کاربرد تخمین بار پست‌های توزیع در ارزیابی تلفات ترانسفورماتورها و فیدرهای فشارمتوسط توزیع

مریم رمضانی حمید فلقی محمودرضا حقی‌فام

دانشگاه تربیت مدرس- بخش مهندسی برق
تهران- ایران

چکیده

یکی از موضوعات مهمی که توجه بسیاری از متخصصین صنعت برق را به خود جلب کرده است تلفات در شبکه‌های توزیع است. اولین گام در مطالعات مرتبط با بهینه‌سازی و کاهش تلفات در شبکه‌های توزیع، اندازه‌گیری و ارزیابی تلفات در آنهاست. تاکنون روش‌های مختلفی برای محاسبهٔ تلفات توان و انرژی شبکه‌های برق‌رسانی ارائه شده است که در اکثر آنها وجود و آگاهی از ضریب تلفات منطقه ضروری است. در این مقاله روشی جدید برای محاسبهٔ تلفات توان و انرژی در فیدرهای فشارمتوسط و ترانسفورماتورهای توزیع با بکار گیری اطلاعات حاصل از تخمین بار پست‌های توزیع ارائه شده است. با استفاده از این روش می‌توان انواع پارامترهای مرتبط با تلفات شبکهٔ فشارمتوسط را به دست آورد علاوه بر این می‌توان سهم تلفات اهمی فیدرهای فشارمتوسط و تلفات بی‌باری و بارداری ترانسفورماتورهای توزیع را از کل تلفات شبکهٔ فشارمتوسط تعیین نمود. الگوریتم پیشنهادی در منطقهٔ افسریه تهران اجرا شده که بخشی از نتایج آن در این مقاله ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: شبکهٔ توزیع فشارمتوسط، ترانسفورماتور، تلفات، ارزیابی، تخمین بار

1- مقدمه

تلفات در شبکه‌های برق‌رسانی همواره یکی از موضوعاتی بوده است که توجه بسیاری از متخصصین و کارشناسان صنعت برق را به خود جلب نموده است به طوریکه درصد قابل توجهی از تحقیقات و مطالعات به مبحث تلفات و راهکارهای کاهش آن مربوط می‌شود. شبکه‌های توزیع نیز به عنوان گسترده‌ترین بخش سیستم قدرت از این موضوع مستثنی نیستند. درصد قابل توجهی از تلافت سیستم قدرت به تلفات توان ناشی از مقاومت اهمی فیدرهای موجود در شبکهٔ توزیع مربوط می‌شود و کاهش آن همواره یکی از اهداف با اهمیت در

بهره‌برداری و برنامه‌ریزی این شبکه‌ها محسوب می‌شود. به جرأت می‌توان گفت اندازه‌گیری و ارزیابی تلفات اولین و مهمترین گام در مطالعات مرتبط با آن به شمار می‌رود چراکه بدون اندازه‌گیری درست و دقیق میزان تلفات نمی‌توان انتظار داشت که دیگر مطالعات و برنامه‌ریزی‌ها همچون خازن‌گذاری، بازآرایی و ... که با هدف کاهش تلفات اهمی در ارتباطند پاسخی مناسب، دقیق، و کاربردی را به دست دهند.

مقدار تلفات ناشی از مقاومت اهمی در شبکه‌های توزیع تابعی است از مقاطع هادی‌ها و جریان عبوری از خطوط و ترانسفورماتورها اما در عمل جریان الکتریکی دائماً در حال تغییر می‌باشد که میزان تغییرات آن تابعی است از ماهیت بار شبکه، لذا محاسبات تلفات انرژی در یک دوره‌ی بلند مدت بسیار پیچیده می‌باشد و برای دستیابی به پاسخ مناسب می‌بایست تغییرات جریان بار در آن دوره مشخص و قابل دسترس باشد اما در شبکه‌های توزیع اطلاعات مربوط به تغییرات بار در نقاط بار به دلیل فقدان سیستم اتوماسیون و عدم وجود تجهیزات اندازه‌گیری دردسترس نمی‌باشد. حتی در شبکه‌هایی نیز که دارای فن‌آوری اتوماسیون می‌باشند به علت تعداد زیاد نقاط بار امکان نصب سیستم‌های مونیتورینگ و لوازم اندازه‌گیری بر روی همهٔ آنها میسر نمی‌باشد.

