

Improving the accuracy of forecasting unplanned power extinction (outage) time of power distribution network using the ARIMAX time series model (Case study: Yazd power distribution network)

Elham Fallah Baghemoortini¹, Motahareh Karami², Davood Shishebori³

1- Master's Student, Department of Industrial Engineering, Yazd University, Yazd, Iran,
fallah9902314@stu.yazd.ac.ir

2- M.Sc., Department of Industrial Engineering, Yazd University, Yazd, Iran,
mthkarami1@gmail.com

3- Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Yazd University, Yazd, Iran,
(Corresponding author) shishebori@yazd.ac.ir

Abstract

Electric power and power distribution are prominent infrastructures for economic development in any developing country like Iran. Also, the power distribution network is a very important supply chain that combines a variety of processes. Smart electrical energy distribution networks are one of the latest technologies in the world. The main goal of these networks is to provide reliable electricity, increase the reliability factor and network stability, and respond to the growing needs of customers with minimal damage to the environment, profit, and high efficiency. In the last three decades, the rapid evolution and prevalent adoption of information systems, distribution analysis tools, computational models, and more recently, the emergence of smart grid technologies have given utilities access to the data and tools required for improving these analyses and the possibility of increasing the efficiency of power distribution systems (by, for example, reducing losses and optimizing voltage profiles). Forecasting the future state of the network with the least error brings us closer to the smart network. Because electricity is a mortal product, a comprehensive approach to unplanned power extinction (outage) time is very valuable in preventing any power distribution losses. Various accidents disrupt (cause breakdowns in) the power distribution network, which can be repaired and restored without a hotline. One of the main reasons for customers' power outages is the blackouts in the distribution field, which are affected by technical and non-technical events in the electricity distribution networks. Forecasting these events and managing them can be effective in reducing unplanned power extinction (outage) time. The purpose of this article is to present a model for predicting the duration of unplanned power extinction (outage) and unsold energy based on the data recorded from 121 systems (controllers), the urban network of the three power distribution companies in Yazd province. The final result shows that the ARIMAX model(s) shows less error than the ARIMA model(s) and presents better prediction. Therefore, using exogenous variables in predictions and not being satisfied with the fluctuations of a variable can improve predictions. The model proposed for predicting unsold energy is ARIMAX(1,0,1)(0,0,0) considering the number of incidents and the time of unplanned outages as exogenous variables. The model also shows that in July 2022, the unplanned power extinction (outage) time of this network will be approximately ten hours and also the unsold power will be approximately 6 MWH. On the other hand, the community is without electricity and dissatisfaction has arisen, which lies in economic and social losses. Therefore, with this warning, managers should re-examine the factors of disruption and lack of electricity supply and think of measures to reduce these blackouts when planning for this month of the year.

Keywords:

Power distribution network, forecasting, unplanned blackouts (outage), time series, energy

Submit date: 2022/04/06

Accepted date: 2022/10/10

Corresponding author Name: Davood Shishebori

Corresponding author address: shishebori@yazd.ac.ir

بهبود دقت پیش‌بینی زمان خاموشی برنامه‌ریزی نشده شبکه‌ی توزیع برق با استفاده از مدل سری زمانی ARIMAX (مطالعه موردی شبکه توزیع برق استان یزد)

نوع مطالعه: پژوهشی

الهام فلاح باغمورتینی^۱، دانشجو کارشناسی ارشد، مطهره کرمی^۲، کارشناسی ارشد، داود شیشه‌بری^{۳*}

۱- گروه مهندسی صنایع دانشگاه یزد - یزد- ایران

-fallah9902314@stu.yazd.ac.ir

۲- گروه مهندسی صنایع دانشگاه یزد - یزد- ایران

-mthkarami1@gmail.com

۳* - گروه مهندسی صنایع دانشگاه یزد - یزد- ایران (نویسنده مسئول)

-shishebori@yazd.ac.ir

چکیده: شبکه توزیع برق یک زنجیره تامین پر اهمیت است که ترکیبی از فرآیندهای گوناگون می‌باشد. از آنجا که، برق کالایی به شدت فناپذیر است، بنابراین رویکردی جامع نسبت به زمان خاموشی‌های برنامه‌ریزی نشده، به منظور جلوگیری از هرگونه تلفات برق بسیار ارزشمند است. حوادث گوناگونی در شبکه‌های توزیع برق ایجاد اختلال می‌کنند که شبکه، بدون خط گرم قابل تعمیر و بازگشت به حالت اولیه می‌باشد. پیش‌بینی این حوادث و مدیریت آن‌ها در کاهش زمان‌های خاموشی برنامه‌ریزی نشده می‌تواند موثر باشد. هدف این مقاله، ارائه مدل پیش‌بینی مدت زمان خاموشی‌های برنامه‌ریزی نشده و انرژی به فروش نرفته بر اساس داده‌های ثبت شده در سامانه ۱۲۱، شبکه‌ی شهری امور سه شرکت توزیع برق استان یزد است. نتیجه نهایی این تحقیق نشان می‌دهد که مدل (های) ARIMAX نسبت به مدل (های) ARIMA خطای کمتری را نشان داده و پیش‌بینی بهتری را ارائه می‌دهند. لذا استفاده متغیرهای برون‌زا در پیش‌بینی‌ها و عدم اکتفا به نوسانات یک متغیر می‌تواند نتایج بهتری در پیش‌بینی‌ها ارائه دهد. همچنین مدل به دست آمده نشان می‌دهد در تیرماه سال ۱۴۰۱ مدت زمان خاموشی بی‌برنامه قریب به ده ساعت در این شبکه و همچنین توان به فروش نرفته تقریباً ۶ مگاوات ساعت خواهد بود.

واژه های کلیدی: شبکه توزیع برق، پیش‌بینی، خاموشی برنامه‌ریزی نشده، سری زمانی، انرژی

تاریخ ارسال مقاله : ۱۴۰۱/۰۱/۱۷

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۴۰۱/۰۷/۱۸

نام نویسنده‌ی مسئول : داوود شیشه بری

نشانی نویسنده‌ی مسئول : گروه مهندسی صنایع دانشگاه یزد - یزد- ایران

۱- مقدمه

یکی از زیرساخت‌های توسعه شهری در جهان شبکه توزیع نیروی الکتریکی (برق) است که کامیابی با تفاوت‌هایی در همه کشورهای جهان وجود دارد. امروزه با گسترش صنعت و افزایش حساسیت وسایل الکتریکی، شبکه‌های توزیع برق با افزایش تقاضای تامین برق به صورت پایدار روبرو هستند؛ بطوریکه بایستی هم تعداد و هم طول زمان خاموشی‌ها به حداقل رسیده باشد. در طول سال‌ها ایجاد شبکه‌های توزیع شهری و صنعتی در بیش از یک سده گذشته، پی‌شرفت فراوانی به دست آمده است ولی هنوز با وجود پی‌شرفت دانش و کاهش چالش‌ها و محدودیت‌های طراحی، همچنان با مشکلات و پیچیدگی‌هایی روبه‌رو است.

