شناسایی منابع سرقت برق با رویکرد دینامیکی خوشه‌بندی فازی (مطالعه موردی: استان آذربایجان غربی)

رحیم دباغ[1]، دانشیار، مهرداد جزملکی[2]، کارشناس ارشد،

۱- دانشکده مهندسی صنایع- دانشگاه صنعتی ارومیه - ارومیه- ایران
r.dabbagh@uut.ac.ir
۲- دانشکده مهندسی صنایع- دانشگاه صنعتی ارومیه- ارومیه- ایران
m.jozmaleki@ine.uut.ac.ir

چکیده: کاهش تلفات سرقت برق، بخش قابل توجهی از مزایای بالقوه ناشی از پیاده‌سازی مفهوم شبکه هوشمند است. این مقاله روش مبتنی بر داده‌ها را برای شناسایی مکان‌های با مصرف غیرعادی برق پیشنهاد می‌کند. روش تشخیصی جدید مبتنی بر فاصله، نمونه‌های داده جدید را به عنوان مشترکین متخلف طبقه‌بندی می‌کند، اگر فاصله آنها تا نمونه‌های اولیه مصرفی قابل توجه باشد. الگوریتم پیشنهادی براساس تعداد خوشه اولیه و شاخص مشخصی تعداد خوشه نهایی را تعیین می‌کند. این روش بر اساس الگوریتم ابتکاری خوشه‌بندی فازی دینامیکی انجام شده است. چارچوب تشخیصی روش جدید نقص مشترکین به اشتباه متخلف درنظر گرفته شده را رفع می‌کند. در این مقاله، دو بخش منطقه‌ای و مشترکین شهرستان ارومیه بین سال‌های ۱۳۸۹ الی ۱۳۹۶ بررسی شده و به عنوان یک روش توسعه داده شده کارآمد بدون نظارت معرفی می‌شود.

واژه های کلیدی: سرقت برق، خوشه‌بندی فازی دینامیکی، شناسایی مکان‌های بدهنجار، برق منطقه‌ای، امور مشترکین برق

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۷/۱۲/۱۸

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۸/۱۱/۱۲

نام نویسنده‌ی مسئول : رحیم دباغ

نشانی نویسنده‌ی مسئول : آذربایجان غربی- ارومیه

۱- مقدمه

امروزه با رشد و پیشرفت علم و فناوری، جمعیت و صنایع مربوطه الزام به مصرف انرژی الکتریکی به‌طور قابل توجهی گسترش یافته است. از طرفی دیگر، صنعت برق از ستون‌های مهم صنعت و اقتصاد هر کشوری است. سرقت اصولا کنشی است نسبتا عقلانی و حساب شده که طبق برنامه قبلی و حساب شده که طبق برنامه قبلی و تصمیم‌گیری سرقت برق در شبکه و انشعابات غیرمجاز یک رفتار ناهنجار اجتماعی و یکی از جرایم رایج در حوزه انرژی هستند. از یکسو سرقت انرژی الکتریکی و از سوی دیگر سرقت از تجهیزات شبکه‌های برق علاوه بر اینکه هر ساله هزینه‌های سنگینی برای شرکت برق دربردارد و هر ساله مقدار زیادی از وقت و انرژی کارکنان را می‌گیرد، خسارات جانی قابل ملاحظه‌ای را هم در پی دارد. با توجه به اهمیت مبحث سرقت برق که باعث مشکلات اقتصادی و همچنین فنی می‌شود، نیاز به روشی مطمئن برای تشخیص انشعابات غیرمجاز و سواستفاده از داده‌های مشترکین برق در سال‌های اخیر احساس می‌شود[1].

بعضی از روش‌های سرقت انرژی به صورت زیر انجام می‌گیرد : ۱- انداختن قلاب کابل بر روی سیم‌های شبکه هوایی: رایج‌ترین روش سرقت، انداختن کابل روکش‌دار قلاب مانند برروی سیم‌های فاز و نول شبکه‌های هوایی است. در مواقعی که سارقان فرصت را مناسب ببینند اقدام به این عمل می‌کنند و به هنگام آمدن مامورین ،کابل مذکور را جمع‌آوری می‌کنند[2]. ۲- وارد نمودن کابل مخفی و زیرزمینی از تابلوی توزیع عمومی و جعبه تقسیم: بعضی افراد متخلف با وارد آوردن کابل مخفی و به صورت زیرزمینی در تابلو توزیع عمومی یا جعبه تقسیم براحتی از برق خارج از کنتور استفاده می‌کنند. ۳- انشعاب گرفتن از کابل سرویس ورودی کنتور مشترک: در این روش سارقان با کمک کابل دوم که به کابل سرویس ورودی کنتور متصل است اکثر مصارف پرمصرف خود را از این طریق مصرف می‌نماید تا کنتور کمتر از مقدار واقعی ثبت کند. ۴- دستکاری کنتورهای برق آنالوگ ۵- سروته جازدن دستگاه کنتور در سوکت: در این روش سارقان طوری برنامه خود را تنظیم می‌کنند که چند روز قبل از آمدن مامور برق برای قرائت، اقدام به برداشتن پلمپ و در آوردن کنتور از داخل سوکت نموده، سپس آنرا سروته کرده و مجددا داخل سوکت می‌گذارد. با این کار کنتور راکد شده و شماره‌انداز کنتور علی‌رغم مصرف انرژی توسط مشترک بعلت خلاصی محور دیسک میزان مصرف را ثبت نمی‌کند. ۵- منحرف کردن کنتور و زیرکنتور از حالت عمود بر زمین: در این روش خلافکار با کج کردن کنتور و زیر آن و ایجاد انحرافی بیش از ۲ درجه از حالت عمود بر زمین، عملکرد کنتور را دچار اخلال میکند. در این روش برخلاف روش قبل نیازی به دستکاری پلمپ نیست و کشف آن بسیار مشکل است[3] ۶- منحرف کردن کنتور و زیرکنتور از حالت عمود بر زمین: در این روش خلافکار با کج کردن کنتور و زیر آن و ایجاد انحرافی بیش از ۲ درجه از حالت عمود بر زمین، عملکرد کنتور را دچار اخلال میکند. در این روش برخلاف روش قبل نیازی به دستکاری پلمپ نیست و کشف آن بسیار مشکل است ۷- دستکاری پلمپ کمربندی کارخانه در کنتورها: برخی از سارقین با باز کردن پلمپ کمربندی که به جهت تست صحت کار کنتور توسط کارخانجات سازنده تعبیه شده، به پشت کنتور دسترسی پیدا کرده و با برداشتن پست ارتباطی، سیم‌پیچ ولتاژ را از مدار خارج می‌کنند. در بعضی موارد افراد با کمک یک میله پلاستیکی باریک و شیشه‌ای رنگ، سیم‌پیچ‌ها را عایق یا پل ارتباطی را روی آن میگذارند. ۸- برعکس کردن چرخش دیسک کنتور: برخی از سارقان با تعویض فاز و نول ورودی و استفاده از یک سیستم زمین مستقل (لوله آب یا چاه ارت) چرخش دیسک را برعکس کرده و هنگامی که شماره کنتور به حداقل مصرف می‌رسد وضعیت کنتور را به حالت اول بازمی‌گردانند[4]. ۹- تخلفات غیرالکتریکی: اقداماتی نظیر ایجاد سوراخ در قاب کنتور و فرو بردن سنجاق جلوی دیسک آلومینیومی و یا چسباندن یک آهن‌ربای قوی میدان مغناطیسی کنتور را دچار اخلال می‌کند و حتی مشترکین به عمد و تصادفی جلوه دادن آن، شیشه کنتور خود را می‌شکنند[5]. ۱۰- دستکاری کنتورهای برق دیجیتال: امروزه کنتورهای آنالوگ جای خود را به کنتورهای دیجیتال داده‌اند. در ظاهر چون در این کنتورها بجای استفاده از سیم‌پیچ و صفحه فلزی از کیت‌های الکترونیکی استفاده می‌شود، از نفوذ سارقان در امان است ولی متاسفانه اینطور نیست. اتصال کوتاه کردن ترمینال‌های فاز ورودی و یا حتی ترمینال‌های داخل خود کنتور، دستکاری در قطعات الکترونیکی موجود در آنها نظیر خازن‌ها و دیودها، میتواند از جمله موارد اخلال در قرائت این نوع کنتورها توسط سارقین باشد. حتی بعضی سارقین حرفه‌ای با هک کردن خود کنتور با استفاده از نرم‌افزارهای خاص و یا حتی به کمک لیمیت کنترل بعضی از تلویزیونهای موجود عملکرد کنتورهای دیجیتال را دچار اخلال می‌کنند[6]. ۱۱- سرقت انرژی از کنتورهای هوشمند(AMI) : به دلیل میزان و حجم تقاضای انرژی و هزینه‌های گزاف تولید وتوزیع برق و همچنین یکسویه بودن و نداشتن بازخورد در سیستم‌های سنتی، نیاز به تغییر فرایندها احساس می‌شد. در این سیستم سامانه‌های مبتنی بر ترکیب فناوری اطلاعات و ارتباطات با توانمندیهای پردازش رایانه‌ای و کنترل سیستم‌های الکتریکی و استفاده از سخت‌افزارهای جدید اندازه‌گیری، زیرساخت‌های اصلی این شبکه را تشکیل می‌دهد[7].

