فصلنامهٔ اقتصاد و الگوسازی
دانشگاه شهید بهشتی، زمستان ۱۳۹۷

Quarterly Journal of Economics and Modelling
Shahid Beheshti University

تعیین عوامل اقتصادی ـ اجتماعی مؤثر بر مخارج برق خانوارهای روستایی ایران با استفاده از نقشه‌های خود سازمان‌ده دسته‌ای

ندا بیات *، ویدا ورهرامی **، علی‌اصغر سالم ***

تاریخ دریافت ۱۳۹۷/۰۸/۱۷ تاریخ پذیرش ۱۳۹۷/۰۹/۰۹

چکیده

امروزه برق به عنوان یکی از زیرساخت‌های توسعه کشورها مطرح است و همواره مصرف آن در طی سال‌های اخیر با افزایش مواجه بوده است. مصرف برق در ایران همواره بالاتر از سطح استانداردهای جهانی است، علاوه بر این در سال‌های اخیر افزایش جمعیت، مهاجرت روستاییان به شهرها و ارتقا سطح زندگی آنها، توسعه شهرها و فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و خدمات، تقاضای برق را بیش از پیش افزایش داده است. ارتقاء سطح رفاه روستاییان اگرچه برای جلوگیری از مهاجرت آنها به شهرها به عنوان یکی از مشکلات کشور کافی نیست، اما شرط لازم می باشد. بنابراین تامین برق و مدیریت مصرف آن در استمرار برق‌رسانی به روستاها با توجه محدودیت طرف عرضه و شدت گرفتن آن به دلیل وقوع خشکسالی پیاپی در کشور در سال‌های اخیر از اهمیت برخوردار است. به همین دلیل، در این پژوهش به شناسایی عوامل اقتصادی- اجتماعی موثر بر توابع مخارج برق خانوارهای روستایی در فصول مختلف سال پرداخته شده و برای انجام این کار از روش نقشه‌های خود سازمانده دسته‌ای استفاده شده است. نتایج بدست آمده حاکی از این است که در مجموع ۲ عامل کمی و ۱۳ عامل کیفی در سه سطح تاثیرگذاری بر مصرف برق خانگی روستاییان شناسایی شدند.

کلیدواژه‌ها: *خانوارهای روستایی، مصرف انرژی الکتریکی، نقشه‌های خودسازمانده دسته‌ای، عوامل اقتصادی- اجتماعی.*

طبقه‌بندی JEL: *C45، L94، Q47، R2*

* استادیار دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین n.bayat@qiau.ac.ir
** استادیار گروه اقتصاد دانشکده اقتصاد و علوم سیاسی دانشگاه شهید بهشتی v_varahrami@sbu.ac.ir
*** استادیار دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبایی Salem207@yahoo.com

۱. مقدمه

امروزه مدیریت انرژی یکی از مهم‌ترین مسائل مورد توجه دولت‌ها و جوامع محسوب می‌شود و مدیریت صحیح آن ارتباطی مستقیم با رفاه جامعه و توسعه اقتصادی کشورها دارد (حمیدی‌زاده و همکاران،۱۳۹۴). در میان انواع انرژی‌ها، انرژی الکتریکی نیز به عنوان یکی از مهم‌ترین حامل‌های انرژی، نقش کلیدی در رشد و توسعه اقتصادی ایفا می‌کند و به عنوان یک صنعت زیربنایی در توسعه تمام زیربخش‌های اقتصاد موثر است (زارع شاه-آبادی و همکاران، ۱۳۹۲). تقاضای جهانی این انرژی به دلایل متعدد از جمله مزایای آن نسبت به سایر انرژی‌ها، امکان تبدیل به انواع دیگر انرژی، تمایل جامعه جهانی برای حل مسائل محیط زیستی ناشی از سوخت‌های فسیلی (حیدری،۱۳۹۰)، توسعه شهرنشینی، استفاده روزافزون از لوازم الکتریکی در زندگی بشر، همواره با رشد فزاینده مواجه بوده به طوری که تاکنون تمامی تلاش‌هایی که برای کاهش آن انجام شده چندان موثر نبوده است (رنگریز،۱۳۹۳) کمبود منابع تولید برق، هزینه‌های گزاف تولید و انتقال آن، برنامه‌ریزی و چاره‌اندیشی جهت تامین منابع مالی مورد نیاز و زمان‌بر بودن فرایند تولید، شناخت توابع تقاضای برق و عوامل موثر بر آن را به ضرورت تبدیل کرده است. مصرف برق در ایران فراتر از استانداردهای جهانی است و برخلاف کشورهای توسعه‌یافته که بیشترین سهم از مصرف برق در آنها به بخش‌های تولیدی اختصاص دارد، در ایران بیش از ۴۰ درصد مصرف این انرژی در بخش‌های غیرمولد است (طالب زاده، ۱۳۹۵). تشدید محدودیت منابع تولید برق در اثر خشکسالی‌های پیاپی، غیر قابل ذخیره بودن برق و عدم امکان اجرای طرح‌های توسعه تولید برق به دلیل کمبود منابع مالی همه از دلایلی هستند که عرضه این انرژی را با مشکلات عدیده، به ویژه در فصول گرم سال یعنی تابستان و بهار مواجه کرده‌اند. از طرفی دیگر در سال‌های اخیر به دلیل رشد جمعیت، افزایش شهرنشینی، توسعه فعالیت‌های تولیدی و گسترش برق‌رسانی به نقاط مختلف کشور از جمله روستاها تقاضای این نوع از انرژی افزایش یافته و شکاف میان عرضه و تقاضا در

سال‌های اخیر بیشتر شده است. خاموشی‌های مستمر در فصل تابستان در اکثر نقاط کشور مبین وقوع این پدیده است. مدیریت بخش تقاضا به عنوان حلقه مکمل تولید در کاهش پیامدهای اقتصادی و غیراقتصادی خسارات ناشی از خاموشی‌ها نقش اساسی ایفا می‌کند. بخش خانگی یکی از بزرگ‌ترین بخش‌های مصرف‌کننده برق در کشور است و سهمی بیش از یک سوم را به خود اختصاص داده است. در سال‌های اخیر طبق آمار گزارش روستایی وزارت نیرو در سال ۱۳۹۳ تمامی روستاهای بالاتر از ۲۰ خانوار به برق مجهز شده‌اند که می‌توانند در افزایش تقاضای این بخش موثر باشند. تجهیز روستاها به برق و ارتقاء سطح رفاهی روستاییان اگرچه می‌تواند از مهاجرت آنها به شهرها جلوگیری به عمل آورد و همواره به عنوان سیاستی درست مورد تاکید بوده، اما در گرو استمرار همیشگی برق‌رسانی و مدیریت صحیح تامین و مصرف آن است. مدیریت بخش تقاضا مستلزم شناخت دقیق الگوی رفتاری مصرف‌کنندگان و تعیین عوامل موثر بر آن است و بدون آن، امکان برآورد صحیح تقاضای برق و موفقیت در مدیریت تقاضا و امکان تشخیص زمینه‌های مناسب برای سیاست‌گذاری در راستای کاهش مصرف وجود نخواهد داشت. این عوامل صرفاً اقتصادی نبوده و عوامل اجتماعی را نیز در برمی‌گیرد. در همین راستا این پژوهش به بررسی عوامل اقتصادی اجتماعی موثر بر مخارج مصرفی برق خانوارهای روستایی پرداخته است. چارچوب مقاله به قرار زیر است. در بخش بعدی به مطالعه مبانی نظری پرداخته و در ادامه مروری بر پیشینه مطالعات ارائه شده است. در بخش چهارم داده‌ها و روش تحقیق بیان شده و در نهایت در دو بخش آخر، نتایج و جمع‌بندی بیان شدند.

۲. مبانی نظری

الگوسازی تابع تقاضا بر مبنای نظریه رفتار مصرف‌کننده در اقتصاد خرد بنا نهاده شده است. در این نظریه تابع تقاضا از حل مساله بهینه‌سازی تابع هدف مطلوبیت مصرف‌کننده با توجه به قید بودجه وی استخراج می‌شود. تابع مطلوبیت مصرف‌کننده به مصرف فرد از

کالاهای مختلف و ترجیحات وی بستگی دارد. قید بودجه نیز از قیمت کالاها و درآمد فرد متاثر می‌شود. این مساله بهینه‌سازی به شکل زیر قابل بیان است:

$$MaX: U = \rho(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \qquad (۱)$$

$$S.T: \sum_{i=1}^{n} P_i X_i \leq I$$

اگر با قواعد متداول ریاضی (لاگرانژ و نظیر آن) مساله فوق حل شود، تابع تقاضا برای هریک از کالاها مانند انرژی برق خانگی باشد به شکل کلی زیر به دست می‌آید:

$$X_e = f(P, I, Z) \qquad (۲)$$

که در آن X میزان مصرف از کالای برق، P و I به ترتیب قیمت هر واحد برق و درآمد خانوار هستند. Z نیز برداری از متغیرهای برون‌زا است که بر روی مصرف برق تاثیر دارند (کوانت، ۱۳۸۱). برخی از این متغیرها عبارتند از: شرایط آب و هوایی، ویژگی‌های خانوارها مانند ترکیب جنسیتی خانوار، ترکیب سنی، میزان تحصیلات، ویژگی‌های ساختاری واحد مسکونی، موجودی وسایل برقی خانگی، قیمت سایر حامل‌های انرژی، شدت استفاده از وسایل برقی، بازده وسایل برقی، مصرف دوره قبل و مانند آنها. با توجه به این‌که هدف از این پژوهش شناسایی عوامل اقتصادی- اجتماعی موثر بر الگوی رفتاری مصرف برق است. در این قسمت به شرح برخی از مهم‌ترین متغیرهای اثرگذار پرداخته شده است.

