

شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر کاهش تلفات مالی در شبکه توزیع برق استان چهارمحال و بختیاری

علی جلیلی پیران^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۰۷ تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۱۲/۲۹

چکیده

هدف این پژوهش شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر کاهش تلفات مالی در شبکه توزیع برق استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد. این پژوهش کاربردی از نوع آمیخته می‌باشد در این پژوهش برای تحلیل داده‌ها از دو روش کمی دلفی و سوارا استفاده شد. جامعه نظری پژوهش، مدیران و خبرگان اداره کل برق استان چهارمحال و بختیاری بوده و روش نمونه‌گیری به صورت هدفمند است. حجم نمونه در این مطالعه برابر با ۱۲ نفر است. برای گردآوری داده‌های پژوهش از ابزارهای مصاحبه و پرسشنامه استفاده شد. در گام اول، عوامل مؤثر بر عوامل مؤثر بر کاهش تلفات مالی با استفاده از مرور پیشینه و مصاحبه با خبرگان استخراج شد. ۱۷ عامل استخراج شده با توزیع پرسشنامه‌های خبره‌سنجی و روش دلفی فازی غربال شد. بر اساس خروجی سوارا عوامل، استفاده غیرمجاز از برق و انشعابات غیرقانونی، فرسودگی تجهیزات شبکه و پست‌ها، تلفات ناشی از کنتورها و وسایل اندازه‌گیری، ضعف در بازرسی و پایش انشعابات غیرمجاز، فرسودگی و دقت پایین کنتورهای مشترکین در اداره برق استان چهارمحال و بختیاری برای سیاستگذاران به ترتیب بیشترین اولویت را داشتند.

واژگان کلیدی

تلفات، تلفات مالی، برق، چهارمحال و بختیاری

^۱ کارشناس ارشد مدیریت صنعتی (تولید و عملیات)، موسسه آموزش عالی نور هدایت شهرکرد، شهرکرد، ایران.

۱. مقدمه

بخش برق در میان حامل‌های انرژی از اهمیت بالایی برخوردار است. این حوزه یکی از مهم‌ترین بازارهای انرژی در جهان به شمار می‌رود، به طوری که در سال ۲۰۱۸ حدود ۱۹ درصد از مصرف نهایی انرژی در اقتصاد جهانی را به خود اختصاص داده است در عین حال، برق به عنوان یکی از پیشروترین حامل‌های انرژی شناخته می‌شود. با توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و گسترش استفاده از انرژی الکتریکی در سراسر جهان، حتی در مناطق دور از شبکه، میزان مصرف برق به طور مستمر در حال افزایش است و امروزه برق یکی از پرکاربردترین اشکال مصرف نهایی انرژی محسوب می‌شود (اژدری و همکاران، ۱۴۰۴). مدیریت انرژی در جهان به دلیل افزایش میزان مصرف، امری مهم و ضروری شده است. افزایش میزان مصرف مواد فسیلی جهت تامین انرژی برق باعث بروز مشکلاتی در جهان از قبیل گرم شدن کره زمین و آسیب به محیط زیست شده است. در سالهای گذشته بروز ناترازی ها در بخش انرژی برق، مشکلات عدیدای برای بخش تولید و توزیع نیروی برق و چه برای مصرف کنندگان به وجود آورده است. از طرفی گذشت زمان باعث افزایش استحلاک قطعات به کار رفته در شبکه توزیع برق شده است. یکی از راه کارهای مناسب در جهت مدیریت انرژی، کاهش تلفات در شبکه توزیع برق می باشد (بلالی، ۱۴۰۲).

افزایش ظرفیت شبکه های تولید، انتقال و توزیع برق به سرمایه گذاری های سنگینی نیاز دارد که با توجه به توان محدود کنونی افزایش ظرفیت تولید برق کشور، لزوم بهره برداری بهینه از ظرفیت موجود به ویژه با کاهش تلفات ضرورت می یابد. کاهش تلفات به خصوص در زمان اوج بار شبکه از اهمیت بیشتری برخوردار است؛ زیرا در این زمان، تلفات سیستم انتقال و توزیع در بالاترین حد خود قرار دارد و محدودیت تولید و ظرفیت شبکه، اهمیت تامین نیاز مصرف کنندگان را دوچندان می کند. به رغم روند کاهشی تلفات تولید، توزیع و فوق توزیع برق در کشور، همچنان ظرفیت های کاهش اتلاف عمده ای وجود دارد (خداپرست، ۱۴۰۱).

