مطالعه اثر تغییرات دمای هوا بر میانگین زمان مصرف روزانه انرژی الکتریکی در کشور

حامد شکوری گنجوی، جلال نظرزاده
دانشکده فنی ـ مهندسی دانشگاه شاهد

چکیده

بررسی چگونگی تغییرات تقاضای انرژی الکتریکی از موضوعات روزآمد در سطح جهان است. مدت زمان مصرف روزانه از متغیرهای مهم دخیل در این موضوع محسوب می‌شود. در این مقاله نحوه تأثیر عامل دمای هوا بر آن متغیر مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. ابتدا برای درک ارتباط میان مصرف انرژی الکتریکی و دما تابعی تخمینی ارائه می‌شود. سپس توسط یک سری الگوهای خطی موازی میزان اثر این عامل در کنار سایر عوامل برآورد شده است. بهترین الگوهای برآوردی که از طریق تصمیم‌گیری فازی با ترکیب معیارهای متنوع صورت گرفته است، نشان می‌دهد که بیش از ۵۰ درصد (تا ۶۳٪) از تغییرات متوسط زمان مصرف روزانه انرژی الکتریکی در کشور ناشی از تغییرات آب و هوایی است.

واژه‌های کلیدی: تقاضای انرژی الکتریکی، تأثیر دما، زمان مصرف روزانه انرژی الکتریکی

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

مقدمه

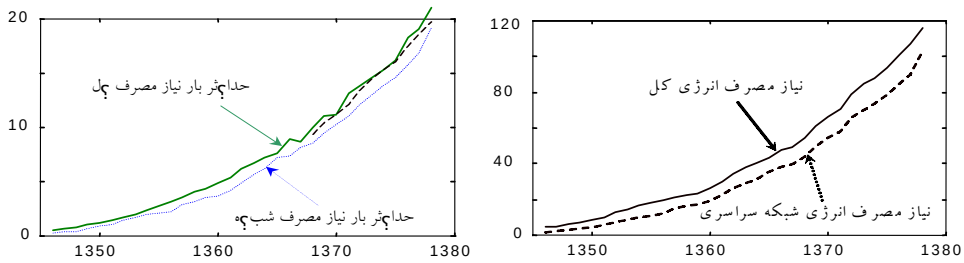
همه ساله میزان مصرف انرژی الکتریکی در قالب مجموعه‌های متنوع منتشر می‌شود که رشد سریع آن نگرانی‌هایی را به دنبال دارد[۱] و [۲]. عوامل زیادی در میزان مصرف انرژی الکتریکی مؤثر هستند. با توجه به اینکه انرژی حاصل ضرب توان در زمان است، این عوامل را می‌توان در دو دسته فهرست کرد. برخی میزان تقاضای بار را تعیین می‌کنند و برخی دیگر زمان مصرف را. مقالاتی برای مطالعه عوامل دسته اول منتشر شده‌اند که ازطریق تشکیل یک الگو برای حداکثر بار همزمان مورد تقاضا در کل کشور نحوه این تأثیر را بررسی کرده‌اند[۷] ، [۸] ،[۱۳] ، [۱٤]. متغیر مزبور از جمع متغیر حداکثر بار مصرف شده در طول سال با مقادیر افت فرکانسی و خاموشی اجباری به دست آمده است. یکی از متغیرهایی که در دسته دوم قرار می‌گیرد درجه حرارت هواست.

بدون شک تغییرات آب و هوایی و به ویژه دما در افزایش یا کاهش بکارگیری وسایل گرمایشی و سرمایشی مؤثر است. در دمای معتدل، بشر نیازی به ایجاد گرما یا دفع آن از خویش به کمک خنک‌کننده‌ها احساس نمی‌کند. به این ترتیب در مناطقی که دمای هوا تنوع زیادی داشته و بعبارت دیگر چهار فصل سال متمایز هستند، این عامل نقش تعیین‌کننده‌ای پیدا می‌کند. روشن کردن وسایل گرم‌کننده یا خنک‌کننده الکتریکی که در منازل یا دیگر نقاط حضور انسان مانند ساختمان‌های تجاری وجود دارند، میزان زمان متوسط مصرف روزانه را افزایش می‌دهد.

در این مقاله چگونگی اثر متغیر دما بر مصرف انرژی الکتریکی مورد مطالعه واقع می‌شود. ابتدا داده‌های مربوط به متوسط زمان مصرف روزانه استخراج می‌شود. سپس روابط منطقی، تجربی و ریاضی برای محاسبه نحوه تأثیر دمای مناطق مختلف در میزان مصرف مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در بخش آخر با ارائه یک الگوی خطی که برای این منظور تشکیل شده است، مسأله ارزیابی می‌شود.

داده‌های زمان متوسط مصرف روزانه انرژی الکتریکی

برای محاسبه متغیر مورد نظر، تنها راه چاره استفاده از داده‌های مصرف انرژی و بار است. منحنی این دو مجموعه داده در شکل شماره (۱) آورده شده است. خواننده می‌تواند برای کسب اطلاع از نحوه جمع‌آوری این داده‌ها، علاوه بر [۱] و [۲]، به [۸] مراجعه کند. پیداست که تقسیم دو سیگنال مشروح داده‌های زمان مصرف میانگین را حاصل می‌کند.