تخمین بار در نقاط مصرف شبکه‌های توزیع فرآیندی است که در اغلب کشورها از آن برای آگاهی تغییرات مصرف در نقاط بار استفاده می‌شود [1]. در این مقاله روش جدیدی برای محاسبهٔ تلفات توان و انرژی در ترانسفورماتورهای توزیع و فیدرهای فشارمتوسط با استفاده از اطلاعات بار حاصل از مطالعات تخمین بار و بازسازی بار پست‌های توزیع ارائه شده است. با توجه به اینکه در تخمین بار سعی می‌شود تغییرات بار در پست‌های توزیع هر چه بیشتر به واقعیت نزدیک باشد، میتوان انتظار داشت نتایجی که از محاسبهٔ تلفات با استفاده از این اطلاعات به دست می‌آید نیز به میزان تلفات واقعی توان و انرژی در شبکه مورد مطالعه نزدیک باشد.

در ادامه ابتدا پس از مروری مختصر بر الگوریتم تخمین و بازسازی بار پست‌های توزیع که از مرجع [5] اخذ شده است، نحوهٔ محاسبهٔ تلفات در فیدرهای فشارمتوسط و ترانسفورماتورها با استفاده از اطلاعات تخمین بار آمده است. سپس نتایج حاصل از پیاده‌سازی و اجرای مطالعات در شبکهٔ فشارمتوسط منطقهٔ افسریهٔ تهران آورده شده است.

2- تخمین و بازسازی بار پست‌های توزیع

همانطور که عنوان شد، تخمین بار پست‌های توزیع یک مسأله‌ی پیچیده و با اهمیت است که در بهره‌برداری، طراحی، توسعه و نیز اتوماسیون شبکه‌های توزیع کاربرد فراوانی دارد [2]. تاکنون مقالات محدودی به بررسی تخمین بار شبکه‌های توزیع پرداخته‌اند و کاربردهای آنرا در طراحی و آنالیز شبکه‌های توزیع مورد بحث قرار داده‌اند [1-5]. در مرجع [5] روشی جدید برای تخمین بار پست‌های توزیع متناسب با ساختار و اطلاعات موجود در شبکه‌های توزیع ایران ارائه شده است و نتایج به بکارگیری آن در یک شبکهٔ توزیع واقعی آورده شده است. خلاصهٔ این الگوریتم دراین قسمت ارائه می‌شود.

آنچه از شبکهٔ توزیع در اختیار داریم، بار ابتدای فیدر 20 کیلوولت و اطلاعات بارگیری پست‌ها است که اغلب سالی یک بار در تابستان انجام می‌شود، همچنین در برخی از پست‌ها (مصارف مختلف) امکان نصب ثبات وجود دارد که اطلاعات جامع‌تری را از منحنی بار پست‌ها فراهم می‌کند. بر این اساس الگوریتم نهایی تخمین بار پست‌های توزیع به صورت زیر می‌باشد:

1- با توجه به نوع بار و الگوی مصرف پست‌های توزیع منطقه را به چند دسته تقسیم می‌کنیم.

2- از هر دسته چند پست را انتخاب کرده، در آن ثبات نصب می‌کنیم و منحنی های بار هر دسته را برای فصول پر بار و کم بار و روزهای عادی و تعطیل هفته به دست می‌آوریم. برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر بهتر است تعداد

منحنی‌های مربوط به هر گروه کاربری را افزایش دهیم، مثلاً به جای دو فصل پربار و کم‌بار، برای هر چهار فصل، منحنی ها را به دست آوریم. همچنین با توجه به این موضوع که رفتار بارهای صنعتی به ندرت باهم مشابه هستند، پیشنهاد می‌شود برای هر پستی که دارای مصرف صنعتی است، ثبات نصب شود و هر یک به عنوان دسته‌ای جداگانه منظور شود.

3- اطلاعات نوع کاربری و بارگیری شامل بار اندازه‌گیری شده، تاریخ و ساعت اندازه‌گیری را برای کلیهٔ پست‌ها ثبت می‌کنیم.

4- با توجه به اطلاعات مربوط به مرحله 3 ، منحنی بار هر پست تنظیم می‌گردد.

5- نام فیدر (F)، پست‌های فیدر، فصل و روز و ساعت (h) مورد نظر برای تخمین بار را دریافت کرده و بر مبنای آن منحنی بار نمونهٔ مناسب را برای هر یک از پست‌های فیدر مربوطه تعیین می‌کنیم.

