بیست و یکمین کنفرانس توزیع برق
اردیبهشت ۱۳۹۵-کرج

تخمین تلفات شبکه فشار ضعیف با استفاده از روشی ابتکاری مبتنی بر ضریب بار قرائت شده با در نظر گرفتن محدودیت های اطلاعاتی

امین مرادخانی[۱]- محمودرضا حقی‌فام[۲]- جواد رشید بیگی[۳]- نصرت الله محمدبیگی[۳]

[۱] دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ایلام ، ایلام ، ایران
[۲]دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
[۳]شرکت توزیع نیروی برق استان ایلام، ایلام، ایران

چکیده

امروزه بسیاری از شرکت های توزیع داخلی با پدیده های دستکاری لوازم اندازه گیری و انشعاب غیرمجاز مواجه هستند که باعث افزایش تلفات غیر فنی شبکه فشار ضعیف شده است. اولین قدم در حذف این نوع از تلفات شناسایی مناطقی است که آلوده به این نوع تلفات هستند. از این رو در این مقاله روشی برای تخمین تلفات فنی و غیر فنی شبکه فشار ضعیف با استفاده از اطلاعات موجود معرفی شده است. ایده اصلی روش پیشنهادی مبتنی بر تعریف ضریب بار قرائت شده است و اثبات شده است که در صورت وجود انشعاب غیر مجاز و دستکاری لوازم اندازه گیری این ضریب نسبت به ضریب بار واقعی فیدر کاهش خواهد یافت. این روش پیشنهادی در دو شبکه فشار ضعیف منطقه موسیان اجرا شده است و نتایج آن ارائه شده است.

کلید واژه :

تخمین تلفات، شبکه فشار ضعیف، تلفات فنی، تلفات غیر فنی، سرقت انرژی

۱- مقدمه

با توجه به آمار تفضیلی صنعت برق تلفات در شبکه توزیع ۱۵,۱۶ درصد از کل انرژی ورودی به شبکه توزیع را تشکیل می دهد و بیشترین سهم از این تلفات نربوط به شبکه فشار ضعیف است. تلفات سیستم به صورت اختلاف بین انرژی ارسال شده و انرژی تحویلی به مشترکین نهایی تعریف می شود که شامل بر دو نوع است:

تلفات فنی که بر اثر عبور جریان از تجهیزات سیستم مثل هادی ها، سیم پیچ های ترانسفورماتور و غیره حاصل می شود.

تلفات غیر فنی 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 برق غیر مجاز.

متاسفانه سهم تلفات غیرفنی در استان ایلام بسیار چشمگیر است که ناشی از سرقت پنهان و آشکار انرژی توسط مصرف کنندگان می باشد.

مهمترین مشکل در حذف و کاهش تلفات غیر فنی رویت ناپذیر بودن شبکه توزیع است. به بیان دیگر وسایل اندازه گیری با هدف سنجش تلفات در شبکه توزیع فعلا مستقر نشده اند. لذا سنجش تلفات در این مرحله ممکن نیست و بایستی برآورد تلفات را مد نظر قرار داد. در مراجع روش های متفاوتی برای تخمین و اندازه گیری تلفات ارئه شده از جمله محاسبه تلفات انرژی با بکارگیری روشهای آماری[۱-۲]، ارزیابی تلفات سیستم توزیع بوسیله محاسبات درصد بار[۳]، بکارگیری رهیافت (top/down, bottom/up) [۴-۵]، محاسبه و ارزیابی تلفات با بکارگیری سیستم های مانیتورینگ اتوماسیون [۶]، ارزیابی تلفات شبکه توزیع با بکارگیری تخمین بارپستهای توزیع[۷]. بسیاری از این روش ها مفروض به وجود داده هایی است که عملا در شرکت توزیع های ایران در دسترس نمی باشد. همچنین این روش ها برای تخمین تلفات فنی طراحی شده اند و برای نوع خاص تلفات غیر فنی که در ایران مطرح است مناسب نیستند. هدف از این مقاله برآورد تلفات در بخش فشار ضعیف با قابلیت تعیین سهم تلفات فنی و غیر فنی با استفاده از داده های در دسترس است. در این مقاله برای تخمین تلفات، فاکتوری بنام ضریب بار قرائت شده معرفی شده است و اثبات می شود که در صورت وجود دستکاری کنتور و انشعاب غیر مجاز این ضریب نسبت به ضریب بار واقعی فیدر کاهش خواهد یافت.

