

تعیین ضرایب معادلات تجربی ضریب تلفات

آرمان امانی^۱، جمال مشتاق^۲، مهدی بیات مختاری^۳

Determination Coefficients of Empirical loss Factor Equations

Arman Amani, Jamal Moshtagh, Mehdi Bayat Mokhtari

Email: jamal_moshtagh@yahoo.com

چکیده

در شبکه‌های توزیع تلفات را می‌توان به تلفات فنی و غیر فنی تقسیم نمود. با بدست آوردن تلفات فنی با یک روش منطقی و کم کردن آن از کل تلفات سیستم می‌توان تلفات غیر فنی را بدست آورد. یک روش معمول برای بدست آوردن تلفات فنی در شبکه‌های برقی استفاده از ضرایب بار و تلفات است. از آن جا که ضریب تلفات فقط از روش‌های آزمایشگاهی بدست می‌آید در نتیجه چندین رابطه برای ضریب تلفات بدست می‌آید. در این مقاله با نمونه‌گیری از بخشی از شبکه توزیع شهر سنندج، ضرایب رابطه‌های تجربی که ضریب تلفات را به ضریب بار ربط می‌دهد محاسبه شده و سپس خطای هر رابطه را بدست آورده و رابطه‌ای که دارای کمترین خطا باشد، به عنوان رابطه نهایی در نظر گرفته می‌شود. مدل پیشنهادی از دقت بالاتری نسبت به دیگر روابط موجود برخوردار است.

کلمات کلیدی

بار، تلفات، ضریب بار، ضریب تلفات، معادله تجربی.

۱. مقدمه

در ایران شرکت‌های توزیع برق از افزایش تلفات فنی و غیر فنی در شبکه خود مطلع‌اند. نتیجتاً شرکت‌های توزیع نیروی برق به دنبال ابزارهای دقیق‌تری برای محاسبه تلفات هستند. تخمین تلفات با استفاده از مدل‌های محاسباتی دقیق‌تر نقش بسزایی در انتخاب راه حل بهینه برای کاهش تلفات دارد. تلفات فنی در یک شبکه را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد:

- تلفات ثابت که ناشی از تلفات مغناطیسی هسته ترانسفورماتورهاست.
- تلفات RI^2 که بستگی به بار دارد.

یکی از راه‌های تخمین این نوع تلفات اجرای الگوریتم پخش بار است. برای اجرای این الگوریتم به امیدانس خط، طول خط و منحنی‌های بار در هر نقطه مصرف نیاز است. دسترسی به این اطلاعات در زمان برنامه‌ریزی یا مراحل اولیه سیستم توزیع مقدور نیست. یکی از راه‌ها این است که تلفات را به بیش‌ترین مقدار ممکن که از بعضی از روش‌های تخمین تلفات بدست می‌آید ربط داد، سپس با استفاده از ضریب تلفات انرژی تلف شده را تخمین زد. با داشتن تعداد

^۱ - گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، واحد ساوه، دانشگاه آزاد اسلامی، ساوه، ایران.

^۲ - استادیار دانشگاه کردستان، گروه مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

^۳ - استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه، گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، واحد ساوه، دانشگاه آزاد اسلامی، ساوه، ایران.

ترانسفورماتورها و مشخص بودن خصوصیاتشان می‌توان تلفات ثابت را بدست آورد. تعیین تلفات RI^2 کمی پیچیده‌تر است زیرا به دلیل این که در هر نقطه از شبکه مقاومت و جریان متفاوت هستند. با داشتن تلفات ثابت و RI^2 و کم کردن این دو از کل تلفات سیستم می‌توان تلفات ناشی از برق دزدی و خطای اندازه‌گیری و سایر موارد را بدست آورد.

یک روش معمول برای تعیین تلفات فنی استفاده از ضریب بار (LF) و ضریب تلفات (LSF) است. بدست آوردن تلفات با استفاده از ضریب تلفات به طور مفصل در مرجع [1] توضیح داده شده است. برای محاسبه ضریب بار به اندازه‌گیری مصرف و انرژی نیاز است. برای تعیین ضریب تلفات باید انرژی تلف شده را اندازه‌گیری کرد. از آن جا که در حالت معمول نمی‌توان این تلفات را اندازه‌گیری کرد، لذا باید رابطه‌ای بین این ضرایب بدست آورد.