در طراحی‌های مهندسان در شبکه توزیع برق، شبکه‌ی هوایی همچنان در ایران و جهان به خاطر برخی سادگی‌ها و هزینه‌های کم در برابر شبکه زمینی از اولویت برخوردار است. شبکه‌ی هوایی هم‌چون دیگر شبکه‌ها به دسترسی (خودروهای سنگین و دسترسی کارکنان) برای تعمیر و نگهداری و بازرسی‌های دوره‌ای نیاز دارد و از طرفی یک وابستگی به شبکه‌ی هوایی برای روشنایی راه‌ها هم‌چون بزرگراه‌ها و جاده‌ها به برق وجود دارد. از همین روی شبکه‌ی هوایی در بیشتر موارد در کنار جاده‌ها و بزرگراه‌ها قرار داده می‌شود. این هم‌جواری در شبکه‌ی توزیع شهری، با ساختمان‌ها و محل زندگی مردم نیز وجود دارد. نزدیکی شبکه توزیع هوایی به دو کانون اصلی رفت و آمد، کار، ساخت و ساز و ده‌ها موضوع دیگر، دست‌مایه آسیب به این شبکه نیز خواهد بود.

امروزه یکی از مهمترین منابع قدرت مدیران، اطلاعات و دیدگاه نسبت به آینده‌ی سیستم می‌باشد در واقع آمارهای صحیح چشم‌بینای مدیران در تصمیم‌گیری‌های خرد و کلان می‌باشد. هر مدیری در تصمیم‌گیری‌های خود به نحوی با پیش‌بینی سروکار دارد؛ البته هیچگاه پیش‌بینی دقیقاً با واقعیت مطابقت نمی‌کند و باید کوشید خطای پیش‌بینی به حداقل ممکن تقلیل یابد. پیش‌بینی به معنای تخمین امری است که در آینده رخ خواهد داد. شرکت توزیع برق یزد یکی از شرکت‌های کلان خدماتی در حوزه استان یزد است. این شرکت به عنوان یکی از شرکت‌های ارائه دهنده یکی از سرویس‌های حیاتی خدمات شهری نقش مهمی در اکوسیستم شهر، بازی می‌کند و بسیاری از الزامات و نیازهای کارکردی شرکت از این جایگاه به وجود می‌آید. مجموعه شرکت‌های توزیع برق با ۳۹ شرکت مستقل در یک مجموعه‌ی (هلدینگ) بزرگ زیر نظر شرکت مادر تخصصی توانیر اداره می‌شوند. مهمترین وظیفه شرکت‌های توزیع، تامین برق مطمئن و پایدار است که بایستی با حداقل خاموشی و یا ولتاژ استاندارد به مصرف‌کنندگان برسد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که خاموشی‌های حوزه توزیع بر دسته‌اند: خاموشی‌های برنامه‌ریزی نشده (اتفاقی) و

خاموشی‌های برنامه‌ریزی شده که دسته اول در اثر اتفاقات فنی و غیر فنی در شبکه‌های توزیع برق رخ می‌دهد و بدون اراده شرکت و پرسنل برق قطع می‌گردد و بسیار بحرانی می‌باشد (اسدزاده، ۱۳۹۸). شبکه‌های توزیع به علت سطح ولتاژ پایین و در نتیجه جریان بالا دارای تلفات بسیار زیاد و افت ولتاژ بالایی می‌باشند که همواره بیشترین سهم در تلفات و کاهش قابلیت اطمینان شبکه توزیع برق را به خود اختصاص داده است (اکبری، ۱۳۹۹). بنابراین پیش‌بینی حوادث و رویکردی جامع نسبت به زمان خاموشی‌های برنامه‌ریزی نشده، به منظور جلوگیری از هرگونه تلفات برق بسیار ارزشمند است.

هدف این مقاله، ارائه مدل پیش‌بینی خاموشی‌های برنامه‌ریزی نشده بر اساس داده‌های ثبت شده در سامانه ۱۲۱ شرکت توزیع برق استان یزد، در بازه زمانی آبان ۱۳۸۹ الی شهریور ۱۴۰۰ است. در ادامه پس از بررسی پیشینه‌ی تحقیق و روش تحقیق، نتایج بدست آمده تشریح می‌شود.

۲- پیشینه تحقیق

بررسی حوادث منجر به خرابی و اختلال در شبکه‌های توزیع برق در تحقیقات بسیاری در دنیا بررسی شده است. براساس اطلاعات مانیتورینگ یک شرکت توزیع برق واقع در اسپانیا بین سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۹ علل اصلی حوادث و خرابی را در شبکه‌های توزیع برق کشف کردند. سپس با استفاده از تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) به بررسی روند تعداد بروز شکست و میزان آنها در شبکه توزیع هوایی و زمینی پرداختند (کویروگا و همکاران، ۲۰۱۱). در پژوهشی بر روی داده‌های خاموشی ثبت شده در نرم‌افزار ثبت حوادث شرکت توزیع نیروی برق تهران بزرگ طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۳ با استفاده از تکنیک‌های داده کاوی علل خطاهایی که منجر به خاموشی می‌شوند را براساس میزان تاثیر در بروز خاموشی اولویت‌بندی کرده و در نهایت براساس میزان تاثیر در بروز خاموشی اولویت‌بندی کرد (طاهرآبادی و همکاران، ۱۳۹۴). در تحقیقی (پروین‌نیا و فرداد، ۱۳۹۷) با استفاده از تکنیک‌های داده کاوی یک سیستم تصمیم‌یار طراحی شده است که روابط معنادار بین ویژگی‌هایی که حسگرها همه روزه در نیروگاه برق آبی آرشیو می‌کنند را می‌یابد. در تحقیقی که توسط گروه سیستم‌های هوشمند و مهندسی کنترل شهر خیرونای اسپانیا انجام شد، با استفاده از روش تحلیل مولفه‌های اصلی چندلایه، یک استراتژی برای شناسایی شرایط عملیاتی غیرعادی در داده‌های سیستم فشار ضعیف جمع‌آوری شده ارائه دادند (سوتو، ۲۰۲۱).

هر سازمانی برای ادامه حیات خود و تضمین موفقیتش در جامعه نیازمند پیش‌بینی آینده است. پیش‌بینی از یک سو فرآیندی نامطمئن است، چون نمی‌توان با یقین درباره آینده سخن گفت و از سویی دیگر هرچه افق پیش‌بینی وسیع‌تر شود عدم اطمینان بیشتر می‌شود.

پیشنهاد شده است که ابتدا EC بر اساس انتقال مو چک (4WT) به قسمت‌های تقریبی و جزئیات تجزیه می‌شود. همچنان، مدل سازی اجزای مویک بر اساس مدل‌های نوع AWT-LSTM و ARMAX-GARCH انجام شده است (ذولفقاری و همکاران، ۲۰۲۲). در تحقیقی (دینگ و همکاران، ۲۰۱۸) یک مدل پیش‌بینی خاکستری اصلاح شده برای پیش‌بینی دقیق مصرف برق کلی و صنعتی چین ارائه شد. مدل ارائه شده، ترکیبی از شرایط اولیه جدید و مکانیسم چرخش، بر اساس اصل "اولویت اطلاعات جدید" طراحی شده است.

مطالعه ای در هند (گوپتا و همکاران، ۲۰۲۲) انجام شد که مروری بر رویکردهای پیش‌بینی مصرف برق اخیر در زمینه کاربردهای مختلف ارائه می‌کند. این مطالعه بررسی آثار پیش‌بینی انرژی منتشر شده بین سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۲۰ را ارائه می‌کند.

