Iranian Electric Industry Journal
Quality & Productivity
P.P 81-92

Vol. 14/ No. 2/ Summer 2025
ISSN 2322-2344
EISSN 2717-1639

Fuzzy Modeling of the Effects of Effective Factors on Non-technical Loss Reduction of Electrical Energy Distribution

Amirhossein Abdolalipour[1], Sajad Samsami[2]
1. Assistant Prof, Department of Industrial Management, Khoy Branch, Islamic Azad University, Khoy, Iran.(Corresponding Author)
amirhpour@iau.ir
2. MSc. in MBA, Department of Management, Khoy Branch, Islamic Azad University, Khoy,Iran.
sajjadsamsami82@gmail.com

Abstract
The objective of the present study is to design a framework for evaluating the impact of factors influencing the reduction of non-technical losses in electrical energy. The research method employed is exploratory-theoretical modeling, which has been practically implemented and validated within the West Azerbaijan Power Distribution Company. Through the analysis of non-technical loss statistics and expert interviews with professionals in the electricity distribution sector, the factors of "consumption damage" (arising from both overt and covert unauthorized electricity usage) and "consumption difference" (resulting from the replacement of faulty meters and calculation errors) were identified as system inputs, while "non-technical losses" of electrical energy were defined as the output of the proposed fuzzy system. Various membership functions—including Gaussian, bell-shaped, S-shaped, Z-shaped, and triangular—were utilized to determine the degree of membership for verbal input and output variables within fuzzy sets. By applying 21 final rules and considering the centroid of fuzzy sets, the system was able to generate clear and actionable outputs. Ultimately, the fuzzy system was validated through comprehensive rule testing and overall model evaluation. Sensitivity analysis revealed that the implemented fuzzy inference system effectively captured the logical relationships between inputs and outputs. The results of the modeling and sensitivity analysis indicated that the "consumption difference" variable (stemming from measurement and calculation errors) exhibits the highest sensitivity in reducing non-technical losses; thus, addressing this factor can significantly enhance the operational performance indicators of the network**.**

Keywords: Fuzzy Inference, Electric Energy, Consumption Difference, Non-Technical losses, Consumption Damage, West Azerbaijan Power Distribution Company**.**

Date of sending: 2024/06/01
Acceptance date: 2025/08/10

Corresponding author's name: Amirhossein Abdolalipour
Corresponding author's address: Department of Industrial Management, Khoy Branch, Islamic Azad University, Khoy, Iran

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-05-27]

Iranian Electric Industry Journal
Quality & Productivity
ص.ص 92-81

Vol. 14 / No. 2/ Summer 2025
ISSN 2322-2344
EISSN 2717-1639

مدل‌سازی فازی تأثیر عوامل مؤثر بر کاهش تلفات غیر فنی توزیع انرژی الکتریکی

نوع مطالعه: پژوهشی

امیرحسین عبدالعلی پور[1]، سجاد صمصامی[2]

1. استادیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد خوی، دانشگاه آزاد اسلامی، خوی، ایران (نویسنده مسؤل).
amirhpour@iau.ir
2. دانش آموخته کارشناسی ارشد مدیریت اجرایی، واحد خوی، دانشگاه آزاد اسلامی، خوی، ایران.
sajjadsamsami82@gmail.com

چکیده:

هدف از پژوهش حاضر طراحی الگویی جهت ارزیابی تأثیر عوامل مؤثر بر کاهش تلفات غیر فنی انرژی الکتریکی است. روش پژوهش حاضر برای مدل‌سازی اکتشافی – نظری است و به‌منظور صحه‌گذاری به‌صورت کاربردی در شرکت توزیع نیروی برق استان آذربایجان غربی پیاده‌سازی شده است. با بررسی آمارهای تلفات غیرفنی و مصاحبه با خبرگان بخش توزیع انرژی الکتریکی، عوامل صدور «خسارت مصرف» انرژی از بابت استفاده غیرمجاز از برق به‌صورت آشکار و پنهان و صدور «تفاوت مصرف» انرژی از بابت تعویض کنتورهای معیوب و اشتباه در محاسبات به‌عنوان دروندادهای سیستم و «تلفات غیرفنی» انرژی الکتریکی به‌عنوان برونداد سیستم فازی مذکور تعیین گردید. از توابع عضویت مختلف گاوسین، زنگوله‌ای، s شکل، z شکل و مثلثی برای تعیین درجه عضویت متغیرهای کلامی ورودی‌ها و خروجی‌ها به مجموعه‌های فازی استفاده گردید. با استفاده از ۲۱ قانون نهایی و با در نظر گرفتن مرکز ثقل مجموعه‌های فازی، خروجی واضح و قابل‌اجرا برای سیستم فراهم گردید. نهایتاً با بهره‌گیری از آزمون تمام قوانین و آزمون کل مدل، سیستم فازی مورد اعتبارسنجی قرار گرفت و با واکاوی حساسیت، مشخص گردید که سیستم استنتاج فازی بکار رفته، روابط منطقی بین دروندادها و برونداد را به نمایش می‌گذارد. نتایج مدل‌سازی و تحلیل حساسیت نشان داد که متغیر «تفاوت مصرف» (ناشی از خطاهای اندازه‌گیری و محاسباتی) بیشترین حساسیت را در کاهش تلفات غیر فنی دارد و اصلاح این عامل می‌تواند تأثیر قابل توجهی در بهبود شاخص‌های عملکردی شبکه داشته باشد.

واژه های کلیدی: **استنتاج فازی، انرژی الکتریکی، تفاوت مصرف، تلفات غیر فنی، خسارت مصرف، شرکت توزیع نیروی برق استان آذربایجان غربی،**

تاریخ ارسال:۱۴۰۳/۰۳/۱۲
تاریخ پذیرش:۱۴۰۴/۰۵/۱۹
نام نویسنده مسئول: امیر حسین عبدالعلی پور
نشانی نویسنده مسئول: گروه مدیریت صنعتی، واحد خوی، دانشگاه آزاد اسلامی، خوی

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-05-27]

1. مقدمه

امروزه بخش قابل‌ملاحظه‌ای از تلفات صنعت برق کشور به تلفات غیر فنی شبکه اختصاص دارد. تلفات غیر فنی در سیستم توزیع برق به انرژی مؤثر عرضه‌شده اما اندازه‌گیری نشده یا ثبت‌نشده تجاری اشاره دارد (پیریا و همکاران،۲۰۱۶؛ صادقی گرمارودی، ۱۳۹۵) که به صور استفاده‌های غیرمجاز انرژی (آشکار و پنهان، مستقیم قابل‌رؤیت و غیرقابل رؤیت، غیرمستقیم قابل‌رؤیت و غیرقابل رؤیت) و ناکارآمدی در اندازه‌گیری مصرف انرژی برق است (بشکنی و اعظمی، ۱۳۹۸؛ رجبی مشهدی، ۱۳۹۵). بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که این تلفات عمدتاً ناشی از بهره‌برداری غیرمجاز از برق به‌صورت مخفی یا خرابی کنتورها است (ویگاس[1] و همکاران، ۲۰۱۸؛ شاهی مریدی، موسوی راد، میرحسینی و نیک پور، ۱۴۰۰؛ رجبی مشهدی، ۱۳۹۲). مصرف‌کنندگان غیرمجاز، علاوه بر تلفات اقتصادی ناشی از مصرف رایگان انرژی، باعث افزایش میزان بار عبوری از خطوط و تجهیزات شبکه می‌شوند که این امر به‌نوبه خود باعث آسیب به تجهیزات، فرسودگی زودرس آن‌ها و درنهایت از بین رفتن مدیریت شبکه می‌گردد (رجبانی و همکاران، ۱۳۹۹).

کاهش تلفات انرژی الکتریکی را به‌نوعی معادل تولید برق پاک و سبز می‌دانند که به‌طور مستقیم منجر به کاهش هزینه‌های توزیع برق می‌شود. این کاهش هزینه‌ها می‌تواند ناشی از کاهش میزان برق خریداری‌شده، کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری تجهیزات و کاهش خسارات ناشی از حوادث مرتبط با استفاده غیرمجاز از برق باشد. (مرادخانی و رشیدبیگی، ۱۳۹۸). کاهش تنها یک درصد تلفات انرژی می‌تواند ۱۸۲۰ میلیون کیلووات ساعت انرژی الکتریکی معادل ۶۶۰ میلیون لیتر مصرف سوخت نیروگاهی،۲/۱ میلیارد دلار نیاز به سرمایه‌گذاری احداث نیروگاه جدید و ۱/۸۲۸ میلیون تن آلاینده‌های زیست‌محیطی را کاهش دهد (صمصامی، ۱۳۹۸).