با توجه به راه‌های سرقت این منبع انرژی، وجود یک راهکار برای شناسایی مکان‌های بدهنجار ضروری به نظر می‌رسد. در ادامه به رویکردهای معرفی شده در این زمینه می‌پردازیم. در آخر بخش بعد به اهمیت رویکرد این مقاله پرداخته و دلایل برتری این روش به الگوریتم‌های دیگر را به دلیل دینامیکی بودن رویکرد، بیان می‌کنیم.

۲- مرور ادبیات

مرجع [8] کم تردد بودن و خلوت بودن خیابان، راه فرار خوب داشتن، نوع شبکه مورد سرقت یعنی مس بودن یا آلومینیوم و ارزش اقتصادی و ریسک پذیر بودن محل سرقت را چهار عامل اصلی در سرقت شبکه می‌داند. پس با استفاده از اطلاعات موقعیت خیابان‌ها از GPS و انشعاب‌های گرفته شده از شبکه از GPS، اقتصادی‌ترین روش کاهش سرقت از شبکه را پیشنهاد داده است. همچنین راهکارهایی نظیر نصب چراغ در خیابان‌های کم نور و یا فاقد نور، نصب اسپیسر بر روی شبکه‌ها، تبدیل شبکه به کابل خودنگهدار و تبدیل شبکه مسی به آلومینیومی را ارائه کرده است.

مرجع [7] عملکرد سیستم تشخیص نفوذ در تشخیص حملات مربوط به تغییر داده در شبکه هوشمند را با استفاده از روش مبتنی بر یادگیری ماشین، بهبود دادند. این روش از دو بخش موتور تشخیص حملات با استفاده از چهار موتور ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی MLP، درخت تصمیم و k-نزدیکترین همسایه ، و در بخش دوم نتایج بخش اول با کمک الگوریتم تلفیقی AdaBoost بهبود می‌یابد. نتایج حاکی از آن بوده که دقت تشخیص و نرخ مثبت کاذب این روش در مقایسه با سایر روش‌ها به ترتیب ۸۶/۷۱٪ و ۱۳/۳٪ بهتر شده است.

مرجع [9] از لحاظ آماری به بررسی پدیده سرقت برق در شبکه توزیع برق شهرستان مسجد سلیمان پرداخته و راهکارهای نوین را پیشنهاد کرده است. همچنین نشان داده است که سرقت از تجهیزات شبکه برق مختص شبکه‌های توزیع نیست بلکه بخش انتقال و تولید را نیز شامل می‌شود.

مرجع [10] ساختار کلی شبکه‌های توزیع، شبکه‌های هوشمند، لوازم اندازه‌گیری هوشمند و مزایای و معایب آن را مورد بررسی قرار داده و نقاط ضعف این سیستم را از دیدگاه بازرسی توزیع با دید عملی و با توجه به کمبود تجهیزات و ضعف ساختارهای موجود در کشور مورد بررسی قرار داده است. در آخر نیز چگونگی سرقت برق در این سیستم را مورد بحث قرار داده و راهکارها و پیشنهادات لازم را جهت مقابله با آن ارائه کرده است.

مرجع [1] به عوامل و شرایط مادی و خارجی رکن مادی جرم پرداخته که فراهم آمدن اینها در کنار یکدیگر باعث تحقق جرم در عالم خارج می‌شود. در خصوص سرقت نیروی برق نیز به مطالعه حقوقی و پیشگیری آن پرداخته است.

مرجع [11] به موضوع تخریب و سرقت شبکه‌های توزیع برق پرداخته است و علت موفق نبودن نیروی انتظامی در اقدامات پیشگیرانه را طراحی غلط محیطی شبکه‌های توزیع برق و همچنین گسترش آماج بزه در سطح شهر و روستا و افزایش منافع ناشی از سرقت در اثر افزایش قیمت فلزات مخصوصا فلز مس می‌داند. پس از این رو راهکارهای پیشگیری وضعی، انتظامی و اجتماعی را پیشنهاد می‌دهد.

مرجع [12] برای تشخیص سرقت برق در زیرساخت اندازه‌گیری پیشرفته (AMI) شبکه هوشمند روشی دو مرحله‌ای ارائه کردند. در مرحله اول داده‌های مصرفی برق هر مشترک خوشه‌بندی می‌شود و سپس این داده‌های خوشه‌بندی شده با استفاده از الگوریتم SVM به دو دسته نرمال و غیرنرمال دسته‌بندی می‌شوند. مرحله دوم با استفاده از نتایج دسته‌بندی SVM و میزان مصرف برق در ترانسفورماتور و کنتور هوشمند، با حفظ حریم خصوصی مشتریان، دقت تشخیص را با الگوریتم پیشنهادی بهبود می‌دهد.