▪ ضریب بار (LF): نسبت بین بار میانگین ($D_{average}$) و بیش‌ترین بار (D_{max}) در طول یک بازه زمانی [2]، [3].

$$LF = \frac{D_{average}}{D_{max}} = \frac{1}{D_{max}} \frac{\int_0^T D(t) dt}{T} \quad (1)$$

که $\int_0^T D(t) dt$ بار مصرفی آنی است که نشان دهنده انرژی است که سیستم را در طول دوره زمانی T تأمین می‌کند بنابراین:

$$LF = \frac{E}{D_{max} T} \quad (2)$$

معادله (۲) بیش‌ترین و رایج‌ترین فرم برای تعیین ضریب بار است، زیرا انرژی (E) و حداکثر بار مصرفی (D_{max}) از طریق اندازه‌گیری در پست‌ها بدست می‌آیند. ضریب بار می‌تواند برای دوره‌های روزانه، هفتگی، ماهیانه، فصلی، سالیانه یا هر دوره مشخص دیگری تعریف شود. البته باید به این نکته مهم توجه شود برحسب این که ضریب بار برای چه دوره‌ای محاسبه می‌شود، انرژی مصرفی و پیک مصرف نیز باید مربوط به همان دوره باشد. با توجه به رابطه فوق موقعی ضریب بار برابر با یک می‌شود که در تمام ساعات روز بار مصرفی معادل پیک بار باشد. اما به دلیل این که بار مصرفی ثابت نیست، ضریب بار همواره کوچکتر از یک می‌باشد.

▪ ضریب تلفات (LSF): نسبت بین میانگین تلفات ($L_{average}$) و تلفات در طول پیک بار (L_{max})، در طول یک دوره زمانی [3].

$$LSF = \frac{L_{average}}{L_{max}} = \frac{1}{L_{max}} \frac{\int_0^T L(t) dt}{T} \quad (3)$$

که $\int_0^T L(t) dt$ تلفات بار مصرفی لحظه‌ای است که انرژی تلف شده سیستم (e) در دوره زمانی T است.

$$LSF = \frac{e}{L_{max} T} \quad (4)$$

از آن جا که نمی‌توان انرژی تلف شده را مستقیماً از وسایل اندازه‌گیری بدست آورد، لذا رابطه (۴) رابطه مناسبی برای تخمین تلفات نیست، در نتیجه برای تخمین آن باید از تجربیات قبلی در مورد ضریب تلفات کمک گرفت. با فرض ثابت بودن ضریب قدرت و پریونیت کردن مصرف و انرژی بر اساس مقادیر ماکزیم‌هایشان رابطه زیر بین تلفات و مصرف بدست

می آید [2]:

$$L(t) \cong [D(t)]^2 \quad (5)$$

بنابراین رابطه ضریب تلفات به صورت زیر در می آید:

$$LF = \frac{1}{D_{\max}} \frac{\int_0^T [D(t)dt]^2 dt}{T} \quad (6)$$

اگر بتوان بار را به صورت ساعتی اندازه گیری کرد می توان روابط (۲) و (۴) را با روابط (۷) و (۸) جایگزین کرد:

$$LF = \frac{\sum_{i=1}^T [D(i)]}{T(D_{\max})} \quad (7)$$

$$LSF = \frac{\sum_{i=1}^T [D(i)]^2}{T(D_{\max})^2} \quad (8)$$

طبق رابطه شماره (۳)، با فرض معلوم بودن ضریب تلفات و ضرب کردن آن در تلفات در بار ماکزیمم، مقدار تلفات میانگین در هر فیدر محاسبه می شود. برای محاسبه کل انرژی تلف شده در هر فیدر باید مقدار بدست آمده را در ساعات دوره مطالعه ضرب کرد.

ضریب تلفات نسبت بین تلفات میانگین به تلفات بار ماکزیمم در طول یک بازه زمانی است [3]. یک تفسیر مشابه دیگر از ضریب تلفات، ساعات معادل است که از ضرب ضریب تلفات در طول دوره تعیین می شود [4]. معمولاً نمی توان از روی ضریب بار، ضریب تلفات را بدست آورد [3]؛ پس از ارتباط این دو ضریب می توان استفاده کرد. ارتباط بین این ضرایب داری تنوع و گوناگونی بسیاری است که می توان به حالات خطی، درجه دوم، چند جمله ای و نمایی اشاره کرد [5] و [6].

در این مقاله از فرمول های تجربی زیر استفاده شده است:

$$LSF = aLF^2 + (1-a)LF \quad (9)$$

$$LSF = kLF^2 \quad (10)$$

$$LSF = LF^x \quad (11)$$

معادلات فوق به معادلات تجربی موسوم اند که ضریب تلفات را به ضریب بار ربط می دهند. می توان معادلات بالا را با توجه به خصوصیات بار ناحیه (منطقه) مورد مطالعه گسترش داد.