با وجود تلاش‌های گسترده برای کاهش تلفات فنی، کنترل و کاهش تلفات غیر فنی به دلیل ماهیت پنهان و پیچیده آن همواره یک چالش اساسی برای مدیران صنعت برق بوده است. کمینه کردن تلفات به دلیل عوامل مختلفی مانند خطاهای اندازه‌گیری، خطاهای ثبت، سرقت و تفاوت‌های زمانی چالش‌برانگیز است (ساشیرخا و همکاران، ۲۰۱۳). استفاده غیرمجاز از برق به‌صورت پنهان (دست‌کاری لوازم اندازه‌گیری و خارج کردن کنتورها از مدار) می‌تواند منجر به خسارت‌های مالی برای شرکت توزیع برق شود و همچنین مخاطرات جدی ایمنی و آتش‌سوزی را افزایش دهد. از مهم‌ترین شاخص‌های مرتبط با استفاده غیرمجاز از برق تعداد موارد شناسایی‌شده استفاده غیرمجاز از برق، میزان خسارت مالی ناشی از این اقدامات غیرقانونی، تعداد پرونده‌های تشکیل‌شده و مجازات اعمال‌شده برای متخلفان، میزان انرژی برق مصرف‌شده به‌صورت غیرمجاز و تعداد آتش‌سوزی‌ها و حوادث ناشی از دست‌کاری غیرمجاز تجهیزات برقی است.

خسارت مصرف به معنی مصرف انرژی غیرقانونی یا استفاده نادرست از تجهیزات است که منجر به تلفات غیر فنی می‌شود. در سیستم جامع خدمات مشترکین شرکت توزیع، مجموع شاخص‌های استفاده غیرمجاز از برق مذکور با یک آیتم آماری تحت عنوان تعداد و میزان خسارت مصرف اعمال‌شده شناخته می‌شوند. از آنجائی که شناسایی میزان تلفات و تأثیرات تعویض لوازم اندازه‌گیری و صدور تفاوت مصرف ناشی از خطای کنتور و اشتباه در محاسبات با دقت و صحت مطلوب قابل‌بررسی نیستند و بسیاری از عوامل مرتبط با این موضوع دارای عدم قطعیت هستند، مدل‌سازی فازی می‌تواند با استفاده از مجموعه‌های فازی و قوانین فازی، به تحلیل و پیش‌بینی رفتار سیستم‌های پیچیده مانند تلفات غیر فنی شبکه‌های توزیع برق بپردازد... در شرکت‌های توزیع نیروی برق، نرم‌افزار سیستم جامع خدمات مشترکین جهت مکانیزه کردن تمامی فرآیندهای دسترسی مشترکین به انرژی تعبیه‌شده است. در این سیستم، شاخص‌های تعویض لوازم اندازه‌گیری و صدور تفاوت مصرف ناشی از خطای کنتور و اشتباه در محاسبات و صدور تفاوت مصرف ناشی از اشتباه در ضرایب نیز با یک آیتم آماری تحت عنوان تعداد و میزان تفاوت مصرف اعمال‌شده شناخته می‌شوند.

از بررسی متغیر «عدم قرائت و قرائت صحیح یا غلط» به‌عنوان یکی از عوامل غیر فنی تلفات انرژی بجهت اینکه قرائت‌های بعدی صحیح می‌تواند اثر قرائت اشتباه قبل از خود را جبران کند، صرف‌نظر گردید. این متغیر در آمار تلفات سالانه معمولاً تأثیری ندارد. مگر اینکه قرائت اشتباه بیش از یک سال ادامه داشته باشد که امری بعید است.

با توجه به سهم قابل توجه تلفات غیر فنی در شبکه توزیع برق کشور و پیامدهای اقتصادی و فنی ناشی از آن، شناسایی و ارزیابی دقیق عوامل مؤثر بر این نوع تلفات اهمیت ویژه‌ای دارد. بخش عمده‌ای از این تلفات ناشی از دو عامل کلیدی شامل استفاده غیرمجاز از برق (خسارت مصرف) و خطا یا خرابی در تجهیزات اندازه‌گیری (تفاوت مصرف) است که هر یک به شیوه‌ای متفاوت بر میزان تلفات غیرفنی تأثیر می‌گذارند. بر این اساس، هدف اصلی پژوهش حاضر طراحی و اعتبارسنجی یک مدل فازی به منظور ارزیابی و مقایسه میزان تأثیر خسارت مصرف و

[1]. Depuru

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-05-27]

تفاوت مصرف بر کاهش تلفات غیر فنی انرژی الکتریکی در شرکت توزیع نیروی برق استان آذربایجان غربی است. تحلیل عوامل مؤثر بر تلفات غیر فنی در قالب متغیرهای زبانی و قواعد فازی، می‌تواند تصمیم‌گیری مدیریتی را در شرایط واقعی و با وجود داده‌های ناقص تسهیل کند. سؤال اصلی پژوهش نیز این است که کدام‌یک از این دو عامل نقش مؤثرتری در کاهش تلفات غیر فنی ایفا می‌کند و چگونه می‌توان با بهره‌گیری از مدل‌سازی فازی، تأثیر کمّی و کیفی هر یک را به‌طور دقیق سنجش‌پذیر نمود؟

2. پیشینه پژوهش

مطالعه مونیدرو و همکاران[1] (۲۰۲۴) با بهره‌گیری از شبکه‌های بیزی و داده‌کاوی، به کشف الگوهای جدید تلفات غیر فنی و تحلیل عدم قطعیت در شبکه‌های برق اسپانیا پرداخته است. نتایج نشان داد که مدل‌های بیزی در شرایط داده‌های ناقص و نامطمئن عملکرد مطلوبی دارند. وانگ و همکاران[2] (۲۰۲۴)، با استفاده از مدل یادگیری عمیق و داده‌های مصرف هوشمند، به شناسایی و پیش‌بینی تلفات غیر فنی در شبکه‌های توزیع برق چین پرداخته است. نتایج نشان داد که مدل‌های LSTMو CNN دقت بالایی در شناسایی الگوهای غیرمجاز مصرف دارند و می‌توانند به‌طور مؤثری در کاهش تلفات غیر فنی به کار روند. همچنین، آلمیدا و همکاران[3] (۲۰۲۳) با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین و داده‌های کنتورهای هوشمند، به شناسایی سرقت برق و تلفات غیر فنی در شبکه‌های توزیع برزیل پرداخته اند. یافته‌ها نشان داد که ترکیب الگوریتم‌های Random Forest و XGBoost بهترین عملکرد را در شناسایی مشترکین مشکوک دارد. پژوهش صادقی و همکاران[4] (۲۰۲۳) با رویکرد مدل‌سازی فازی، عوامل مؤثر بر تلفات غیر فنی برق در شبکه‌های توزیع ایران را بررسی و اولویت‌بندی کرده است. نتایج نشان داد که خطای کنتور و مصرف غیرمجاز دو عامل اصلی هستند و مدل فازی می‌تواند عدم قطعیت داده‌ها را به خوبی مدیریت کند. رحمان و همکاران[5] (۲۰۲۳) در پژوهشی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و داده‌های مصرف مشترکین، به پیش‌بینی و شناسایی تلفات غیر فنی در شبکه‌های توزیع جنوب آسیا پرداخته اند. نتایج نشان داد که شبکه عصبی با دقت بالایی می‌تواند مشترکین غیرمجاز را شناسایی کند.

برخی مطالعات پیشینه ازجمله مطالعه بهرامی آذر (۱۳۹۷) با تمرکز بر تجربیات شرکت توزیع برق آذربایجان غربی در زمینه کاهش سرقت انرژی برق، در دوره پیش و پس از هدفمندی یارانه‌ها، راهکارهایی برای کنترل و کاهش سرقت انرژی برق ارائه کرده‌اند. این راهکارها شامل استفاده از فناوری‌های پیشرفته برای ضد سرقت کردن کنتورها، نظارت مداوم بر مصرف برق و اجرای قوانین سخت‌گیرانه‌تر برای جلوگیری از سرقت است. این مطالعه نشان می‌دهد که پس از هدفمندی یارانه‌ها، تلاش‌های بیشتری برای کاهش سرقت برق انجام‌شده است. این شامل اقدامات فنی و مدیریتی برای جلوگیری از دست‌کاری کنتورها و لوازم اندازه‌گیری است. در همین راستا، مطالعه نوافر و همکاران[6] (۲۰۲۲) به بررسی استفاده از هوش مصنوعی برای پیش‌بینی تلفات غیرفنی در سیستم‌های توزیع برق می‌پردازد. از یک مدل عصبی کانولوشنال برای ترکیب داده‌های فرآیندهای عملیاتی کارکنان و داده‌های مصرف مشتری استفاده‌شده است. این تحقیق نشان می‌دهد که عوامل مرتبط با کارکنان می‌توانند پیش‌بینی‌کننده‌های مهمی برای تلفات غیرفنی باشند. علاوه بر آن، وهاب‌زاده و همکاران[7] (۲۰۲۰) یک مدل SOM فازی را برای تشخیص تقلب در شبکه‌های توزیع با نفوذ بالای سیستم‌های فتوولتائیک سقفی پیشنهاد نمودند. ویگاس و همکاران (۲۰۱۸) بر ارائه روشی مبتنی بر داده برای شناسایی منابع سرقت و سایر خسارات ناشی از توزیع انرژی الکتریکی پرداخته‌اند. آن‌ها سعی در مقایسه مصرف مشترکین با الگوی مصرف تعریف‌شده و تعیین مشترکین با مصارف متفاوت با الگو جهت شناسایی و بررسی به‌عنوان مشترکین دارای مصرف غیرمجاز می‌باشند. قاسمی[8] و همکاران (۲۰۱۸) مشتریان غیرقانونی انرژی الکتریکی را به دو دسته تقسیم می‌کنند. (۱) اگر مشتری تمام انرژی موردنیاز خود را در بخشی از روز به‌طور غیرقانونی مصرف کند، (۲) اگر مشتری بخشی از انرژی موردنیاز خود را به‌طور غیرقانونی مصرف کند. روش طبقه‌بندی الگوی مصرف انرژی مشتری بر اساس شبکه عصبی احتمالی و مدل ریاضی مبتنی بر روش Levenberg-Marquardt به ترتیب برای تشخیص نوع اول و دوم مصرف غیرقانونی استفاده می‌شود. نتایج تجربی برای نشان دادن اثربخشی این روش در تشخیص هر دو نوع مصرف غیرقانونی ارائه‌شده است. دیپورو[1] و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی امکان و نقش الگوریتم‌های محاسبات با کارایی بالا در تشخیص مصرف‌کنندگان غیرقانونی می‌پردازد. بر اساس مطالعه رجبی مشهدی (۱۳۹۲) رتبه‌بندی مناطق بر اساس تلفات فنی و غیر فنی، شرکت‌های توزیع را