مرجع [13] برای تشخیص تلفات غیرفنی از ماشین بردار پشتیبان استفاده کردند. سپس با استفاده از اطلاعات برق مصرفی هر شخص و دیگر ویژگی‌ها، هرگونه بی‌تناسبی در میانگین مصرف برق را تشخیص می‌دهد و مشتریان را به دو گروه درست‌کار و سارق تقسیم‌بندی می‌کند. همچنین پارامترهای SVM از طریق جستجوی گرید بهینه‌سازی شدند. نتایج نشان دادند که روش پیشنهادی نرخ تشخیص ناهنجاری را از ۳٪ به ۶٪ افزایش می‌دهد. همچنین آنها در [14] با استفاده از الگوریتم ژنتیک و در [15] از طریق منطق فازی روش خود را بهبود دادند.

مرجع [16] به پیش‌بینی قیمت تسویه بازار با استفاده الگوریتم k-means برای خوشه‌بندی فضای رقابتی بازار ایران پرداخته اند. به این منظور، سه خوشه رقابت بالا (فصول سرد)، رقابت کم (فصول گرم) و خوشه گذار در نظر گرفته شده است. آنها همچنین با استفاده از الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی، قیمت تسویه بازار برای هر خوشه را به صورت مجزا پیش‌بینی کردند. مدل پیشنهادی با دقت ۹۵ درصد این پیش‌بینی را انجام می‌دهد.

مرجع [17] برای بهبود در منحنی بار شبکه‌های هوشمند از فرایند شارژ و دشارژ باتری خودروهای الکتریکی استفاده کرده‌اند. آنها برای پیش‌بینی بار الکتریکی، یک مدل چندمرحله‌ای شبکه عصبی و شبکه فازی-عصبی ارائه دادند. آنها همچنین یک مدل احتمالی را برای تشخیص مدل بار و تولید مجموعه خودروهای الکتریکی پیشنهاد کردند. این مدل ترکیبی از الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری و شبیه‌سازی مونت کارلوی ترتیبی می‌باشد.

مرجع [18] با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی (GIS) به شناسایی کنتورهای معیوب یا دستکاری شده می‌پردازند. آنها با بکارگیری این سیستم به کشف کنتورهای معیوب و سرقت انرژی پرداخته اند و نتایج آن منجر به هوشمندسازی فرایند و شناسایی بهتر کنتورهای معیوب و سرقت برق و همچنین کاهش خطای انسانی شده است.

مرجع [19] به رفع مشکل ثبات کیفیت خدمات مشترکین، تشخیص و جلوگیری از سرقت برق پرداخته اند. همچنین این اطلاعات به وسیله پردازش در میکروکنترلرهای آردینو، توسط GSM مودم جهت تعیین خسارت وارده به شرکت‌های توزیع برق ارسال می‌گردد.

مرجع [20] با استفاده از الگوریتم تکامل تفاضلی مؤثر بر روی ۹۹ خانوار طی ۲ سال، مصرف برق این مشترکین را به سه دسته نرمال، مشکوک و سارق طبقه‌بندی می‌کند. مشترکان سارق نیز به دو دسته کم‌مصرف و قربانی تقسیم می‌شوند. سارقین کم‌مصرف افرادی هستند

که از طریق روش‌های غیرقانونی میزان مصرف برق خود را کمتر از مقدار واقعی نشان می‌دهند و مشترکین قربانی افرادی هستند که مورد سرقت قرار گرفته‌اند. ایشان نتایج این الگوریتم را با الگوریتم فازی c-means مقایسه کرده‌اند.

مرجع [21] با استفاده از داده‌های سطح منطقه تفکیک شده از اوتار پرادش هند، در مدت ۷ سال، به بررسی عوامل تعیین کننده اقتصادی و اجتماعی منجر به سرقت برق می‌پردازد. آنها برای تعیین میزان قدرت پیش‌بینی کننده شاخص‌های اقتصادی و اجتماعی در تبیین این نوع رفتارها، از مجموعه‌ای از مدل‌های رگرسیون پیشرفته یادگیری ماشین بهره گرفتند. ایشان علاوه بر این، به بررسی روابط غیرخطی شاخص‌های اقتصادی و اجتماعی و سرقت برق و همچنین به مطالعه همبستگی زمانی و مکانی سرقت برق پرداختند. آنها نشان دادند که ۸۷ درصد میزان تلفات را می‌توان با شاخص‌های اساسی اقتصادی-اجتماعی توجیه کرد.

آمار سرقت فلزاتی مانند مس و آلومینیوم در شبکه توزیع برق اصفهان در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ در مرجع [22] مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. ایشان نشان دادند که ۸۰ درصد سرقت مربوط به این نوع فلزات بوده است. آنها با استفاده از طرح‌های مهندسی پیشگیری از سرقت توانستند میزان سرقت‌ها را در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ تا میزان ۱۶۰ میلیون نسبت به سنوات قبل کاهش دهند.

برای تشخیص سرقت روش‌های مبتنی بر خوشه‌بندی، مبتنی بر حالت و مبتنی بر نظریه بازی‌ها معرفی شده اند. روش‌های تشخیص مبتنی بر حالت برای بهبود دقت تشخیص از تجهیزات خاصی مانند حسگرهای بی‌سیم بهره می‌برند. این تجهیزات نرخ مثبت کاذب را کاهش می‌دهند. این روش‌ها برخلاف روش‌های دیگر هزینه‌های اضافی از جمله هزینه تجهیزات، هزینه نرم‌افزاری، هزینه راه‌اندازی سیستم و هزینه اجرا و آموزش دارند. در توضیح روش مبتنی بر نظریه بازی‌ها، برای تشخیص سرقت برق یک بازی بین سارق و شرکت برق فرمول‌بندی می‌شود. اگرچه این روش نسبت به روش قبلی کم‌هزینه و مقرون به صرفه است ولی راه حل بهینه برای تشخیص سرقت برق ارائه نمی‌دهد. از دیگر مشکلات این روش، مبهم بودن فرمول تابع مطلوبیت تمام بازیکن‌ها از قبیل سارقین و پخش توزیع می‌توان نام برد.