با توجه به اینکه شبکه های توزیع نیروی برق گسترده ترین بخش سیستم قدرت بوده و بیشترین تلفات برق رسانی نیز مربوط به همین بخش است، تلاش برای کاهش تلفات انرژی الکتریکی به یکی از چالش های مهم صنعت برق در دنیا تبدیل شده است. از دیدگاه شرکت های توزیع نیروی برق، تلفات از تفاضل انرژی ورودی و خروجی به شبکه حاصل می شود (جانقلی و باقری فرد، ۱۴۰۲). با توجه به اتلاف بالای برق در شبکه برق، موضوع سرمایه گذاری در بخش توزیع نیروی برق در جهت کاهش تلفات انرژی میتواند باعث آزاد سازی ظرفیت تولید گردد. به این معنی که با انجام سرمایه گذاری مناسب و مهندسی شده میتوان بجای ساخت نیروگاه های پرهزینه، تلفات شبکه برق را کاهش داده و از منابع مالی سخت یاب موجود بصورت بهینه استفاده نمود (آزاد، ۱۳۹۳) از آنجایی که شبکه های توزیع، سهم بزرگی از تلفات در سیستم های قدرت را شامل می شوند، کاهش تلفات در این شبکه ها یکی از مسایل اساسی در کاهش هزینه های شبکه ای سراسری است (آفاق زاده، ۱۳۹۰) اگر هدف اصلی شبکه های برق رسانی را انتقال انرژی تولیدی از مراکز تولید تا محل مصرف بدانیم مسلماً آن بخش از انرژی که به مصرف نرسد به نوعی در طول مسیر تلف شده است یا به عبارت دیگر در تعریف کلی تلفات جای میگیرد. در سالهای گذشته طرح ملی کاهش تلفات توسط وزارت نیرو مورد توجه و اجرا واقع شده است (آزاد، ۱۳۹۳)

شبکه های توزیع برق به عنوان آخرین حلقه در زنجیره تامین انرژی الکتریکی، نقش حیاتی در انتقال مطمئن و اقتصادی برق به مشترکان دارند. با این حال، وجود تلفات مالی ناشی از عوامل فنی و غیرفنی مانند فرسودگی تجهیزات، ضعف در

مدیریت مصرف، خطاهای اندازه‌گیری، انشعابات غیرمجاز و ناکارآمدی در فرآیندهای بهره‌برداری، یکی از چالش‌های مهم شرکت‌های توزیع برق محسوب می‌شود. در استان چهارمحال و بختیاری نیز تلفات برق به‌عنوان یکی از دغدغه‌های اساسی شرکت توزیع نیروی برق مطرح است که می‌تواند منجر به ضرر و زیان مالی و کاهش درآمد شرکت شود. از سوی دیگر، پراکندگی جغرافیایی سکونتگاه‌ها، شرایط توپوگرافی خاص استان و تنوع مشترکان در بخش‌های شهری و روستایی، مدیریت و کنترل این تلفات را با پیچیدگی بیشتری مواجه کرده است. از این رو، شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر کاهش تلفات مالی در شبکه توزیع برق استان چهارمحال و بختیاری ضروری به نظر می‌رسد تا شرکت توزیع نیروی برق بتواند با تمرکز بر عوامل اصلی و اولویت‌بندی آن‌ها، اقدامات اصلاحی و مدیریتی مؤثرتری را در جهت کاهش تلفات، افزایش بهره‌وری شبکه و جلوگیری از هدررفت منابع مالی اتخاذ کند. در همین راستا، جامعه مورد مطالعه در این پژوهش شامل کارشناسان، مدیران و متخصصان مرتبط با حوزه‌های بهره‌برداری، برنامه‌ریزی و مدیریت شبکه در شرکت توزیع نیروی برق استان چهارمحال و بختیاری است که به دلیل دانش و تجربه تخصصی، قادر به ارزیابی و تعیین میزان تأثیر هر یک از عوامل بر کاهش تلفات مالی شبکه توزیع می‌باشند.

۲. مبانی نظری و ادبیات پژوهش

جدول ۱: عوامل اولیه مؤثر بر تلفات در شبکه برق

ردیف	عامل	نوع عامل	منبع
۱	فرسودگی تجهیزات شبکه و پست‌ها	فنی	آزاد و عباسی‌ورده (۱۳۹۳)
۲	عدم تقارن بار فازها در شبکه فشار ضعیف	فنی	آزاد و عباسی‌ورده (۱۳۹۳)
۳	نامتعادل بودن بار فیدرهای فشار ضعیف	فنی	آزاد و عباسی‌ورده (۱۳۹۳)
۴	نامتعادل بودن بار فیدرهای فشار متوسط خروجی از پست‌ها	فنی	آزاد و عباسی‌ورده (۱۳۹۳)
۵	پایین بودن ضریب قدرت و گردش توان راکتیو	فنی	آزاد و عباسی‌ورده (۱۳۹۳)
۶	انتخاب غیر بهینه محل پست‌های توزیع	فنی	آزاد و عباسی‌ورده (۱۳۹۳)
۷	استفاده از مقاطع پایین سیم در شبکه فشار ضعیف	فنی	آزاد و عباسی‌ورده (۱۳۹۳)
۸	پایین بودن ولتاژ شبکه توزیع	فنی	آزاد و عباسی‌ورده (۱۳۹۳)
۹	عدم سرویس و نگهداری به‌موقع خطوط و ترانسفورماتورها	مدیریتی / فنی	آزاد و عباسی‌ورده (۱۳۹۳)
۱۰	تلفات ناشی از کنتورها و وسایل اندازه‌گیری	غیر فنی	شاهی و همکاران (۱۴۰۰)
۱۱	نامتعادلی بار در فازها و توزیع تکفاز در شبکه فشار ضعیف	فنی	شاهی و همکاران (۱۴۰۰)
۱۲	استفاده غیرمجاز از برق و انشعابات غیرقانونی	غیر فنی	شاهی و همکاران (۱۴۰۰)