مؤسسه تحقیقات انرژی الکتریکی (EPRI) در راهنماهای ارزیابی فنی خود (TAGTM) [6]، دو فرمول زیر را که توسط اکثر مهندسان استفاده می شود را ارائه می دهد:

$$LSF = 0.3(LF) + 0.7(LF)^2 \quad (12)$$

$$LSF = LF^{1.6} \quad (13)$$

بیشترین فرم معادله ای که در مراجع مختلفی به کار برده شده است معادله شماره (۹) است. نویسندگان مراجع [3]، [7] - [10] از این فرمول استفاده کرده اند. مرجع [5] مقدار ۰,۳ را برای ضریب این معادله تعیین کرده است. مرجع [11] مقدار ثابت ۰,۰۸ را محاسبه کرده است، اما این مقدار برای سیستم های بزرگ و بارهای بسیار بزرگ (بیشتر از ۱۵۰۰۰



مگاوات) است، این در حالی است که در شبکه‌های توزیع با سطح ولتاژ پایین‌تر این مقدار صحیح نمی‌باشد. مرجع شماره [7] لیستی از مقادیر زیر را برای مقدار ثابت a معادله ۱۳ ارائه داده است:

- در بریتانیا: ۰,۲؛
- در ایالات متحده: ۰,۳ برای مناطق شهری و برای مناطق روستایی ۰,۱۶؛
- در استرالیا: ۰,۲.

مقدار ۱,۹۱۲ برای ثابت توان a موجود در معادله (۱۱) توسط مرجع [11] پیشنهاد داده شده است.

نویسندگان [10] پارامتر تصحیح منحنی بار را برای تغییرات بار در نظر گرفته‌اند و همچنین از مصرف میانگین به عنوان اطلاعات اصلی برای تخمین تلفات استفاده کرده‌اند. مراجع [12] و [13] تلفات فنی را از روی اطلاعات مصرف انرژی و واریانس محاسبه کرده‌اند.

هدف این مقاله محاسبه تلفات RI^2 در یک شبکه است. این نوع تلفات را می‌توان در طول هر ساعت با تعیین میانگین بار روی هر عنصر محاسبه کرد، و سپس یک محاسبه جداگانه برای تلفات برای هر ساعت در طول زمان مطالعه انجام داد. به دلیل پیچیدگی‌هایی که این روش دارد یک روش ساده‌تر برای تعیین انرژی تلف شده در سیستم استفاده از ضرایب بار و تلفات است. برای این منظور باید ارتباط بین ضرایب بار و تلفات تعیین شود به بیان دیگر معادلات تجربی و ضرایب این نوع معادلات طوری تعیین شوند که هر کاربری بتواند برای سیستم مورد مطالعه خود این روش را پیاده‌سازی کند.

در این مقاله ضرایب ثابت معادله‌های تجربی برای یک شبکه توزیع واقعی محاسبه شده است. در ابتدا با نمونه‌گیری از یک شبکه توزیع برق واقعی به مدت دو ماه که شامل یک ماه معتدل و یک ماه گرم می‌شود مطالعه شروع می‌شود. بارهای مورد مطالعه در این مقاله از دو نوع خانگی و تجاری هستند. منحنی‌های بار هر نوع مصرف‌کننده را ترسیم کرده و سپس ضرایب بار و تلفات برای ماه‌های دوره مطالعه محاسبه شده‌اند.

در مرحله بعد ضرایب رابطه‌های مختلف تجربی که ضرایب تلفات را بر حسب ضریب بار (روابط ۹) تا (۱۱)) بیان می‌کنند، برای حالات مختلف تعیین می‌شوند. در ادامه خطای هر رابطه نسبت به ضریب تلفات واقعی که قبلاً محاسبه شده است را بدست آورده و هر رابطه که دارای کمترین خطا باشد، به عنوان رابطه نهایی در نظر گرفته می‌شود. برای بررسی دقت هر مدل آماری که در این مقاله ارائه می‌شود از پارامتر محک ضریب همبستگی استفاده می‌شود. رابطه مربوط به این پارامتر محک به صورت زیر است [14]:

$$R^2 = \frac{\sum N(x_m)^2 - \sum N(x_m - x_p)^2}{\sum N(x_m)^2} \quad (14)$$

که در آن N تعداد مشاهدات، x_p مقدار پیش‌بینی شده و x_m مقدار اندازه‌گیری شده است. هر چه این پارامتر به مقدار یک نزدیکتر باشد نشان دهنده‌ی خطای کمتر می‌باشد.

