23rd Electrical Power Distribution Conference
Tehran - Iran May 2018

بیست و سومین کنفرانس ملی شبکه‌های توزیع نیروی برق
اردیبهشت ۱۳۹۷ - تهران

ارائه روشی برای برآورد تلفات شرکت‌های توزیع ایران با استفاده از رگرسیون شبکه عصبی

فاطمه ملکشاهی کناری، امین مرادخانی
گروه برق قدرت، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

حسن بشیری
شرکت توزیع نیروی برق
شرکت توزیع نیروی برق استان ایلام

چکیده

در حال حاضر کاهش تلفات دغدغه اصلی شرکت‌های توزیع است؛ اما به دلیل عدم رؤیت پذیری شبکه‌های توزیع، امکان اندازه‌گیری تلفات فنی و غیر فنی وجود ندارد. آلوده بودن شرکت‌های توزیع به تلفات غیر فنی، مقایسه و محک‌زنی کارایی شرکت‌های توزیع در شاخص تلفات با مشکل مواجه کرده است. بدیهی است که میزان تلفات فنی و غیر فنی شرکت‌های توزیع مشخص شود، امکان هدف گذاری و تعریف پروژه‌های کاهش تلفات مقدور خواهد بود. ایده اصلی این مقاله استفاده از اطلاعات موجود در گزارش آمار تفصیلی صنعت برق ۱۳۹۵ برای ارزیابی و برآورد تلفات شرکت‌های توزیع است. روش پیشنهادی شامل دو مرحله است؛ در مرحله اول ویژگی‌های مرتبط با تلفات استخراج شده و مقدار تلفات حدی برای جدا کردن شرکت‌های آلوده به تلفات غیر فنی تعیین می‌شود و در مرحله دوم با استفاده از اطلاعات شرکت‌های باقیمانده مدل شبکه عصبی آموزش داده می‌شود و با استفاده از آن تلفات شرکت‌های آلوده به تلفات غیرفنی برآورد می‌شود. نتایج این مقاله می‌تواند به عنوان ابزار محک زنی کارایی شرکت‌های توزیع در شاخص تلفات استفاده شود.

واژگان کلیدی: تلفات شرکت‌های توزیع، تلفات غیرفنی، تلفات فنی، آمار تفصیلی صنعت برق

۱. مقدمه

تلفات انرژی الکتریکی در چرخه تولید تا مصرف، طبق آمار سالیانه وزارت نیرو، بین ۵ تا ۱۳ درصد است [۱]. در این میان سهم سیستم توزیع که از گستردگی شبکه و تعدد تجهیزات نسبت به دو بخش تولید و انتقال برخوردار است، بیش از ۷۵ درصد می‌باشد [۲]. ازاین‌رو افزایش در تلفات شبکه‌های توزیع، با توجه به استقلال شرکت‌ها و حضور در بازار خرده‌فروشی و عمده‌فروشی، تراز اقتصادی این شرکت‌ها را تحت تأثیر قرار داده و مانع از دستیابی شرکت‌ها به این منافع بالقوه اقتصادی می‌گردد. با عنایت به اهمیت موضوع، عمده شرکت‌های توزیع ایران میزان تلفات انرژی خود را در چشم‌انداز سال ۱۴۰۵ شمسی میزان ۵ درصد لحاظ نموده‌اند [۳].

تلفات سیستم به صورت اختلاف بین انرژی ارسال شده و انرژی تحویلی به مشترکین نهایی تعریف می‌شود که شامل بر دو نوع است یک نوع تلفات فنی است که بر اثر عبور جریان از تجهیزات سیستم مثل هادی‌ها، سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور و غیره حاصل می‌شود و نوع دیگر تلفات غیر فنی است که شامل آن دسته از تلفاتی است که از پیش و به راحتی قابل محاسبه نیست مثل مشکلات قرائت و نقص کنتور، دستکاری کنتور و انشعاب غیر مجاز. متأسفانه سهم تلفات غیر فنی در بعضی از مناطق کشور بسیار چشمگیر است که ناشی از سرقت پنهان و آشکار انرژی توسط مصرف کنندگان می‌باشد.

به طور کلی روش‌های تخمین و محاسبه تلفات بر حسب وجود و یا عدم وجود اطلاعات کامل به دو دسته تقسیم می‌شوند. روش‌هایی که در حضور مانیتورینگ و اتوماسیون، اطلاعات کامل را بکار می‌گیرند با استفاده از نرم‌افزارهای مدل‌سازی و پخش بار مقادیر تلفات را با دقت بالایی فراهم می‌کنند [۴]. این روش‌ها که در مقالات به عنوان رهیافت پایین به بالا معرفی می‌شوند، نیاز به نصب تجهیزات اندازه‌گیری و انتقال داده دارند که بسیار هزینه بر خواهد بود. بدیهی است که با وجود اطلاعات کامل محاسبه تلفات با دقت بسیار بالایی همراه خواهد بود؛ اما عمده روش‌های تخمین تلفات در شرایط عدم حضور اطلاعات کامل مطرح شده‌اند؛ از جمله نوعی دیگر از روش‌ها که به رهیافت بالا به پایین معروف هستند با استفاده از متغیرهای توصیفی مرتبط با تلفات، فیدرهای شبکه توزیع را خوشه‌بندی کرده و با فرض اینکه که فیدرهای هر خوشه درصد تلفات یکسانی دارند، تلفات فیدرهای هر خوشه را بدست می‌آورند [۵, ۶]. همچنین در صورتی که اطلاعات کامل برای قسمتی از سیستم موجود باشد می‌توان برای تخمین تلفات به صورت ترکیبی از رهیافت بالا به پایین و پایین به بالا استفاده کرد؛ اما مشکل عدم وجود اطلاعات کامل برای بخشی از شبکه‌های توزیع است.