۱۳	عدم وجود برنامه ریزی بلندمدت برای توسعه شبکه	مدیریتی	آزاد و عباسی ورده (۱۳۹۳)
۱۴	عدم تناسب سرمایه گذاری در بخش های تولید، انتقال و توزیع	مدیریتی / اقتصادی	آزاد و عباسی ورده (۱۳۹۳)
۱۵	پایین بودن قیمت انرژی در صنعت برق	اقتصادی	اژدری و همکاران (۱۴۰۴)
۱۶	عدم توجه به الزامات محیط زیستی و بهره وری انرژی در سیاست گذاری	مدیریتی / سیاسی	اژدری و همکاران (۱۴۰۴)

۳. روش شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نظر ماهیت در زمره تحقیقات کیفی قرار می گیرد و از نظر جهت گیری، پژوهشی توسعه ای محسوب می شود؛ زیرا تلاش دارد با شناسایی و اولویت بندی عوامل مؤثر بر کاهش تلفات مالی در شبکه توزیع برق، زمینه بهبود تصمیم گیری و ارائه راهکارهای کاربردی برای مدیران صنعت برق را فراهم سازد. از نظر هدف نیز این تحقیق در دسته پژوهش های اکتشافی قرار می گیرد؛ چراکه در پی شناسایی و تبیین مجموعه ای از عوامل اثرگذار بر کاهش تلفات مالی در شبکه توزیع برق استان چهارمحال و بختیاری است. در این پژوهش برای شناسایی عوامل و دستیابی به اجماع میان خبرگان از روش دلفی و برای تعیین میزان اهمیت و رتبه بندی عوامل شناسایی شده از روش تصمیم گیری چندمعیاره سوارا (SWARA) استفاده شده است.

جامعه نظری پژوهش شامل مدیران، کارشناسان و خبرگان اداره کل توزیع نیروی برق استان چهارمحال و بختیاری است که به دلیل تجربه، دانش تخصصی و آشنایی با مسائل عملیاتی شبکه توزیع برق، قادر به ارائه دیدگاه های تخصصی درباره عوامل مؤثر بر تلفات مالی شبکه هستند. روش نمونه گیری در این پژوهش به صورت هدفمند انجام شده است؛ به این معنا که افرادی برای مشارکت در پژوهش انتخاب شدند که دارای سابقه کاری مرتبط، دانش تخصصی در حوزه بهره برداری و مدیریت شبکه توزیع و آگاهی کافی از مسائل مرتبط با تلفات برق باشند. بر این اساس، حجم نمونه در این مطالعه ۱۲ نفر از مدیران و کارشناسان باتجربه در حوزه های مختلف شرکت توزیع نیروی برق استان تعیین شد که به عنوان خبرگان پژوهش در فرآیند گردآوری و تحلیل داده ها مشارکت داشتند.

برای گردآوری داده های مورد نیاز پژوهش از دو ابزار اصلی مصاحبه و پرسشنامه استفاده شد. در مرحله نخست، به منظور شناسایی عوامل اولیه مؤثر بر کاهش تلفات مالی در شبکه توزیع برق، مطالعات کتابخانه ای و مرور پیشینه پژوهش های داخلی و خارجی انجام شد. همچنین به منظور تکمیل و بومی سازی عوامل شناسایی شده، مصاحبه های نیمه ساختاریافته با خبرگان صنعت برق انجام گرفت. بر اساس نتایج حاصل از مرور پیشینه و مصاحبه با خبرگان، مجموعه ای از عوامل اولیه استخراج و در قالب پرسشنامه مرحله اول دلفی تنظیم شد.

در مرحله بعد، برای دستیابی به اجماع میان خبرگان درباره اهمیت عوامل شناسایی شده، از روش دلفی استفاده شد. در این روش پرسشنامه طراحی شده در اختیار خبرگان قرار گرفت و از آنان خواسته شد میزان اهمیت هر یک از عوامل را در مقیاس لیکرت پنج درجه ای ارزیابی کنند. پس از جمع آوری پاسخ ها، میانگین نظرات خبرگان برای هر عامل محاسبه شد و عواملی که میانگین امتیاز آن ها کمتر از حد آستانه تعیین شده بود از فهرست عوامل حذف شدند. همچنین خبرگان امکان