شکل ۱ـ الف ـ نیاز تولید (مصرف) انرژی روزانه برحسب $10^3 GWh$ در شبکه سراسری و کل کشور

ب ـ بار مورد نیاز مصرف شبکه سراسری، نیاز مصرف کل، حداکثر بار ناهمزمان (نواحی) برحسب GW

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

برای این محاسبه می‌توان به دو دسته از داده‌ها مراجعه کرد. دسته اول از این داده‌ها را تولید تحقق یافته و بار تأمین شده و دسته دوم را نیاز به تولید به همراه بار مورد نیاز تشکیل می‌دهند. تقسیم داده‌های تولید (مصرف) انرژی بر داده های حداکثر بار (درکل کشور) عددی بین ۱۵ تا ۱۷ ساعت در روز (به جز برای سال‌های قبل از ۱۳۵۰) را حاصل می‌کند که تغییرات آن برای سال‌های مختلف در شکل ۲ـ الف دیده می‌شود. نسبت تولید مورد نیاز به بار مورد نیاز در شبکه سراسری نیز در شکل ۲ـ آورده شده است. کاهش کلی تعداد متوسط ساعات روزانه در این حالت حاکی از آن است که بار مورد نیاز تأمین‌نشده، در مدت زمان بسیار کوتاهی از طول روز در سیستم حضور پیدا می‌کند. به دلیل توجه خاص به موضوع تقاضای انرژی، در اینجا دسته دوم از داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، یعنی از رابطه زیر استفاده می‌شود:

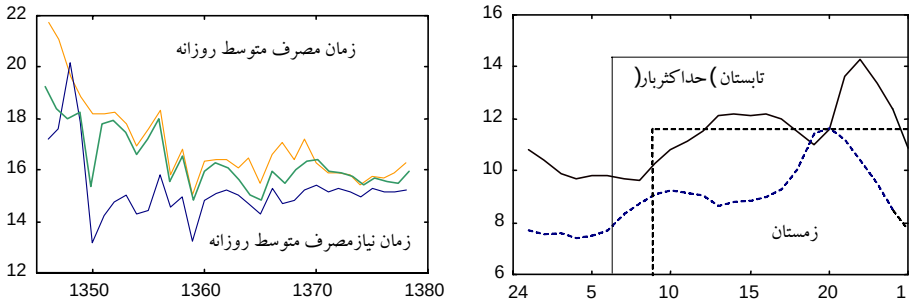
$$d_{\mathrm{EE}}(t) = u_{\mathrm{D}}(t)\, e_{\mathrm{D}}(t) \qquad (۱)$$

که درآن $u_{\mathrm{D}}(t)$ زمان نیاز مصرف است.

نیاز به اصلاح یا حذف داده‌های مربوط به سال‌های ۱۳۵۰ و قبل از آن، با توجه به تفاوت ناگهانی نسبت به دیگر سال‌ها و عدم تطابق دو منحنی، ضروری می‌نماید. برای اصلاح منحنی حاصل در سال‌های ۱۳٤٦ تا ۱۳۵۰ میانگین دو سیگنال حاصل برای شبکه سراسری و کل کشور محاسبه شده است. همچنین نسبت اختلاف در رشد مشترکین به رشد قدرت اسمی و عملی شبکه به عنوان معیاری برای تخمین خاموشی و تصحیح زمان مصرف در سال‌های مزبور به طور نظری به کار رفته است.[۸]

در شکل شماره ۲ ـ ب تغییرات بار در یک روز حداکثر بار در شبکه سراسری دیده می‌شود (تابستان سال ۱۳۷۵). برای چنین روزی طول ۱۸ ساعت و برای یک روز عادی در زمستان (همان شکل) تقریباً ۱٦ ساعت طول متوسط زمان مصرف بار است. هر نقطه از منحنی شکل ۲ ـ الف در واقع میانگین این متوسط‌ها برای آن سال است.

درباره تفاوت در طول ساعات مصرف انرژی الکتریکی در کل کشور با شبکه سراسری علل مختلفی را می‌توان جستجو کرد که در اینجا نیازی به بررسی آن نیست. در عین حال مشاهده می‌شود که این سیگنال‌ها، در حوالی ۱۵ تا ۱٦ ساعت در روز، به سمت یکدیگر همگرا می‌شوند.



شکل ۲ـ الف ـ متوسط ساعات نیاز مصرف روزانه شبکه سراسری و کل کشور، زمان متوسط مصرف روزانه کل کشور برحسب ساعت
ب ـ تغییرات بار روزانه (روز حداکثر بار در تابستان سال ۱۳۷۵ و یک روز معمولی در زمستان همان سال) برحسب *GW*

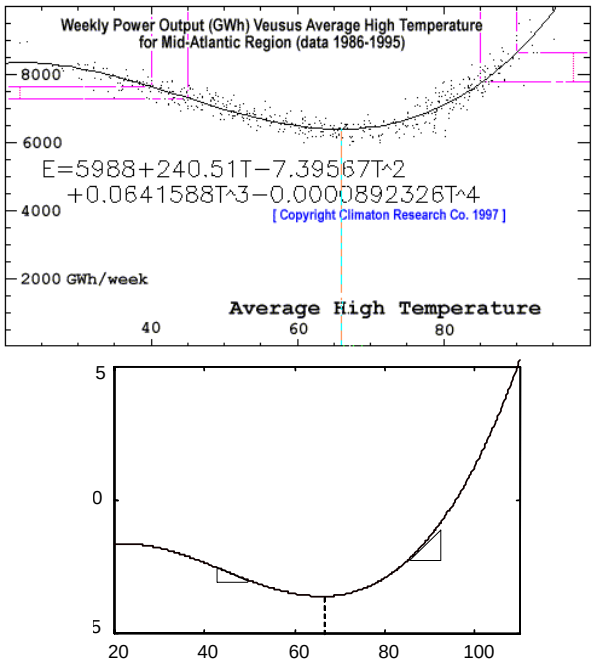
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

چگونگی تأثیر عامل دما

افزایش مصرف انرژی الکتریکی با افزایش یا کاهش دما در روزهای گرم یا سرد سال، امری بدیهی است. طبیعی است که میزان این افزایش تابعی از فاصله دمای لحظه‌ای از دمای معتدل (در حدود ۲۰ درجه سانتی‌گراد) باشد. همچنین پیداست که استخراج آن تابعیت لحظه‌ای به دلیل فقدان داده میسر نیست. براساس یک تحقیق انجام شده از سوی شرکت پژوهشی *Climaton*[1] در کشور یونان که مصرف انرژی الکتریکی را به صورت تابعی از متوسط حداکثر دما تخمین زده است، کمترین مصرف انرژی در حوالی دمای ۲۰ درجه (۶۷/۵ درجه فارنهایت) برای متوسط حداکثر دما[2] رخ می‌دهد. این تابعیت در رابطه زیر آورده شده است:

$$F(x) = 5988+240.5\,x - 7.3957\,x^2 + 0.06415\,x^3 - 0.0000892326\,x^4 \qquad (۲)$$