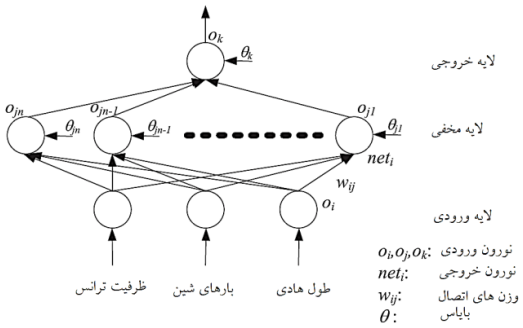
در مقاله پیش رو با استفاده از یک الگوریتم پیشنهادی با استفاده از آمار تفصیلی صنعت برق در سال ۱۳۹۵ شرکت‌هایی که تلفات آن ها شامل تلفات فنی می‌باشند، استخراج شده‌اند و با آموزش این داده‌های به دست آمده به شبکه عصبی، شاخص‌های مؤثر در تخمین تلفات فنی شناسایی شده است. برای بهبود عملکرد شبکه عصبی از الگوریتم یادگیری LM استفاده شده به طوری که داده‌های مؤثر به عنوان داده‌های آموزش برای شبکه عصبی بکار رفته است و از مدل آموزش داده شده برای برآورد تلفات شرکت های دیگر استفاده شده است. اختلاف مقدار تلفات برآورد شده با تلفات اعلام شده به عنوان تلفات غیر فنی قلمداد شده است. با نسبت دادن خروجی‌های بدست آمده در هر یک از استان‌ها و شهرستان‌هایی که در جدول اطلاعات شرکت توزیع قرار دارند می‌توان چنین نتیجه گرفت که کدام استان از نظر اتلاف انرژی در رتبه بالاتری قرار دارد که تمهیدات لازم جهت کاهش این تلفات و به دنبال آن پایش و ارزیابی و ارزش گذاری اقدامات انجام شده صورت گیرد.

۲. روش تحقیق

شبکه عصبی یک تکنیک محاسباتی برای شبیه‌سازی عملکرد انسان در حل مسائل طراحی شده، دارد.

این شبکه با استفاده از نرون ها که از طریق اتصالات مشابه به عنوان سیناپس (وزن داده) به یکدیگر مرتبط شده‌اند. این اطلاعات شامل ارزش عددی به عنوان نقاط قوت مربوط را از رابطه به دست می‌دهد. یک شبکه عصبی می‌تواند با تنظیم بارها، ارتباط بین نرون های ورودی و خروجی را بسیار نزدیک به مقدار واقعی پیش بینی کند. در این مقاله

از یک شبکه عصبی پیش خورد و با نظارت الگوریتم یادگیری LM استفاده شده است. به دفعات این روش تکرار می‌شود تا همگرایی حاصل شود. نرون ها در شبکه عصبی مطابق شکل (۱) به سه لایه ورودی، لایه مخفی و لایه خروجی تقسیم بندی می‌شوند.[۷-۸]



شکل(۱)-ساختار شبکه عصبی MLP

اطلاعات ورودی از طریق لایه ورودی دریافت شده و از طریق لایه خروجی، خروجی مطلوب به دست می‌آید. نرون های لایه مخفی سیگنال را از لایه ورودی می‌گیرند و با توجه به نتایج محاسبات به لایه بعدی که لایه خروجی است تحویل می‌دهند. تعداد لایه‌های مخفی براساس آموزش و خطا انتخاب می‌شوند؛ که در اینجا از آموزش داده‌ها با الگوریتم LM استفاده شده است. در لایه مخفی و لایه خروجی، نرون خروجی از معادله زیر خواهد بود.

$$O_i = f(net_i, \theta_i) = \frac{1}{1+e^{-(net_1+\theta_1)i}} \qquad (۱)$$

که f تابع فعال ساز sigmoid و θ_i بایاس، net_i طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$net_i = \sum_j W_{ij} O_j \qquad (۲)$$

وزن متصل از نرون j و O_j خروجی نرونj خواهد بود. مدل‌های تخمین تلفات مبتنی بر شبکه عصبی با استفاده از شناسایی مجموعه‌ای از شاخص‌های ورودی و خروجی شبکه عصبی به دست می‌آیند.

