به نام خدا

پژوهشگاه نیرو

نام گزارش: بررسی کاستی‌های فرآیند پایش تلفات برق در ایـران و تـدوین الگـوریتم شناسـایی و تصحیح داده‌های دارای خطا در سامانه‌ی پایش مصرف بارهای الکتریکی شبکه توزیع برق

کد گزارش-ویرایش: PDPN17/T03

عنوان پروژه: طراحی نظام و مدل پایش و ارزیابی میـزان تلفـات بـرق شـبکه‌هـای توزیـع انـرژی الکتریکی و تدوین الگوریتم تشخیص سهم عوامل آن

مدیر پروژه: محمد جعفریان

کارفرما: پژوهشگاه نیرو

تهیه‌کننده: **پژوهشکده توزیع برق**

تاریخ: **خرداد** 1397

پیشگفتار

صنعت برق یکی از حیاتی‌ترین صنایع عمده کشور محسوب می‌شود و به همین دلیل در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع به سرمایه‌گذاری‌های کلان و بلندمدت نیازمند است. در روند تولید تا مصرف انرژی، درصد قابل توجهی از انرژی تولید شده تحت عنوان تلفات به هدر می‌رود. در این میان، تلفات بخش توزیع به لحاظ شرایط و ویژگی‌های بخش فوق از میزان بالاتری برخوردار است. در کشور ایران نیز با توجه به اینکه این صنعت هنوز در زمینه کاهش تلفات تا حد مطلوب راه طولانی در پیش دارد، ضرورت توجه به این امر را متوجه مسئولان و محققان می‌سازد. در این زمینه، نکات مهم شامل چگونگی محاسبات و (یا) اندازه‌گیری تلفات و سپس بررسی درستی نتایج حاصل است. در بسیاری از کشورهای پیشرفته و در حال توسعه، با توجه به خصوصی سازی‌های انجام شده در صنعت برق، نهادهای مشخصی جهت پایش تلفات و ارزیابی آن و سپس ارائه راه‌حل‌هایی جهت کاهش تلفات وجود دارند. اما، در ایران، هنوز ساختار مشخصی برای چنین ارزیابی‌هایی وجود ندارد. از این رو لازم است تا روند پایش وارزیابی تلفات و چالش‌های پیش رو در ایران بررسی شوند.

در این گزارش، ابتدا روند پایش و ارزیابی تلفات در ایران اشاره شده است. سپس، عوامل و چالش‌هایی که سبب افزایش تلفات در شبکه‌های توزیع می‌شود مورد بررسی قرار گرفته‌اند. موانع و محدودیت‌های پایش و تلفات نیز مورد اشاره قرار گرفته‌اند. یکی از مهم‌ترین مشکلات در ارزیابی تلفات به ویژه تلفات غیرفنی، ارزیابی داده‌های پرت و داده‌ها بد در گزارشات است. در فصل دوم این گزارش، روش‌های داده کاوی و یادگیری ماشین جهت بررسی داده‌های پرت بررسی شده‌اند. این روش‌ها مبتنی بر شناسایی الگوهای خاص بین داده‌های درست بدست آمده از آنالیزها و گزارشات است.

این گزارش توسط آقای مصطفی قاسمی و محمد جعفریان تهیه شده است. مدیر پروژه آقای محمد جعفریان و مدیر طرح آقای محمدرضا صفری می‌باشند. این پروژه در پژوهشکده توزیع برق پژوهشگاه نیرو تعریف و انجام شده است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

فهرست جداول

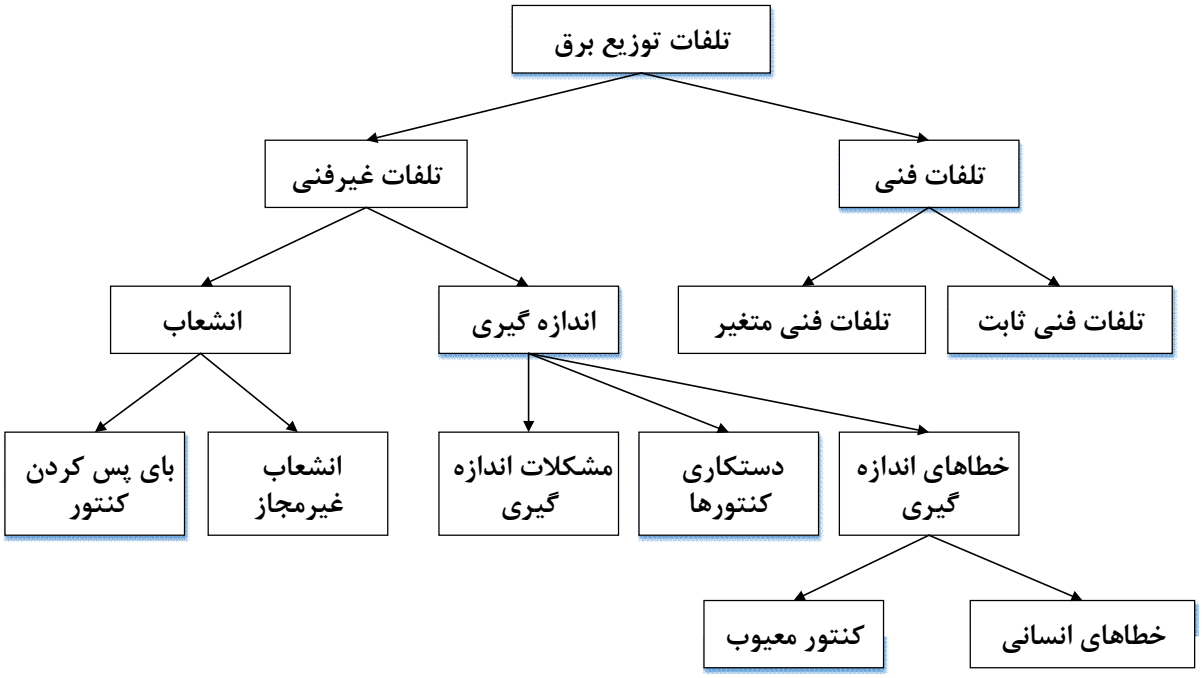
عنوان **صفحه**

مقدمه

در دهه‌های گذشته، محدودیت‌های منابع انرژی و تحویل مقرون به صرفه برق به مشترکان، منجر به ایجاد انگیزه در مهندسان، برنامه ریزان و محققان بخش توزیع برق برای افزایش کارایی شبکه‌های توزیع توان الکتریکی شده است. به بیان دیگر، کاهش شدید تلفات الکتریکی ناشی از افزایش پروژه‌های سرمایه‌گذاری می‌باشد. بنابراین، کاهش تلفات امری اقتصادی است که مرتبط با نصب تجهیزات در شبکه توزیع، نرخ تلفات توان و انرژی، نرخ‌های تورم و سود، نرخ انتشار کربن دی اکسید و پارامترهای اقتصادی دیگر می‌باشد.

علت تلفات الکتریکی در شبکه‌های توزیع معمولاً به دو بخش مهم تقسیم می‌شود: تلفات فنی و غیرفنی. تلفات فنی مرتبط با مشخصات فیزیکی هادی و تجهیزات است که به دلیل جریان عبوری از هادی‌ها ایجاد می‌شود. تلفات اهمی هادی خط اولیه، تلفات اهمی هادی خط ثانویه و خدمات مشترکین، تلفات بی باری و برداری ترانسفورماتور و مدیریت ضعیف روشنایی خیابان برخی از منابع اصلی تلفات فنی محسوب می‌شوند [1].

با این حال، تلفات غیرفنی بیشتر به دلیل خطاهای انسانی ایجاد می‌شود، که می‌توان با یک سیاست اثربخش تر تلفات را حداقل کرد. بیشترین تلفات الکتریکی در کشورهای در حال توسعه به دلیل تلفات غیرفنی است. تلفات غیرفنی شامل 1) برق دزدی، 2) معایب اندازه گیری، 3) اشتباه در قرائت کنتور، 4) عدم پرداخت صورتحساب و کنتورهای غیرمجاز، 5) انشعابات سست، 6) خطای محاسباتی انرژی تحویلی و فروخته شده، 7) تماس درختان با خطوط هوایی [1]. در شکل (0-1)، دسته بندی تلفات فنی و غیرفنی نشان داده شده است [2].



شکل (0-1): دسته بندی تلفات حوزه توزیع برق

بعلاوه، روش‌های بسیار زیادی برای کاهش تلفات در شبکه‌های توزیع برق وجود دارد. جلوگیری از سرقت برق، بهبود اندازه گیری، مکان یابی و ظرفیت ترانسفورماتورهای توزیع، سایز هادی، جبران سازی توان راکتیو، بهبود ولتاژ، استانداردسازی روشنایی خیابان، متعادل سازی بار و بازآرایی شبکه، اصلاح انشعابات سست، تغییر کابل‌های خدماتی و تولیدات پراکنده برخی از این روش‌ها هستند که در شرکت‌های توزیع برق ایران نیز استفاده شده‌اند. از آنجایی که بیشتر تلفات در شبکه‌های توزیع رخ می‌دهد، روش‌های کاهش تلفات نیز بیشتر بر روی این شبکه‌ها متمرکز هستند [1].

در فصل اول این گزارش، ابتدا روند پایش و ارزیابی تلفات در ایران اشاره شده است. سپس، عوامل و چالش‌هایی که سبب افزایش تلفات در شبکه‌های توزیع می‌شود مورد بررسی قرار گرفته‌اند. موانع و محدودیت‌های پایش و تلفات نیز در این فصل مورد اشاره قرار گرفته‌اند. یکی از مهم‌ترین مشکلات در ارزیابی تلفات به ویژه تلفات غیرفنی، ارزیابی داده‌های پرت و داده‌ها بد در گزارشات است. در فصل دوم این گزارش، روش‌های داده کاوی و یادگیری ماشین جهت

بررسی داده‌های پرت بررسی شده‌اند. این روش‌ها مبتنی بر شناسایی الگوهای خاص بین داده‌های درست بدست آمـده از آنالیزها و گزارشات است. در نهایت، فصل سوم نتیجه گیری گزارش آورده شده است.

فصل اول
بررسی کاستی‌های فرایند پایش تلفات توزیع برق در ایران

مقدمه

صنعت برق یکی از حیاتی‌ترین صنایع عمده کشور محسوب می‌شود و به همین دلیل در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع به سرمایه گذاری‌های کلان و بلند مدت نیاز مند است. در روند تولید تا مصرف انرژی، درصد قابل توجهی از انرژی تولید شده تحت عنوان تلفات به هدر می‌رود. در این میان، تلفات بخش توزیع به لحاظ شرایط و ویژگی‌های بخش فوق از میزان بالاتری برخوردار است. در این گزارش ضمن بیان روند پایش و ارزیابی تلفات در ایران، محدودیت‌ها و چالش‌های نظام پایش و ارزیابی تلفات نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

1-1- شبکه توزیع برق ایران

شبکه توزیع برق ایران در سال 95، معادل 237436 میلیون کیلووات ساعت انرژی الکتریکی را جهت 33824 هزار مشترک از طریق تاسیسات جدول (1-1) توزیع نموده است [3]:

جدول (1-1): شبکه توزیع برق تا پایان سال 95 [3]

تاسیسات شبکه توزیع	واحد	مقدار
طول خطوط فشار متوسط	کیلومتر	416100
طول خطوط فشار ضعیف	کیلومتر	353400
تعداد ترانسفورماتورهای توزیع	دستگاه	657808
ظرفیت ترانسفورماتورهای توزیع	مگاولت آمپر	114945
تعداد فیدرهای فشار متوسط	فیدر	13010
تعداد چراغ‌های روشنایی معابر	هزار دستگاه	8837

1-1-2- بررسی استاد مرتبط با پایش تلفات در ایران

به منظور بررسی دقیق کاستی‌های فرایند پایش تلفات توزیع برق در ایران نیاز هست اسناد مرتبط با پایش تلفات توزیع بررسی و معرفی گردند. به همین منظور، در ادامه دستورالعمل‌های ارائه شده در زمینه پایش تلفات توزیع برق در ایران شناسایی و معرفی شده است. به این دستورالعمل‌ها در گزارش اول نیز اشاره شده است.

1-1-2-1-1-دستورالعمل تعیین مستمر تلفات انرژی الکتریکی

با توجه به اهمیت اندازه گیری و کاهش تلفات انرژی، کمیته تخصصی کاهش تلفات در مدیریت توزیع شرکت توانیر تشکیل گردید تا ضمن اتخاذ راهکارهای عملی برای تعیین عوامل و شاخص‌های مؤثر در کاهش تلفات، جهت دستیابی به یک وحدت رویه برای کلیه شرکت‌های توزیع در سطح کشور عمل نمایند. دستورالعمل "تعیین مستمر تلفات انرژی الکتریکی (اندازه گیری انرژی الکتریکی در بخش توزیع)" به عنوان اولین نتایج این کمیته منتشر شده است. هدف از این دستورالعمل "تعیین تلفات انرژی الکتریکی به صورت مستمر در محدوده شرکت‌های توزیع نیروی برق" می‌باشد.

1-1-2-2-1-دستورالعمل ضوابط و الزامات جمع آوری و مانیتورینگ اطلاعات کنتورهای منصوبه در ابتدای فیدرهای فشار متوسط در دیسپاچینگ های توزیع

با توجه به لزوم بهره برداری بهینه و استفاده حداکثری از لوازم اندازه گیری منصوبه در خروجی فیدرهای فشار متوسط و تأمین امکان مانیتورینگ وضعیت پارامترهای الکتریکی به صورت همزمان در مرکز دیسپاچینگ توزیع و بازار برق به دلیل سرمایه گذاری‌های انجام شده، این دستورالعمل تدوین گردیده است. هدف از تدوین این دستورالعمل تعیین یک نظام هماهنگ و تبیین استانداردهای لازم جهت مانیتورینگ و جمع آوری اطلاعات اندازه گیری شده توسط کنتورهای عمومی منصوبه در ابتدای فیدرهای فشار متوسط خروجی پست‌های فوق توزیع و همچنین کنتورهای منصوبه در خروجی ترانسفورماتورهای پست‌های فوق توزیع توسط واحد متمرکز کننده داده[1] است. از اطلاعات جمع کننده (DCU) می‌توان به منظور راهبری و کنترل شبکه توزیع و پیش بینی بار و همچنین، استفاده از اطلاعات آن در زمان وقوع بحران و قطعی‌های بی برنامه و اتخاذ تصمیم لازم استفاده کرد.

1-1-2-3-1-دستورالعمل بازدید، آزمایش، سرویس و نگهداری انشعابات مشترکان دیماندی

[1] Data concentrator unit (DCU)

هدف از تهیه و تدوین این دستورالعمل تشریح روش بازدید، آزمایش، نظارت و سرویس و نگهداری انشعاب مشترکین به منظور کنترل دائمی در جهت حصول اطمینان از عملکرد صحیح آن و در نتیجه محاسبه دقیق انرژی الکتریکی مصرفی و جلب رضایت مشترکان می‌باشد. همچنین، دامنه کاربرد این دستورالعمل در بخش‌های مختلف شرکت‌های توزیع نیروی برق است.