۱ـ۲. عوامل اقتصادی- اجتماعی

بعد خانوار : به دلیل تفاوت در اندازه خانوارها، تخمین الگوهای مصرف خانوار بدون در نظر گرفتن این تفاوت، دارای دقت کمتری خواهد بود. بارنز و دیگران بیان می‌کنند که مدل تجربی بهتر برای تحلیل الگوی مصرف خانوار مدلی است که اندازه خانوار را شامل می‌شود (بارنز و گیلینگهام[۱] (۱۹۸۴)، پولاک و ویلز[۲] (۱۹۸۱)، ری[۳] (۱۹۸۲)). نتایج بیشتر

۱ Barnes and Gillingham

۲ Pollak and Wales

۳ Ray

مطالعات در این زمینه بیانگر این است که بعد یا تعداد افراد یک خانوار تاثیر منفی بر میزان مصرف سرانه برق دارد. این بحث در ادبیات اقتصادی ریشه در صرفه‌های ناشی از مقیاس دارد. چرا که با افزایش تعداد اعضای خانوار در بسیاری از موارد مصرف انرژی الکتریکی مشترکا انجام می‌شود (باتاچارجی و ریچارد[۱]، ۲۰۱۱).

سن سرپرست خانوار: یک خانوار در طول چرخه زندگی خود، رفتار مصرفی خود را با عادات و نیازهای واقعی و شرایط موجود سازگار می‌کند (استوور[۲]،۲۰۱۲). با توجه به این تئوری‌ها الگوی مصرفی خانوارها در طول چرخه زندگی خود تغییر می‌کند و این تغییرات با سن سرپرست خانوار نیز متناسب هستند. خانوارهای جوان با فرزندان کم سن و سال (کودک) به دلیل اینکه بیشتر اوقاتشان را در بیرون از منزل و در محل کار سپری می‌کنند، مصرف انرژی کمتری دارند. این روند تا بزرگ شدن فرزندان و رفتن آنها از منزل ادامه داشته و مصرف انرژی دوباره کاهش می‌یابد، اما پس از آن با بالارفتن سن اعضا و بازنشسته شدن آنها، به دلیل اینکه زمان زیادی را در خانه و برای استراحت سپری می‌کنند مصرف برق افزایش می‌یابد (تون و آیزنبرگ[۳]، ۲۰۰۷).

سطح تحصیلات سرپرست خانوار: تحصیلات می‌تواند منجر به افزایش بهره‌وری در مدیریت بودجه خانوار و تخصیص بهتر منابع شود. تحصیلات در حقیقت کارایی در مصرف را افزایش می‌دهد (میکاییل[۴]، ۱۹۷۲). نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که هرچه تحصیلات افراد افزایش می‌یابد به دلیل افزایش دانش افراد از هزینه‌های تولید انرژی، کاربردها و مزایای آن، رفتارهای صرفه‌جویانه آنها بیشتر شده و در نهایت مصرف انرژی آنها کاهش می‌یابد (راجی و وارهالن[۵]، ۱۹۸۳).

---

۱ Bhattacharjee and Reichard

۲ Stöver

۳ Tonn and Eisenberg

۴ Michael

۵ Raaij and Verhallen

درآمد خانوار: درآمد خانوار حداقل از دو جهت می‌تواند بر مصرف برق تاثیر بگذارد. یکی اینکه با افزایش درآمد تقاضای خانوار از لوازم و تجهیزات الکترونیکی افزایش یافته و بنابراین تقاضا برای برق بالا می‌رود و از طرفی دیگر با افزایش درآمد، سهم مخارج برق در مقایسه با درآمد کاهش یافته و خانوارها توجه کمتری به سیاست‌های قیمتی برق خواهند داشت، در نتیجه مصرف آنها افزایش می‌یابد (الالیه و آکینبود[۱] ۲۰۱۲).

مشخصات واحد مسکونی و نوع مصالح: هر چه مساحت واحد مسکونی افزایش یابد، مصرف برق نیز افزایش می‌یابد. با افزایش تعداد اتاق و مساحت میزان انرژی لازم برای روشنایی، گرمایش و سرمایش آن افزایش می‌یابد (موریسون و گلادهارت[۲]،۱۹۷۶). هرچه واحدهای مسکونی نوساز باشند و از تجهیزات و مصالح مدرن‌تر در ساخت آنها استفاده شود، میزان انرژی مصرفی کاهش می‌یابد (بیسالی[۳] و همکاران،۲۰۰۸)

شرایط آب و هوایی: دمای هوا، تعداد روزهای گرم و سرد، به عنوان شاخص‌هایی از شرایط آب و هوایی بر روی مصرف انرژی تاثیر دارند هر چه تعداد روزهای گرم و دمای هوا افزایش یابد، به دلیل استفاده از وسایل سرمایشی و خنک کننده از قبیل کولر، پنکه و ... مصرف انرژی افزایش می‌یابد. در فصل زمستان نیز به دلیل استفاده از وسایلی مانند بخاری برقی مصرف زیاد می‌شود (ویبنکز و همکاران[۴]،۲۰۰۸).

وسایل برقی خانگی: تقاضای برق خانگی از تقاضا برای خدماتی از جمله روشنایی، گرمایش و سرمایش و پخت و پز نشات می‌گیرد. این خدمات با استفاده از لوازم برقی خانگی تامین می‌شوند. بنابراین هرچه تعداد لوازم برقی خانگی افزایش یابد مصرف برق نیز افزایش می‌یابد. استفاده از لوازم برقی مستهلک و فرسوده باعث افزایش مصرف و در

۱ Olaleye and Akinbode
۲ Morrison and Gladhart
۳ Beccali et al.
۴ Wilbanks et al

مقابل استفاده از لوازم برقی به روز و مدرن با فن‌آوری‌های جدید باعث افزایش بازده مصرف می‌شود (لطفی‌پور و لطفی، ۱۳۸۳).

۲ـ۲. تکنیک‌های الگوسازی مصرف انرژی

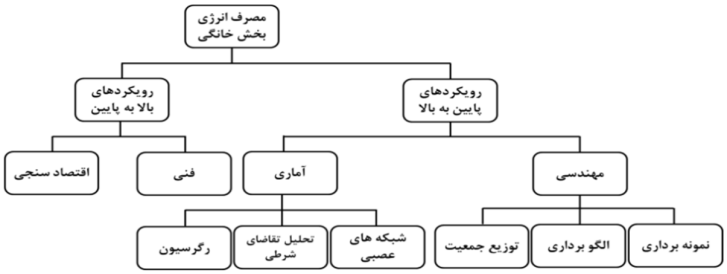
بر اساس مطالعه سوان و اوگورسول[۱](۲۰۰۹)، تکنیک‌های مورد استفاده برای مدل‌سازی مصرف انرژی خانگی[۲] را می‌توان به دو رویکرد بالا به پایین[۳]و پایین به بالا[۴] تقسیم‌بندی کرد. روش بالا به پایین اغلب برای بیان مصرف انرژی در سطح ملی به کار می‌روند، در مقابل روش پایین به بالا در مقیاس‌های کوچکتر به عنوان مثال در سطح افراد یا خانواده‌ها کاربرد دارند (راک[۵]،۲۰۱۳). منشاء این نام‌گذاری به موقعیت سلسله مراتبی داده‌های ورودی در مقایسه با بخش مسکن باز می‌گردد. در رویکرد بالا به پایین، مصرف انرژی کل بخش مسکونی به کمک متغیرهای مربوط با آن برآورد شده و نتایج حاصل به عنوان ویژگی‌های مصرف انرژی کل بخش خانگی تعمیم داده می‌شود، در مقابل در رویکرد پایین به بالا مصرف انرژی افراد یا گروه‌های خانوارها محاسبه شده و سپس این دستاوردها به سطح ملی و منطقه‌ای نسبت داده می‌شوند. در شکل (۱) گروه‌بندی تکنیک‌های مدل‌سازی مصرف انرژی مسکونی نشان داده شده‌اند.

۱ـ۲ـ۲. رویکرد الگوسازی بالا به پایین

این روش هیچ تمایزی به دلیل استفاده‌های فردی [۶] برای مصرف انرژی قائل نمی‌شود و بخش مسکونی (خانگی) مانند یک سینک[۷] انرژی در نظر گرفته می‌شود. قاعده کار در

۱ Swan and Ugursal
۲ Residential Sector
۳ Top- Down
۴ Bottom -Up
۵ Roque
۶ Individual end-uses
۷ Energy Sink

روش بالا به پایین این گونه است که اثرات ناشی از تغییرات بلندمدت و تحولات داخلی بخش مسکونی با هدف شناسایی الزامات عرضه مشخص می‌شوند. متغیرهایی که معمولاً در این مدل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل شاخص‌های اقتصاد کلان مانند تولید ناخالص داخلی، نرخ بیکاری و شاخص‌های قیمت، شرایط آب و هوایی، نرخ ساخت و ساز و تخریب مسکن و تعداد دستگاه‌های الکتریکی برقی خانگی هستند. مدل‌های اقتصادسنجی و تکنولوژیکی دو دسته اصلی زیرمجموعه این رویکرد هستند.