منحنی تابع چند جمله‌ای درجه ٤ فوق که براساس داده‌های سال‌های ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۵ برآورد شده است، در فاصله حدود ٥- تا ٤٣ درجه سانتی‌گراد (۲۰ تا ۱۱۰ درجه فارنهایت) رسم شده و در شکل زیر آمده است:



شکل ۳ـ منحنی تابع چند جمله‌ای درجه ۴ برآورد شده برای رابطه مصرف انرژی (*GWh/week*) با متوسط حداکثر دما در هر هفته

1- www.climaton.com

2- Average High Temperature

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

ملاحظه می‌شود که شیب منحنی در دماهای بالاتر از نقطه قعر به طور متوسط درحدود دو برابر دماهای پایین است. همچنین طبق منحنی برآورد شده در دماهای پایین‌تر از ۲۰ درجه فارنهایت منحنی شیب نامعقولی دارد که باید اصلاح شود. با توجه به اینکه برآورد انجام شده در منطقه مدیترانه انجام شده (هر چند بستگی منطقه‌ای نیز وجود ندارد) نتیجه همین پژوهش با اندکی دست کاری برای مطالعه اثر دما و محاسبه ورودی مربوط به سیستم تقاضا به کار گرفته خواهد شد.

حال باید براساس نتایج مطالعات گذشته، رابطه‌ای که برای محاسبه اثر سالانه آب و هوا در طول زمان مصرف انرژی به کار می‌رود استخراج شود. از آنجا که الگوی تقاضای انرژی در دیدگاه سیستمی به دو بخش تقاضای بار و زمان مصرف تفکیک می‌شود، متغیری که از وضعیت آب و هوایی نشأت گرفته و بر بخش دوم اثر کند می‌تواند غیر از مطلق درجه حرارت باشد. با استفاده از شکل تغییرات در منحنی برآوردی، یک پیشنهاد برای محاسبه عامل دما تابع تکه خطی زیر است:

$$w(t)=\frac{1}{l_{\mathrm{TOT}}^{\boldsymbol{max}}(t)}\sum_{i}\left(2\left|w_i^{\boldsymbol{max}}(t)-20\right|+\left|w_i^{\boldsymbol{min}}(t)-20\right|\right)l_i^{\boldsymbol{max}}(t) \qquad (۳)$$

که در آن تعریف می شود:

$w_i^{max}(t)$: متوسط دمای حداکثر روزانه در طول سال t برای شهر i ،

$w_i^{min}(t)$: متوسط دمای حداقل روزانه در طول سال t برای شهر i ،

$l_i^{max}(t)$: حداکثر بار ناهمزمان در طول سال t برای شهر i و

$l_{TOT}^{max}(t)$: حداکثر بار ناهمزمان در طول سال t برای کل کشور است.

واضح است که به دلیل عدم استقرار ایستگاه هواشناسی، آمار دما برای تمام شهرهای کشور استخراج نمی‌شود. سالنامه آماری پنج عنوان را برای دمای برخی از شهرها استخراج نموده و در اختیار قرار می‌دهد. [٤] متوسط حداکثر و متوسط حداقل دما، مقادیر مطلق حداکثر و حداقل و سرانجام متوسط کل دما تشکیل‌دهنده آمار مذکورند. متأسفانه سال نامه آماری کشور این آمار را به طور منظم برای تمام شهرهای واجد ایستگاه و در تمام سال‌ها ارائه ننموده است. جالب است که در سال‌های ١٣٤٦ و ١٣٤٧ بیش از ٤٠ شهر در جدول وضع جوی سالنامه حضور داشته‌اند، اما به تدریج و طی نوساناتی این رقم به ٣٦ شهر و ٢٢ شهر تقلیل یافته و از سال ١٣٦٨ به بعد تنها به مراکز استان‌ها محدود شده است. با این حال، بار ناهمزمان این شهرها چیزی بین ٦٥ تا ٨٥ درصد کل بار ناهمزمان را می‌پوشاند. گذشته از این، با استفاده از داده‌های مربوط به مناطق همجوار دمای تقریباً ٣٦ شهر ثابت در محاسبه متوسط وزنی برای تشکیل سیگنال مورد نظر دخالت داده شده است. با توجه به اینکه به طور متوسط در حدود ٣٠٪ از انرژی الکتریکی توسط بخش صنعت مصرف می‌شود که وابسته به تغییرات دما نیست، حجم بار انتخابی مزبور کافی به نظر می‌رسد. گفتنی است که بار ناهمزمان بخش صنعت به طور کاملاً تفکیک‌شده در اختیار نبوده و تنها برای سال‌های اخیر موجود است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

مطالعه رابطه تابعی دما ـ انرژی

در اینجا لازم است دقت بیشتری بر نوسانات دما در طول سال و نحوه استخراج تابع (۳) و دیگر توابع جایگزین آن شود. باتوجه به داده‌های موجود از دما که علاوه بر $w_i^{max}(t)$ و $w_i^{min}(t)$ شامل مقادیر مطلق حداکثر و حداقل دما نیز برای شهرهای مختلف در طول سال نیز می‌شود، می‌توان تابع ساده‌ای به صورت زیر برای نوسانات روزانه دما در طول سال ارائه نمود:

$$w(t) = a\left[b\,\boldsymbol{sin}(2\pi t/365) + \boldsymbol{cos}(2\pi t) + c\right] \qquad (۴)$$

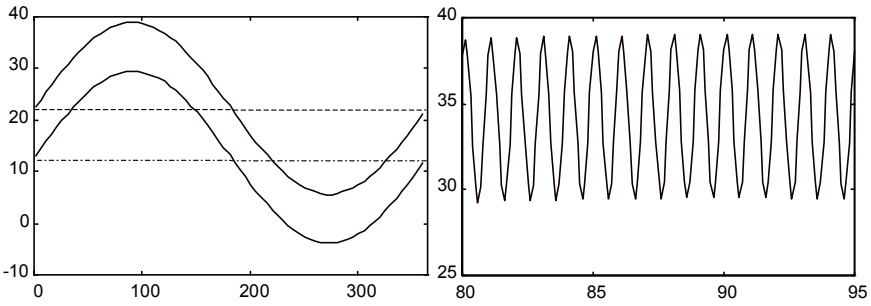
که در آن می‌توان پارامترهای a ، b و c را برحسب داده‌های فوق به نحو زیر استخراج نمود:

$$c = \frac{w^{max} + w^{min}}{w^{max} - w^{min}}; \quad a = \frac{w^{max}}{c+1}; \quad b = \frac{\boldsymbol{max}\, w^{max}}{a} - c - 1 \qquad (۵)$$