در روش مبتنی بر خوشه‌بندی یا همان دسته‌بندی از داده‌های جمع‌آوری شده مصرف انرژی از طریق AMI استفاده می‌شود. داده‌های میزان مصرف مشترکین در حالت عادی از الگوی آماری خاصی پیروی می‌کنند اما هرگونه ناهنجاری در این الگو می‌تواند علامتی از سرقت باشد. روش‌های داده‌کاوی و یادگیری ماشین نمونه‌هایی از این روش تشخیص هستند. در این مقاله نیز، پس از جمع‌آوری و گردآوری داده‌هایی که به واسطه کنتورهای هوشمند و به مرکز کنترل ارسال شده اند، پردازش کرده و مشتریان با مصرف غیرمجاز شبکه را مشخص می‌کند. در این روش پیشنهادی، تعداد خوشه‌ها به‌وسیله الگوریتم دینامیکی به‌روز شده و مکان‌ها با فاصله زیاد از مرکز خوشه خود به‌عنوان محل‌های با مصرف غیرمجاز شناسایی می‌شوند. درواقع مقالات مطرح شده آنلاین بودن داده‌ها را در نظر نگرفته و در نتیجه ممکن است به اشتباه یکی از مشترکین با مصرف نرمال به عنوان مرکز سرقت معرفی شود یا یک مشترک سارق تحت عنوان مصرف نرمال اعلام گردد. در ادامه برای اولین بار این روش معرفی می‌شود.

۳- رویکرد پیشنهادی

روش پیشنهادی در این مقاله متشکل از سه مرحله است. این عبارتند از: ۱.تجزیه و تحلیل داده‌ها، ۲.عملیات پیش پردازش ۳.استفاده از روش دسته‌بندی با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی دینامیکی فازی(dFCM[1])

۳-۱- تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این مقاله ازداده‌های تاریخی که سابقه مصرف برق هر منطقه شهر ارومیه را نشان می‌دهد، برای تشخیص سرقت برق استفاده می‌شود. این داده‌ها متشل از دو بخش ناحیه‌ای و مشترکین می‌باشند. داده‌های ناحیه‌ای دارای ۲۳ ناحیه شهر ارومیه می‌باشد که از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۵ طی ۶ دوره دو ماهه جمع‌آوری شده و داده‌های مشترکین متشکل از ۶۵۵۳۵ تعداد از ۱۶۳۸۳ مشترک در طی ۸ سال به صورت دوماهه است. با استفاده از این داده‌ها می‌توان الگوی مصرف هر منطقه را استخراج کرد و با استفاده از روش پیشنهادی بر روی آن تحلیل کرد.

۳-۱-۱- عملیات پیش پردازش

گام بعدی پیش‌پردازش داده‌ها است که منجر به افزایش کیفیت داده‌های مورد استفاده می‌شود. این مرحله شامل دو نوع عملیات است که عبارتند از نرمال‌سازی داده‌ها و خوشه‌بندی داده‌ها

۳-۱-۲- نرمال‌سازی

فرآیند نرمال‌سازی عبارت است از تغییر مقیاس داده‌ها به گونه‌ای که داده‌ها به فاصله کوچک و معین نگاشت شوند. این عمل باعث می‌شود که داده‌ها با مقیاس بزرگ نتایج را به سمت خود منحرف نکنند و دقت افزایش یابد. در این پژوهش میزان مصرف هر ناحیه بر تعداد خانوار آن تقسیم شده است.

۳-۱-۳- خوشه‌بندی

خوشه‌بندی به پروسه‌ای اطلاق می‌شود که در آن مجموعه‌ای از داده‌ها به چندین گروه یا خوشه گروه‌بندی می‌شوند، به ترتیبی که داده‌های

1- dynamic Fuzzy C-Means

درون یک خوشه بسیار شبیه به یکدیگر و داده‌های خوشه‌های مختلف بسیار متفاوت هستند. در این مقاله از الگوریتم خوشه‌بندی فازی پویا C-means که یک نوع خوشه‌بندی افرازی است، استفاده می‌شود.

شایع‌ترین الگوریتم خوشه‌بندی فازی، الگوریتم فازی c-means است که از الگوریتم k-means با استفاده از منطق فازی برای تعیین ارتباط داده‌ها به یک خوشه بهره می‌برد. ارتباط با یک خوشه با محاسبه فاصله معکوس تا مرکز خوشه تعیین می‌شود. مراکز خوشه‌های تعیین شده توسط FCM به طور مستقیم به مکان‌های هندسی نقاط داده در فضا بستگی دارد[23]. در این الگوریتم، یک تابع هدف برای رسیدن به حداقل مقدار خود در نظر گرفته می‌شود :

$$F(Y,Z,\alpha;X)=\sum_{k=1}^{n}\sum_{i=1}^{m}(y_{ik})^{\alpha}\,\|x_k-z_i\|^2 \qquad (۱)$$

در این تابع هدف، α عامل فازی است، m تعداد خوشه‌ها و بردار مراکز m خوشه است. n تعداد داده‌ها و $X=(x_1,x_2,\dots,x_n)^T$ بردار نقاط داده، $Y=[y_{ik}]_{m\times n}$ ماتریس درجه عضویت متشکل از درجه عضویت y_{ik} که نشان‌دهنده درجه عضویت x_k در i امین خوشه است و $\|.\|$ نرم فاصله اقلیدسی ($\|V\|=\sqrt{V^T.V}$) را نشان می‌دهد. عامل فازی α برای نرمال کردن و فازی‌سازی اعضای عضویت است که مجموع آن باید برابر با یک باشد. کمینه $F(Y,Z,\alpha;X)$ از طریق تکنیک‌های تکراری مانند بهینه‌سازی متناوب (AO) انجام می‌شود. وقتی که α<1 باشد، یک راه حل بهینه که تابع هدف را مینیمم کند به صورت زیر است :

$$y_{ik}=\left(\sum_{j=1}^{m}\left(\frac{\|x_k-z_i\|}{\|x_k-z_j\|}\right)^{2/(\alpha-1)}\right)^{-1} \qquad (۲)$$

که در آن $1\le i\le m$ و $1\le k\le n$ و مرکز خوشه iاُم به صورت زیر به دست می‌آید:

$$z_i=\frac{\sum_{k=1}^{n}(y_{ik})^{\alpha}x_k}{\sum_{k=1}^{n}(y_{ik})^{\alpha}} \qquad (۳)$$

یک نقص این الگوریتم این است که روش خوشه‌بندی به طور قابل توجهی وابسته به عامل فازی است که به صراحت از یک مجموعه داده به مجموعه دیگر متفاوت است. یکی دیگر از نقاط ضعف الگوریتم خوشه‌بندی FCM این است که با همین تعداد نقاط داده، آنها را در محدوده قرار می‌دهد. بنابراین، برخی اصلاحات در طول سال‌ها برای بهبود نقاط ضعف الگوریتم FCM انجام شده است. یک الگوریتم اصلاحی برای FCM که الگوریتم فازی پویا (dFCM) FCM نامیده شده است، پیشنهاد شده است.