۲- روش پیشنهادی

شاخص اصلی بکار گرفته در این پروژه ضریب بار است. ضریب بار شاخص ساده ای است که از نسبت متوسط بار ساعتی دریک دوره مشخص بر پیک بار درهمان دوره بدست می آید.

با توجه به تعریف فوق، ضریب بار از نسبت مجموع بار ساعتی(انرژی مصرفی دوره) به حاصلضرب ساعات دوره مطالعه در پیک بار بدست می آید. ضریب بار می تواند برای دوره های روزانه ، هفتگی، ماهیانه ، فصلی، سالیانه یا هر دوره مشخص دیگر تعریف شود .البته باید به این نکته مهم توجه شود برحسب اینکه ضریب بار برای چه دوره هایی محاسبه شود، انرژی مصرفی، پیک مصرف نیز باید مربوط به همان دوره باشد. تعریف بالا را می توان با رابطه ریاضی زیر نشان داد:

$$LDF = \frac{E_T}{T.P_M} \qquad (۱)$$

که دراین رابطه:

LDF : ضریب بار

E_T : انرژی مصرفی در دوره

P_M: پیک توان

T : دوره مطالعه برحسب ساعت

برای بررسی اثر دستکاری کنتور و انشعاب غیر مجاز، فاکتوری به نام ضریب بار قرائت شده به صورت زیر تعریف می گردد:

$$LD_f{}^{meter} \triangleq \frac{E_T^{meter}}{T \times P_M} = \frac{P_{av}^{meter}}{P_M} \qquad (۸)$$

که در آن:

E_T^{meter}: انرژی قرائت شده مشترکین فیدر

P_M: پیک توان برداشت شده فیدر

P_{av}^{meter}: متوسط توان قرائت شده فیدر

می باشند. در ادامه اثر دستکاری کنتور و انشعاب غیر مجاز به ترتیب بر دو شاخص سهم مشترک در پیک و سهم مشترک در متوسط توان معرفی می شود و با استفاده از نتایج آنها اثر دستکاری کنتور و انشعاب غیر مجاز بر کاهش ضریب بار قرائت شده اثبات می شود.

۲-۱- حالت اول: اثر دستکاری کنتور بر شاخص سهم مشترک در متوسط توان

با فرض وجود دستکاری کنتور در بین مشترکین فیدر، مقادیر ثبت شده انرژی مصرفی مشترک نسبت به واقعیت کاهش خواهند یافت. بنابراین مجموع انرژی مصرفی قرائت شده E_T^{Meter} نسبت به مقدار واقعی E_T^{real} کمتر خواهد بود. متوسط توان هر مشترک بر اساس مقادیر قرائت شده و در حالت واقعی به صورت زیر تعریف می شود:

$$p_{av,c}^{meter} = \frac{P_{av}^{meter}}{n^{meter}} = \frac{E_T^{meter}}{T \times n^{meter}} \qquad (۳)$$

$$p_{av,c}^{real} = \frac{P_{av}^{real}}{n} = \frac{E_T^{real}}{T \times n} \qquad (۴)$$

با توجه به اینکه با وجود دستکاری کنتور مقدار انرژی قرائت شده نسبت به انرژی واقعی کمتر است می توان گفت در این مقدار متوسط توان هر مشترک نسبت به مقدار واقعی کاهش خواهد داشت یعنی:

$$E_T^{meter} < E_T^{real} \Rightarrow p_{av,c}^{meter} < p_{av,c}^{real} \qquad (۵)$$