در تحقیقی تقاضای برق سالانه بنگلادش را با استفاده از مدل سری زمانی چند متغیره پیش‌بینی شد. از آنجایی که سری زمانی تک متغیره نمی‌تواند شامل عوامل خارجی باشد، بنابراین دو متغیر برون‌زا شامل جمعیت و تولید ناخالص داخلی سرانه را به عنوان متغیرهای برون‌زا معرفی کردند تا عملکرد بهتری بوجود آید. این مدل بر اساس داده‌های سالانه جمع‌آوری شده از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۸ توسعه یافته است. برای مجموعه داده آزمایش شده، میانگین متحرک یکپارچه خودکار با مدل ARIMAX برون‌زا (۰، ۱، ۱) عملکرد نسبتاً بهتری نسبت به مدل پیشرفته با کمترین نشان می‌دهد. با استفاده از این مدل، تقاضای انرژی برای دوره ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۱ را پیش‌بینی کردند و متوجه شدند که تقاضا برای برق برای هر سال افزایش می‌یابد (راجی و همکاران، ۲۰۲۰).

در میان مقوله‌های مختلف پیش‌بینی بار، پیش‌بینی بار کوتاه‌مدت اهمیت پیدا کرده است و بدون شک به بخشی جدایی‌ناپذیر در عملکرد عملیاتی هر شرکت برق تبدیل شده است. در تحقیقی که سال ۲۰۱۹ توسط شیلفا انجام شد مدل پیشنهادی ARIMAX بار الکتریکی را با در نظر گرفتن همبستگی ایجاد شده با داده‌های روزهای مشابه انتخاب شده پیش‌بینی می‌کند. ورودی‌های انتخاب شده برای ساخت مدل ARIMAX شامل داده‌های بار ساعتی ماه ژانویه، زمان از روز و متغیرهای برون‌زا مانند روزهای هفته و آخر هفته است (جی و ششادری، ۲۰۱۹).

محققان در ایتالیا با در نظر گرفتن یک افق کوتاه‌مدت سه روزه و هم‌افق بسیار کوتاه مدت سه ساعته روش‌های پیش‌بینی تولید فتوولتائیک ارائه کردند. این مطالعه شامل یک مدل میانگین متحرک یکپارچه رگرسیون خودکار با ورودی برون‌زا (ARIMAX) است که از پیش‌بینی توان کوتاه‌مدت و تابش حاصل از جزئیات ماهواره‌ای به عنوان متغیرهای برون‌زا استفاده می‌کند (کولینو و همکاران، ۲۰۲۱).

پژوهشگران تکنیکی برای بررسی اهمیت ویژگی‌هایی در داده‌ها برای پیش‌بینی تقاضای ساعت بعدی بارهای الکتریکی ولتاژ متوسط با استفاده از روش هوش مصنوعی ارائه کردند (آرمانو و همکاران، ۲۰۲۲).

مطالعه آماری انجام شده بر روی داده‌های خرابی تجهیزات پست‌های انتقال و فوق توزیع برق منطقه‌ای خراسان به مدت شانزده سال (۱۳۹۶-۱۳۸۰) کمک‌کننده در برنامه‌ریزی جامع در انجام تعمیر و نگهداری تجهیزات پست‌ها بوده است (کریم آبادی و همکاران، ۱۳۹۷). در تحقیقی که بر روی داده‌های عملیاتی یک شرکت آب لِهستان برای پیش‌بینی مقدار خروجی فرکانس خرابی انجام شد، نتایج پیش‌بینی نشان داد که از شبکه‌های مصنوعی چند لایه پرسپترون، برای مدل سازی فرکانس خسارات در سیستم‌های تأمین آب می‌توان استفاده کرد (کوتیلووسکا، ۲۰۱۵). تحقیقی که توسط شرکت توزیع برق استان خراسان رضوی انجام شده است علل قطعی جریان برق در شبکه توزیع به صورت ریشه‌ای تحلیل شده و حادثه‌های علت شکستگی و افتادگی تیرهای برق بر اثر برخورد خودرو ثبت شده است. اطلاعات تجهیزات شبکه، اهمیت زیادی در تصمیم‌گیری مدیریت دارایی دارد. این داده‌ها بایستی به‌عنوان ورودی به فرآیندهای تصمیم‌گیری مدیریت دارایی به تصمیم‌گیران شرکت برق ارائه شوند. با استخراج و تهیه اطلاعات مورد نیاز، تحلیل و ارزیابی امکان پذیر خواهد بود (هنرمند و همکاران، ۱۳۹۴). در تحقیقی که بر روی داده‌های تقاضای برق در یکی از مناطق ژاپن انجام شد، میزان بار مصرفی در زمان‌های مختلف به روش SARIMAX² پیش‌بینی شد این موضوع اهمیت بر روی داده‌های موجود در شرکت‌های توزیع برق را بیان می‌کند (الامین و فووشیگ، ۲۰۱۸). یک مدل جامع برای پیش‌بینی قابلیت اطمینان سیستم توزیع برق ارائه شده است که از دو بخش جداگانه مدل‌های خرابی سیستم توزیع برق و خاموشی‌های برنامه‌ریزی شده، ساخته شده است (ایگزرای و همکاران، ۲۰۱۶).

اخیراً بسیاری از محققان گرایش به مطالعه روابط و چگونگی الگوسازی نوسانات پدیده‌های اقتصادی با سری‌های زمانی پیدا کرده‌اند. بدین منظور اغلب آنها از مدل ARIMA به‌علاوه یک سری زمانی که روش موثری برای مطالعه در این زمینه است استفاده می‌کنند. اما از آنجا که مدل ARIMA، یک متغیره است نمی‌تواند روابط بین متغیرها را به خوبی در سیستم بیان کند بنابراین باید از سیستم‌های پیچیده‌تری استفاده شود که با بیش از یک متغیر کار می‌کند. سری‌های زمانی چند متغیره این توانایی را دارد که بر مبنای مشاهدات، تعدادی متغیر مختلف را از سیستم مورد مطالعه جذب کنند (کرم سلطانی و همکاران، ۱۳۹۱).

لیو و شی (۲۰۱۳) در تحقیقی از مدل‌های مختلف میانگین متحرک اتورگرسیون (ARMA) با فرآیندهای ناهمگونی مشروط خودبازگشتی تعمیم یافته (GARCH)، یعنی مدل‌های ARMA-GARCH، همراه با اشکال اصلاح شده آنها، ARMA-GARCH-in-mean (ARMA-GARCH-M) برای مدل استفاده کردند. مدل سازی و پیش‌بینی مصرف برق (EC)³ به مدیران صنعت کمک می‌کند تا تصمیمات استراتژیک بهتری بگیرند. در مطالعه‌ای توسط ذولفقاری و همکاران (۲۰۱۸)، یک رویکرد ترکیبی برای پیش‌بینی EC

در سال ۲۰۱۸ تحقیقی توسط ارجمند و هم‌کاران با تأکید بر پیش‌پردازش داده‌ها قبل از ورود به مدل‌های پیش‌بینی بار الکتریک از جوامع (ارجمند و همکاران، ۲۰۱۹).

در تحقیقی یک مدل سری زمانی بازگشتی جدید با ترکیب اتورگرسیون با ورودی‌های برون‌زا برای ارائه پیش‌بینی‌های چند مرحله‌ای از دمای داخلی خانه‌ها در فصل زمستان ایجاد شد. یک رویکرد رگرسیون گام به گام برای خودکارسازی فرآیند انتخاب مدل بهینه بر اساس به حداقل رساندن معیار اطلاعات آکائیک اتخاذ شد (احمد و همکاران، ۲۰۲۲).