[1] Monedero et al.
[2] Wang et al.
[3] Almeida et al.
[4] Sadeghi et al.
[5] Rahman et al.

[6]. Nwafor
[7]. Vahabzadeh et al.
[8]. Ghasemi

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-05-27]

قادر می‌سازد با کمترین بودجه به بیشترین بازده در حذف و کاهش تلفات دست یابند. در این روش، نواحی با بیشترین تلفات در اولویت برنامه‌ریزی‌های شرکت‌های توزیع قرار می‌گیرند. تخمین دقیق بار در ترانسفورماتورهای توزیع به‌عنوان اولین اقدام در رتبه‌بندی نواحی شبکه توزیع سنتی بر اساس تلفات شناخته می‌شود. میرزادی گوهری (۱۳۹۲) نیز بر شناسایی مشترکین اثرگذار بر تلفات غیر فنی با استفاده از داده‌کاوی پرداخته و نهایتاً ترکیبی از مدل‌های درخت تصمیم‌گیری C5، شبکه عصبی و شبکه بیزی برای دستیابی به بالاترین دقت انتخاب گردید.

بر اساس مطالعه جانقلی و باقری فرد (۱۴۰۲)، از مهم‌ترین روش‌های کاهش تلفات غیر فنی، استفاده از سیستم‌های مدیریتی برای کنترل روند اقدامات و سنجش پذیری دقیق میزان تلفات هر شرکت از طریق نصب کنتورهای مدیریت شبکه است. تفاضل انرژی اندازه‌گیری شده ورودی به شبکه از طریق کنتورهای نصب‌شده در مبادی شبکه و انرژی فروخته‌شده یا تحویل‌شده اندازه‌گیری شده، از رایج‌ترین روش‌های اندازه‌گیری تلفات غیر فنی انرژی است (خداپرست پیرسرایی، ۱۴۰۱). هرچه تجهیزات اندازه‌گیری در نقاط مختلف شبکه افزایش یابد امکان محاسبه تلفات و تفکیک مکانی آن‌ها بهتر انجام می‌گیرد (خداپرست پیرسرایی، ۱۴۰۱). بخشی از تلفات غیر فنی انرژی الکتریکی، از ناکارآمد بودن سیستم محاسبات و مشکلات جنبی به دلیل محاسبات نادرست و یا سایر اشتباهات در اندازه‌گیری انرژی الکتریکی نشأت می‌گیرد. این تلفات می‌تواند به صدور قبوض نادرست منجر شود و در نهایت به هدر دادن بخشی از بازگشت درآمد ناشی از فروش انرژی الکتریکی منجر گردد.

اصلاح یا تعویض لوازم اندازه‌گیری و اعمال انرژی ثبت‌نشده در جهت بهبود شاخص تلفات غیر فنی انرژی مهم است لکن نصب تجهیزات اندازه‌گیری کافی در شبکه فشار ضعیف نیاز به سرمایه‌گذاری زیادی دارد (مرادخانی و رشیدبیگی، ۱۳۹۸). بر اساس مطالعه جانقلی و باقری فرد (۱۴۰۲)، تخصیص منابع بهینه برای نصب کنتورهای مدیریت شبکه و استفاده از سیستم‌های اندازه‌گیری هوشمند از مهم‌ترین استراتژی‌های کاهش تلفات غیر فنی است. بااین‌حال، شناسایی و جایگزینی به‌موقع و سریع کنتورهایی که بنا به دلایلی دچار عیوب مختلف می‌گردند به جهت عدم وجود قطعات جایگزین، به‌سادگی امکان‌پذیر نخواهد بود. (روشن میلانی و ادهم، ۱۳۹۴). تعویض سریع و ثبت تفاوت مصرف ناشی از عملکرد ناصحیح کنتور، سازوکار دقیقی می‌طلبد (صمصامی، ۱۳۹۸). با توجه به محاسباتی بودن فرایند مذکور، تعیین مثبت یا منفی بودن اشتباه در ضرایب و چگونگی محاسبه و اعمال آن در سیستم، یکی از عمده چالش‌های کارکنان و کاربران سیستم خدمات مشترکین است. موارد مذکور، برای انشعابات با قدرت‌های بالا، حساسیت و تأثیرگذاری به‌مراتب بیشتری به همراه خواهد داشت. شاخص‌های مربوط به تعویض کنتورها و صدور تفاوت مصرف ناشی از خطای کنتور و اشتباهات محاسباتی، تحت عنوان «تعداد و میزان تفاوت مصرف اعمال‌شده» دسته‌بندی می‌شوند. در جدول ۱، خلاصه‌ای از مهم‌ترین مطالعات پیشین به همراه روش، نتایج کلیدی و خلأهای پژوهشی ارائه شده است.

جدول ۱. مقایسه مطالعات پیشین در زمینه عوامل مؤثر بر تلفات غیر فنی انرژی الکتریکی و خلأهای پژوهشی

نویسنده/ سال	روش	نتایج کلیدی	خلأ/ محدودیت
مونیدرو و همکاران (۲۰۲۴)	شبکه بیزی و داده‌کاوی	تحلیل عدم قطعیت و کشف الگوهای جدید	عدم تمرکز بر سیاست‌های اجرایی و منطقه‌ای
وانگ و همکاران (۲۰۲۴)	یادگیری عمیق (LSTM, CNN)	دقت بالا در شناسایی الگوهای غیرمجاز مصرف	تمرکز بر داده‌های هوشمند، عدم تحلیل عوامل مدیریتی
آلمیدا و همکاران (۲۰۲۳)	یادگیری ماشین (RF, XGB)	عملکرد عالی در شناسایی مشترکین مشکوک	عدم بررسی ابعاد کیفی و سیاست‌گذاری
صادقی و همکاران (۲۰۲۳)	مدل‌سازی فازی	اولویت‌بندی عوامل مؤثر، مدیریت عدم قطعیت	تمرکز بر ایران، عدم ارائه راهکار اجرایی
رحمان و همکاران (۲۰۲۳)	شبکه عصبی مصنوعی	دقت بالا در شناسایی مشترکین غیرمجاز	عدم تحلیل ابعاد مدیریتی و اقتصادی
جانقلی و باقری فرد (۱۴۰۲)،	تحلیل مدیریتی و فنی	اهمیت تخصیص منابع بهینه	عدم تحلیل مدل‌سازی فازی و مقایسه عوامل
وهاب‌زاده و همکاران (۲۰۲۰)	مدل SOM فازی	افزایش دقت تشخیص تقلب	تمرکز بر شبکه‌های خاص و جدید، نه شبکه سنتی

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-05-27]

(منبع: یافته‌های پژوهش)

بر اساس مقایسه انجام‌شده در جدول ۱، مشخص می‌شود اغلب تحقیقات پیشینه پژوهش به نحوه شناسایی مصرف‌کنندگان غیرمجاز و عوامل تلفات غیرفنی پرداخته و به‌ندرت به سنجش پذیر کردن تلفات غیرفنی پرداخته‌اند. تمرکز اغلب پژوهش‌ها بر داده‌های هوشمند بدون تحلیل سیاست‌های اجرایی و مدیریتی بوده است.. همچنین، کمبود پژوهش‌هایی که به مقایسه کمی و کیفی عوامل اصلی (مانند خسارت مصرف و تفاوت مصرف) در یک مدل واحد بپردازند مشهود است. در نهایت، عدم ارائه مدل‌های جامع که همزمان ابعاد فنی، انسانی و مدیریتی را در کاهش تلفات غیر فنی ترکیب کند و نیز عدم توجه کافی به محدودیت منابع و اولویت‌بندی راهکارها برای مدیران شرکت‌های توزیع برق در شرایط واقعی از عمده ترین خلأهای پژوهشی شناسایی شده است. در حالیکه پژوهش حاضر، با ارائه یک مدل فازی ترکیبی، امکان مقایسه کمّی و درعین‌حال کیفی دو عامل نهایی تأثیرگذار «تفاوت مصرف» و «خسارت مصرف» در سنجش پذیری تلفات غیر فنی انرژی الکتریکی را فراهم آورده می‌سازد. درزمانی که شرکت‌های توزیع در کاهش تلفات انرژی الکتریکی با تنگنای منابع مالی تخصیصی محدود مواجه هستند، نتیجه این تحقیق می‌تواند انتخاب مسیری زودبازده جهت رسیدن به آمار بهینه و تحلیل استراتژی‌های کاهش تلفات انرژی الکتریکی را برای مدیران فراهم نماید.

