اولویت‌بندی روزهای مشابه جهت پیش‌بینی بار کوتاه مدت شبکه ایران با درنظرگیری دما و بخش‌بندی سیستم قدرت

مازیار کریمی[۱] حسین کرمی[۲] مصطفی غلامی[۳] هادی خطیب‌زاده[۴] نیکی مسلمی[۵]

۱- دانشجوی دکتری- پژوهشگاه نیرو و دانشکده مهندسی برق- دانشگاه شهید بهشتی - تهران- ایران
ma_karimi@sbu.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری- پژوهشگاه نیرو و دانشکده مهندسی برق- دانشگاه صنعتی امیرکبیر- تهران- ایران
h.karami@aut.ac.ir

۳- استادیار- گروه مهندسی برق، دانشگاه علم و فناوری مازندران و پژوهشگاه نیرو، بهشهر، ایران
m.gholami@mazust.ac.ir

۴- کارشناسی ارشد- پژوهشگاه نیرو- تهران- ایران
hkhatibzadeh@nri.ac.ir

۵- کارشناسی ارشد- پژوهشگاه نیرو - تهران- ایران
nmoslemi@nri.ac.ir

چکیده: امروزه پیش‌بینی بار کوتاه‌مدت، یکی از مسایل بسیار مهم در برنامه‌ریزی سیستم‌های انرژی بشمار می‌رود. بهبود دقت در پیش‌بینی بار موجب کاهش هزینه‌های ناشی از خطا در پیش‌بینی و بهینه کردن عملکرد سیستم قدرت می‌شود. تا کنون روش‌های متفاوتی جهت پیش‌بینی بار کوتاه مدت ارائه شده است اما در بین تمامی روش‌ها، روش روزهای مشابه دارای حجم و زمان محاسباتی بسیار اندکی است. در نتیجه بهبود دقت این روش در پیش‌بینی بار می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد. در این مقاله با ارائه شاخصی جهت اولویت‌بندی انتخاب روزهای مشابه در پیش‌بینی بار، دقت این روش بهبود داده شده است. در این شاخص، دما و فاصله زمانی روز مشابه با روز هدف، بطور همزمان درنظر گرفته شده است. از طرف دیگر با پیشنهاد بخش‌بندی کل سیستم قدرت، تاثیر دما در این روش بطور موثرتری اعمال خواهد شد. روش ارایه شده بر روی شبکه قدرت ایران پیاده‌سازی شده و نسبت به روش کلاسیک روزهای مشابه، باعث کاهش میانگین خطای سالیانه از ٪۱٫۰۸ به ٪۱٫۰۱ می‌شود. این روش علاوه بر کاهش ٪۷ از میزان خطا، باعث می‌شود تعداد روزهای با خطای پیش‌بینی بیش از حد مجاز، کاهش یابد و در نتیجه قابلیت اطمینان پیش‌بینی بار افزایش پیدا کند.

کلمات کلیدی: پیش‌بینی بار کوتاه مدت، روش روزهای مشابه، بار شبکه ایران، بخش‌بندی سیستم قدرت، اولویت‌بندی روزهای مشابه

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۵/۰۱/۱۸
تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۰۲
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۰۲

نام نویسنده‌ی مسئول: مازیار کریمی
نشانی نویسنده‌ی مسئول : ایران، تهران، شهرک قدس، انتهای بلوار شهید دادمان، پژوهشگاه نیرو، پژوهشکده برق

[Downloaded from jiaeee.com on 2025-09-04]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1396.14.3.10.5]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol14 No.3 Fall2017

۱- مقدمه

امروزه استفاده از انرژی الکتریکی به یکی از ضروریات زندگی تبدیل گشته است. بدلیل ساختار پیچیده شبکه‌های قدرت، مدیریت بهینه انرژی و برقراری تعادل بین تولید و مصرف از مباحث روز دنیا بشمار می‌رود [۱-۲]. جهت تحقق این هدف از ابزار مختلفی استفاده می‌گردد و پیش‌بینی بار کوتاه مدت، به عنوان یکی از ابزارهای شناخته شده جهت مدیریت انرژی الکتریکی، نقش مهمی در بهره-برداری ایمن و اقتصادی سیستم‌های قدرت دارد [۳]. پیش‌بینی بار کوتاه مدت در بسیاری از تدابیر مدیریت انرژی از قبیل: برنامه‌ریزی بهینه تولید، برنامه‌ریزی بهینه ورود و خروج واحدهای تولیدی، برنامه‌ریزی بهینه خرید سوخت و برنامه‌ریزی بهینه ذخیره گردان و غیرگردان شبکه، استفاده می‌گردد [۴]. میزان دقت پیش‌بینی کوتاه مدت بار، تاثیر مستقیم بر بازار برق و هزینه‌های انرژی می‌گذارد [۵]، بطوریکه یک درصد خطا در پیش‌بینی بار ممکن است تا چند صد میلیارد ریال به بخش مدیریت انرژی زیان برساند. در نتیجه رسیدن به پیش‌بینی دقیق‌تر بار، از چالش‌های حال حاضر شبکه‌های قدرت و بهره‌برداران است.

با توجه به کاربرد گسترده پیش‌بینی بار کوتاه مدت یا STLF[۱]، تاکنون روش‌های متفاوتی جهت STLF معرفی شده‌اند؛ از جمله روش‌های مبتنی بر رگرسیون مانند ARMA[۲] و ARIMA[۳] [۶-۷]، روش‌های فازی [۸-۹]، استفاده از شبکه‌های عصبی [۱۰-۱۱] و سیستم‌های فازی-عصبی [۱۲]. اما در تمامی این موارد نیاز به آموزش سیستم با استفاده از مقدار قابل توجهی از داده‌های پیشین و همچنین تنظیم پارامترهای بسیار زیاد به منظور رسیدن به سیستم بهینه و پاسخ مناسب وجود دارد. از طرفی قابلیت تعمیم‌پذیری در مدل‌های کوچکتر و یا دارای پارامترهای کمتر و ساده‌تر موجب گردیده است که محققین به سمت استفاده از روش روزهای مشابه[۴] حرکت کنند. در این روش همانند روش‌های دیگر نیاز به تنظیم دشوار پارامترها و پیچیدگی سیستم نیست و می‌توان با برقراری روابطی ساده، پیش‌بینی سیستم را با دقت مناسب و قابل قبول بدست آورد. بدین ترتیب بهبود روش روزهای مشابه می‌تواند در پیش‌بینی بار کوتاه مدت و کاهش زمان و حجم محاسباتی، بسیار ارزشمند باشد.