شکل (۱)تکنیک‌های پایین به بالا و بالا به پایین برای الگوسازی مصرف انرژی بخش مسکونی

منبع: سوان و اوگورسول (۲۰۰۹)

۲ـ۲ـ۲. رویکرد الگوسازی پایین به بالا

این روش شامل تمام الگوهایی است که داده‌های ورودی مورد استفاده، موقعیت سلسله مراتبی پایینی در مقایسه با بخش مسکن دارند. مدل‌های این روش مصرف انرژی را برای استفاده‌های فردی و یا گروهی خانوارها محاسبه می‌کنند و سپس با وزن‌دهی به نتایج مدل شده مصرف انرژی در سطح منطقه‌ای یا ملی استخراج می‌شود. روش‌های آماری و مهندسی دو زیر مجموعه اصلی این رویکرد هستند. مدل‌های آماری از اطلاعات گذشته و انواع تحلیل‌های رگرسیونی برای نسبت دادن مصرف انرژی خانگی[۱] به کاربردهای خاص

سینک انرژی شامل تمامی مواردی است که برق در آنجا مصرف می‌شود.
redwoodtwig.blogspot.com/2012/10/psychic-energy-sinks-and-sources.html

۱ Dwelling Energy Consumption

استفاده می‌کنند. وقتی که رابطه خانگی میان انواع کاربردها و مصرف انرژی تعیین شد، مدل می‌تواند برای برآورد و مصرف انرژی در کل بخش مسکونی به کار رود. روش‌های مهندسی به محاسبه مصرف انرژی انواع کاربردها بر اساس رتبه‌بندی قدرت برق، استفاده از تجهیزات و سیستم‌های انتقال حرارت و روابط ترمودینامیکی می‌پردازند. مدل‌های پایین به بالا از قابلیت تعیین مصرف انرژی هر کاربر برخور دارند و بنابراین می‌توانند زمینه‌های بهبود مصرف انرژی را شناسایی کنند. نقطه ضعف این روش در مقایسه با روش بالا به پایین به خاطر سطح جزئیات بیشتر داده‌های ورودی است (سوان و اوگورسول، ۲۰۰۹).

۳. پیشینه پژوهش

این بخش به بررسی مطالعات انجام شده داخلی و خارجی در زمینه مصرف برق خانگی پرداخته است. تاکنون مطالعات متعددی در داخل کشور در زمینه تقاضای برق خانگی انجام شده است و در بسیاری موارد سعی در برآورد کشش‌های قیمتی و درآمدی تابع تقاضای برق داشته‌اند. وجه تمایز این مطالعه با مطالعات پیشین در این است که به بررسی عوامل اقتصادی- اجتماعی به طور هم‌زمان پرداخته و همچنین به طور خاص بخش روستایی را مورد بررسی قرار داده است.

۳-۱. مطالعات داخلی

لطفعلی‌پور و لطفی(۱۳۸۳) با طراحی یک الگوی تک معادله و لگاریتمی به برآورد تابع تقاضای برق خانگی استان خراسان پرداختند و برای این منظور از داده‌های سری زمانی ۱۳۵۵تا ۱۳۸۰ استفاده کردند. نتایج نشان داد که قیمت برق و هزینه خانوار تاثیر معناداری بر مصرف برق ندارند و همچنین کشش متقاطع قیمتی نفت و گاز طبیعی بیان کننده این است که انرژی برق و سایر سوخت‌های جایگزین نمی‌توانند به راحتی جانشین یکدیگر شوند. محمدی و کروکی(۱۳۹۱) به برآورد و مقایسه تابع تقاضای برق خانگی

برای دو گروه استان‌های سرد و گرم‌تر از میانگین کشوری پرداختند. نتایج حاکی از این بود که کشش قیمتی تقاضای برق خانگی استان‌های گرم نسبت به استان‌های سرد کمتر است. زارع شاه‌آبادی و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی تاثیر عوامل اجتماعی و فرهنگی بر الگوی مصرف انرژی در خانوارهای شهر یزد از طریق روش پیمایشی و پرسشنامه‌ای پرداختند. نتایج نشان داد که خانوارهای یزد دارای الگوی مناسب مصرف انرژی هستند. هاتفی مجومرد و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی تابع مصرف برق خانگی به همراه بررسی تغییر ساختار قیمتی طی سال‌های ۱۳۵۵-۱۳۷۰ و ۱۳۷۱-۱۳۸۹ پرداخته‌اند. برای انجام این کار از آزمون هم جمعی انگل- گرنجر و آزمون هم جمعی دوربین – واتسون استفاده شده است. نتایج نشان داد که در هر دو بازه زمانی، مصرف‌کنندگان نسبت به تغییرات قیمت برق حساسیت کمی دارند. ورهرامی و موحدیان (۱۳۹۵) به برآورد تابع تقاضای برق خانگی برخی شهرستآنهای استان تهران پرداختند و عوامل درآمد سرانه، قیمت واقعی گاز طبیعی، شاخص گرما و برودت هوا و قیمت واقعی برق بخش خانگی موثرترین متغیرها شناسایی شدند. نتایج برآورد نشان داد که کشش قیمتی در کوتاه مدت ۰,۴۲ محاسبه شده و موثرترین عامل در تغییر تقاضا، مصرف دوره گذشته مشترکین با ضریب ۰,۶۵ بود.

۳-۲. مطالعات خارجی

سانتاموریس و همکاران[۱](۲۰۰۶) داده‌های مربوط به اطلاعات مالی، اجتماعی، فنی مصرف انرژی الکتریکی ۱۱۱۰ خانوار را در شهر آتن یونان مورد بررسی قرار دادند. نمونه جمع-آوری شده در ۷ گروه درآمدی تقسیم‌بندی و مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج تحقیق حاکی از تعیین‌کنندگی سطح و کیفیت زندگی خانوارها در میزان مصرف انرژی آنها بود، به طوری که خانوارهای با سطح درآمد کمتر اغلب در واحدهای مسکونی قدیمی و کهنه با تجهیزات گرمایی ضعیف‌تری زندگی می‌کنند و همین امر باعث می‌شود که هزینه سرانه

۱ Santamouris et al.

مربوط به انرژی گرمایی و حرارتی برای گروه کم درآمد بیشتر از گروه‌های دیگر باشد. بیکر و ریلات[۱] (۲۰۰۸) به بررسی الگوی مصرف برق در دو گروه پرمصرف و کم‌مصرف انگلستان پرداختند. نتایج نشان داد که مساحت واحد مسکونی و تعداد اتاق تاثیر زیادی در میزان مصرف برق دارند. بدیر و همکاران (۲۰۱۳)[۲] با بررسی اطلاعات مربوط به ۳۲۳ خانوار به تعیین عوامل موثر در الگوی مصرف برق کشور هلند پرداختند. نتایج به دست آمده نشان دادند که مدت زمان استفاده از وسیله‌های برقی و تعداد اتاق‌های موجود به ترتیب ۳۷ و ۱۴ درصد از تغییرات مصرف برق را بیان می‌کنند. پاچاوری و چیانگ[۳] (۲۰۰۸) به بررسی تابع تقاضای برق خانوارهای شهری در چین پرداختند و به این نتیجه رسیدند که درآمد، قیمت برق و افزایش شهرنشینی در کشور بر مصرف برق خانگی تاثیر داشته‌اند. کاووسیان و همکاران[۴] (۲۰۱۳) به بررسی عوامل رفتاری و ساختاری موثر در مصرف برق خانوارهای آمریکایی پرداختند. نتایج نشان دادند که وضعیت آب و هوا، مکان و تعداد طبقات و مساحت واحد مسکونی مهم‌ترین عوامل تعیین کننده در مصرف برق خانگی بودند. روری و همکاران[۵] (۲۰۱۴) به بررسی جامع مطالعات انجام شده در زمینه تقاضای برق خانگی پرداختند و با مرور تحقیقات قبلی به این نتیجه رسیدند که تاکنون ۶۲ عامل به عنوان متغیرهای تاثیرگذار بر مصرف برق بخش خانگی معرفی شده‌اند. از میان این عوامل ۱۳ مورد مربوط به عوامل اقتصادی- اجتماعی، ۱۲ مورد در ارتباط با مشخصات مسکن و نوع سکونت و ۳۷ مورد نیز در ارتباط با لوازم برقی خانگی بر مصرف خانوارها تاثیر داشتند. علاوه بر این از میان ۱۳ عامل اقتصادی – اجتماعی، ۴ عامل، از میان متغیرهای مربوط به سکونت، ۷ عامل و از میان متغیرهای مربوط به لوازم الکتریکی،

۱ Baker and Rylatt
۲ Bedir et al.
۳ Pachauri and Jiang
۴ Kavousian et al.
۵ Rory et al.

۹ عامل به طور گسترده در اکثر مطالعات معرفی و تاثیر بیشتری بر مصرف برق داشتند. دینگ و همکاران[۱] (۲۰۱۶) به بررسی تابع تقاضای برق خانگی در نقاط مختلف چین با تمرکز شهرنشینی متفاوت در بازه زمانی ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۳ پرداختند و به این نتیجه رسیدند که درآمد و شرایط آب و هوایی به ویژه دمای هوا بیشترین تاثیر را بر مصرف برق داشته‌اند. یی‌توچن[۲] (۲۰۱۷) به بررسی عوامل موثر بر مصرف انرژی برق پرداخت و به این نتیجه رسید که متغیرهای کلان اقتصادی مانند تولید ناخالص داخلی، نرخ بیکاری، مساحت واحد مسکونی و بکارگیری برچسب‌های انرژی تاثیر قابل توجهی بر میزان مصرف برق داشتند، در مقابل قیمت برق و استانداردهای کارایی انرژی ارتباط معناداری با میزان مصرف برق نداشتند. بسانی و برگرالو[۳] (۲۰۱۸) به بررسی تاثیر عوامل اقتصادی، اجتماعی بر مخارج مصرفی برق کشور ایتالیا پرداختند. نتایج نشان داد که ویژگی‌های اقتصادی اجتماعی تاثیر قوی‌تری بر مصرف برق در مقایسه با ویژگی‌های ساختمان و وسایل برقی داشتند.