3. روش پژوهش

در این پژوهش که از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش، توصیفی-تحلیلی و مبتنی بر مدل‌سازی فازی است، داده‌های مورد نیاز از دو منبع اصلی گردآوری شده است: نخست، داده‌های ثانویه آماری شامل آمار تلفات غیر فنی، میزان و تعداد خسارت مصرف (ناشی از استفاده غیرمجاز از برق) و تفاوت مصرف (ناشی از خطای کنتور و اشتباهات محاسباتی) که از سیستم جامع خدمات مشترکین شرکت توزیع نیروی برق استان آذربایجان غربی استخراج گردید. هرچند داده‌های اولیه به‌صورت عددی از سیستم جامع خدمات مشترکین استخراج شده‌اند، اما با توجه به ماهیت داده‌های عملیاتی در صنعت برق، وجود خطاهای اندازه‌گیری، ابهام در تفسیر شاخص‌ها و نقش دانش خبرگان، استفاده از مدل‌سازی فازی به جای روش‌های قطعی، امکان مدیریت عدم قطعیت و تحلیل دقیق‌تر رفتار سیستم را فراهم می‌کند. مدل فازی با تبدیل داده‌های عددی به مجموعه‌های فازی و به‌کارگیری قواعد زبانی، می‌تواند روابط پیچیده و غیرخطی بین عوامل مؤثر بر تلفات غیر فنی را به‌درستی مدل‌سازی نماید و خروجی‌های قابل اتکایی برای تصمیم‌گیری مدیریتی ارائه دهد.. از اینرو، در این پژوهش، ادغام دو متغیر «تعداد و میزان خسارت مصرف» به عنوان یک متغیر واحد با عنوان «خسارت مصرف» و همچنین ادغام «تعداد و میزان تفاوت مصرف» به عنوان متغیر «تفاوت مصرف» انجام شده است. این ادغام به منظور ساده‌سازی تحلیل و مدل‌سازی فازی صورت گرفته است تا بتوان تأثیر این عوامل را به صورت جامع‌تر و قابل سنجش‌تری در کاهش تلفات غیر فنی انرژی بررسی کرد. به عنوان مثال، میزان واقعی مصرف غیرمجاز یا خطای کنتور اغلب بر اساس تخمین، قضاوت کارشناسان یا شرایط متغیر شبکه تعیین می‌شود. همچنین، تصمیم‌گیری‌های مدیریتی معمولاً مبتنی بر ارزیابی‌های کیفی و زبانی است. دوم، داده‌های میدانی از طریق مصاحبه و پرسشنامه با ۱۰ نفر از خبرگان و مدیران شرکت توزیع برق که بر اساس طیف لیکرت ۹ درجه‌ای (نمره ۹ برای موافقت بسیار زیاد، نمره ۷ برای موافقت زیاد، نمره ۵ برای موافقت متوسط، نمره ۳ برای موافقت کم و نمره ۱ برای موافقت بسیار کم)، به ارزیابی میزان تأثیر هر عامل بر تلفات غیر فنی پرداختند.

برای مدل‌سازی، از سیستم استنتاج فازی ممدانی[1] استفاده شد که طی آن دامنه متغیرها با تحلیل داده‌ها و نظر خبرگان تعیین و متغیرها به سطوح زبانی تقسیم شدند. بنابراین، پس از اخذ نظرات خبرگان مذکور و با تفسیر نمودارهای پراکندگی حاصله، رابطه منطقی بین متغیرهای موردبررسی و مقدار تابع عضویت ایجاد گردیده و نهایتاً نزدیک‌ترین جواب (تابع عضویت) انتخاب شد. توابع عضویت مناسب (مانند گاوسین[2]، زنگوله‌ای[3]، S شکل، Z شکل و مثلثی) انتخاب و در نهایت ۲۱ قاعده فازی و اهمیت نسبی آنها بر اساس قواعد «اگر-آنگاه» و نظر خبرگان داخلی تدوین گردید. بطور نمونه:

قاعده ۱: اگر خسارت مصرف **خیلی کم** باشد و تفاوت مصرف **خیلی کم** باشد، آنگاه تلفات غیر فنی **غیرقابل قبول** خواهد بود (۰/۲۷).

قاعده ۲: اگر خسارت مصرف خیلی **کم** باشد و تفاوت مصرف **کم** باشد، آنگاه تلفات غیر فنی **غیرقابل قبول** خواهد بود (۰/۳۲).

قاعده ۳: اگر خسارت مصرف **کم** باشد و تفاوت مصرف **کم** باشد، آنگاه تلفات غیر فنی **غیرقابل قبول** خواهد بود (۰/۳۲).

[1]. Mamdani
[2]. goussmf
[3]. gbell

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-05-27]

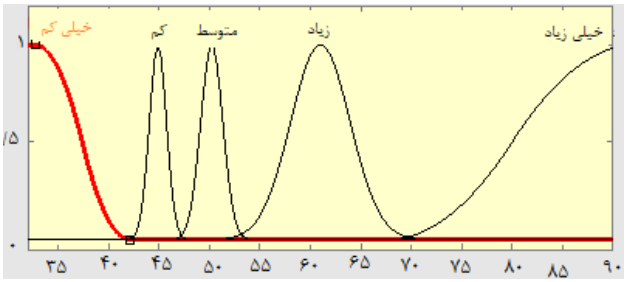
قاعده ۴: اگر خسارت مصرف خیلی **کم** باشد و تفاوت مصرف **متوسط** باشد، آنگاه تلفات غیر فنی **ضعیف** خواهد بود (۰/۴۷).

خروجی مدل با روش مرکز ثقل به مقدار کمّی تبدیل شد. کل فرآیند مدل‌سازی و تحلیل داده‌ها در محیط نرم‌افزار MATLAB انجام شد و اعتبارسنجی مدل از طریق آزمون قواعد و مقایسه با داده‌های واقعی صورت گرفت. همچنین، تحلیل حساسیت برای تعیین میزان تأثیر هر یک از متغیرهای ورودی بر خروجی انجام شد تا حساس‌ترین عامل در کاهش تلفات غیر فنی مشخص گردد.

4. یافته‌های پژوهش

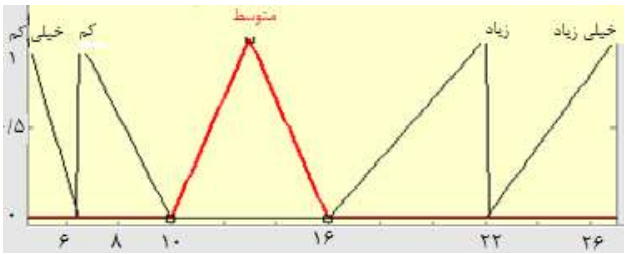
به‌منظور تعیین نوع توابع عضویت متغیرهای ورودی و متغیر خروجی، پس از اخذ نظرات خبرگان مذکور و با تفسیر نمودارهای پراکندگی حاصله، رابطه منطقی بین متغیرهای موردبررسی و مقدار تابع عضویت ایجاد گردیده و نهایتاً نزدیک‌ترین جواب (تابع عضویت) انتخاب شده است.

مطابق شکل ۱ برای متغیر ورودی «تفاوت مصرف» تابع عضویت z شکل، برای نشان دادن متغیر کلامی اعمال تفاوت مصرف خیلی کم و تابع عضویت زنگوله‌ای (که می‌تواند به‌خوبی تغییرات تدریجی و نرمال را نمایش دهد) برای نشان دادن متغیرهای کلامی اعمال تفاوت مصرف کم، اعمال تفاوت مصرف متوسط و اعمال تفاوت مصرف زیاد و تابع عضویت S شکل جهت نمایش متغیر کلامی متغیرهای کلامی اعمال تفاوت مصرف بسیار زیاد در نظر گرفته‌شده است. دلیل استفاده از این تابع عضویت S شکل مشخص نبودن مرز متوسط میزان اعمال تفاوت مصرف زیاد با اعمال تفاوت مصرف خیلی زیاد است. در مرحله بعدی، دامنه مابین متغیر در محدوده ۳۸ میلیون کیلووات ساعت تا ۹۰ میلیون کیلووات ساعت تعیین گردید که از ۳۸ تا ۴۲ میلیون کیلووات ساعت نشانگر عملکرد تفاوت مصرف خیلی کم، از ۴۲ تا ۴۷ میلیون کیلووات ساعت نشانگر عملکرد تفاوت مصرف کم، از ۴۷ تا ۵۳ میلیون کیلووات ساعت نشانگر عملکرد تفاوت مصرف متوسط، از ۵۳ تا ۷۰ میلیون کیلووات ساعت نشانگر عملکرد تفاوت مصرف زیاد و از ۷۰ تا ۹۰ میلیون کیلووات ساعت نشانگر عملکرد تفاوت مصرف خیلی زیاد است.