در اکثر مقالات گذشته، مطالعه روزهای مشابه جهت کلاسه بندی و استخراج ویژگی به منظور دسته‌بندی ورودی‌های شبکه عصبی یا فازی استفاده شده است [۳]. به عبارت دیگر، تعداد مطالعاتی که فقط با استفاده از روش روزهای مشابه پیش‌بینی بار کوتاه مدت را انجام داده باشند، اندک است [۱۳-۲۰]. از طرفی مزایای استفاده از این روش به جهت سادگی و سرعت نسبت به سایر روش‌ها، انگیزه لازم برای بهبود این روش را بوجود می‌آورد.

در [۱۳] پیش‌بینی بار کوتاه مدت با استفاده از روش روزهای مشابه، بدون درنظرگیری دما انجام شده است. در [۱۴]، روزها بر حسب شکل منحنی بار به یازده نوع تقسیم‌بندی شده‌اند و پس از نرمال‌سازی بارها، میانگین بار ساعتی نرمالیزه شده برای هر دسته با توجه به کمینه و بیشینه بار ساعتی محاسبه شده است. کمینه و بیشینه بار هر روز با استفاده از روش رگرسیون خطی و دمای بیشینه روز، پیش‌بینی شده و به همراه میانگین بار نرمال شده جهت پیش بینی بار ساعتی استفاده می‌گردد. در [۱۴]، خطای پیش‌بینی بصورت میانگین قدرمطلق درصد خطا (MAPE)[۵] برای شبکه قدرت کشور تایوان، با درنظرگیری دما ٪۲,۵۲ و با درنظرگیری رطوبت ٪۲,۸۱ بدست آمده است. در [۱۵]، میانگین وزنی بار ساعتی سه روز مشابه قبلی به عنوان مبنای پیش‌بینی بار درنظرگرفته شده است. به منظور درنظرگیری تاثیر دما یک رابطه نمایی پیشنهاد شده تا دما نیز در پیش‌بینی بار تاثیرگذار باشد. میانگین خطای پیش‌بینی بر حسب پیک بار روزانه برای ایالت ویرجینیا در کشور ایالات متحده آمریکا ٪۲,۷۴ بدست آمده است. در [۱۶-۱۷]، تاثیر رطوبت، دما و سرعت باد بصورت ضرایب وزنی در تغییرات پیش‌بینی بار در نظر گرفته شده و به ترتیب خطای ٪۱,۴۳ و ٪۲,۵۵ نسبت به بار پیک روزانه برای چند ایالت بدست آمده است. لازم به ذکر است که در [۱۷]، روزهای تعطیل لحاظ نشده است. در [۱۸] پس از ملایم کردن تغییرات دما، میزان خطا نسبت به بار پیک روزانه برای روزهای کاری هفته ٪۴,۶۵ و برای روزهای تعطیل آخر هفته ٪۷,۰۸ بدست آمده است.

در تمامی مقالات ذکر شده [۱۴-۱۸]، معیاری جهت اولویت‌بندی روزهای مشابه و نیز تاثیر آن بر پیشبینی بار کوتاه مدت ارایه نشده است. در [۱۹]، اولویت انتخاب مناسب‌ترین روز مشابه جهت پیش‌بینی بار در یک هفته بعد ، نزدیک بودن دما به روز پیش‌بینی پیشنهاد شده است. در این تحلیل، میزان میانگین خطا برای تابستان در حدود ٪۳,۲۴ برای ایالت ویرجینیا بدست آمده است که برخی از مقادیر بالای ٪۶ خطا داشتند. در [۱۹] تنها پارامتر دما برای اولویت‌بندی روزهای مشابه مدنظر قرار گرفته است و فاصله روز انتخاب شده با روز پیش بینی برای اولویت‌بندی دیده نشده است. در [۲۰] نیز معیار اولویت انتخاب روز مشابه تنها نزدیکی فاصله اقلیدسی زمان روز مورد نظر به روز پیش‌بینی درنظر گرفته شده است.

در این مقاله روش جدیدی جهت اولویت‌بندی انتخاب روزهای مشابه به منظور پیش‌بینی بار کوتاه مدت پیشنهاد شده است. در روش پیشنهادی اولویت‌بندی روزهای مشابه، علاوه بر دما، فاصله زمانی روز مشابه با روز هدف نیز همزمان در نظر گرفته می‌شود. در پیش‌بینی بار بطور معمول روزهای هم‌نوع جدا شده و هر کدام بطور مجزا پیش‌بینی می‌شوند. روزهای هم‌نوع به طرق مختلفی از یکدیگر متمایز می‌شوند. در این مقاله از چهار دسته بصورت روزهای شنبه، روزهای کاری (یکشنبه تا چهارشنبه)، روزهای پنجشنبه و روزهای جمعه استفاده شده است. همچنین علاوه بر درنظرگیری روزهای هم‌نوع، جهت استفاده از اطلاعات بار روزهای قبلی در پیش‌بینی، دسته بندی دیگری نیز صورت گرفته است. دو دسته جهت پیش‌بینی بار مورد بررسی قرار گرفته است که تفاوت این دو دسته با یکدیگر، در محدوده زمانی

[Downloaded from jiaeee.com on 2025-09-04]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1396.14.3.10.5]

استفاده از اطلاعات قبلی است. در دسته اول از اطلاعات یک ماه جهت پیش‌بینی کمک گرفته شده و در دسته دیگر از اطلاعات یک هفته استفاده می‌شود. در هر کدام از این دو دسته اولویت‌بندی و پیش‌بینی بار برای هر چهار گروه روز هم‌نوع صورت می‌پذیرد. سپس پیش‌بینی نهایی بار بصورت ضریبی از این دو پیش‌بینی خواهد بود.

از مشکلات در نظرگیری شرایط آب و هوایی مانند دما برای پیش بینی بار، گستردگی جغرافیایی سیستم های قدرت است. در این حالت نمی‌توان دمای یک شهر را به تمامی سیستم اختصاص داد. در [۲۱] برای کشور ایران که از چنین خصوصیت جغرافیایی برخوردار است، سه شهر به عنوان نماینده‌های مناطق گرمسیر، معتدل و سردسیر انتخاب شده و دمای وزن‌دهی‌شده این سه شهر را به عنوان دمای کل سیستم در نظر گرفته است. در این مقاله جهت پیش‌بینی بار کل سیستم پیشنهاد شده است که ابتدا سیستم مورد نظر (کشور ایران) به چند ناحیه شکسته شده (۱۶ ناحیه)، سپس پیش‌بینی بار برای هر کدام از این نواحی، با درنظرگیری یک یا چند شهر به عنوان نماینده دمایی برای هر کدام از نواحی، انجام گرفته و بار کل سیستم با مجموع بار پیش‌بینی شده در نواحی بدست آید. نتایج نشان می‌دهد که این روش جهت بهبود پیش‌بینی بار کل سیستم بسیار تاثیرگذار خواهد بود.