۲-۲- حالت دوم: اثر انشعاب غیر مجاز بر شاخص سهم مشترک در پیک

با فرض وجود انشعاب غیر مجاز هم تعداد مشترکین و هم جمع انرژی مصرفی قرائت شده از مقدار واقعی کمتر است. با وجود کمتر بودن تعداد مشترکین ثبت شده می توان گفت که سهم مشترک در پیک اندازه گیری شده فیدر افزایش خواهد شد. سهم هر مشترک در پیک فیدر به صورت زیر تعریف می شود:

$$p_{m,c}^{meter} = \frac{P_M}{n^{meter}} \qquad (۶)$$

و با وجود انشعاب غیر مجاز، به خاطر کمتر بودن تعداد مشترکین قرائت شده، سهم هر مشترک در پیک بیشتر از مقدار واقعی خواهد بود یعنی:

$$n^{meter} < n^{real} \Rightarrow p_{m,c}^{meter} > p_{m,c}^{real} \qquad (۷)$$

۲-۳- اثر دستکاری کنتور و انشعاب غیر مجاز بر ضریب بار قرائت شده

با بسط رابطه (۶) خواهیم داشت:

$$p_{m,c}^{meter} = \frac{P_M}{P_{av}^{meter}} \times \frac{P_{av}^{meter}}{n^{meter}} \qquad (۷)$$

این رابطه با توجه به رابطه های (۲) و (۳) به صورت زیر بازنویسی می شود:

$$LD_f{}^{meter} = \frac{p_{av,c}^{meter}}{p_{m,c}^{meter}} \qquad (۸)$$

که با توجه به نتایج (۵) و (۷) می توان گفت در صورت وقوع دستکاری کنتور و انشعاب غیرمجاز نتیجه زیر برقرار است:

$$LD_f{}^{meter} < LD_f{}^{real} \qquad (۱۰)$$

این رابطه نشان می دهد درصورت وجود دستکاری لوازم اندازه گیری و انشعاب غیر مجاز ضریب بار قرائت شده نسبت به حالتی که سرقت رخ ندهد کاهش خواهد یافت. در ادامه با توجه به همین نتیجه، تلفات شبکه براورد می شود.

۲-۴- تخمین تلفات با استفاده از ضریب بار قرائت شده

با تقسیم روابط (۱) و (۲)، میتوان مقدار انرژی واقعی فیدر را به صورت زیر تخمین زد:

$$E_T^{real} = \frac{LD_f{}^{real}}{LD_f{}^{meter}} E_T^{meter} \qquad (۱۱)$$

میزان تلفات انرژی به صورت اختلاف بین انرژی واقعی فیدر و انرژی قرائت شده به صورت زیر برآورد می شود:

$$E_{loss} = E_T^{real} - E_T^{meter} = (\frac{LD_f{}^{real}}{LD_f{}^{meter}} - 1) \times E_T^{meter} \qquad (۱۲)$$

تلفات فنی E_{loss}^T با انجام پخش بار برآورد می شود و تلفات غیر فنی E_{loss}^{NT} از تفاضل تلفات انرژی کل و تلفات فنی برآورد می شود:

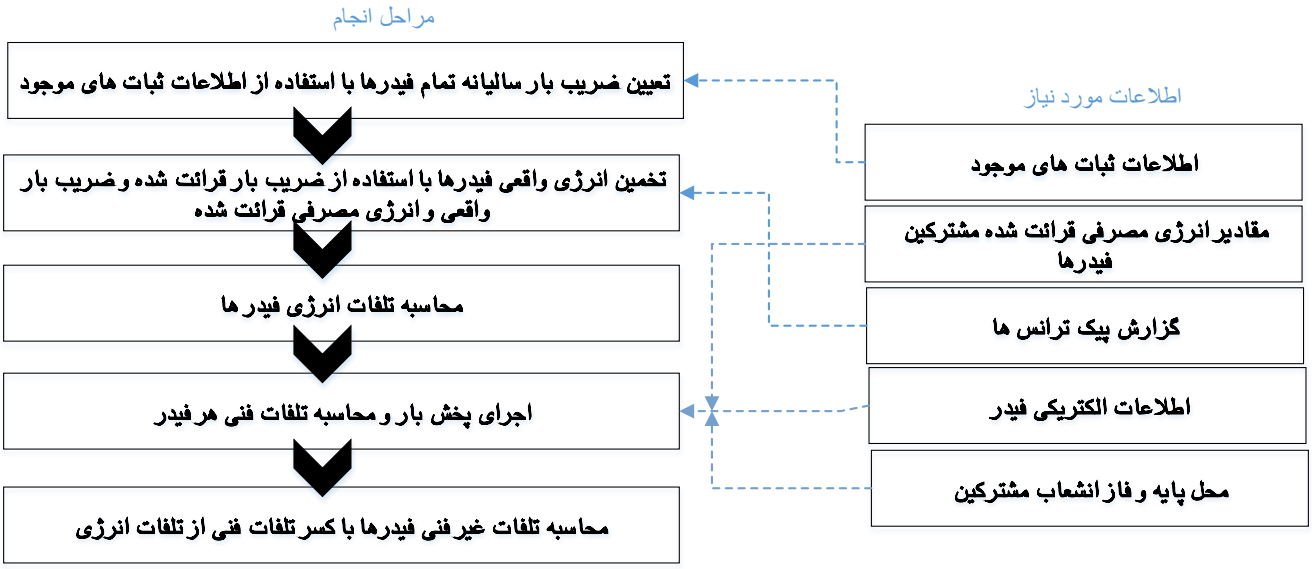
$$E_{loss}^{NT} = E_{loss} - E_{loss}^T \qquad (۱۳)$$