توجه شود که پارامتر b به نحو دیگری نیز قابل استخراج است که لزوما با مقدار بالا برابر نیست، چرا که شکل نوسانات دما دقیقاً تابعی مثلثاتی نیست. رابطه جایگزین چنین است:

$$b' = -\frac{\boldsymbol{min}\, w^{min}}{a} + c - 1 \qquad (۶)$$

هر قدر دو مقدار به دست آمده برای این پارامتر به یکدیگر نزدیک‌تر باشند، تقریب بهتری برای منحنی تغییرات روزانه و سالانه دما طبق (۴) خواهیم داشت. در غیر این صورت تقریب مزبور قابل قبول نبوده و متضمن خطای زیاد خواهد بود. نمونه‌ای از منحنی پوش تابع (۴) به همراه بخشی از آن در طول پانزده روز (از روز هشتادم تا نودو پنجم سال) براساس داده‌های آماری دمای تهران در سال ۱۳٦٦ در زیر آمده است. مقادیر متوسط حداکثر و حداقل دما نیز که برابر با حداکثر و حداقل دما در روز اول (یا وسط یا آخر) سال است، نشان داده شده است.



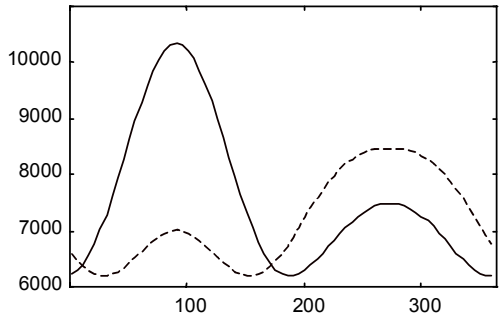
شکل ۴ـ الف ـ پوش منحنی فرضی تغییرات دما در طول سال، ب ـ تغییرات روزانه دما در طول ۱۵ روز گرمترین روزهای سال

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

با بازگشت به تابع (۲) ابتدا این تابع را باتوجه به محدوده حضور متغیر با یک تابع درجه سه برحسب دمای سانتی‌گراد تقریب‌زده و جایگزین می‌کنیم:

$$103.5\,x + 8144.9 - y = 0.2\,x^3 - 3.7\,x^2 \qquad (۷)$$

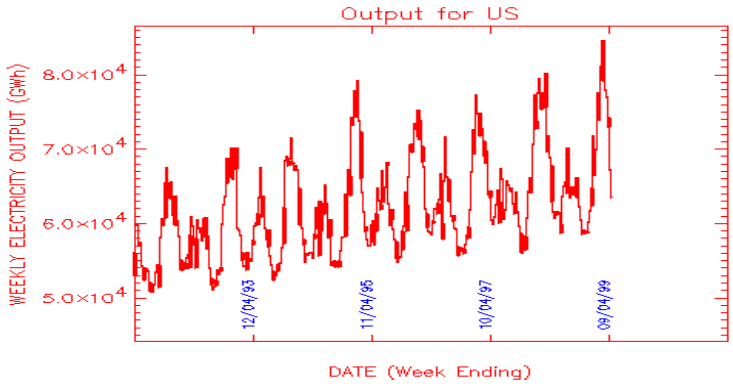
تابع حاصل نقص یادشده برای دماهای پایین را نیز برطرف می‌کند به طوری که دماهای پایین‌تر را نیز در بر می‌گیرد. در صورتی که تابع (۷) که تابع متوسط حداکثر دماست برای دمای حداکثر روزانه در طول سال اعمال شود، شکل زیر حاصل خواهد شد:



شکل ۵ـ انرژی مصرفی روزانه (GWh) به عنوان تابعی از حداکثر (حداقل: خط چین) دمای روزانه طبق روابط (۴) و (۷)

در شکل شماره (۵) خط چین مصرف انرژی برای حداقل دمای روزانه را نشان می‌دهد که از همان تابع برای رسم آن استفاده شده است. روشن است که انتگرال منحنی ممتد مصرف انرژی سالانه بازای حداکثر دما و انتگرال منحنی خط چین مصرف انرژی سالانه به ازای حداقل دمای روزانه را به دست می‌دهد. متأسفانه عدم دسترسی به شکل واقعی منحنی (۴) محاسبات انجام شده در این روش را در عین فایده علمی فاقد ارزش عملی و کاربردی باقی می‌گذارد. در زیر یک نمونه از نوسانات سالانه (از سال ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۹) مصرف انرژی الکتریکی در آمریکا آورده شده است. ملاحظه می‌شود که مشابه با شکل ۵ یک قله بلند و یک قله کوچک‌تر در هر دوره نوسان یک ساله وجود دارد. در این کشور مصرف انرژی الکتریکی در زمستان بیشتر است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]



شکل ۶ـ نوسانات سالانه مصرف انرژی الکتریکی (GWh) در آمریکا (روز آخر هفته)