نتایج این بررسی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی تاثیر مثبتی بر روی میزان خطای پیش‌بینی بار کوتاه مدت دارد و MAPE کشور ایران را از ۱٫۰۸٪ به ۱٫۰۱٪ کاهش می‌دهد. همچنین این روش موجب کاهش تعداد روزهای با خطای بیش از حد مجاز و در نتیجه افزایش اطمینان از عملکرد پیش‌بینی بار خواهد شد. بطور کلی نوآوری‌های مقاله را می‌توان به صورت زیر تقسیم‌بندی نمود:

- ارایه شاخصی جهت اولویت‌بندی روزهای مشابه با درنظرگیری همزمان دما و فاصله زمانی روز انتخابی از روز پیش‌بینی.
- اولویت‌بندی و پیش‌بینی بار کوتاه مدت در دو دسته مجزا (از نظر استفاده از محدوده زمانی اطلاعات مورد استفاده در پیش‌بینی) به منظور بهبود پیش‌بینی بار کوتاه مدت.
- بخش‌بندی سیستم قدرت یک سیستم با وسعت جغرافیایی گسترده، به منظور پیش‌بینی دقیق‌تر بار کل سیستم و همچنین عملکرد موثرتر دما جهت پیش‌بینی بار.
- پیاده‌سازی داده‌ها بر روی داده‌های واقعی شبکه ایران.

در ادامه این مقاله، در بخش دوم چگونگی پیش‌بینی بار کوتاه مدت با استفاده از روزهای مشابه تشریح خواهد شد. در بخش سوم شاخص پیشنهادی جهت اولویت‌بندی روزهای مشابه ارایه می‌گردد. در بخش چهارم موضوع بخش‌بندی سیستم قدرت بررسی می‌شود. در بخش پنجم روش پیشنهادی برروی یک سیستم نمونه (کشور ایران) پیاده‌سازی شده و در بخش ششم نتایج نمایش داده می‌شود. در نهایت در بخش پایانی نیز نتیجه‌گیری صورت می‌پذیرد.

۲- روش روزهای مشابه در پیش بینی بار کوتاه مدت

۲-۱- پیش‌بینی بار به روش کلاسیک

در روش روزهای مشابه، ابتدا با بررسی رفتار منحنی بار در روزهای مختلف در یک هفته، دسته‌بندی روزهای مختلف از نظر نوع انجام می‌شود. این دسته‌بندی در کشورهای مختلف با توجه به وضعیت اجتماعی آن مانند هفته کاری و روزهای تعطیل متفاوت است. به عنوان نمونه در برخی مقالات [۱۳] روزهای هفته به چهار نوع تقسیم بندی شده‌اند: روز تعطیل آخر هفته، روز قبل از تعطیلی آخرهفته، اولین روز هفته و روزهای کاری هفته. سپس برای روزهایی که متعلق به هر یک از این دسته‌ها باشد، با انتخاب مناسب روزهای مشابه هم‌نوع از تاریخچه بار، پیش‌بینی صورت می‌گیرد.

سطح منحنی بار با توجه به عوامل زیادی همچون رشد جمعیت و رشد اقتصادی کشور، دارای رشد سالیانه است که این رشد به صورت تدریجی در طول سال اتفاق می‌افتد. بمنظور بدست آوردن الگوهای مشابه برای منحنی بار، استفاده از نرمالیزاسیون جهت یکسان‌سازی سطوح در الگوهای مشابه امری ضروری است. نرمالیزاسیون هر ساعت از منحنی بار را می‌توان با تقسیم بار آن ساعت بر میانگین k ساعت قبل، همانند رابطه زیر بدست آورد [۲۲]:

$$\hat{L}_{d,h} = \frac{L_{d,h}}{mean\left(L_{d,h-1}, L_{d,h-2}, \ldots, L_{d,h-k}\right)} \quad (۱)$$

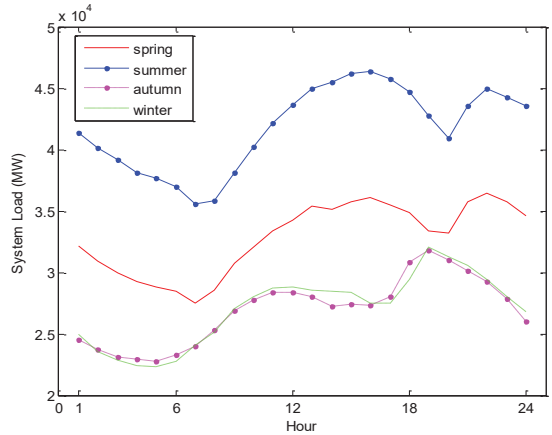
که در آن $L_{d,h}$ مقدار بار سیستم در ساعت h از روز d و $\hat{L}_{d,h}$ مقدار بار نرمالیزه شده در ساعت h از روز d است.

پیش بینی بار با استفاده از منحنی بار نرمالیزه شده روزهای مشابه انتخابی و میانگین بار k ساعت قبل، بصورت زیر محاسبه می گردد:

$$L_{fd,h} = \left(\frac{1}{N_{SD}} \sum_{d \in SD} \hat{L}_{d,h}\right) \times mean\left(L_{fd,h-1}, L_{fd,h-2}, \ldots, L_{fd,h-k}\right) \quad (۲)$$

که در آن fd و d به ترتیب روز پیش‌بینی و روز مشابه، $L_{fd,h}$ مقدار بار پیش‌بینی شده سیستم در ساعت h از روز fd، SD مجموعه روزهای مشابه انتخاب شده و N_{SD} تعداد روز مشابه انتخاب شده است.

[Downloaded from jiaeee.com on 2025-09-04]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1396.14.3.10.5]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol14 No.3 Fall2017



شکل (۱): تغییرات منحنی بار یک روز نمونه از هفته در فصول مختلف سال ۹۲ برای کشور ایران

اگر N_{SD} یک عدد بزرگ انتخاب شود، بار پیش‌بینی شده ممکن است با منحنی بار روزهایی با میزان تشابه کمتر تحت تاثیر قرار گیرد. همچنین اگر N_{SD} یک عدد کوچک باشد، تاریخچه بار برای پیش بینی کم بوده و تاثیر منفی بر پیش‌بینی بار خواهد داشت. در این مقاله، با انجام آنالیز حساسیت و بررسی تاثیر تعداد روزهای مشابه انتخاب شده، $N_{SD}=5$ جواب مناسب‌تری بوجود آورد.

۲-۲- دسته‌بندی روزهای مشابه از نظر تاریخچه

انتخاب روزهای مشابه یکی از مهم‌ترین بخش‌های پیش‌بینی بار به روش روزهای مشابه است، که تاثیر قابل توجهی در نتایج خواهد داشت. در روش پیشنهادی در این مقاله، پیش‌بینی به روش روزهای مشابه، در دو گروه انجام می‌شود:

- گروه اول ($L_{fd,h}^{G1}$): شامل اطلاعات روزهای مشابه هم نوع از روزهای ماه حاضر و ماه قبل است. این تشابه در سال‌های گذشته نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت.
- دسته دوم ($L_{fd,h}^{G2}$): شامل اطلاعات روزهای مشابه هم‌نوع از یک هفته قبل تا یک هفته بعد برای اطلاعات سال‌های قبل، و از هفته قبل تا روز هدف برای سالی که پیش‌بینی صورت می‌گیرد، می‌باشد.

