نشریه انرژی ایران
۱۷ سال ۱۱ شماره ۲۷ خرداد ۱۳۸۷

ارایه یک مدل تحلیلی غیرخطی برای میانگین سالانه زمان مصرف روزانه قله بار الکتریکی در کشور

حامد شکوری گنجوی[۱] ، جلال نظرزاده[۲]

تاریخ دریافت مقاله:
۲۹ دی ماه ۸۶
تاریخ پذیرش مقاله:
۲۵ اسفند ۸۶

چکیده

ایران رتبه نخست را در رشد مصرف سرانه انرژی در جهان داراست. اینکه چه عواملی چگونه در این پدیده مؤثر هستند، نیازمند تحلیل است و برای تحلیل این روند، بدست آوردن الگویی که آن عوامل را بشناساند و تغییرات آتی را برآورد کند، ضروری است. با تفکیک تقاضای انرژی الکتریکی به دومتغیر توان و زمان، برای هریک الگویی مجزا به دست می آید. در این مقاله، با استفاده از نتایج یک الگوسازی خطی برای مطالعه اثر دما در میانگین سالانه زمان مصرف روزانه، یک الگوی دینامیکی غیرخطی بدست آمده تا نشان دهد قله بارالکتریکی به طورمتوسط چند ساعت درروز به انرژی الکتریکی نیاز دارد و این میزان تحت تأثیر چه عواملی و چگونه تغییر می‌کند.

پژوهش‌ها نشان می‌دهد که دما، میزان وزش باد و البته عوامل اقتصادی و اجتماعی دیگری مانند قیمت‌ها، جمعیت و رشد فن‌آوری بر میزان مصرف انرژی مؤثر است. ترکیبات متنوع از عوامل مزبور و شکل توابع گوناگون غیرخطی که تبیین کننده روابط علّی میان متغیرها هستند، شمار الگوهای نامزد برای این پدیده را بالا می‌برد. با روشی که در الگوسازی و انتخاب الگو در این پژوهش دنبال شده است، ازمیان تعداد زیادی از الگوهای موازی، چند الگوی مناسب‌تر بررسی و سرانجام مناسب‌ترین مدل دینامیک تعیین می‌شود. این الگوها در تکمیل دیگر الگوهای به دست آمده برای بار، نشان می‌دهند که علاوه برتأثیر دما، افزایش نسبی قیمت انرژی الکتریکی برخلاف تأثیر ناچیز آن در میزان بار بیشینه، در کاهش ساعات مصرف وسایل الکتریکی تأثیر درخور توجهی دارد.

کلمات کلیدی
مدل‌سازی غیرخطی، مدل‌های انرژی، زمان مصرف برق، حداکثر بار، نیاز مصرف انرژی الکتریکی.

۱) دانشگاه تهران، عضو هیأت علمی دانشکده فنی دانشگاه تهران (گروه صنایع ، مؤسسه پژوهش در مدیریت و برنامه‌ریزی انرژی)
۲) دانشگاه شاهد، عضو هیأت علمی دانشکده فنی دانشگاه شاهد (گروه برق)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-19]

مقدمه

توجه در داده های ثبت شده از رشد مصرف انرژی در کشور و مقایسه آن با سایر کشورهای جهان نشان می دهد که میزان رشد ناموجه است. این موضوع نیاز به بررسی داشته و الگوسازی به منظور برآورد رشد در آینده را ضروری جلوه می‌دهد [۱] و [۲] .

الگوهای بسیاری برای تقاضا یا مصرف انرژی وجود دارند [۳]. الگوهای اقتصادسنجی که کاربری وسیع تری دارند، با روش‌های متنوع رگرسیون به ارائه رابطه‌ای بین انرژی مصرفی و عوامل اقتصادی و اجتماعی می پردازند [۴]. درالگوهای مبتنی برنگرش سیستمی که اغلب درالگوهای پویایی سیستم[1] تجلی می‌کند، به روابط علّی و معلولی و احیانا فیزیکی درون سیستم توجه بیشتری می‌شود [۳] . اگرچه الگوهایی از این دست درجهان کاربرد گسترده‌ای داشته‌اند [۵] و [۶]، چنین الگوهایی برای تقاضای انرژی الکتریکی درکشور ایران کمتر دیده شده است. این در حالی است که داده های خوبی برای تشکیل الگوهای هم افزون[2] شده در بخش انرژی الکتریکی در ایران جمع آوری شده است[۷] .

این مقاله در تکمیل یک الگوسازی سیستمی برای نیاز مصرف انرژی در سطح کلان ارائه شده است. پیش از این، برای الگوسازی تقاضای انرژی از رابطه فیزیکی بین زمان، توان و انرژی استفاده ومتغیر تقاضای بار در دو مرحله به صورت خطی و غیرخطی الگوسازی شده است [۸] . همچنین درکارهای قبلی با هدف بررسی چگونگی اثر دمای هوا در مصرف انرژی، برای زمان مصرف انرژی الکتریکی یک الگوی خطی وچند الگوی فازی ارائه شد [۹] ـ[۱۱] . با آنکه الگوی خطی درشناخت عوامل مؤثر کمک شایانی می‌کند، اما محدودیت‌های آن ازنظر اعتبار در بازه‌های کوچک زمانی، به همراه کوچک بودن معیار توضیح دهندگی، R^2 ، الگوساز را به سمت پی ریزی یک الگوی دینامیک غیرخطی با دیدگاه سیستمی سوق می‌دهد.

دراین مقاله به انگیزه افزایش دقت درنتایج حاصل از الگوی خطی، پس از مروری کوتاه بر آن در بخش ۲، با ترکیب عوامل شناخته شده در آن الگو، دربخش ۳ ساختار الگوی غیرخطی پی‌ریزی شده و مجموعه‌ای از الگوهای غیرخطی ارائه شده است. پس از بررسی این ساختارها به روش تحلیل سیستم، در بخش ۴ نتایج شناسایی و تخمین پارامتر الگوها آمده-است. آنگاه روش تصمیم گیری فازی برای تعیین مناسب ترین الگو بکار گرفته شده و پس از اصلاح و تکمیل الگوی انتخابی در بخش ۵، رفتار و دینامیک آن دربخش ۶ بررسی شده است. در انتها بخش ۷ به جمع بندی و نتیجه گیری می‌پردازد.

پس زمینه الگو

رابطهٔ انرژی = توان × زمان، یک رابطه کاملا شناخته شده است. دیدگاه سیستمی درالگوسازی برای تقاضای انرژی ایجاب می کند که از این رابطه برای تفکیک سیستم به اجزای آن استفاده شود [۶]. شکل (۱) یک منحنی نمونه از

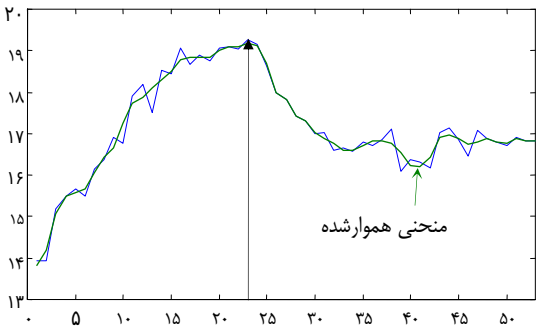
1) System Dynamics
2) Aggregate

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-19]