تکنیک خوشه‌بندی dFCM برای برنامه‌های کاربردی از جمله تجزیه و تحلیل آنلاین داده‌های ورودی مناسب‌تر است که در آن به اطلاعات سازگار یا داده‌های ورودی یکنواخت نیاز نیست. خوشه‌بندی dFCM یک روش کلی است که می‌تواند به تعداد زیادی از برنامه‌های مختلف اعمال شود. از سوی دیگر در یک شبکه توزیع برق، داده‌های مصرف برق هر منطقه باید به صورت آنلاین تجزیه و تحلیل شود. بنابراین، الگوریتم dFCM برای این کار مناسب می‌باشد. الگوریتم dFCM به صورت دینامیک خوشه‌ها را پیدا می‌کند، همچنین خوشه‌ها را حذف و یا حتی در صورت لزوم بازسازی می‌کند. این الگو را با استفاده از یک شاخص معتبر و به صورت مداوم انتخاب می‌کند. الگوریتم خوشه‌بندی dFCM را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱. آستانه عضویت (y_{thr}) به عنوان حداکثر سطح قابل قبول برای درجه عضویت تعریف می‌شود و خطای FCM (EFCM) به عنوان حداکثر تفاوت قابل قبول بین دو مرکز خوشه به دست آمده در دو مرحله متوالی با استفاده از الگوریتم FCM معرفی می‌شود. بنابراین، دامنه داده‌های ورودی، آستانه عضویت و خطای FCM و تعداد خوشه‌ها (m) تخمین زده می‌شوند.

۲. مراکز خوشه‌ها به صورت یکنواخت در فضای داده‌های ورودی قرار می‌گیرند و درجه عضویت این نقاط اولیه با استفاده از معادله (۲) محاسبه می‌شود.

۳. برای نقطه داده‌های ورودی جدید، عضویت آنها در خوشه‌های موجود با استفاده از معادله (۲) محاسبه می‌شود. اگر حداکثر عضویت بزرگتر یا برابر آستانه عضویت باشد، به این معنی است که این نقطه داده‌ها به حداقل یکی از خوشه‌ها تعلق دارد و در نتیجه، برای تغییر آستانه عضویت و مراکز خوشه‌ها لازم است که به‌روزرسانی انجام گیرد.

۴. فرض می‌شود که m تعداد خوشه بدست آمده توسط روند تکرار است، به طوری که حداکثر درجه عضویت از y_{thr} کمتر باشد. برای بررسی اینکه آیا انتخاب بهتر در دسترس است یا خیر، اعتبار m مرکز خوشه بدست آمده با اعتبارهای موارد m-1 و m+1 مقایسه شده و مراکز خوشه‌هایی که شاخص اعتبار بهتری دارند انتخاب می‌شوند. اگر m-1 یا m+1 خوشه شاخص اعتبار بهتری داشته باشند، m-1 و m+1 مراکز خوشه‌ها برای داده‌های جدید استفاده می‌شود.

۵. الگوریتم dFCM وقتی که همه داده‌ها وارد الگوریتم شدند به اتمام می‌رسد.

فرض می‌شود که Z_{new} و Z_{old} به ترتیب بردار مراکز خوشه جدید و قدیم هستند. اگر

$$\|Z_{new}-Z_{old}\|=\sqrt{\sum_{i=1}^{m}(z_{i-new}-z_{i-old})^2}>y_{thr} \qquad (۴)$$

باشد، محاسبه شاخص اعتبار باید محاسبه شود. به عبارت دیگر، اگر فاصله بین بردار مراکز خوشه جدید و قدیم از y_{thr} بیشتر باشد، اعتبار خوشه باید محاسبه شود. در این مورد، وقتی داده‌های جدید به الگوریتم داده می‌شود صرف نظر از درجه عضویتشان، مراکز خوشه با استفاده از بهینه‌سازی متناوب به روز می‌شوند.

پس از فرآیند کلاس‌بندی، شاخص اعتبار استفاده شده برای تعیین تعداد خوشه بهتر به صورت زیر تعریف می‌شود :

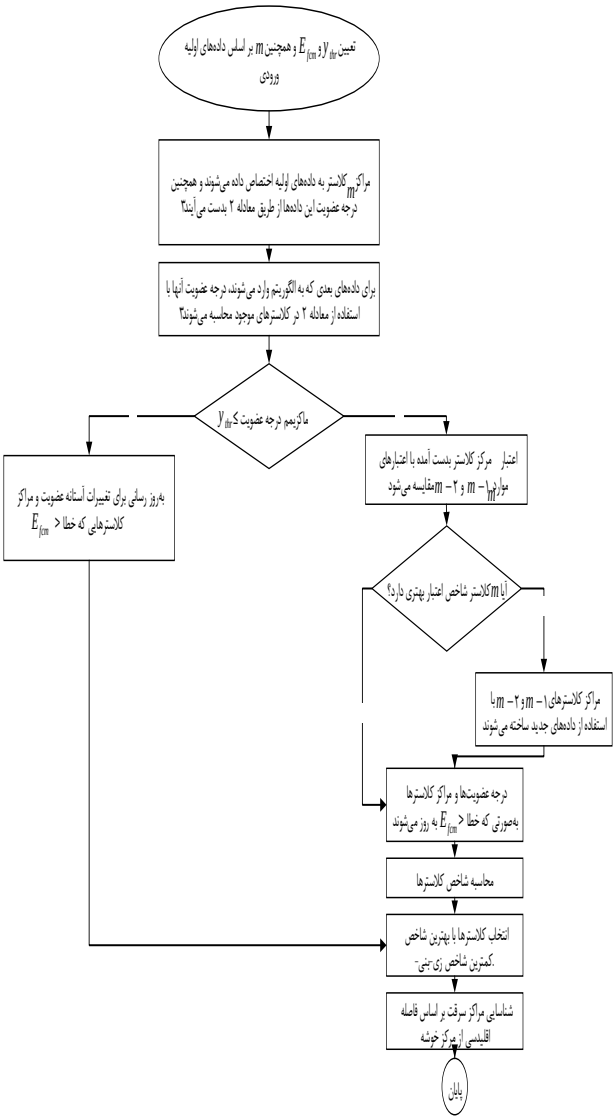
$$I.V_{XB}(Y,Z;X)=\frac{\sum_{k=1}^{n}\sum_{i=1}^{m}(y_{ik})^2\|x_k-z_i\|^2}{n.(Min_{i\neq j}\{\|z_i-z_j\|\})} \quad (۵)$$
$$=\frac{F(Y,Z,2;X)}{n.(Min_{i\neq j}\{\|z_i-z_j\|\}}$$

شاخص زی-بنی یکی از شاخص‌های اعتبارسنجی است که استفاده زیادی می‌شود چون وابسته به فقط درجه عضویت نیست، بلکه به فاصله هندسی بستگی دارد[24].

۳-۲- شناسایی مکان‌های با پتانسیل مصرف غیرمجاز

در این بخش با توجه به فاصله داده‌ها از مراکز خوشه‌ها، آن داده‌هایی که فاصله اقلیدسی آنها از مرکز خوشه خود از بقیه داده‌ها بیشتر باشد، به عنوان ناحیه غیر نرمال دسته‌بندی می‌شوند. مزیت این الگوریتم نسبت به روش‌های ارائه شده، به روز رسانی تعداد خوشه‌ها به‌صورت دینامیکی است. در این صورت آن داده‌هایی که به اشتباه به‌عنوان مصرف غیرمجاز شناسایی می‌شوند، با توجه به رویکرد الگوریتم و خوشه‌بندی هرکدام از این داده‌ها، کمتر می‌شود. بنابراین این داده‌ها خود تشکیل یک خوشه می‌دهند.