۲-۱. الگوریتم Levenberg-Marqurdt

الگوریتم انتشار معکوس همان الگوریتم گرادیان کاهش و الگوریتم LM یک تقریبی از روش نیوتون است. با فرض حداقل کردن تابع V(x) در روش نیوتون به صورت زیر است[۹-۱۰].

$$\Delta x = -\left[\nabla^2 V(x)\right]^{-1} \nabla V(x) \qquad (۲)$$

حال اگر V(x) یک مجموع دوم از خطا باشد.

$$\Delta V(x) = J^T(x) e(x) \qquad (۳)$$

$$\nabla^2 V(x) = J^T(x) J(x) + S(x) \qquad (۴)$$

که درآن $J(x)$ ماتریس ژاکوبین می‌باشد؛ و بصورت زیر تعریف می‌شود.

$$J(x) = \begin{pmatrix} \frac{\partial e_1(x)}{\partial x_1} & \cdots & \frac{\partial e_1(x)}{\partial x_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial e_N(x)}{\partial x_1} & \cdots & \frac{\partial e_N(x)}{\partial x_n} \end{pmatrix} \qquad (۵)$$

$$S(x) = \sum_{i=1}^{N} e_i(x) \nabla^2 e_i(x) \qquad (۶)$$

بـرای روش گـوس نیوتـون فـرض شـده کـه $S(x) = 0$ و بروز رسانی بردار x بصورت زیر می‌باشد.

$$\Delta(x) = \left[J^T(x) J(x)\right]^{-1} J(x) e(x) \qquad (۷)$$

روش الگـــوریتم LM، الگـــوریتم گـــوس نیوتـــون را بصورت زیر اصلاح می‌کند.

$$\Delta(x) = \left[J^T(x) J(x) + \mu I\right]^{-1} J(x) e(x) \qquad (۸)$$

که در آن پارامتر μ مقدار مثبت کوچک برای معکوس کردن ماتریس استفاده می‌شود. بنابراین برای اصلاح وزن داده‌ها (W) به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$W_{K+1} = W_K - \left[J^T J + \mu I\right]^{-1} J^T e \qquad (۹)$$

که درآن J ماتریس ژاکوبین اولین مشتق خطاهای شبکه با در نظر گرفتن وزن‌ها و بایاس ها و e بردار خطای شبکه می‌باشد. ضریب μ کاهش بعد از هر تکرار موفقیت آمیز و اگر خلاف آن باشد در جهت افزایش خواهد بود؛ بنابراین در راستای عملکرد مطلوب تابع مورد نظر، با هر تکرار الگوریتم شبکه عصبی ضریب μ کاهش خواهد یافت.

به منظور ارزیابی نتایج مدل شبکه عصبی و مقایسه آن با برآوردهای رگرسیونی از معیار ضریب تبیین (R^2) استفاده

گردید. مقدار این ضریب همواره بین صفر و یک بوده و نزدیک تر بودن آن به یک نشان دهنده عملکرد بهتر مدل می‌باشد. معادله شاخص مذکور به شرح زیر است.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(y_i - \hat{y}_i)}{\sum_{i=1}^{N}(y_i - \overline{y_i})^2} \qquad (۱۰)$$

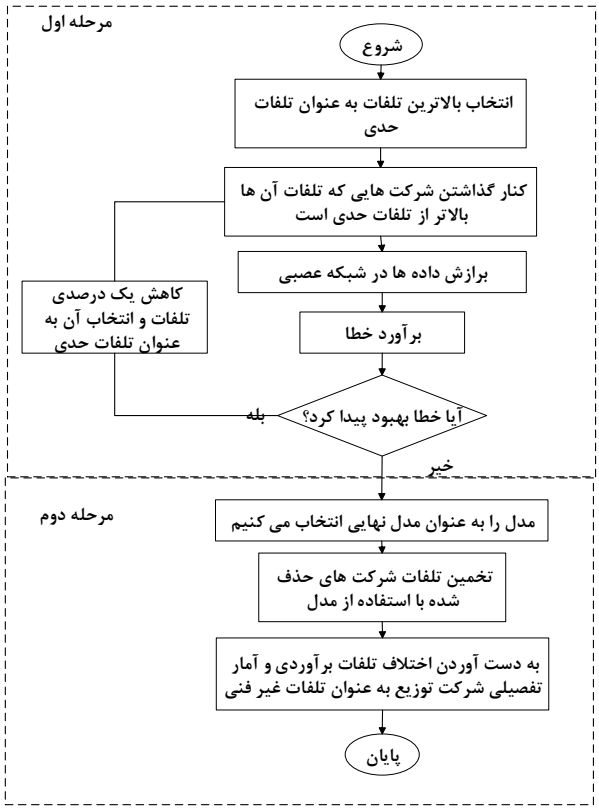
که در رابطه بالا y_i مقادیر اندازه گیری شده، $\hat{y}_i$ مقدار پیش بینی شده، $\overline{y_i}$ میانگین مقدار پیش بینی شده متغیر و N تعداد داده‌ها می‌باشد.