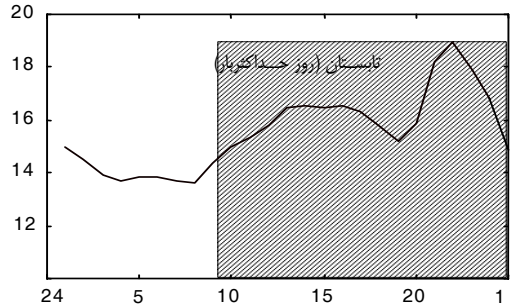
باربیشینه هفتگی و شکل (۲) یک منحنی نمونه از بار روز قله نیاز مصرف را نشان می‌دهد. از تقسیم میزان مـصرف انـرژی سالیانه برحسب گیگاواتساعت (سطح زیرمنحنی شکل (۱)) بر اندازه قله بار (نیازمصرف) سالانه برحسب گیگـاوات، عـددی برحسب ساعت به دست می‌آید که پس از تقسیم بر عدد ۳۶۵، بیانگر زمان متوسط مصرف روزانه انرژی توسط بـار بیـشینه در طول سال است. به این معنا که اگر در تمام روزهای سال بار پیک فعال بود، بطور متوسط چندساعت مصرف روزانه می-داشت، بطوریکه انرژی مصرفی آن (سطح هاشورخورده شکل (۲) × ۳۶۵) با مصرف واقعی انرژی برابر می‌شد. این شاخص زمانی برای سال های ۱۳۴۶ تا ۱۳۸۲ در شکل (۳) آورده شده است.

اضافه شود که در داده های انرژی و بار، میزان انرژی و بار تأمین نشده، یعنی افت فرکانـسی و خاموشـی، نیـز منظـور شده است تا نمایندهٔ واقعی‌تری برای تقاضای انرژی الکتریکی باشد [۸] . بخش اول این سیستم، یعنی بار بیشینه همزمـان، در کارهای دیگری الگوسازی شد [۱۵] و مطالعاتی نیز درمورد بخش دوم و به ویژه تأثیرات دما و شرایط آب وهوایی برآن صورت گرفت [۹]ـ[۱۱] . بخش دوم الگو بیانگر میانگین زمان نیاز مصرف روزانهٔ کل وسایل الکتریکی درسال است که بـه طور فرضی می توانند بطور همزمان در شبکه بکار گرفته شوند. در این مقاله الگوی کامل تری برای شاخص زمان به دست می‌آید که می تواند مکمل الگوی بار گشته و برای تحلیل و برآورد نیاز مصرف انرژی بهره برداری شود.

اجازه دهید که از این پس واژه های «متوسط سالانه» و «روزانه» را برای رعایت اختصار از تعریف این شاخص حـذف کنیم و آن را به طور خلاصه «زمان نیاز مصرف» یا «زمان مصرف» بنامیم.

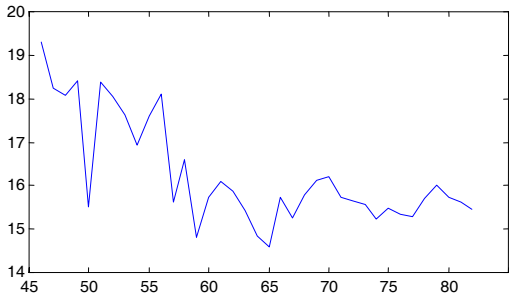


شکل (۱): بیشینه نیازمصرف هفتگی (سال ۱۳۷۸) درکل کشور (گیگاوات)



شکل (۲): منحنی بار روز قله نیاز مصرف (سال ۱۳۷۸) در کل کشور (گیگاوات)
زمان نیاز مصرف متوسط برای این سال ۱۵/۳ ساعت برآورد شده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-19]



شکل (۳): تعداد ساعات نیاز مصرف روزانه درکل کشور

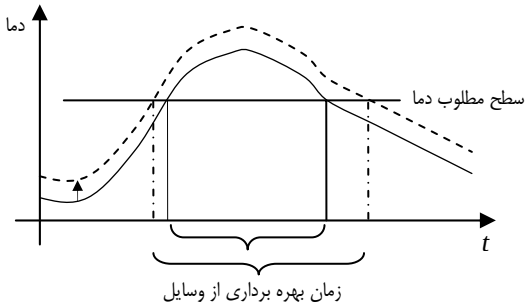
ساختار مدل غیرخطی

شناخت عوامل مؤثر بر یک پدیده اقتصادی یا اجتماعی پیچیدگی‌های خاصی دارد که روش‌شناسی دراین علوم را از سایر علوم متمایز می‌سازد. اگرچه در اقتصادسنجی به این موضوع به‌طور عمیق پرداخته شده است [۱۶] ، نگرش سیستمی بر توجیهات منطقی بیش از آنچه روابط ریاضی بیان می‌داند، تکیه دارد.

اشاره شد که مطالعه بر عوامل مؤثر در تقاضای برق پیش ازاین مطالعه شده‌اند [۱۷] . اما الگوی خطی ارائه شده برای متغیر زمان مصرف روزانه، علاوه برعامل تغییرات آب و هوا که بصورت ترکیبی از دماهای بیشینه و کمینه در طول سال معرفی شده است، متغیرهای زیر را نیز همزمان مورد مطالعه قرار داد [۱۰] :

قیمت انرژی الکتریکی، قیمت سایر حامل های انرژی، درآمد سرانه و تحولات اجتماعی.

تأکیدمی‌شود که قله بار (ونیازمصرف) درتابستان واقع می‌شود و به وضوح شرایط آب وهوایی همانند طول حضور خورشید، زمان استفاده از سیستم های سرمایشی (یاگرمایشی) را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ به این معنی که در هوای گرمتر وسایل سرمازا (و در هوای سردتر وسایل گرمازا)، در توان ثابت، زمان بیشتری را برای رسیدن به نقطه دمای مطلوب نیاز دارند. شکل (۴) چگونگی این افزایش را به‌طور نمونه به تصویر درآورده است.



شکل (۴): افزایش زمان بهره برداری از وسایل سرمایشی با افزایش دما در طول یک روز نسبت به روز دیگر

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-19]

همچنین متغیر قیمت انرژی درکوتاه مدت بر متغیر زمان مصرف (و نه بار) مؤثر است؛ یعنی با افزایش قیمت برق، مصرف کننده به جای کنارگذاشتن کامل وسایل الکتریکی خود (حذف بار) از وسایل موردنیاز در زمان کمتری استفاده می‌کند.

پس از شناخت عوامل مؤثر برون زا در یک سیستم، مهمترین مرحله در ساخت الگوی غیرخطی، شناخت صحیحی از شکل تابعی آن است. بنابراین در این بخش پس از مرور متغیرهای ورودی، با اتکا به نتایج حاصل از [۱۰] ، شکل تابعی الگو بررسی می شود.

اولین گام در پی ریزی ساختار الگو آن است که براساس دیدگاه تفکیک دینامیک سیستم از عوامل غیرخطی که در دو ساختار Hammerstein وWiener خلاصه شده است، کلیه عوامل غیرخطی را در ورودی یاخروجی متمرکز کرده و بخش دینامیک را خطی درنظر بگیریم. اگر کل اثرات ورودی ها را با u_{E} نشان دهیم، مطابق الگوی Hammerstein خواهیم داشت:

$$u_{\mathrm{D}}(t) = \sum \alpha_i u_{\mathrm{D}}(t\text{-}i) + u_{\mathrm{E}}(t) \qquad (۱)$$

که درآن $u_{\mathrm{D}}(t)$ ساعات نیازمصرف و α_i ها پارامترهای بخش AR الگو و تعداد آن ها منوط به درجه دینامیک الگوست.