طبق تحقیقات فوق واضح است که بررسی حادثه‌های رخ داده و مدت زمان مصرف شده جهت ترمیم شبکه امری مهم است. همچنین اغلب پیش‌بینی مقدار مصرف انجام شده است در حالی که پیش‌بینی زمان خاموشی‌های برنامه‌ریزی نشده می‌تواند دیدگاه خوبی به مدیران داده تا بتوانند برنامه‌ریزی در جهت کاهش آن‌ها داشته باشند. شرکت توزیع برق استان یزد در چند سال اخیر با استقرار نرم‌افزار حوادث (سامانه ۱۲۱)، ابزاری را جهت ثبت اتفاقات فراهم کرده است که در نتیجه می‌توان اطلاعات جامعی از خطاهای رخ داده (شامل زمان وقوع، مدت زمان وقوع، مدت زمان رفع، نوع، علت و ...) که به تفصیل در پایگاه داده مربوط به آن سیستم ذخیره شده، استخراج نمود. در این راستا با بررسی داده‌های ثبت شده در فاصله زمانی آبان ۱۳۸۹ الی شهریور ۱۴۰۰ به پیش‌بینی در خصوص علل اصلی خاموشی‌های برنامه‌ریزی نشده می‌پردازیم. این مقاله با استفاده از مدل‌های سری زمانی و نرم‌افزار R پیش‌بینی را انجام می‌دهد. ابتدا مدل ARIMA بررسی شده و سپس دقت پیش‌بینی ARIMAX افزایش می‌یابد. نتایج این بررسی می‌تواند به مدیران جهت اتخاذ تصمیم برای برنامه‌ریزی برای کاهش و مواجهه با حوادث (عامل خاموشی‌های برنامه‌ریزی نشده هستند) کمک کند. طبق تصمیم درست با در نظر گرفتن نتایج این مطالعه، منجر به کاهش و رفع وضعیت خرابی‌ها، توقف‌ها، اتفاق‌های ناگهانی و غیرمنتظره در شبکه توزیع، افزایش اعتبار، شهرت و خوشنامی شرکت‌های توزیع برق بین مشترکین خود و کاهش قابل توجه هزینه‌ها خواهد شد. همچنین پیش‌بینی این‌که در زمان‌های معینی از آنچه میزان انرژی به فروش نرفته خواهد داشت برای سازمان توزیع برق به عنوان یک فروشنده برق می‌تواند جذابیت داشته باشد تا با تعدیل قیمت برق بتواند این عدم فروش را جبران کند.

این مقاله در ادامه در بخش‌های زیر پیگیری می‌شود:

۳- روش پژوهش

امروزه با گسترش علم داده کاوی (تحلیل داده)، روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی توسعه یافته‌اند. سری زمانی یکی از روش‌های رایج برای پیش‌بینی است. در مدل‌های سری زمانی، اطلاعات مربوط به گذشته محصول را به ترتیب زمانی آن‌ها مورد ارزیابی قرار داده و بر

اساس آن، برای آینده محصول، پیش‌بینی انجام می‌گیرد. سری‌های زمانی از روش‌های برآورد آماری در پیش‌بینی است که در این پژوهش پیش‌بینی بر اساس تجزیه و تحلیل داده‌ها در طی زمان ماه مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد و با توجه به تغییرات فصلی و تغییرات تصادفی، محقق به روند حوادث طی پنج سال پی خواهد برد.

مدل‌سازی رگرسیون پرکاربردترین روش برای پیش‌بینی سری‌های زمانی است و یک تکنیک آماری (خطی یا غیرخطی) است که مناسب‌ترین ضرایب را برای متغیرهای مستقل استخراج می‌کند. این ضرایب (یا وزن‌ها) واریانس متغیر وابسته را به عنوان تابعی از یک متغیر مستقل معین توضیح می‌دهند و در نتیجه به پیش‌بینی مقادیر آینده متغیر وابسته می‌پردازد. این رابطه توسط نظم و ساختار خاص مدل کنترل می‌شود.

ساختار مدل، نوع (یا طبقه‌بندی) اصطلاحات چند جمله‌ای مختلف را که در یک مدل معین گنجانده شده‌اند، توصیف می‌کند. رایج‌ترین مدل‌های جعبه سیاه^۵ خطی برای داده‌های سری زمانی استفاده از هر دو اصطلاح AutoRegressive (AR) و برون‌زا (X) را در خود جای داده‌اند. ورودی‌های AR به استفاده از مقادیر تاخیری (قبلی) متغیر وابسته اشاره دارد؛ در حالی که X به ورودی‌های متغیرهای خارجی مستقل اشاره دارد. مدل‌های پیچیده‌تر ممکن است شامل اصطلاحات میانگین متحرک (MA) باشد که به ترکیب باقیمانده‌ها (یعنی خطاهای درون نمونه حاصل از دوره آموزشی) اشاره دارد. و این اصطلاحات چند جمله‌ای معمولاً برای ایجاد ساختارهای مدل خاص، مانند مدل میانگین متحرک خودکار با ورودی‌های برون‌زا (ARMAX) با هدف ارائه درجات مختلف انعطاف پذیری، دقت و استقلال در رابطه با مدل‌سازی دینامیک سیستم و ویژگی‌های خطا ترکیب می‌شوند (احمد و همکاران، ۲۰۲۲).

در معادلات این مدل‌ها B یک تابع پسر، $\phi(B)$ تابع مربوط به اتورگرسیون، $\theta(B)$ مربوط به میانگین متحرک و ε_t خطای تصادفی می‌باشد. متغیرهای برون‌زا با ضریب β مشخص شده‌اند. تاثیر ضرایب فصلی هم با پارامتر d مشخص شده است. مدل اتورگرسیون (AR) هنگامی به کار می‌رود که مقدار سری به مقدار بلافاصله قبل از خود بعلاوه یک خطای تصادفی ε_t وابسته باشد و هرچیز تازه‌ای در زمان t که به وسیله مقادیر گذشته بیان نشده است را در سری منظور می‌کند. فرآیند وارون پذیر است و اگر $|\phi| < 1$ باشد سری ایستا است. مدل ARX مدل اتورگرسیون با در نظر گرفتن متغیرهای برون‌زا توضیحی است. میانگین متحرک (MA) هنگامی به کار می‌رود که پیش‌شامدها یک اثر آنی را تولید می‌کنند که برای دوره‌های کوتاه زمان باقی می‌ماند. این فرآیند همواره ایستا است. میانگین متحرک با متغیرهای برون‌زا توضیحی، MAX نامیده می‌شود. از تلفیق خصیصه‌های متفاوت دو فرآیند اتورگرسیون AR و میانگین متحرک MA یک فرآیند اتورگرسیون میانگین متحرک ARMA حاصل می‌شود. مدل ARMAX از انعطاف پذیرترین نوع الگوهای سری‌های زمانی است.