۲-۵- روش برآورد تلفات فنی E_{loss}^T با در نظر گرفتن سرقت انرژی:

با توجه به اینکه E_T^{real} انرژی واقعی در ورودی فیدر است می توان گفت که این انرژی برابر با جمع انرژی واقعی مصرفی مشترکین و انرژی هدر رفته تلفات فنی است.

$$E_T^{real} = E_T^{end_real} + E_{loss}^T \qquad (۱۴)$$

$E_T^{end_real}$ ورودی پخش بار و مقداری مجهول است. مقدار آن طوری باید برآورد شود که بعد از انجام پخش بار و محاسبه تلفات در رابطه ۱۴ صدق کند یعنی جمع انرژی



شکل ۱ مراحل اجرای روش پیشنهادی

واقعی مشترکین نهایی و تلفات فنی با انرژی واقعی ورودی فیدر برابر شود. برآورد $E_T^{end_real}$ به صورت ضریب اصلاحی در مقدار انرژی قرائت شده مشترکین تعریف می شود:

$$E_T^{end_real} = \alpha E_T^{meter} \qquad (۱۵)$$

مقدار α قطعا مقداری بزرگتر یا مساوی یک است که بایستی برآورد شود. یک تخمین اولیه برای آن به صورت زیر خواهد بود:

$$\alpha \simeq \frac{LD_f^{real}}{LD_f^{meter}} \qquad (۱۶)$$

سپس بار هر پایه که از انرژی قرائت شده بدست می آید، در ضریب α ضرب می شود. سپس پخش بار انجام می شود و تلفات فنی بدست می آید. با توجه به رابطه ۱۴، رابطه زیر چک می شود:

$$E_T^{real} = \alpha E_T^{meter} + E_{loss}^T \qquad (۱۷)$$

در صورت عدم صدق نتایج پخش بار در رابطه ۱۷ ضریب α را تغییر داده تا رابطه ۱۷ برقرار شود. مطالعه پخش بار با استفاده از روش جاروب رفت و برگشت شبکه نامتعادل چهار سیمه تهیه شده است.

۲-۶- تخمین بار پایه ها

توان اکتیو هر پایه در هر فاز با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$p_{i\phi} = \alpha \frac{\sum_{k=1}^{n_{\phi i}} E_{i,k}^{meter}}{T} \qquad (۱۸)$$

که در آن:

$p_{i\phi}$: بار فاز ϕ ام در پایه i ام

$E_{i,k}^{meter}$: انرژی مصرف مشترک k ام در فاز ϕ روی پایه i ام در دوره T

$n_{\phi i}$: تعداد مشترکین فاز ϕ روی پایه i

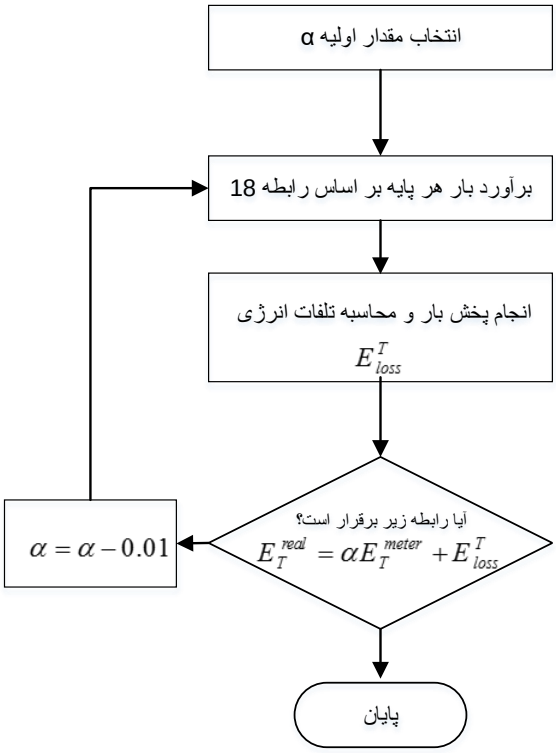
توان راکتیو هر پایه در هر فاز با استفاده از ضریب قدرت به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$q_{i\phi} = p_{i\phi} \tan(\cos^{-1}(PF))$$

۲-۷- الگوریتم تخمین تلفات

مراحل انجام تخمین تلفات شبکه فشار ضعیف دیاگرام شکل ۱ نشان داده شده است. اطلاعات مورد نیاز این روش ۵ دسته هستند. از اطلاعات ثبات های موجود ضریب بار مشترکین تخمین زده می شود. فرض بر این است که ضریب بار وابسته به رفتار مشترکین است و در یک منطقه با مشترکین با الگوی رفتاری مشابه، ضریب بار تقریبا مشابه است. هرچند که در پست هایی که دارای انواع مشترکین خانگی و تجاری و ... تخمین ضریب بار پیچیده تر می شود اما در این مطالعه تنها پستهایی با مشترکین خانگی مورد نظر بوده اند. دسته اطلاعات دیگر انرژی قرائت شده مشترکین ترانس است که به همراه اطلاعات پیک ترانس، ضریب بار قرائت شده را در اختیار قرار می دهد. با اطلاعات مذکور، مقدار تلفات فیدر فشار ضعیف قابل تخمین است. اما برای محاسبه تلفات فنی نیاز به انجام پخش بار است که

برای انجام پخش بار اطلاعات الکتریکی فیدر و بار پایه ها مورد نیاز است که با توجه به برداشت اطلاعات شبکه در بستر GIS در دسترس هستند. شکل ۲ فلوچارت تخمین تلفات فنی را نشان می دهد.



شکل ۲ فلوچارت الگوریتم تخمین تلفات فنی

۳- شبیه سازی و نتایج

با استفاده از روش پیشنهاد شده، تلفات دو ترانس روستایی جلیزی و ولی عصر در منطقه موسیان برآورد شده است. جدول ۱ خلاصه اطلاعات جمع آوری شده دو ترانس را نشان می دهد. منطقه موسیان درجنوب استان ایلام قرار دارد و دارای آب و هوای گرمسیری است که در فصل تابستان استفاده از وسایل خنک کننده پرمصرف را اجتناب ناپذیر می کند. در جدول ۲ نتایج بدست آمده با استفاده از روش پیشنهادی ارائه شده است. ضریب بار پست ها بر اساس میانگین ضریب بار فیدرهای مشابه، مقدار ۰,۷۶ در نظر گرفته شده است.

جدول ۱ خلاصه اطلاعات جمع آوری شده دو ترانس

	ترانس ۱	ترانس ۲
مجموع انرژی قرائت شده مشترکین(kWh)	۶۳۳۴۳	۲۱۸۴۸
دوره زمانی مطالعه (شبانه روز)	۶۲	۴۳
انرژی ورودی ثبت شده در ثبات (kWh)	۱۰۲۴۷۰	۶۶۹۰۰
پیک ترانس(kW)	۲۲۳	۸۷,۹
ضریب بار واقعی فیدر	۰,۷۷۵	۰,۷۵۲
ضریب بار قرائت شده	۰,۴۷۷	۰,۲۴۱