1-1-1- چالش‌ها و محدودیت‌های بخش توزیع برق

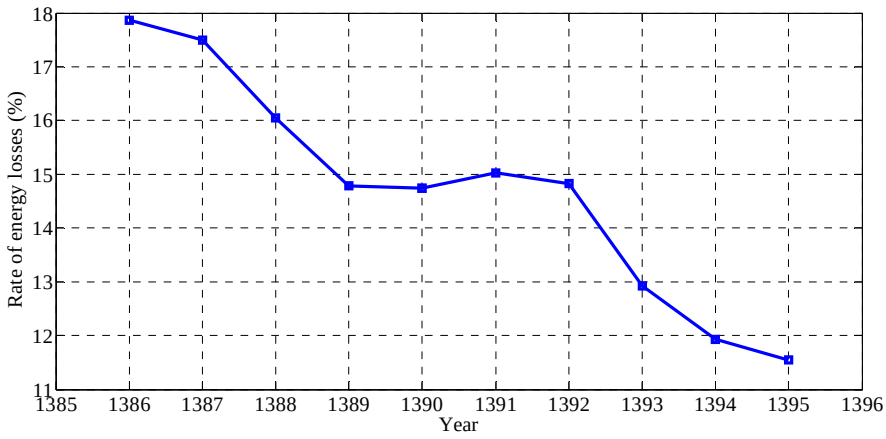
با توجه به ساختار شبکه توزیع برق می‌توان محدودیت‌ها و چالش‌های بخش توزیع مؤثر بر افزایش تلفات را به صورت زیر نام برد [4]:

- رشد غیریکنواخت و بالای مصرف انرژی
- گستردگی و پراکندگی شبکه‌های توزیع
- غیرمهندسی بودن شبکه‌های احداثی
- تصمیم گیری‌های مقطعی برای توسعه شبکه‌های توزیع از قبیل برقرسانی روستایی، کشاورزی و غیره بدون سرمایه گذاری لازم برای بهینه سازی و توسعه مناسب.
- عدم تناسب سرمایه گذاری انجام شده برای اصلاح و بهینه سازی شبکه‌های توزیع با حجم واقعی مشکلات موجود
- در دسترس بودن تاسیسات شبکه توزیع و سرقت برق و دستکاری لوازم اندازه گیری

1-1-2- تلفات توزیع برق در ایران

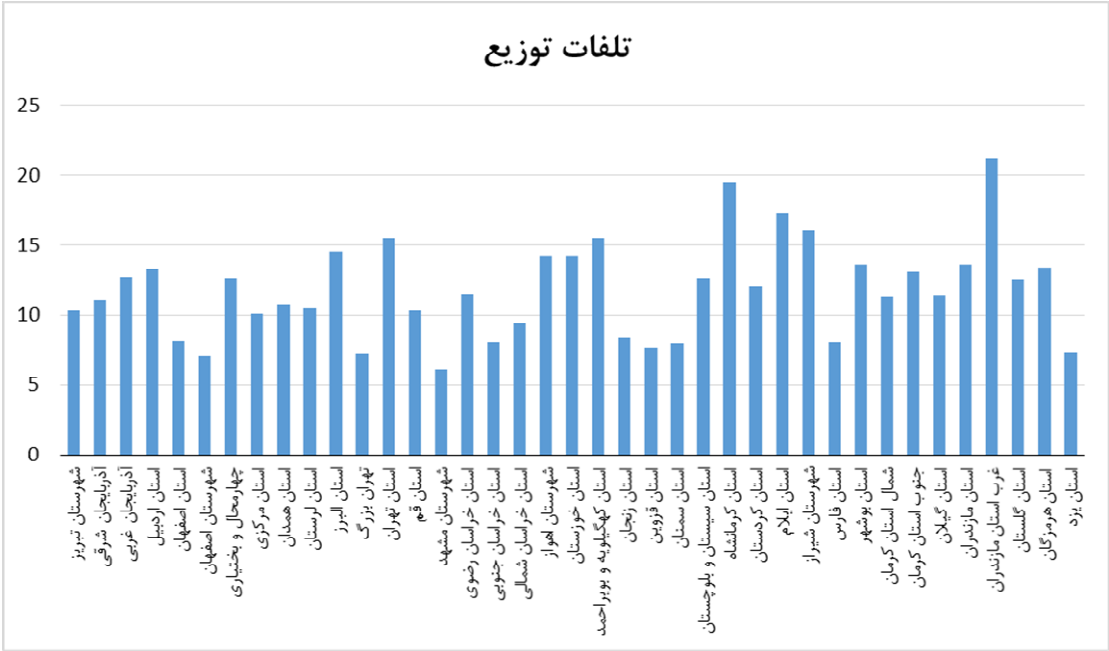
آنچه به عنوان تلفات در شبکه توزیع در نظر گرفته می‌شود، تفاوت بین انرژی تحویل شده به شبکه‌های توزیع و مقدار انرژی است که فروخته می‌شود و برای آن صورتحساب صادر می‌گردد. نرخ تلفات انرژی سالانه شبکه‌های توزیع برق ایران بین سال‌های 86 تا 95 در شکل (1-1) نشان داده شده است [3]. با توجه به شکل، نرخ تلفات در طول این سال‌ها کاهش پیدا کرده است که تلفات انرژی در سال 95 تقریباً 10/9 تراوات ساعت بوده است. برنامه ریزی شده

است تا سال 1404، نرخ تلفات در شبکه‌های توزیع برق در ایران به میزان 7 درصد برسد. همچنین، سطوح ولتاژ اولیه شبکه‌های توزیع برق ایران 33، 20 و 11 کیلوولت و سطح ولتاژ ثانویه 400 ولت است [1].



شکل (1-1): نرخ تلفات انرژی سالانه شبکه‌های توزیع برق [3]

در شکل (1-2) نیز تلفات شرکت‌های توزیع برق در سال 95 ارائه شده است. با توجه به این شکل، شرکت توزیع برق شهرستان مشهد با 6/13 درصد و شرکت توزیع برق غرب استان مازندران با 21/22 درصد کمترین و بیشترین میزان تلفات را دارند [3].



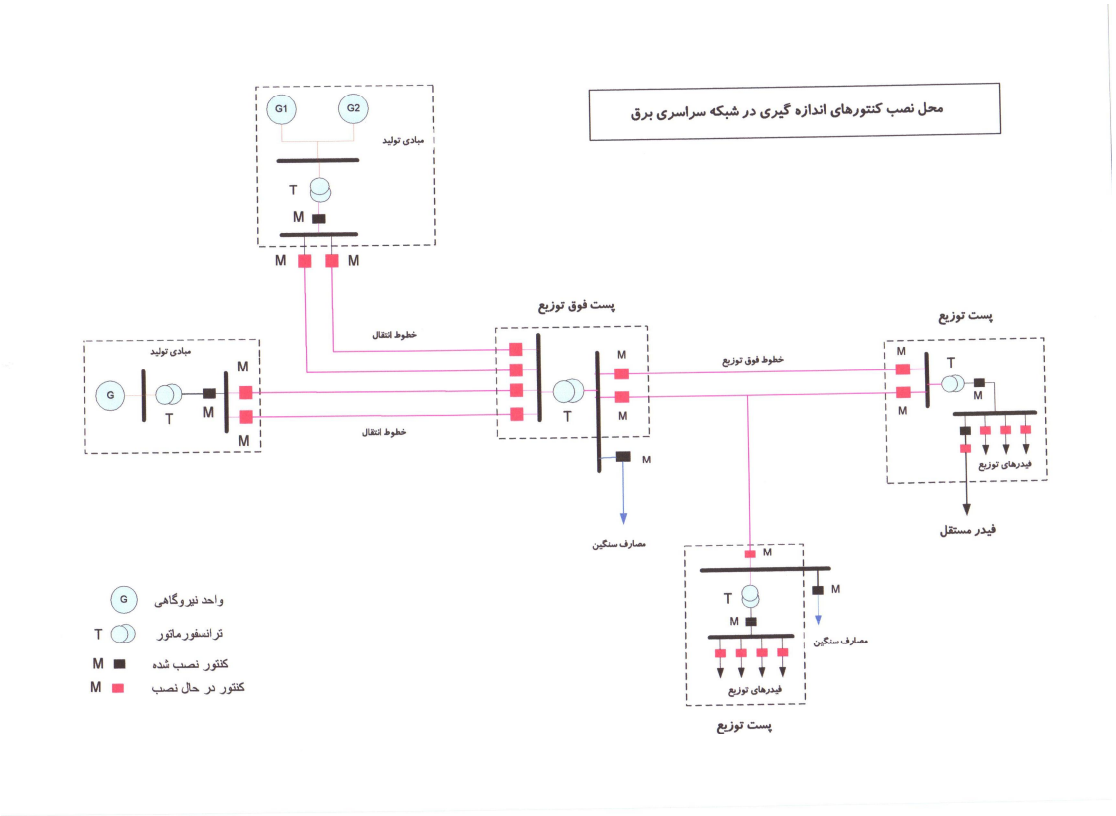
شکل (1-2): **تلفات شرکت‌های توزیع برق در سال** 95 [3]

1-2- پایش تلفات توزیع برق در ایران

در حال حاضر، در ایران مجموع انرژی تولیدی کشور در حدود 280 تراوات ساعت است. همچنین، فروش انرژی 39 شرکت توزیع برق نیز در حدود 237 تراوات ساعت می‌باشد. طبق آمار منتشر شده تا سال 1395، تلفات بخش توزیع برق نیز 11/54 درصد است، که در بین شرکت‌های توزیع برق ، شرکت‌هایی با تلفاتی در حدود 6 تا 22 درصد وجود دارند، ولی عمدتاً تلفات شرکت‌های توزیع در حوالی 12 درصد است.

انرژی تحویلی به شرکت‌های توزیع شامل انرژی است که مدیریت شبکه از طریق پست‌های فوق توزیع به آن‌ها می‌دهد و از طریق کنتورهایی که در خروجی ترانسفورماتورهای فوق توزیع نصب گردیده‌اند، محاسبه می‌شوند. همچنین، کنتورهای MK6 در ورودی فیدرهای 20 کیلوولت برای اندازه گیری نصب می‌شوند. مسئول فراهم سازی این کنتورها دفتر اندازه گیری شرکت سهامی مدیریت شبکه برق ایران است و مسئولیت نظارت بر نصب کنتورها برعهده شرکت‌های توزیع برق می‌باشد.

با این حال، تمام شرکت‌های توزیع برق بر روی فیدرهای خروجی خود لوازم اندازه گیری ندارند و به همین دلیل، از دقیق بودن انرژی تحویلی به شبکه توزیع مطمئن نیستند. حدود 12 هزار فیدر در بخش توزیع وجود دارد که اگر فرض شود هر شینه پست ترانس 6 فیدر داشته باشد در حدود 2 هزار کنتور MK6 وجود خواهد داشت. در برخی از شرکت‌های توزیع که در خروجی فیدرهای خود لوازم اندازه گیری نصب کرده‌اند، متوجه شده‌اند که مقدار انرژی ورودی به فیدر با خروجی آن مطابقت ندارد. در شکل (1-3)، محل نصب کنتورهای اندازه گیری در شبکه سراسری برق تا سال 89 نشان داده شده است.



شکل (1-3): محل نصب کنتورهای اندازه گیری [5]

همچنین، در حدود 90 تا 95 درصد از انرژی تحویلی به شرکت‌ها در صورتحساب انرژی مدیریت شبکه وجود دارد ولی برخی از انرژی‌هایی که به شرکت‌ها داده می‌شود نظیر دیزل ژنراتورهایی که خود مالک هستند یا مدیریت شبکه مالک آن‌ها هست و یا سلول‌های خورشیدی که امروزه در شبکه توزیع نصب شده‌اند، لوازم اندازه گیری ندارند. هر چند که مقدار آن‌ها خیلی کم است ولی میزان انرژی تحویلی را دقیق نمی‌کند.

دومین مشکل نحوه محاسبه انرژی مصرفی در دوره است. به عنوان مثال، اگر شرکت توزیع، مشترکی را به عنوان برق غیرمجاز شناسایی کند، با توجه به پروفیل باری که قبلاً داشته است آن شرکت را برای سه سالی که پروفیل بار آن تغییر کرده جریمه می‌کند و شرکت‌های توزیع به دلیل مشکلات مالی که دارند این مقدار را در همان سال وارد می کنند. مشکل این است که انرژی که شرکت برای این سه سال تحویل گرفته است فقط یک سوم آن مربوط به آن سال است ولی کل فروش را در همان سال می‌آورند. با توجه به این مورد، بعد از طرح جهادی کاهش تلفات یک دفعه تلفات برخی از شرکت‌ها به 5 درصد کاهش یافت.

مشکل بعدی ناشی از عدم همزمانی قرائت‌ها و مصارف است که این مورد امری طبیعی می‌باشد. اگر فرض شود 35 میلیون کنتور هوشمند موجود باشد، تمام انرژی ورودی در تاریخ 29 اسفند قرائت می‌شود ولی مصارف در تاریخ 29 اسفند خوانده نمی‌شوند. سیکل 6 قرائت شرکت‌های از حدود 10 اسفند شروع می‌شود و تا 10 فروردین ادامه می‌یابد که در این صورت شرکت‌ها این قرائت‌ها را نرمالیزه می‌کنند. به عنوان مثال، پس از قرائت کنتور در 10 فروردین، برآوردی انجام می‌دهد که 100 کیلووات ساعت مصرف مشترکان مربوط به فروردین است و 300 کیلووات ساعت مربوط به سیکل 6 است. این مورد در دست شرکت توزیع است و اگر بخواهد عدد تلفات خود را کم نشان دهد می‌تواند با این اعداد بازی کند.

چالش دیگر، چند هزار فیدر روشنایی است که لوازم اندازه گیری ندارند و شرکت‌های توزیع نیز می‌توانند از این مورد برای کاهش تلفات خود استفاده کنند. در حدود 9 میلیون لامپ روشنایی در کشور وجود دارد که در حدود 4/7 تراوات ساعت مصرف آن‌ها است. در نتیجه، نیمی از فیدرهای روشنایی لوازم اندازه گیری ندارند و از طریق برآورد تعداد لامپ‌ها و مدت زمان روشنایی آن‌ها میزان مصرف مشخص می‌شود.

با توجه به مشکلاتی که گفته شد، می‌توان دریافت که عدد 11/54 درصد عدد دقیقی نیست. عدم دقت در برآورد اندازه گیری تلفات پاشنه آشیل رگولاتور توزیع برق می‌باشد. به همین دلیل، ابتدا نیاز است تا بودجه ای به شرکت‌های توزیع داده شود تا شبکه خود را سنجش پذیر کنند تا در دوره‌های بعد مشخص شود که به ازای هر کیلوواتی که رگولاتور هزینه می‌کند چقدر شرکت صرفه جویی انرژی داشته است. البته، ساختار دولتی رگولاتور و شرکت‌ها نیز بر روی این موارد مؤثر است که با توجه به آن شرکت‌ها کمتر به دنبال کارایی هستند.