شکل (۱) نمودار چگونگی انجام مراحل الگوریتم dFCM را نمایش می‌دهد.



شکل (۱): فلوچارت الگوریتم dFCM

۴- تجزیه و تحلیل نتایج

در سال‌های اخیر مطالعات زیادی مبنی بر اندازه‌گیری هوشمند در جهت تشخیص مصارف ناهنجار انجام شده است. با توجه به رویکرد هرکدام از آنها می‌توان تلفات غیرفنی شبکه را تا درصد قابل توجهی کاهش داد.

شبکه‌های توزیع برق با توجه به نگرانی‌هایی در مورد نفوذ افراد غیر مجاز به این تجهیزات به منظور سرقت برق وجود دارد، در این مقاله روشی جدید برای تشخیص سرقت برق در این شبکه پیشنهاد گردید. روش پیشنهادی برای دسته‌بندی داده‌های مصرفی برق هم به صورت منطقه‌ای و هم مشترکین و به صورت آنلاین و پویا استفاده می‌کند. استفاده از خوشه‌بندی فازی به صورت پویا برای پیدا کردن ساختار داده‌ها برای شناسایی منابع بدهنجار استفاده می‌شود. با توجه به به روز رسانی تعداد خوشه‌ها، در این روش خطای به اشتباه شناسایی منابع سرقت به طور چشم‌گیری کم شده است. همچنین نتایج بدست آمده

نشان از دقت و عملکرد خوب این روش توسعه داده شده بدون نظارت دارد.

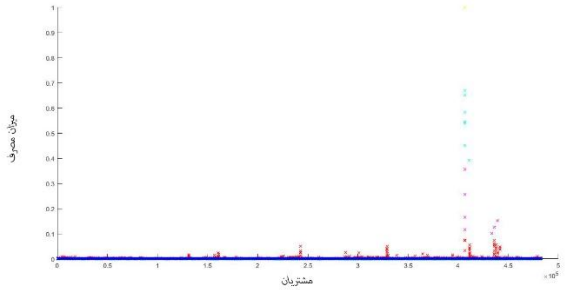
نتایج با استفاده از نرم‌افزار متلب ۲۰۱۸ بدست آمده‌اند که به دو صورت منطقه‌ای و مشترکین بیان می‌شوند. همانطور که از جدول (۱) مشخص است، نتایج حاصل در حوزه گسترده‌تر، از ۲۳ منطقه موجود در شهرستان ارومیه، منطقه شماره ۲۱ در همه سال‌ها به صورت غیر نرمال نسبت به سایر مناطق مشاهده می‌شود. بنابراین کنترل در این منطقه باید بیشتر شود.

جدول(۱): فاصله مناطق از مرکز خوشه خود

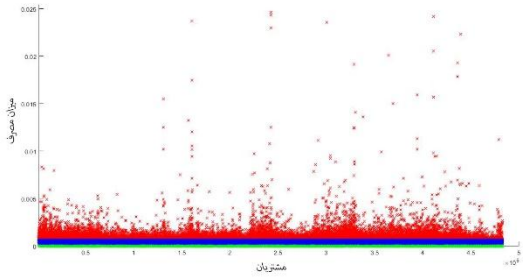
رتبه	نام منطقه	میانگین فاصله از مرکز
۱	اموربرق شوط	125.0300025
2	اموربرق باکری	106.6666336
۳	اموربرق مهاباد	85.01264135
4	اموربرق باهنر	79.37633137
۵	اداره برق فیرورق	62.09429021
6	اموربرق خوی	61.74395893
۷	اموربرق ماکو	60.5783873
8	امور برق تکاب	60.55466175
۹	اموربرق بوکان	59.56903069
10	اموربرق پلدشت	58.78286933
۱۱	اموربرق سلماس	58.50423477
12	اموربرق ولیعصر	58.00903614
۱۳	اموربرق پیرانشهر	56.95086953
14	امور برق نقده	56.15517862
۱۵	اموربرق اشنویه	55.46780921
16	اموربرق شاهین دژ	55.33017675
۱۷	اموربرق سردشت	53.82009806
18	اداره برق تازه شهر	51.08887985
۱۹	اداره برق بازرگان	50.18007668
20	امور برق میاندواب	49.62193774
۲۱	اداره برق محمدیار	48.84821691

همچنین با توجه به شکل (2) و (3)، خوشه‌بندی انجام شده فاصله هر داده نسبت به مرکز خوشه خود را نشان می‌دهد. هر خوشه با رنگ خاص مشخص شده است. شکل شماره (3)، تصویر بزرگ شده را نمایش می‌دهد. بنا به جدول شماره (2)، از ۶۵۵۳۵ مشترک موجود در شهرستان ارومیه، مشترکین نمایش داده شده دارای بیشترین فاصله از مرکز خوشه خود در هر سال مشخص هستند.

تعداد خوشه اولیه برای این الگوریتم ۳ خوشه در نظر گرفته شده است. پس از اجرای الگوریتم پیشنهادی، میزان مصرف برق مشتریان شهرستان ارومیه در نهایت به ۵ خوشه تغییر پیدا می‌کند. خوشه‌ها بنا به عواملی همچون فصل، شرایط اقلیمی و جغرافیایی، خانگی یا مراکز صنعتی و ... به کلاس‌های کم‌مصرف تا پرمصرف تقسیم‌بندی می‌شوند. بسیاری از این داده‌ها در پایین نمودار مشاهده می‌شوند که حالت معمولی و مصرف نرمال مشتریان را نشان می‌دهد. در مواردی که در جدول و نمودار(۲) مشاهده می‌کنید، فاصله برخی داده‌ها از مرکز خوشه خود بیشتر شده و طبق الگوریتم به عنوان مرکز بدهنجار شناخته می‌شود.



شکل (2): نمودار میزان مصرف برق مشتریان شهرستان ارومیه



شکل (3): نمودار بزرگنمایی شده قسمتی از نمودار (۱)

جدول(۲): فاصله مشترکین از مرکز خوشه خود

رتبه	شماره اشتراک	میزان مصرف انرژی	دوره	فاصله از مرکز خوشه
1	81669147	5443	خرداد ۹۰	45250
2	81002651	15021	مرداد ۹۱	14103
3	80726514	22970	فروردین ۹۲	22052
4	81047121	49365	خرداد ۹۳	48447
5	11240218	47701	تیر ۹۴	46783
6	11445957	969080	تیر ۹۵	309289
7	11761177	146820	اردیبهشت ۹۶	145887

با توجه به جدول (۲) در طول دوره سال ۹۰ شماره اشتراک ۸۱۶۶۹۱۴۷ با مصرف برق ۵۴۴۳ بیشترین فاصله از مرکز خوشه خود می‌توان به عنوان مرکز مشکوک در این سال معرفی کرد. به همین ترتیب شماره‌های اشتراک ذکر شده در سال‌های بعد به عنوان مراکز بدهنجار پیشنهاد شده‌اند. در واقع، در این تحقیق هدف شناسایی مراکز مشکوک به سرقت با استفاده از الگوریتم dFCM به‌طور خلاصه در این جدول گنجانده شده است.