تجهیزات متفاوت هستند. شبکه‌ی هوایی توزیع برق در معرض انواع متعددی حادثه قرار می‌گیرد که منجر به قطعی جریان برق می‌شوند. سامانه ۱۲۱ شرکت توزیع برق استان یزد، حوادث غیر مترقبه به همراه علت حادثه و مدت زمانی که شبکه قطع شده را ثبت می‌کند. این حوادث دسته‌بندی شده‌اند و توسط اپراتور واحد دیسپاچینگ شرکت توزیع برق ثبت می‌شوند. خاموشی‌های برنامه‌ریزی نشده در طول زمان در سامانه ثبت شده و بانک اطلاعاتی آن موجود است. بررسی روند و نوسانات این زمان‌ها می‌تواند دیدگاه موثر مدیریتی را ارائه دهد. حال هدف این است که با در نظر گرفتن تعداد حادثه‌ها به عنوان متغیر برون‌زا زمان خاموشی برنامه‌ریزی را پیش‌بینی کرده و همچنین با در نظر گرفتن تعداد حادثه‌ها و زمان‌های خاموشی میزان انرژی به فروش نرسیده را بتوان پیش‌بینی کرد.

با همکاری واحد دیسپاچینگ ستاد مرکزی شرکت توزیع نیروی برق استان یزد گزارش روزانه حوادث و قطعی‌های فیدرهای فشار متوسط، از سامانه ۱۲۱ تهیه شد. این گزارش از آبان ماه ۱۳۸۹ الی شهریور ماه ۱۴۰۰ به صورت ماهانه می‌باشد و شامل حوادث رخ داده، زمان قطع شبکه، زمان وصل شبکه، بار روی شبکه، مکان رخداد حادثه و علت آن است. محدوده مکانی امور سه شهرستان یزد در نظر گرفته شده است (از بلوار جانباز: حد فاصل میدان ابوالفضل تا میدان امام علی، الی‌فهرج). لازم به ذکر است که فقط مشترکان شهری به این شبکه متصل هستند. شکل ۱ صورت اولیه داده‌ها را نشان می‌دهد.

با توجه به داده‌های گزارش فوق زمان خاموشی‌ها، تعداد حوادث و مقدار انرژی به فروش نرفته به تفکیک ماه (۱۳۰ رکورد) استخراج شدند. برای اعتبارسنجی پیش‌بینی، ۳۰ درصد از داده‌ها را جدا کرده و فقط ۹۲ رکورد برای پیش‌بینی وارد مدل شده است. و پیش‌بینی برای سه دوره انجام شده است. جدول ۱ قسمتی از کل داده‌ها را نشان می‌دهد.

جدول (۲): داده‌های شبکه توزیع برق

ردیف	تاریخ	زمان خاموشی (دقیقه)	انرژی (MWH)	تعداد حادثه
۱	۱۳۸۹/۰۸	۱۹۵	۲/۵۶	۷
۲	۱۳۸۹/۰۹	۸	۰/۲۱	۹
۳	۱۳۸۹/۱۰	۴۱۹	۸/۱۴	۱۵
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
۱۲۸	۱۴۰۰/۰۳	۸۹۰	۷/۱۱	۲۲
۱۲۹	۱۴۰۰/۰۴	۶۵۰	۹/۳۳	۲۰
۱۳۰	۱۴۰۰/۰۵	۳۰۹	۲/۴۹	۸

حال هدف این است که با در نظر گرفتن تعداد حادثه‌ها به عنوان متغیر برون‌زا، مدت زمان خاموشی برنامه‌ریزی را پیش‌بینی کرده و همچنین با در نظر گرفتن تعداد حادثه‌ها و زمان‌های خاموشی، میزان انرژی به فروش نرسیده را بتوان پیش‌بینی کرد. برای اینکه تحلیل آماری از ارتباط بین متغیرها داشته باشیم، همبستگی بین آن‌ها را محاسبه کردیم. همانطور که در جدول ۲ مشخص است بیشترین

دارای متغیرهای توضیحی و وابسته به تاخیر، برای هر متغیر متناهی باشد، بیش از یک متغیر توضیحی را تطبیق دهد. در اینجا فرض می‌کنیم خطاها مستقل و هم توزیع با میانگین صفر و واریانس ثابت و کواریانس صفر هستند.

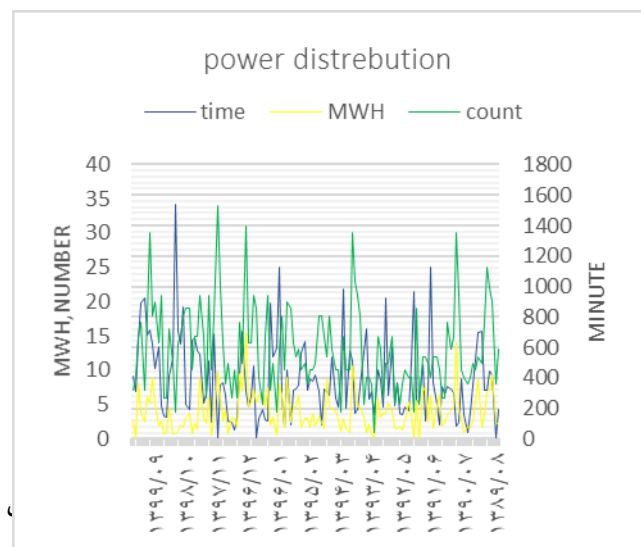
جدول (۱): انواع الگوهای سری زمانی

ردیف	مدل	معادله
۱	AR	$y_t = \varphi_1 y_{t-1} + \varphi_2 y_{t-2} + \varphi_3 y_{t-3} + \dots + \varphi_p y_{t-p} + \varepsilon_t$ $y_t = \varphi(B)y_t + \varepsilon_t$
۲	ARX	$y_t = \varphi(B)y_t + \beta x_t + \varepsilon_t$
۳	MA	$y_t = \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + \theta_3 \varepsilon_{t-3} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q} + \varepsilon_t$ $y_t = \theta(B)\varepsilon_t$
۴	MAX	$y_t = \theta(B)\varepsilon_t + \beta x_t$
۵	ARMA	$\varphi(B)y_t = \theta(B)\varepsilon_t$
۶	ARMAX	$\varphi(B)y_t = \theta(B)\varepsilon_t + \beta x_t$
۷	ARIMA	$\varphi(B)(1-B)^d y_t = \theta(B)\varepsilon_t$
۸	ARIMAX	$\varphi(B)(1-B)^d y_t = \theta(B)\varepsilon_t + \beta x_t$

یک مدل کلی که توانایی نمایندگی طبقه گسترده‌ای از سری‌های زمانی نایستار را دارد فرآیند تلفیقی اتورگرسیون میانگین متحرک ARIMA نامیده می‌شود. با اضافه شدن متغیر برون‌زا به مدل ARIMA امکان ارزیابی تاثیر متغیرهای برون‌زای توضیحی روی متغیر وابسته، توسط مدل ARIMAX فراهم می‌شود.