۲. روش پیشنهادی

۲.۱. روش نمونه‌گیری

برای محاسبه ضرایب بار و تلفات و همچنین ضرایب معادلات تجربی ضریب تلفات نیاز به مشخصات بار داریم. نمونه‌گیری به وسیله دستگاه‌های ثبت‌کننده مشخصات بار صورت می‌گیرد، به طوری که این دستگاه‌ها قادرند در یک محدوده زمانی که توسط اپراتور قابل تنظیم است از مشخصات بار نمونه‌برداری کنند، بدین منظور این دستگاه‌ها طوری

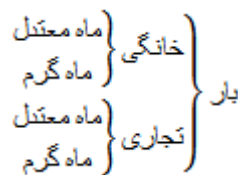


تنظیم شده‌اند که هر یک ساعت از اطلاعات بار مانند ولتاژ، جریان، توان اکتیو، توان راکتیو و... نمونه‌برداری کرده و نتایج را ذخیره کنند.

نمونه‌برداری در دو ماه معتدل، ۲۵ فروردین تا ۲۵ اردیبهشت (۱۴ آوریل تا ۱۳ می) و گرم، ۲۵ تیر تا ۲۵ مرداد (۱۶ جولای تا ۱۴ اگوست) متعلق به سال ۱۳۹۳ (۲۰۱۴) انجام شده است. در انتهای زمان نمونه‌برداری امکان انتقال این اطلاعات به رایانه وجود دارد.

۲,۲. جامعه آماری

جامعه آماری متشکل از بارهای واقعی موجود در شهر سنجند است. بارهای مورد نظر از ۱۰ پست (۲۰KV/۴۰۰V) تغذیه می‌شوند. این تعداد پست از ۸ پست که بار خانگی و ۲ پست که بار تجاری را تأمین می‌کنند تشکیل شده است. پست‌های ۳ تا ۱۰ بارهای خانگی و پست‌های ۱ و ۲ بارهای تجاری را تغذیه و تأمین می‌کنند. این بارها طوری انتخاب شده‌اند که سه قشر از جامعه شامل اقشار کم درآمد (پست شماره ۶، ۹ و ۱۰) و متوسط (پست‌های شماره ۳، ۴) و مرفه (پست شماره ۵، ۷ و ۸) را شامل بشوند. در کل جامعه آماری را می‌توان به صورت زیر تقسیم‌بندی کرد:

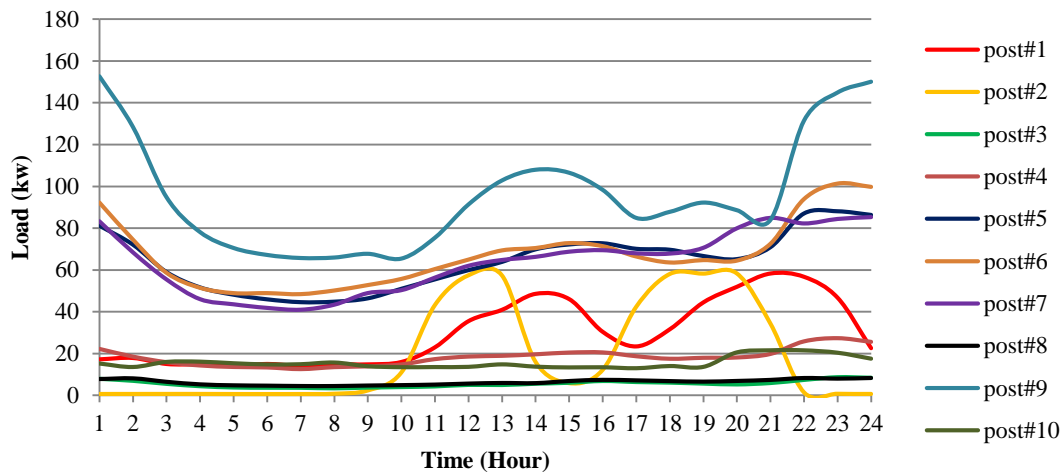


شکل ۱: تقسیم‌بندی بار

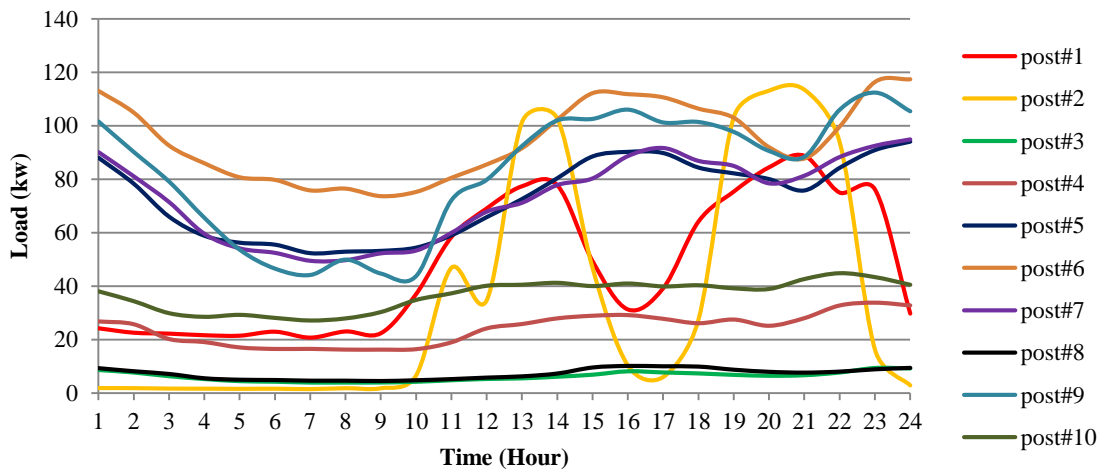
برای یک پست نمونه در مدت یک ماه معتدل تعداد ۷۲۰ داده موجود می‌باشد، و به همین منوال برای فصل گرم نیز همین تعداد داده بدست می‌آید، که در نهایت برای کل جامعه آماری تعداد ۱۴۴۰۰ داده بدست خواهد آمد.

۳,۲. محاسبه ضرایب بار و تلفات:

برای محاسبه ضرایب بار و تلفات از اطلاعات بار ۲۴ ساعته (منحنی بار ۲۴ ساعت) و فرمول‌های (۷) و (۸) استفاده شده است (شکل‌های ۲ و ۳) [3]. ضرایب بار و تلفات برای ماه‌های دوره مطالعه محاسبه شده‌اند. برای استفاده از این دو فرمول به اطلاعات بار ساعتی و ماکزیمم بار نیاز است. منحنی‌های بار ساعتی را می‌توان در شکل‌های (۲ و ۳) مشاهده نمود. همچنین ماکزیمم بار پست‌های مختلف در جدول (۱) نشان داده شده است.



شکل ۲: منحنی بارهای پست‌های مورد مطالعه در ماه معتدل



شکل ۳: منحنی بارهای پست‌های مورد مطالعه در ماه گرم

جدول ۱: ماکزیمم بار ماهانه پست‌های مختلف در طول دوره مطالعه

شماره پست	ماکزیمم بار (KW) (ماه معتدل)	ماکزیمم بار (KW) (ماه گرم)
1	71.204	109.140
2	64.220	128.580
3	12.969	14.955
4	33.106	46.723
5	105.880	110.610
6	119.680	137.310
7	96.411	130.420
8	10.478	13.877
9	186.300	152.320
10	34.227	52.438

برای رسم شکل‌های ۲ و ۳، ابتدا بازه زمانی ماهیانه به یک روز تبدیل می‌شود، یعنی به طور مثال برای ساعت ۱ بعد از ظهر از تمام مقادیر برای ساعت مذکور موجود در دوره‌ی مطالعه میانگین گرفته شده است، و به همین ترتیب برای تمام



ساعات یک ماه این کار انجام شده است، پس ۷۲۰ ساعت برای یک ماه ۳۰ روزه، تبدیل به ۲۴ ساعت می‌شود. ضرایب بار و تلفات برای ماه‌های دوره مطالعه بدست آورده شده‌اند، که در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲: ضرایب بار و تلفات ماهیانه پست‌های مختلف در طول دوره مطالعه

شماره پست	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ضریب بار (ماه معتدل)	0.418	0.301	0.472	0.552	0.607	0.563	0.633	0.599	0.515	0.454
ضریب بار (ماه گرم)	0.433	0.272	0.421	0.517	0.661	0.691	0.561	0.520	0.541	0.698
ضریب تلفات (ماه معتدل)	0.233	0.231	0.203	0.324	0.390	0.338	0.466	0.386	0.289	0.219
ضریب تلفات (ماه گرم)	0.253	0.199	0.200	0.291	0.458	0.493	0.336	0.299	0.326	0.504

۳. تعیین ضرایب معادلات تجربی

در این مقاله ضرایب رابطه‌های تجربی (روابط ۹) تا (۱۱)) بدست آورده می‌شود. داده‌های مورد نیاز برای تعیین این ضرایب، ضرایب بار و تلفات ماهیانه محاسبه شده توسط فرمول‌های (۷) و (۸) هستند. این ضرایب ثابت برای دو نوع بار خانگی و تجاری و به تفکیک ماه‌های معتدل و گرم و در حالت کلی تعیین شده‌اند.