طی گزارش به دست آمده از اداره برق استان ارومیه و بر اساس نظرات واقعی کارشناسان برق استان در همه این ماه‌ها، ادعای سرقت

شماره‌های اشتراک نام برده شده در جدول (۲) همگی مورد تأیید این سازمان است و نتایج به دست آمده از این مقاله را صحه می‌گذارد.
با توجه به جدول (۳)، مقایسه‌ای بین الگوریتم‌های dFCM و FCM و MLP انجام شده است. الگوریتم FCM برای کل داده‌ها با تعداد کلاس ۵ خوشه‌بندی شده است و همچنین در روش MLP، پس از نرمال‌سازی داده‌ها، داده‌ها را به عنوان ورودی درنظر گرفته و یک تابع تولید کننده حمله از روش ایجاد یک مجموعه داده غیرنرمال با استفاده از مجموعه داده نرمال استفاده شده است[7]. همانطور که از این جدول و همچنین گزارش دریافتی از اداره برق استان مشخص است که الگوریتم دینامیکی FCM از عملکرد مناسبی نسبت به روش‌های دیگر دارد و از خطا و اشتباه کمتری برخوردار است.

جدول (۳): مقایسه الگوریتم‌های FCM و dFCM و MLP

سال	شماره اشتراک	میزان مصرف انرژی	گزارش سرقت از طرف اداره برق استان	نتیجه سرقت برق در الگوریتم‌ها		
				dFCM	FCM	MLP
۹۰	۸۱۵۵۸۸۵۶	۶۵۶	×	×	✔	×
	۸۱۶۶۹۱۴۷	۵۴۴۳	✔	✔	×	×
	۸۱۶۴۴۱۲۸	۶۷۹	×	×	×	✔
۹۱	۸۱۵۵۵۶۰۸	۳۹۹	×	×	✔	×
	۸۱۰۰۲۶۵۱	۱۵۰۲۱	-	✔	×	×
	۸۱۰۹۳۳۸۵	۴۰۹۱	×	×	×	✔
۹۲	۱۰۳۸۵۲۱۷	۳۳۴	×	×	✔	×
	۸۰۷۲۶۵۱۴	۲۲۹۷۰	✔	✔	×	✔
۹۳	۱۰۱۸۰۲۷۷	۳۹۶	×	×	✔	×
	۸۱۰۴۷۱۲۱	۴۹۳۶۵	✔	✔	×	×
	۱۰۵۵۵۸۹۸	۱۱۱۰	×	×	×	✔
۹۴	۱۰۲۳۵۰۳۶	۳۰۹	×	×	✔	×
	۱۱۲۴۰۲۱۸	۴۷۷۰۱	-	✔	×	×
	۱۰۰۲۲۸۷۳	۱۹۰۶	×	×	×	✔
۹۵	۱۰۲۱۳۳۳۹	۴۹۴	×	×	✔	×
	۱۱۴۴۵۹۵۷	۹۶۹۰۸۰	✔	✔	×	✔
۹۶	۱۰۲۵۴۰۵۹	۱۵۰	×	×	✔	×
	۱۱۷۶۱۱۷۷	۱۴۶۸۲۰	✔	✔	×	×
	۸۱۶۳۱۸۴۷	۴۱۳	×	×	×	✔

همانطور که از جدول ۳ مشخص است، الگوریتم dFCM با خطای بسیار کمی نسبت به دو روش دیگر عمل می‌کند. هرچند که الگوریتم MLP در بعضی از دوره‌ها عملکرد مناسبی از خود نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال در دوره سال ۹۲ اشتراک ۸۰۷۲۶۵۱۴ در هر دو الگوریتم dFCM و MLP به عنوان سارق شناسایی شده است که با نظر اداره برق استان نیز همسو می‌باشد. در این جدول در ستون گزارش سرقت از طرف ادراه برق استان، علامت × نشان دهنده سارق نبودن مشترک (مشترک معمولی)، علامت ✔ به صورت مشترک سارق و همچنین علامت – به صورت مشترک با خرابی کنتر برق معرفی شده‌اند. در مجموع می‌توان با اطمینان بیشتری از این الگوریتم برای شناسایی نقاط مشکوک به سرقت استفاده کرد.

۵- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

مبارزه با سرقت انرژی به‌ویژه انرژی برق در سال‌های اخیر به یکی از موضوعات مهم تبدیل شده است. با توجه به الگوریتم‌های ارائه شده برای شناسایی مکان‌های پرمصرف، کمبود روشی برای به حداقل رساندن ضریب اشتباهات در این الگوریتم‌ها احساس می‌شود. بنابراین الگوریتم dFCM برای این مهم در این مقاله معرفی شده است.
داده‌های مقاله به تعداد 524280 با همکاری شرکت برق استان آذربایجان غربی مورد استفاده قرار گرفته است. پس از عملیات پیش پردازش توسط الگوریتم dFCM خوشه‌بندی شد و مکان‌های بدهنجار یا پرمصرف شناسایی معرفی شدند. در واقع، با استفاده از این روش داده‌های موجود خوشه‌بندی شده و به صورت همگن در خوشه‌ها قرار می‌گیرند. این خوشه‌بندی به صورت آنلاین انجام شده و در هر تکرار تعداد خوشه‌ها به‌روز می‌شوند. پس اگر در هر یک از این داده‌های دارای تشابه خارج از این خوشه قرار گیرد به عنوان داده غیرعادی شناخته می‌شود.
در واقع، خوشه‌بندی دینامیکی این مزیت را ایجاد می‌کند که داده‌هایی که در سایر روش‌ها به عنوان داده‌های با فاصله از مرکز خود پیشنهاد می‌شوند، در این روش به عنوان مرکز بدهنجار معرفی نشوند. این روش وابستگی به تعداد کلاستر اولیه ندارد، پس در آن این نوع خطاها کاهش یافته و می‌توان به عنوان روش توسعه‌یافته کارامد از آن نام برد.
در انتهای مقاله به عنوان پیشنهادات برای مطالعات و تحقیقات آتی می‌توان به بهینه‌سازی تعداد کلاسترهای اولیه و آستانه عضویت پرداخت و عملکرد آن را با سایر الگوریتم‌های داده کاوی برای شناسایی مراکز بدهنجار مقایسه کرد.
در نهایت این روش با روش‌هایی مانند FCM و MLP مقایسه شد که نتیجه آن برتری این روش نسبت به دو الگوریتم مذکور است.

۶- مراجع

[1] غنی نسب. ز.، منصوری. م.، "*پیشگیری وضعی از جرایم علیه اموال*"، *دومین همایش ملی عدالت ، اخلاق ، فقه و حقوق*، ۱۳۹۴.