۲-۲. فلوچارت الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم پیشنهادی ارائه شده در شکل (۲) چگونگی استخراج داده‌های ورودی و نحوه تخمین تلفات غیر فنی را نشان می‌دهد. الگوریتم پیشنهادی شامل دو مرحله است: مرحله اول: استخراج آستانه حدی تلفات فنی است. در این قسمت اطلاعات مربوط به شرکت‌های با تلفات بالاتر از بین دادهای ورودی شبکه عصبی کنار گذاشته می‌شود تا خطای مدل شبکه عصبی کاهش پیدا کند. این عملیات تا حدی از تلفات ادامه پیدا می‌کند که کنار گذاشته شدن شرکت‌های فراتر از آن باعث بهبود برازش مدل نشود. بدین ترتیب یک مقدار حدی از تلفات استخراج می‌شود که شرکت‌های دارای کمتر از این حد از تلفات، بیشترین توافق را با شاخص‌های فنی را نشان دهند.

مرحله دوم: برازش مدل شبکه عصبی بر اطلاعات شرکت‌های دارای تلفات در محدوده تلفات حدی و استفاده از این مدل برای برآورد تلفات شرکت‌های فراتر از تلفات حدی است.

در حقیقت در روش پیشنهادی ابتدا اطلاعات پرت از لحاظ میزان مطابقت با تلفات فنی از مجموعه اطلاعات کنار گذاشته می‌شوند و یک مجموعه داده پالایش شده برای برازش مدل شبکه عصبی حاصل می‌شود. در ادامه با برازش مدل امکان برآورد تلفات فنی شرکت‌های کنار گذاشته شده از مرحله اول فراهم می‌شود. خروجی این فرایند استخراج تلفات فنی و غیر فنی برای شرکت‌های توزیع است.



شکل(۲)- الگوریتم پیشنهادی برای بدست آوردن تلفات فنی

۳. یافته ها

با استفاده از جدول آمار تفصیلی صنعت برق سال ۱۳۹۵ با بررسی ۱۴۰ ترکیب از شاخص‌های این جدول، شاخص‌های اثر گذار بر میزان تلفات مورد بررسی قرار گرفته اند [۱۱]. مدل رگرسیون شبکه عصبی با ۱۰ لایه مخفی مورد استفاده قرار گرفت. از بین شاخص‌های بررسی شده، دسته شاخص‌های زیر بیشترین برازش را با میزان تلفات گزارش شده در آمار تفصیلی داشته‌اند:

۱- مساحت، تعداد ترانس
۲- مساحت، ظرفیت ترانس
۳- مساحت، تعداد مشترک
۴- مساحت، تعداد فیدر، تعداد مشترک

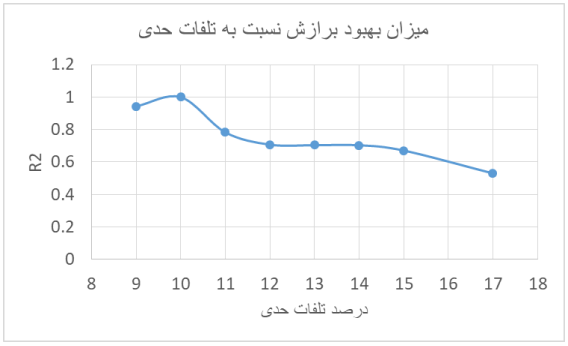
از بین این ۴ شاخص برتر، شاخص (مساحت، تعداد ترانس) برازش بهتری با تلفات گزارش شده را دارا بود که به عنوان شاخص‌های ورودی الگوریتم شکل ۲ انتخاب شد. با استفاده از این شاخص و الگوریتم پیشنهاد شده، داده‌های ورودی

شبکه عصبی برای تخمین تلفات فنی به دست می‌آید. شروع الگوریتم با انتخاب تلفات ۷ درصد به عنوان آستانه تلفات فنی آغاز شد و شرکت‌های دارای تلفات فراتر از این حد، از بین مجموعه شرکت‌ها کنار گذاشته شد. شبکه عصبی با مجموعه شرکت‌های باقیمانده آموزش داده شد و میزان نیکویی برازش شبکه عصبی محاسبه شد. در مراحل بعد هر بار حد تلفات یک درصد کمتر انتخاب شد و میزان نیکویی برازش محاسبه شد. این فرایند تا آنجا ادامه پیدا کرد که با کاهش آستانه تلفات بهبودی در شاخص R^2 حاصل نشد. همانطور که در جدول (۱) نشان داده شده است، میزان تلفات حدی برابر با ۱۰ درصد است چرا که با انتخاب حد ۹ درصدی میزان نیکویی برازش دیگر بهبود پیدا نکرده است. شکل ۳ نمودار روند بهبودی شاخص نیکویی برازش R^2 نسبت به مقادیر درصد تلفات آستان نشان می‌دهد.