یک نمونه بار واقعی (اطلاعات بار پست شماره ۵) به عنوان نمونه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد؛ ابتدا ضرایب بار و تلفات را برای ماه معتدل با استفاده از فرمول‌های (۷) و (۸) محاسبه می‌شوند. (جدول ۲)

$$LF = 0.607020 \quad (15)$$

$$LSF = 0.3944077 \quad (16)$$

سپس با جایگذاری این مقادیر در روابط (۹، ۱۱ و ۱۰) ضرایب ثابت این دو رابطه محاسبه می‌شوند و با جاگذاری این ضرایب ثابت در روابط مربوطه معادلات زیر حاصل می‌شوند:

$$LSF = 0.883408LF^2 + 0.116592LF \quad (17)$$

$$LSF = 1.052657LF^2 \quad (18)$$

$$LSF = LF^{1.86375} \quad (19)$$

با جایگذاری ضریب بار (رابطه ۱۵)) در روابط (۱۷) تا (۱۹) به ترتیب ضرایب تلفات زیر بدست خواهند آمد:

$$LSF = 0.396286 \quad (20)$$

$$LSF = 0.387876 \quad (21)$$

$$LSF = 0.394407 \quad (22)$$

این مقادیر نسبت به ضریب تلفات موجود در رابطه (۱۶) دارای خطایی هستند که برای تعیین دقت روابط (۱۷) تا (۱۹) از ضریب همبستگی (رابطه ۱۴)) استفاده می‌شود که به ترتیب برابر می‌شوند با:

$$R^2 = 0.999716 \quad (23)$$

$$R^2 = 0.999999 \quad (24)$$

$$R^2 = 0.999943 \quad (25)$$



همانند روش مذکور که در مورد پست شماره ۵ انجام شد ضرایب a ، k و x برای پست‌های مورد مطالعه در طول دو ماه معتدل و گرم یاد شده محاسبه می‌شوند (جدول ۳)، سپس با استفاده از تکنیک میانگین‌گیری می‌توان این ضرایب را برای کل دوره مطالعه در حالات مختلف بدست آورد (جدول ۴).

جدول ۳: ضرایب ثابت معادلات تجربی در دو ماه مورد مطالعه

شماره پست	ضریب a (ماه معتدل)	ضریب k (ماه معتدل)	ضریب x (ماه معتدل)	ضریب a (ماه گرم)	ضریب k (ماه گرم)	ضریب x (ماه گرم)
1	0.759738	1.334359	1.6692	0.73457	1.347061	1.643709
2	0.333493	2.544475	1.221173	0.367527	2.692408	1.239172
3	0.91519	1.113667	1.873382	0.908761	1.125363	1.863395
4	0.923462	1.062069	1.898597	0.906695	1.087116	1.87333
5	0.910948	1.057652	1.887716	0.904402	1.049119	1.884352
6	0.917445	1.063976	1.891921	0.928622	1.031943	1.914984
7	0.882967	1.059505	1.859391	0.917165	1.064699	1.891387
8	0.888694	1.074426	1.859797	0.885878	1.105495	1.846791
9	0.907221	1.087311	1.873789	0.866198	1.113464	1.824988
10	0.95054	1.059384	1.926862	0.920768	1.034234	1.906269

جدول ۴: ضرایب ثابت معادلات تجربی ضریب تلفات محاسبه شده در دوره مطالعه

معادله	نوع بار				
	تجاری (گرم)	تجاری (معتدل)	خانگی	خانگی (گرم)	خانگی (معتدل)
9	a=0.551	a=0.547	a=0.908	a=0.905	a=0.912
10	k=2.020	k=1.939	k=1.074	k=1.076	k=1.072
11	x=1.441	x=1.445	x=1.880	x=1.876	x=1.884
معادله	نوع بار				
	خانگی و تجاری	خانگی و تجاری (گرم)	خانگی و تجاری (معتدل)	تجاری	
9	a=0.729	a=0.728	a=0.729	a=0.549	
10	k=1.527	k=1.548	k=1.506	k=1.980	
11	x=1.662	x=1.659	x=1.665	x=1.443	