۴- تحلیل مسئله

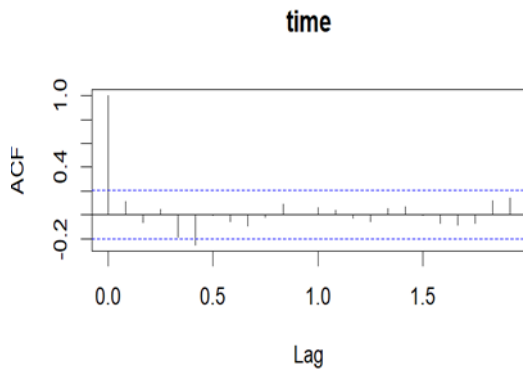
یکی از اهداف اصلی خاموشی‌های برق مشتریان، خاموشی‌های حوزه توزیع هستند که متاثر از اتفاقات فنی و غیرفنی در شبکه‌های توزیع برق می‌باشند. با توجه به ویژگی‌هایی که خطوط هوایی توزیع برق دارند در کشور ایران غالب شبکه‌های توزیع به صورت خطوط هوایی هستند. دسته‌بندی شبکه‌های هوایی توزیع برق به صورت: شبکه فشار متوسط، فشار ضعیف و روشنایی می‌باشند. تجهیزات مختلفی در شبکه توزیع برق در کنار هم قرار می‌گیرند تا انرژی الکتریکی توزیع و جریان یابد. با توجه به نوع آرایش شبکه



نشریه علمی- پژوهشی کیفیت و بهره‌وری صنعت برق ایران سال یازدهم شماره ۴ شماره پیاپی ۲۹ زمستان ۱۴۰۱

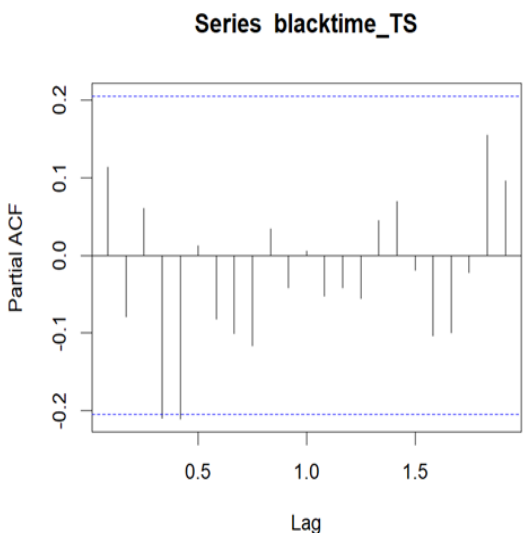
KPSS	ADF		
۰/۰۱	۰/۱	مدت زمان خاموشی برنامه‌ریزی نشده	۱

در سری‌های زمانی همبستگی بین دو جمله (Z_t, Z_{t+k}) با k تاخیر زمانی نمودار خود همبستگی (ACF) (شکل ۳) مشخص می‌شود. برای بررسی خود همبستگی و خود همبستگی جزئی ابتدا تاخیر ماکسیمم (lag max) تعیین می‌شود. این مقدار معمولاً برابر $n/4$ ، n تعداد داده‌های سری) است.



شکل (۳): نمودار خود همبستگی

خود همبستگی داده‌ها، اینکه هر داده چقدر به داده‌های قبل از خودش وابسته است. همانطور که می‌بینید از تاخیر دوم به بعد خود همبستگی از حد پذیرش بیرون زده است البته روند سیستمی بودن موج خود همبستگی مشهود است. شکل ۴ خود همبستگی جزئی (PACF) را نشان می‌دهد.



شکل (۴): نمودار خود همبستگی

۶- یافته‌های پژوهش

پس از بررسی خود همبستگی‌ها و تحلیل اولیه، برآوردی از نوع مدل و مقادیر پارامترها (ضرایب) به کمک نرم افزار مدل‌ها را برآزش کرده و با در نظر گرفتن کمترین مقدار آکائیک (AIC^2)، کمترین خطا و بررسی باقیمانده‌ها بهترین مدل انتخاب می‌شود.

همبستگی بین دو متغیر مدت زمان و انرژی به فروش نرفته است. لذا انتظار می‌رود پیش‌بینی سری انرژی با در نظر گرفتن مدت زمان به عنوان عامل برون‌زا دقت بیشتری را حاصل کند.

جدول (۳): همبستگی متغیرها

Correlation			
MWH	count	time	
۰/۷۶	۰/۷۳	1	time
۰/۶۶	1	۰/۷۳	count
1	۰/۶۶	۰/۷۶	MWH

اولین قدم در پیش‌بینی با استفاده از روش سری‌های زمانی، ترسیم داده‌ها بر حسب زمان و تحلیل کلی نسبت به روند و پراکندگی آن‌ها می‌باشد. نمودار هر سه متغیر نسبت به زمان را در شکل ۲ مشاهده می‌شود. بیشترین زمان خاموشی مربوط به تیرماه سال ۱۳۹۹ تقریباً ۱۵۰۰ دقیقه (۲۵ ساعت) بوده است. اغلب کمترین زمان‌ها مربوط به شش ماهه دوم سال می‌باشد. همانطور که مشخص است روند با شیب زیاد در داده‌ها مشاهده نمی‌شود. اما با توجه به نوسانات زیاد ناپایداری در واریانس ممکن است وجود داشته باشد. همچنین نمودارهای تعداد حوادث و میزان انرژی فروخته نشده حاصل از این حوادث مشخص است. مشاهده می‌شود که تعداد حادثه‌ها و میزان انرژی فروش نرفته هم روند ندارند اما نوسانات زیادی دارد.

۵- بحث

برای استفاده از انواع الگوهای سری زمانی و برآزش مدل ابتدا ناپایداری سری بررسی می‌شود. ناپایداری در میانگین به معنی وجود خط روند صعودی یا نزولی در داده‌ها است اما ناپایداری در واریانس به معنی وجود پستی‌ها و بلندی‌های ناهم‌سان در داده‌ها است. آزمون‌های ADF و KPSS ناپایداری را بررسی می‌کنند. فرض صفر برای آزمون ADF این است که داده‌ها ناپایدار هستند. بنابراین p -value بزرگتر از ۰/۰۵ نشان دهنده ناپایداری است و p -value کمتر از ۰/۰۵ ناپایدار بودن سری رد می‌شود. در تست KPSS، فرضیه صفر این است که داده‌ها ایستا هستند. در این حالت p -value کمتر از ۰/۰۵ نشان دهنده سری‌های ناپایداری و p -value بیشتر از ۰/۰۵ ایستا بودن سری را رد نمی‌کند. بسیاری از محققان به نتیجه‌ی یک تست و یا بررسی نمودارهای خود همبستگی و خود همبستگی جزئی ناپایداری را در سری مشخص می‌کنند در این تحقیق با در نظر گرفتن نتیجه‌ی هر دو آزمون و بررسی نمودارها ناپایداری بررسی شده است. نتایج این آزمون‌ها برای سری زمان‌های خاموشی در نرم‌افزار در جدول ۴ نشان می‌دهد که سری مدت زمان خاموشی یک سری ناپایدار است.

جدول (۴): نتایج آزمون‌ها برای بررسی ناپایداری

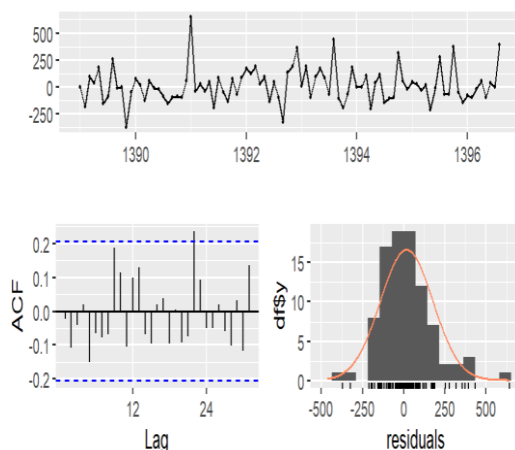
ردیف	متغیر	P-value
------	-------	---------

باکس تست (Box.test) انجام می‌شود تا فرض نرمال بودن باقیمانده‌ها بررسی شود. آماره مربع کای و مقدار p-value نشان‌دهنده‌ی این هست که مقادیر باقیمانده‌ها از تابع توزیع نرمال پیروی می‌کنند. همچنین تعداد لگ (lag) های بیرون‌زده در نمودار ACF یک مورد است که نشان می‌دهد باقیمانده‌ها خودهمبستگی ندارند.