7- با توجه به مقدار بار ابتدای فیدر که در پست فوق توزیع موجود است و منحنی بار پست‌های تعیین شده در مرحله قبل، بار هر یک از پست‌های توزیع در زمان مورد نظر از رابطه (1) محاسبه می‌شود:

$$I_{si,h} = I_{F,h}\left(\frac{I^{lc}_{si,h}}{\sum_{i=1}^{ns} I^{lc}_{si,h}}\right) \ , \ i=1, 2, 3, \dots , ns \qquad (1)$$

که:

$I_{si,h}$: جریان بار پست iام در ساعت h

$I_{F,h}$: جریان بار ابتدای فیدر در ساعت h

$I^{lc}_{si,h}$: جریان بار پست iام در ساعت h روی منحنی بار مورد نظر پست iام

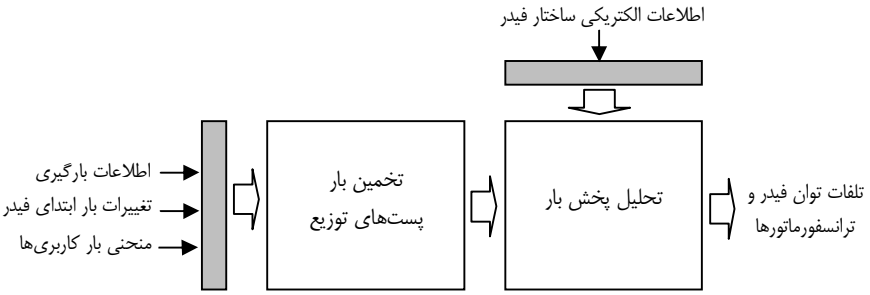
ns : تعداد پست‌های موجود روی فیدر

حال مقدار جریان بار کلیه پست‌های موجود روی فیدر در ساعت مورد نظر معلوم است.

لازم به توضیح است که در مرجع [5] علاوه بر ذکر جزئیات بطور کامل، نحوهٔ بکارگیری مجموعه‌های فازی برای منظور نمودن عدم قطعیت در اطلاعات در این الگوریتم تشریح شده است.

3- محاسبهٔ تلفات

با به‌کارگیری روش مطرح شده در قسمت قبل برای تخمین بار، اطلاعات تغییرات بار در پست‌های توزیع برای تمامی ساعات سال (8760 ساعت) حاصل می‌گردد. بنابراین با استفاده از اطلاعات بار ابتدای فیدر در هر ساعت بار پست‌های توزیع در آن ساعت تخمین زده می‌شود و با اجرای نرم‌افزار پخش‌بار می‌توان میزان تلفات توان ناشی از مقاومت اهمی در فیدرهای فشارمتوسط و ترانسفورماتورهای توزیع را در ساعت مورد نظر محاسبه نمود. با تکرار این فرآیند برای تمامی ساعات سال و محاسبهٔ تلفات توان در هر ساعت میزان و نحوهٔ تغییرات تلفات در طول سال (یا دورهٔ مورد مطالعه) حاصل می‌گردد. با توجه به اینکه تلفات انرژی در واقع سطح زیر منحنی تغییرات تلفات توان است با استفاده از این نتایج به راحتی می‌توان تلفات انرژی را در هر بازه از دورهٔ مورد مطالعه به دست آورد.



شکل 1: روندنمای الگوریتم پیشنهادی برای محاسبهٔ تلفات

اگرچه برای محاسبهٔ تلفات انرژی در سیستم قدرت استفاده از تلفات توان در پیک بار و ضریب تلفات بسیار مرسوم است اما باید به این نکته توجه داشت که ضریب تلفات در هر ناحیه به پارامترهای متعددی از جمله پیک بار، انرژی انتقالی و شکل منحنی مصرف وابسته است و به همین دلیل مقدار آن عمدتاً تابعی است از نوع مصرف که از منطقه‌ای به منطقهٔ دیگر متفاوت خواهد بود [6] برای محاسبهٔ ضریب تلفات مدل‌های مختلفی ارائه شده که در اکثر آنها این ضریب به صورت تابعی از ضریب بار تعریف شده است اما با توجه به وابستگی ضریب بار به منحنی مصرف و نزدیکی به مصرف‌کنندگان در شبکه‌های توزیع برای ارزیابی و محاسبهٔ ضریب بار لازم است مطالعات جامع و کاملی انجام شود. علاوه بر این با توجه به ماهیت بار میزان ضریب بار در هر منطقه‌ای متفاوت بوده وحتی از یک فیدر به فیدر دیگر نیز فرق خواهد داشت و مطالعات مربوطه می‌بایست در هر منطقه‌ای جداگانه انجام شود که مسلماً اجرای آن در شرکت‌های توزیع مستلزم صرف هزینه و وقت زیادی است.