1-2-1- موانع و محدودیت‌های پایش تلفات در ایران

با توجه به توضیحات ذکر شده، موانع موجود در پایش تلفات در بخش توزیع برق را می‌توان به صورت زیر لیست کرد:

- عدم اندازه گیری درست انرژی‌های ورودی به شبکه توزیع (دقیق نبودن کنتورها)

- وجود دیزل ژنراتورها و سلول‌های خورشیدی در شبکه توزیع که لوازم اندازه گیری ندارند که موجب دقیق نبودن انرژی تحویلی به شبکه توزیع می‌شود.
- نحوه محاسبه انرژی مصرفی در دوره (برق غیرمجاز)
- عدم همزمانی قرائت کنتورها و مصارف
- عدم نصب لوازم اندازه گیری بر روی فیدرهای روشنایی
- مشخص نبودن سهم تلفات فنی و غیرفنی
- مشخص نبودن مقدار تلفات مورد هدف (مطلوب) برای هر شرکت توزیع برق

1-3- گزارش‌دهی تلفات در ایران

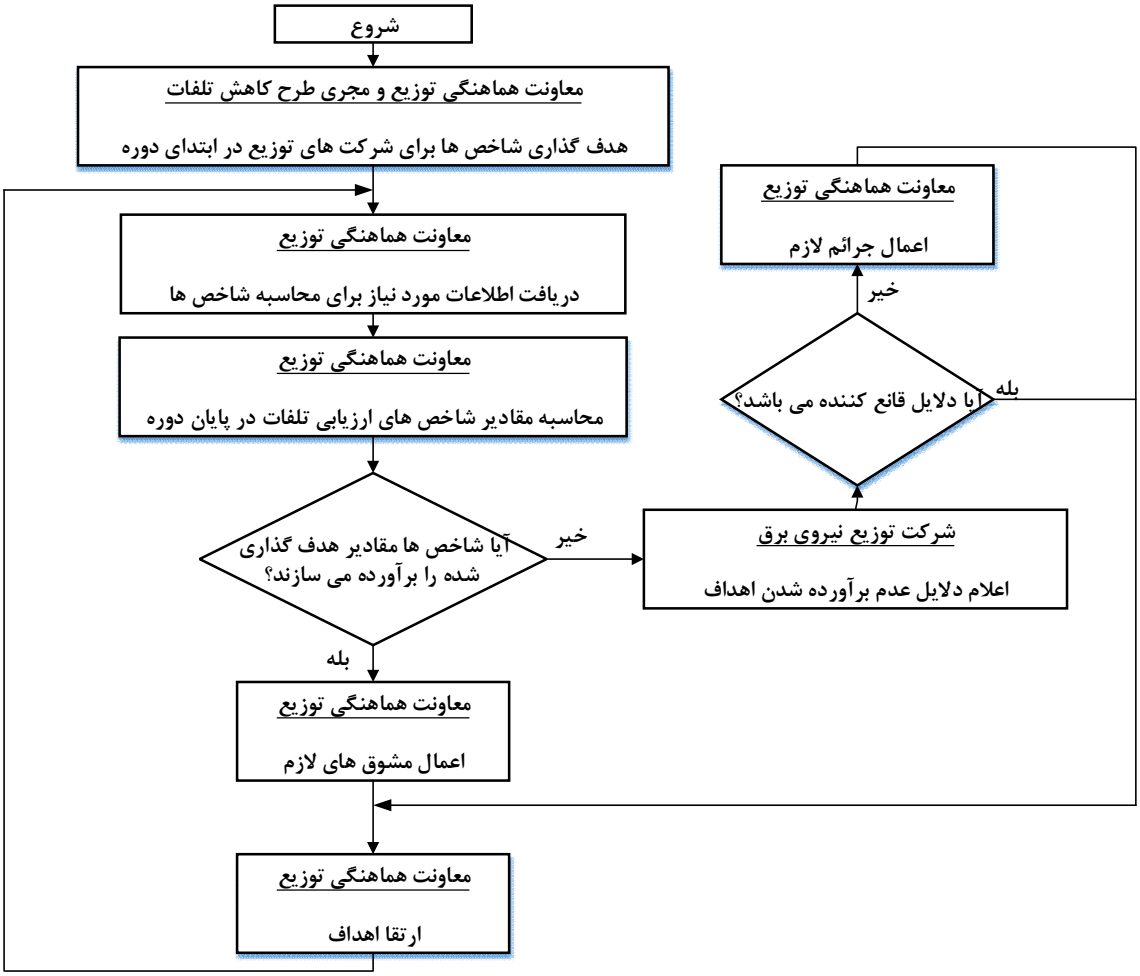
برای ارسال اطلاعات تلفات نیز داشبوردی (سامانه ای) وجود دارد که به صورت نقطه به نقطه تلفات در آن ثبت می شود و با مقدار آن در همان زمان در سال قبل مقایسه می‌شود. اطلاعات ورودی شامل انرژی اندازه گیری شده از کنتورهای MK6 است و فروش نیز از اطلاعات صورتحساب وارد می‌شود. در اینجا مشکل این است که فروش سیکل به سیکل است و در نتیجه تلفات در سیکل‌های مختلف متفاوت خواهد بود. مثلاً، در فروردین تلفات در حدود 70 درصد است ولی هنگامی که تجمیع می‌شود و به انتهای سال نزدیک می‌شویم تلفات به یک عدد معقول نزدیک می‌گردد.

1-4- تأمین تلفات انرژی در ایران

به دلیل ماهیت دولتی شرکت‌های توزیع برق و همچنین عدم وجود نظام انگیزشی مناسب به منظور کاهش تلفات، انگیزه لازم برای شرکت‌های توزیع برق برای کاهش تلفات در بخش توزیع ایجاد نمی‌گردد. با این وجود، خرید و تأمین تلفات توزیع برعهده شرکت‌های توزیع برق نخواهد بود و مسئولیت تأمین تلفات با دولت یا به بیان بهتر با شرکت سهامی مدیریت تولید، انتقال و توزیع نیروی برق ایران (توانیر) می‌باشد.

1-5- روند ارزیابی و سیاست گذاری تلفات در ایران

در ایران، معاونت هماهنگی توزیع توانیر و مجری طرح ملی کاهش تلفات مسئول نظارت و ارزیابی کاهش تلفات شرکت‌های توزیع برق می‌باشند. البته، معاونت هماهنگی توزیع توانیر نیز در هر سال باید گزارش عملکردی را به دفتر راهبری و نظارت امور برق (گروه هماهنگی و نظارت بر توزیع) ارائه دهد. براساس "دستورالعمل نحوه ارزیابی عملکرد فنی شرکت‌های توزیع در حوزه کاهش تلفات" ساختار نظارت بر عملکرد شرکت‌ها به صورت شکل (1-4) است [6].



شکل (1-4): فرایند نظارتی بر شرکت‌های توزیع در حوزه کاهش تلفات [6]

اولین مرحله در پایش شرکت‌های توزیع در حوزه کاهش تلفات، سنجش پذیر کردن عملکرد شرکت‌های توزیع در این حوزه می‌باشد. بدین منظور فعالیت شرکت‌های توزیع در حوزه کاهش تلفات از طریق شاخص‌های زیر مورد ارزیابی

قرار خواهند گرفت. معاونت هماهنگی توزیع و مجری طرح ملی کاهش تلفات با بررسی شرایط و قابلیت‌های هر شرکت توزیع نسبت به هدف گذاری هر یک از شاخص‌ها در دوره زمانی مشخص اقدام و برای تصویب به کمیته ملی کاهش تلفات ارائه می‌نمایند. دوره ارزیابی شاخص‌ها و منبع اطلاعات جهت محاسبه شاخص‌های ارزیابی تلفات به ترتیب در جداول (1-2) و (1-3) نشان داده شده است [6].

جدول (1-2): دوره ارزیابی شاخص‌ها [6]

شاخص	دوره ارزیابی
ضریب بهره برداری ترانسفورماتورها	سالیانه
مدیریت ولتاژ فشار متوسط	دوماهه
مدیریت ولتاژ فشار ضعیف	دوماهه
ظرفیت منصوبه جدید به ازای هر مشترک جدید	سالیانه
طول شبکه فشار ضعیف جدید به ازای هر مشترک جدید	سالیانه
مجموع ظرفیت تولید پراکنده نصب شده زیر 2 مگاوات	دوماهه
بهبود ضریب قدرت	ماهیانه

جدول (1-3): منبع اطلاعات جهت محاسبه شاخص‌های ارزیابی تلفات [6]

شاخص	اطلاعات مورد نیاز	نحوه دریافت اطلاعات
ضریب بهره برداری ترانسفورماتورها	• پیک بار غیرهمزمان • مجموع ظفیت منصوبه ترانسفورماتورها	عملکرد اخذ شده از شرکت مدیریت شبکه و آمار صنعت برق
مدیریت ولتاژ فشار متوسط	• تعداد کل نقاط اندازه گیری • تعداد کل نقاطی که ولتاژ در حد استاندارد است	کنتورهای مشترکین و یا سایر واحدهای اعلامی شرکت‌های توزیع
مدیریت ولتاژ فشار ضعیف	• تعداد کل نقاط اندازه گیری • تعداد کل نقاطی که ولتاژ در حد استاندارد است	کنتورهای مشترکین و یا سایر واحدهای اعلامی شرکت‌های توزیع برق
ظرفیت منصوبه جدید به ازا هر مشترک جدید	• ظرفیت منصوبه جدید • تعداد مشترکین جدید	آمار عملکرد شرکت‌های توزیع مندرج در گزارشات آماری صنعت برق
طول شبکه فشار ضعیف جدید به ازا هر مشترک جدید	• تعداد مشترکین جدید • طول شبکه فشار ضعیف جدید	آمار عملکرد شرکت‌های توزیع مندرج در گزارشات آماری صنعت برق

مجموع ظرفیت تولید پراکنده نصب شده زیر 2 مگاوات	• مجموع ظرفیت تولید پراکنده نصب شده زیر 2 مگاوات	آمار و تصلاعات اخذ شده از شرکت‌های برق منطقه ای و توزیع
بهبود ضریب توان	• انرژی اکتیو و راکتیو در: مرحله 1: خروجی ترانسفورماتورهای توزیع مرحله 2: فیدرهای 20 کیلوولت مرحله 3: خروجی ترانسفورماتورهای توزیع و مشترکین دیماندی	به ترتیب اجرا در سه مرحله با توجه به اطلاعات قابل دسترس در هر شرکت

برای صحت سنجی تلفات نیز کمیته تعیین تلفات وجود دارد که یک نماینده از مدیریت شبکه برای صحه گذاشتن بر روی قرائت‌ها و انرژی تحویلی، یک نماینده از حوزه مالی برای صحه گذاشتن بر روی اعدادی که شرکت‌های توزیع برای فروش در سال مالی عملکرد ابراز کردند، دارد. همچنین بخش‌هایی شامل روشنایی را ارزیابان فنی بر روی آن‌ها صحه می‌گذارند.

در صورتی که شرکت توزیع برق اهداف کاهش تلفات را مطابق با ارزیابی انجام شده برآورده کرده باشد، معاونت هماهنگی توزیع باید اهداف شاخص‌ها را برای دوره جدید ارتقا دهد و مشوق‌های لازم را به شرکت‌های توزیع اعطا کند [6].

مقدار مورد هدف تلفات نیز براساس بهبود در درصد تلفات گذشته تعیین می‌شود. به عنوان مثال، در ایران مقدار هدف با استفاده از جدول (1-4) محاسبه می‌شود. در این جدول، L_r مقدار درصد تلفات هدف گذاری شده، L_a درصد واقعی تلفات سال قبل و E درصد مورد انتظار کاهش سالانه در تلفات است [7].

جدول (1-4): محاسبه درصد تلفات توزیع برق مورد هدف در ایران [7]

تلفات واقعی (L_a)	L_a 24 ³	$< L_a £ 22$ 24	$< L_a £ 20$ 22	$20 < L_a £ 18$	$< L_a £ 16$ 18	$< L_a £ 14$ 16	$< L_a £ 12$ 14	$< L_a £ 10$ 12	$< L_a$ 10
بهبود (E)	10	8	7	6	5	4	3	2	0
تلفات مورد هدف (L_r)	$L_r = L_a(1-\frac{E}{100})$								8

هر چند با توجه به معرفی دستورالعمل ارزیابی عملکرد فنی شرکت‌های توزیع، هنوز از آن برای ارزیابی تلفات شرکت‌های توزیع برق استفاده نمی‌شود. در حال حاضر، با توجه به خود اظهاری شرکت‌های توزیع برق برای کاهش

تلفات و بررسی عملکرد شرکت در سال‌های گذشته، بودجه ای از جانب معاونت هماهنگی توزیع در اختیار شرکت‌های توزیع برق قرار می‌گیرد تا تلفات شبکه خود را کاهش دهند. با توجه به این موضوع، انگیزه کافی برای شرکت توزیع برق به منظور کاهش تلفات ایجاد نمی‌گردد.

6-1- جمع‌بندی

در این فصل، کاستی‌های فرایند پایش تلفات در بخش توزیع برق مورد بررسی قرار گرفت. دقیق نبودن تجهیزات اندازه گیری انرژی ورودی به شبکه توزیع، نحوه محاسبه برق غیر مجاز در دوره مصرف، عدم همزمانی قرائت کنتورها و مصارف و عدم نصب لوازم اندازه گیری بر روی فیدرهای روشنایی در تمام کشور از جمله کمبودهای فرایند پایش تلفات توزیع در ایران است. همچنین، با توجه به معرفی دستورالعمل نحوه ارزیابی عملکرد فنی شرکت‌های توزیع در حوزه کاهش تلفات، عدم اجرای آن مهم‌ترین مشکل در ارزیابی تلفات شرکت‌های توزیع برق و ایجاد انگیزه در آن‌ها می‌باشد.

فصل دوم
بررسی روش‌های شناسایی و تصحیح داده‌های دارای خطا در سامانه‌های پایش مصرف بارهای الکتریکی شبکه توزیع ایران

مقدمه

تلفات غیرفنی که شامل سرقت برق و دیگر رفتارهای غیرقانونی مشترکین است، مشکلی اساسی در صنعت برق محسوب می‌شود. این تلفات با توجه به دستکاری ابزارهای اندازه گیری (کنتورها)، خطاهای کنتور برق، ارتباطات غیرقانونی، بی نظمی در صدور صورتحساب و صورتحساب‌های پرداخت نشده رخ می‌دهد. مشکلات ناشی از تلفات غیرفنی نه تنها در کشورهای کمتر توسعه یافته مناطق آسیایی و آفریقایی، بلکه در کشورهای توسعه یافته مانند ایالات متحده آمریکا و انگلستان نیز روی داده است. به طور خاص، میزان بالای تلفات غیرفنی در بیشتر کشورهای در حال توسعه در جنوب شرق آسیا که شامل مالزی، اندونزی، تایلند و ویتنام می‌شود، گزارش شده است [8، 9].

با توجه به وجود مشکل تلفات غیرفنی در شبکه توزیع برق، روش‌های مختلف برای مدیریت کارآمد آن‌ها و حفاظت از درآمد در صنعت توزیع برق ارائه شده است. در حال حاضر، موثرترین روش برای کاهش تلفات غیرفنی و زیان اقتصادی، استفاده از دستگاه‌های اندازه گیری الکترونیکی هوشمند است که امکان فعالیت‌های تقلب و برق دزدی را مشکل تر و تشخیص را آسان‌تر می‌کند. با این حال، هزینه چنین دستگاه‌هایی گران است. بنابراین، استفاده از این نوع دستگاه‌ها توسط شرکت‌های توزیع برق در حال حاضر امکان پذیر نمی‌باشد [8].

داده کاوی[1] به منظور پاسخگویی به چالش‌های مختلف به کار برده می‌شود. به طور کلی، داده کاوی به عنوان "فرایند کشف مدل‌های مختلف، خلاصه سازی ها و ارزش‌های به دست آمده از مجموعه داده‌ها" تعریف شده است. در سال‌های اخیر، مطالعات داده کاوی زیادی در زمینه شناسایی و کشف تقلب در صنعت توزیع برق انجام شده است. از جمله این مطالعات می‌توان به: مجموعه‌های سخت یا نادقیق[2]، روش‌های آماری[3]، درخت تصمیم[4]، شبکه عصبی

[1] Data mining
[2] Rough sets
[3] Statistical methods
[4] Decision trees

مصنوعی[1]، یادگیری ماشین شدید[2]، روش‌های آماری مبتنی بر تشخیص داده‌های پرت[3]، کشف دانش در پایگاه داده[4]، استخراج ویژگی‌ها با طبقه‌های متعدد اشاره کرد. علاوه بر صنعت توزیع برق، تکنیک‌های داده کاوی در انواع دیگر کسب و کارها از جمله: ارتباط از راه دور، بیمه، مدیریت ریسک و تراکنش‌های کارت‌های اعتباری استفاده می‌شود [8، 10 و 11]. مرور ادبیات پیشینه در مورد تلفات غیرفنی با استفاده از داده کاوی در جدول (2-1) ارائه شده است.

جدول (2-1): ادبیات پیشینه در مورد تلفات غیرفنی با استفاده از داده کاوی [8]

مرجع	تکنیک مورد استفاده
[12]	شبکه عصبی دو لایه
[13]	دسته بندی
[14]	شبکه عصبی و روش‌های آماری
[15]	سیستم نروفازی و ترکیب آن با سیستم رأی دهی پنج مرحله ای
[16]	داده کاوی چندبعدی استخوان ماهی
[17]	شبکه بیزین و درخت تصمیم گیری و ضریب پیرسون

از جمله فرایندهایی که برای داده کاوی وجود دارد می‌توان به فرایند کشف دانش و داده کاوی و فرایند استاندارد صنعت متقابل برای داده کاوی[5] اشاره کرد. کریسپ دی‌ام به صورت ساده یک متدولوژی و فرایند داده کاوی جامع است که برای همه از مبتدی تا خبره آماده شده است.