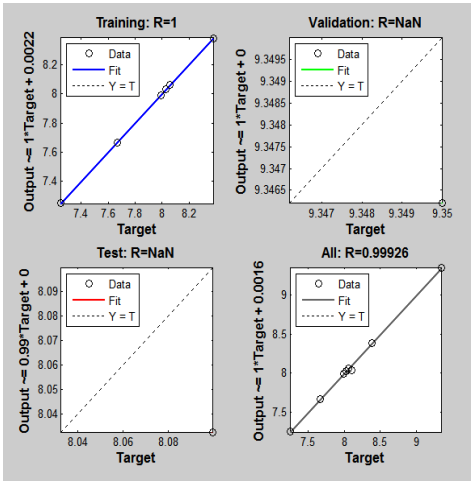
جدول(۱)-میزان ضریب تبیین R^2 برای تلفات مختلف

درصد تلفات	R^2
17	0.53044
15	0.67082
14	0.70341
13	0.70369
12	0.70707
11	0.78292
10	0.99926
9	0.94328

همان طور که در شکل مشاهده می‌شود ضریب R^2 داده‌ها در تلفات ۱۰درصد بسیار به عدد یک نزدیک می‌باشد و از شروع الگوریتم تا این درصد تلفات، روند بهبودی قابل ملاحظه‌ای وجود دارد و از تلفات ۱۰درصد به پایین در شاخص R^2 بهبودی ایجاد نشده است.



شکل شماره (۴) عملکرد شبکه عصبی را برای درصد تلفات ۱۰درصد نشان می‌دهد.



شکل(۴)-ضریب همبستگی داده‌ها در تلفات ۱۰درصد

پس در این مطالعه، تلفات ۱۰درصد به عنوان تلفات حدی مدنظر قرار داده شد. به طوری که تلفات شرکت‌هایی که کمتر از تلفات حدی هستند، تلفات آن ها شامل تلفات فنی است و با آموزش این داده‌ها در شبکه عصبی می‌توان از شبکه‌ی عصبی آموزش دیده جهت پیش بینی تلفات فنی شرکت‌هایی که تلفات آن ها بالاتر از تلفات حدی است یا به عبارتی تلفات آن ها شامل تلفات فنی و غیر فنی است استفاده کرد. در جدول شماره (۲) تخمین تلفات با استفاده از شاخص‌های اثر گذار صورت گرفته است. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود، برای تلفات کمتر از تلفات حدی، تلفات واقعی و تلفات تخمین زده شده بسیار به هم نزدیک هستند که نشان کارایی شبکه عصبی است. شکل (۵) نمودار ستونی مربوط به نتایج جدول (۲) را نشان می دهد. در جدول (۳) متوسط تلفات برآورد شده در شاخص‌های

چهارگانه به عنوان تلفات فنی در نظر گرفته شده و با کسر آن از تلفات کل تلفات غیر فنی برآورد شده است. شکل (۶) نمودار ستونی نتایج این جدول را بیان می کند.

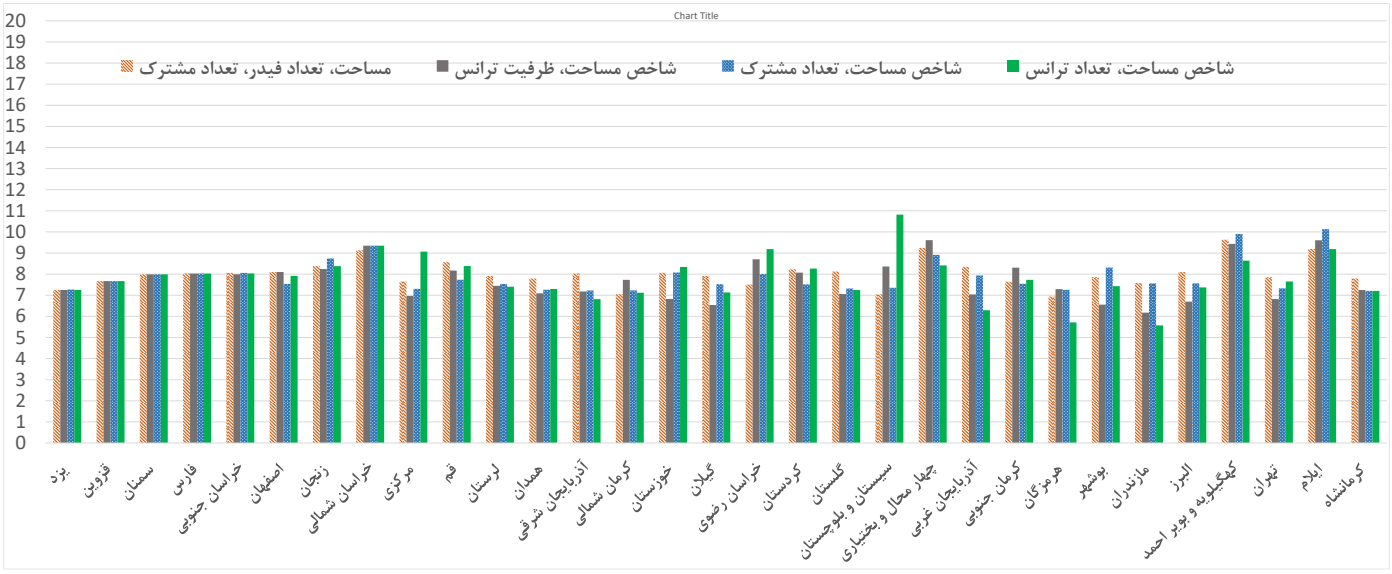
جدول(۲)-تخمین تلفات و مقایسه با مقادیر تلفات واقعی