[2] آقاباباگلی. ا.، مرادی. م.، "*بررسی عوامل تلفات شبکه ناشی از سرقت تاسیسات برق و راهکارهای کاهش آن*"، *همایش ملی مهندسی برق مجلسی*، ۱۳۹۵.

[3] Golden, M., Min, B., "*Corruption and theft of*

electricity in an Indian state", Annu. Meet. Am. Polit. Sci. Assoc, 2011.

[4] دهقان ساعی. س.، قدیمی. س.، دباغ. ر.، "*بررسی علل سرقت برق بارویکرد اقتصادسنجی رگرسیون انتقال ملایم مطالعه موردی: استان آذربایجان غربی*"، سومین کنفرانس سراسری پیشرفتهای نوین در مهندسی صنایع، مدیریت، اقتصاد و حسابداری، ۱۳۹۶.

[5] Priatna, D., *Theft of electricity in Indonesia*, John Strasma, Ph.D. Thesis, University of Wisconsin, 1999.

[6] Kadurek, P., Blom, B., Cobben, J., Kling, W., "*Theft detection and smart metering practices and expectations in the Netherlands*", 2010 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe), 1–6, 2010.

[7] الیاسی. ر.، جمشیدی. ک.، بهلولی. ع.، "*بهبود دقت تشخیص سرقت برق در شبکه هوشمند*"، هشتمین کنفرانس بین المللی فناوری اطلاعات و دانش, ۱۳۹۵.

[8] مومنی. غ.، "*ارایه یک روش نوین در جهت کاهش سرقت شبکه های فشارضعیف با استفاده از مدل سازی شبکه در نرم افزار Small World*"، سومین کنفرانس ملی مهندسی برق ایران،۱۳۹۴.

[9] صالحی قلعه سفید. س.، نظر پور. ا.، حسین پور سولگانی. م.، "*بهبود کیفیت توان شبکه توزیع برق شهرک حضرت ولی عصر(عج) شهرستان مسجدسلیمان*"، همایش ملی الکترونیکی دستاوردهای نوین در علوم مهندسی و پایه،۱۳۹۳.

[10] سلطان زاده. ع.، کلاهدوز. ن.، "سرقت انرژی در زیر ساخت‌های اندازه‌گیری شبکه‌های هوشمند توزیع نیروی برق"، هفدهمین کنفرانس سراسری شبکه‌های توزیع نیروی برق، ۱۳۹۱.

[11] الماسی. م.، "*پیشگیری از سرقت اموال عمومی (مطالعه موردی سرقت کابل‌های برق و تجهیزات شبکه‌های برق‌رسانی خرم آباد)*"، دفتر تحقیقات کاربردی پلیس پیشگیری ناجا، ۱۳۸۶.

[12] Jokar, P., Arianpoo, N., Leung, V., "*Electricity theft detection in AMI using customers consumption patterns*," IEEE Trans. Smart Grid, vol. 7, pp. 216–226, 2016.

[13] Nagi, J., Yap, K., Tiong, S., Ahmed, K., Mohamad, M., "*Nontechnical loss detection for metered customers in power utility using support vector machines*", IEEE Trans. Power Deliv, vol. 25, pp. 1162–1171, 2010.

[14] Nagi, J., Yap, K., Tiong, S., Ahmed, K., Mohammad, M., "*Detection of, abnormalities and electricity theft using genetic support vector machines*", TENCON 2008-2008 IEEE Region 10 Conference, pp. 1–6, 2008.

[15] Nagi, J., Yap, K., Tiong, S., Ahmed, K., Nagi, F., "*Improving SVM-based nontechnical loss detection in power utility using the fuzzy inference system*", IEEE Trans. power Deliv., vol. 26, no. 2, pp. 1284–1285, 2011.

[16] استادی. ب.، معتمدی. ا.، حسین زاده کاشان. ع.، ناصری. م.، "*پیش‌بینی قیمت تسویه بازار برای خوشه‌های زمانی رقابت‌پذیری بازار با استفاده از شبکه عصبی بهبود یافته با الگوریتم ژنتیک: مطالعه بازار برق ایران*"، نشریه علمی-پژوهشی کیفیت و بهره‌وری صنعت برق ایران، شماره ۱۷، ۱۳۹۷.

[17] آقابراهیمی. م.، طاهریان. ح.، قاسمی‌پور. م.، "*برنامه‌ریزی شارژ و دشارژ خودروهای الکتریکی در پارکینگ بر اساس بار پیش‌بینی شده در محیط حساس به قیمت شبکه‌های هوشمند*"، نشریه علمی-پژوهشی کیفیت و بهره‌وری صنعت برق ایران، شماره ۶، ۱۳۹۳.

[18] طالبی، ک.، دهقانی، م.، نذرمحمدی، م.، بیات، م.، "*نقش اطلاعات مکانی GIS در کشف کنتور های معیوب و سرقت انرژی الکتریکی مطالعه شده در شرکت توزیع نیروی برق استان مرکزی*"، چهارمین کنفرانس ملی کاربرد سامانه اطلاعات مکانی GIS در صنعت آب و برق, ۱۳۹۶.

[19] رضوانی، س.، خدادادی، ل.، "*طراحی و ساخت دستگاه تشخیص سرقت برق و ارسال اطلاعات سرقت توسط GSM مودم*"، اولین همایش ملی کاربردهای سیستم های مکاترونیکی و رباتیکی, ۱۳۹۵.

[20] جهانی.ل.، "*شناسایی سرقت برق توسط داده کاوی*"، پایان نامه ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۳۹۲

[21] Razavi, R., Fluery, M., "*Socio-economic predictors of electricity theft in developing countries: An Indian case study*", Energy for sustainable development, 1-10, 2019.

[22] آقابابالگلی. ا.، "راهکارهای اجرایی کاهش سرقت تاسیسات در شبکه‌های توزیع برق"، ششمین همایش ملی مهندسی برق مجلسی، ۱۳۹۷

[23] Fathabadi, h., " *Power distribution network reconfiguration for power loss minimization using novel dynamic fuzzy c-means (dFCM) clustering based ANN approach*", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 96-107, 2016

[24] Rezaee, M. J., Jozmaleki, M., & Valipour, M., "Integrating dynamic fuzzy C-means, data envelopment analysis and artificial neural network to online prediction performance of companies in stock exchange". Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 78-93, 2018

Abstract

Reducing electric power theft is a significant part of the potential benefits of implementing the concept of smart grid. This paper proposes a data-based approach to identify locations with unusual electricity consumption. The new distance-based method classifies the new data as violator costumers, if their distance is long to the primary consumption data. The proposed algorithm determines the number of final clusters based on the number of initial clusters and a specific index. This method is based on the dynamic fuzzy clustering algorithm. The framework removes the defect of violator subscribers by mistake. In this article are studied regional and subscriber sections of Urmia city between ۲۰۰۰ and ۲۰۱۷ years and significantly more effective than other methods of uncontrolled learning and introduced as an efficient unsupervised developed method