مروری بر عوامل مؤثر : با توجه به تفاوت نوع اثر چهار عامل شناخته شده در الگوی خطی زمان مصرف متوسط که دربالا اشاره شد، ابتدا ورودی چهارم یعنی اثر تحولات اجتماعی که مهمترین آنها در کشور انقلاب و جنگ بوده است، از سه ورودی دیگر به صورت جمع تفکیک می شود. بدلیل وابستگی عوامل ناهمگن به شرایط خاص، اثر این عامل به نوعی ازسه عامل دیگر که آن ها را عوامل همگن برمی‌شماریم، مجزاست؛ به این معنا که ترکیب آن با دیگر عوامل یک ترکیب فصلی[1] است. از این رو خواهیم نوشت:

$$u_{\mathrm{E}} = f(w, p, y) + \theta u_{\mathrm{RW}} \qquad (۲)$$

که در آن متغیرهای w و p و y به ترتیب همان سه عامل شناخته شده یعنی: اثر دمای محیط، نسبت قیمت حامل‌های انرژی به قیمت انرژی الکتریکی و درآمد سرانه درکشور هستند و u_{RW} نشان دهنده اثرات انقلاب وجنگ است که با ضریب θ در ورودی الگو تأثیر می گذارد.

عوامل اجتماعی و یا فرهنگی و نیز حوادث تاریخی خاص که تأثیرات ناهمگن یا غیرمعمول و درعین حال غیرقابل اجتنابی بر سیستم دارند، به روال معمول در قالب یک متغیر کمکی[2] نمایش داده می شود. در اینجا با فرض سه نقطه بحرانی برای سال های۱۳۵۷ (سال انقلاب)، ۱۳۵۹ (آغاز جنگ) و۱۳۶۷ (پایان جنگ) این متغیر ساخته شده است. همچنین با استفاده از نتایج شبیه سازی و پیشگویی الگوی خطی در [۱۰] و مقایسه آن با مقادیر زمان نیازمصرف در محدوده

1) Disjunctive
2) Dummy

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-19]

سال‌های جنگ (بویژه از سال ۱۳۶۳ تا ۱۳۶۵ : نمونه های شماره ۱۸ تا ۲۰) مقادیر متنوع زیر علاوه برسال هـای ۱۳۵۷ و ۱۳۵۹، به نقاط غیرصفر متغیر کمکی مزبور افزوده شده و با نام های متناسب نام گذاری شده است:

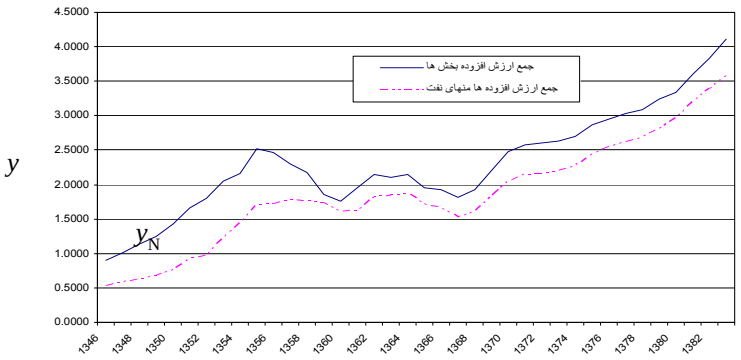
u_{RW33}(t =۱۳۶۳ تا ۱۳۶۵) = 0.3; u_{RW33}(t =۱۳۶۷) = 0.3
u_{RW44}(t =۱۳۶۳ تا ۱۳۶۵) = 0.4; u_{RW44}(t =۱۳۶۷) = 0.4
u_{RW53}(t =۱۳۶۳ تا ۱۳۶۵) = 0.5; u_{RW53}(t =۱۳۶۷) = 0.3
u_{RW63}(t =۱۳۶۳ تا ۱۳۶۵) = 0.6; u_{RW63}(t =۱۳۶۷) = 0.3

متغیرهای مزبور برای پی ریزی الگوهای موازی که با یکدیگر مقایسه خواهندشد، بکار می روند.

همچنین هر دو متغیـر درآمدسـرانه کـل، $\boldsymbol{y}$ و درآمـد سـرانه حاصـل از بخـش هـای غیرنفتـی، $\boldsymbol{y}_{\mathbf{N}}$ ، بـه دلیـل اثـر غیرمستقیمی که برای بخش نفت درنظر گرفته می شود [۱۳] ، که منحنی آنها در شکل (۵) دیده می شـود، در الگوسـازی موازی اعمال شده اند. متغیر قیمت های نسبی انرژی (الکتریکی و سوخت های فسیلی) نیز به دو شیوه قابل محاسبه بـوده است:

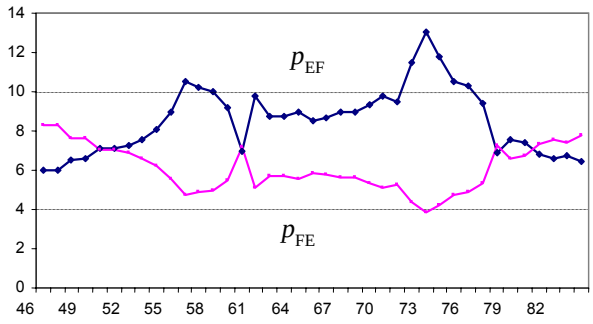
$p_{EF} = p_E/p_F$ و $p_{FE} = p_F/p_E$ که بازهم به طور موازی الگوهایی را ایجاد خواهند کرد. منحنی این متغیرها نیز در شکل (۶) نشان داده شده است.

انحراف وضعیت آب و هوا از وضع معتدل نیز بر مصرف انرژی الکتریکی تأثیرگذار است و به همین دلیل برای تخمـین کوتاه مدت بار برای زمان های آینده، پیش بینی وضع هوا لازم است [۱۴] ، [۱۸] . وضعیت آب و هوایی، از اطلاعات دمـا، وجود ابر و باد قابل مطالعه و تخمین است



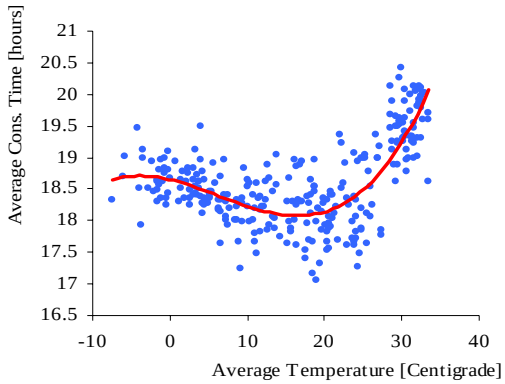
شکل (۵): منحنی های درآمد سرانه- کل $y(t)$ وغیرنفتی $y_N(t)$

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-19]



شکل (۶): منحنی های تغییرات شاخص نسبت قیمت ها: متوسط قیمت سوخت های فسیلی و قیمت انرژی الکتریکی

رسم هرسه متغیر انرژی، توان و زمان در مقابل دما نشان می‌دهد که تغییرات این سه یک منحنی متشکل از سه بخش متمایز برای دماهای معتدل، بالاتر و پایین‌تر از معتدل است. شکل (۷) نمونه‌ای از این منحنی‌ها را بـه نقـل از [۹] نـشان می‌دهد. در [۱۰] نمونهٔ دیگری از این منحنی برای استخراج شاخص دما در الگوی خطی آن مرجع با استفاده از داده‌هـای مصرف برق کل کشور آورده شده است که در اینجا نیز قابل استفاده است.