ردیف	نام شرکت	تلفات واقعی	تلفات تخمینی شبکه عصبی			
			شاخص ۱	شاخص ۲	شاخص ۳	شاخص ۴
۱	استان یزد	۷.۲۵	۷.۲۵	۷.۲۷	۷.۲۵	۷.۲۵
۲	استان قزوین	۷.۶۷	۷.۶۷	۷.۶۷	۷.۶۷	۷.۶۷
۳	استان سمنان	۷.۹۹	۷.۹۹	۷.۹۹	۷.۹۹	۷.۹۹
۴	استان فارس	۸.۰۳	۸.۰۳	۸.۰۳	۸.۰۳	۸.۰۳
۵	خراسان جنوبی	۸.۰۶	۸.۰۳	۸.۰۶	۸.۰۰	۸.۰۶
۶	استان اصفهان	۸.۱	۷.۹۲	۷.۵۴	۸.۱۰	۸.۱۰
۷	استان زنجان	۸.۳۸	۸.۳۸	۸.۷۴	۸.۲۴	۸.۳۸
۸	خراسان شمالی	۹.۳۵	۹.۳۵	۹.۳۵	۹.۳۵	۹.۱۳
۹	استان مرکزی	۱۰.۰۴	۹.۰۷	۷.۳۱	۶.۹۶	۷.۶۵
۱۰	استان قم	۱۰.۳۴	۸.۳۸	۷.۷۳	۸.۱۷	۸.۵۷
۱۱	استان لرستان	۱۰.۴۳	۷.۴۱	۷.۵۳	۷.۴۵	۷.۹۲
۱۲	استان همدان	۱۰.۷۳	۷.۳۰	۷.۲۶	۷.۰۹	۷.۸۰
۱۳	آذربایجان شرقی	۱۱.۰۲	۶.۸۲	۷.۲۳	۷.۱۸	۸.۰۳
۱۴	کرمان شمالی	۱۱.۲۳	۷.۱۲	۷.۲۳	۷.۷۳	۷.۰۵
۱۵	خوزستان	۱۱.۲۴	۸.۳۴	۸.۰۸	۶.۸۳	۸.۰۶
۱۶	استان گیلان	۱۱.۳۹	۷.۱۳	۷.۵۲	۶.۵۴	۷.۹۲
۱۷	خراسان رضوی	۱۱.۵۱	۹.۱۹	۸.۰۱	۸.۷۰	۷.۵۱
۱۸	استان کردستان	۱۲.۰۳	۸.۲۶	۷.۵۱	۸.۰۷	۸.۲۳
۱۹	استان گلستان	۱۲.۵۲	۷.۲۵	۷.۳۲	۷.۰۶	۸.۱۲
۲۰	سیستان و بلوچستان	۱۲.۵۴	۱۰.۸۲	۷.۳۶	۸.۳۶	۷.۰۴
۲۱	چهار محال و بختیاری	۱۲.۵۶	۸.۴۲	۸.۹۲	۹.۶۱	۹.۲۴
۲۲	آذربایجان غربی	۱۲.۶۷	۶.۲۹	۷.۹۳	۷.۰۴	۸.۳۴
۲۳	کرمان جنوبی	۱۳.۰۲	۷.۷۳	۷.۵۵	۸.۳۱	۷.۶۴
۲۴	استان هرمزگان	۱۳.۳۳	۵.۷۱	۷.۲۵	۷.۲۹	۶.۹۴
۲۵	استان بوشهر	۱۳.۵۹	۷.۴۳	۸.۳۱	۶.۵۵	۷.۸۶
۲۶	استان مازندران	۱۳.۶	۵.۵۷	۷.۵۶	۶.۱۷	۷.۵۸
۲۷	استان البرز	۱۴.۵۴	۷.۳۷	۷.۵۶	۶.۷۰	۸.۱۰
۲۸	کهگیلویه و بویر احمد	۱۵.۵۲	۸.۶۴	۹.۹۰	۹.۴۳	۹.۶۳
۲۹	استان تهران	۱۵.۵۷	۷.۶۵	۷.۳۳	۶.۸۲	۷.۸۶
۳۰	استان ایلام	۱۷.۳۳	۹.۱۹	۱۰.۱۳	۹.۶۰	۹.۱۹
۳۱	استان کرمانشاه	۱۹.۴۹	۷.۲۰	۷.۲۱	۷.۲۵	۷.۷۹