ملاحظه می‌شود که روش پیشنهادی در این مقاله و استفاده از اطلاعات حاصل از تخمین و بازسازی بار پست‌های توزیع که با توجه به منابع اطلاعاتی قابل دسترس در شبکه‌های توزیع ایران به راحتی قابل حصول است، می‌توان تلفات توان و انرژی در فیدرهای فشارمتوسط و نیز ترانسفورماتورهای توزیع را به راحتی و با دقت مناسبی محاسبه نمود و از آن در انواع پروسه‌های بهینه‌سازی در توزیع مانند جایابی خازن، بازآرایی و ... استفاده نمود. لازم به توضیح است که در خصوص ترانسفورماتورهای توزیع با استفاده از روش پیشنهادی می‌توان تلفات بارداری را که به تغییرات بار وابسته است به راحتی محاسبه نمود. تلفات بی باری (آهنی) ترانسفورماتورها که به تغییرات بار وابسته نبوده و دارای مقداری ثابتی است، از طریق مدار معادل ترانسفورماتورها به دست می‌آید. بنابراین ملاحظه می‌گردد که با محاسبهٔ تلفات بارداری از طریق روش پیشنهادی و مقایسهٔ آن با تلفات بی‌باری ترانسفورماتورها که به راحتی از اطلاعات مدارمعادل قابل استخراج است، علاوه بر دست‌یابی به نتایج ارزشمندی در خصوص تلفات ترانسفورماتورها، می‌توان راندمان آنها را نیز در طول سال محاسبه نمود.

4- مطالعات عددی و نتایج

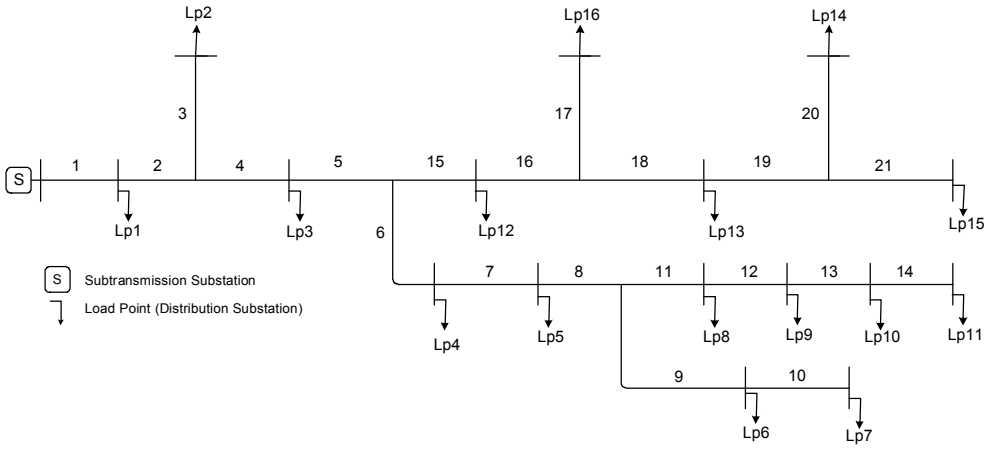
روش پیشنهادی روی شبکهٔ توزیع فشارمتوسط افسریه در قالب بخشی از مطالعات طرح جامع این شبکه پیاده‌سازی و اجرا شده است. این شبکه دارای 24 فیدر فشارمتوسط است که اطلاعات ساختارشبکه و بار پست‌های توزیع و نیز نتایج کامل اجرای محاسبا ت تلفات آن در مراجع [7 و 8] آورده شده است. در این قسمت خلاصه‌ای از نتایج محاسبات تلفات در فیدر فشارمتوسط «کوکب» از پست فوق توزیع «افسریه» در قالب گراف‌ها و جدول‌های مربوطه ارائه می‌گردد.