شکل (۷): تغییرات زمان بهره برداری از وسایل الکتریکی با افزایش دما براساس داده های مصرف برق تهران در سال ۱۳۸۳

اما در توضیح سیگنال ورودی تأثیرات آب و هوا بر سیستم، w، متذکر می‌شود که داده‌هـای دمـا در منـاطق گونـاگون کشور به روش مشروح در [۱۰] پردازش شده و به صورت یکی از سه رابطهٔ زیر بکار گرفته شده است؛ به دلیل فقـدان داده کافی و تفاوت های قابل توجه در نحوه تأثیر آن دو عامل در سرما و گرمای مناطق مختلف، اطلاعات مربوط به باد یا ابر در این مطالعه وارد نشده اند:

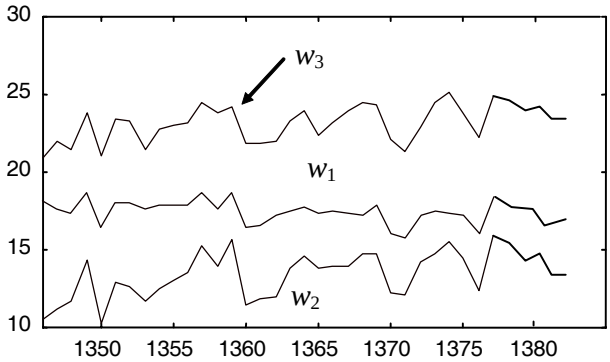
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-19]

$$w_1(t)=\frac{1}{l_{\mathrm{TOT}}^{\max}(t)}\sum_i\left(2\left|w_i^{\max}(t)-20\right|+\left|w_i^{\min}(t)-20\right|\right)l_i^{\max}(t) \quad (۳)$$

$$w_2(t)=\frac{1}{l_{\mathrm{TOT}}^{\max}(t)}\sum_i\left(\left(\frac{3}{2}+\frac{1}{2}\mathrm{sign}\left(w_i^{\max}(t)-20\right)\right)\left|w_i^{\max}(t)-20\right|+\left(\frac{3}{2}-\frac{1}{2}\mathrm{sign}\left(w_i^{\max}(t)-10\right)\right)\left|w_i^{\min}(t)-10\right|\right)l_i^{\max}(t) \quad (۴)$$

$$w_3(t)=\frac{1}{l_{\mathrm{TOT}}^{\max}(t)}\sum_i\left(\left(\frac{3}{2}+\frac{1}{2}\mathrm{sign}\left(w_i^{\max}(t)-20\right)\right)\left|w_i^{\max}(t)-20\right|+\left(\frac{3}{2}-\frac{1}{2}\mathrm{sign}\left(w_i^{\max}(t)-10\right)\right)\left|w_i^{\min}(t)-10\right|+\frac{1}{4}\left(\max w_i^{\max}(t)-\min w_i^{\min}(t)-10\right)\right)l_i^{\max}(t) \quad (۵)$$

در این سه شاخص، سه متغیر $w_i^{\max}(t)$ ، $w_i^{\min}(t)$ و $l_i^{\max}(t)$ به ترتیب متوسط دمای حداکثر روزانه، متوسط دمای حداقل روزانه و حداکثر بار ناهمزمان در طول سال t برای شهر i و $l_{\mathrm{TOT}}^{\max}(t)$ حداکثر بار ناهمزمان در طول سال t برای کل کشور تعریف شده است. هرسه منحنی بدست آمده برای سیگنال $w(t)$ طبق روابط (۳) ، (۴) و (۵) درشکل (۸) نمایش داده شده‌اند. توضیح بیشتر آنکه طبق مطالعات در یک کشور مشابه، دمای°۲۰ درجه سانتی گراد یک دمای متعادل فرض شده است که کمترین تأثیر را بر افزایش مصرف انرژی خواهد داشت و در هردو صورت افزایش یا کاهش از این دما، مصرف انرژی را ازطریق بهره برداری بیشتر از همان وسایل سرمایشی یا گرمایشی افزایش می دهد. این دمای معتدل برای مناطق جغرافیایی مختلف متفاوت است؛ برای نمونه در انگلستان برابر با ۱۸/۳ به دست آمده است [۱۸] .



شکل (۸): منحنی های بدست آمده برای اثر دما در زمان مصرف طبق روابط (۳)، (۴) و (۵)

به این ترتیب تنها به دلیل تنوع در ورودی های قابل اعمال شامل آب وهوا، درآمدسرانه، نسبت قیمت حامل ها و عامل اجتماعی، در مجموع می توان ۴×۲×۲×۳ = ۴۸ الگوی موازی را تصور کرد. شکل تابعی الگونیز با توجه به غیرخطی بودن آن می تواند به طور تصاعدی این تعداد را افزایش دهد که در بخش بعد به آن پرداخته خواهدشد.

شکل تابعی غیرخطی: دراین بخش رفتار تابع سه متغیره f(.,.,.) مطالعه می شود. اندکی دقت، الگوساز را متوجه

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-19]

می‌سازد که نحوه عمل این سه ورودی در سیستم مورد مطالعه مستقل از هم و رابطه بین آنها عطفی[1] است؛ این معنا در ادامه توضیح داده خواهدشد. برای تشخیص شکل تابعی این تابع توجه به نقاط حدی آن ضروری است. از آنجا که حداکثر زمان مصرف متوسط روزانه نمی تواند از ۲۴ ساعت در شبانه روز تجاوز نماید، تابع مزبور باید دارای یک حد اشباع از بالا باشد. پس با میل کردن متغیرهای مستقل این تابع به سمت بینهایت، اگرچه در مورد عامل آب و هوا در عمل اتفاق نمی افتد، تابع محدود خواهد بود. بطور معمول تاثیر عامل ناهمگن (تحولات اجتماعی) یک محدودیت مضاعف بر این کران بالا خواهد افزود و بنابر این ضریب مورد انتظار برای آن، θ، باید دارای علامت منفی باشد.

ازسوی دیگر، با صفر شدن عامل آب و هوا که مربوط به یک شرایط کاملا ایده‌ال از نظر دما، یعنی یک دمای متعادل در سطح کشور برای تمام فصول سال است، زمان مصرف صفر نخواهد شد. اما این مسأله در مورد دوعامل دیگر متفاوت است. درصورتی که هر یک از دو عامل دیگر به سمت صفر میل کند، خروجی سیستم صفر خواهد بود. این به آن معناست که اگر درآمد کل جامعه به سمت صفر برود، دیگر امکان مصرف انرژی در کل کشور وجود نخواهد داشت.