2-2- یادگیری ماشین[6]

به عنوان یکی از شاخه‌های وسیع و پر کاربرد هوش مصنوعی، یادگیری ماشین به تنظیم و اکتشاف شیوه‌ها و الگوریتم‌هایی می‌پردازد که براساس آن‌ها رایانه‌ها و سامانه‌ها توانایی تعلم و یادگیری دارند. هدف یادگیری ماشین این است که رایانه بتواند به تدریج و با افزایش داده‌ها کارایی بهتری در انجام وظیفه‌ی مورد نظر پیدا کند. گستره‌ی این

[1] Artificial neural networks (ANNs)
[2] Extreme machine learning (EML)
[3] Statistical-based outlier detection
[4] Knowledge discovery in databases (KDDs)
[5] Cross industry standard process for data mining (CRISP DM)
[6] Machine learning

وظیفه می‌تواند از تشخیص خودکار چهره با دیدن چند نمونه از چهره‌ی مورد نظر تا فراگیری شیوه‌ی گام برداری روبات‌های دوپا با دریافت سیگنال پاداش و تنبیه باشد. یادگیری ماشین کمک فراوانی به صرفه جویی در هزینه‌های عملیاتی و بهبود سرعت عمل تجزیه و تحلیل داده‌ها می‌کند. به عنوان مثال، در صنعت نفت و پتروشیمی با استفاده از یادگیری ماشین، داده‌های عملیاتی تمام حفاری‌ها اندازه گیری شده و با تجزیه و تحلیل داده‌ها، الگوریتم‌هایی تنظیم می‌شود که در حفاری‌های بعدی بیشترین نتیجه و استخراج بهینه را داشته باشد.

2-2-1- یادگیری تحت نظارت[1]

یادگیری تحت نظارت یکی از زیرمجموعه‌های یادگیری ماشین است. این روش، یک روش عمومی در یادگیری ماشین است که در آن به یک سیستم، مجموعه ای از جفت‌های ورودی – خروجی ارائه شده و سیستم تلاش می‌کند تا تابعی از ورودی به خروجی آر فرا گیرد. یادگیری تحت نظارت نیازمند تعدادی داده ورودی به منظور آموزش سیستم است. با این حال، رده ای از مسائل وجود دارند که یک سیستم یادگیری تحت نظارت نیازمند آن است، برای آن‌ها موجود نیست. این نوع از مسائل چندان قابل جوابگویی با استفاده از یادگیری تحت نظارت نیستند. یادگیری تقویتی[2] مدلی برای مسائلی از این قبیل فراهم می‌کند. در یادگیری تقویتی، سیستم تلاش می‌کند تا تقابلات خود با یک محیط پویا را از طریق آزمون و خطا بهینه کند. یادگیری تقویتی مسئله ای است که یک عامل که می‌بایست رفتار خود را از طریق تعاملات آزمون و خطا با یک محیط پویا فرا گیرد، با آن مواجه است. در یادگیری تقویتی هیچ نوع زوج ورودی – خروجی ارائه نمی‌شود. به جای آن، پس از اتخاذ یک عمل، حالت بعدی و پاداش بلافصل به عامل ارائه می‌شود. هدف اولیه برنامه ریزی عامل‌ها با استفاده از تنبیه و تشویق است بدون آنکه ذکری از چگونگی انجام وظیفه آن‌ها شود. یک مجموعه از مثال‌های یادگیری وجود دارد که به ازای هر ورودی، مقدار خروجی یا تابع مربوطه نیز مشخص است.

[1] Supervised learning
[2] Reinforcement learning

هدف سیستم یادگیر به دست آوردن فرضیه ای است که تابع یا رابطه ورودی یا خروجی را حدس بزند. بـه ایـن روش یادگیری با نظارت گفته می‌شود.

2-2-2- یادگیری بدون نظارت[1]

یادگیری بدون نظارت، یکی از انواع یادگیری در یادگیری ماشین است. اگر یادگیری بر روی داده‌های بدون برچسب و برای یافتن الگوهای پنهان در این داده‌ها انجام شود، یادگیری بدون نظارت خواهد بود. از انواع یادگیری بدون نظارت می‌توان به خوشه بندی، مدل پنهان مارکوف و برخی شبکه‌های عصبی مصنوعی اشاره کرد.

2-2-3- الگوریتم‌های یادگیری ماشین

الگوریتم‌های مختلف یادگیری ماشین عبارت‌اند از:

- یادگیری درخت تصمیم از یک درخت تصمیم به عنوان یک مدل پیش بینی استفاده می‌کند کـه مشـاهدات مربوط به یک بخش را تا نتیجه گیری در مورد هدف آن بخش ترسیم می‌کند.
- یادگیری قانون وابستگی[2] یک روش مناسب برای یافتن روابـط جـذاب بـین متغیرهـای موجـود در پایگـاه داده‌های بزرگ است.
- شبکه‌های عصبی مصنوعی یا به زبان ساده تر شبکه‌های عصبی سیستم‌ها و روش‌هـای محاسـباتی نـوین برای یادگیری ماشین، نمایش دانش و در نهایت اعمال دانش به دست آمده در جهت پیش بینی پاسخ‌های خروجی از سامانه‌های پیچیده هستند. ایده‌ی اصلی اینگونه شبکه‌ها تا حـدودی الهـام گرفتـه از شـیوه‌ی کارکرد سیستم عصبی زیستی برای پردازش داده‌ها و اطلاعات به منظور یادگیری و ایجاد دانش قرار دارد.

[1] Unsupervised machine learning
[2] Association rule learning

عنصر کلیدی این ایده، ایجاد ساختارهایی جدید برای سامانه‌ی پردازش اطلاعات است. شبکه‌های عصبی معمولاً روابط پیچیده بین ورودی‌ها و خروجی‌ها را مدل می‌کنند تا الگو بین داده‌ها را پیدا کنند.

- یادگیری عمیق[1] یک زیرشاخه از یادگییری ماشین است و بر مبنای مجموعه ای از الگوریتم‌های می‌باشد که در تلاش هستند مفاهیم انتزاعی سطح بالا در دادگان را مدل نمایند که این فرایند را با استفاده از یک گراف عمیق که دارای چندین لایه پردازشی متشکل از چندین لایه تبدیلات خطی و غیرخطی هستند، مدل می‌کنند. در حقیقت، عبارت یادگیری عمیق بررسی روش‌های تازه برای شبکه عصبی مصنوعی است.
- ماشین بردار پشتیبان یکی از روش‌های یادگیری تحت نظارت است که از آن برای طبقه بندی[2] و رگرسیون[3] استفاده می‌شود. با توجه به مجموعه ای از نمونه‌های آموزش داده شده که هر کدام به دو دسته تعلق دارند، یک الگوریتم آموزشی SVM یک مدلی را ایجاد می‌کند که پیش بینی می‌کند آیا یک نمونه جدید در کدام دسته قرار می‌گیرد.
- خوشه بندی در یادگیری ماشین، یکی از شاخه‌های یادگیری بدون نظارت می‌باشد و فرایندی است که در طی آن، نمونه‌ها به دسته‌هایی که اعضای آن مشابه یکدیگر می‌باشند تقسیم می‌شوند که به این دسته‌ها خوشه گفته می‌شود. بنابراین، خوشه مجموعه ای از اشیا می‌باشد که در آن اشیا با یکدیگر مشابه بوده و با اشیا موجود در خوشه‌های دیگر غیر مشابه می‌باشند.
- شبکه بیزی[4] یک گراف جهت دار غیرمدور[5] است که مجموعه ای از متغیرهای تصادفی و نحوه ارتباط مستقل آن‌ها را نشان می‌دهد. به عنوان نمونه یک شبکه بیزی می‌تواند نشان دهنده ارتباط بین بیماری‌ها و علائم آن‌ها باشد. پس با داشتن علائم باید بتوان احتمال یک بیماری خاص را در یک بیمار تشخیص

[1] Deep learning
[2] Classification
[3] Regression
[4] Bayesian network
[5] Directed acyclic graph (DAG)

داد. شبکه بیزین یک ابزار نسبتاً جدید برای شناسایی روابط احتمالی به منظور پیشگویی یا ارزیابی کلاس عضویت است.

- الگوریتم ژنتیک[1] نوع خاصی از الگوریتم‌های تکامل است که از تکنیک‌های زیست شناسی مانند وراثت، جهش زیست شناسی و اصول انتخابی داروین برای یافتن فرمول بهینه جهت پیش بینی یا تطبیق الگو استفاده می‌شود. الگوریتم‌های ژنتیک اغلب گزینه خوبی برای تکنیک‌های پیش بینی بر مبنای رگرسیون هستند.

2-3- داده کاوی

داده کاوی به مفهوم استخراج اطلاعات نهان یا الگوها و روابط مشخص در حجم زیادی از داده‌ها در یک یا چند بانک اطلاعاتی بزرگ گفته می‌شود. بسیاری، داده کاوی را مترادف واژه‌های رایج کشف دانش از داده کاوی می‌دانند. داده کاوی، پایگاه داده (دیتابیس) و مجموعه حجیم داده‌ها را در پی کشف و استخراج مورد تحلیل قرار می‌دهد. این گونه مطالعات و کاوش‌ها را به واقع می‌توان همان امتداد و استمرار دانش کهن و همه جا گیر آمار دانست. تفاوت عمده در مقیاس، وسعت و گوناگونی زمینه‌ها و کاربردها و نیز ابعاد و اندازه‌های داده‌های امروزی است که شیوه‌های ماشینی مربوط به یادگیری، مدل سازی و آموزش را طلب می‌نماید.

داده کاوی به بهره گیری از ابزارهای تجزیه و تحلیل داده‌ها به منظور کشف الگوها و روابط معتبری که تاکنون ناشناخته بوده‌اند اطلاق می‌شود. این ابزارها ممکن است مدل‌های آماری، الگوریتم‌های ریاضی و روش‌های یادگیری ماشین باشند که کار این خود را به صورت خودکار و براساس تجربه ای که از طریق شبکه‌های عصبی یا درخت‌های تصمیم گیری به دست می‌آورند، بهبود می‌بخشند. داده کاوی منحصر به گردآوری و مدیریت داده‌ها نبوده و تجزیه و تحلیل اطلاعات و پیش بینی را نیز شامل می‌شود.

2-3-1- محدودیت‌های داده کاوی

[1] Genetic algorithm (GA)

در حالیکه محصولات داده کاوی ابزارهای قدرتمندی می‌باشند، اما در نوع کاربردی کافی نیستند. برای کسب موفقیت، داده کاوی نیازمند تحلیل حرفه ای و متخصصان ماهری می‌باشد که بتوانند ترکیب خروجی به وجود آمده را تحلیل و تفسیر نمایند. در نتیجه، محدودیت‌های داده کاوی مربوط به داده اولیه یا افراد است تا اینکه مربوط به تکنولوژی باشد.

اگرچه داده کاوی به الگوهای مشخص و روابط آن‌ها کمک می‌کند، اما برای کاربر اهمیت و ارزش این الگوها را بیان نمی‌کند. اصمیمای از این قبیل بر عهده‌ی خود کاربر است. برای نمونه در ارزیابی صحت داده کاوی، برنامه کاربردی در تشخیص مظنونان تروریست طراحی شده که ممکن است این مدل به کمک اطلاعات موجود در مورد تروریست‌های شناخته شده، آزمایش شود. با این همه، در حالیکه ممکن است اطلاعات شخص به طور معین دوباره تصدیق گردد که این مورد به این منظور نیست که برنامه مظنونی را که رفتارش به طور خاص از مدل اصلی منحرف شده را تشخیص بدهد.

تشخیص رابطه بین رفتارها یا متغیرها یکی دیگر از محدودیت‌های داده کاوی می‌باشد که لزوماً روابط اتفاقی را تشخیص نمی‌دهد. برای مثال برنامه‌های کاربردی ممکن است الگوهای رفتاری را مشخص کند، مثل تمایل به خرید بلیط هواپیما درست قبل از حرکت که این موضوع به مشخصات درآمد، سطح تحصیلی و استفاده از اینترنت بستگی دارد.

2-4- تلفات غیرفنی

تلفات غیرفنی به تلفاتی که مستقل از تلفات فنی رخ می‌دهد گفته می‌شود. تلفات غیرفنی ناشی از اقدامات خارجی در سیستم قدرت است. تلفات غیرفنی مرتبط با فرایند مدیریت مشترکین است و می‌تواند شامل تعدادی از روش‌های تقلب آگاهانه باشد که شرکت توزیع برق را نگران می‌کند. به طور خاص، تلفات غیرفنی عمدتاً مربوط به سرقت برق می‌شود [18، 19 و 20].

اندازه گیری تلفات غیرفنی معمولاً بسیار دشوار است و به همین دلیل اغلب توسط بهره برداران سیستم در نظر گرفته نمی‌شوند. دو بخش اصلی تشکیل دهنده تلفات غیرفنی، خرابی تجهیزات و سرقت برق است. تلفات غیرفنی

ناشی از خرابی تجهیزات کاملاً نادر است که عوامل ممکن است تجهیزاتی باشند که در معرض رعد و برق قرار گرفته‌اند، تجهیزات آسیب دیده در طول زمان و انجام ندادن تعمیرات تجهیزات است. تجهیزات انتخاب شده و زیرساخت‌های توزیع با توجه به شرایط آب و هوایی محلی و پدیده‌های طبیعی طراحی می‌شوند، به همین دلیل، خرابی تجهیزات به دلیل حوادث طبیعی نظیر باران، برف و باد نادر است.

کاهش تلفات غیرفنی برای شرکت‌های توزیع برق ضروری است، به دلیل آنکه این تلفات در شبکه فشار ضعیف متمرکز است و در سطوح پایین تر در بخش‌های خانگی، تجاری، صنعتی و روشنایی بیشتر مهم می‌باشد. متداول‌ترین فرم‌های تلفات غیرفنی سرقت برق و عدم پرداخت صورتحساب است. عوامل تشکیل دهنده تلفات غیرفنی می‌تواند به صورت زیر تشریح گردند [18]:

1. دستکاری کنتورها به صورتی که کنتور نرخ کمتری از مصرف برق را ثبت می‌کند.
2. بای پس کردن کنتورها یا گرفتن انشعاب غیرمجاز
3. عدم دقت در قرائت کنتور
4. صدور صورتحساب غلط برای مشتری
5. روش‌های جمع آوری درآمد ضعیف
6. تنظیم صورت حساب با کمک کارمندان مانند صدور صورتحساب‌های پایین تر
7. عدم پرداخت صورتحساب برق
8. تلفات به دلیل کنتورها و تجهیزات معیوب
9. تخمین نادرست بخش‌های اندازه گیری نشده نظیر روشنایی معابر، مصارف کشاورزی و غیره.

2-4-1- تاثیرات تلفات غیرفنی

تلفات غیرفنی بر روی بخش‌های مالی و اقتصادی شرکت‌های توزیع برق و همچنین پایداری سیاسی آن‌ها تاثیرگذار است. تاثیرات مالی برای شرکت‌های توزیع برق مهم تر است، به دلیل آنکه منجر به کاهش سود، کمبود بودجه برای سرمایه گذاری در بهبود سیستم برق و ظرفیت آن و ضرورت اجرای اقدامات برای مقابله با تلفات سیستم

قدرت می‌شود. تاثیرات کلی اقتصادی بر شرکت‌های توزیع برق مرتبط با فساد و مداخله سیاسی داخلی است. در این موارد، هزینه تلفات غیرفنی بر عهده مشترکین گذاشته می‌شود تا این تلفات را پوشش دهند. بنابراین، کاهش تلفات غیرفنی برای شبکه‌های توزیع برق ضروری است که در این صورت هزینه‌ها هم برای شرکت توزیع برق و هم برای مشترکین حداقل خواهد شد و کارایی شبکه توزیع برق نیز بهبود خواهد یافت [18].

2-4-2- روش‌های کاهش تلفات غیرفنی کنونی

در شرایط فعلی، شرکت‌های برق در ایران با استفاده از نرم افزارهایی مانند اکسل تلاش می‌کنند مشترکین دارای رفتار ناهنجار را شناسایی کنند. به عنوان مثال، مشترکینی که مصرف آن‌ها 10 درصد کمتر از مصرف دوره‌ی قبل آن قرار می‌گیرد، در لیست مشترکین مشکوک به تخلف قرار می‌گیرند و برای بازرسی حضوری معرفی می‌شوند. یک راه مناسب برای حل این مشکل اشتفاده از داشبوردهای اطلاعاتی است.