دیاگرام تک خطی این فیدر در شکل (2) آمده است. این فیدر 20 کیلوولت 5/352 کیلـومتر طـول دارد و اطلاعات ساختار آن در مرجع [9] به طور کامل داده شده است. مطالعات ارزیابی تلفات در این فیـدر بـرای سـال 1381 انجام شده است و تغییرات بار ابتدای فیدر مزبور در این سال از پست فوق توزیـع «افسـریه» اخـذ شـده است. سپس با انجام محاسبات تخمین بار پست‌های توزیع با استفاده از روش مطرح شده در مقاله [5] برای کـل سال اطلاعات بار پست‌های توزیع حاصل گردید که نتایج کامل در مرجع [10] آورده شده است. سپس بـا انجـام آنالیز پخش‌بار در هر ساعت میزان تلفات ساعتی مشخص شد. در شکل (3) نتایج متوسط تغییرات تلفـات اهمـی این فیدر طی هفته‌های سال نشان داده شده است. تغییرات ماهیانـهٔ متوسـط تلفـات بـارداری ترانسـفورماتورهای توزیع نیز در شکل (4) نشان داده شده است. با انجام مطالعات فوق، تفکیک تلفات اهمی فیدرها و تلفات بـارداری ترانسفورماتورهای توزیع نیز میسر است، از طرفی با توجه به اطلاعات ساختار ترانسفورماتورهای توزیـع مـی‌تـوان تلفات بی‌باری این ترانسفورماتورها را نیز محاسبه نمود. بنابراین به راحتی می‌توان سهم هر یک از اجـزای تلفـات اهمی فیدرها، تلفات بارداری و بی‌باری ترانسفورماتورها از کل تلفات را به دست آورد که این نتـایج در شـکل (5) برای فیدر مورد مطالعه ارائه شده است.

با توجه به اینکه منحنی تغییرات در طول سال قابل دسترس است، انواع پارامترهای تلفات را نیز مـی‌تـوان محاسبه نمود که در جدول (2) برخی از این پارامترها برای فیدر مورد مطالعه آورده شده است. ملاحظه مـی‌گـردد که سهم تلفات بی‌باری ترانسفورماتورها برابر 64٪ از کل تلفات است که این امر لزوم تعیین ظرفیت‌های متناسب با بار را در پست‌های توزیع یادآور می‌شود چراکه استفاده از ترانسـفورماتورهای بـا ظرفیـت بـالاتر از حـد نیـاز در پست‌های توزیع به شدت باعث افزایش تلفات بی‌باری می‌گردد.

5- نتیجه‌گیری

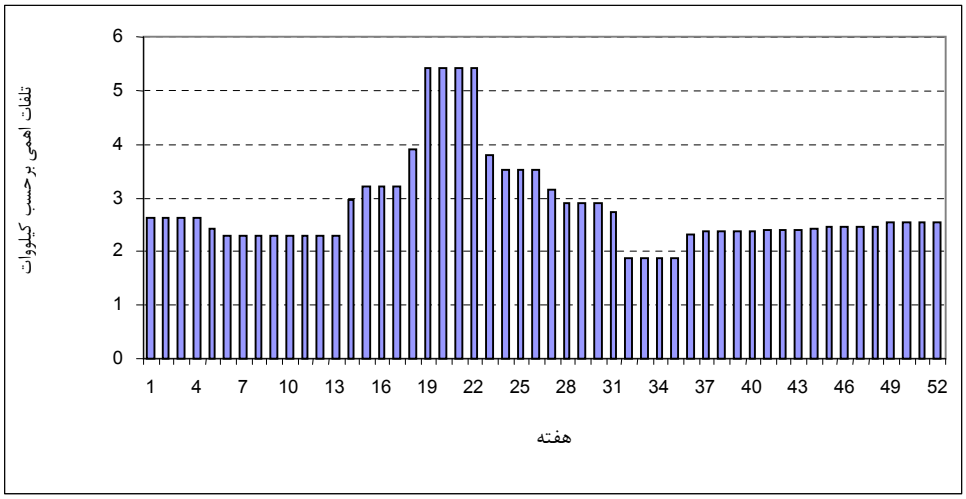
با توجه به اهمیت فراوان تلفات در برنامه‌ریزی، طراحی و بهره‌برداری از شبکه‌های توزیع به‌کارگیری روشی مناسب و دقیق برای محاسبهٔ و ارزیابی تلفات در این شبکه‌ها امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است امـا پیچیـدگی، نزدیکی به مصرف‌کنندگان و گستردگی سیستم‌های توزیع باعث شده اسـت کـه نتـوان از روش‌هـای مرسـوم در مطالعات شبکه‌های انتقال مبتنی بر ضریب تلفات برای محاسبهٔ تلفات در سیستم‌های توزیع استفاده نمود. در این مقاله با استفاده از اطلاعات بار حاصل از پروسهٔ تخمین بار پست‌های توزیع که به راحتی قابل اجـرا اسـت روشـی برای ارزیابی تلفات در فیدرهای فشار متوسط و ترانسفورماتورهای توزیع ارائه شده است. از نتایج حاصل این روش می‌توان در انواع مطالعات بهینه‌سازی و کاهش تلفات در شبکه‌های توزیع انرژی الکتریکی اسـتفاده نمـود. نتـایج مطالعات عددی در شبکه‌های فشارمتوسط واقعی نشان می‌دهد که با به‌کارگیری روش پیشـنهادی مـی‌تـوان بـه پارامترهای ارزنده‌ای در خصوص تلفات دست یافت و نیز سهم فیـدرها و ترانسـفورماتورهای توزیـع را در میـزان تلفات تعیین نمود.