در یک مطالعه تکمیلی فرض شد که تابعی مشابه با تابع (۷) برای ارتباط مقادیر انرژی با متوسط حداقل دما به دست آمده باشد که در نقطه‌ای دیگر کمینه بوده و از نظر شیب منحنی غیرخطی نیز نسبت به (۷) قرینه باشد. از آنجا که اختلاف متوسط حداکثر دما و متوسط حداقل دما در سه شهر پرمصرف تهران، اهواز و مشهد به طور تقریبی بین ۷ تا ۱٤ درجه سانتی‌گراد (به ترتیب ۱۰/٤، ۷/٦ و ۱٤) بوده است، نقطه کمینه برابر با متوسط تقریبی ۱۰ درجه سانتی‌گراد انتخاب شده است. با این توجه و همانند تقریب خطی ـ تکه‌ای که برای محاسبه (۳) در نظر گرفته شد، تابع زیر نیز می‌تواند برای مطالعه نحوه ارتباط دما با انرژی به کار رود:

$$w(t)=\frac{1}{l_{\mathrm{TOT}}^{max}(t)}\sum_i\begin{pmatrix}\left(\frac{3}{2}+\frac{1}{2}\,\boldsymbol{sign}\left(w_i^{max}(t)-20\right)\right)\left|w_i^{max}(t)-20\right|+\ldots\\ \left(\frac{3}{2}-\frac{1}{2}\,\boldsymbol{sign}\left(w_i^{max}(t)-10\right)\right)\left|w_i^{min}(t)-10\right|\end{pmatrix} l_i^{max}(t) \qquad (۸)$$

همچنین با توجه به شکل ٤ برای آنکه مقادیر حداکثر و حداقل مطلق دما نیز (که ناچار در انتگرال‌گیری از منحنی انرژی مؤثرند) در محاسبات دخالت داده شوند، تابع فوق به صورت زیر نیز تکمیل شد:

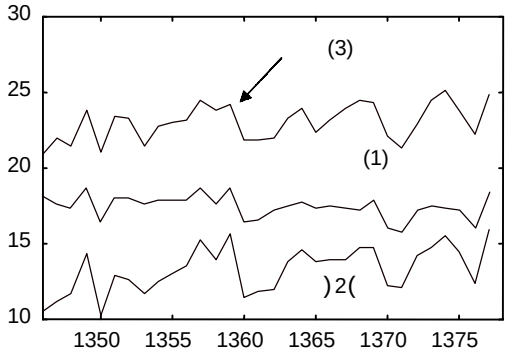
$$w(t)=\frac{1}{l_{\mathrm{TOT}}^{max}(t)}\sum_i\begin{pmatrix}\left(\frac{3}{2}+\frac{1}{2}\,\boldsymbol{sign}\left(w_i^{max}(t)-20\right)\right)\left|w_i^{max}(t)-20\right|+\ldots\\ \left(\frac{3}{2}-\frac{1}{2}\,\boldsymbol{sign}\left(w_i^{max}(t)-10\right)\right)\left|w_i^{min}(t)-10\right|+\ldots\\ \frac{1}{4}\left(\boldsymbol{max}\,w_i^{max}(t)-\boldsymbol{min}\,w_i^{min}(t)-10\right)\end{pmatrix} l_i^{max}(t) \qquad (9)$$

ضریب ¼ با عنایت به تأثیر این دو مشخصه در تنها یک چهارم دوره تناوب اعمال شده است. هر سه منحنی به دست آمده برای سیگنال w(t) طبق روابط (۳) ، (۸) و (۹) در شکل ۷ نمایش داده شده‌اند.

به نظر می‌رسد که در مقایسه با منحنی‌های شکل ۲ـ الف، منحنی رابطه شماره (۳) با مشتق نسبی کوچکتر بهتر بتواند اثرات دما در تغییرات زمان مصرف روزانه را نشان دهد. چنانچه در مباحث

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

شناسایی سیستم مطرح می‌شود، ورودی‌های یک مدل به همراه هم دیگر باید خواص ویژه‌ای را از خود نشان دهند که در جریان شناسایی مورد دقت قرار می‌گیرند.



شکل ۷ـ منحنی‌های به دست آمده برای اثر دما (°C) در مصرف انرژی (۱) رابطه شماره (۳) ـ (۲) رابطه شماره (۸) ـ (۳) رابطه شماره (۹)

الگوی خطی برای مطالعه عامل دما در زمان مصرف

در این مقاله برای مدل سازی ریاضی «زمان مصرف متوسط روزانه انرژی الکتریکی» از یک مدل خطی بهره‌گیری شده است. الگوهای خطی در عین سادگی عموماً نقطه آغاز مناسبی هستند. اولین و شاید مهمترین کاربرد آنها این است که می‌توان همبستگی میان متغیرها را از طریق محاسبه آماره‌های مربوط به پارامترها آزمود و حدس‌های اولیه مناسبی را برای تشخیص ورودی‌ها به دست آورد. به علاوه، چه بسا با به‌دست آمدن الگوی مناسب و قابل قبول از الگوسازی غیرخطی بی نیاز باشیم. اگر مدل های غیرخطی برای یک پدیده ممکن است از نظر ساختار به پاسخ یکتا منجر نشوند، در مقابل الگوهای خطی که با صورت خطی‌سازی شده الگوهای غیرخطی مطابق است، همواره ساختار یکتایی را دارند. به علاوه، مدل‌های خطی برای داده‌هایی که تغییرات آنها در یک بازه محدود رخ می‌دهد قابل اعتماد هستند.

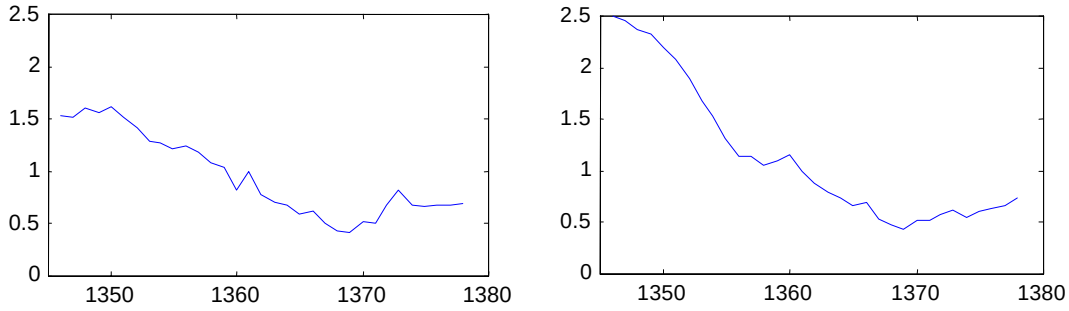
ساده‌ترین الگو برای متغیر زمان مصرف متوسط می‌تواند طبق رابطه زیر در نظرگرفته شود:

$$u_{\mathrm{D}}(t)=\alpha u_{\mathrm{D}}(t-1)+\beta_1 w(t)+\beta_2 p_{\mathrm{EE}}(t)+\beta_3 p_{\mathrm{F}}(t)+\beta_4 y_{\mathrm{PC}}(t)+\beta_5 u_{SE}(t) \qquad (۱۰)$$

چنانچه ملاحظه می‌شود، متغیر مورد نظر برحسب ترکیب خطی شش متغیر در سمت راست رابطه نوشته شده است. جمله اول نماینده آثار تاریخی و عادت‌ها است. جمله دوم متغیری است که به صورت ترکیبی غیرخطی از عوامل مربوط به دما، مطابق با (۳) (واحیانا (۸) یا (۹)) محاسبه شده است.