برای هر دو دسته بصورت مجزا، بر اساس معیاری که در بخش های بعدی معرفی می‌شود، اولویت‌بندی صورت گرفته و پیش‌بینی به روش روزهای مشابه بر اساس رابطه (۲) انجام می‌گیرد. در نهایت، بار پیش‌بینی شده نهایی بر حسب ضرایبی از پیش‌بینی انجام شده برای هر دو دسته، با رابطه زیر بدست می‌آید:

$$L_{fd,h}^{Final}=w_1\times L_{fd,h}^{G1}+w_2\times L_{fd,h}^{G2} \qquad (۳)$$

در این مقاله بر حسب شرایط سیستم انتخاب شده (شبکه برق سراسری کشور ایران)، ضرایب w_1 و w_2 به ترتیب برابر با ۰٫۲ و ۰٫۸ انتخاب شده است. دسته‌بندی $L_{fd,h}^{G1}$ و $L_{fd,h}^{G2}$، با بررسی و آنالیز تغییرات منحنی بار و وضعیت آب و هوایی در ماه‌های مختلف ارائه گردیده است. دلیل این امر را می‌توان در شکل (۱) که منحنی بار روز سه‌شنبه نمونه در چهار فصل سال برای بار شبکه قدرت ایران را ارائه کرده است، ملاحظه نمود. همانطور که مشخص است، تغییرات در میزان بار، ساعت پیک بار شب و نیز اختلاف پیک بار شب و روز در منحنی‌های ارائه شده، بسیار متفاوت و قابل توجه است. در نتیجه در صورت افزایش بازه انتخابی، ممکن است روزهای مشابهی انتخاب گردد که با وجود تشابه دمایی، به دلیل تفاوت فصلی، دارای منحنی بار متمایزی باشد و تاثیری منفی بر پیش بینی بار بگذارد.

۳- اولویت‌بندی روزهای مشابه بر اساس تاثیر همزمان دما و زمان

دما یکی از متغیرهایی است که در نتایج پیش‌بینی بار تاثیرگذار است. این تاثیر در فصل تابستان بسیار شدیدتر خواهد بود زیرا با افزایش دما، استفاده از وسایل خنک‌کننده هوا و به تبع آن بار الکتریکی افزایش خواهد یافت [۲۳]. به منظور اعمال تاثیر دما در پیش‌بینی بار کوتاه مدت طبق رابطه (۳)، می‌توان اولویت‌بندی انتخاب روز مشابه را با درنظرگیری دما انجام داد. بدین منظور ابتدا با استفاده از تاریخچه دما، در صورتیکه اختلاف دمای شهرهای مورد نظر یک سیستم یا منطقه در روزهای هم‌نوع مشابه با روز پیش‌بینی، از یک حد آستانه مانند T_S برحسب درجه سانتی‌گراد بیشتر باشد، از دسته روزهای مشابه حذف می‌گردد. پس از این مرحله، روزهای مشابه با ضرایبی از فاصله اقلیدسی دو شاخص دما و زمان، بصورت زیر اولویت بندی شوند:

$$ED^d=\sqrt{\left(\sum_{C\in\Omega}\omega_T\times(T_C^d-T_C^{fd})^2\right)+\omega_I\times(\Delta I)^2} \qquad (۴)$$

$$\omega_T=\frac{1}{N_{SD}}\sum_{d\in SD}\frac{1}{\sum_{C\in\Omega}\frac{(T_C^d-T_C^{fd})^2}{N_{City}}} \qquad (۵)$$

$$\omega_I=\frac{1}{N_{SD}}\sum_{d\in SD}\frac{1}{(\Delta I)^2} \qquad (۶)$$

که در آن ED^d شاخص فاصله اقلیدسی روز مشابه d، T_C^d و T_C^{fd} به ترتیب دمای شهر C در روز مشابه d و روز پیش بینی fd، ΔI فاصله زمانی روز مشابه d و روز پیش بینی fd، Ω مجموعه شهرهای انتخاب شده برای سیستم و یا ناحیه مورد نظر برای استفاده از اطلاعات هواشناسی، N_{City} تعداد شهر انتخاب شده برای سیستم و یا ناحیه مورد نظر برای استفاده از اطلاعات هواشناسی و ω_T و ω_I به ترتیب ضرایب وزنی پارامتر فاصله دمایی و زمانی است.

در روابط بالا، میانگین دما در ۲۴ ساعت به عنوان شاخص دمایی روز استفاده شده است. رابطه (۴) را در کنار رابطه (۳)، می‌توان اساس

[Downloaded from jiaeee.com on 2025-09-04]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1396.14.3.10.5]

روش پیشنهادی پیش‌بینی بار کوتاه مدت بوسیله روزهای مشابه دانست. این روابط در کنار بخش‌بندی سیستم قدرت، تاثیر قابل ملاحظه‌ای در پیش‌بینی بار خواهند داشت. در قسمت بعدی، چگونگی پیشنهاد بخش‌بندی سیستم قدرت برای بهبود پیش‌بینی شبکه ایران ارایه می‌گردد.

۴- بخش‌بندی سیستم قدرت در پیش‌بینی کوتاه مدت بار

شبکه برق بسیاری از کشورها محدوده جغرافیایی گسترده‌ای را در بر می‌گیرد که این گستره جغرافیایی ممکن است منجر به تغییرات آب و هوایی بسیار متفاوتی برای نقاط مختلف یک کشور گردد. در این مقاله پیشنهاد می‌شود پیش‌بینی بار کل سیستم با تجمیع پیش‌بینی بار بخش‌های کوچک‌تر سیستم محاسبه شود؛ در اینصورت تاثیر اطلاعات آب و هوایی دقیق‌تر خواهد شد. به عبارت دیگر، در این روش یک سیستم به چند منطقه تقسیم شده و برای هر منطقه، یک یا چند شهر به عنوان نمونه آب و هوایی منطقه در نظر گرفته می‌شود. سپس با استفاده از روش ارائه شده در بخش قبل، بار هر منطقه پیش‌بینی و با تجمیع بارهای پیش‌بینی شده برای مناطق، بار کل سیستم محاسبه می‌گردد. این فرایند موجب بهبود در تاثیر متغیر دما و انتخاب مناسب‌تر روزهای مشابه برای هر منطقه خواهد شد. فلوچارت پیش بینی بار به روش روزهای مشابه با استفاده از دما و درنظرگیری بخش بندی سیستم قدرت در شکل (۲) ارائه شده است.