یک راه ساده برای نمایش اطلاعات مشترکین در داشبوردهای اطلاعاتی، نمایش سری زمانی حجم مصرف آن‌ها است. در این روش در صورت هم مقیاس نبودن حجم مصرف مشترکین متخلف، قابلیت ریز کردن یا تجمیع اطلاعات داشبورد بدون کاربرد می‌شوند، چرا که اطلاعات چند مشترک بزرگ بر اطلاعات سایر مشترکین غالب می‌شود. از طرف دیگر عوامل محیطی مانند تغییرات فصلی یا رکود اقتصادی می‌توانند منجر به تغییر در حجم مصرف شده و کاربران را در شناسایی مشترکین متخلف به خطا بیندازد [9].

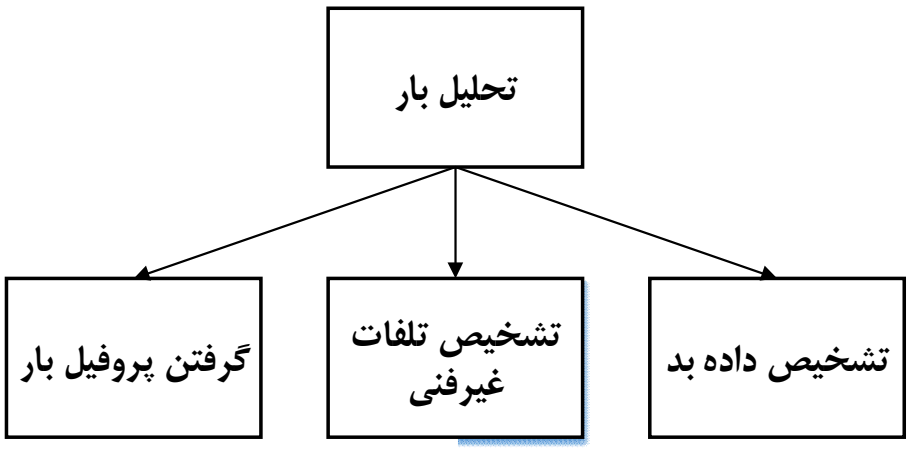
روش‌های متعددی برای غلبه و حداقل کردن مشکلات مربوط به تلفات غیرفنی در سیستم‌های قدرت پیشنهاد شده است. دو مورد از متداول‌ترین روش‌های مورد استفاده: 1) استفاده از کنتورهای الکترونیکی برای حفظ درآمد و 2) استفاده از روش‌های تخمین. روش اول نشان می‌دهد که نصب کنتورهای الکترونیکی به رغم هزینه‌های بالا و توسعه زیرساخت‌های ضروری شبکه مفید است. بعلاوه، قرائت کنتور خودکار به عنوان یک فیلتر هوشمند استفاده شده است تا یک روش مؤثر برای اندازه گیری تلفات و سرقت برق در شبکه‌های توزیع فشار ضعیف ایجاد شود. روش دوم، یک روش آماری برای حداقل کردن تلفات انرژی الکتریکی به خصوص تلفات غیرفنی در شبکه‌های توزیع برق ارائه می

کند. مدل سازی تخمین به عنوان یک روش مؤثر در کاهش هزینه برق برای مشترکین در نظر گرفته می‌شود که توسط ارزیابی فنی و طراحی اقتصادی شبکه‌های توزیع برق به دست می‌آید.

روش‌های کنونی حداقل کردن تلفات غیرفنی هزینه‌های بهره برداری زیادی را تحمیل می‌کند و نیاز به استفاده گسترده از منابع انسانی است. چندین روش در کشورهای دیگر برای حداقل کردن مشکلات تلفات غیرفنی ایجاد شده است. بیشتر شرکت‌های توزیع برق بر روی بازرسی فنی محل مشترکین متمرکز می‌شوند که هزینه‌های بهره برداری بالایی دارند و منابع انسانی و زمان زیادی را تصرف می‌کند. به همین دلیل، پایش و شناسایی انحراف در پروفیل‌های بار مشترکین می‌تواند به عنوان یک روش جایگزین برای تشخیص تلفات غیرفنی استفاده شود [18].

2-5- تحلیل بار

در این بخش، منظور از تحلیل بار تشخیص رفتارهای غیرعادی و گرفتن پروفیل بار است. تشخیص رفتارهای غیر عادی بسیار مهم است، به دلیل آنکه آموزش یک مدل بر روی داده‌های کنتور هوشمند با داده‌های غیرمعمول نظیر مدل پیش بینی بار یا مدل خوشه بندی ممکن است منجر به شکست در ارزیابی پارامترها و ایجاد مدل شود. علاوه بر این، داده‌های قابل اعتماد کنتور هوشمند برای صدور صورتحساب درست مهم هستند. تشخیص رفتارهای غیرعادی در داده‌های کنتور هوشمند از دیدگاه تشخیص داده‌های بد و تشخیص تلفات غیرفنی بررسی می‌شود که در شکل (2-1) نشان داده شده است. پروفیل بار نیز برای یافتن الگوهای مصرف برق هر مصرف کننده یا گروهی از مصرف کنندگان استفاده می‌شود. نتایج پروفیل بار می‌تواند برای پیش بینی بار و برنامه‌های پاسخگویی بار استفاده شود [21].



شکل (2-1): طبقه بندی تحلیل بار [21]

2-6- تشخیص داده بد

داده‌های بد که در اینجا مورد بحث قرار می‌گیرند می‌توانند داده‌های از دست رفته یا الگوهای غیرمعمول ناشی از وقایع ناخواسته یا عدم موفقیت در جمع آوری، ارسال یا ورود داده‌ها باشد. تشخیص داده بد می‌تواند به روش‌های احتمالاتی، آماری و یادگیری ماشین تقسیم شود. روش‌های تشخیص داده بد در حوزه‌های دیگر نیز می‌تواند به صورت مستقیم بر روی داده‌های کنتور هوشمند استفاده شود. تنها کارهایی که مرتبط با تشخیص داده بد کنتور هوشمند هستند در این بخش مورد بررسی قرار می‌گیرند. با توجه به روش‌های مدل سازی، این کارهای صورت گرفته به صورت روش‌های مبتنی بر سری‌های زمانی[1]، روش‌های مبتنی بر تکنیک ماتریس با اولویت پایین[2] و روش‌های مبتنی بر پنجره زمانی[3] خلاصه می‌شوند.

اساساً داده‌های کنتور هوشمند سری‌های زمانی هستند. روش متوسط وزن دهی بهینه[4] برای تشخیص درستی و محاسبه داده پیشنهاد شده است که می‌تواند بر روی موقعیت‌های آفلاین و آنلاین پیاده شود. فرض شده است که داده‌های بار می‌تواند به صورت ترکیبی خطی از نزدیک‌ترین داده‌های مجاور شرح داده شوند، که بسیار شبیه مدل خودهمبسته میانگین متحرک[5] برای سری‌های زمانی است. وزن مطلوب به وسیله آموزش یک مدل بهینه سازی کسب می‌شود. ارتباط غیرخطی بین داده‌ها در دوره‌های زمانی مختلف و ورودی‌های خارجی با ترکیب مدل‌های خودهمبستگی با ورودی‌های خارجی[6] و شبکه عصبی مصنوعی[7] مدل سازی شده است که تشخیص داده بد به صورت یک آزمایش فرضی بر روی شدت باقیمانده‌ها مدل سازی شد. مطالعه موردی بر روی داده‌های پخش گاز انجام شده

[1] Time series based methods
[2] Low rank matrix technique based methods
[3] Timewindow based methods
[4] Optimally weighted average (OWA)
[5] Autoregressive moving average (ARIMA) model
[6] Autoregressive with exogenous inputs (ARX)
[7] Artificial neural network (ANN)

است و بهبودی در دقت پیش بینی بار بعد از تشخیص داده‌های بد مبتنی بر ARX را نشان می‌دهد. بـه طـور مشـابه، براساس مدل خودهمبسته، به ترتیب انحراف استیودنتیده حداکثر[1] و تست Q^2 برای تشخیص غلط‌ها در زمانی کهتعداد نمونه‌ها بیشتر و کمتر از 10 است پیشنهاد شده‌اند. سپس، تحلیل متغیرهای کانونی[3] به منظور جمع آوری پروفیل بارها انجام می‌شود و یک تحلیل تشخیصی خطی[4] برای جستجو مصرف برق غیرعادی استفاده می‌شود [21].

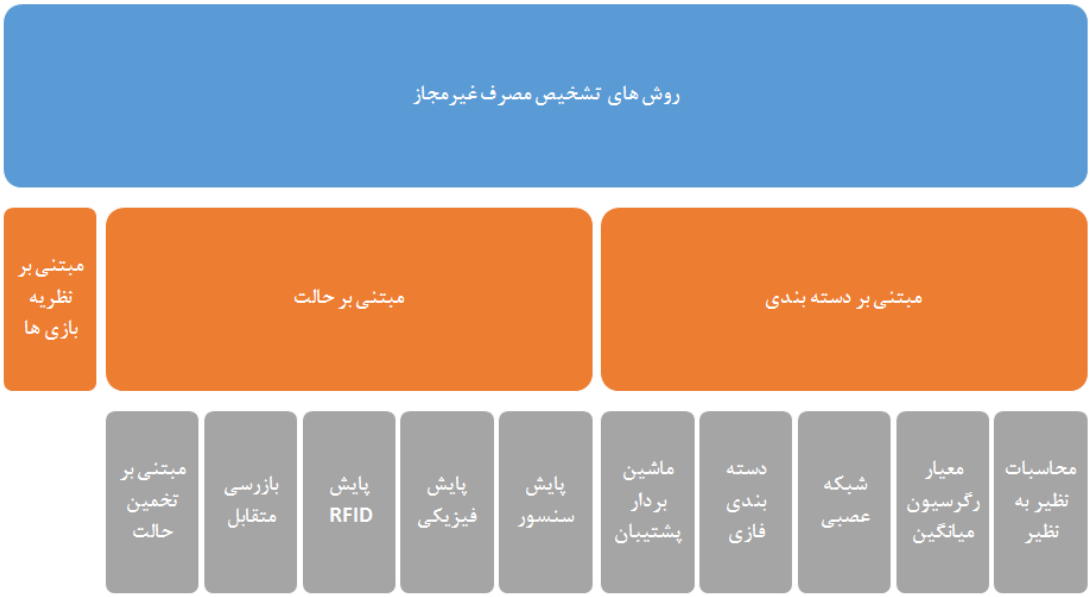
مصرف برق به صورت فاصله ای و موقتی است. بررسی ارتباط فضایی و زمانی می‌تواند به شناسایی ناشـناخته‌هـا و بهبود آن‌ها کمک کند. روش مبتنی بر ماتریس با اولویت پایین برای انجامدرستی و محاسبه داده‌ها پیشنهاد مـی‌شـود. همچنین، روش جهت تناوبی ضرایب[5] مبتنی بر تکنیک ماتریس با اولویت پایین برای برقراری ارتباط و تبادل داده بین مصرف کنندگان مختلف و حفظ حریم خصوصی مصرف کنندگان پیشنهاد می‌شود. به همین ترتیب، برای ایجـاد یـک تخمین حالت قابل اعتماد، ابتدا اندازه گیری‌ها توسـط تکنیـک مـاتریس بـا اولویـت پـایین پـردازش مـی‌شـوند. هـم الگوریتم‌های آفلاین و آنلاین پیشنهادشده است. با این حال، بهبود در تخمین حالت بعد از بین بردن اولویت پایین مورد بررسی قرار نگرفته است. فاکتور گیری ماتریس با اولویت پایین هنگامی خوب عمل می‌کند که داده‌های بد به صـورت تصادفی توزیع می‌شوند. با این حال، زمانی که داده‌ها برای یک دوره معین تغییری نداشته باشند، مـاتریس بـا اولویـت پایین نمی‌تواند به خوبی آن را اداره کند. کارهای زیادی در مورد آماده سازی داده‌ها انجام شـده اسـت تـا ایـن نـوع از داده‌های بد قبل از آستانه ارزش منحصر به فرد[6] شناسایی شوند [21].

2-7- تشخیص مصرف غیرمجاز برق و سرقت انرژی

در ابتدا، شناسایی و تشخیص تقلب در سیستم‌های قدرت با روش‌های آماری مطرح گردید. اخیراً، به دلیـل توسـعه سریع زیرساخت‌های اندازه گیری پیشرفته در شبکه هوشمند، راه حل‌های مختلفی برای سرقت انرژی ارائه شده اسـت.

[1] Generalized extreme studentized deviate (GESD)
[2] Q-test
[3] Canonical variate analysis (CVA)
[4] Linear discriminate analysis (LDA)
[5] Alternating direction method of multipliers (ADMM)
[6] Singular value thresholding (SVT)

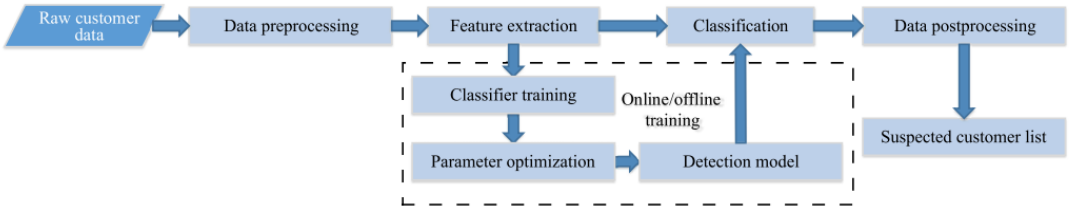
در این بخش، طبقه بندی روش‌های تشخیص سرقت انرژی معرفی می‌شوند. روش‌های تشخیص سرقت بـرق عمـدتاً سه دسته‌ی مبتنی بر دسته بندی، مبتنی بر حالت و مبتنی بر نظریه بازی‌ها طبقه بندی می‌شـوند کـه در شـکل (2-2) نشان داده شده است [22].



شکل (2-2): دسته بندی روش‌های تشخیص مصرف غیرمجاز برق [22]

2-7-2- روش‌های تشخیص مبتنی بر دسته بندی

از میان تمام روش‌های تشخیص سرقت انرژی، روش تشخیص مبتنی بر دسته بندی که بـه عنـوان دسـته بنـدی پروفیل بار مصرف برق یک مشترک یا گروهی از مشترکان در طی یک دوره زمانی تعریف می‌شوند، یکی از روش‌هایی است که به صورت گسترده استفاده می‌شود. روند اصلی برای تشخیص سرقت انرژی مبتنی بر دسته بندی شامل هفت بخش: کسب داده، پیش پردازش داده‌ها، استخراج ویژگی‌ها، آموزش طبقه بندی‌هـا و بهینـه سـازی پارامترهـا، دسـته بندی، تجزیه و تحلی داده‌ها و ایجاد لیست مشترکین مشکوک است که در شکل (2-3) نشان داده شـده اسـت. ایـده اصلی این روش تشخیص الگوهای مصرف غیرعادی انرژی از تمام الگوهای مصرف انرژی براساس یک مجموعه داده آزمایشی شامل نمونه‌هایی دسته عادی و دسته غیرعادی است [22].



شکل (2-3): روند اصلی برای تشخیص سرقت انرژی مبتنی بر دسته بندی [22]

2-2-7-2- طرح‌های مبتنی بر دسته بندی

ماشین بردار پشتیبان به صورت گسترده ای در مقالات به منظور طبقه بندی پروفیل بارهای مشترکین برای تشخیص سرقت انرژی استفاده شده است [23، 24، 25]. SVM در دهه 60 میلادی براساس نظریه یادگیری آماری معرفی گردید. هدف اصلی الگوریتم SVM مورد استفاده برای دسته بندی، ایجاد یک تابع تصمیم گیری بهینه است که دقیقاً داده‌های مشاهده نشده را در دو دسته پیش بینی می‌کند و خطای دسته بندی را حداقل می‌کند. روش‌های داده کاوی و یادگیری ماشین از جمله روش‌هایی هستند که با استفاده از مجموعه داده‌ها به دسته بندی مشترکین درستکار و فریبکار می‌پردازند [22].