۴. داده‌ها و روش پژوهش

یکی از منابع اطلاعاتی مهم و منحصر به فرد در مباحث اقتصاد خرد اطلاعات طرح هزینه و درآمد خانوار یا به اصطلاح بودجه خانوار است. این اطلاعات سالانه با نمونه‌های گسترده به صورت میدانی و در قالب پرسشنامه‌های مفصل از خانوارهای مختلف در سطح کشور با بخش‌های اجتماعی، اقتصادی (هزینه و درآمد) جمع‌آوری می‌گردند. قسمت اول پرسشنامه شامل پرسش‌هایی درباره خصوصیات اجتماعی اعضای خانوار است که شامل اطلاعاتی از جمله تعداد اعضای خانوار، جنس، سن، وضعیت تحصیل، مدرک تحصیل، وضعیت فعالیت و وضعیت زناشویی می‌شود. در قسمت دوم پرسشنامه سؤالاتی در خصوص

---

۱ Ding et al.

۲ Yi-Tui Chen

۳ Besagni and Borgarello

مشخصات محل سکونت و تسهیلات و لوازم عمده زندگی از خانوارها پرسیده می‌شود. قسمت سوم پرسشنامه مورد استفاده برای جمع‌آوری داده‌های بودجه خانوار، که مفصل‌ترین قسمت آن نیز هست در ارتباط با هزینه‌های خانوار است که در کل ۱۴ بخش را در بر می‌گیرد. در قسمت چهارم نیز وضعیت درآمدی خانوار بحث می‌گردد که اساساً به دلیل اینکه این قسمت توسط خانوارها کم اظهاری می‌گردد، عملاً مورد استفاده علمی واقع نمی‌گردد و به همین دلیل در بیشتر مطالعات انجام شده در زمینه بودجه خانوار اغلب از اطلاعات مربوط به مخارج کل خانوار به عنوان نزدیک‌ترین شاخص به درآمد کل آن استفاده می‌شود. در این پژوهش نیز این‌گونه عمل شده است و مخارج کل به عنوان شاخصی از درآمد کل خانوارها لحاظ شده است. از میان تمامی اطلاعات مربوط به اطلاعات خانوارها در پرسشنامه‌های بودجه خانوار، در این پژوهش ۲۴ مورد از این اطلاعات به عنوان عوامل موثر بر مخارج برق خانوارها مورد بررسی قرار گرفتند. این عوامل عبارت بودند از: قیمت برق، درآمد کل خانوار، تعداد کودک، تعداد نوجوان، تعداد بزرگسال، سن سرپرست، سال تحصیل سرپرست، وضعیت فعالیت سرپرست، وضعیت فعالیت همسر، وضعیت تاهل، نوع مصالح واحد مسکونی، مساحت واحد مسکونی، تعداد اتاق، وضعیت ملکی، وجود کولر گازی ثابت، وجود کولر آبی ثابت، وجود کولر گازی متحرک، وجود کولر آبی متحرک، وجود لباسشویی، پنکه، کامپیوتر، نوع سوخت پخت و پز، نوع سوخت گرمایشی، مخارج گاز شهری.

۴-۱. نقشه‌های خودسازمانده و نقشه‌های خودسازمانده دسته‌ای

نقشه‌های خودسازمانده[۱] (SOM) گونه‌ای از شبکه‌های عصبی مصنوعی هستند متشکل از واحدهای رقابتی هستند که با یکدیگر در یک شبکه منظم با سه، چهار یا شش

۱ Self-Organizing Map (SOM)

همسایگی[۱] در ارتباط هستند (کوهنن[۲]، ۱۹۹۷). این واحدهای رقابتی با داده‌های مورد نظر هم‌بعد بوده و در گام آموزش با کمک داده‌های آموزشی الگوی موجود در داده‌ها را آموزش می‌بینند. پس از آن شبکه قادر خواهد بود که با ارائه هر داده الگوی مشابه با آن را از طریق واحدهای رقابتی تخمین زده و در مورد آن قضاوت نماید. به طور دقیق‌تر یک نقشه‌ی خودسازمانده، یک شبکه $G=\{w_1,w_2,...,w_n\}$ است که هر w_i برای $i=1,2,...,n$ یک واحد رقابتی بوده و به صورت مشخصی با همسایه‌های خود در ارتباط است و بعد w_i برابر بعد داده‌ها است. برای مثال اگر داده‌ها m بعد (تعداد متغیرها) داشته باشند آنگاه برابر یک بردار m بعدی مانند $w_i=\langle w_i^1,w_i^2,...,w_i^m\rangle$ خواهد بود. تمامی این وزن‌ها در ابتدا به صورت تصادفی مقداردهی می‌شود و زمانی که یک داده (یا نمونه) آموزشی (برای مثال متغیرهای مستقل دخیل در تعیین مخارج برق به همراه میزان برق مصرفی برای خانوار t) که آن را با $X_t=\langle x_t^1,x_t^2,...,x_t^m\rangle$ نشان می‌دهیم، به شبکه ارائه می‌شود، میزان شباهت هر واحد رقابتی با بردار X_t سنجیده می‌شود و شبیه‌ترین واحد رقابتی به عنوان برنده انتخاب می‌گردد (کوهنن، ۱۹۹۷). اگر برنده رقابت را با b نشان دهیم آنگاه رابطه (۱) را خواهیم داشت:

$$\|X_t-w_b\|=\min_{1\le i\le n}\{\|X_t-w_i\|\} \qquad (۱)$$

مقدار $\|X_t-w_i\|$ که معیاری است برای میزان شباهت بین دو بردار، در داده‌های عددی می‌تواند فاصله اقلیدسی و یا زاویه بین دو بردار تعریف شود. پس از مشخص شدن برنده رقابت آنگاه طبق رابطه زیر وزن‌های شبکه به‌روز می‌شود:

$$w_i^j(t+1)=w_i^j(t)+\gamma(t)h_{ib}(t)(x_t^j-w_i^j(t)) \qquad (۲)$$

۱ Neighboorhood

۲ Kohenen

در این رابطه، $\gamma(t)$ نرخ یادگیری است که عموماً پارامتری است و در بازه *(0,1)* و بسته به مقدار t روند کاهشی دارد، $h_{ib}(t)$ فاصله واحد رقابتی i از واحد برنده b است. $h_{ib}(t)$ نیز نسبت به t روند کاهشی دارد. از روابط زیر می‌توان برای به‌روز رسانی این مقادیر استفاده نمود:

$$\gamma(t) = \gamma_0 \exp\left(-\frac{t}{t_{\max}}\right) \quad (۳)$$

$$\gamma(t) = (\gamma_{\max} - \gamma_{\min})\frac{T-t}{T-1} + \gamma_{\min} \quad (۴)$$

که T برابر تعداد کل نمونه‌های آموزشی، γ_0 مقدار پایه برای یادگیری و $\gamma_{\min}$ و $\gamma_{\max}$ پارامترهای کمینه و بیشینه برای یادگیری است. همچنین از همین روابط برای محاسبه و به‌روز رسانی مقدار $h_{ib}(t)$ نیز می‌توان استفاده نمود. نمونه‌های آموزشی در گام آموزش برای $t=1,2,...,t_{max}$ به شبکه ارائه داده شده و وزن‌های واحدهای رقابتی به‌روز می‌شود. دقت شود که این بروزرسانی‌ها در راستای تغییر شکل وزن‌ها و شبیه شدن به داده‌های آموزشی صورت می‌گیرد. همچنین می‌توان فاز آموزش را برای چندین بار (epoch) تکرار کرد. پس از اتمام آموزش می‌توان در خصوص داده‌های تست قضاوت کرد. از دیگر مزایای نقشه‌های خودسازمانده می‌توان به حساسیت بسیار کم این روش به داده‌های پرت[۱] اشاره نمود. در واقع در محاسبه واحد رقابتی برنده (رابطه ۱) میزان مشابهت هر واحد نسبت به داده آموزشی ارائه شده، سنجیده می‌شود. در این رابطه m متغیر (بعد داده‌های آموزشی) هم‌زمان در نظر گرفته می‌شوند و از این‌رو تعیین برنده کمتر حساس به داده‌های پرت است.