۵- پیاده‌سازی روش پیشنهادی پیش‌بینی بار کوتاه مدت بر روی سیستم نمونه

برای پیاده‌سازی روش پیشنهادی، مطالعاتی بر روی بار سیستم قدرت سراسری ایران صورت گرفته است. در این مطالعه شبکه برق ایران به ۱۶ منطقه تقسیم شده است که توسط شرکت مدیریت شبکه برق ایران (IGMC[۶]) بهره برداری، پایش و تنظیم می‌گردد.

برای مطالعه بر روی بار سیستم قدرت سراسری ایران، نیاز به شناخت مناسب از وضعیت اجتماعی آن می‌باشد. در این کشور جمعه به عنوان روز تعطیل آخر هفته، به جای روز یکشنبه در کشورهای اروپا و آمریکا، محسوب می‌شود. با توجه به این موضوع و با مطالعه بر روی بار شبکه ایران، روزهای عادی هفته را می‌توان با چهار نوع روز تقسیم بندی کرد. دسته اول روزهای شنبه است زیرا بار صبحگاهی متفاوتی نسبت به دیگر روزهای کاری هفته دارد. دسته دوم روزهای کاری یکشنبه تا چهارشنبه بوده که معمولا منحنی بار مشابهی دارند. دسته سوم روزهای پنجشنبه بوده که ساعت کاری در این روز برای بیشتر مراکز اداری و تجاری متفاوت از روزهای دیگر هفته است. دسته چهارم روزهای جمعه است که منحنی بار به مراتب از روزهای دیگر هفته پایین‌تر و بسیار متفاوت از روزهای کاری هفته است.

لازم به ذکر است که برای روزهای خاص مانند اعیاد، شهادت‌ها یا جشن‌ها، روزهای مشابه با استفاده از تاریخچه بار این روزها در سال های قبل انتخاب می‌شوند. در این موارد به دلیل محدودیت در اطلاعات و انتخاب روزهای مشابه، مساله اولویت انتخاب روز مشابه با درنظرگیری دما مطرح نمی‌شود. به عبارت دیگر، برای روزهای خاص تنها می‌توان از منحنی بار سال‌های قبل در همان روز خاص استفاده کرد و تعداد منحنی بار مرتبط با این روز اندک است. در نتیجه در صورت درنظرگیری دما در پیش‌بینی روزهای خاص، تعداد روزهای مشابه برای این روزها باز هم کاهش یافته و عملا پیش‌بینی را با کمبود اطلاعات مواجه می‌کند. به همین دلیل تمرکز این مقاله، برروی درنظرگیری دما در اولویت‌بندی مناسب روزهای مشابه برای چهار نوع دسته روزهای هفته قرار دارد و روزهای خاص را شامل نمی‌شود.

در این مقاله، داده‌های بار ساعتی سیستم متشکل از ۱۶ منطقه برای سال های ۹۱ تا ۹۳، گرفته شده از شرکت مدیریت شبکه برق ایران، مورد مطالعه قرار می‌گیرد. همچنین برای هر منطقه یک شهر به عنوان نمونه دمایی با استفاده از اطلاعات سازمان هواشناسی ایران در نظر گرفته شده است.

به عنوان نمونه، برای پیش بینی بار روز چهارشنبه ۹۳/۶/۱۹ با استفاده از اطلاعات دو سال قبل، روند محاسبات به صورت زیر تشریح می‌شود:

۱- ابتدا با توجه به نوع روز مورد نظر، روزهای کاری با توجه به دسته‌های تعریف شده در بخش ۲-۲ به عنوان روز مشابه انتخاب می‌گردند.

در این مثال بدلیل اینکه نوع روز مورد نظر جهت پیش‌بینی بار (چهارشنبه) در دسته دوم از انواع روزهای کاری هفته قرار دارد، باید روزهای مشابه را از بین یکشنبه تا چهارشنبه انتخاب نمود. این روزها را مطابق با توضیحات داده شده در بخش ۲-۲ در دو دسته از نظر تاریخچه زمانی طبقه‌بندی می‌کنیم.

۲- برای هر کدام از مناطق ۱۶ گانه ایران، شاخص فاصله اقلیدسی با توجه به رابطه (۴) محاسبه می‌گردد. در این مثال برای دسته دوم، روزهای مشابه در منطقه تهران به عنوان نمونه در جدول (۱) آمده است که در آن ω_T و ω_I به ترتیب برابر ۰,۳۱۲۵ و $۲,۶\times۱۰^{-۷}$ محاسبه شده‌اند. این جدول برای هر منطقه باید تشکیل گردد.

۳- با توجه به شاخص مطرح شده برای روزهای مشابه در بخش ۳، اولویت‌بندی آن‌ها انجام شده و با توجه به روابط (۱) و (۲)، که در بخش ۲-۱ تشریح شد، پیش بینی بار صورت می‌گیرد. با توجه به نتایج جدول (۱) و انتخاب $N_{SD} = ۵$، روزهای ۹۳/۶/۱۸، ۹۲/۶/۲۴، ۹۲/۶/۱۸، ۹۳/۶/۱۷ و ۹۳/۶/۱۶ به عنوان مناسب‌ترین روزهای مشابه انتخاب می‌گردند.

[Downloaded from jiaeee.com on 2025-09-04]

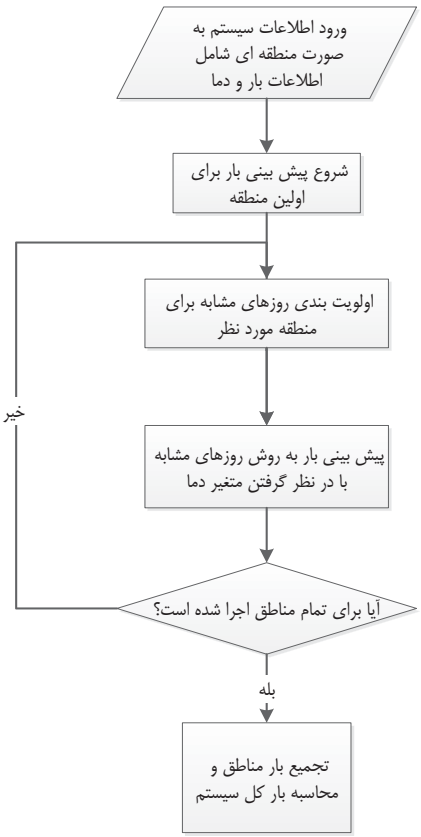
[DOR: 20.1001.1.26765810.1396.14.3.10.5]

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol14 No.3 Fall2017

۴- پس از اجرای بند قبلی در تمام مناطق ۱۶ گانه، با تجمیع پیش‌بینی بار مناطق، بار پیش‌بینی شده برای کل سیستم محاسبه می‌گردد.