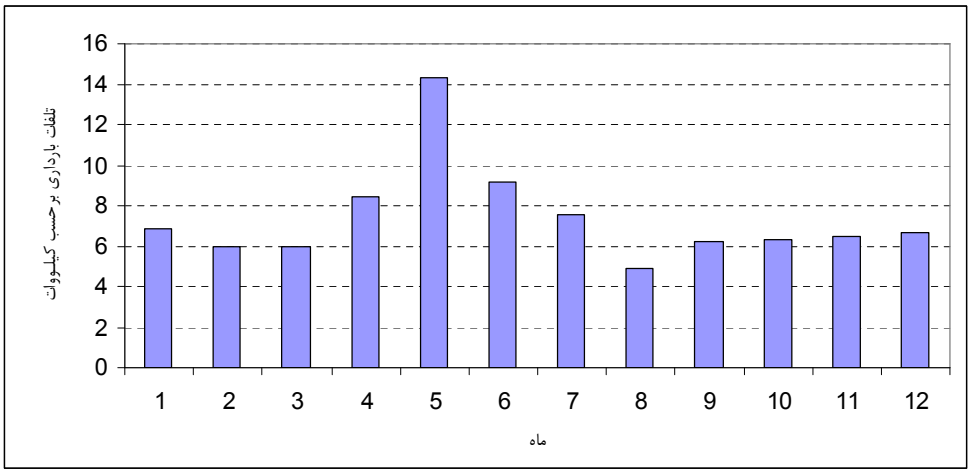
شکل 2: دیاگرام تک‌خطی فیدر کوکب

جدول 1: اطلاعات بارگیری و کاربری پست‌های توزیع فیدر مورد مطالعه

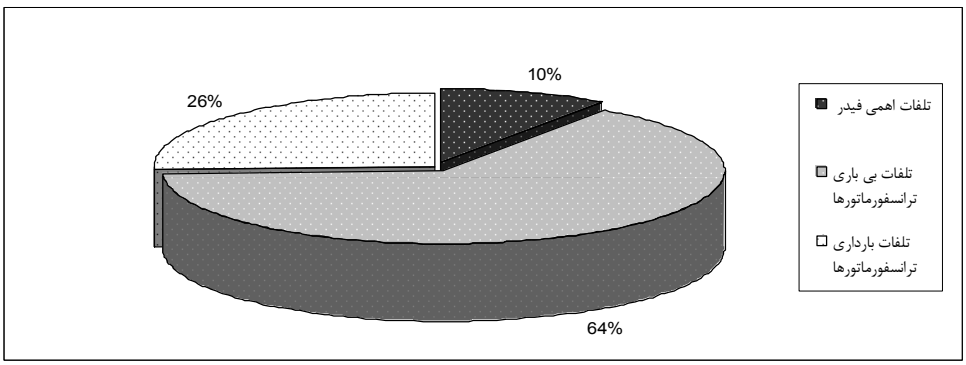
نقطه بار	ظرفیت [KVA]	بار [kW]	ساعت بارگیری	کاربری
1	500	90	17	خانگی
2	1250	100/1	18	خانگی
3	1000	18/7	15	خانگی تجاری
4	500	90	19	تجاری
5	1600	269/5	17	خانگی تجاری
6	400	50/6	18	خانگی
7	500	87/6	19	خانگی
8	630	90	18	اداری و عمومی
9	500	85	17	خانگی تجاری
10	1600	200	20	خانگی
11	630	51/04	19	خانگی
12	630	26/4	16	خانگی تجاری
13	50	16/5	18	خانگی تجاری
14	800	374	21	اداری و عمومی
15	500	90	21	تجاری
16	100	45/1	17	صنعتی
مجموع	11190	1684/54	–	–