از آنجایی که پس از هر بار ارائه نمونه آموزشی در نقشه‌های خودسازمانده و یافتن واحد رقابتی برنده در شبکه، وزن واحدها با توجه به رابطه (۲) تغییر می‌کند، بنابراین این الگوریتم به ترتیب ارائه ورودی‌ها حساس است. چرا که پس از هر بار ارائه ورودی با کمک روابط (۱)- (۴) مقادیر هر واحد آموزشی تغییری متناسب با همان ورودی خواهند داشت

۱ Noisy Data

و این تغییر، در تعیین برنده برای ورودی بعدی تاثیرگذار خواهد بود. در ادامه گونه جدیدتری از نقشه‌های خودسازمانده، که در این مطالعه از آن استفاده شده است، با عنوان نقشه‌های خودسازمانده دسته‌ای که ما آن را با BSOM [۱] نشان می‌دهیم، معرفی می‌کنیم (فور ت[۲] وهمکاران، ۲۰۰۲). تفاوت نقشه‌های خودسازمانده دسته‌ای با نقشه‌های خودسازمانده در نحوه ارائه نمونه‌های آموزشی و بروزرسانی واحدهای رقابتی است. در BSOM نمونه‌های آموزشی به صورت دسته‌ای به شبکه ارائه می‌شوند و بروزرسانی اوزان واحدها در پایان ارائه تمام نمونه‌های آموزشی هر دسته انجام می‌شود. به طور دقیق‌تر تعیین برنده بدون لحاظ تغییر وزن‌ها انجام می‌شود ولی محاسبات مربوط به آن (رابطه (۲)) انجام شده و به یک‌باره در پایان ارائه تمام نمونه‌های یک دسته اعمال می‌شود. این کار باعث می‌شود که دیگر به ترتیب ارائه نمونه‌های آموزشی حساس نبوده و همچنین امکان پیاده‌سازی موازی این الگوریتم را فراهم می‌نماید. با این توضیحات نحوه به‌روزرسانی یا همان رابطه (۲) در الگوریتم BSOM به شکل زیر تغییر خواهد نمود:

$$w_i^j(t+1)=\frac{\sum_{t=1}^{n} h_{ib}(t)x_t^j}{\sum_{t=1}^{n} h_{ib}(t)} \qquad (۵)$$

هر دو الگوریتم SOM و BSOM را فقط می‌توان بر روی داده‌های عددی[۳] به کار برد. این در حالی است که در بسیاری از مسائل دنیای واقعی و همچنین مسئله مورد بحث در این مقاله داده‌ها غیرعددی[۴] هستند. عموماً مهم‌ترین مشکل الگوریتم‌ها در برخورد با چنین نوع داده‌های غیرعددی مربوط به تعیین معیاری جهت محاسبه فاصله یا اختلاف

۱ Batch SOM
۲ Fort
۳ Numerical
۴ Nonnumeric or Categorical

بین دو داده است (هوانگ[۱]، ۱۹۹۸). در ادامه الگوریتم BSOM را برای این منظور تغییر داده شده و برای تعیین متغیرهای موثر در تعیین مخارج برق به کار گرفته شده است. چنانچه p متغیر نخست از نمونه آموزشی $X_t = \langle x_t^1, x_t^2, ..., x_t^m \rangle$، متغیرهای غیرعددی بوده و m-p تعداد از آنها مقادیر عددی باشند. آنگاه فاصله یا عدم تشابه بین X_t و یک واحد رقابتی $w_i = \langle w_i^1, w_i^2, ..., w_i^m \rangle$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$dis(X_t, w_i) = \sum_{j=1}^{p} \delta(x_t^j, w_i^j) + \sum_{j=p+1}^{m} \delta(x_t^j - w_i^j)^2 \qquad (۶)$$

که در آن $\delta(x_t^j, w_i^j)$ نشان‌دهنده یکسان بودن (زمانی که $\delta(x_t^j, w_i^j) = 0$) یا متفاوت بودن (زمانی که $\delta(x_t^j, w_i^j) = 1$) نمادهای متغیر j ام است. بنابراین در الگوریتم BSOM از رابطه (۶) برای محاسبه فاصله بین دو داده و یافتن واحد رقابتی برنده استفاده می‌شود. در نهایت پس از ارائه تمام داده‌های آموزشی یک دسته، با استفاده از رابطه (۵) می‌توان وزن‌های مربوط به متغیرهای عددی را به‌روزرسانی کرد. اما روش به‌روزرسانی متغیرهای غیرعددی شبکه متفاوت بوده و متناسب با نماد داده‌های آموزشی و واحد رقابتی برنده تعیین می‌گردد فرض کنید $\{c_1^j, c_2^j, ..., c_k^J\}$ تعداد J نماد متناظر با متغیر j ام (j=1,2,…,p) باشند. آنگاه فرکانس هر نماد c_l^j به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$F(c_l^j, w_i^j(t)) = \frac{\sum_{t=1}^{n} (h_{ib}(t) \mid x_t^j = c_l^j)}{\sum_{t=1}^{n} (h_{ib}(t))}, j = 1,2,..., J. \qquad (۷)$$

بنابر تعریف فوق $F(c_l^j, w_i^j(t))$ عددی بین صفر و یک خواهد بود و نشان دهنده درصد حضور نماد c_l^j در متغیر j ام از داده‌های آموزشی است که با توجه به میزان نزدیکی به واحد رقابتی برنده یا همان $h_{ib}(t)$ محاسبه می‌گردد. پس از محاسبات مربوط به

۱ Huang

فرکانس هر نماد، با استفاده از اصول چرخ رولت احتمال آنکه $w_i^j(t)$ نماد c_l^j را انتخاب کند، متناسب با فرکانس آن نماد $F\left(c_l^j, w_i^j(t)\right)$ انتخاب می‌شود.

۴-۲. نقشه‌های خودسازمانده دسته‌ای برای تخمین مخارج برق

فرض کنید $X_1, X_2, \ldots, X_T$ داده‌های بدست آمده از T مشاهده مختلف باشند. هر داده X_t به صورت یک بردار m تایی $\left\langle x_t^1, x_t^2, \ldots, x_t^m \right\rangle$ شامل متغیرهای مستقل عددی و غیرعددی است. همچنین هر داده X_t دارای یک مقدار مشخص y_t به عنوان مقدار وابسته یا تابع است که در اینجا همان مخارج برق است. به عبارت دیگر، داریم:

$$y_t = f\left(x_t^1, x_t^2, \ldots, x_t^m\right) \qquad (۸)$$

از آنجایی که بیشتر متغیرهای دخیل در میزان مخارج برق به صورت غیرعددی استخراج شده‌اند، لذا ارائه یک تعریف دقیق ریاضی برای چنین تابعی غیر ممکن است. بنابراین در ادامه با کمک الگوریتم نقشه‌های خودسازمانده دسته‌ای سعی بر آن است که ابتدا مدلی هوشمند را فراهم شود که با آن رفتار تابع مورد نظر را آموزش دیده و سپس با کمک آن و با داشتن یک نمونه X_t مقدار y_t تخمین زده شود. این مقدار تخمینی با $\hat{y}_t$ نشان داده می‌شود. در نهایت با کمک چنین الگویی تلاش خواهد شد که متغیرهای موثر در تعیین تابع استخراج شوند. در بخش پیوست مقاله شبه‌کد الگوریتم پیشنهادی آورده شده است. در الگوریتم آموزش شبکه از آنجایی که هدف نهایی آموزش، شبکه‌ای است که فقط با داشتن متغیرهای وابسته بتواند مقدار مخارج برق را تخمین بزند، بنابراین این مقدار در تعیین واحد رقابتی شرکت نمی‌کند و برنده فقط با m بعد اول داده‌ها تعیین می‌گردد. لازم به ذکر است که این مقادیر در لایه‌ای جداگانه از شبکه و با همان نسبت به‌روزرسانی m بعد نخست،به‌روز می‌شود. پس از اتمام مرحله آموزش، با داشتن یک مقدار داده جدید $X_{t'} = \left\langle x_{t'}^1, x_{t'}^2, \ldots, x_{t'}^m \right\rangle$ مقدار تخمینی مخارج برق آن یعنی $\hat{y}_{t'}$ را می‌توان بدست آورد. برای این کار کافی است داده X_t به شبکه ارائه شده و واحد رقابتی برنده

تعیین شود. این واحد رقابتی در واقع شبیه‌ترین داده به داده X_t است و مقدار بعد m+1 آن تقریب بسیار خوبی از y_t خواهد بود. در ادامه ما همچنین از این روش در ارزیابی الگوریتم خود استفاده خواهیم نمود. برای این کار ما ابتدا شبکه را با ۹۰٪ داده‌های آموزش داده و سپس با کمک ۱۰٪ دیگر، خروجی شبکه را ارزیابی می‌کنیم. در نهایت برای تعیین متغیرهای موثر، شبکه یک بار دیگر با تمام داده‌های موجود آموزش داده شده و میزان برازش آن سنجیده می‌شود. سپس در هر گام یک متغیر را از مجموعه متغیرها انتخاب نموده و مقادیر مربوط به آن در داده‌های آموزشی به صورت کاملا تصادفی تغییر داده می‌شود. اگر این متغیر نقش مهمی را در تعیین مخارج برق داشته باشد، آنگاه باید شبکه آموزش دیده شده اولیه در مقابل این تغییر واکنش نسبتا چشمگیری را داشته باشد و مقدار تخمینی برای چنین نمونه تغییر داده شده‌ای با مقدار تخمینی برای نمونه اولیه تفاوت نسبتا زیادی داشته باشد (هاپفلمیر[۱]، ۲۰۱۴). بنابراین میانگین اختلاف این دو مقدار تخمین زده شده به ازای تمام نمونه‌های آموزشی $t=1,2,...,T$ حاوی اطلاعات بسیار مفیدی از میزان اهمیت آن متغیر در تعیین میزان مخارج برق خواهد داشت. با انجام این فرایند برای ۲۴ عامل مذکور در بخش داده‌ها، سه سطح تاثیرگذاری برای عوامل موثر بر مخارج برق مصرفی خانوارهای روستایی کشور محاسبه شد. عواملی که در هر سطح قرار دارند از شدت تاثیر بسیار مشابهی برخوردارند به این معنا که میزان خطای تقریب الگوریتم در صورت حذف آن متغیرها بسیار به هم نزدیک است.