جدول (۱): نحوه اولویت‌بندی روزهای مشابه برای روز ۹۳/۶/۱۹

شاخص فاصله اقلیدسی	فاصله زمانی	اختلاف دما	روز هفته	تاریخ روز
۰	۱	۰	سه‌شنبه	۹۳/۶/۱۸
۰,۳۱۲۵	۲	۱	دوشنبه	۹۳/۶/۱۷
۰,۳۱۲۵	۳	۱	یکشنبه	۹۳/۶/۱۶
۵	۴	۴	چهارشنبه	۹۳/۶/۱۲
۰,۳۴۵۷	۳۵۸	-۱	سه‌شنبه	۹۲/۶/۲۶
۰,۳۴۵۹	۳۵۹	-۱	دوشنبه	۹۲/۶/۲۵
۰,۰۳۳۶	۳۶۰	۰	یکشنبه	۹۲/۶/۲۴
۰,۳۴۶۹	۳۶۴	-۱	چهارشنبه	۹۲/۶/۲۰
۰,۳۴۷۰	۳۶۵	-۱	سه‌شنبه	۹۲/۶/۱۹
۰,۰۳۴۷	۳۶۶	۰	دوشنبه	۹۲/۶/۱۸
۰,۳۴۷۴	۳۶۷	-۱	یکشنبه	۹۲/۶/۱۷
۲,۸۴۸۲	۳۷۱	۳	چهارشنبه	۹۲/۶/۱۳



شکل (۲): فلوچارت پیسنهادی جهت پیش‌بینی کوتاه مدت بار یک سیستم با گستره جغرافیایی وسیع

شاخص MAPE برابر میانگین خطای نسبی پیش‌بینی بار در یک روز، و شاخص MaxErr[۷] برابر بیشترین خطای نسبی پیش‌بینی بار در یک روز است، که در مقالات بسیاری مورد استفاده قرار گرفته و به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$MAPE_{fd} = \frac{1}{24}\sum_{h=1}^{24}\frac{\left|L_{fd,h}^{Final} - L_{act,h}\right|}{L_{act,h}} \quad (۷)$$

$$MaxErr_{fd} = \max\left(\frac{\left|L_{fd,h}^{Final} - L_{act,h}\right|}{L_{act,h}}\right) \quad h \in (1,2,...,24) \quad (۸)$$

که در آن $L_{act,h}$ مقدار بار واقعی سیستم در ساعت h روز fd است.

در این مطالعات برای مقایسه و بررسی میزان تاثیر متغیر دما و بخش‌بندی سیستم قدرت، چهار شاخص ارائه گردیده است. شاخص اول، meanMape میانگین MAPE پیش‌بینی بار روزها در طول یک سال است که می توان آن را میانگین خطای نسبی بار ساعتی در طول یک سال نیز تعریف کرد. شاخص دوم، meanMaxErr میانگین MaxErr پیش‌بینی بار روزها در طول یک سال است. شاخص DMH2[۸] تعداد روزهای با میانگین خطای نسبی روزانه بیشتر از ۲ درصد و شاخص DMEH4[۹] تعداد روزهای با بیشینه خطای نسبی روزانه بالای ۴ درصد است. دو شاخص آخر به منظور یافتن روشی در پیش‌بینی بار با کمترین پراکندگی جواب معرفی شده‌اند. هدف از یک روش پیش‌بینی مناسب تنها کاهش MAPE نیست، بلکه کاهش تعداد روزهای با خطای بیشتر از حد مجاز نیز مدنظر است. مقدار در نظر گرفته شده برای هر شاخص با توجه به محدودیت ها و اهداف شرکت مدیریت شبکه برق ایران (IGMC) در نظر گرفته شده است.

۶- ارائه نتایج

روش پیشنهادی بر روی بار سیستم قدرت سراسری ایران پیاده‌سازی و بررسی شده است. این مطالعات برای بار ساعتی سیستم متشکل از ۱۶ منطقه در سال ۹۳ با وجود تاریخچه بار و دمای مناطق از سال ۹۱ اجرا شده است. به منظور نمایش نحوه تاثیر بخش‌بندی سیستم قدرت و همچنین تاثیر اولویت‌بندی روزهای مشابه در پیش‌بینی بار شبکه ایران، پیش‌بینی برای سه حالت زیر انجام شده است:

- C1: پیش‌بینی کل بار سیستم قدرت ایران بدون درنظرگیری شاخص اولویت‌بندی و بدون بخش‌بندی سیستم قدرت (روش کلاسیک روزهای مشابه [۱۳])
- C2: پیش‌بینی کل بار سیستم قدرت ایران با بخش‌بندی سیستم قدرت و بدون درنظرگیری شاخص اولویت‌بندی
- C3: پیش‌بینی کل بار سیستم قدرت ایران با درنظرگیری شاخص اولویت‌بندی و بخش‌بندی سیستم قدرت

[Downloaded from jiaeee.com on 2025-09-04]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1396.14.3.10.5]

نتایج اعمال روش پیشنهادی برای هر سه مورد به تفکیک نوع روزهای هفته و برای تمام روزهای هفته در جدول (۲) نمایش داده شده است. همانگونه که مشاهده می شود نتایج روش پیش‌بینی بار با بخش‌بندی سیستم قدرت و بدون در نظر گرفتن دما در اولویت‌بندی روزهای مشابه (C2)، دارای خطای کمتر سالیانه نسبت به C1 است. به عبارت دیگر، بخش‌بندی سیستم قدرت به تنهایی قادر به کاهش خطای سیستم خواهد بود. از طرف دیگر نه تنها خطای کل سیستم کاهش یافته، بلکه تعداد روزهایی که شاخص DMH2 و DMEH4 آن‌ها برای کل سال بالاتر از حد مجاز بود نیز کاهش یافته است. بطوریکه تعداد روزها با میانگین خطای روزانه بالای ۲ درصد از ۲۰ روز به ۱۸ روز و تعداد روزها با خطای بیشنیه روزانه بالای ۴ درصد از ۲۲ روز به ۱۹ روز کاهش یافته است.

همچنین درنظرگیری همزمان شاخص دما و زمان در اولویت‌بندی روزهای مشابه و به همراه بخش‌بندی سیستم قدرت (C3)، باعث بهبود در دقت پیش‌بینی و قابلیت اطمینان روش خواهد شد. همانطور که در جدول (۲) دیده می‌شود، در C3 میانگین خطای سالیانه برابر با ۱٫۰۱٪ است که در آن میانگین خطا نسبت به C2 به میزان ۵٪ و نسبت به C1 به میزان ۷٪ کاهش داشته است. همچنین تعداد روزها با میانگین خطای روزانه کمتر از ۲٪ از ۲۰ روز برای C1 و ۱۸ روز برای C2 به ۱۲ روز کاهش یافته است که بسیار تغییر قابل ملاحظه‌ای در بهبود قابلیت اطمینان پیش‌بینی بار کوتاه مدت است. این بهبود را در تعداد روزهایی که دارای خطای بیشینه روزانه بیش از ۴٪ هستند نیز می‌توان مشاهده کرد. این روزها از ۲۲ روز برای C1 و ۱۹ روز برای C2 به ۱۵ روز کاهش یافته است.