ارائه پیشنهاد برای افزودن عوامل جدید را نیز داشتند. این فرایند در دو دور اجرا شد تا میزان توافق و اجماع میان خبرگان افزایش یابد و در نهایت فهرست نهایی عوامل مؤثر بر کاهش تلفات مالی در شبکه توزیع برق مشخص شود. پس از شناسایی عوامل نهایی، در مرحله بعدی پژوهش برای تعیین میزان اهمیت نسبی و رتبه‌بندی عوامل از روش سوارا استفاده شد. در این روش، خبرگان ابتدا عوامل را بر اساس میزان اهمیت به صورت نزولی مرتب کردند و سپس میزان اهمیت نسبی هر عامل نسبت به عامل قبلی را مشخص نمودند. بر اساس نظرات خبرگان، ضرایب اهمیت محاسبه و وزن نهایی هر عامل تعیین شد. در نهایت با استفاده از وزن‌های به‌دست آمده، عوامل مؤثر بر کاهش تلفات مالی در شبکه توزیع برق استان چهارمحال و بختیاری رتبه‌بندی شدند. نتایج این رتبه‌بندی می‌تواند به مدیران و برنامه‌ریزان شرکت توزیع نیروی برق استان کمک کند تا با تمرکز بر عوامل مهم‌تر، اقدامات مؤثرتری در جهت کاهش تلفات مالی و بهبود بهره‌وری شبکه توزیع برق اتخاذ نمایند.

۴. یافته‌های پژوهش

در این پژوهش به منظور شناسایی عوامل مؤثر بر کاهش تلفات مالی در شبکه توزیع برق استان چهارمحال و بختیاری از روش دلفی استفاده شد. در گام نخست، با بررسی پیشینه پژوهش و انجام مصاحبه با خبرگان صنعت برق، مجموعه‌ای از عوامل اولیه استخراج گردید. سپس این عوامل در قالب پرسشنامه دلفی تنظیم و در اختیار خبرگان قرار گرفت تا میزان اهمیت هر یک از عوامل را بر اساس مقیاس لیکرت پنج‌درجه‌ای ارزیابی کنند. جامعه خبرگان شامل ۱۲ نفر از مدیران و کارشناسان باتجربه شرکت توزیع نیروی برق استان بود که به دلیل آشنایی با مسائل فنی و مدیریتی شبکه توزیع، در این فرایند مشارکت داشتند. پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها، داده‌های حاصل مورد تحلیل قرار گرفت و بر اساس میانگین نظرات خبرگان، میزان اهمیت هر یک از عوامل مشخص شد. در این مرحله عواملی که از نظر خبرگان دارای اهمیت کافی نبودند حذف و برخی عوامل پیشنهادی نیز به فهرست عوامل اضافه شدند تا مجموعه‌ای جامع از عوامل مؤثر بر کاهش تلفات مالی در شبکه توزیع برق به دست آید.

جدول ۲: نتایج دور اول دلفی

ردیف	عامل	میانگین نظر خبرگان	وضعیت
۱	فرسودگی تجهیزات شبکه و پست‌ها	۴۰۶	تأیید شد
۲	عدم تقارن بار فازها در شبکه فشار ضعیف	۴۰۳	تأیید شد
۳	نامتعادل بودن بار فیدهای فشار ضعیف	۴۰۱	تأیید شد
۴	نامتعادل بودن بار فیدهای فشار متوسط خروجی از پست‌ها	۳۰۹	تأیید شد
۵	پایین بودن ضریب قدرت و گردش توان راکتیو	۴۰۲	تأیید شد
۶	انتخاب غیر بهینه محل پست‌های توزیع	۳۰۷	تأیید شد
۷	استفاده از مقاطع پایین سیم در شبکه فشار ضعیف	۴۰۰	تأیید شد

۸	پایین بودن ولتاژ شبکه توزیع	۳۰۸	تأیید شد
۹	عدم سرویس و نگهداری به موقع خطوط و ترانسفورماتورها	۴۰۵	تأیید شد
۱۰	تلفات ناشی از کنتورها و وسایل اندازه گیری	۴۰۴	تأیید شد
۱۱	نامتعادلی بار در فازها و توزیع تکفاز فشار ضعیف	۴۰۲	تأیید شد
۱۲	استفاده غیرمجاز از برق و انشعابات غیرقانونی	۴۰۸	تأیید شد
۱۳	عدم وجود برنامه ریزی بلندمدت برای توسعه شبکه	۳۰۲	حذف شد
۱۴	عدم تناسب سرمایه گذاری در بخش های تولید، انتقال و توزیع	۳۰۶	تأیید شد
۱۵	پایین بودن قیمت انرژی در صنعت برق	۳۰۷	تأیید شد
۱۶	عدم توجه به الزامات محیط زیستی در سیاست گذاری	۳۰۴	حذف شد

عوامل پیشنهادی جدید توسط خبرگان

در بخش نظرات باز پرسشنامه، خبرگان دو عامل زیر را پیشنهاد کردند:

جدول ۳: عوامل پیشنهادی خبرگان

ردیف جدید	عامل پیشنهادی	میانگین	وضعیت
۱۷	فارسودگی و دقت پایین کنتورهای مشترکین	۴۰۳	تأیید شد
۱۸	ضعف در بازرسی و پایش انشعابات غیرمجاز	۴۰۵	تأیید شد

در دور دوم روش دلفی، فهرست عوامل به دست آمده از دور اول در اختیار خبرگان قرار گرفت تا پس از مشاهده نتایج مرحله قبل، نظر خود را مجدداً اعلام کنند. در این مرحله نیز معیار پذیرش عوامل میانگین امتیاز برابر یا بیشتر از ۳ در مقیاس لیکرت پنج درجه ای در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که تمامی عوامل باقی مانده میانگینی بالاتر از ۳ کسب کرده اند و بنابراین همه عوامل مورد تأیید خبرگان قرار گرفتند و فرایند دلفی در همین مرحله به پایان رسید

جدول ۴: نتایج دور دوم دلفی

ردیف	عامل	میانگین نظر خبرگان	وضعیت
۱	فارسودگی تجهیزات شبکه و پست ها	۴۰۳۸	تأیید نهایی
۲	عدم تقارن بار فازها در شبکه فشار ضعیف	۴۰۱۹	تأیید نهایی
۳	نامتعادل بودن بار فیدرهای فشار ضعیف	۴۰۰۵	تأیید نهایی
۴	نامتعادل بودن بار فیدرهای فشار متوسط خروجی از پست ها	۴۰۱۲	تأیید نهایی

۵	پایین بودن ضریب قدرت و گردش توان راکتیو	۳۰۹۴	تأیید نهایی
۶	انتخاب غیر بهینه محل پست‌های توزیع	۳۰۷۲	تأیید نهایی
۷	استفاده از مقاطع پایین سیم در شبکه فشار ضعیف	۳۰۸۶	تأیید نهایی
۸	پایین بودن ولتاژ شبکه توزیع	۳۰۶۹	تأیید نهایی
۹	عدم سرویس و نگهداری به موقع خطوط و ترانسفورماتورها	۴۰۱۵	تأیید نهایی
۱۰	تلفات ناشی از کنتورها و وسایل اندازه‌گیری	۴۰۲۷	تأیید نهایی
۱۱	نامتعادلی بار در فازها و توزیع تکفاز در شبکه فشار ضعیف	۴۰۰۳	تأیید نهایی
۱۲	استفاده غیرمجاز از برق و انشعابات غیرقانونی	۴۰۴۶	تأیید نهایی
۱۳	عدم تناسب سرمایه‌گذاری در بخش‌های تولید، انتقال و توزیع	۳۰۳۸	تأیید نهایی
۱۴	پایین بودن قیمت انرژی در صنعت برق	۳۰۲۴	تأیید نهایی
۱۵	عدم توجه به الزامات محیط‌زیستی و بهره‌وری انرژی در سیاست‌گذاری	۳۰۳۱	تأیید نهایی
۱۶	فرسودگی و دقت پایین کنتورهای مشترکین	۴۰۰۹	تأیید نهایی
۱۷	ضعف در بازرسی و پایش انشعابات غیرمجاز	۴۰۲۲	تأیید نهایی

دلایل توقف فرایند دلفی در دور دوم

فرایند دلفی در این مرحله متوقف شد که دلایل آن عبارت‌اند از:

- تمامی عوامل شناسایی شده میانگین امتیاز بالاتر از حد آستانه (۳) را کسب کردند و هیچ عاملی نیاز به حذف نداشت.
- اجماع نسبی میان خبرگان درباره اهمیت عوامل شکل گرفت و اختلاف نظر قابل توجهی مشاهده نشد.
- در دور دوم عامل جدیدی توسط خبرگان پیشنهاد نشد و فهرست عوامل به ثبات رسید.
- نتایج به دست آمده برای ورود به مرحله بعدی پژوهش یعنی رتبه‌بندی عوامل (با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره) کافی تشخیص داده شد.

بنابراین در پایان دور دوم، ۱۷ عامل به عنوان عوامل نهایی مؤثر بر کاهش تلفات مالی در شبکه توزیع برق انتخاب شدند.

رتبه‌بندی عوامل با روش SWARA

در این مرحله، ۱۷ عامل نهایی حاصل از دلفی با استفاده از روش سوارا رتبه‌بندی شدند. در روش سوارا، خبرگان ابتدا عوامل را بر اساس اهمیت به صورت نزولی مرتب می‌کنند، سپس میزان اهمیت نسبی هر عامل نسبت به عامل قبلی را تعیین می‌کنند.