۵. تفسیر نتایج شبیه‌سازی

در این بخش به بررسی یافته‌های حاصل از کاربرد الگوریتم پیشنهادی BSOM برای برآورد تابع مخارج برق روستایی در کشور و تعیین متغیرهای موثر بر آن پرداخته و مشخصات و پارامترهای مربوط به آن در جدول (۱) آورده شده است.

---

۱ Hapfelmiere

جدول (۱): پارامترهای استفاده شده در الگوریتم پیشنهادی

اندازه شبکه- تعداد واحدهای رقابتی	شبکه مربعی منظم ۳۰×۳۰
نحوه تعیین فاصله بین هر دو واحد رقابتی	فاصله گسسته روی شبکه بین دو واحد رقابتی
معیار شباهت در تعیین واحد برنده	مجذور فاصله گسسته بین متغیرهای عددی و تشابه یا عدم تشابه بین متغیرهای غیرعددی
$(\gamma_0, \gamma_{\min}, \gamma_{\max}, \lambda, Ep)$	(1,2,0,0.6,100)

منبع: یافته‌های پژوهش

داده‌های روستایی مرحله تست مربوط به تعداد ۱۳۸۴۳ خانوار بر اساس طرح بودجه خانوار مرکز آمار هستند. از آنجایی که هزینه مربوط به استفاده از امکانات گرمایشی و سرمایشی در فصول سال می‌تواند بر روی مخارج مصرفی برق تاثیر جدی داشته باشد، الگوریتم به صورت جداگانه برای هر فصل اجرا و نتایج آن گزارش شده است. همچنین برای جلوگیری از هرگونه یک‌سویی و تاثیر در رابطه (۱) در الگوریتم، تمام مقادیر عددی در بازه (۱ ،۰) نرمال‌سازی شده‌اند. برای ارزیابی الگوریتم‌ها از معیارهای متعددی استفاده می‌شود که در این پژوهش از میانگین قدرمطلق انحرافات۱، بیشینه قدرمطلق انحرافات۲ و درصد میانگین قدرمطلق خطاهای۳ پیش‌بینی که روابط آنها در ادامه آورده شده است، بهره گرفته شده است.

$$MeAD = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{n}\left|y_t - \hat{y}_t\right|, \qquad (۹)$$

$$MaAD = \max_{1\le t\le T}\left|y_t - \hat{y}_t\right|, \qquad (۱۰)$$

$$MAPE = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{n}\left|\frac{y_t - \hat{y}_t}{\hat{y}_t}\right|. \qquad (۱۱)$$

در این روابط T تعداد نمونه‌های ارزیابی شده با الگوریتم، y_t و $\hat{y}_t$ به ترتیب مقدارهای واقعی و تخمین زده شده توسط الگوریتم برای داده t ام است. برای ارزیابی

۱ Mean Absolute Deviation (MeAD)

۲ Maximal Absolute Deviation (MaAD)

۳ Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

الگوریتم، شبکه ابتدا با ۹۰ درصد داده‌ها آموزش داده شده و سپس با کمک ۱۰ درصد دیگر تست شده است. نتایج ارزیابی به تفکیک فصل در جدول (۲) گزارش شده است.

جدول (۲): نتایج ارزیابی الگوریتم پیشنهادی برای مخارج برق به صورت داده‌های هر فصل

	فصل بهار	فصل تابستان	فصل پاییز	فصل زمستان
تعداد کل داده‌ها	۳۴۵۵	۳۴۵۵	۳۴۲۷	۳۵۰۸
تعداد داده‌های آموزشی	۳۱۱۰	۳۴۰۸	۳۰۸۵	۳۱۵۸
تعداد داده‌های تست	۳۴۵	۳۴۵	۳۴۲	۳۵۰
MeAD	۰.۰۶۵۸	۰,۰۵۶۲	۰,۰۵۹۵	۰,۰۶۸۱
MaAD	۰.۳۰۵۶	۰,۲۸۶۰	۰,۲۴۱۸	۰,۳۰۹۳
MAPE	۰.۰۲۶۲	۰,۰۳۵۲	۰.۰۸۰۴	۰.۰۱۸۰

منبع: یافته‌های پژوهش

مطابق جدول (۲) خطای مربوط به پیش‌بینی در سه فصل کمتر از ۵ درصد و در فصل پاییز نیز کمتر از ۱۰ درصد است. برای تعیین اولویت در متغیرهای موثر در تعیین مخارج برق، از آنجایی که تغییر فصل و دمای هوا در استفاده یا عدم استفاده از برخی از وسایل برقی و به تبع آن مخارج برق موثر است، روش زیر به صورت جداگانه برای داده‌های هر فصل به کار گرفته شده است. ابتدا شبکه برای تمام داده‌های یک فصل با همان پارامترهای بیان شده در جدول (۱) آموزش داده شده و سپس در هر گام یکی از متغیرهای مسئله انتخاب شده و به روشی که در ادامه توضیح داده می‌شود، اولویت آن تعیین می‌گردد. اگر یک متغیر در تعیین میزان مصرف برق نقش مهمی داشته باشد، آنگاه با تغییر مقدار آن در یک نمونه و انتخاب یک مقدار تصادفی به جای مقدار واقعی آن و ارائه مجدد آن به شبکه، واحد رقابتی برنده با احتمال زیادی متفاوت شده و در نتیجه مقدار تخمینی شبکه برای مصرف برق نیز متفاوت می‌شود. در واقع این مطلب بر این اصل استوار است که اگر x_t^j به عنوان متغیر jام در نمونه آموزشی $X_t = \langle x_t^1, x_t^2, ..., x_t^m \rangle$ در تعیین مقدار $\hat{y}_t$ از اهمیت نسبتا زیادی برخوردار باشد، آنگاه با جایگذاری یک مقدار تصادفی به جای آن، تخمینی که شبکه آموزش داده شده برای آن ارائه می‌کند متفاوت از مقدار قبلی خواهد بود. به طور دقیق‌تر، فرض کنید $\hat{y}_t$ مقدار تخمین شبکه برای نمونه واقعی X_t و $\hat{y}_{tr}$ مقدار

تخمینی شبکه برای نمونه‌ای از X_t که مقدار x_t^j آن با یک مقدار تصادفی جایگذاری شده است. آنگاه اگر تفاضل $|\hat{y}_{tr} - \hat{y}_t|$، مقدار قابل توجهی باشد، نشان‌دهنده اهمیت متغیر jام در تعیین مصرف برق و اگر $|\hat{y}_{tr} - \hat{y}_t|$ مقدار کوچکی باشد، نشان‌دهنده اهمیت کم این متغیر است. دقت شود که این مقدار اختلاف برای تمام نمونه‌های آموزشی $t=1,2,...,T$ محاسبه شده و میانگین آنها به عنوان معیار مورد قضاوت قرار می‌گیرد. این مقدار میانگین خطای تخمین برای تمام متغیرها محاسبه و در نهایت به ترتیب از بیشترین تا کمترین مرتب می‌شود. نتایج این اولویت‌بندی همان‌طور که در بخش قبل ذکر شد و در جدول (۳) نشان داده شده است در سه سطح تاثیرگذاری ۱ تا ۳ (بیشترین به کمترین) محاسبه شده‌اند.