همان طور که بیان شد دقت این رابطه‌های تجربی که ضریبشان محاسبه می‌شود، با استفاده از شاخص ضریب همبستگی محاسبه می‌شود (جدول ۵). در انتها رابطه‌ای که خطای کمتر و یا دقت بیشتری داشته باشد، به عنوان معادله نهایی در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۵: ضرایب همبستگی محاسبه شده برای فرمول‌های مختلف در دوره مطالعه

معادله	نوع بار				
	تجاری (گرم)	تجاری (معتدل)	خانگی	خانگی (گرم)	خانگی (معتدل)
9	0.999985	0.99995	0.999866	0.998698	0.999808
10	0.987472	0.99336	0.999804	0.998211	0.999798



11	0.999801	0.998632	0.999867	0.999725	0.999789
معادله	نوع بار				
	تجاری	خانگی و تجاری (معتدل)	خانگی و تجاری (معتدل)	خانگی و تجاری (گرم)	
9	0.999971	0.999501	0.999815	0.999984	
10	0.990568	0.987724	0.979739	0.969607	
11	0.999757	0.998457	0.999264	0.999774	

با توجه به جدول (۵) در حالت‌های مختلف، هر رابطه دارای خطایی می‌باشد، که می‌توان با توجه به درصد مجاز در مطالعات و پژوهش‌ها از آن‌ها استفاده کرد. به طور کلی رابطه‌ی (۹) دارای بیش‌ترین ضریب همبستگی (کمترین خطا) به میزان ۰,۹۹۹۷۳۱ بوده و رابطه‌ی (۱۰) دارای کمترین ضریب همبستگی (بیش‌ترین خطا) به میزان ۰,۹۸۹۵۸۷ است. البته رابطه‌ی (۱۱) با ضریب همبستگی ۰,۹۹۹۴۵۲ را می‌توان با توجه به شرایط، مورد استفاده قرار داد.

۴. رابطه‌های تجربی بدست آمده

خانگی (معتدل):

$$LSF = 0.912LF^2 + 0.088LF \quad (26)$$

خانگی (گرم):

$$LSF = 0.905LF^2 + 0.095LF \quad (27)$$

خانگی:

$$LSF = 0.908LF^2 + 0.092LF \quad (28)$$

تجاری (معتدل):

$$LSF = 0.547LF^2 + 0.453LF \quad (29)$$

تجاری (گرم):

$$LSF = 0.551LF^2 + 0.449LF \quad (30)$$

تجاری:

$$LSF = 0.549LF^2 + 0.451LF \quad (31)$$

خانگی و تجاری (معتدل):

$$LSF = 0.729LF^2 + 0.271LF \quad (32)$$

خانگی و تجاری (گرم):

$$LSF = 0.728LF^2 + 0.272LF \quad (33)$$

خانگی و تجاری:

$$LSF = 0.729LF^2 + 0.271LF \quad (34)$$

۵. پیشنهادات

در این مقاله ضرایب بار و تلفات و روابط تجربی ضریب تلفات برای دو ماه از سال بدست آورده شده است. در حالی که می‌توان در بازه زمانی بزرگتری پژوهش را انجام داد. دو نوع مصرف کننده مورد مطالعه قرار گرفت که می‌توان از انواع دیگر نیز استفاده شود.



می‌توان معادلات تجربی بیشتری را مورد مطالعه قرار داد، و ضرایبشان را محاسبه کرد. از خطای اندازه‌گیری تجهیزات صرف نظر شده است، در صورتی که می‌توان در مطالعات بعدی خطا را نیز وارد محاسبات نمود، به بیان دیگر وارد بحث احتمالاتی شد.

۶. نتیجه‌گیری

این مقاله بر روی بدست آوردن ضرایب ثابت معادلات تجربی ضریب تلفات بحث می‌کند. معادلات گوناگونی در این تحقیق استفاده می‌شود. برای بدست آوردن این ضرایب از داده‌های یک شبکه برق واقعی به مدت دو ماه که شامل یک ماه معتدل و یک ماه گرم است، استفاده شده است. برای محاسبه این ضرایب ثابت لازم است که، ضرایب بار و تلفات ماهیانه ابتدا محاسبه شوند.

