف انرژی الکتریکی مشترکان خانگی شهرهای یزد، میبد و مهریز با استفاده از روش تفکیک مؤلفه‌های بار"، *کنفرانس بین المللی برق*، دوره بیستم، صص ۱۱-۱.

شایگان، مونا؛ جورابیان، محمود؛ فلاحی، مصطفی و محمدجواد حاجی‌زاده (۱۳۹۴). "آنالیز و تفکیک مؤلفه‌های بار در شبکه‌های توزیع برق"، بیستمین کنفرانس توزیع برق، زاهدان.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

فتوحی فیروزآبادی، محمود (۱۳۹۴). "مزایا و چالش های به‌کارگیری انواع رویکردهای مدیریت بار الکتریکی در صنعت برق"، دانشگاه صنعتی شریف.

قیومی، علیرضا و سیدمحمد حسینی نژاد (۱۳۸۱). "مطالعه جامع مؤلفه‌های بار استانی"، هفتمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق، صص ۳۱۷-۳۰۱.

کاظمی آذربایجانی، خسرو و بهمن مسعودی (۱۳۶۸). "مؤلفه‌های تشکیل دهنده بار مصرفی شبکه سراسری". وزارت نیرو، دفتر برنامه ریزی برق.

کریمی‌پور، نگار و صالح عسگری‌مقدم (۱۳۹۶). "ارائه یک روش جدید برای جداسازی مؤلفه‌های بار از داده‌های اندازه‌گیری شده در پست‌های فوق توزیع"، تهران: سی و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق.

مرکز آمار ایران (۱۳۹۰). *آمارگیری از مصرف حامل‌های انرژی خانوارهای شهری*، داده‌های تفصیلی.

مرکز آمار ایران (۱۳۹۵). *آمارگیری از مصرف حامل‌های انرژی و ویژگی‌های محیط‌زیستی خانوارهای شهری*، داده‌های تفصیلی.

منظور، داود و سعید سیدحسین‌زاده یزدی (۱۳۹۸). "بازنگری در سیاست‌های مدیریت مصرف برق از منظر اقتصاد رفتاری". فصلنامه پژوهش‌های سیاست گذاری وبرنامه ریزی انرژی; ۵(۴)، صص ۲۶۳-۲۱۹.

موسسه مطالعات بین المللی انرژی (۱۳۹۸). ترازنامه هیدروکربوری کشور - سال ۱۳۹۶، موسسه مطالعات بین المللی انرژی.

ورهرامی، ویدا (۱۳۹۵). "تابع تقاضای برق خانگی شهرستان‌های منتخب استان تهران در زمان پیک و غیرپیک". *فصلنامه پژوهش‌های سیاست گذاری وبرنامه ریزی انرژی*، ۲ (۴)، صص ۷۳-۵۵.

Ayon J. J., Barocio E. and A.R. Messina (2015). "*Blind Extraction and Characterization of Power System Oscillatory Modes*" Electr. Power Syst. Res., vol.119, pp. 54–65.

Bobric E.C. and D. Irimia (2019). "*Load Profile Identification using Independent Component Analysis*", Int. Conf. Electromechanical Energy Syst. SIELMEN 2019 - Proc., No. 1, pp. 31–34.

Kruger F., Wagner D. and P. Collet (2013). "*Blind Signal Separation Applied to Power Load Profiles Computation*," IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]

Laicane I., Blumberga D., Blumberga A. and M. Rosa (2015). "Reducing Household Electricity Consumption through Demand Side Management: The Role of Home Appliance Scheduling and Peak Load Reduction," *Energy Procedia*, vol. 72, pp.222–229.

Poulsen E.S. and H.J. Andersen (2012). "*Reactive Light Design in the Laboratory of the Streets"*, in: Synthetic digital ecologies, ACADIA.

Taniguchi T. (2013). "Finding Load Profile Primitives by using Independent Component Analysis", *Int. J. Energy, Inf. Commun.*, Vol. 4, No. 2, pp. 41–54.

Zhu Y. and S. Lu (2014) "Load Profile Disaggregation by Blind Source Separation: A Wavelets-assisted Independent Component Analysis Approach", *IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.*, vol. 2014-Octob.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-06-01]