همچنین به فرض صفر شدن قیمت حامل های انرژی در مقایسه با انرژی الکتریکی که می تواند به مفهوم میل قیمت انرژی الکتریکی به بینهایت نیز باشد، باردیگر زمان مصرف انرژی در طول روز به سمت صفر خواهد رفت. البته روشن است که به هرحال بخشی از نیازهای انرژی مصرفی به توسط حامل های انرژی غیرالکتریکی قابل رفع نیستند. بنابراین در صورتی که چنین اتفاقی واقع گردد، مصرف کنندگان ترجیح خواهند داد که خود بطور مستقل به تولید انرژی الکتریکی به وسیله مولدهای شخصی و با مصرف سایر سوخت ها اقدام نمایند. نیز عامل قیمت تنها با صفرشدن قیمت انرژی الکتریکی به استفاده تمام وقت از آن منجر می‌شود. پس، دانش پیشین ما درباره رفتار تابع f با تکیه بر تحلیل سیستمی فوق چنین است:

$$f(0, p, y) \neq 0 \qquad (۶)$$

$$f(w, 0, y) \cong 0 \qquad (۷)$$

$$f(w, p, 0) = 0 \qquad (۸)$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} > 0; \ \forall x \in \{w, p, y\} \qquad (۹)$$

$$\lim_{w \text{ or } p \text{ or } y \to \infty} f(w, p, y) = 24 \qquad (۱۰)$$

با توجه به تفاوت مذکور بین سه عامل همگن، در گام بعدی تابع به صورت زیر تفکیک می شود:

$$f(w, p, y) = 24\, h(w)\, g(p, y) \qquad (۱۱)$$

روشن است که نوع ترکیب برای دو عامل $w,\ p$ یک ترکیب عطفی است تا با صفر شدن هریک به تنهایی کل تابع صفر

1) Conjunctive

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-19]

شود. با اعمال کران بالای برابر با ۱ ، تابع اشباع دو متغیره زیر برای این منظور مناسب خواهد بود:

$$g(p, y) = 2\ \mathrm{sm}\ (\ p^{\alpha}\ y^{\beta}\ ,\ \varphi) - 1 \qquad (۱۲)$$

که در آن sm (.,.) تابع سیگموئید تک متغیره با یک پارامتر به صورت زیر تعریف شده است:

$$\boldsymbol{sigm}(x,\varphi) = \frac{1}{1+\boldsymbol{exp}(-\varphi x)} \qquad (۱۳)$$

از آنجا که تعریف دوتابع سیگموئید مستقل نیز برای هریک از دو متغیر درآمد و قیمت که بصورت ضرب دریکدیگر ادغام شوند، میسر است، می توان تابع زیر را نیز نامزد الگوسازی غیرخطی خود کنیم:

$$g(\ p, y) = (2\ \mathrm{sm}\ (\ p,\ \alpha)\text{-}1)\ (2\ \mathrm{sm}\ (\ y,\ \beta)\text{-}1) \qquad (۱۴)$$

درحال حاضر تنها مزیتی که تابع (۱۲) را نسبت به (۱۴) مرجّح می‌سازد سادگی و درعین حال انعطاف بیشتر آن از نظر قابلیت تنظیم است.

در مورد تابع دیگر، $h(.)$ ، تنها تفاوتی که باید مد نظر قرار گیرد آن است که با انتقال مبدا در آن، امکان آن فراهم شود که مقدار تابع در نقطه صفر برابر با صفر نشده و با تغییر پارامتر قابل تنظیم باشد. برای این منظور کافیست بنویسیم:

$$h(w) = \mathrm{sm}\ (w\text{-}\varpi,\ \omega) \qquad (۱۵)$$

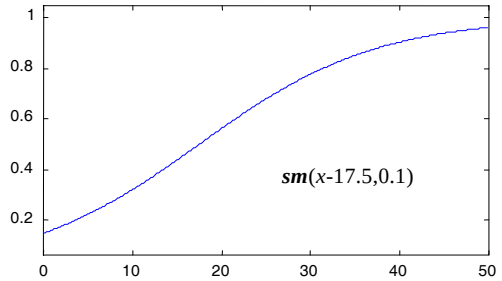
که درآن ϖ پارامتری است که مقدار تابع را در نقطه صفر تنظیم می کند. از آنجا که چنین تابعی بیشترین شیب را که مبین سریع ترین تغییرات است، در $w=\varpi$ دارد، مناسب تر آن است که این پارامتر در نقطه ای تنظیم شود که بیشترین مقادیر متغیر مستقل، w ، در آن حوالی واقع می‌شود. بعنوان مثال، اگر از (۳) برای محاسبه این متغیر استفاده شده باشد، بهتر آن است که این پارامتر را با مقدار متوسط متغیر w_1 ، برابر با $\varpi = 17.5$ ، تثبیت کنیم. شکل (۹) نمونه ای از این تابع را نشان می‌دهد. در مرحله مقایسه میان الگوهای موازی با پارامترهای مشابه دیده شده است که حساسیت الگو نسبت به این پارامتر در حوالی این مقدار متوسط زیاد نیست.

به این ترتیب یک شکل تابعی پیشنهادی برای f در (۲) چنین خواهد بود:

$$F\ (w, p, y)=24\ \mathrm{sm}\ (w\text{-}\varpi,\ \omega)\ (2\ \mathrm{sm}\ (\ p^{\alpha}\ y^{\alpha\beta}\ ,\ \varphi)\text{-}1) \qquad (۱۶)$$

به جز α که بسته به تعریف p می‌تواند مثبت یا منفی باشد، انتظار داریم که تمام پارامترهای تابع (۱۶) مثبت بدست آیند.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-19]



شکل (۹): منحنی تابع سیگموئید انتقال یافته طبق (۱۵)

دینامیک الگو: بدیهی است که با افزایش یا کاهش ناگهانی هریک از عوامل ورودی، خروجی تغییرات ناگهانی نخواهد داشت. بعنوان مثال، درصورتی که درآمد کل جامعه در سال $t = t_0$ به میزان یک واحد کاهش یابد، یا اگر قیمت انرژی الکتریکی دراین سال مقداری افزایش یابد، انتظار آن است که زمان مصرف برق کاهش پیدا کند. روشن است که تغییر مورد انتظار درهمان سال t_0 واقع نخواهد شد وچند سال وقت لازم است تاجامعه به تدریج رفتارمصرفی خود را با شوک واردشده تطبیق دهد. به عبارت دیگر، تغییر درعادات وفرهنگ اجتماعی نیازمند زمان است.

اغلب، اعمال یک دینامیک از مرتبه اول ویا حداکثر مرتبه دوم برای نشان دادن این واقعیت کافیست. بنابراین، الگوی دینامیک براساس (۱) بصورت زیر کامل می شود:

$$u_D(t) = \mu\, u_D(t\text{-}1) + u_E(t) + \varepsilon(t) \qquad (۱۷)$$

در این الگو پارامتر μ که نشان دهنده میزان تاثیر عادات تاریخی و گذشته الگوی مصرف در زمان حال است، قدرمطلق کوچکتر از یک خواهد داشت تا پایداری دینامیکی الگو تضمین شده باشد. اگر برای این پارامتر عددی مثبت به دست آید تغییرات دینامیکی ناشی از ایجاد یک شوک ورودی به آهستگی و بدون نوسان به سمت نقطه تعادل حرکت خواهد کرد. هرقدر این عدد مثبت به یک نزدیک تر باشد سرعت رسیدن به نقطه تعادل کمتر خواهد بود. منفی بودن پارامتر مذکور نشان دهنده وجود نوسانات در رفتار مصرف کنندگان پیش از رسیدن به نقطه تعادل است که البته با شناخت قبلی از سیستم، مورد انتظار نیست. هرقدر پارامتر مزبور به صفر نزدیک تر باشد، سرعت حصول تعادل بیشتر است.