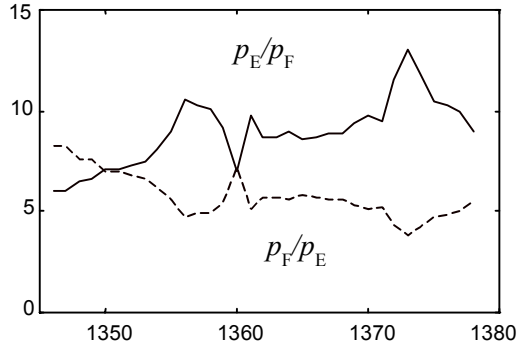
دو جمله بعدی قیمت متوسط انرژی الکتریکی و سوخت‌های فسیلی (به عنوان حامل‌های انرژی) جایگزین هستند. در شکل ۸ تغییرات این دو متغیر را براساس داده‌های استخراج شده به ترتیب از ترازنامه انرژی و مستندات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، می‌بینیم[۵]، [٦] و [۷]. شاخص قیمت‌ها با تقسیم بر شاخص سطح عمومی قیمت‌ها (سال ۱۳٦۱ = ۱) تعدیل و به قیمت‌های واقعی تبدیل شده‌اند.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]



شکل۸ ـ منحنی تغییرات شاخص قیمت متوسط، الف ـ انرژی الکتریکی، ب ـ سوخت‌های فسیلی

افزون بر آن، با توجه به تأثیر رقابت بین قیمت‌های سوخت و انرژی الکتریکی، می‌توان دو متغیر مزبور را با نسبت آن دو جایگزین نمود. در شکل بعد دو متغیر قیمت سوخت و قیمت انرژی الکتریکی که با تقسیم بر دیگری (به جای شاخص عمومی قیمت‌ها) تعدیل شده‌اند، با هم مقایسه می‌شوند. انتظار داریم ضریب متغیرهای p_E یا $p_{EF}=p_E/p_F$ منفی و ضریب متغیرهای p_F یا p_F/p_E $p_{FE}=20$ مثبت برآورد شود.

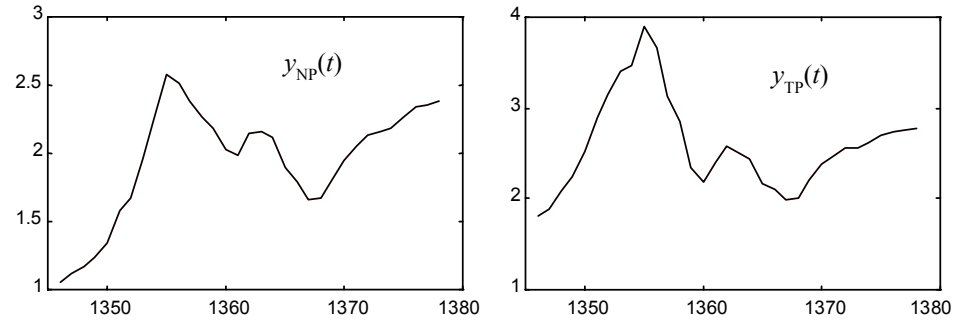


شکل ۹ـ منحنی‌های تغییرات شاخص نسبت قیمت‌های متوسط انرژی الکتریکی و سوخت‌های فسیلی

متغیر پنجم سطح درآمد سرانه[3] در کشور است که می‌تواند از تقسیم درآمد کل (جمع ارزش افزوده در چهار بخش اقتصاد) یا درآمدهای غیرنفتی (با حذف بخش نفت) بر میزان جمعیت کشور به دست آمده باشد. با توجه به واقعیت دوگانگی نفتی که در الگوهای دیگر مصرف نیز نشان داده شده است، [۹] انتظار داریم که تنها درآمد غیرنفتی (سرانه) در مصرف انرژی مؤثر باشد، اما در مورد مصرف انرژی این موضوع ثابت شده نیست. منحنی‌های این دو متغیر نیز در شکل ۱۰ آورده شده‌اند.

3- Per Capita Income

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]



شکل ۱۰ـ منحنی‌های درآمد سرانه (میلیون تومان به قیمت‌های ثابت ۱۳۶۱)، الف ـ کل $y_{TP}(t)$، ب ـ غیر نفتی $y_{NP}(t)$

سرانجام عوامل اجتماعی و یا فرهنگی و نیز حوادث تاریخی خاص که تأثیرات غیرمعمول و در عین حال غیرقابل اجتنابی را بر سیستم دارند، در قالب یک متغیر کمکی با سه نقطه غیر صفر برای سال‌های ۱۳۵۷ (سال انقلاب)، ۱۳۵۹ (آغاز جنگ) و ۱۳٦۷ (پایان جنگ) در مدل دخالت داده شده‌اند:

$$u_{SE}(t) = u_{RW}(t) \neq 0; \quad t=12,14,22$$

به روش معمول اتخاذ متغیرهای کمکی[۴] ممکن است سه نمونه غیر صفر را برابر با یک در نظر گرفت، اما در یک برآورد منطقی تر، با عنایت به تأثیر کوتاه‌مدت‌تر جنگ شهرها در سال پایانی جنگ بر کاهش مصرف انرژی الکتریکی، اندازه این ورودی در نمونه ۲۲ برابر ۰/۳ (یا ۰/۲ تا ۰/٤ به دلیل چهار ماه اولیه سال ۱۳٦۷) و در دو نمونه دیگر برابر با ۱ فرض می‌شود. در این حالت‌ها نمادهای u_{RW2}, u_{RW3} , u_{RW4} به کار برده شده‌اند. با توجه به نحوه اثر این عوامل در شرایط اجتماعی و فرهنگی و سایر محدودیت‌های ویژه‌ای که در مصرف انرژی به وجود می‌آیند، انتظار آن است که ضریب برآوردی برای این متغیر منفی باشد.