بارها از دو نوع بار خانگی و تجاری تشکیل شده‌اند. ضرایب ثابت معادلات برای حالات مختلف محاسبه می‌شوند. خطای هر رابطه توسط شاخص ضریب همبستگی محاسبه می‌شود، رابطه‌ای که دارای کمترین خطا باشد به عنوان رابطه نهایی در نظر گرفته می‌شود.

در بعضی از مقالات مانند [11] از نرم‌افزارهای SAS (Statistical Analysis System) و Stat View استفاده شده است که این نرم‌افزارها برای محاسبه ارتباط بین ضرایب بار و تلفات نیاز به اطلاعات اضافی از بار مانند تعداد بارهای مجزا یا گسسته و درصد بار مینیمم دارند.

مقالات پیشین مانند [3]، [4]، [7] و [8] از روش‌های مشابه به هم ضرایب ثابت معادلات تجربی را محاسبه کرده‌اند. روش‌های مورد استفاده دارای اشکالات و سختی‌هایی است، در حالی که روش مورد استفاده در این مقاله مشکلات و سختی‌های پیشین را ندارد. برای سیستم‌های برقی که جریان تابعی از بار مصرف‌کنندگان است، می‌توان از رابطه‌های (۷) و (۸) برای محاسبه ضرایب بار و تلفات استفاده شود.

ضرایب رابطه‌های تجربی بدست آمده در این مقاله برای یک شبکه برق خاص که دارای ویژگی‌های خاص خود است محاسبه گردیده است و نمی‌توان آن را برای شبکه‌های برقی دیگر مورد استفاده قرار داد و باید مطالعات جداگانه‌ای صورت گیرد. البته می‌توان روش بدست آوردن ضرایب ثابت را برای هر سیستمی اجرا کرد. در شبکه‌های توزیع برق که اطلاعات و زمان کافی برای محاسبه ضرایب ثابت معادلات را ندارند ولی خصوصیات مشابه شبکه مورد استفاده در این مقاله را داشته باشند، می‌توانند از رابطه (۹) استفاده نمایند. معادله (۱۱) که نسبتاً معادله ساده‌تری است نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

۷. منابع و مراجع

- [1] EPRI EL-3261, *Improved Methods for Distribution Loss Evaluation, vol. 1, Analytic and Evaluative Techniques*, Nov. 1983.
- [2] *Distribution Comite (CODI), Method for computation, analysis and optimization of technical losses in distribution systems. CODI-19-34, ABRADÉE, Ago. 1996. (in Portuguese).*
- [3] Gonen T., *Electric power distribution system engineering, in Plastics, 2nd ed., vol. 3, Peters, Ed. NewYork: McGraw-Hill, 1986, pp. 52-61.*
- [4] Queiroz L. M. O., Roselli M. A., Cavellucci C., Lyra C., *Energy losses estimation in power-distribution systems, IEEE Trans. Power Syst., vol. 27, no. 4, pp. 1879–1887, Nov 2012.*
- [5] Buller F. H. and Woodrow C. A., *Load factor—Equivalent hour values compared, Electrical World, vol.*



- 92, no. 2, pp. 59–60, Jul. 1928.
- [6] TAGTM - *Technical Assessment Guide*, Electric Power Research Institute, EPRI P-4463-SR, December 1986.
- [7] Pabla A. S., *Electric Power Distribution*, McGraw-Hill, New- York, 2004.
- [8] Burke J. J., *Power Distribution Engineering, Fundamentals and Applications*, Marcel Dekker, New York, 1994.
- [9] Taleski R. and Rajicic D., *Energy summation method for energy loss computation in radial distribution networks*, *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 11, no. 2, pp. 1104–1111, May 1996.
- [10] Flaten D. L., *Distribution system losses calculated by percent loading*, *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 3, no. 3, pp. 1263–1269, Aug. 1988.
- [11] Gustafson M. W., Baylor J. S., and Mulnix S. S., *The equivalent hour's loss factor revisited*, *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 3, no. 4, pp. 1502–1508, Nov. 1988.
- [12] Roselli M. A. and Yatsu R. K., *Regulatory technical losses computation in power distribution systems*, in *Proc. Congreso Internacional sobre Alta Tensión y Aislamiento Eléctrico ALTAE (in Portuguese)*, Nov. 2007.
- [13] Miki'k O. M., *Variance-based energy loss computation in low voltage distribution networks*, *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 22, no. 1, pp. 179–187, Feb. 2007.
- [14] Montgomery D. C. and Ranger G. C., *Applied statics and Probability for engineers*, Wiley, New York, 2011.