جدول (۳): نتایج استخراج اولویت متغیرهای موثر در مخارج برق توسط الگوریتم پیشنهادی

سطح تاثیرگذاری	بهار	زمستان	پاییز	تابستان
سطح ۱	قیمت برق	قیمت برق	قیمت برق	قیمت برق
	میزان‌تحصیل‌سرپرست	میزان‌تحصیل‌سرپرست	میزان‌تحصیل‌سرپرست	میزان‌تحصیل‌سرپرست
	تعداد نوجوان	تعداد نوجوان	تعداد نوجوان	کولر آبی ثابت
	مصالح	مصالح	مصالح	تعداد نوجوان
سطح ۲	ماشین لباسشویی	ماشین لباسشویی	تعداد کودک	مصالح
	کولر آبی ثابت	تعداد کودک	تعداد اتاق	پنکه
	پنکه	تعداد اتاق	ماشین لباسشویی	ماشین لباسشویی
	تعداد کودک	وضعیت فعالیت سرپرست	پنکه	تعداد کودک
	تعداد اتاق	تعداد بزرگسال	کولر آبی ثابت	تعداد اتاق
سطح ۳	وضعیت فعالیت سرپرست	درآمد کل خانوار	وضعیت فعالیت سرپرست	وضعیت فعالیت سرپرست
	تعداد بزرگسال	مساحت محل سکونت	تعداد بزرگسال	تعداد بزرگسال
	درآمد کل خانوار	کد سوخت گرما	درآمد کل خانوار	درآمد کل خانوار
	مساحت محل سکونت	نوع سوخت پخت و پز	مساحت محل سکونت	مساحت محل سکونت
	نوع سوخت پخت و پز	پنکه	نوع‌سوخت‌پخت‌وپز	نوع‌سوخت‌پخت‌وپز
	نوع سوخت گرما	کولر آبی ثابت	نوع سوخت گرما	نوع سوخت گرما

منبع: یافته‌های پژوهش

مطابق جدول (۳) از تمامی ۲۴ عامل بررسی شده در مدل، در مجموع ۱۵ عامل اساسی شامل ۲ عامل کمی قیمت برق و درآمد کل خانوار و ۱۳ عامل کیفی بر مخارج برق خانوارهای روستایی کشور تاثیرگذار هستند. با توجه به تعداد و اولویت رتبه‌بندی عوامل می‌توان به این نتیجه رسید که سطح تاثیرگذاری عوامل کیفی بر تابع مخارج مصرفی برق بسیار گسترده‌تر از عوامل کمی است. در مجموع عوامل قیمت برق، میزان تحصیلات سرپرست خانوار، تعداد نوجوان و نوع مصالح موثرترین عوامل در مخارج برق خانوارهای روستایی هستند. استفاده از تجهیزات الکترونیکی ماشین لباسشویی، کولر آبی ثابت، پنکه و تعداد کودک و تعداد اتاق نیز ۵ عامل موثر بعدی با درجه تاثیرگذاری کمتر را تشکیل می‌دهند و در نهایت ۶ عامل باقیمانده در آخرین رده تاثیرگذاری بر تابع مخارج مصرفی خانوارهای روستایی قرار دارند. اولویت‌بندی این عوامل در بیشتر موارد در فصول مختلف سال مشابه هم است. اما آنچه باعث اختلاف این رده‌بندی در فصل‌های مختلف شده استفاده از وسایل برقی خانگی است که با تغییرات دما به شدت تحت تاثیر قرار می‌گیرد. به طور مثال در فصل بهار ماشین لباسشویی، کولر آبی ثابت و پنکه در اولویت بالاتری نسبت به تعداد کودک و اتاق و در سطح ۲ تاثیرگذاری قرار دارند در حالی که در تابستان به دلیل شدت گرما، تاثیرگذاری کولر آبی به درستی آن‌قدر افزایش یافته که در سطح ۱ تاثیرگذاری و بالاتر از مصالح ساختمانی قرار گرفته است. علاوه بر این پنکه نیز بالاتر از ماشین لباسشویی در سطح ۲ قرار گرفته است. با سرد شدن دمای هوا در فصل پاییز استفاده از این تجهیزات کم اهمیت‌تر از تعداد کودک و تعداد اتاق می‌شود و ماشین لباسشویی نیز موثرتر از پنکه و پنکه نیز موثرتر از کولر آبی ثابت قرارگرفته است. این تغییرات با درجه دمای فصل هم‌خوانی دارد و نشات گرفته از میزان استفاده از این تجهیزات است. در زمستان به دلیل عدم استفاده از کولر و پنکه تاثیرگذاری این دو عامل به شدت کاهش یافته تا آن‌جا که در آخرین ردیف‌های تاثیرگذاری در سطح ۳ ظاهر شدند. همچنین در فصل زمستان به دلیل این‌که سوخت گرمایشی بسیار بیشتر از فصول

دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد، رتبه بالاتری نسبت به سوخت پخت و پز پیدا کرده است.

۶. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

انرژی الکتریکی به عنوان یکی از صنایع زیربنایی هر کشور در توسعه اقتصادی و رفاه اجتماعی نقش کلیدی ایفا می‌کند. تامین این انرژی برای بیشتر کشورها با توجه به رشد فزاینده تقاضای آن و محدودیت طرف عرضه به مسال‌های جدی و اساسی تبدیل شده است و مدیریت تقاضای آن نیازمند شناخت الگوی رفتاری مصرف‌کنندگان است. کشور ایران در سال‌های اخیر با موج مهاجرت روستاییان به شهرها مواجه شده است که تبعات اقتصادی و اجتماعی مختلفی از جمله کاهش سهم بخش کشاورزی از تولید ناخالص داخلی کشور، افزایش نرخ بیکاری، افزایش حاشیه‌نشینی و رشد اشتغال کاذب و ناهنجاری‌ها و نارضایتی‌های اجتماعی را به دنبال دارد. تجهیز روستاها به امکانات اولیه شهری از جمله برق و ارتقاء سطح زندگی آنها می‌تواند تا حدی مانع از مهاجرت گردد. برای موفقیت در این امر، مدیریت تقاضای برق به عنوان حلقه مکمل تولید، از اهمیت برخوردار است به ویژه این که در سال‌های اخیر به دلیل بروز خشکسالی‌های پیاپی و کم آبی، کشور از مشکلات مختلفی در این زمینه رنج می‌برد و با توجه به پیش‌بینی‌های موجود در رابطه با شرایط اقلیمی به نظر می‌رسد در آینده نزدیک منابع تولید برق محدودتر و مشکلات عرضه نیز بیشتر گردند، لذا امروزه مدیریت طرف تقاضا به یک ضرورت تبدیل شده است. حصول موفقیت در این امر در گرو شناخت هر چه دقیقتر الگوی رفتاری مصرف‌کنندگان است. به همین جهت در این پژوهش سعی شده عوامل موثر بر مخارج برق مصرفی روستاییان شناسایی شوند. به منظور انجام این کار به دلیل اینکه رفتار مصرف‌کنندگان بسیار پیچیده‌تر از آن است که توسط مدل‌ها و روابط صریح ریاضی قابل بیان باشد، از نقشه‌های خود سازمانده دسته‌ای استفاده شده است. در راستای تعیین هرچه دقیقتر الگوی مصرف، صرفا بر عوامل اقتصادی متمرکز نبوده بلکه عوامل اجتماعی

نیز در مدل‌سازی وارد شدند. تعیین این عوامل بسترها و زمینه‌های کاهش مصرف را کشف و به سیاست‌گذار در انتخاب و بکارگیری ابزارهای مناسب کمک شایانی می‌نماید. نتایج حاکی از این بودکه عوامل کیفی بسیار گسترده‌تر از عوامل کمی بر تابع مخارج برق خانوارهای روستایی تاثیرگذار هستند. لذا برخلاف روال معمول سیاست‌گذاری‌ها و تمرکز بر تعرفه‌های قیمتی، می‌توان بر سیاست‌گذاری از طریق این عوامل کیفی توجه داشت و اقدام نمود. در میان عوامل کیفی میزان تحصیلات، بالاترین رتبه را به دست آورده است بنابراین می‌توان دریافت که از میان عوامل کیفی تغییرات سطح دانش در خانوار بیشترین تاثیر را بر مصرف سرانه برق خواهد داشت، در نتیجه سیاست‌گذار می‌تواند با طراحی و اجرای برنامه‌های اطلاع‌رسانی و آموزشی به افزایش سطح آگاهی خانوارها در رابطه با الگوی بهینه مصرف پرداخته و در کاهش تقاضا و هدررفت انرژی برق مثمرثمر واقع شود. تعداد نوجوانان به عنوان دومین عامل کیفی تاثیرگذار بر مخارج برق شناسایی شده است، در نتیجه برنامه‌های آموزشی ویژه نوجوانان به دلیل اینکه تاثیرگذاری این قشر از خانوار نسبت به سایر اعضا بیشتر است می‌تواند به عنوان ابزار سیاستی اتخاذ گردد و یا اینکه تعرفه‌های قیمت‌گذاری با توجه به تعداد نوجوانان در خانواده‌ها طراحی شوند. نوع مصالح نیز به عنوان آخرین عامل مهم کیفی در سطح اول تاثیرگذاری شناسایی شد، سیاست‌گذار می‌تواند بسته‌های حمایتی مالی خاصی را برای ساختن واحدهای مسکونی با مصالح مناسب جهت صرفه‌جویی در انرژی به روستاییان ارائه دهد تا با تشویق آنها به ساختن واحد مسکونی با مصالح مناسب جلوی هدر رفت انرژی را بگیرد و یا اینکه تعرفه واحدهای نوساز که از مصالح مناسب انرژی برای صرفه‌جویی برق استفاده کنند را تخفیف دهد. در میان عوامل کمی طبق انتظار و آنچه نظریات بیان کرده‌اند سطح درآمد و قیمت تاثیرگذار هستند. افزایش قیمت در مقایسه با درآمد تاثیرگذارتر بوده است، بنابراین می‌توان به این نتیجه رسید که مصرف برق روستاییان در مقابل تغییرات قیمتی واکنش بیشتری دارد تا تغییرات درآمد، لذا سیاست‌گذاری قیمتی موثرتر است.