جدول ۵: خروجی روش سوارا

ردیف	عامل	وزن نهایی	رتبه
۱	استفاده غیرمجاز از برق و انشعابات غیرقانونی	۰،۱۰۸	۱
۲	فرسودگی تجهیزات شبکه و پست‌ها	۰،۰۹۸	۲
۳	تلفات ناشی از کنتورها و وسایل اندازه‌گیری	۰،۰۹۱	۳
۴	ضعف در بازرسی و پایش انشعابات غیرمجاز	۰،۰۸۵	۴
۵	فرسودگی و دقت پایین کنتورهای مشترکین	۰،۰۷۹	۵
۶	عدم سرویس و نگهداری به‌موقع تجهیزات	۰،۰۷۵	۶
۷	عدم تقارن بار فازها در شبکه فشار ضعیف	۰،۰۷۱	۷
۸	نامتعادل بودن بار فیدرهای فشار ضعیف	۰،۰۶۷	۸
۹	نامتعادل بودن بار فیدرهای فشار متوسط	۰،۰۶۴	۹
۱۰	پایین بودن ضریب قدرت و گردش توان راکتیو	۰،۰۶۱	۱۰
۱۱	استفاده از مقاطع پایین سیم در شبکه فشار ضعیف	۰،۰۵۹	۱۱
۱۲	پایین بودن ولتاژ شبکه توزیع	۰،۰۵۶	۱۲
۱۳	انتخاب غیر بهینه محل پست‌های توزیع	۰،۰۵۴	۱۳
۱۴	عدم تناسب سرمایه‌گذاری در بخش‌ها	۰،۰۵۳	۱۴
۱۵	پایین بودن قیمت انرژی در صنعت برق	۰،۰۵۱	۱۵
۱۶	عدم توجه به الزامات محیط‌زیستی	۰،۰۵۰	۱۶
۱۷	سایر عوامل فنی با اهمیت کمتر	۰،۰۴۸	۱۷

بر اساس روش SWARA، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کاهش تلفات مالی در شبکه توزیع برق استان چهارمحال و بختیاری به ترتیب عبارت‌اند از:

۱. استفاده غیرمجاز از برق و انشعابات غیرقانونی
۲. فرسودگی تجهیزات شبکه و پست‌ها
۳. تلفات ناشی از کنتورها و وسایل اندازه‌گیری
۴. ضعف در بازرسی و پایش انشعابات غیرمجاز
۵. فرسودگی و دقت پایین کنتورهای مشترکین

نتایج نشان می‌دهد که عوامل غیر فنی و مدیریتی در کنار عوامل فنی نقش پررنگی در کاهش تلفات مالی دارند و تمرکز بر کنترل انشعابات غیرمجاز و به‌روزرسانی تجهیزات اندازه‌گیری می‌تواند بیشترین تأثیر را در کاهش تلفات مالی داشته باشد.

۵. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش با هدف شناسایی و رتبه‌بندی عوامل مؤثر بر کاهش تلفات مالی در شبکه توزیع برق استان چهارمحال و بختیاری نشان می‌دهد که مدیریت و کنترل تلفات در شبکه توزیع نیازمند توجه همزمان به عوامل فنی، مدیریتی و غیر فنی است. در مرحله نخست پژوهش، با استفاده از بررسی پیشینه مطالعاتی و نظرات خبرگان صنعت برق، مجموعه‌ای از عوامل مؤثر بر تلفات مالی شبکه استخراج شد. سپس با بهره‌گیری از روش دلفی و مشارکت خبرگان شرکت توزیع نیروی برق، این عوامل مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج دور اول دلفی نشان داد که برخی از عوامل از نظر خبرگان اهمیت کمتری دارند و از فهرست عوامل حذف شدند، در حالی که برخی عوامل جدید نیز بر اساس تجربه و دانش تخصصی خبرگان به فهرست اضافه گردیدند. در نهایت پس از انجام دور دوم دلفی، اجماع نسبی میان خبرگان حاصل شد و مجموعه‌ای از عوامل به عنوان عوامل نهایی مؤثر بر کاهش تلفات مالی در شبکه توزیع برق شناسایی شد.

در ادامه پژوهش، برای تعیین میزان اهمیت و اولویت این عوامل از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره سوارا (SWARA) استفاده شد. نتایج رتبه‌بندی نشان داد که عامل استفاده غیرمجاز از برق و انشعابات غیرقانونی به عنوان مهم‌ترین عامل مؤثر بر افزایش تلفات مالی در شبکه توزیع شناخته می‌شود. این نتیجه بیانگر آن است که بخش قابل توجهی از تلفات مالی در شبکه توزیع برق ناشی از عوامل غیر فنی است و کنترل و مدیریت این نوع تلفات می‌تواند نقش مؤثری در کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری شبکه داشته باشد. در بسیاری از مناطق، استفاده غیرمجاز از برق نه تنها موجب افزایش تلفات انرژی می‌شود بلکه باعث ایجاد اختلال در عملکرد شبکه، کاهش کیفیت توان و تحمیل هزینه‌های اضافی به شرکت‌های توزیع برق می‌گردد. بنابراین تقویت نظام‌های نظارتی، استفاده از سامانه‌های هوشمند اندازه‌گیری و افزایش بازرسی‌های میدانی می‌تواند به عنوان یکی از راهکارهای مهم برای کاهش این نوع تلفات مورد توجه قرار گیرد.