همچنین جمله خطا، $\varepsilon(t)$ ، نشان دهنده مجموعهٔ عدم قطعیت‌ها در مدل است که یک الگوی میانگین متحرک (MA)[1] از مرتبه اول نیز برای دینامیک آن درنظر گرفته شده است. این دینامیک با چندجمله ای $C(q) = 1 + \gamma q$ نشان داده می‌شود. در واقع فرض شده است جمله خطا چنین الگوسازی شود:

$$\varepsilon(t) = (1 + \gamma q)\, e(t) \qquad (۱۸)$$

1) Moving Average

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-19]

که در آن q عملگر تأخیر، γ ضریب آن و $e(t)$ نویز سفید فرض شده است.

شناسایی و تخمین پارامتر الگوی غیرخطی

بمنظور شناسایی و تخمین پارامتر، داده های ورودی ها و خروجی در ۳۳ سال متوالی، براساس اطلاعات موجود در (۱) تا (۸) استخراج و استفاده شده است. دراین مرحله ۳۲ نمونه از سری های زمانی ورودی های نامبرده برای تخمین پارامترهای الگوی (۱۷) بکار گرفته می شود. توجه شود که تابع $u_E(t)$ می تواند یک ترکیب خطی از ورودی ها باشد، یا بصورت هریک از دو تابع غیرخطی معرفی شده طی روابط (۱۱) تا (۱۶) بدست آید.

بنابر این در مجموع ۳×۴×۲×۲×۳ برابر با ۱۴۴ الگوی مختلف که در ترکیب ورودی ها (۳ حالت برای $w(t)$ ، دو حالت برای $y(t)$ ، ۲ حالت برای $p(t)$ و ۴ حالت برای u_{RW})، خطی یا غیر خطی بودن و نیز شکل تابع غیرخطی (در مجموع ۳ حالت) با یکدیگر اختلاف دارند، مورد شناسایی و تخمین پارامتر قرار گرفتند. با توجه به فرض خطی بودن دینامیک خروجی و خطا، روش تخمین پارامتر حالت تعمیم یافته ای از روش PEM[1] است [۱۳] ، [۱۹]. مبنای روش تخمین همان حداقل مربعات است که ذکر جزئیات آن مناسب این مقال نیست.

پس از ارزیابی الگوهای مزبور وتعیین میزان مطلوبیت آن‌ها از طریق محاسبه ویژگی های متنوع مانند اندازه خطا، توضیح دهندگی، مشخصات پارامترها و نیز مشخصات مانده‌ها، با یک روش فازی انتخاب الگو ، الگوی زیر بالاترین رتبه را احراز کرد و برای ارائه در این مقاله انتخاب شد:

$$u_E(t)=24\ \mathrm{sm}(w_1-17.5,\ \omega)(2\ \mathrm{sm}(p_{FE}{}^{\alpha}\, y^{\beta},\ \varphi)-1)\ +\ \theta\, u_{RW53} \qquad (۱۹)$$

در جدول (۱) پارامترهای تخمینی این الگو، یعنی $\{\mu,\omega,\alpha,\beta,\varphi,\theta,\gamma\}$، به همراه آماره $t\text{-}std$ هریک آمده اند. همچنین برخی از معیارهای مورد استفاده در ارزیابی مانند اندازه خطا، V، و معیار GT، نیز در جدول قید شده اند. در اینجا معیار توضیح دهندگی درمقایسه با بهترین الگوی خطی در [۱۰] از ۷۷ درصد به ۸۶/۲ درصد افزایش یافته است.

نتایج حاکی از آن است که الگو بخوبی توانسته است معیارهای لازم را برای مقبولیت خود تامین کند. اندازه خطا نسبت به مدل خطی کمتر از نصف شده است و تمام آماره های $t\text{-}std$ پارامترها درسطح مقبولیت بالاتر از ۹۷٪ قرار دارند. متاسفانه دو نقطه ضعف در سری های زمانی ورودی ها و خروجی امکان افزایش معیار توضیح دهندگی به بیش از ۹۰٪ را محدود نموده است. عدم دقت کافی در داده های سال های اولیه (بویژه قبل از ۱۳۵۰) و مهمتر از آن عدم دسترسی به شاخص مناسبی که بتواند آثار کیفی تحولات اجتماعی (بویژه سال های میانی جنگ) را کمّی سازی کند، از علل اصلی محدودیت مذکور بشمار می آیند.

1) Prediction Error Method

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-19]

جدول (۱): نتایج برآورد مدل غیرخطی زمان مصرف متوسط روزانه طبق (۱۹)

R^2	γ	θ	φ	β	α	ω	μ	V, GT
٪۸۶/۲	−۱/۰۰۰	−۱/۵۵۵۵	۰/۲۶۳۶	۰/۱۵۱۴	۰/۸۵۰۶	۰/۰۸۸۹	۰/۵۳۰۹	۲/۸۴۰۹
	۴/۸۱۴۳	۵/۶۶۷۷	۳/۵۳۶۳	۲/۸۶۲۶	۶/۵۶۷۲	۲/۴۱۴۵	۷/۴۹۴۶	۲۰/۸۳۵۲

اصلاح و تکمیل الگوی غیرخطی

نکته بسیار مهمی که نیاز به توجه داشته و از ویژگی های الگوسازی سیستمی به شمار می رود، آن است که بهره مستقیم الگوی حاصل (مقدار نهایی افزایش خروجی در اثر افزایش هر یک از ورودی ها به مقدار نهایی) با وجود دینامیک در الگو با میزان مورد انتظار آن متفاوت است.

اگر یک الگوی غیرخطی با دینامیک خطی را بصورت زیر نشان دهیم:

$$A(q)\, y(t) = B(q)\, f\,(u(t), e(t), t) + \varepsilon(t) \qquad (۲۰)$$

که مقدار نهایی تابع ورودی آن بافرض افزایش ورودی ها به میران حداکثر (بینهایت) برابر ۱ خواهد بود، بهره مستقیم یعنی حداکثر مقدار خروجی پس از رسیدن به حالت تعادل براساس قضیه مقدار نهایی سیستم های گسسته خطی برابر است با:

$$\lim_{t\to\infty} y(t) = \lim_{q\to 1} \frac{B(q)}{A(q)} \qquad (۲۱)$$

که در الگوی موردنظر برابر است با: $1/(1-\mu)$.

بنابر این لازم است برای تعدیل و تصحیح بهره مستقیم، ضریب $(1-\mu)$ را درشکل تابعی الگو بیافزاییم تا حداکثر افزایش مقدار خروجی از عدد ۲۴ ساعت تجاوز نکند. با این اصلاح خواهیم داشت:

$$u_E(t) = (1-\mu)\, 24\, \boldsymbol{sm}(w-\varpi, \omega)\, (2\, \boldsymbol{sm}(p^{\alpha} y^{\beta}, \varphi)-1) + \theta\, u_{RW} \qquad (۲۲)$$

برای جبران افت در اندازه تابع ورودی $u_E(t)$ به واسطه این ضریب جدید، که در جدول (۱) عددی درحدود ۰/۵ بدست آمده است، جزء اول تابع، $h(.)$ ، با انتقال به سمت چپ در واقع به سمت بالا انتقال داده می شود. این کار به سادگی و با کوچک کردن پارامتر ϖ به مقادیری درحدود ۸ تا ۱۲ میسر است. یادآور می شود که پارامتر مذکور در فرایند شناسایی نیز قابل تخمین است.