ناگفته نماند که به روال معمول در رگرسیون‌های خطی، وجود یک جمله ثابت[۵] نیز از نظر دور نخواهد ماند، اگرچه بی‌معنا بودن این جمله غیر منتظره نیست و براساس نگرش سیستمی هم به طور مستدل قابل پیش‌بینی است.[۱۰]

جمله خطا نیز ممکن است که به صورت یک مدل میانگین متحرک (MA)[۶] مدل‌سازی شود که در این صورت باید از روش‌های کلی‌تری برای شناسایی سیستم استفاده کرد. به هر حال با اعمال روش ساده OLS[۷] و یا روش متکامل PEM[۸] (با فرض یک الگوی MA برای جمله خطا)،[۱۱] برای شناسایی سیستم (۱۰) با ورودی‌های مختلف پارامترهای آن برآورد شده‌اند که طی جداول آتی آورده می‌شوند. در انجام

4- Dummy Variable
5- Intercept
6- Moving Average
7- Ordinary Least Square
8- Prediction Error Method

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

شناسایی‌ها ۳٤ نمونه داده (از سال ۱۳٤٦ تا ۱۳۷۷) از سری‌های زمانی به منظور تخمین الگو به کار گرفته شده و نمونه آخر (سال ۱۳۷۸) برای ارزیابی قدرت پیش‌بینی و شبیه‌سازی استفاده شد.

از بین ٤۸ حالت مختلف برآوردهای انجام شده برای الگوهای موازی یادشده که با ترکیب‌های مختلفی از ورودی‌ها به انجام رسیده‌اند، چند الگو در یک فرآیند تصمیم‌گیری فازی به عنوان مطلوب‌ترین الگوها انتخاب شده‌اند. در هر سطر از جدول شماره (۱) یکی از ٤ حالت منتخب که پس از حذف ترکیب‌های مشابه (مربوط به $_{RW}(t)$) باقیمانده‌اند، گنجانده شده‌اند. معیارهای متنوع ارزیابی مطلوبیت الگو و روش انتخاب الگو در مراجع [۹] و [۱۲] آورده شده است. در جداول این نوشتار از میان معیارهای مختلف تنها آماره‌های t-std مربوط به هر پارامتر که در هر سطر از جداول در زیر آنها نوشته شده است، معیار کلی *t-std* و نیز اندازه خطا آمده است.

سطر اول: $w(t)\ ,\ p_{FE}(t)\ ,\ y_{TP}(t)\ ,\ u_{RW3}(t)$

سطر دوم: $w(t)\ ,\ p_{EF}(t)\ ,\ y_{TP}(t)\ ,\ u_{RW3}(t)$

سطر سوم: $w(t)\ ,\ p_{EE}(t)\ ,\ p_{F}(t)\ ,\ y_{TP}(t)\ ,\ u_{RW2}(t)$

سطر چهارم: $w(t)\ ,\ p_{FE}(t)\ ,\ y_{TP}(t)\ ,\ u_{RW3}(t)\ ,\ intercept$

پارامترهای برآورد شده برای متغیرهای $p_{EF}(t)$ و $p_{FE}(t)$ به ترتیب β_2 و β_3 هستند و ضریب جمله ثابت در سطر چهارم نیز در ستون β_2 نوشته شده است.

جدول ۱ـ نتایج برآورد مدل خطی مشابه با (۱۰) با اعمال ترکیب‌های مختلف ورودی

V, GT	α	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	γ	
6.0498	0.3263	0.4381	-	0.3464	0.5287	-2.1586	0.1881	۱
10.8731	3.8546	5.5739	-	2.2841	1.8765	4.9383	1.0607	
6.1744	0.5444	0.4487	-0.2960	–	0.2766	-2.3523	0.0510	۲
10.0932	4.7230	3.6083	1.5290	-	1.0885	4.8653	0.2227	
8.9674	0.2488	0.6332	-0.1803	0.3755	0.2950	-2.6214	0.4499	۳
10.2340	4.6329	7.6546	2.0190	2.2375	0.5863	7.6753	2.7964	
7.5547	0.4027	0.5149	-1.3076	0.3003	0.1972	-2.4269	0.2029	٤
0.2345	3.8621	2.9517	0.3761	1.5352	0.3751	4.6857	0.9328	

ملاحظه می‌شود که در الگوی منتخب (سطر اول) ضرایب به دست آمده علامت مناسب را دارند و به جز پارامتر جمله میانگین متحرک همگی از سطح قابل قبولی از اعتماد برخوردارند. همچنین پیداست که مطابق با پیش‌بینی قبلی، ضریب جمله عرض از مبدأ معنادار نیست و علاوه بر آن مقبولیت کل الگو را خدشه‌دار کرده است. در سطر چهارم در واقع علامت مناسب این ضریب با ضریب متغیر قیمت جا به جا شده است. در درجه بعد، متغیر درآمد که به لحاظ منطقی در تغییرات طول زمان مصرف روزانه مؤثر تلقی می‌شود، آماره *t-std* کوچکتری دارد.