جدول (۵): مقایسه‌ی نتایج مدل‌ها

*	مدل	متغیر برون‌زا	خطای مطلق	معیار آکائیک (AIC)
پیش‌بینی و ارزیابی مدل	ARIMA (1,0,2) (0,0,0)	-	۱۷۱/۹۳۲	۱۲۷۰/۶۹
پیش‌بینی و ارزیابی مدل	ARIMAX (0,1,1) (0,0,0), xreg= count	تعداد حوادث	۱۱۵/۴۹۵	۱۱۹۱/۲۸
پیش‌بینی و ارزیابی مدل	ARIMA (1,0,1) (0,0,0)	-	۲/۱۲۲	۴۵۷/۸۴
پیش‌بینی و ارزیابی مدل	ARIMAX (1,0,1) (0,0,0), xreg = count & black time	مدت زمان خاموشی‌ها، تعداد حوادث	۱/۶۵۰	۵/۳۶۳

Residuals from Regression with ARIMA(0,1,1) errors



شکل (۶): نمودار باقیمانده‌های مدل ARIMAX (0,1,1)(0,0,0)

۷- نتایج مدیریتی-کاربردی

ثبت رویدادها و حوادث حیاتی یکی از فعالیت‌های دیرپای بشری است که نقش مهم و حیاتی را در داشتن زندگی سالم‌تر و ایمن‌تر ایفا می‌کند. در اکثر برنامه‌ریزی‌های کشور برای آینده حفظ حیات بشر و تداوم زندگی ایمن برای انسان یک نیاز مبرم به شمار رفته و نیاز به اطلاعات آماری و پیش‌بینی این گونه اطلاعات احساس می‌شود. از این

معادلات مدل‌های پیش‌بینی برای مدت زمان خاموشی برنامه‌ریزی نشده و انرژی به فروش نرفته به صورت:

$$(1 - 0.8380B)(1 - B)'Z_t = (1 + 0.7772B + 0.2228B^2) + \varepsilon_t \quad (1)$$

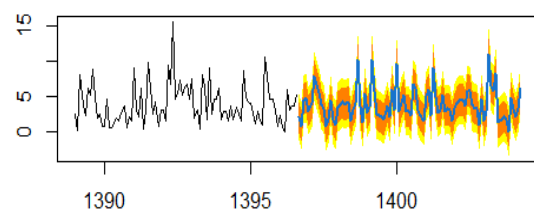
$$(1 - B)'y_t = (1 + 0.9434B)\varepsilon_t + 28.6218x_t \quad (2)$$

$$(1 - 0.3679B)(1 - B)'Z_t = (1 + 0.2471B - 0.1409B^2) + \varepsilon_t \quad (3)$$

$$(1 - 0.8872B)(1 - B)'y_t = (1 + 0.9434B)\varepsilon_t + 0.9078x_t + 0.0074k_t \quad (4)$$

فرمول (۱)، مدل ARIMA(1,0,2)(0,0,0) نشان می‌دهد که، بهترین مدل برازش شده برای سری زمانی با میانگین خطای مطلق ۱۷۱/۹۳۲ بدست آمده است (جزئیات در جدول ۵ قابل مشاهده است). فرمول (۲) با در نظر گرفتن تعداد حوادث به عنوان یک متغیر برون‌زای توضیحی مدل ARIMAX (0,1,1)(0,0,0) برازش شده است. در جدول ۵ مشخص است که مقدار معیار آکائیک و میانگین خطای مطلق کاهش یافته است. بنابراین مدل بدست آمده از دقت بیشتری برخوردار است. همین فرآیند برای میزان انرژی که بدست مشتری رسیده است هم اجرا شده است که معادله‌ی این مدل‌ها فرمول ۳ و ۴ است. با در نظر گرفتن تعداد حوادث و مدت زمان خاموشی به عنوان متغیرهای برون‌زا دقت مدل افزایش یافته است. مدل پیشنهادی برای پیش‌بینی انرژی به فروش نرفته ARIMAX(1,0,1)(0,0,0) با در نظر گرفتن تعداد حوادث و زمان خاموشی‌های برنامه‌ریزی نشده به عنوان متغیر برون‌زا است.

Forecasts from Regression with ARIMA(1,0,1) errors



شکل (۵): نمودار پیش‌بینی انرژی به فروش نرفته (1,0,1)(0,0,0) ARIMAX

به کمک نرم‌افزار R پیش‌بینی برای سه دوره (سال) آینده انجام شده است (شکل ۵) و از آنجا که ۳۰ درصد از داده‌ها برای اعتبارسنجی استفاده شده‌اند علاوه بر میانگین خطای مطلق پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار خطا مجدداً محاسبه شد که در این نوع خطا هم مدل‌های ARIMAX بهتر از ARIMA عمل کردند. در روش‌های سری‌زمانی پس از استخراج روند و عوامل فصلی از داده‌ها، باقیمانده‌ها باید از تابع توزیع نرمال پیروی کرده و هیچ‌گونه روندی در آن‌ها مشاهده نشود. شکل ۶ وضعیت باقیمانده‌ها را نشان می‌دهد که حول صفر تغییر نمیکنند نمودار برازندگی تابع توزیع نرمال هم رسم شده است. آزمون

- <https://doi.org/10.22109/JEMT.2018.126045.1077>
 Armano, G., & Pegoraro, P. A. (2022). Assessing Feature Importance for Short-Term Prediction of Electricity Demand in Medium-Voltage Loads. *Energies*, 15(2), 549. <https://doi.org/10.3390/en15020549>
- Collino, E., & Ronzio, D. (2021). Exploitation of a New Short-Term Multimodel Photovoltaic Power Forecasting Method in the Very Short-Term Horizon to Derive a Multi-Time Scale Forecasting System. *Energies*, 14(3), 789. <https://doi.org/10.3390/en14030789>
- Ding, S., Hipel, K. W., & Dang, Y. G. (2018). Forecasting China's electricity consumption using a new grey prediction model. *Energy*, 149. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.169>
- Elamin, N., & Fukushima, M. (2018). Modeling and forecasting hourly electricity demand by SARIMAX with interactions. *Energy*, 165, 257–268. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.09.157>
- G, S. G. N., & Sheshadri, G. S. (2019). ARIMAX Model for Short-Term Electrical Load Forecasting. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(4), 2786–2790. <https://doi.org/10.35940/ijrte.D7950.118419>
- Gupta, A., Chawla, M., & Tiwari, N. (2022). Electricity Power Consumption Forecasting Techniques: A survey. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4019431>
- Kutyłowska, M. (2015). Neural network approach for failure rate prediction. *Engineering Failure Analysis*, 47, 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2014.10.007>
- Liu, H., & Shi, J. (2013). Applying ARMA–GARCH approaches to forecasting short-term electricity prices. *Energy Economics*, 37. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.02.006>
- Quiroga, O. A., Meléndez, J., & Herraiz, S. (2011). Fault causes analysis in feeders of power distribution networks. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 1269–1272. <https://doi.org/10.24084/repqj09.619>
- Rabbi, F., Tareq, S. U., Islam, M. M., Chowdhury, M. A., & Abul Kashem, M. (2020). A Multivariate Time Series Approach for Forecasting of Electricity Demand in Bangladesh Using ARIMAX Model. *2020 2nd International Conference on Sustainable Technologies for Industry 4.0 (STI)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/STI50764.2020.9350326>
- Souto, L., Meléndez, J., & Herraiz, S. (2021). Monitoring of low voltage grids with multilayer principal component analysis. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 125, 106471. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106471>
- Xie, K., Zhang, H., & Singh, C. (2016). Reliability forecasting models for electrical distribution systems considering component failures and planned outages. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 79, 228–234. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2016.01.020>
- Zolfaghari, M., Sahabi, B., & Faghihian, F. (2022). The Electricity Consumption Forecast: Adopting a Hybrid Approach by Deep Learning and Arimax-Garch Models. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4031543>