با شناسایی و تخمین پارامتر برای شکل تابعی (۲۲) ، بهترین الگو به ازای $w=w_1$, $p=p_{FE}$, $u_{RW}=u_{RW63}$ به دست آمد که نتایج پارامترهای تخمینی آن در جدول (۲) دیده می‌شود. قابل ذکر آنکه این تخمین پس از چند مرحله اصلاح و با

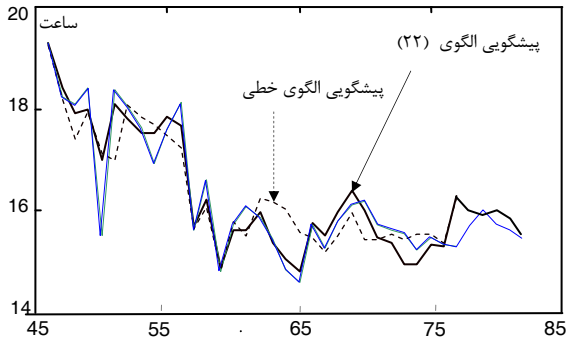
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-19]

ثابت نگاه داشتن دو پارامتر φ و ϖ که تابع خطای الگو نسبت به آن ها حساسیت بسیار کمی داشته، حاصل شده است. یادآور می‌شود که به دلیل تعداد اندک داده ها و مهم تر از آن وجود خطا در آنها، امکان حصول الگوهای مناسب دیگر منتفی نیست.

شکل (۱۰) خروجی (۲۲) را در مقایسه با پیشگویی الگوی خطی به نمایش می گذارد که حاکی ازبهبود قابل توجه است. با توجه به غیرخطی بودن الگو می‌توان با شبیه سازی ویا به روش مشتقات زنجیره‌ای نشان داد که ۱۰٪ افزایش در قیمت‌های برق به نسبت سایر قیمت ها، تا ۱/۱٪ (۱۰ دقیقه) کاهش در زمان مصرف را در سال اول منجرخواهد شد. چنانچه تعدیل قیمت به طور مستمر از ده سال پیش و تنها به اندازه ۱٪ نسبت به قیمت های اعمال شده ادامه می‌یافت، تا سال ۱۳۸۳ بیش از ۱/۳٪ (۱۲ دقیقه) از زمان متوسط مصرف برق کاسته شده بود. درآن صورت، با توجه به قله بار سال ۱۳۸۴، برابر با ۳۰/۷۵ گیگاوات، معادل ۶/۲ هزار گیگاوات ساعت و در واقع ۹۳۸ میلیاردریال صرفه جویی (با فرض قیمت مصرف کننده برابر با ۱۵۱/۴ ریال بر کیلووات ساعت) را به دنبال می‌داشت.

جدول (۲): نتایج برآورد مدل غیرخطی زمان مصرف متوسط روزانه طبق (۲۲) با فرض ۰/۴= φ ، ۱۲ = ϖ

R^2	γ	θ	β	α	ω	μ	V, GT
٪۸۷/۳	−۱/۰۰۰	−۱/۷۵۲۵	۰/۵۱۷۴	۱/۰۱۸۳	۰/۱۸۴۳	۰/۵۱۱۳	۲/۷۴۰۸
	۴/۴۰۵۶	۷/۴۴۴۶	۴/۵۰۸۰	۱۶/۶۵۳۲	۲۷/۹۷۰۹	۷/۷۹۸۷	۳۰/۹۶۸۱



شکل (۱۰): پیش گویی الگوی غیرخطی طبق (۲۲) در مقایسه با الگوی خطی و داده ها

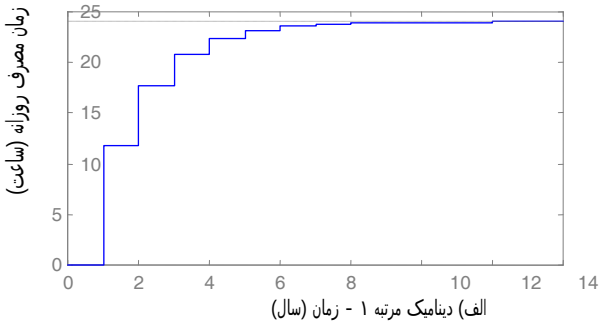
بررسی رفتار دینامیک الگو

از آنجاکه الگو از توان توضیح دهندگی و پیش گویی خوبی برخوردار است و مقادیر پارامترها نیز از نظر آماری معنادار هستند، پاسخ های بدست آمده مقبول تلقی می شوند. درعین حال رفتار الگو در شرایط پویا و ایستا نیز حائز اهمیت است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-19]

رفتار دینامیک این الگوی ساده در پارامتر μ خلاصه شده است که برآوردی را بطور متوسط از چگونگی بروز تغییرات در زمان مصرف، ناشی از تغییر در هریک از ورودی ها مطابق شکل (۱۲) نشان می‌دهد. مقدار این پارامتر درالگوهای مختلف به یکدیگر نزدیک و درحدود ۰/۵ به دست آمده است. دانش پیشین ما از این بخش از سیستم حاکی از آن است که تغییر در الگوی مصرف انرژی الکتریکی و تنظیم آن با شرایط جدید بین سه تا ۶ سال زمان لازم داشته باشد. برنامه های توسعه نیز بطور میان مدت و در اغلب کشورها از جمله ایران ۵ ساله برنامه ریزی می شوند. روشن است که این دوره زمانی لازم برای تطبیق با وضعیت جدید وابسته به عامل تغییر شرایط باشد. ازجمله، در الگوی زمان متوسط مصرف انرژی الکتریکی انتظار منطقی آن است که تبعیت رفتار از عامل آب و هوا به صورت لحظه ای و درحقیقت بدون دینامیک رخ دهد؛ این در حالی است که عامل قیمت با دینامیک کندتر و بدنبال آن عامل درآمد باز هم کندتر رفتار مصرف کننده را تحت تاثیر قرارمی‌دهند. همچنین بدیهی است که حداکثر ساعات مصرف نباید از ۲۴ ساعت تجاوز کند که به دلیل خطی بودن دینامیک سیستم این اتفاق در پاسخ پله افتاده است.

درحالت کلی باید ضمن حفظ لوازم منطقی درتلفیق غیرخطی ورودی‌ها، برای هریک نیز دینامیک جداگانه‌ای را در مدل درنظر گرفت. این اقدام به الگوی بسیار پیچیده‌تری منجر می‌شد. متاسفانه درالگوی حاضر امکان تفکیک دینامیک مربوط به ورودی های مختلف وجود ندارد. رعایت سادگی و کاهش پارامترها بدلیل تعداد اندک نمونه های زمانی از مدل، محدودیت ناخواسته ای است که امید می رود در آینده با افزایش تعداد نمونه ها از میان برداشته شود. تنها اقدامی که میسر بنظر می رسد افزایش مرتبه دینامیک الگو به ۲ است که مورد آزمایش قرار گرفته و در رتبه بندی نهایی مندرج شده است. بطور نمونه الگوی حاصل از افزایش مرتبه دینامیک در (۲۲) به ۲ ، مورد شناسایی و $\mu_2=0.19$ بدست آمده است. رفتار دینامیک این الگو برای دینامیک مرتبه ۱ و مرتبه ۲ در شکل (۱۱) شکل آورده شده است.