در کنار روش‌های یادگیری ماشین، روش‌های دسته بندی دیگری نظیر دسته بندی فازی[1] و شبکه‌های عصبی[2] برای تشخیص سرقت انرژی استفاده می‌شوند. در مرجع [11]، یک روش محاسباتی فازی برای دسته بندی پروفیل‌های مصرف برق پیشنهاد شده است. این روش از دو گام تشکیل شده است. در گام اول، الگوریتم خوشه بندی C میانگین[3] برای یافتن مشترکین با پروفیل مصرف مشابه ایجاد می‌شود. سپس، دسته بندی فازی با استفاده از ماتریس عضویت فازی و فاصله اقلیدسی تا مراکز دسته تشکیل می‌شود. درنهایت، اندازه فواصل نرمال می‌شوند و براساس نمره واحدی مرتب می‌گردند. براساس این نمره‌ها، مشترکینی با الگوی مصرف غیرعادی می‌تواند با بالاترین نمره شناسایی شوند.

[1] Fuzzy classification
[2] Neural networks
[3] Fuzzy c-means (FCM)

در مرجع [15]، یک سیستم هوشمند که قصد افزایش سطح دقت در شناسایی بی نظمی‌ها را در میان مشترکین دارد ارائه شده است. سیستم هوشمند از دو مجموعه شبکه عصبی تشکیل شده است. روش پیشنهاد شده در این مقاله از دو ماژول تشکیل شده است، یکی برای فیلتر کردن پایگاه داده و دیگری برای طبقه بندی واقعی یک مصرف کننده. هر ماژول توسط کمیته ای با پنج شبکه عصبی تشکیل می‌شود که هر شبکه یک خروجی دارد که مشترکین را در دو دسته طبقه بندی می‌کنند: مشترکین غیرعادی و مشترکین عادی. مدل ارائه شده عملکرد خیل خوبی را برای مشترکین ایجاد می‌کند که به طور قابل توجهی میزان شناسایی سرقت انرژی را بهبود می‌دهد.

در مرجع [26]، معیاری جدید برای ارزیابی دقت دسته بندی شرایط غیرعادی معرفی شده است. معیار جدید با توجه به مشکلات اساسی در تشخیص بی نظمی‌ها هنگام اعمال بر مشکلات امنیتی برخی الزامات در نظر گرفته است: (1) این که نمونه‌های غیر عادی (حملات) در یک مجموعه داده ممکن است نماینده نمونه‌های غیر عادی در آینده نباشد، (2) در بسیاری از موارد گرفتن داده‌های غیرعادی برای مطالعات دانشگاهی سخت است. در نتیجه، آن‌ها می‌توانند آموزش و ارزیابی دسته‌هایی با مجموعه داده‌های ناهماهنگ و نامتعادل اجتناب کنند. مدل معیار رگرسیون میانگین[1] برای تشخیص سرقت انرژی ارائه شده است.

اگرچه برخی از طرح‌ها برای شرکت‌های توزیع برق به منظور تشخیص سرقت انرژی پیشنهاد شده است، اما همه آن‌ها به اطلاعات شخصی مشترکین خود نظیر پروفیل‌های بار یا قرائت کنتور در زمان‌های مشخص نیاز دارند که حریم خصوصی مشترکین را نقض می‌کند و نگرانی‌های جدی در مورد حفظ حریم خصوصی، ایمنی و غیره به وجود می‌آورند. به منظور تشخیص سرقت انرژی بدون نقض حریم خصوصی، مراجع [27، 28] سه الگوریتم محاسباتی نظیر به نظیر[2] پیشنهاد کرده است.

2-7-2-3-مقایسه طرح‌های مبتنی بر دسته بندی

[1] Autoregressive moving average-generalized likelihood ratio (ARMA-GLR) detector
[2] P2P computing

جدول (2-1) مقایسه بین نتایج طرح‌های تشخیص سرقت انرژی مبتنی بر دسته بندی را نشان می‌دهد. با توجه به جدول (2-1)، دیده می‌شود که روش SVM، متداول‌ترین روش برای دسته بندی الگوهای مصرف مشترکین است. نرخ تشخیص بیشتر طرح‌های مبتنی بر دسته بندی تقریباً 60 تا 70 درصد است و خیلی بالا نیست. نرخ مثبت کاذب[1] یکی از معیارهای مهم است که نشان می‌دهد چقدر مشترک قانونی به اشتباه در دسته‌های غیرقانونی دسته بندی شده‌اند. بعلاوه، بیشتر طرح‌های مبتنی بر دسته بندی به طور کامل نیاز به دسترسی به داده‌های مصرف انرژی مشترکین دارند و نمی‌توانند حریم خصوصی مشترکین را حفظ کنند.

جدول (2-2): مقایسه طرح‌های مبتنی بر دسته بندی

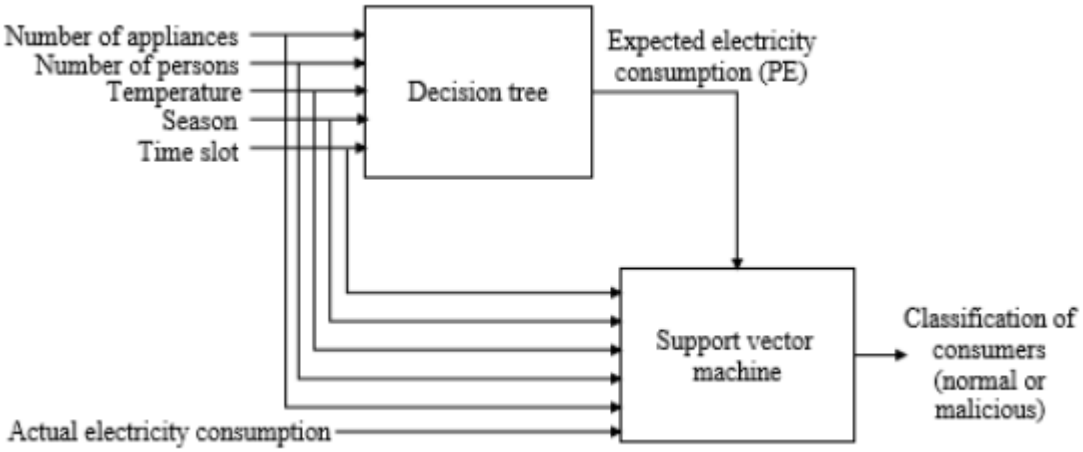
طرح	روش	نرخ تشخیص (درصد)	نرخ مثبت کاذب (درصد)	حفظ حریم خصوصی
مرجع [23]	SVM	6	13/57	×
مرجع [24]	SVM	98/4	-	×
مرجع [25]	سیستم فازی و SVM	72	13/57	×
مرجع [11]	خوشه بندی و دسته بندی فازی	74/5	-	×
مرجع [15]	شبکه‌های عصبی	62-24/9	-	×
مرجع [26]	مدل‌های ARMA	62	4/2	×
مراجع [27، 28]	محاسبات نظیر به نظیر	100	-	**P**

2-7-2-4- تشخیص سرقت برق به کمک خوشه بندی داده‌ها

همانطور که ذکر شد، سرقت انرژی در شبکه توزیع بسیار رایج است و مقالات زیادی به مطالعه این موضوع پرداخته‌اند. پس از جمع آوری و تجمیع اطلاعاتی که به وسیله کنتورهای هوشمند و سنسورهای شبکه به مرکز کنترل ارسال شده است و پردازش بیشتر، به وسیله ICT به آنالیز داده‌های موجود با استفاده از ماشین بردار پشتیبان[2] و درخت تصمیم[3] پرداخته می‌شود و محل‌های دارای پتانسیل مصرف غیرمجاز شبکه مشخص می‌شود. این پردازش در دو مرحله صورت می‌پذیرد. در مرحله اول، درخت تصمیم پارامترهای داده شده را پردازش می‌کند و مصرف برق مورد انتظار

[1] False positive rate
[2] Supported vector machine (SVM)
[3] Decision tree (DT)

مصرف کننده را مشخص می‌کند، سپس طبقه بندی ماشین بردار پشتیبان براساس پارامترهای تعریف شده قبلی به همراه پارامترهای تازه، شروع به پردازش می‌کند که نتایج این پردازش مصرف کننده متخلف را شناسایی می‌کند. شکل (2-4) ترکیب این دو خوشه بندی مختلف را نشان می‌دهد [29].



شکل (2-4): ترکیب درخت تصمیم و ماشین بردار پشتیبان [29]

2-7-3- روش‌های مبتنی بر حالت

روش‌های تشخیص مبتنی بر حالت از تجهیزات خاصی مانند شبکه حسگرهای بی سیم، بزرسی متقابل[1] و سامانه‌ی بازشناسی با امواج رادیویی[2] استفاده می‌کنند که نرخ مثبت کاذب را کاهش و دقت تشخیص را بهبود می‌بخشند. این روش‌ها، برای پایش کردن سیستم نیازمند هزینه‌های اضافی از قبیل هزینه تجهیزات، هزینه پیاده سازی سیستم، هزینه نرم افزاری و هزینه اجرا و آموزش هستند.

از آنجایی که شبکه‌های حسگر بی سیم ارزان هستند و برای پیاده سازی آسان می‌باشند، به منظور تشخیص سرقت انرژی بیشتر استفاده می‌شوند. در مرجع [30]، سیستم تشخیص نفوذ AMI (AMIDS) پیشنهاد شده که از ادغام

[1] Mutual inspection
[2] Radio frequency identification (RFID)

اطلاعات استفاده می‌کند تاحسگرها و داده‌های مصرفی از یک کنتور هوشمند را به منظور تشخیص دقیق تر سرقت انرژی ترکیب کند.

در مرجع [31]، یک طرح مفهومی برای کنترل سرقت انرژی براساس پایش فیزیکی ارائه شده است. روش پیشنهادی تغییری از روش سنتی شناسایی مصرف کنندگان غیرقانونی است که با مشاهده فیزیکی فیدر توزیع یا ارزیابی الگو بار تمام مشترکین انجام می‌شود.اگر تلفات غیرفنی محاسبه شده بیش از 5 درصد انرژی پراکنده باشد، مرکز کنترل خارجی یک سیگنال کنترلی برای مرکز کنترل داخلی[1] کنتور هوشمند ارسال می‌کند تا تأمین برق مشترکین واقعی را قطع کنند. در این روند، در درجه اول مشترکین واقعی شناسایی می‌شوند و از شبکه برق جدا می شوند و مصرف کنندگان غیرقانونی همچنان از شبکه انرژی دریافت می‌کنند. سپس تولید کننده هارمونیک به مدت چند ثانیه روشن می‌شود تا لوازم خانگی غیرقانونی را خراب کند و بعد از این مدت، درست قبل از قطع برق برنامه ریزی شده برای آن محله، خاموش می‌شود. این روش می‌تواند سرق انرژی که از طریق بای پس کردن کنتور هوشمند است را تشخیص دهد و لوازم خانگی غیرقانونی را خراب کند. با این حال، مشترکین واقعی به دلیل قطع برق ممکن است نارحت شوند.

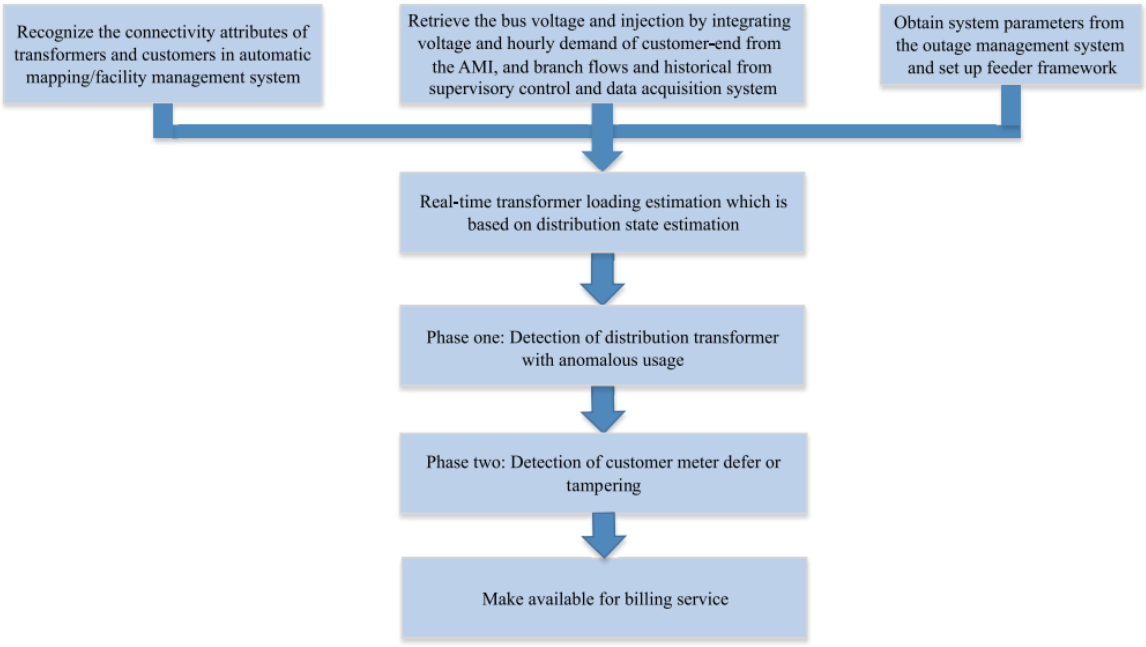
در مرجع [32]، سیستمی که فناوری RFID را اجرا می‌کند پیشنهاد شده تا به شرکت توزیع برق با مدیریت فهرست آمپرسنج‌ها و جلوگیری از سرقت انرژی کمک کند. در سیستم پیشنهادی دو بخش وجود دارد: مدیریت لیست آمپرسنج‌ها و کنترل دقت آمپرسنج‌ها. مدیریت لیست آمپرسنج‌ها شامل یک برچسب RFID بر روی هر آمپرسنج، خواندن RFID، میان افزار و شبکه ای با سیستم برنامه ریزی منابع سازمانی[2] شرکت تأمین کننده برق است. یکپارچگی برچسب RFID می‌تواند برای تشخیص سرقت انرژی استفاده شود. بعلاوه، RFID خوان اطلاعات ارسال شده از برچسب را جمع آوری می‌کند و به سیستم ERP شرکت از طریق شبکه می‌فرستد، برای اینکه آیا این برچسب تأیید شده است و یا توسط سارقین برق برچسب دیگری قرار داده شده است. اگرچه، فناوری RFID می‌تواند برای

[1] Internal control station (ICS)
[2] Enterprise resource planning (ERP)

تشخیص سرقت انرژی استفاده شود، شرکت‌های توزیع برق مجبور به پرداخت هزینه اضافی به منظور نصب این سیستم‌ها هستند. برای اینکه مشخص شود پیاده سازی فناوری RFID برای شرکت توزیع برق سودمند است، روش هزینه فایده برای تحلیل مقدار تغییرات مختلف ناشی از سیستم پیشنهادی استفاده می‌شود. در مطالعه ای، بازده سرمایه گذاری سیستم پیشنهادی 1/24 بوده است و مقدار کل هزینه – فایده تقریباً 14444 دلار بوده است.

مرجع [33] نشان داده است که قرائت کنتور ممکن است به دلیل رفتارهای خطرناک نظیر سرقت انرژی قابل اعتماد نباشد. دلیل آن هم این است که شرکت‌های توزیع هیچ ابزاری برای دستیابی به مقدار قرائت شده ندارند به جز مقداری که از مشترکین انرژی دریافت می‌کند. برای حل این مشکل، یک استراتژی بازرسی متقابل ارائه شده است که هدف این طرح شناسایی کنتورهای مشکل دار است که مقدار قرائت شده کنتور به درستی گزارش نمی‌شود.