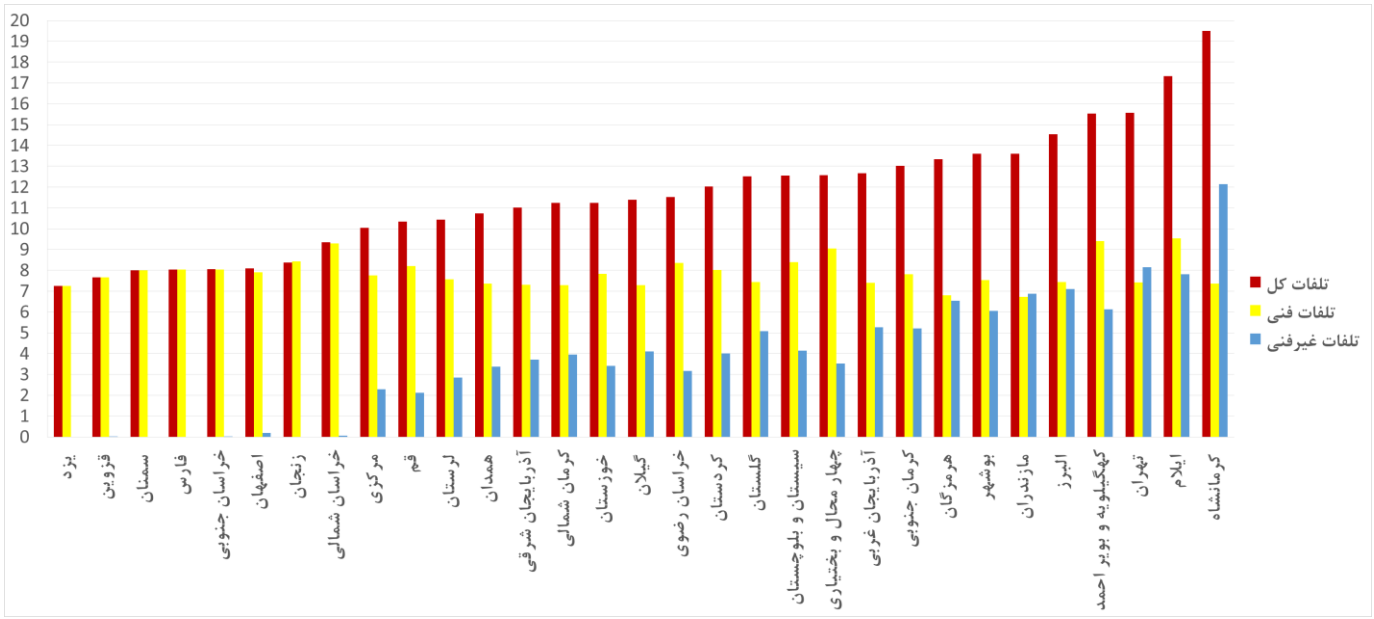
جدول(۳)- تخمین تلفات فنی و غیر فنی

ردیف	شرکت	تلفات کل	تلفات برآوردی	
			فنی	غیر فنی
۱	استان یزد	۷.۲۵	۷.۲۶	-۰.۰۱
۲	استان قزوین	۷.۶۷	۷.۶۷	۰.۰۰
۳	استان سمنان	۷.۹۹	۷.۹۹	۰.۰۰
۴	استان فارس	۸.۰۳	۸.۰۳	۰.۰۰
۵	خراسان جنوبی	۸.۰۶	۸.۰۴	۰.۰۲
۶	استان اصفهان	۸.۱	۷.۹۱	۰.۱۹
۷	استان زنجان	۸.۳۸	۸.۴۴	-۰.۰۶
۸	خراسان شمالی	۹.۳۵	۹.۲۹	۰.۰۶
۹	استان مرکزی	۱۰.۰۴	۷.۷۵	۲.۲۹
۱۰	استان قم	۱۰.۳۴	۸.۲۱	۲.۱۳
۱۱	استان لرستان	۱۰.۴۳	۷.۵۸	۲.۸۶
۱۲	استان همدان	۱۰.۷۳	۷.۳۶	۳.۳۷
۱۳	آذربایجان شرقی	۱۱.۰۲	۷.۳۱	۳.۷۱
۱۴	کرمان شمالی	۱۱.۲۳	۷.۲۸	۳.۹۵
۱۵	خوزستان	۱۱.۲۴	۷.۸۳	۳.۴۱
۱۶	استان گیلان	۱۱.۳۹	۷.۲۸	۴.۱۱
۱۷	خراسان رضوی	۱۱.۵۱	۸.۳۵	۳.۱۶
۱۸	استان کردستان	۱۲.۰۳	۸.۰۲	۴.۰۱
۱۹	استان گلستان	۱۲.۵۲	۷.۴۴	۵.۰۸
۲۰	سیستان و بلوچستان	۱۲.۵۴	۸.۳۹	۴.۱۵
۲۱	چهار محال و بختیاری	۱۲.۵۶	۹.۰۵	۳.۵۱
۲۲	آذربایجان غربی	۱۲.۶۷	۷.۴۰	۵.۲۷
۲۳	کرمان جنوبی	۱۳.۰۲	۷.۸۱	۵.۲۱
۲۴	استان هرمزگان	۱۳.۳۳	۶.۸۰	۶.۵۳
۲۵	استان بوشهر	۱۳.۵۹	۷.۵۴	۶.۰۵
۲۶	استان مازندران	۱۳.۶	۶.۷۲	۶.۸۸
۲۷	استان البرز	۱۴.۵۴	۷.۴۳	۷.۱۱
۲۸	کهگیلویه و بویر احمد	۱۵.۵۲	۹.۴۰	۶.۱۲
۲۹	استان تهران	۱۵.۵۷	۷.۴۲	۸.۱۵
۳۰	استان ایلام	۱۷.۳۳	۹.۵۳	۷.۸۰
۳۱	استان کرمانشاه	۱۹.۴۹	۷.۳۶	۱۲.۱۳