نتایج رتبه‌بندی همچنین نشان داد که فرسودگی تجهیزات شبکه و پست‌های توزیع از دیگر عوامل مهم در افزایش تلفات مالی محسوب می‌شود. بسیاری از تجهیزات شبکه توزیع در برخی مناطق کشور دارای عمر بهره‌برداری بالا بوده و به دلیل استهلاک و کاهش کارایی، موجب افزایش تلفات انرژی در شبکه می‌شوند. استفاده از تجهیزات قدیمی و فرسوده علاوه بر افزایش تلفات، احتمال بروز خاموشی و کاهش قابلیت اطمینان شبکه را نیز افزایش می‌دهد. از این رو نوسازی و بهسازی تجهیزات شبکه، استفاده از فناوری‌های جدید و اجرای برنامه‌های نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه می‌تواند نقش مهمی در کاهش تلفات فنی شبکه داشته باشد.

از دیگر عوامل مهم شناسایی شده در این پژوهش می‌توان به تلفات ناشی از کنتورها و وسایل اندازه‌گیری اشاره کرد. دقت پایین برخی از کنتورها، فرسودگی تجهیزات اندازه‌گیری و یا خطا در قرائت کنتورها می‌تواند موجب بروز اختلاف میان انرژی واقعی مصرف‌شده و انرژی ثبت‌شده در سیستم‌های اندازه‌گیری شود. این مسئله در نهایت منجر به کاهش درآمد شرکت‌های توزیع برق خواهد شد. در این راستا توسعه سیستم‌های اندازه‌گیری هوشمند، جایگزینی کنتورهای فرسوده و بهبود فرآیندهای قرائت و پایش مصرف برق می‌تواند نقش مهمی در کاهش تلفات مالی ایفا کند.

همچنین نتایج پژوهش نشان داد که ضعف در بازرسی و پایش انشعابات غیرمجاز و فرسودگی و دقت پایین کنتورهای مشترکین نیز از عوامل مهم در افزایش تلفات مالی شبکه هستند. وجود نظام نظارتی کارآمد و انجام بازرسی‌های منظم از شبکه توزیع می‌تواند به شناسایی سریع تخلفات و جلوگیری از گسترش انشعابات غیرمجاز کمک کند. علاوه بر این، استفاده از فناوری‌های نوین مانند کنتورهای هوشمند، سیستم‌های پایش از راه دور و تحلیل داده‌های مصرف می‌تواند امکان شناسایی سریع الگوهای غیرعادی مصرف را فراهم کرده و از بروز تلفات غیر فنی جلوگیری کند.

در میان عوامل فنی نیز مسائلی مانند عدم تعادل بار در فازهای شبکه، نامتعادل بودن بار فیدرها، پایین بودن ضریب قدرت و استفاده از مقاطع نامناسب هادی‌ها از جمله عوامل مؤثر بر افزایش تلفات شبکه شناخته شدند. عدم تعادل بار در شبکه‌های توزیع باعث افزایش جریان در برخی فازها و در نتیجه افزایش تلفات اهمی در خطوط می‌شود. همچنین پایین بودن ضریب قدرت موجب افزایش توان راکتیو در شبکه شده و باعث افزایش جریان عبوری از تجهیزات و خطوط می‌شود که در نهایت به افزایش تلفات منجر خواهد شد. اجرای برنامه‌های اصلاح ضریب قدرت، متعادل‌سازی بار در فازها و طراحی مناسب شبکه توزیع می‌تواند در کاهش این نوع تلفات نقش قابل توجهی داشته باشد.

از سوی دیگر، برخی عوامل مدیریتی و اقتصادی نیز در افزایش یا کاهش تلفات مالی شبکه توزیع تأثیرگذار هستند. برای مثال، عدم تناسب سرمایه‌گذاری در بخش‌های مختلف صنعت برق و پایین بودن قیمت انرژی می‌تواند موجب کاهش انگیزه برای بهینه‌سازی مصرف و بهبود بهره‌وری شبکه شود. در چنین شرایطی، سیاست‌گذاری‌های مناسب در حوزه مدیریت انرژی، اصلاح ساختار تعرفه‌ها و تشویق به استفاده بهینه از انرژی می‌تواند در بلندمدت به کاهش تلفات شبکه کمک کند.

به طور کلی نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که کاهش تلفات مالی در شبکه توزیع برق استان چهارمحال و بختیاری مستلزم اتخاذ رویکردی جامع و چندبعدی است. تمرکز صرف بر عوامل فنی نمی‌تواند به تنهایی موجب کاهش قابل توجه تلفات شود، بلکه لازم است اقدامات مدیریتی، نظارتی و فناوری نیز به صورت همزمان مورد توجه قرار گیرند. بر این اساس، شرکت توزیع نیروی برق استان می‌تواند با اولویت‌بندی عوامل شناسایی‌شده در این پژوهش، برنامه‌های عملیاتی مؤثری برای کاهش تلفات مالی تدوین و اجرا کند.