تزریق داده بد نیز یکی از خطرناک‌ترین حملات در شبکه توزیع هوشمند است که ممکن است منجر به سرقت انرژی شود. مرجع [34]، روشی مبتنی بر تخمین حالت برای تخمین بار ترانسفورماتور توزیع ارائه شده است که عملکرد بد کنتور یا دستکاری آن را تشخیص می‌دهد و شواهد کمی از تلفات غیرفنی ارائه می‌دهد. فلوچارت روش پیشنهادی مقاله در شکل (2-5) نشان داده شده است.



شکل (2-5): فلوچارت پیشنهادی روش مبتنی بر تخمین حالت در [34]

2-7-3-2-تخمین حالت[1] برای یافتن مصرف غیرمجاز

تحقیقات صورت گرفته در سالیان اخیر نشان می‌دهد که سرقت برق در شبکه توزیع با تکنیک تخمین حالت به همراه آنالیز لحظه به لحظه اطلاعات شبکه توزیع قابل تشخیص است. استفاده از روش تخمین حالت به همراه اطلاعات مفید گذشته که در مرکز کنترل شرکت برق وجود دارد و همچنین، مقادیر اندازه گیری شده توسط کنتورهای زیرساخت اندازه گیری پیشرفته[2] می‌تواند به توسعه یک مدل سیستماتیک به منظور تجزیه و تحلیل برق سرقتی کمک کرده و باعث بهبود بهره برداری شبکه توزیع شود.

پس از تخمین حالت، خطاهای عدم قطعیت اندازه گیری شده توسط کنتور هوشمند با یک مدل احتمالی برای مشخص کردن وضعیت غیرنرمال مقایسه می‌شود و پس از کشف مورد مشکوک، اطلاعات قدیمی مصرفی مشترک با روش تحلیل واریانس[3] چک می‌شوند تا مشخص گردد چرا منحنی مصرف مشترک غیرطبیعی است و آیا سرقت برق صورت گرفته است یا خیر. الگوریتم‌های دیگری هم در بحث تخمین حالت و مشخص کردن و یافتن سرقت برق مانند معیار حداقل مربعات وزن دار نیز استفاده می‌شوند [29].

2-7-3-3-استفاده از حسگرهای بی سیم در شبکه

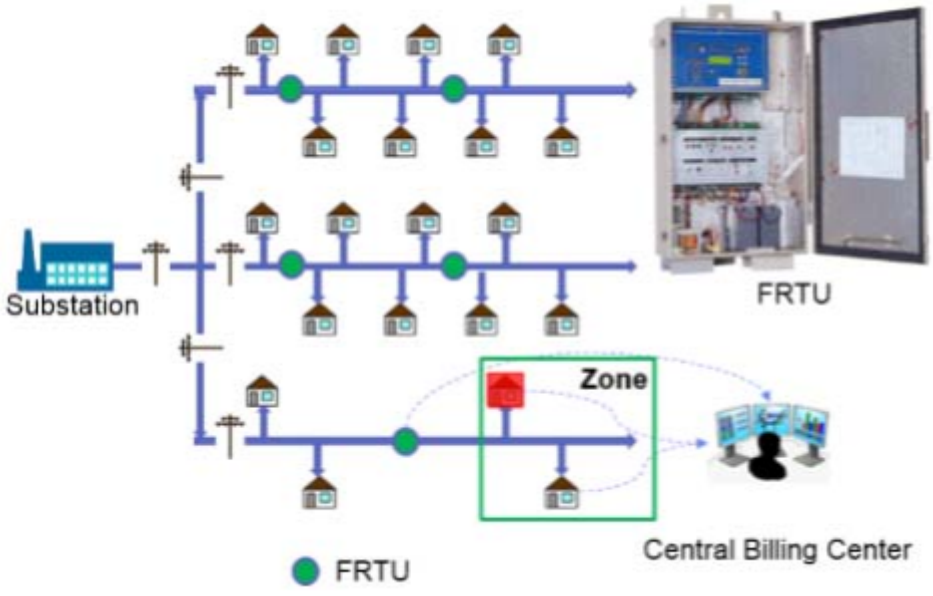
به کمک سنسور مقاومت دمایی[4] در یک شبکه حاوی سنسورهای شبکه بی سیم سنسوری[5] مقاومت هر انشعابی از خط بلادرنگ دریافت می‌شود که کمک شایانی در شناسایی مشترکین مختلف می‌کند. برای محاسبه مقدار دقیق

[1] State estimation
[2] Advance metering infrastructure (AMI)
[3] Analysis of variance (ANOVA)
[4] Resistive temperature sensor (RTS)
[5] Wireless sensor network (WSN)

مقاومت خط که با درجه حرارت کابل و سیم‌های شبکه نسبت مستقیم دارد، در هر انشعاب مصرفی می‌شود از RTSها استفاده کرد که برای تبادل اطلاعات با مرکز از سنسورهای WSN در شبکه استفاده می‌شود [29].

2-7-3-4- تشخیص سرقت به وسیله ادوات سنجشی

واحد پایانه‌ی دوردست فیدر[1] یکی از ادوات مورد استفاده در شبکه توزیع هوشمند می‌باشد که ویژگی‌هایی نظیر اندازه گیری دیجیتال و آنالوگ و انتقال بسته داده به مراکز کنترل را دارد. با اطلاعات FRTU می‌توان توان مصرفی پایین دست شبکه را محاسبه کرد و اگر مقدار برق مصرفی و قرائت شده متفاوت باشد می‌توان نتیجه گرفت که در طول شبکه استفاده ای غیرمجاز وجود دارد. FRTU می‌تواند محدوده بررسی برای یافتن مصرف غیرمجاز را محدود کند ولی به دلیل هزینه بالای هر یک از FRTUها (بالغ بر 9 هزار دلار) استفاده از این تجهیزات برای شرکت‌های توزیع برق بار مالی سنگینی به همراه دارد. شکل (2-6) استفاده از FRTU در شبکه توزیع را نشان می‌دهد [29].



[1] Feeder remote terminal unit (FRTU)

شکل (2-6): شبکه توزیع متشکل از FRTU [29]

2-7-4- روش‌های مبتنی بر نظریه بازی‌ها

اخیراً طرح‌های تشخیص سرقت انرژی مبتنی بر نظریه بازی پیشنهاد شده است و دیدگاه جدیدی برای حل مسئله سرقت انرژی ارائه شده است. مرجع [35]، مشکلات انگیزشی را در توزیع برق بررسی کرده است زمانی که مصرف انرژی مشترک توسط شرکت توزیع به صورت ناقص قابل مشاهده است. از دید حفظ حریم خصوصی، هر مشترک اطلاعات خصوصی در مورد مقدار برق مصرف شده‌ی خود دارد و بنابراین، شرکت توزیع نمی‌تواند به طور دقیق مصرف انرژی مشترکین را مشاهده کند. این کار منجر به تلفات غیر فنی به ویژه سرقت انرژی می‌شود. اگرچه نصب AMI می تواند این تلفات را تا حد زیادی کاهش دهد، اما هزینه قابل توجهی برای شرکت توزیع در بر خواهد داشت. بنابراین، در این مقاله سرمایه گذاری بهینه و استراتژی تعرفه برای شرکت توزیع برقی با مشترکین منطقی از دیدگاه نظریه بازی ارائه شده است.

2-7-5- مقایسه روش‌ها

با توجه به توسعه زیرساخت اندازه گیری پیشرفته، فناوری‌های زیادی می‌تواند برای تشخیص سرقت انرژی استفاده شوند. در جدول (2-3)، مقایسه ای بین سه دسته از طرح‌های تشخیص سرقت انرژی ارائه شده است [22].

جدول (2-3): مقایسه طرح‌های تشخیص سرقت انرژی [22]

طرح	روش	نرخ تشخیص	مثبت کاذب	هزینه
مبتنی بر دسته بندی	یادگیری ماشین، هوش مصنوعی	متوسط	متوسط	متوسط
مبتنی بر حالت	پایش حالت توسط تجهیزات خاص	زیاد	کم	زیاد
مبتنی بر نظریه بازی‌ها	نظریه بازی	متوسط	متوسط	کم

2-8- پروفیل بار

پروفیل بار به صورت "الگوی تقاضا بار یک مشترک یا گروهی از مشترکان در یک دوره تعیین شده" تعریف می شود که دوره مربوطه می‌تواند روزانه، هفتگی، ماهانه یا سالانه باشد.

در بسیاری از کشورها، پروفیل‌های بار به عنوان یک روش جایگزین و مقرون به صرفه برای راه حل انـدازه گیـری دوره ای[1] شناخته می‌شدند که برای مشترکان کوچک، تجاری و مسکونی فشار ضعیف هزینه بر و غیر عملی بودند.

در دو دهه گذشته، تعداد تحقیقات زیادی بر روی پروفیل‌های بار صورت پذیرفته است تا مشترکان شـرکت توزیـع برق را براساس رفتار مصرف بار آن‌ها دسته بندی کنند. این مطالعـات بـر روی کشـورهای مختلفـی از قبیـل تـایوان، اسلوونی، رومانی، پرتغال، بریتانیا، مالزی، بلژیک، اسپانیا و برزیل انجام گرفته است. هدف اصلی مطالعات پروفیل بار نیز استخراج و ثبت اطلاعات مرتبط با مشخصات بار مشترک است. در جدول (2-4) روش‌های مورد استفاده در کشورهای مختلف به منظور پروفیل بار ارائه شده است [18].

جدول (2-4): خلاصه ای از روش‌های مورد استفاده در تحقیقات پروفیل بار در کشورهای مختلف [18]

کشور	روش
تایوان	روش‌های آماری
اسلوونی	خوشه بندی سلسله مراتبی[2]، خوشه بندی C میانگین فازی[3]
رومانی	خوشه بندی میانگین K[4]، خوشه بندی سلسله مراتبی
پرتغال	خوشه بندی میانگین K، روش دو سطحی، نقشه خود سازمان دهنده[5]
بریتانیا	دسته بندی فازی[6]
مالزی	خوشه بندی میانگین C فازی، شبکه عصبی مصنوعی[7]، دسته بندی فازی

2-8-2- روش‌های گرفتن پروفیل بار

دو روش متداول برای پروفیل بار استفاده می‌شوند. روش اول مدل ناحیه ای[8] است و روش دوم مدل دسته[9]. مـدل ناحیه ای یا مدل تحلیلی محدودیت دارد که در آن فرض می‌شود مشترکین از پست توزیع یکسانی تغذیه می‌شوند کـه

[1] Interval metering solution
[2] Hierarchical clustering
[3] Fuzzy C-means (FCM) clustering
[4] K-means clustering
[5] Self-organizing map (SOM)
[6] Fuzzy classification
[7] Artificial neural network (ANN)
[8] Area model
[9] Category model

الگوهای بار مشابهی دارند. به بیان دیگر، مدل دسته یا مدل ترکیبی براساس دسته‌های الگو مشترک مشابه محدودیتی در ارتباط با توزیع واریانس بین منحنی باقیمانده[1] (پروفیل مصرف مصرف کنندگان نهایی که در سیکل زمانی مشخص اندازه گیری نمی‌شوند و براساس توان واقعی مصرف شده استخراج می‌شود) و الگوهای بار ساخته شده دارند.

پیشرفت‌های دهه‌های اخیر در فناوری‌ها منجر به شناسایی تعدادی از روش‌های گرفتن پروفیل بار شده است. دو گروه تحقیقاتی اصلی به عنوان روش‌های مختلف مورد استفاده برای تعیین پروفیل بار عادی شناسایی شده است. گروه اول پروفیل بار عادی را با استفاده از سیستم‌های منحنی بار براساس دسته‌های مشترک از پیش تعیین شده تشکیل داده‌اند. در مورد گروه دوم روش‌های شناسایی الگو مختلفی به عنوان ابزارهای گرفتن پروفیل بار استفاده می‌شوند تا پروفیل‌های بار عادی را براساس شکل الگوهای بار ثبت شده ایجاد کنند [18].

با این حال، مطالعات نشان می‌دهد که روند گرفتن پروفیل بار هر دو گروه با محدودیت‌هایی مواجه است. محدودیت اصلی که بر روی گروه اول تأثیر می‌گذارد این است که زمان مورد نیاز برای اندازه گیری نسبتاً طولانی است. برای گروه دوم، محدودیت اصلی این است که روند مورد نیاز برای تشکیل مشخصات مشترک گران و زمانبر است. هرچند که ممکن است اثبات شود که روش دوم از روش اول بهتر است، اما هیچ دلیل شفافی وجود ندارد تا روش شناسایی الگوی بهینه را تعیین کند.

2-8-3- گرفتن پروفیل بار توسط تکنیک‌های داده کاوی

یکی از متداول‌ترین روش‌های داده کاوی برای گرفتن پروفیل بار خوشه بندی است که براساس یادگیری بدون نظارت است. تکنیک‌های خوشه بندی یکی از مراحل تحلیل داده‌ها هستند و بخش‌هایی از روش‌های تشخیص الگو را تشکیل می‌دهند. تحلیل خوشه بندی برای شناسایی الگوها و گروه‌های مشابه از طریق فرایند جمع آوری مجموعه ای از صفات در خوشه‌ها استفاده می‌شود. نتایج خوشه بندی این است که گروه‌هایی با درجه بالایی از مشابهت در یک

[1] Rest curve

دسته قرار می‌گیرند، درحالیکه گروه‌هایی با عدم مشابهت در دسته‌های دیگر قرار می‌گیرند. خوشه بندی یک تکنیک مفید برای یافتن توزیع الگوها با توجه به ارتباط بین خصوصیات داده‌ها است [18].

در سال‌های اخیر، تکنیک‌های خوشه بندی به صورت گسترده ای در خوشه بندی اسناد، تحلیل داده‌های میکرو آرایه بیان ژنی[1] و تقسیم بندی تصاویر استفاده می‌شود. بعلاوه، تکنیک‌های خوشه بندی به منظور دسته بندی پروفیل‌های بار مشابه برای اهداف مختلف استفاده می‌شود.

در مجموع، تکنیک‌های خوشه بندی در دو دسته قرار می‌گیرند: (1) روش تقسیم بندی و (2) روش سلسله مراتبی. در تکنیک‌های تقسیم بندی، خوشه بندی میانگین K به طور گسترده ای استفاده می‌شود و در خوشه بندی سلسله مراتبی، خوشه بندی اتصال تک[2] بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین، می‌تواند تقسیم بندی تکنیک‌های خوشه بندی را به پنج دسته اصلی بسط داد: 1) روش‌های تقسیم بندی، 2) روش‌های سلسله مراتبی، 3) روش‌های مبتنی بر چگالی[3]، 4) روش‌های مبتنی بر شبکه[4] و 5) روش‌های مبتنی بر مدل[5]. در میان تمام روش‌های خوشه بندی، هر تکنیک خوشه بندی بسته به مسئله مدنظر و فرضیات انجام شده، مزایا و معایب خودش را دارد.

یکی از متداول‌ترین تکنیک‌های خوشه بندی برای تعیین پروفیل بار خوشه بندی فازی است. خوشه بندی میانگین C فازی ابزاری مؤثر برای تشخیص پروفیل بار غیرعادی است. تنها محدودیت FCM انتخاب تعداد خوشه‌ها است که باید تعیین شود. خوشه بندی سلسله مراتبی برای دسته بندی مشترکین براساس مشابهت رفتاری آن‌ها استفاده می‌شود. برخلاف FCM، مزیت اصلی خوشه بندی سلسله مراتبی این است که نیازی به تعیین تعداد دسته‌ها نیست. خوشه بندی میانگین K نیز استفاده گسترده ای، به ویژه در تعیین کلاس‌های پروفیل بار در بازارهای برق مختلف دارد. با این حال، دو مسئله اصلی در ارتباط با خوشه بندی میانگین K وجود دارد: 1) نیاز به تعیین دسته K و 2) استفاده از روش

[1] Gene expression micro array data analysis
[2] Single linkage
[3] Density based methods
[4] Grid based methods
[5] Model based methods

حداقل سازی جایگزین برای حل مسئله بهینه سازی غیرمحدب[1]. بعلاوه، ثابت شده است که نقشه خود سازمان دهنده ابزار عالی برای داده کاوی است. روش نقشه خود سازمان دهنده روش سریع‌تر و راحت‌تر در مقایسه با خوشه بندی سلسله مراتبی است. مشکل اصلی مشاهده شده در خوشه بندی، تعداد خوشه‌ها است، به دلیل آنکه داده‌ها خوشه‌ها را در شکل‌ها و مقیاس‌های مختلف معلوم می‌کنند. از این رو، هیچ روش خوشه بندی وجود ندارد که به طور کلی در معرض انواع ساختارهای ارائه شده در مجموعه داده‌های چند بعدی کاربرد داشته باشد [18].