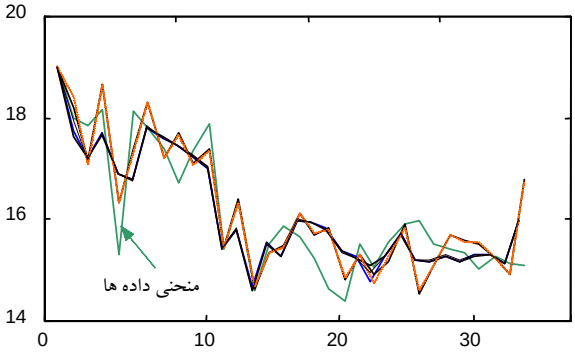
از نکات قابل ذکر آنکه جایگزینی سیگنال تأثیر دما، $w(t)$ ، با سیگنال‌های به دست آمده از دو رابطه شماره (۸) یا (۹) ویژگی ضروری "مصرا محرک"[9] بودن [۱۱] را در مجموعه ورودی‌ها خدشه‌دار

9 - Persistently Exciting

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

ساخته و انجام فرآیند شناسایی را دچار مشکل می‌سازد. از این روی الگوهای حاصل از این جایگزینی در رتبه‌بندی الگوها جایگاه مقبولی نداشته و در جدول آورده نشده‌اند.

اگر چه معیار توضیح دهندگی الگو، R^2، به نسبت پایین (در حدود ۷۰٪) است، اما در مجموع می‌توان این الگوی خطی را در تشخیص عوامل مؤثر در زمان نیاز مصرف موفق دانست. در صورت لزوم و برای تحقیق دقت بیشتر در چگونگی تأثیر این عوامل باید در داده‌های مورد استفاده تجدیدنظر نموده و احیاناً برخی از آنها را اصلاح یا حذف نمود. همچنین می‌توان یک الگوی غیرخطی را مورد آزمایش قرار داد.



شکل ۱۱ـ تخمین زمان مصرف متوسط روزانه (ساعت) به توسط الگوهای خطی (سطرهای اول تا سوم از جدول شماره (۱)

نتیجه‌گیری

در این مقاله نحوه تأثیر عامل تغییرات آب و هوایی بر میزان مصرف انرژی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور تابعی غیرخطی که در کارهای دیگران مطرح شده بود، با اندکی اصلاح و نیز انجام برخی ساده‌سازی‌ها مطالعه شد. همچنین روابط جدیدی برای درک چگونگی ارتباط میان متغیرها ارائه شد. سرانجام با استفاده از مجموعه‌ای از الگوهای خطی موازی اثر عامل تغییرات دما در میانگین مدت زمان مصرف روزانه انرژی الکتریکی در کنار سایر عوامل، به ویژه سطح قیمت‌ها ارزیابی شد. با استفاده از این تابع خطی می‌توان به طور خام نتیجه گرفت که در حدود نیمی از تغییرات ساعات مصرف روزانه به طور متوسط از تغییرات دمای هوا ناشی می‌شود. نکته مهم دیگر آنکه به هر حال، تأثیر دما در مصرف روزانه انرژی بیش از درآمد سرانه یا قیمت انرژی است.

چنانچه آمار تفصیلی کاملی از میزان مصرف انرژی الکتریکی در هر منطقه به همراه دمای هوا در آن منطقه ثبت شود، تخمین دقیق‌تری از رابطه این دو متغیر در کشور به دست خواهد آمد که بومی بوده و با اطمینان بیشتری در مطالعات مرتبط به کار گرفته می‌شود. همچنین به کارگیری الگوهای غیرخطی می‌تواند در بهبود نتایج حاصل شده مؤثر باشد که در کارهای بعدی به آن پرداخته شده است.

منابع

۱ـ آمار تفصیلی صنعت برق، معاونت امور اقتصادی و هماهنگی، وزارت نیرو، تا ۱۳۷۸.

۲ـ سی وسه سال صنعت برق ایران درآینه آمار، سازمان مدیریت توانیر ـ معاونت برنامه‌ریزی، ۱۳۷۹.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

۳ـ برنامه درازمدت تقاضای انرژی، دفتر برنامه‌ریزی معاونت امور انرژی، وزارت نیرو، ۱۳۷۷.
٤ـ سالنامه آماری کشور، مرکز آمار ایران، سال‌های مختلف تا ۱۳۷۸.
٥ـ نمایه‌های اقتصادی، دفتر بررسی‌های اقتصادی، بانک مرکزی جمهوری سلامی ایران، سال‌های مختلف تا ۱۳۷۸.
٦ـ آمار اقتصادی ایران، دفتر اقتصاد کلان، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، سال‌های مختلف تا ۱۳۷۸.
۷ـ ترازنامه انرژی، دفتر برنامه‌ریزی، معاونت امور انرژی، وزارت نیرو، سال‌های مختلف تا ۱۳۷۸.
۸ـ ح. شکوری گنجوی، مدل‌سازی و شبیه‌سازی سیستم تقاضای انرژی الکتریکی در ایران، گزارش سوم طرح ملی تحقیقات انرژی، مجری: ج. نظرزاده، معاونت انرژی وزارت نیرو، ۱۳۸۰.
۹ـ ح. شکوری گنجوی، مدل‌سازی دینامیک و شناسایی سیستم اقتصاد کلان ایران (نگرش سیستمی)، رساله دکتری، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۷۸.
۱۰ـ ح. شکوری گنجوی، ک. نیکروش، م. نهاوندیان، "دیدگاه سیستمی در الگوسازی دینامیک از اقتصاد: نقش و مفهوم عرض از مبدأ"، پژوهشنامه بازرگانی، مؤسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی، ۱۳۸۳.
11- L. Ljung, System Identification: Theory for the User, PRENTICE HALL, 1987.
12- H. Shakouri G., K. Y. Nikravesh, "A New Approach in Model Selection using Fuzzy Decision-Making: trade off between Possibility & Probability theories", SMC'2000, Sys. Man & Cyb. Society of IEEE, Apr. 2000.
13- H. Shakouri G., J. Nazarzadeh, K. Y. Nikravesh, "Exogeneity Investigation and Modeling Energy Demand via Parallel Dynamic Linear Models for Maximum Simultaneous Power Demand", Proc. IEEE Conf. Cntrl. Appl. , p.p. 355-360, Istanbul, Apr. 2003.
14- H. Shakouri G., J. Nazarzadeh, K. Y. Nikravesh, "Selected Hybrid Nonlinear Model for Maximum Simultaneous Electric Power Demand in a Developing Country", Proc. IEEE Conf. DPRT, Accepted Paper, Hong Kong, Apr. 2004.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]