شکل ۱: توابع عضویت متغیر ورودی تفاوت مصرف

مطابق شکل ۲ در متغیر ورودی «خسارت مصرف» توابع عضویت trimf برای نشان دادن متغیرهای کلامی اعمال خسارت مصرف خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد در نظر گرفته‌شده‌اند. این توابع، امکان تعریف توابع عضویت مثلثی با دقت و انعطاف بالا را فراهم می‌کند. در مرحله دوم، دامنه متغیر خسارت مصرف بر مبنای اطلاعات سیستم جامع مشترکین استان آذربایجان غربی در سال ۱۴۰۲، در محدوده ۴/۵ میلیون کیلووات ساعت تا ۲۷ میلیون کیلووات ساعت تعیین گردید. همچنین، ۴/۵ تا ۶/۵ میلیون کیلووات ساعت عملکرد خیلی کم خسارت مصرف، ۶/۵ تا ۱۰ میلیون کیلووات ساعت عملکرد کم خسارت مصرف، از ۱۰ تا ۱۶ میلیون کیلووات ساعت عملکرد متوسط خسارت مصرف، از ۱۶ تا ۲۲ میلیون کیلووات ساعت عملکرد زیاد خسارت مصرف و از ۲۲ تا ۲۷ میلیون کیلووات ساعت عملکرد خیلی زیاد خسارت مصرف است.

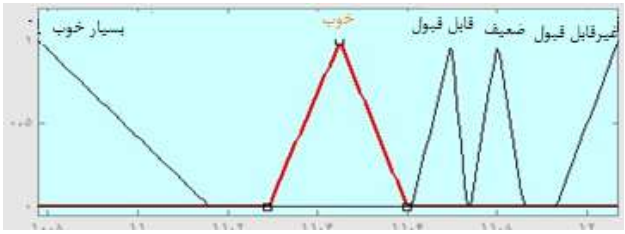


شکل ۲: توابع عضویت متغیر ورودی خسارت مصرف

مطابق شکل ۳ برای متغیر خروجی «تلفات انرژی» توابع عضویت trimf، برای نشان دادن متغیرهای کلامی میزان تلفات انرژی بسیار خوب، خوب، قابل‌قبول و ضعیف و تابع عضویت S شکل برای نشان دادن متغیر کلامی میزان تلفات انرژی غیرقابل‌قبول در نظر گرفته‌شده است. در مرحله دوم، دامنه متغیر تفاوت مصرف بر مبنای اطلاعات ارائه‌شده در بولتن آماری شرکت توزیع برق استان آذربایجان غربی در سال ۱۴۰۲، در محدوده ۱۰/۷۸ میلیون کیلووات ساعت تا ۱۳/۰۲ میلیون کیلووات ساعت تعیین گردید. به‌طور دقیق‌تر، ۱۰/۷۸ تا ۱۱/۱۶

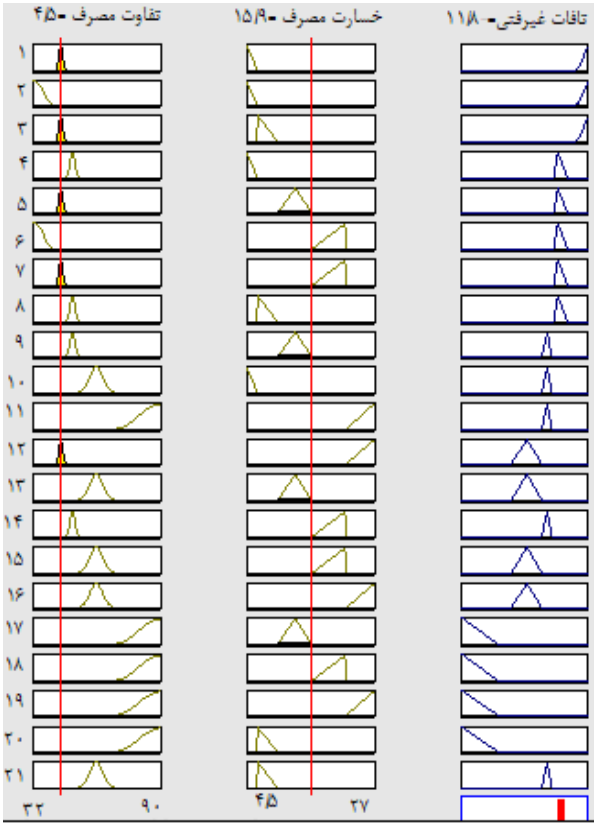
[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-05-27]

میلیون کیلووات ساعت عملکرد تلفات بسیار خوب، ۱۱/۲۹ تا ۱۱/۶ میلیون کیلووات ساعت عملکرد تلفات خوب، از ۱۱/۶ تا ۱۱/۷۲ میلیون کیلووات ساعت عملکرد قابل‌قبول تلفات انرژی، از ۱۱/۷۴ تا ۱۱/۸۶ میلیون کیلووات ساعت عملکرد ضعیف تلفات انرژی و از ۱۱/۹۳ تا ۱۳/۰۲ میلیون کیلووات ساعت عملکرد غیرقابل‌قبول تلفات انرژی تعریف گردید.



شکل ۳: توابع عضویت متغیر خروجی تلفات غیرفنی انرژی

شکل ۴ خلاصه‌ای از نتایج برای سناریوی اعمال تفاوت مصرف (۴۵)، میزان خسارت مصرف (۱۵/۹۱) و تلفات انرژی (۱۱/۸) را با استفاده از روش استنتاج ممدانی در نرم‌افزار متلب نمایش می‌دهد.



شکل ۴: نتایج برای سناریوی اعمال تفاوت مصرف (۴۵)، میزان خسارت مصرف (۱۵/۹۱) و تلفات انرژی (۱۱/۸) میلیون کیلووات ساعت بروش استنتاج ممدانی (منبع: نتایج پژوهش)

دو ستون سمت چپ شکل ۴ نشان‌دهنده نمودارهای توابع عضویت مربوط به فروض قواعد است و ستون سوم نشان‌دهنده نمودار توابع عضویت مربوط به تالی قواعد و درواقع مقداری است که پس از غیر فازی سازی نمایش داده‌شده است. این شکل، ترکیب احتمالی متغیرهای فازی سازی و رابطه متغیرهای ورودی و متغیر خروجی شبیه‌سازی شده است. گنجاندن این شاخص‌ها در مدل، نتیجه‌ای را در مورد میزان تلفات انرژی برق از اثرگذاری (عدم اثرگذاری) متغیرهای اعمال تفاوت مصرف و میزان خسارت مصرف و بر مبنای روش مرکز ثقل نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، زمانی که اعمال تفاوت مصرف و میزان خسارت مصرف کم یا بسیار کم باشد، میزان کاهش تلفات انرژی الکتریکی نیز ضعیف یا غیرقابل‌قبول است و برعکس که نشان‌دهنده سناریوهایی منطبق با اهداف تعیین‌شده در این مطالعه است.

تبدیل مدل مفهومی به برنامه نرم‌افزاری به‌ناچار خطایی را به همراه دارد. اگر این خطا در محدوده قابل‌قبول باشد، مدل نیز معتبر خواهد بود، در غیر این صورت باید اصلاح شود. برای اطمینان از اینکه خطای مدل در محدوده قابل‌قبول است یا نه باید مدل آزمون گردد. برای آزمون مدل از روش‌های آزمون تمام قوانین و آزمون رفتار استفاده شده است.

۴-۱. آزمون تمام قوانین

با انجام آزمون تمام قواعد، می‌توان اطمینان حاصل کرد که سیستم به‌درستی و با دقت مناسبی عمل می‌کند و توانایی مدیریت داده‌های نامعین و ناپیوسته را داراست. این فرایند بهبودی‌ها و بهینه‌سازی‌های لازم را برای بهبود عملکرد و دقت سیستم فراهم می‌کند. موتور استنتاج به ازای ورودی‌های هر قانون، خروجی متناظر با آن قانون را تولید می‌نماید. بر اساس رابطه (۱)، خروجی به‌دست‌آمده از قاعده[1] با خروجی مورد انتظار[2] مقایسه می‌شود.

$$E_i = \sqrt{(OBFR_i - POFS_i)^2} \quad i = 1,2 \dots n \qquad \text{رابطه ۱)}$$

میزان خطای هر قاعده[3] در جدول ۱ آورده شده است. بر اساس رابطه (۲)، میانگین عددی اختلاف مجذور خطاهای موزون خروجی‌های به‌دست‌آمده از نرم‌افزار با خروجی‌های مورد انتظار برابر با ۰/۰۱۷ محاسبه گردید.

$$AE = \frac{\sum_{i=1}^{n} E_i}{N} \qquad \text{رابطه ۲)}$$

[1]. The output obtained from the rule (OBFR)
[2]. Predictable output of fuzzy system(POFS)
[3]. E_i

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-05-27]