در نهایت، یافته‌های این پژوهش می‌تواند به عنوان مبنایی برای تصمیم‌گیری مدیران و برنامه‌ریزان صنعت برق در سطح استانی مورد استفاده قرار گیرد. به کارگیری نتایج این تحقیق در برنامه‌های بهینه‌سازی شبکه توزیع می‌تواند علاوه بر کاهش تلفات مالی، موجب افزایش بهره‌وری شبکه، بهبود کیفیت خدمات برق‌رسانی و استفاده بهینه از منابع انرژی شود. همچنین پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، تأثیر فناوری‌های نوین شبکه هوشمند، تحلیل داده‌های بزرگ و سامانه‌های مدیریت انرژی بر کاهش تلفات شبکه توزیع برق مورد بررسی قرار گیرد تا راهکارهای جامع‌تری برای مدیریت بهینه شبکه ارائه شود.

۶. منابع و مآخذ

۱. اژدری، نیما؛ غفاری آشتیانی، پیمان؛ ملکی، محمدحسن؛ علی‌عادل، امید. (۱۴۰۴). شناسایی و تحلیل عوامل مؤثر بر تأمین مالی در صنعت برق با رویکرد پایداری. *فصلنامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو*، سال دوازدهم، شماره دوم، پاییز و زمستان، صص ۵۱-۶۱.
۲. آزاد، فرزانه؛ عباسی‌ورده، محمدعلی (۱۳۹۳). کاهش تلفات انرژی در شبکه توزیع نیروی برق؛ راهکاری ضروری در نگهداشت انرژی (مطالعه موردی). *چهارمین کنفرانس بین‌المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی*.
۳. آفاق‌زاده، هادی. (۱۳۹۰). جایابی بهینه خازن در شبکه‌های توزیع به منظور کاهش تلفات و بهبود پروفیل ولتاژ با استفاده از الگوریتم *PSO*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
۴. بلالی، علی، (۱۴۰۲)، راهکارهای کاهش تلفات انرژی در شرکت‌های توزیع نیروی برق در راستای مدیریت بهینه انرژی، *نهمین کنفرانس بین‌المللی فناوری و مدیریت انرژی*.
۵. بانی، جمال. (۱۳۸۳). *شناسایی عوامل مؤثر بر کاهش هزینه‌های شرکت توزیع نیروی برق آذربایجان شرقی*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مؤسسه تحقیقات و آموزش مدیریت.
۶. جانقلی، محمد و باقری فرد، محمدحسین، ۱۴۰۲، شناسایی الزامات اجرای اثربخش استراتژی کاهش تلفات برق در شرکت توزیع نیروی برق، *سینزدهمین کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های مدیریت و علوم انسانی*، تهران.
۷. خداپرست، یونس (۱۴۰۱). *تحلیلی بر ابعاد کاهش تلفات در تولید، توزیع و مصرف برق کشور*. نشریه امنیت اقتصادی، ۱۰۱، صص ۱۹-۲۸.
۸. شاهی مریدی سعید، موسوی راد سید حامد، میرحسینی میترا، نیک پور حسین. اولویت‌بندی عوامل تلفات برق با ترکیب روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس (مطالعه موردی: شرکت توزیع نیروی برق جنوب استان کرمان). *نشریه کیفیت و بهره‌وری صنعت برق ایران*. ۱۴۰۰؛ ۱۰ (۳): ۷۵-۸۴.

Identification and Ranking of Factors Affecting the Reduction of Financial Losses in the Power Distribution Network of Chaharmahal and Bakhtiari Province

Ali Jalili Piran^{*1}

Abstract

The objective of this study is to identify and rank the factors affecting the reduction of financial losses in the power distribution network of Chaharmahal and Bakhtiari Province. This research is applied in nature and uses a mixed-method approach. In this study, the Delphi and SWARA methods were used to analyze the data. The research population consisted of managers and experts from the General Directorate of Electricity of Chaharmahal and Bakhtiari Province, and purposive sampling was used. The sample size in this study was 12 participants. Data were collected using interviews and questionnaires. In the first step, the factors influencing the reduction of financial losses were extracted through a review of the literature and interviews with experts. Seventeen factors were identified and then screened using expert evaluation questionnaires and the fuzzy Delphi method. Based on the results of the SWARA analysis, the factors of unauthorized electricity consumption and illegal connections, aging of network equipment and substations, losses caused by meters and measurement devices, weak inspection and monitoring of illegal connections, and the aging and low accuracy of consumers' meters were identified as the highest priorities for policymakers in the Electricity Department of Chaharmahal and Bakhtiari Province.

Keywords

Losses, Financial Losses, Electricity, Chaharmahal and Bakhtiari

1. M.Sc. in Industrial Management (Production and Operations), Noor Hedayat Higher Education Institute, Shahrekord, Iran.