جدول (۲): مقایسه تاثیر شاخص اولویت‌بندی و بخش‌بندی سیستم قدرت در روش روزهای مشابه

DMEH4			DMH2			meanMaxErr			meanMAPE			نوع روز / شاخص
C3	C2	C1	C3	C2	C1	C3	C2	C1	C3	C2	C1	
6	7	9	5	7	9	2.87	2.97	2.95	1.27	1.30	1.33	شنبه‌ها
4	6	8	3	5	6	2.19	2.29	2.31	0.91	0.96	0.98	روزهای کاری
1	0	1	0	1	0	2.42	2.54	2.57	1.01	1.06	1.08	پنج شنبه‌ها
4	6	4	4	5	5	2.60	2.79	2.81	1.14	1.22	1.25	جمعه‌ها
15	19	22	12	18	20	2.38	2.50	2.52	1.01	1.06	1.08	میانگین کل سال

جدول (۳): بررسی تاثیر محدوده زمانی استفاده از اطلاعات بار روزهای قبلی در روش روزهای مشابه

DMEH4			DMH2			meanMaxErr			meanMAPE			نوع روز / شاخص
B3	B2	B1	B3	B2	B1	B3	B2	B1	B3	B2	B1	
6	6	10	5	5	6	2.87	2.81	3.12	1.27	1.25	1.29	شنبه‌ها
4	4	18	3	3	7	2.19	2.25	2.69	0.91	0.91	1.08	روزهای کاری
1	2	4	0	0	1	2.42	2.53	2.88	1.01	1.06	1.15	پنج شنبه‌ها
4	3	6	4	5	3	2.60	2.69	3.04	1.14	1.19	1.18	جمعه‌ها
15	15	38	12	13	17	2.38	2.42	2.82	1.01	1.02	1.13	میانگین کل سال

به منظور درک بهتر در علت استفاده از $L_{fd,h}^{G2}$ و $L_{fd,h}^{G1}$، مطالعات برای سه حالت مختلف زیر بررسی می‌شوند:

- B1: پیش‌بینی بار فقط با استفاده از اطلاعات یک ماه قبل ($L_{fd,h}^{G1}$)
- B2: پیش‌بینی بار فقط با استفاده از اطلاعات یک هفته ($L_{fd,h}^{G2}$)
- B3: پیش‌بینی بار با استفاده از $L_{fd,h}^{G2}$ و $L_{fd,h}^{G1}$ یا بعبارت دیگر ($L_{fd,h}^{Final}$)

در جدول (۳) نتایج حاصل از این مطالعات نمایش داده شده است. همانطور که از جدول (۳) قابل مشاهده است، نتایج پیش‌بینی بار با استفاده از اطلاعات فقط یک ماه قبل (B1) نتایج نه چندان مطلوبی نسبت به B2 و B3 می‌دهد. نه تنها خطای سیستم قابل توجه است بلکه تعداد روزهایی که خطای آن‌ها از حد مجاز بیشتر شده، افزایش پیدا کرده است. اما ترکیب مقادیر B1 و B2، که نتایج آن با استفاده از رابطه (۳) در B3 نمایش داده شده است، باعث بهبود خطای سالیانه سیستم و کاهش تعداد روزها با خطای بیش از حد مجاز شده است.

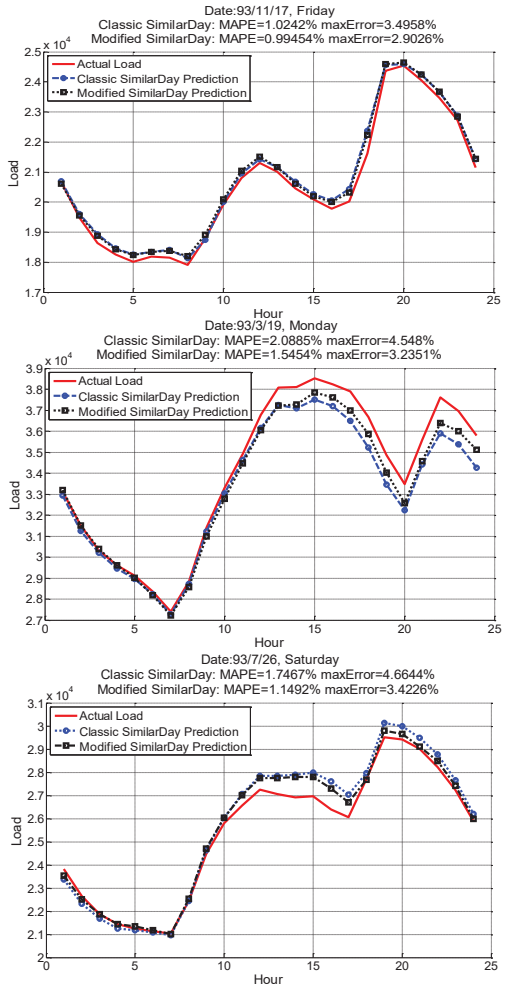
در شکل (۳) نمونه ای از پیش‌بینی بار در سه روز متفاوت هفته از سه فصل مختلف سال ۹۳ مشاهده می‌گردد که در آن‌ها روش روزهای مشابه به روش پیشنهادی و نیز بدون در نظر گرفتن شاخص اولویت-بندی و بخش‌بندی سیستم قدرت، با بار واقعی سیستم مقایسه شده‌اند.

۷- نتیجه‌گیری

امروزه پیش‌بینی بار کوتاه مدت یکی از مسایل بسیار مهم در برنامه‌ریزی سیستم‌های انرژی بشمار می‌رود. بهبود دقت در پیش‌بینی بار موجب کاهش هزینه‌های ناشی از خطا در پیش‌بینی و بهینه کردن

[Downloaded from jiaeee.com on 2025-09-04]
[DOR: 20.1001.1.26765810.1396.14.3.10.5]
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers Vol14 No.3 Fall2017

عملکرد سیستم قدرت می‌شود. در این مقاله روشی جدید بـرای پـیش بینی بار کوتاه مدت ارائه گردیده است که در آن از اطلاعـات تاریخچـه دما به منظور انتخاب روز مشابه بهره گرفته شـده اسـت. همچنـین بـه دلیل احتمال گستردگی جغرافیـایی سیسـتم و تفـاوت دمـایی در آن، پیشنهاد بخش‌بندی سیستم قدرت برای پیش‌بینی بار کوتاه مـدت بـه روش روزهای مشابه ارائه گردیده اسـت. روش پیشـنهادی بـر روی بـار شبکه ایران با ۱۶ منطقه پیاده‌سازی شده است. نتایج نشان می‌دهد که ایده بخش‌بندی سیستم قـدرت و اسـتفاده از اطلاعـات دمـا بـرای هـر منطقه در پیش‌بینی بار کوتاه مدت، علاوه بر کـاهش میـانگین خطـای سالیانه از ۱٫۰۸٪ در روش کلاسـیک بـه ۱٫۰۱٪ در روش پیشـنهادی، منجر به کاهش میانگین بیشـینه خطـا از ۲٫۵۲٪ بـه ۲٫۳۸٪ و کـاهش تعداد روزها در معیار DMH2 از ۲۰ به ۱۲ شده است. همچنین تعداد روزها در معیار DMEH4 از ۲۲ به ۱۵ کاهش پیدا کرده است.