همچنین، خطای نسبی[1]، خطای هر قانون را به مقیاس خروجی مورد انتظار مرتبط می‌کند و درک بهتری از اهمیت خطا به دست می‌دهد. خطای نسبی هر قانون از رابطه ۳ محاسبه گردید:

$$RE_i = \left|\frac{POFS_i - OBFR_i}{POFS_i}\right| , i = 1,2 \dots n$$ رابطه ۳)

جدول ۲. نتایج اعتبارسنجی مدل بروش آزمون قواعد نهایی سیستم

خطا	خروجی سیستم استنتاج	خروجی قابل پیش‌بینی	شماره قانون
۰/۶	۱۱/۴	۱۲	۱
۰/۶	۱۱/۴	۱۲	۲
۰	۱۲	۱۲	۳
۰/۵	۱۱/۴	۱۱/۹	۴
۰	۱۱/۴	۱۱/۴	۵
۰	۱۱/۴	۱۱/۴	۶
۰	۱۱/۴	۱۱/۴	۷
۰/۴	۱۱/۸	۱۱/۴	۸
۰	۱۱/۴	۱۱/۴	۹
۰/۳	۱۱/۴	۱۱/۷	۱۰
۰/۴	۱۱/۴	۱۱/۸	۱۱
۰/۴	۱۱/۴	۱۱/۸	۱۲
۰	۱۱/۴	۱۱/۴	۱۳
۰	۱۱/۴	۱۱/۴	۱۴
۰	۱۱/۴	۱۱/۴	۱۵
۰/۱	۱۱/۴	۱۱/۵	۱۶
۰	۱۱/۴	۱۱/۴	۱۷
۰	۱۱/۴	۱۱/۴	۱۸
۰/۳	۱۱/۴	۱۱/۱	۱۹
۰/۳	۱۱/۴	۱۱/۱	۲۰
۰	۱۱/۷	۱۱/۷	۲۱
۰/۰۱۷	میانگین		

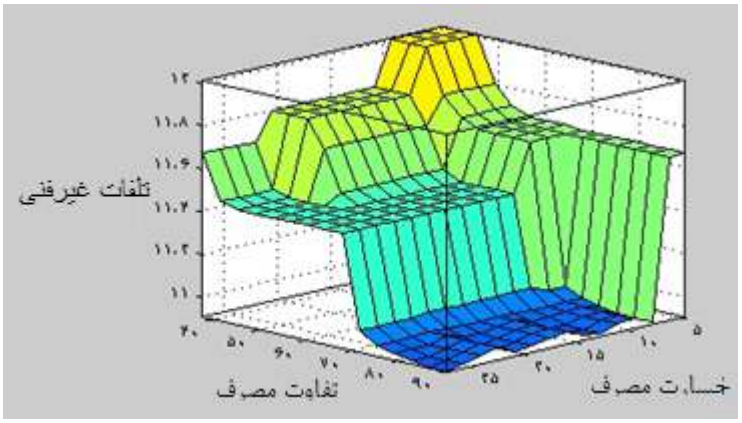
(منبع: یافته‌های پژوهش)

با توجه به نتایج جدول ۲، بیشتر خطاهای بین خروجی سیستم استنتاج و خروجی قابل پیش‌بینی متناظر هر قانون، صفر یا نزدیک به صفر است و هیچ الگوی صعودی یا نزولی، تناوبی و خوشه‌بندی در داده‌های خطاهای قوانین مذکور مشاهده نمی‌شود و درنتیجه، خطاها به‌طور تصادفی توزیع شده‌اند. بعلاوه، با اجرای تحلیل خطای نسبی تک‌تک قواعد، میانگین خطای نسبی ۰/۰۲۰۹۵ حاصل گردید که نشان می‌دهد به‌طور متوسط، خطاها حدود ۲/۱٪ از مقدار واقعی خروجی هستند. این مقدار نسبتاً کم است و نشان می‌دهد که مدل در کل، دقت قابل قبولی دارد. همچنین، انحراف معیار خطای نسبی ۰/۰۱۹۹۶ نشان می‌دهد که پراکندگی خطاها حول میانگین کم است. قوانین فازی و توابع عضویت بر اساس تجربه و قضاوت خبرگان داخل شرکت توزیع تعیین شده‌اند.

علاوه بر آن، به‌منظور بررسی تفاوت بین دو گروه داده خروجی سیستم استنتاج و خروجی قابل پیش‌بینی، از آزمون یو- من ویتنی[2] استفاده شد. ازآنجایی‌که p-value حاصله برابر با ۰/۰۴۶۴۲ و بیشتر از سطح معنی‌داری ۰/۰۱ است، با اطمینان ۹۹٪ نمی‌توان نتیجه گرفت که بین پیش‌بینی‌های مدل فازی پژوهش و مقادیر مورد انتظار، تفاوت قابل‌توجهی وجود دارد. این نتایج نشان می‌دهد که هر قانون به‌درستی عمل می‌کند و با دانش خبرگان و شرایط محلی سازگار است.

۲-۴. آزمون رفتار مدل

برای بررسی بیشتر صحت سیستم از آزمون رفتار مدل که شامل نمودار سه‌بعدی استفاده‌شده است. شکل ۵ شبیه‌سازی سیستم از درجه میزان تلفات غیرفنی را با فرض آزاد بودن متغیرهای خسارت مصرف و تفاوت مصرف نشان می‌دهد.



شکل ۵. رفتار متغیر میزان تلفات غیر فنی با تغییر در دو متغیر ورودی خسارت مصرف و تفاوت مصرف

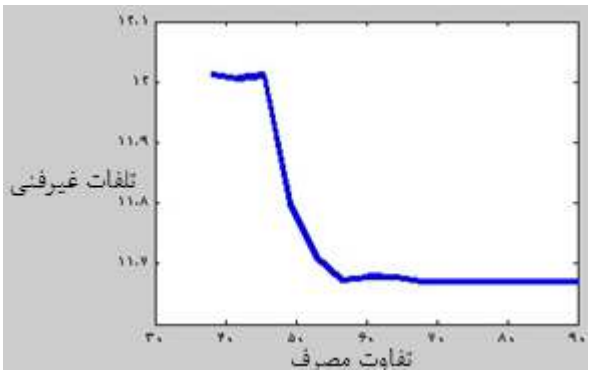
با توجه به شکل ۵، مشخص می‌گردد که با افزایش میزان خسارت مصرف اعمال‌شده و تعویض لوازم اندازه‌گیری و صدور تفاوت مصرف ناشی از خطای کنتور و اشتباه در محاسبات (خسارت مصرف) ازیک‌طرف و افزایش میزان صدور تفاوت مصرف ناشی از اشتباه در

[1] .Relative Error

[2]. Mann-Whitney U

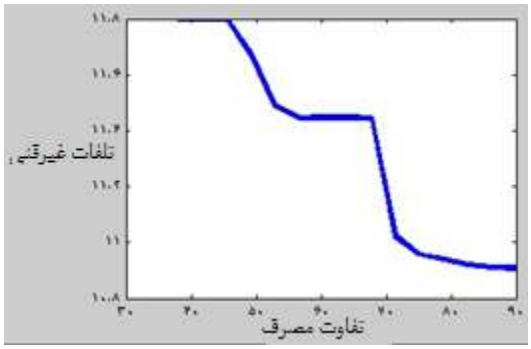
[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-05-27]

ضرایب (تفاوت مصرف) از طرف دیگر، میزان تلفات غیرفنی انرژی الکتریکی کاهش می‌یابد.



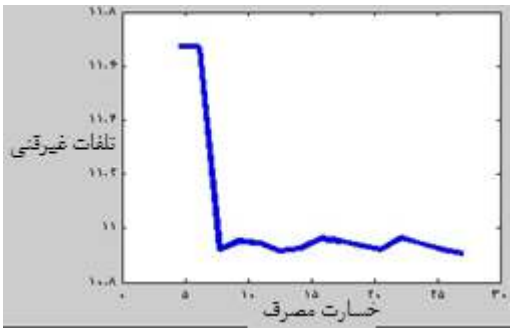
شکل ۶. نمای سطح تأثیر تفاوت مصرف بر تلفات غیرفنی انرژی با مقدار ثابت خسارت مصرف با مقدار ۴/۵ میلیون کیلووات ساعت

در شکل ۶، میزان خسارت مصرف با عدد ۴/۵ میلیون کیلووات ساعت ثابت فرض شده و تأثیر تغییرات تفاوت مصرف در تلفات غیر فنی انرژی الکتریکی طبق نمودار مشخص شده است. با افزایش میزان صدور تفاوت مصرف ناشی از اشتباه در ضرایب (تفاوت مصرف)، تلفات غیرفنی انرژی الکتریکی تنزل پیدا می‌کند و این شیب نزولی تا زمانیکه تفاوت مصرف به حدود ۵۵ میلیون کیلووات ساعت می‌رسد ادامه می‌یابد و پس‌ازآن به ثبات می‌رسد. بنابراین، مشخص می گردد که در این حالت، دامنه تأثیر اعمال تفاوت مصرف بر کاهش تلفات غیرفنی حدود ۰/۵ میلیون کیلووات ساعت (۱۲/۵-۱۱) است.