پیوست: شبه کد الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم آموزش نقشه‌های خودسازمانده دسته‌ای برای تخمین مخارج برق

ورودی: $\left(X_t=\left\langle x_t^1,x_t^2,...,x_t^m\right\rangle,y_t\right)$ برای $t=1, 2,...,T$

خروجی: شبکه آموزش داده شده جهت تخمین مخارج برق

گام ۰. داده‌های عددی در بازه $[0,1]$ نرمال‌سازی می‌شود. مقدار epoch برابر ۰ قرار داده شود و مقدار Ep تعیین می‌شود.

گام ۱. یک شبکه رقابتی با ساختار چهار همسایگی منظم شامل n واحد رقابتی، که هر کدام شامل $m+1$ بعد می‌باشد، با اوزان تصادفی برای بعدهای عددی در بازه $[0,1]$و برای بعدهای غیرعددی مشابه با دامنه نمادهای آن بعد ساخته می‌شود.

گام۲. برای $t=1,2,...,T$ گام‌های زیر تکرار می‌شود:

گام۲ (الف). داده $m+1$ بعدی $\left(X_t=\left\langle x_t^1,x_t^2,...,x_t^m\right\rangle,y_t\right)$ به شبکه ارائه می‌شود و از طریق رابطه (۶) واحد رقابتی برنده تعیین شده و میزان $h_{ib}(t)$ آن مطابق توضیحات داده شده در روابط (۲) تا (۴) محاسبه می‌گردد. دقت شود بعد $m+1$ *یعنی همان* y_t در تعیین برنده تاثیر نخواهد داشت.

گام۲(ب). مقدار $h_{ib}(t)$ برای تمام واحدهای رقابتی محاسبه می‌شود.

گام۳. با کمک روابطه (۵) و (۷) وزن‌های تمام واحدهای رقابتی برای تمام بعدهای عددی و غیر عددی و همینطور y_t به‌روزرسانی می‌گردد.

گام۴. مقدار epoch یک واحد افزایش یابد. اگر epoch برابر Ep است، فاز آموزش تمام شده است. در غیر اینصورت مجددا از گام ۲ تکرار گردد.

منابع

- Baker, K. J., & Rylatt, R. M. (2008). Improving the prediction of UK domestic energy-demand using annual consumption-data. *Applied Energy*, 85(6), 475-482.
- Barnes, R., & Gillingham, R. (1984). Demographic effects in demand analysis: estimation of the quadratic expenditure system using microdata. *The Review of Economics and Statistics*, 66(4), 591-601.
- Bartiaux, F., & Gram-Hanssen, K. (2005, May). Socio-political factors influencing household electricity consumption: A comparison between Denmark and Belgium. *ECEEE Summer Study Proceedings,* 3, 1313-25.
- Bedir, M., Hasselaar, E., & Itard, L. (2013). Determinants of electricity consumption in Dutch dwellings. *Energy and buildings*, 58, 194-207.
- Besagni, G., & Borgarello, M. (2018). The determinants of residential energy expenditure in Italy. *Energy*, 165, 369-386.
- Bhattacharjee, S., & Reichard, G. (2011, January). Socio-economic factors affecting individual household energy consumption: A systematic review. In ASME 2011 5th International Conference on Energy Sustainability (pp. 891-901). American Society of Mechanical Engineers.
- Chen, Y. T. (2017). The Factors Affecting Electricity Consumption and the Consumption Characteristics in the Residential Sector—A Case Example of Taiwan. *Sustainability*, 9(8), 1484.
- Ding, Y., Qu, W., Niu, S., Liang, M., Qiang, W., & Hong, Z. (2016). Factors influencing the spatial difference in household energy consumption in China. *Sustainability*, 8(12), 1285.
- Duvall, E.M. (1988). Family development's first forty years. *Family Relations,* 37(2), 127-134.
- Fort, J. C., Letrémy, P., & Cottrell, M. (2002). Advantages and drawbacks of the Batch Kohonen algorithm. *ESANN,* 2, 223-230.
- Hamidizadeh, M., Kargar, M. & Hamidian, M. (2014). Presenting the Prediction Model of Iran's Electricity Annual Consumption by means of Narx Neural Network and Studying Effect of Targeted Subsidies on it. *Journal of Econmics and Modelling*, 4(16), 89-113. (In Persian).
- Hapfelmeier, A., Hothorn, T., Ulm, K., & Strobl, C. (2014). A new variable importance measure for random forests with missing data. *Statistics and Computing*, 24(1), 21-34.
- Hatefi, M. M., Jalali, O. & Alaei, R. (2017). The survey of Iran's household electricity demand function by usage of concept of integration and attention to the structural variation in period of 1355-1389. *Iranian Journal of Energy*, 3(1), 102-108 (In Persian).
- Heidari, H., Najjar Firoozjaee M, & Saeidpour L. (2011). Investigating the Relationship Between Electricity Consumption, Electricity Price and

Economic Growth in Iran. *Economic Research and Policies*, 19 (59), 175-20. (In Persian).
- Henderson, J. M., & Quandt, R. E. (1971). *Microeconomic theory: A mathematical approach.* McGraw-Hill.
- Huang, Z. (1998). Extensions to the k-means algorithm for clustering large data sets with categorical values. *Data mining and knowledge discovery*, 2(3), 283-304.
- Jones, R. V., Fuertes, A., & Lomas, K. J. (2015). The socio-economic, dwelling and appliance related factors affecting electricity consumption in domestic buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 901-917.
- Kavousian, A., Rajagopal, R., & Fischer, M. (2013). Determinants of residential electricity consumption: Using smart meter data to examine the effect of climate, building characteristics, appliance stock, and occupants' behavior. *Energy*, 55, 184-194.
- Kohenen, T. (1997). Self-Organizing Maps, Vol. 30 of Lecture Notes in Information Sciences.
- Levinson, D. J. (1978). Eras: The anatomy of the life cycle. *Psychiatric Opinion*. 15(9), 39-48.
- Lotfalipour, M.R., & Lotfi A. (2005). The Survay and the Estimation of Effective Factors on Household Electricity Demand in Khorasan Province. *Quarterly Knowledge and Development*, 15, 48-68 (In Persian).
- McLoughlin, F., Duffy, A., & Conlon, M. (2012). Characterising domestic electricity consumption patterns by dwelling and occupant socio-economic variables: An Irish case study. *Energy and Buildings*, 48, 240-248.
- Michael, R. T. (1972). Front matter, The Effect of Education on Efficiency in Consumption. In *The Effect of Education on Efficiency in Consumption* (pp. 12-0). NBER.
- Mohammadi, & T., Korooki, M. (2014). The comparison between residential demand for electricity in hot and cold provinces in country. *Quarterly Energy Economics Review*, 10 (40), 1-20 (In Persian).
- Nasiripour, A. &Talebzadeh, S. (2016). Electricity consumption peak efficiency, 31st International Power System Conference, Tehran-Iran (In Persian).
- Olaleye, S. O., & Akinbode, S. O. (2012). Analysis of Households' Demand for Alternative Power Supply in Lagos State, Nigeria. *Current Research Journal of Social Sciences*, 4(2), 121-127.
- Pollak, R. A., & Wales, T. J. (1981). Demographic variables in demand analysis. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 49(6), 1533-1551.
- Rangriz, H., & Pashootanizadeh, H. (2014). Evaluation of the Effects of Targeted Subsidies on Household Subscribers Electricity Consumption in Tehran Using Genetic. *Journal of Financial modeling*, 17, 123-144 (In Persian).

- Ray, R. (1982). The testing and estimation of complete demand systems on household budget surveys. *European Economic Review*, 17(3), 349-369.
- Ritonga, H. (1994). The impact of household characteristics on household consumption behavior: A demand system analysis on the consumption behavior of urban households in the province of Central Java, Indonesia.
- Roque, M. (2013). Survey and Articifical Neural Network Analysis on Occupant's Household Energy Use in a High-Rise Multi-Unit Residential Building in Toronto, Canada (Doctoral dissertation, Master Thesis, Ryerson University, Canada).
- Santamouris, M., Kapsis, K., Korres, D., Livada, I., Pavlou, C., & Assimakopoulos, M. N. (2007). On the relation between the energy and social characteristics of the residential sector. *Energy and Buildings*, 39(8), 893-905.
- Schultz, T. W. (1963). *The economic value of education*. Columbia University Press.
- Stöver, B. (2012). *The influence of age on consumption* (No. 3808). EcoMod.
- Swan, L. G., & Ugursal, V. I. (2009). Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques. *Renewable and sustainable energy reviews*, 13(8), 1819-1835.
- Varahrami, V., & Movahedian, M. (2017). Estimation of Residential Electricity Demand among the Selected Counties in Tehran Province using Dynamic Panel Data Model. *The Economic Research*, 17 (2), 121-144 (In Persian).
- Zare Shahabadi, A., Hajizadeh Meymandi, M., & Lotfaliyani, A. Z. (2013). Socio-Cultural factors affecting energy consumption patterns of households in Yazd. *Quarterly journal of energy policy and planning research*. 1 (3), 17-50 (In Persian).