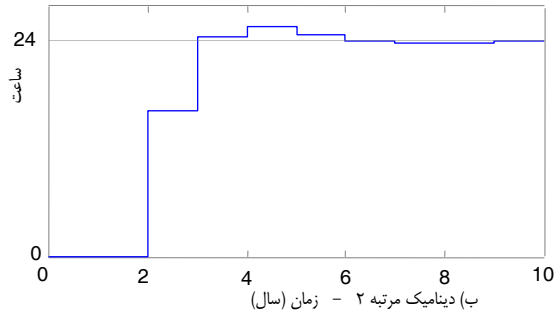


شکل (۱۱): چگونگی تغییرات در ساعات مصرف، ناشی از افزایش هریک از عوامل ورودی تا حد اشباع (۲۴ ساعت) درالگوی (۲۲)

گرچه دینامیک مرتبه ۲ از پشتوانه منطقی قوی تری برخوردار است، اما با تعداد داده اندک موجود، الگوی حاصل نتوانسته است رفتار مقبول تری را ارائه کرده و رتبه بالاتری را نسبت به الگوی مرتبه ۱ کسب کند. پاسخ پله الگو با فرض

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-19]

دینامی مرتبه ۲ در شکل (۱۲) رسم شده است. در این خصوص وجود جهش و افزایش ساعات مصرف به بیش از ۲۴ ساعت قابل توجه است.



شکل (۱۲): چگونگی تغییرات در ساعات مصرف، ناشی از افزایش هریک از عوامل ورودی تا حد اشباع (۲۴ ساعت) درالگوی (۲۲)

نتیجه‌گیری

در این مقاله، الگوسازی برای متغیر میانگین زمان نیاز مصرف روزانه انرژی الکتریکی به انجام رسید. در مقایسه با دیگر الگوها، الگوی غیرخطی ارائه شده مبتنی بر دیدگاه سیستمی و روابط منطقی بین اجزای آن به دست آمده و نتایج قابل قبولی را حاصل نموده است.

براساس این الگو، رفتارمصرف کنندگان انرژی الکتریکی در استفاده روزانه از وسایل خود، از تغییرات آب و هوایی، قیمت نسبی انرژی الکتریکی و درآمدسرانه متأثر است. نتایج پژوهش نشان می دهد که با تغییر دما نسبت به حد متعادل آن، یا افزایش قیمت نسبی سوخت های فسیلی و یا افزایش درآمد سرانه، مصرف کنندگان وسایل الکتریکی خود را در زمان بیشتری به کار می گیرند. بدیهی است که با افزایش این زمان، احتمال همزمانی در به‌کارگیری وسایل نیز افزایش یافته و در نتیجه اندازه بار بیشینه همزمان نیز افزایش می‌یابد. با تحلیل حساسیت و یا به روش شبیه سازی نشان داده می-شود که ۱٪ افزایش قیمت‌های نسبی برق از سال ۱۳۴۶ تا ۱۳۸۳، تا ۲/۸ ٪ (درحدود ۲۶ دقیقه) کاهش در زمان مصرف متوسط بارقله را حاصل می‌کرد.

این الگو علاوه بر کاربرد آن در تحلیل چگونگی تأثیر عوامل یادشده بر مصرف انرژی، بعنوان بخشی از الگوی سیستم تقاضای انرژی الکتریکی در کشور، با اتصال به الگوی تقاضای بار (ضرب خروجی ها) برای برآورد تغییرات مصرف انرژی قابل استفاده است.

بکارگیری داده های دقیق تر و بیشتر، درصورت وجود، برای افزایش پیچیدگی توأم با دقت برای الگو، مفید و بلکه اجتناب ناپذیر است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-19]

تقدیر و تشکر

این پژوهش در ادامه یک طرح ملی که در راستای مطالعات بهینه سازی مصرف انرژی در کشور با حمایت وزارت نیرو به انجام رسیده [۸]، توسعه یافته است. بدین وسیله ازکلیه دست‌اندرکاران پژوهش مزبور تقدیر و تشکر می‌گردد.

منابع

[۱] چهل سال صنعت برق ایران درآینه آمار، سازمان مدیریت توانیر- معاونت برنامه ریزی، ۱۳۸۵.

[۲] آمار تفصیلی صنعت برق، معاونت امور اقتصادی و هماهنگی، وزارت نیرو، تا ۱۳۸۵.

[3] Beeck, N. v.; "*Classification of Energy Models*", Tilburg University & Eindhoven University of Technology, May 1999.

[۴] برنامه درازمدت تقاضای انرژی، دفتر برنامه ریزی معاونت امور انرژی، وزارت نیرو، ۱۳۷۷.

[5] "*The National Energy Modeling System* (*NEMS*)", Energy Information Administration (EIA), Washington DC, USA, 2003, Available: http://www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/overview/

[6] *Energy 2020 Documentation*, Systematic Solution, Inc. Policy Assesment Corp., 1997.

[۷] "ترازنامه انرژی"، دفتر برنامه ریزی معاونت امور انرژی، وزارت نیرو، تا ۱۳۸۲.

[۸] شکوری گنجوی، حامد؛ "مدل سازی و شبیه سازی سیستم تقاضای انرژی الکتریکی در ایران"، طرح ملی تحقیقات انرژی، مجری: ج. نظرزاده، معاونت انرژی وزارت نیرو، ۱۳۸۱.

[9] H. Shakouri G., R. Nadimi; "*A Hybrid TSK-FR Model to study Short-Term variations of the Electricity Demand versus the Temperature Changes*", Expert Systems with Applications, Article in Press, available at: ,2008.www.sciencedirect.com

[۱۰] "مطالعه اثر تغییرات دمای هوا بر میانگین زمان مصرف روزانه انرژی الکتریکی در کشور"، مجله علمی انرژی ایران، ۱۳۸۳.

[۱۱] مدل سازی سیستم انرژی ایران (افزایش دقت مدل): زمان مصرف در تقاضای برق، مؤسسه پژوهش در مدیریت وبرنامه ریزی انرژی، دانشکده فنی دانشگاه تهران، ۱۳۸۵.

[۱۲] شکوری گنجوی، حامد؛ نیکروش، ک.ی.؛ "تصمیم گیری فازی: روشی جدید درانتخاب مدل براساس معیارهای متنوع ارزیابی"، مجله علمی و پژوهشی امیرکبیر، ش ۴۸ ، ص ۴۶۳ تا ۴۷۳ ، ۱۳۸۰.

[۱۳] شکوری گنجوی، حامد؛ "مدل سازی دینامیک و شناسایی سیستم اقتصاد کلان ایران (نگرش سیستمی)"، رساله دکتری، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۷۸.

[14] Bunn, Derek; "*Modelling Prices in Competitive Electricity Markets*", Wiley, 2004.

[15] Shakouri G., H; Rastad, M.; Nazarzadeh, J.; "*A Hybrid Nonlinear Model for the Annual Maximum Simultaneous Electric Power Demand*", IEEE TPS, Vol. 21, No. 3, 2006.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-19]

[16] Ericsson, N. R.; Irons, J. S.; *Testing Exogeneity*, Oxford University Press, 1994.

[17] 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.

[18] Taylor, J. W.; Buizza, R.; "*Neural Network Load Forecasting with Weather Ensemble Predictions*", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 17, pp. 626-632, 2002.

[19] Y.C. Zhu, "Estimation of an N-L-N Hammerstein-Wiener model", *Automatica*. Vol. 38, No. 9, 2002, pp. 1607-1614.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-02-19]