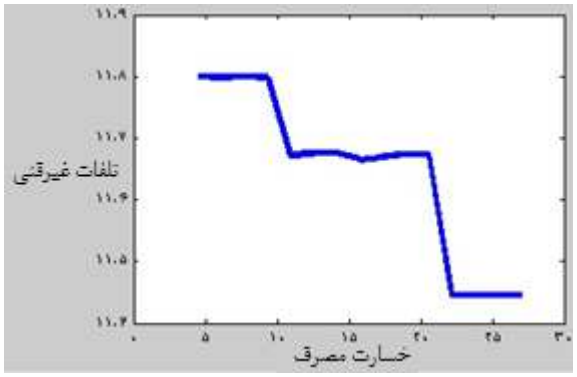
شکل ۷. نمای سطح تأثیر تفاوت مصرف بر تلفات غیرفنی انرژی با مقدار ثابت خسارت مصرف با مقدار ۱۳ میلیون کیلووات ساعت

در شکل ۷، خسارت مصرف با مقدار ۱۳ میلیون کیلووات ثابت فرض شده و تأثیر تفاوت مصرف بر تلفات انرژی قابل‌رؤیت است. مشخص است که با افزایش میزان تفاوت مصرف تا حدود ۵۰ میلیون کیلووات ساعت، تلفات غیرفنی تا حدود ۱۱/۴ میلیون کیلووات ساعت کاهش می‌یابد و با فرض اعمال خسارت مصرف در حدود ثابت ۱۳ میلیون کیلووات ساعت، این تغییرات در دامنه‌های مختلف، به‌صورت پلکانی نزولی ادامه می‌یابد. بنابراین، مشخص می گردد که در این حالت، دامنه تأثیر اعمال تفاوت مصرف بر کاهش تلفات غیرفنی حدود ۰/۹ میلیون کیلووات ساعت (۸/۹-۱۱/۱۰) است.



شکل ۸: نمای سطح تأثیر خسارت مصرف بر تلفات غیرفنی انرژی با مقدار ثابت تفاوت مصرف با مقدار بیشینه ۹۰ میلیون کیلووات ساعت

در شکل ۸، تفاوت مصرف در بیشترین مقدار خود (۹۰) فرض شده و تأثیر خسارت مصرف با این پیش‌فرض بر تلفات غیرفنی انرژی الکتریکی مشاهده می‌گردد. نمودار ۸ گویای این واقعیت است که با فرض اعمال بیشترین تفاوت مصرف، افزایش اعمال خسارت مصرف تا حدود ۷/۵ میلیون کیلووات ساعت، به‌سرعت تلفات غیرفنی انرژی الکتریکی را به حدود ۱۰/۹ میلیون کیلو وات ساعت می رساند. و پس‌ازآن بدون تغییر معناداری این سطح از تلفات غیرفنی انرژی الکتریکی ادامه می‌یابد. بنابراین، مشخص می گردد که در این حالت، دامنه تأثیر اعمال خسارت مصرف بر کاهش تلفات غیرفنی حدود ۰/۶۵ میلیون کیلووات ساعت (۶۵/۹-۱۱/۱۰) است.



شکل ۹: نمای سطح تأثیر خسارت مصرف بر تلفات غیرفنی انرژی با مقدار ثابت تفاوت مصرف با مقدار عملکرد ۵۱ میلیون کیلووات ساعت

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-05-27]

در شکل ۹، مقدار تفاوت مصرف در عدد ۵۱ میلیون کیلووات ساعت که مبنای عملکرد شرکت توزیع برق استان آذربایجان غربی است ثابت فرض شده و تأثیر عامل خسارت مصرف در تلفات انرژی مشاهده می‌گردد. با توجه به نتایج مدل‌سازی در شکل ۹، مشخص می‌گردد که با افزایش میزان خسارت مصرف، کاهش میزان تلفات غیرفنی انرژی الکتریکی از الگوی نزولی پلکانی در دامنه‌های معین تبعیت می‌کند. چنانچه میزان اعمال خسارت مصرف بین ۵ تا ۸ میلیون کیلووات ساعت باشد میزان تلفات غیرفنی انرژی الکتریکی در سطح حدود ۱۱/۸ میلیون کیلووات ساعت بدون تغییر معناداری باقی می‌ماند. با افزایش سطح خسارت مصرف به مقدار تقریبی ۱۰ میلیون کیلووات ساعت، کاهش معنادار میزان تلفات غیرفنی انرژی الکتریکی به سطح حدود ۱۱/۱ میلیون کیلووات ساعت مشاهده می‌گردد و پس‌ازآن با افزایش میزان اعمال خسارت مصرف بین ۱۰ تا ۲۰ میلیون کیلووات ساعت باشد میزان تلفات غیرفنی انرژی الکتریکی در همان سطح قبلی حدود ۱۱/۱ میلیون کیلووات ساعت بدون نوسان معناداری ادامه می‌ماند و از میزان اعمال خسارت مصرف بالای ۲۰ تا ۲۱ میلیون کیلووات ساعت، میزان تلفات غیرفنی انرژی الکتریکی به مقدار کمینه ۱۱/۳ میلیون کیلووات ساعت کاهش می‌یابد و پس‌ازآن بدون تغییر معناداری این سطح از تلفات غیرفنی انرژی الکتریکی ادامه می‌یابد. بنابراین، مشخص می گردد که در این حالت، دامنه تأثیر اعمال خسارت مصرف بر کاهش تلفات غیرفنی حدود ۰/۵ میلیون کیلووات ساعت (۸/۳-۱۱/۱۱) است.

5. نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، متغیرهای ورودی تحت عناوین اعمال خسارت مصرف و تفاوت مصرف جهت بررسی غیر فنی انرژی الکتریکی در شرکت توزیع برق استان آذربایجان غربی استفاده شده است. با عنایت به اینکه تأثیرات عوامل خسارت مصرف و تفاوت مصرف اظهارشده بر تلفات غیر فنی به‌طورمعمول توسط خبرگان و مدیران شرکت توزیع نیروی برق به‌صورت مقادیر عددی و کلامی اظهار می‌گردد، مدل مناسب تلفات غیر فنی انرژی الکتریکی می‌تواند به‌صورت یک مدل استنتاج فازی تعریف شود. با واکاوی حساسیت مدل، مشخص گردید که سیستم استنتاج فازی بکار رفته، روابط منطقی بین دروندادها و برونداد سیستم کاهش تلفات غیر فنی انرژی الکتریکی را به نمایش می‌گذارد و به‌کارگیری این سیستم می‌تواند برای شرکت‌های توزیع که همواره به دنبال سریع‌ترین و کم‌هزینه‌ترین راه در جهت بهبود آمار تلفات خود می‌باشند. راهگشای تحلیل و کاهش تلفات غیر فنی باشد.

نتایج مدل پژوهش گویای این مطلب است که اعمال تفاوت مصرف می‌تواند بیشترین میزان حساسیت را در کاهش تلفات غیر فنی انرژی الکتریکی داشته باشد. به بیان دقیقتر، مشخص گردید که بیشینه دامنه تأثیر اعمال تفاوت مصرف بر کاهش تلفات غیرفنی حدود ۰/۹ میلیون کیلووات ساعت است در حالیکه بیشینه دامنه تأثیر اعمال خسارت مصرف بر کاهش تلفات غیرفنی حدود ۰/۶۵ میلیون کیلووات ساعت است. بنابراین، اعمال تفاوت مصرف بیشترین تأثیر را بر تلفات غیر فنی نشان می‌دهد. همچنین مشخص می‌گردد که تلفات غیر فنی انرژی الکتریکی حساسیت به‌مراتب کمتری به تغییرات خسارت مصرف نسبت به تفاوت مصرف از خود نشان می‌دهد.

بر اساس نتایج مدل‌سازی انجام‌یافته، استفاده از کنتورهای هوشمند با قابلیت قرائت از راه دور و دقت بالا، استقرار یک سیستم مکانیزه برای مدیریت فرآیند تعویض کنتورها و ثبت دقیق اطلاعات مربوط به مصرف، آموزش و ارتقای مهارت کارکنان مسئول تعویض کنتورها و انجام محاسبات مصرف، بازبینی دوره‌ای کنتورها و شناسایی کنتورهای معیوب به‌صورت پیشگیرانه پیشنهاد می‌گردد. علاوه بر آن، پیشنهاد می‌شود شرکت توزیع برق از سیستم‌های اندازه‌گیری هوشمند (AMI) استفاده نماید. این سیستم‌ها امکان قرائت از راه دور کنتورها، تشخیص سریع‌تر کنتورهای معیوب و مدیریت بهینه مصرف انرژی را فراهم می‌کنند. همچنین نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تکیه بیش‌ازحد به شاخص‌های غیر فنی تلفات انرژی الکتریکی کمک شایانی به کاهش تلفات کلی شرکت‌ها نخواهد داشت و شرکت توزیع برق باید در تخصیص منابع مالی برای کاهش تلفات انرژی، به تلفات فنی نیز توجه بیشتری داشته باشد. ازاین‌رو، پیشنهاد می‌شود شرکت توزیع برق پروژه‌های کاهش تلفات را بر اساس میزان تأثیرگذاری آن‌ها بر کاهش هزینه‌ها و افزایش سودآوری اولویت‌بندی کند. به‌عنوان‌مثال، پروژه‌هایی که منجر به کاهش تلفات غیرفنی ناشی از تفاوت مصرف می‌شوند، باید در اولویت قرار گیرند.