اسدزاده، ش. (۱۳۹۸). مدل‌سازی و پیش‌بینی بهینه نرخ خرابی تجهیزات شبکه توزیع برق. نشریه کیفیت و بهره‌وری صنعت برق ایران. ۸ (۱): ۵۳–۶۱

اکبری، ا. (۱۳۹۹). بازآرایی بهینه شبکه‌های توزیع با هدف کاهش تلفات، افزایش قابلیت اطمینان و بهبود پروفیل ولتاژ با استفاده

رو بایستی بتوان تا حدودی میزان اتفاقات و به تبع آن کنترل بهینه‌ی آن را پیش‌بینی نمود. پیش‌بینی برای برنامه‌ریزی کوتاه مدت، میان مدت، بلند مدت و جهت ساختن محصولات موجود با امکانات موجود و نیل به اهداف سازمان آتش‌نشانی و خدمات ایمنی هدف اصلی پیش‌بینی حوادث می‌باشد که مدل‌های سری‌های زمانی کاربردی یادشده پاسخگوی این مسائل است. در تحقیقی که انجام شد، تعداد حوادث و مدت زمان خاموشی برنامه‌ریزی نشده و میزان انرژی به فروش نرفته (بدست مشتری نرسیده) با خطای قابل قبولی پیش‌بینی شد. طبق نتایج به دست آمده (جدول ۶)، می‌توان گفت در تیرماه سال آینده نه تنها ما ۱۰ ساعت خاموشی بی‌برنامه در این شبکه داریم بلکه ۶.۱۲ MWH انرژی است که به فروش نرفته و عایدی نصیب شرکت توزیع برق نشده‌است. از طرفی مشترک بدون برق بوده و ناراضی بوجود آمده که در دل آن خسارات اقتصادی و اجتماعی نهفته است. لذا با این هشدار، مدیران در برنامه‌ریزی خود در این ماه از سال به‌تر است عوامل اختلال و عدم برق‌رسانی را مجدداً بررسی نموده و برای کاهش این خاموشی‌ها تدبیر بیاندیشند.

جدول (۶): پیش‌بینی برای شش ماهه اول ۱۴۰۱

تاریخ	زمان خاموشی (دقیقه)	زمان خاموشی (ساعت)	انرژی (MWH)
۱۴۰۱/۰۱	۲۷۷/۶۴	۴/۶۲	۳/۱۴
۱۴۰۱/۰۲	۱۶۳/۱۶	۲/۷۱	۲/۳
۱۴۰۱/۰۳	۴۴۹/۳۷	۷/۴۸	۶/۷۲
۱۴۰۱/۰۴	۶۲۱/۱۰	۱۰/۳۵	۶/۱۲
۱۴۰۱/۰۵	۲۲۰/۴۰	۳/۶۷	۳/۲۰
۱۴۰۱/۰۶	۳۳۴/۸۹	۵/۵۸	۲/۴۲

شبکه‌های هوشمند توزیع انرژی الکتریکی یکی از جدیدترین فناوری‌های روز دنیا است. اصلی‌ترین هدف این شبکه‌ها، تامین برق مطمئن، بالارفتن ضریب اطمینان، پایداری شبکه و پاسخ‌گویی به نیازهای روبه‌رشد مشتریان با کمترین خسارت به محیط زیست، سود و بازدهی بالا است. پیش‌بینی وضعیت آینده‌ی شبکه با کمترین خطا ما را به سمت شبکه‌ی هوشمند نزدیک می‌کند.

مراجع

- Ahmed, A. I., McLeod, R. S., & Gustin, M. (2021). Forecasting underheating in dwellings to detect excess winter mortality risks using time series models. *Applied Energy*, 286, 116517. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116517>
- Arjmand, A., Samizadeh, R., & Saryazdi, M. D. (2019). Improved Forecasting of Short Term Electricity Demand by using of Integrated Data Preparation and Input Selection Methods. *Journal of Energy Management and Technology*, 3(1), 48–57.

از الگوریتم کلونی موشهای وحشی. نشریه علمی-تخصصی تحقیقات نوین در برق. ۹ (۱): ۳۵-۴۵

پروین نیا، ا؛ فرداد، خ. (۱۳۹۷). ارائه یک سیستم تصمیم یار جهت پیش بینی خاموشی اضطراری نیروگاه های برق آبی با استفاده از استخراج قوانین انجمنی مطالعه موردی: نیروگاه برق آبی مارون بهبهان. نشریه کیفیت و بهره وری صنعت برق ایران. ۷ (۱): ۱۵-۲۷

سرور طاهرآبادی، م؛ قره پتیان، گ؛ فریدونیان، ع. (۱۳۹۴). دسته بندی و تحلیل عوامل خطا بر اساس تکنیک خوشه بندی در شبکه توزیع برق، بیستمین کنفرانس توزیع برق، زاهدان.

کرم سلطانی، م؛ مصطفایی، ا؛ یارمحمدی، مسعود، (۱۳۹۱). بررسی تأثیر نوسانات قیمت طلا روی نوسانات قیمت نفت با استفاده از مدل ARIMAX، اولین همایش بین المللی اقتصاد سنجی، روشها و کاربردها، سنندج

کریم آبادی، ع؛ حاجی آبادی، م؛ کامیاب، ع. (۱۳۹۵). مروری بر تعمیرات و خرابی های تجهیزات پست های انتقال و فوق توزیع. نشریه علمی-تخصصی تحقیقات نوین در برق. ۵ (۲): ۳۱-۲۰

هنرمند، م؛ حق فام، م؛ قاضی زاده، م. (۱۳۹۴). تأثیر فرآیندهای ورود تجهیز در قابلیت اطمینان شبکه های توزیع برق. نشریه کیفیت و بهره وری صنعت برق ایران. ۴ (۱): ۱۴-۲۳

زیر نویس ها

- ¹ Principal Component Analysis
- ² Seasonal Auto Regressive Integrated Moving Average
- ³ Electricity consumption
- ⁴ Wavelet transfer
- ⁵ Black box
- ⁶ Auto Correlation Function
- ⁷ Akaike information criterion