الف)

ب)

پ)

شکل (۳): تاثیر استفاده از شاخص اولویت‌بندی و بخش‌بندی سیستم قدرت برای سه روز متفاوت از هفته در سه فصل مختلف

مراجع

[۱] محمود جورابیان، احسان افضلان، "حل مساله ژخش بار بهینه در شرایط نرمال و اضطراری با استفاده از الگوریتم ترکیبی گروه ذرات و نلدر مید (PSO-NM)"، نشریه انجمن مهندسین برق و الکترونیک ایران، سال ۱۲، شماره اول، زمستان ۱۳۹۴.

[2] S. Hasanpour, R. Ghazi, M. H. Javidi, "A New Approach for Accurate Pricing of Reactive Power and Its Application to Cost Allocation in Deregulated", Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers, Vol. 7, No. 2, 2010.

[3] Yu-Hsiang Hsiao, "Household Electricity Demand Forecast Based on Context Information and User Daily Schedule Analysis from Meter Data", IEEE Transactions on Industrial Informatics, VOL. 11, NO. 1, pp. 33-43, 2015.

[4] D.W. Bunn, "Forecasting loads and prices in competitive power markets," Proc. IEEE, vol. 88, pp. 163-169, 2000.

[5] Arora, Samarth, and James W. Taylor. "Short-term forecasting of anomalous load using rule-based triple seasonal methods." Power Systems, IEEE Transactions on, Vol. 28, No.3, pp. 3235-3242, 2013.

[6] Huang, Shyh-Jier, and Kuang-Rong Shih. "Short-term load forecasting via ARMA model identification including non-Gaussian process considerations." Power Systems, IEEE Transactions on, Vol. 18, No.2, pp. 673-679, 2003.

[7] Lee, Cheng-Ming, and Chia-Nan Ko. "Short-term load forecasting using lifting scheme and ARIMA models." Expert Systems with Applications 38.5 (2011): 5902-5911.

[8] Ranaweera, D. K., N. F. Hubele, and G. G. Karady. "Fuzzy logic for short term load forecasting." International journal of electrical power & energy systems 18.4 (1996): 215-222.

[9] Hinojosa, V. H., and A. Hoese. "Short-term load forecasting using fuzzy inductive reasoning and evolutionary algorithms." IEEE Transactions on power systems 25.1 (2010): 565-574.

[10] Guan, Che, et al. "Very short-term load forecasting: wavelet neural networks with data pre-filtering." Power Systems, IEEE Transactions on 28.1 (2013): 30-41.

[11] Li, Penghua, et al. "Application of a hybrid quantized Elman neural network in short-term load forecasting." International Journal of Electrical Power & Energy Systems 55 (2014): 749-759.

[12] Catalao, J., H. M. I. Pousinho, and V. M. F. Mendes. "Hybrid wavelet-PSO-ANFIS approach for short-term wind power forecasting in Portugal." Sustainable Energy, IEEE Transactions on 2.1 (2011): 50-59.

[۱۳] عبدالحسین وهابی، سعیده برقی نیا، ناصر وفادار، همایون برهمندپور، "پیشنهاد روشی نوین برای پیشبینی بار کوتاه مدت براساس یافتن روزهای مشابه"، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۱، شماره ۲۷، صفحه ۳۵-۴۴، ۱۳۸۷.

[14] Ku-Long Ho, Hsu Yuan-Yih, Chuan-Fu Chen, Tzong-En Lee, Chih-Chien Liang, Tsau-Shin Lai, Kung-Keng Chen, "Short term load forecasting of Taiwan power system using a knowledge-based expert system", Power Systems, IEEE Transactions on, Vol. 5, No. 4, pp. 1214-1221, 1990.

[15] S. Rahman, R. Bhatnagar, "An expert system based algorithm for short term load forecast", Power Systems, IEEE Transactions on, Vol. 3, No. 2, pp. 392-399, 1988.

[Downloaded from jiaeee.com on 2025-09-04]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1396.14.3.10.5]

[16] S. Rahman, "Formulation and analysis of a rule-based short-term load forecasting algorithm", Proceedings of the IEEE, Vol. 78, No. 5, pp. 805-816, 1990.

[17] S. Rahman , O. Hazim, "Load forecasting for multiple sites: development of an expert system-based technique", Electric Power Systems Research, Vol. 39, pp. 161-169, 1996.

[18] Rahman, Sazid, and Ossama Hazim. "A generalized knowledge-based short-term load-forecasting technique." Power Systems, IEEE Transactions on 8.2 (1993): 508-514.

[19] Rahman, Saifur, and Govinda Shrestha. "A priority vector based technique for load forecasting." Power Systems, IEEE Transactions on 6.4 (1991): 1459-1465.

[20] S. Ružić, A. Vučković, and N. Nikolić. "Weather sensitive method for short term load forecasting in electric power utility of Serbia." Power Systems, IEEE Transactions on 18.4 (2003): 1581-1586.

[21] Amjady, Nima. "Short-term hourly load forecasting using time-series modeling with peak load estimation capability." Power Systems, IEEE Transactions on 16.3 (2001): 498-505.

[22] S. Barghinia, S.Kamankesh, N. Mahdavi, A. H. Vahabie, A. A. Gorji, "A Combination Method for Short Term Load Forecasting Used in Iran Electricity Market by NeuroFuzzy, Bayesian and Finding Similar Days Methods", 5th International Conference on European Electricity Market, pp. 1-6, 2008.

[23] Kyung-Bin Song, Seong-Kwan Ha, Jung-Wook Park, Dong-Jin Kweon, Kyu-Ho Kim, "Hybrid Load Forecasting Method With Analysis of Temperature Sensitivities", Power Systems, IEEE Transactions on, VOL. 21, NO. 2, pp. 869-876, 2006.

زیرنویس‌ها

[1] Short Term Load Forecasting
[2] Auto-Regressive Moving Average
[3] Auto-Regressive Integrated Moving Average
[4] Similar Days method
[5] Mean Absolute Percent Error
[6] Iran Grid Management Co.
[7] Maximum Error
[8] Number of days with MAPE higher than %2
[9] Number of days with maximum error higher than %4

[Downloaded from jiaeee.com on 2025-09-04]

[DOR: 20.1001.1.26765810.1396.14.3.10.5]