شکل 3: تغییرات متوسط تلفات توان ناشی از مقاومت اهمی در فیدر کوکب طی هفته‌های سال



شکل 4: تغییرات متوسط تلفات بارداری ترانسفورماتورهای فیدر کوکب طی ماه‌های سال



شکل 5: سهم هر یک از اجزای تلفات نسبت به کل تلفات فیدر کوکب

جدول 2: پارامترهای مرتبط با تلفات در فیدر کوکب

پارامتر	مقدار
حداکثر سالیانهٔ مقدار کل تلفات توان	38/23 کیلووات در ماه مرداد
حداقل سالیانهٔ مقدار کل تلفات توان	25/29 کیلووات در ماه آبان
متوسط سالیانهٔ مقدار کل تلفات توان	28/74 کیلووات
متوسط سالیانهٔ مقدار کل تلفات فیدر به ازای هر کیلومتر	5/37 کیلووات
متوسط سالیانهٔ مقدار تلفات مسی در فیدر و ترانسفورماتورها	10/23 کیلووات
متوسط سالیانهٔ مقدار تلفات آهنی در فیدر و ترانسفورماتورها	18/51 کیلووات
ضریب تلفات فیدر	0/75

6- مراجع

[1] Jie Wan, "Load estimation in radial electric disribution networks using limited measurments", IEEE Intrrnational symposium on circuits and systems, pp. 517-520, May 23-31, 2000.

[2] Warg Tianhua, "A novel load estimation method in distribution network", International conference on Power System Technology, Proceeding, Vol. 1, pp. 657-571, 1998.

[3] D. M. Falcao, "Load estimation in radial distribution systems using neural networks and fuzzy set techniqes", Power Engineering Society Summer Meeting 2001, Vol. 2, pp. 1002-1006, 2001.

[4] M. R. Irving, "Robust algorithm for load estimation in distribution networks", IEE proc-Gener, Transm, Distrib, Vol. 145, No. 5, pp. 499-504, 1998.

[5] مریم رمضانی، حمید فلقی، محمودرضا حقی‌فام، «تخمین بار پست‌های توزیع با استفاده از اطلاعات محدود مبتنی بر استنتاج فازی»، هفدهمین کنفرانس بین‌المللی برق، 1381.

[6] قدرت اله حیدری، بررسی تلفات الکتریکی در شبکهٔ برق‌رسانی، انتشارات تابش برق، 1378.

[7] «ارزیابی تلفات و راندمان روزانه فصلی و سالینهٔ ترانسفورماتورهای 20 کیلوولت منطقه»، گزارش شمارهٔ 4، پروژهٔ طرح جامع شبکهٔ توزیع فشارمتوسط منطقه برق افسریه تا سال 1386، شرکت توزیع نیروی برق جنوب‌شرق تهران، مشاور دانشگاه تربیت مدرس.

[8] «تعیین پارامترهای مربوط به تلفات در فیدرهای 20 کیلوولت منطقه»، گزارش شمارهٔ 4-9، پروژهٔ طرح جامع شبکهٔ توزیع فشارمتوسط منطقه برق افسریه تا سال 1386، شرکت توزیع نیروی برق جنوب‌شرق تهران، مشاور دانشگاه تربیت مدرس.

[9] «ارزیابی تأثیر رشد بار در پنج سال آینده در تلفات توان فیدرهای فشارمتوسط»، گزارش شمارهٔ 5-3، پروژهٔ طرح جامع شبکهٔ توزیع فشارمتوسط منطقه برق افسریه تا سال 1386، شرکت توزیع نیروی برق جنوب‌شرق تهران، مشاور دانشگاه تربیت مدرس.

[10] «تخمین و بازسازی اطلاعات بار پست‌های 20 کیلوولت»، گزارش شمارهٔ 2-5، پروژهٔ طرح جامع شبکهٔ توزیع فشارمتوسط منطقه برق افسریه تا سال 1386، شرکت توزیع نیروی برق جنوب‌شرق تهران، مشاور دانشگاه تربیت مدرس.