بازه‌های تلفات به دست آمده برای هر شرکت نشان دهنده میزان درصد تلفاتی است که به طور تقریبی هر شرکت



شکل (۵) برآورد تلفات شرکت های توزیع با استفاده از مجموعه شاخص های چهار گانه



شکل(۶) برآورد متوسط تلفات فنی و غیر فنی شرکت های توزیع

می‌تواند داشته باشد و اختلاف این میزان تقریبی با آمار تفصیلی ارائه شده از سوی شرکت برق میزان تلفات غیر فنی شرکت‌ها را مشخص می‌کند. وجود تلفات غیر فنی منفی در مورد استان های یزد و زنجان بیانگر ناچیز بودن تلفات غیر فنی این شرکت ها است.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله روشی برای برآورد و تفکیک تلفات فنی و غیر فنی شرکت‌های توزیع ارائه گردید. این روش تنها از اطلاعات آمار تفصیلی صنعت برق استفاده می‌کند و با استفاده از شبکه عصبی قادر است که تلفات فنی شرکت‌های توزیع را برآورد کند. نتایج این مقاله می‌تواند ابزار مناسبی

جهت محک زنی کارایی شرکت‌های توزیع در بحث تلفات باشد. نتایج این مقاله نشان می دهد:

- انتخاب مقدار حدی ۱۰ درصد برای تلفات فنی مناسب است. نتایج نهایی نشان میدهد که تلفات فنی هیچ گاه در بین این شرکت ها از ۱۰ درصد فراتر نخواهد رفت.
- متوسط تلفات فنی شرکت های توزیع ۷,۸۷ درصد است.
- انحراف معیار تلفات فنی برآورد شده توسط ۴ شاخص به غیر از استان سیستان و بلوچستان زیر یک درصد است.
- در این مقاله شرکت های توزیع مربوط به شهر ها همچون شرکت توزیع تهران، اصفهان، کیش و .. به خاطر ماهیت متفاوت از نظر مساحت موثر با استان ها، از مطالعه کنار گذاشته شده اند.

در این مقاله اثر شاخص های دیگری چون دما در مطالعه در نظر گرفته نشده است و تنها شاخص های وجود در خلاصه آمار تفصیلی صنعت برق مورد استفاده قرار گرفته است.

۵. منابع

[1] ج. محمودی,ح. شریفیان, "رو شی جدید درنحوه محا سبه تلفات انرژی در شـــبکه های توزیع برپایه روش تصـــمیم گیری سل سه مراتبی," ،بیـ ستمین کنفرانس توزیع نیروی برق، زاهدان, ۱۳۹۴.

[2] م. ع. ولیداد,ه. آرزم‌جو, " طرح ملی کاهش تلفات انرژی گامی در راستای تحقق اصلاح الگوی مصرف انرژی," هفته نامه برنامه، شماره ۳۳۵ ص ۱۶, ۱۳۸۸.

[3] ر. ا. آهنگر, " کاهش تلفات هدف کلیدی صـــنعت برق " مجله صنعت برق شماره ۱۷۳، ص ۴.

[4] z. Miao, ", develop and application of network real time theoretical line loss calculation and analysis system " presented at the 19th international conference on electricity, Vienna, 2007.

[5] C. A. Dortolina,R. Nadira, "The loss that is unknown is no loss at all: A top-down/bottom-up approach for estimating distribution losses," *IEEE Transactions on Power Systems,* vol. 20, pp. 1119-1125, 2005.

[6] M. Oliveira,A. Padilha-Feltrin, "A top-down approach for distribution loss evaluation," *IEEE Transactions on power delivery,* vol. 24, pp. 2117-2124, 2009.

[7] Chen, C. S., Hwang, J. C., Cho, M. Y., & Chen, Y. W. Development of simplified loss models for distribution system analysis IEEE Transactions on Power Delivery, 9(3), 1545–1551.(1994).

[8] Chen, C. S., Hwang, J. C., Tzeng, Y. M., Huang, C. W., & Cho,M. Y. Determination of customer load characteristics by load survey system at Taipower, IEEE Transactions on Power Delivery, 11(3), 1430–1436. (1996)

[9] Chang, G. W., Chen, C. I., & Liu, Y. J. Aneural-network-based method of modeling electric arc furnace load for power engineering study, IEEE Transactions on Power Systems, 25(1),138–146. (2010).

[10] Gary W. Chang .A Neural-Network-Based Method of Modeling Electric Arc Furnace Loadfor Power ngineering Study IEEE Trans On Power Systems, Vol. 25, NO. 1, FEB 2010

[۱۱] گزارش آمار تفصیلی صنعت برق، ۱۳۹۵، وزارت نیرو

23rd
Electrical Power
Distribution Conference
Tehran - Iran
May 2018

بیست و سومین کنفرانس ملی
شبکه های توزیع نیروی برق
اردیبهشت ۱۳۹۷ - تهران