جدول ۲ نتایج اجرای روش پیشنهادی

		ترانس ۱	ترانس ۲
مجموع انرژی برآورد شده ورودی (kWh) $\widehat{E}_T^{real}$		۱۰۰۸۷	۶۸۹۸۲
اختلاف انرژی برآورد شده با مقدار واقعی در جدول ۱	(kWh)	۱۵۱۰	-۲۰۴۱
	٪	+۱,۵	-۳,۰۵
تلفات برآورد شده رابطه (۱۲)	(kWh)	۳۷۵۲۱	۴۷۰۷۴
	٪	۳۶,۶۳	۷۰,۴
تلفات فنی برآورد شده	(kWh)	۱,۲۷۲	۲,۲۹۳
	٪	۱,۲۴	۳,۴۳
ضریب تصحیح بار پایه ها α		۱,۵۹۷۵	۲,۹۵۳
تلفات غیر فنی برآورد شده (رابطه ۱۳)	(kWh)	۳۶۲۵۹	۴۴۷۷۹
	٪	۳۵,۴	۶۶,۹

نتایج جدول ۲ نشان می دهد که روش پیشنهادی انرژی ورودی دو ترانس را به ترتیب با خطای ۱,۵ و ۳,۰۵ –

برآورد کرده است. درصد تلفات برای ترانس اول و دوم به ترتیب ۳۷۵۲۱ و ۴۷۰۷۴ کیلو وات ساعت است که به ترتیب ۳۶,۶۳ و ۷۰,۴ درصد انرژی ورودی را تشکیل می دهد. تلفات فنی با استفاده از الگوریتم شکل ۲ برای دو ترانس به ترتیب ۱,۲۴ و ۳,۴۳ درصد انرژی ورودی برآورد شده است. که با کسر تلفات فنی از تلفات کل مقدار تلفات غیر فنی بر دو ترانس به ترتیب ۳۵,۴ و ۶۶,۹ درصد انرژی ورودی را تشکیل می دهند. همانطور که مشاهده می شود درصد تلفات غیر فنی در این دو نمونه بسیار زیاد است که نشان دهنده حجم بالای سرقت انرژی می باشد.

۴- نتیجه گیری

در این مقاله روشی برای تخمین تلفات فنی و غیر فنی فیدرهای فشار ضعیف بر مبنای ضریب بار قرائت شده ارائه گردید. مزیت اصلی این روش در دسترس بودن اطلاعات مورد نیاز آن می باشد. نتایج شبیه سازی برای دو فیدر خانگی روستایی منطقه موسیان خطای برآورد ۱,۵ و ۳,۰۵ درصدی را نشان داد. این خطا می تواند ناشی از برآورد ضریب بار واقعی فیدر و همچنین مقدار پیک ترانس است که با مقادیر واقعی آن می تواند متفاوت باشد. لذا با برآورد دقیقتر ضریب بار و اصلاح پیک برداشتی ترانس می توان دقت نتایج را بیشتر نمود. این مطالعه بر روی دو پست خانگی انجام شده است و درصورت اعمال به به پست های با بارهای ترکیبی نیاز به براورد ضریب بار دارد. همچنین عدم قرائت همزمان کنتورهای مشترکین و عدم محاسبه خاموشی های شبکه فشار ضعیف از دیگر عوامل ایجاد کننده خطای نتایج می تواند باشد که در مطالعات آینده در نظر گرفته خواهند شد.

۵- مراجع

[1] a.l.shenkman, energy loss computation by using ststistical techniques , IEEE transaction on power delivery- 1990

[2] obrad m . mikic, varianced based energy loss computation in low voltage distribution networks , IEEE transaction on power delivery , 2007

[3] david l .flaten, distribution system losses calculation by percent loading , IEEE transaction on power systems , 1989

[4] carlos dortolina, the loss that is unknown is no loss at all: a top-down/ bottom-up approach for estimating distribution losses- IEEE transaction on power systems , 2005

[5] p.s.nagendra rao, energy loss estimation in distribution feeders , IEEE transaction on power delivery , 2006

[6] zhumei miao, develop and application of network real time theoretical line loss calculation and analysis system , 19th international conference on electricity,cired,2007 ,

[۷] کاربرد تخمین بار پست های توزیع در ارزیابی تلفات ترانسفورماتورها و فیدرهای فشار متوسط توزیع، مریم رمضانی ، حمید فلقی، محمود رضا حقی فام ، دانشگاه تربیت مدرس