عملکرد شرکت توزیع برق آذربایجان غربی با لحاظ بهترین و بدترین عملکرد در زمینه اعمال تفاوت و خسارت مصرف، کمی بیش از ۱ درصد در نوسان بود. حال‌آنکه در سند چشم‌انداز منتهی به سال ۱۴۰۴، عملکردی در حدود ۸ درصد مورد انتظار است. این امر نشان می‌دهد که تمرکز صرف بر شاخص‌های غیر فنی، بدون توجه به تلفات فنی، کافی نیست. در پژوهش‌های آتی جداسازی واقعی عددی تلفات در بخش فنی و غیر فنی در سطح شرکت توزیع برق آذربایجان غربی به‌منظور تعیین سهم هر یک و تعیین اولویت‌های سرمایه‌گذاری در هر بخش می‌تواند جزء اولویت‌های پژوهشی محققین باشد.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-05-27]

منابع

Almeida, G. M., Silva, A. C., & Souza, J. R. (2023). Machine Learning Approaches for Electricity Theft Detection Using Smart Meter Data. *Energy Reports*, 9, 1122-1135.

Viegas, JL.; Esteves, PR.; Vieira, SM., (2018) Clustering-based novelty detection for identification of non-technical losses- Journal of Electrical Power & Energy, Vol 101, pp. 301-310.

Monedero, I.; Biscarri F.; León C.; Guerrero J.I.,Biscarri J.; Millán R., (2012). Detection of frauds and other non-technical losses in a power utility using Pearson coefficient, Bayesian networks and decision trees, *Int J Electr Power Energy Syst,* 34 (1) , pp. 90-98.

Ghasemi, A.; Gitizadeh,M., (2018). Detection of illegal consumers using pattern classification approach combined with Levenberg-Marquardt method in smart grid, Vol 99, pp. 363-375.

Depuru, S.;lingfeng, w.; Devabkaktuni, V.; Robert, G. , (2013). High performance computing for detection of electricity theft, *INTERNATIONAL JOURNAL OF ELECTRICAL POWER & ENERGY SYSTEMS,* Volume 47, pp. 21-30.

Messinis, G.; Hatziargyriou,H., (2018). Review of non-technical loss detection methods, *Electric Power Systems Research,*Vol 158, pp 250-266

Monedero, I., Biscarri, F., & León, C. (2024). Bayesian Network-Based Approach for Non-Technical Loss Pattern Discovery in Power Distribution Systems. *Applied Energy*, 362, 121234

Nwafor, O., Okafor, E., Aboushady, A. A., Nwafor, C., & Zhou, C. (2023). *Explainable Artificial Intelligence for Prediction of Non-Technical Losses in Electricity Distribution Networks*. IEEE Access, 11, 73104–73115.

Perea, E. ; Ruiz, N.; Cobelo, I.; Lizuain,Z.; Carrascal, A., (2016). A novel optimization algorithm for efficient economic dispatch of Combined Heat and Power devices, *Energy and Buildings,* vol. 111, pp. 507-514.

Rahman, M. M., Islam, S., & Hossain, M. (2023). Artificial Neural Network for Non-Technical Loss Detection in South Asian Power Systems. *Electric Power Systems Research*, 218, 109987.

Sadeghi, M., Rahimi, S., & Ghasemi, A. (2023). Fuzzy Modeling and Prioritization of Factors Affecting Non-Technical Losses in Power Distribution Networks. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 150, 109012.

Sashirekha, A.; Pasupuleti, J.,Moin, N.; Tan, C., (2013). "Combined heat and power (CHP) economic dispatch solved using Lagrangian relaxation with surrogate subgradient multiplier updates, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 44, no. 1, pp. 421-430.

Vahabzadeh, A., Kasaeian, A., Monsef, H., & Aslani, A. (2020). A Fuzzy-SOM Method for Fraud Detection in Power Distribution Networks with High Penetration of Roof-Top Grid-Connected PV. *Energies*, *13*(5), 1287.

Wang, Y., Zhang, L., & Li, J. (2024). Deep Learning-Based Detection of Non-Technical Losses in Smart Energy Distribution Networks. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 15(1), 112-124.

بشکنی، م؛ اعظمی، س، (خرداد ۱۳۹۸). *بررسی تشخیص تلفات غیر فنی و سرقت انرژی در شبکه‌های توزیع برق با استفاده از هوش مصنوعی*، سومین همایش ملی دانش و فناوری مهندسی برق، کامپیوتر و مکانیک ایران.

بهرامی آذر، ع، (۱۳۹۷)، *بررسی تطبیقی عوامل دستکاری کنتور و لوازم اندازه گیری در ایران و جهان و ارائه راهکارهای لازم برای کاهش تلفات ناشی از سرقت برق بر اساس تجربیات شرکت توزیع برق* آذربایجان غربی، ششمین کنفرانس منطقه ای سیرد، تهران.

جانقلی، م؛ باقری فرد، م، (۱۴۰۲). *شناسایی الزامات اجرای اثربخش استراتژی کاهش تلفات برق در شرکت توزیع نیروی برق.* کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های مدیریت و علوم انسانی در ایران، تهران، ایران.

رجبانی، ن: ثقفی، ف: شکوری گنجوی، ح: کاظمی، ع، (۱۳۹۹). ارائه مدل مفهومی شبکه اهداف کاهش مصرف انرژی برق و گاز خانگی با استفاده از روش تفکر مبتنی بر ارزش. *مطالعات راهبردی سیاست‌گذاری عمومی*، (۳۴)۱۰، صص ۱۵۰-۱۷۱.

رجبی مشهدی، ح، (۱۳۹۵). برآورد تلفات غیر فنی در شبکه توزیع با استفاده از تخمین بار در شرایط اطلاعات محدود، ۱۳۹۵، پایان‌نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی هومن فیروزی، دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد.

روشن میلانی، ک؛ ادهم، ب؛ دانشور، م؛ عجمی، ع، (فروردین ۱۳۹۴). *بررسی خطای کنتورهای دیجیتال در اندازه‌گیری انرژی الکتریکی تحت شرایط اغتشاشات هارمونیکی*، بیستمین کنفرانس توزیع برق، زاهدان، ایران.

خداپرست پیرسرایی، ی، (۱۴۰۱). تحلیلی بر ابعاد کاهش تلفات در تولید، توزیع و مصرف برق کشور، *ماهنامه امنیت اقتصادی*، (۱۰)۶، صص ۱۹-۲۸.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-05-27]

شاهی مریدی، س؛ موسوی راد، س؛ میرحسینی، م؛ نیک پور، ح، (۱۴۰۰). اولویت‌بندی عوامل تلفات برق با ترکیب روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس (مطالعه موردی: شرکت توزیع نیروی برق جنوب استان کرمان)، *نشریه کیفیت و بهره‌وری صنعت برق ایران*، (۱۰)۳، صص۸۴-۷۵.

صادقی گرمارودی، ا، (۱۳۹۵). بررسی سرقت انرژی در سیستم‌های توزیع برق، پایان‌نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی رضا دشتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جاسب.

صمصامی، س، (۱۳۹۸). ارزیابی تأثیر عوامل مؤثر بر کاهش تلفات غیرفنی توزیع انرژی الکتریکی (مطالعه موردی: شرکت توزیع نیروی برق آذربایجان غربی)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مدیریت اجرایی به راهنمایی امیرحسین عبدالعلی پور، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوی.

مرادخانی، ا؛ رشیدبیگی، ج، (۱۳۹۸). تخمین تلفات شبکه توزیع فشار ضعیف در حضور سرقت انرژی مبتنی بر اطلاعات موجود در سیستم GIS، *مهندسی برق (دانشکده فنی دانشگاه تبریز)*، (۴۹)۴، (پیاپی ۹۰)، صص ۱۸۳۶-۱۸۲۷.

مستوفی، ز، (اسفند ۱۳۹۴). *بررسی تلفات غیر فنی در شرکت توزیع نیروی برق جنوب استان کرمان و ارائه راهکار جهت کاهش آن*، پنجمین کنفرانس بین‌المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، تهران، ایران.

میرزادی گوهری، م، (۱۳۹۳)، شناسایی مشترکین اثرگذار بر تلفات غیر فنی شرکت توزیع برق با استفاده از داده‌کاوی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق، با راهنمایی یحیی زارع مهرجردی، دانشگاه علم و هنر.

میرنظامی، س؛ رجبی، س؛ مریدی فریمانی، ف، (۱۳۹۹). تحلیل آثار تورمی افزایش قیمت برق در تعرفه‌های مختلف مصرف بر فعالیت‌های اقتصادی و خانوارها با استفاده از روش داده-ستانده، *تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی*، (۴۱)۱۱، صص ۱۴۴-۹۱.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-05-27]