2-9- جمع‌بندی

در این فصل، ابتدا در مورد روش‌های داده کاوی و یادگیری ماشین توضیحاتی ارائه شد. سپس، روش‌های تشخیص داده‌های بد، سرقت انرژی و گرفتن پروفیل بار بررسی گردید. تشخیص داده بد از طریق روش‌های احتمالاتی، آماری و یادگیری ماشین صورت می‌پذیرد. روش‌های تشخیص سرقت برق نیز عمدتاً در سه دسته‌ی مبتنی بر دسته بندی، مبتنی بر حالت و مبتنی بر نظریه بازی‌ها طبقه بندی می‌شوند. یکی از متداول‌ترین روش‌های داده کاوی برای گرفتن پروفیل بار نیز خوشه بندی است که براساس یادگیری بدون نظارت است. تکنیک‌های خوشه بندی یکی از مراحل تحلیل داده‌ها هستند و بخش‌هایی از روش‌های تشخیص الگو را تشکیل می‌دهند.

[1] Non-convex optimization

فصل سوم
نتیجه‌گیری

مبحث تلفات انرژی الکتریکی از مهم‌ترین مقوله‌هایی است که صنعت برق با آن مواجه است و توجه به کاهش آن ضرورتی اجتناب ناپذیر است. در کشور ایران نیز با توجه به اینکه این صنعت هنوز در زمینه کاهش تلفات تا حد مطلوب راه طولانی در پیش دارد، ضرورت توجه به این امر را متوجه مسئولان و محققان می‌سازد.

در فصل اول این گزارش، فرایند پایش تلفات توزیع برق در ایران مورد بررسی قرار گرفت و کاستی‌های آن مشخص گردید. چالش‌های پایش تلفات به صورت زیر شرح داده شده‌اند:

- عدم نصب کنتورهای اندازه گیری در تمام فیدرهای فشار متوسط و فشار ضعیف
- دقیق نبودن تجهیزات اندازه گیری انرژی
- عدم نصب لوازم اندازه گیری بر روی تمامی فیدرهای روشنایی
- عدم نصب لوازم اندازه گیری بر روی برخی از دیزل ژنراتورها و سلول‌های خورشیدی موجود در شبکه‌ی توزیع
- عدم استفاده از روش‌های تخمین تلفات در بخش‌های فشار متوسط و فشار ضعیف
- مشخص نبودن تلفات غیرفنی شرکت‌های توزیع برق
- مشخص نبودن سهم تلفات فنی و غیرفنی شرکت‌های توزیع برق

با توجه به مطالب ذکر شده، مشخص است که مهم‌ترین مشکل در فرایند پایش تلفات توزیع برق، عدم نصب تجهیزات اندازه گیری در شبکه توزیع است. با نصب کنتورهای اندازه گیری بر روی تمامی فیدرهای فشار متوسط، فشار ضعیف و فیدرهای روشنایی تلفات شبکه توزیع به صورت دقیق مشخص می‌گردد و از طریق روش‌های تخمین تلفات در بخش فشار ضعیف، تلفات غیرفنی شبکه توزیع نیز تعیین می‌گردد. در نهایت، تلفات فنی شبکه محاسبه شده و سهم تلفات فنی و غیرفنی مشخص می‌گردد. با توجه به اینکه نصب تجهیزات اندازه گیری در شبکه توزیع نیازمند سرمایه گذاری کلان می‌باشد، می‌توان با مدل سازی شبکه یا روش‌های تخمین تلفات در فیدرهای فشار متوسط و فشار ضعیف را محاسبه کرد. در این حالت، تا حد زیادی سهم تلفات فنی و غیرفنی شبکه توزیع مشخص شده و مقدار تلفات مورد هدف شرکت‌های توزیع برق را می‌توان براساس آن تعیین کرد و شرکت‌ها را مورد ارزیابی قرار داد.

فصل دوم این گزارش به بررسی روش‌های شناسایی و تصحیح داده‌های دارای خطا در سامانه‌های پایش مصرف بارهای الکتریکی شبکه توزیع ایران پرداخته است. جدول (3-1) خلاصه ای از روش‌های کلیدی به منظور تحلیل بار را

نشان می‌دهد. برای تشخیص داده بد، بیشتر روش‌های تشخیص داده بد برای مصرف کنندگان تجاری و صنعتی یا داده‌های بار با سطح تراکم زیاد مناسب هستند که بیشتر منظم و دارای الگو خاص می‌باشند. هنوز تحقیقات بر روی تشخیص داده بد مصرف کنندگان مسکونی محدود می‌باشد و کاری بی اهمیت نیست، زیرا پروفیل‌های بار مصرف کنندگان مسکونی نوسانات بیشتری را نشان می‌دهند. بعلاوه، از آنجاییکه تشخیص و اصلاح داده بد در سایر برنامه‌های تجزیه و تحلیل داده‌ها، چقدر بهبود می‌تواند برای پیش بینی بار یا برنامه‌های دیگر پس از تشخیص داده بد ایجاد شود، هنوز مسئله ای است که مستلزم تحقیقات بیشتری است. علاوه بر این، داده‌های کنتور هوشمند اساساً داده‌های در جریان هستند. تشخیص داده بد زمان حقیقی برای برخی از کاربردهای زمان حقیقی نظیر پیش بینی بار کوتاه مدت، یکی دیگر از نگرانی‌ها است. درنهایت همانطور که در بالا ذکر شد، داده بد ممکن است از عدم موفقیت در جمع آوری داده نشأت بگیرد. همچنین، الگوها مصرف غیرعادی کوتاه مدت ممکن است به عنوان داده بد شناسایی شوند در حالیکه داده‌های واقعی هستند. لازم است عوامل مرتبط دیگری نظیر حوادث ناگهانی را در این شرایط در نظر گرفت. همچنین، داده‌های اضافی منابع خوبی برای شناسایی داده‌های غیرعادی ولی واقعی هستند.

جدول (3-1): خلاصه ای از روش‌های تحلیل بار

تحلیل بار	روش‌ها
تشخیص داده بد	تحلیل سری زمانی ماتریس مرتبه پایین پنجره زمانی
تشخیص سرقت انرژی	یادگیری محافظت شده یادگیری محافظت نشده
گرفتن پروفیل بار	خوشه بندی مستقیم کاهش بعد مشخصات محلی متغیر بودن و عدم قطعیت

برای تشخیص سرقت انرژی، در یک دوره زمانی طولانی از داده‌های کنتور هوشمند، دقت تشخیص به دلیل آنکه داده‌های بیشتری می‌تواند استفاده شود احتمالاً بالاتر است. با این حال، استفاده از داده‌های گذشته کنتور هوشمند ممکن است منجر به تأخیر در تشخیص شود، که به این معنی است که ما باید توازنی بین دقت تشخیص و تأخیر در

تشخیص ایجاد کنیم. برای تست روش‌های تشخیص سرقت انرژی نیاز است که از یک مجموعه داده یکسان استفاده شود تا مزایای هر روش مشخص شود.

برای گرفتن پروفیل بار، اکثر روش‌های خوشه بندی برای ذخیره سازی داده‌های کنتور هوشمند استفاده می‌شوند. با این حال، حقیقیت این است که داده‌های کنتور هوشمند داده‌های در حال جریان هستند. گاهی اوقات، به داده‌های در حال جریان زیادی در زمان حقیقی برای کاربردهای خاص نیاز است. بنابراین، خوشه بندی پراکنده می‌توانند در زمینه گرفتن پروفیل بار بررسی شوند. روش‌های پروفیل بار غیرمستقیم ابتدا ویژگی‌هایی را استخراج می‌کنند و سپس خوشه بندی را بر روی ویژگی‌های استخراج شده انجام می‌دهند.

مراجع:

[1] Arefi, A., Olamaei, J., Yavartalab, A., & Keshtkar, H. (2012). Loss reduction experiences in electric power distribution companies of Iran. Energy Procedia, 14, 1392-1397.

[2] Yorukoglu, S., Nasibov, F., Mungan, M., & Bagriyanik, M. (2016). The effect of the types of network topologies on nontechnical losses in secondary electricity distribution systems. IEEE Transactions on Industry Applications, 52(5), 3631-3643.

[3] آمار صنعت برق در سال 1395، www.amar.tavanir.org.ir

[4] آمنه علی پور، بررسی تلفات بخش توزیع برق و تبعات اقتصادی آن، هفتمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق، 1381.

[5] دفتر اندازه گیری شرکت سهامی مدیریت شبکه برق ایران، www.metering.igmc.ir

[6] شرکت مدیریت تولید، انتقال و توزیع نیروی برق ایران، "دستورالعمل نحوه ارزیابی عملکرد فنی شرکت‌های توزیع در حوزه کاهش تلفات"، 1394.

[7] Jooshaki, M., Abbaspour, A., FIRUZABAD, M. F., & Moeini-Aghtaie, M. (2017). Designing a regulatory framework for efficient integration of distributed generation technologies. Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, 25(5), 4117-4130.

[8] مهدیه میرزادی گوهری، یحیی زارع مهرجردی، محمد صالح اولیا، هوشمندی کسب و کار در شناسایی مشترکین اثرگذار بر تلفات غیرفنی شرکت برق با استفاده از داده کاوی، سومین کنفرانس ملی حسابداری و مدیریت، مرکز همایش‌های دانشگاه تهران، دی 1393.

[9] الهام حبیبی، ستار هاشمی، شناسایی تقلب در شبکه‌های توزیع انرژی با وجود داده‌های محدود از مشترکین، سیزدهمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع، دانشگاه علوم و فنون مازندران، اسفند 1395.

[10] Nizar, A. H., Dong, Z. Y., & Zhang, P. (2008, July). Detection rules for non technical losses analysis in power utilities. In Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008 IEEE (pp. 1-8). IEEE.

[11] Angelos, E. W. S., Saavedra, O. R., Cortés, O. A. C., & de Souza, A. N. (2011). Detection and identification of abnormalities in customer consumptions in power distribution systems. IEEE Transactions on Power Delivery, 26(4), 2436-2442.

[12] Nizami.S, AI-Garni.A.(1995). "Forecasting electric energy consumption using neural networks". Energy Policy, Vol. 23, No. 12, pp. 1097 -1104.

[13] Nizar, A. H., Dong, Z. Y., & Zhao, J. H. (2006). "Load Profiling and Data Mining Techniques in Electricity Deregulated Market", presented at the IEEE Power Engineering Society (PES) General Meeting, Montreal, Quebec, Canada.

[14] Monedero,I., Biscarri,F., León,C., Biscarri,J., Millán,R. (2006), "Detection of Non-technical Losses in Electrical Consumption Using Neural Networks and Statistical Techniques", Springer-Verlag Berlin Heidelberg .ICCSA 2006, LNCS 3984, pp. 725 – 734.

[15] Muniz, C. , Vellasco, M., Tanscheit, R.,& Figueiredo, K.(2009)." A Neuro-fuzzy System for Fraud Detection in Electricity Distribution". IFSA-EUSFLAT. ISBN: 978-989-95079-6-8. 1096-1101.

[16] Li-li, CH., Xiao-juan, F., Jia-lin, G., & Li , L.(2011).”A New Data Mining Method based on Multidimensional-Data Flow”, International Conference on Advances in Engineering, Procedia Engineering 24 .365 – 369.
[17] Monedero.I. , Biscarri.F., Leon.C., Guerrero.J., Biscarri.J.,& Millan.R.(2012). “Detection of frauds and other nontechnical losses in a power utility using Pearson coefficient, Bayesian networks and decision trees” .Electrical Power and Energy Systems 34 . 90–98.
[18] Nagi, J. (2009). An intelligent system for detection of non-technical losses in Tenaga Nasional Berhad (TNB) Malaysia Low Voltage Distribution Network. Vasa.
[19] مسعود علایی، حبیب رجبی مشهدی، تخمین بار در فیدرهای توزیع مشاهده ناپذیر جهت برآورد تلفات غیرفنی به کمک اطلاعات ماهانه مصرفی و تخمین حالت، دومین کنفرانس منطقه ای سیرد، دی 1392.
[20] Yurtseven, Ç. (2015). The causes of electricity theft: An econometric analysis of the case of Turkey. Utilities Policy, 37, 70-78.
[21] Wang, Y., Chen, Q., Hong, T., & Kang, C. (2018). Review of smart meter data analytics: Applications, methodologies, and challenges. IEEE Transactions on Smart Grid.
[22] Jiang, R., Lu, R., Wang, Y., Luo, J., Shen, C., & Shen, X. S. (2014). Energy-theft detection issues for advanced metering infrastructure in smart grid. Tsinghua Science and Technology, 19(2), 105-120.
[23] Nagi, J., Yap, K. S., Tiong, S. K., Ahmed, S. K., & Mohamad, M. (2010). Nontechnical loss detection for metered customers in power utility using support vector machines. IEEE transactions on Power Delivery, 25(2), 1162-1171.
[24] Depuru, S. S. S. R., Wang, L., & Devabhaktuni, V. (2011, March). Support vector machine based data classification for detection of electricity theft. In Power Systems Conference and Exposition (PSCE), 2011 IEEE/PES (pp. 1-8). IEEE.
[25] Nagi, J., Yap, K. S., Tiong, S. K., Ahmed, S. K., & Nagi, F. (2011). Improving SVM-based nontechnical loss detection in power utility using the fuzzy inference system. IEEE Transactions on power delivery, 26(2), 1284-1285.
[26] Mashima, D., & Cárdenas, A. A. (2012, September). Evaluating electricity theft detectors in smart grid networks. In International Workshop on Recent Advances in Intrusion Detection (pp. 210-229). Springer, Berlin, Heidelberg.
[27] Salinas, S., Li, M., & Li, P. (2012, June). Privacy-preserving energy theft detection in smart grids. In Sensor, Mesh and Ad Hoc Communications and Networks (SECON), 2012 9th Annual IEEE Communications Society Conference on (pp. 605-613). IEEE.
[28] Salinas, S., Li, M., & Li, P. (2013). Privacy-preserving energy theft detection in smart grids: A P2P computing approach. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 31(9), 257-267.
[29] امید کسائیان نائینی، محسن قاینی، بررسی روش‌های تشخیص مصرف غیرمجاز برق براساس داده‌های اندازه گیری در ساختار شبکه هوشمند، سی و دومین کنفرانس بین المللی برق، آبان 1396.
[30] McLaughlin, S., Holbert, B., Fawaz, A., Berthier, R., & Zonouz, S. (2013). A multi-sensor energy theft detection framework for advanced metering infrastructures. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 31(7), 1319-1330.
[31] Depuru, S. S. S. R., Wang, L., Devabhaktuni, V., & Gudi, N. (2010, September). Measures and setbacks for controlling electricity theft. In North American Power Symposium (NAPS), 2010 (pp. 1-8). IEEE.

[32] Khoo, B., & Cheng, Y. (2011, April). Using RFID for anti-theft in a Chinese electrical supply company: A cost-benefit analysis. In Wireless Telecommunications Symposium (WTS), 2011 (pp. 1-6). IEEE.
[33] Xiao, Z., Xiao, Y., & Du, D. C. (2013). Non-repudiation in neighborhood area networks for smart grid. IEEE Communications Magazine, 51(1), 18-26.
[34] Huang, S. C., Lo, Y. L., & Lu, C. N. (2013). Non-technical loss detection using state estimation and analysis of variance. IEEE Transactions on Power Systems, 28(3), 2959-2966.
[35] Amin, S., Schwartz, G. A., & Tembine, H. (2012, November). Incentives and security in electricity distribution networks. In International Conference on Decision and Game Theory for Security (pp. 264-280). Springer, Berlin, Heidelberg.