Iranian Electric Industry Journal
Quality & Productivity
P.P 75-84

Vol. 10 / No. 3/ Autumn 2021
ISSN 2322-2344
eISSN 2717-1639
Archive of SID

# Prioritization of electricity loss factors by combining analytic hierarchy process and TOPSIS (Case study: Southern Kerman Power Distribution Company)

http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222344.1400.10.3.5.4

Saeed Shahimoridi[1], Seyed Hamed Moosavirad [2], Mitra Mirhosseini [3], Hossein Nikpour[4]
[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
[1] saeedshahimoridi@gmail.com
[2] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
[2] s.h.moosavirad@uk.ac.ir
[3] Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
[3] m.mirhosseini@uk.ac.ir
[4] Electricity Distribution Company in the South of Kerman Province, Kerman, Iran
[4] hosseinnikpour@yahoo.com

## Abstract

From the viewpoint of electricity distribution companies, electricity losses are the difference between the delivered energy and the output energy, or in other words, the difference between the energy purchased and the energy sold. Electricity statistics in Iran show a share of about 23 percent of electricity losses, half of which are related to the distribution network. Electricity distribution losses fall into two categories: technical losses and non-technical losses. Technical losses are the part of the losses that occur due to the nature of the equipment in the distribution network. In contrast, non-technical losses are the total loss of electricity that is not due to the electrical nature of the network. Due to the importance of different types of electricity losses, a lot of research has been done in this field in order to reduce these losses as much as possible. However, little research has been conducted on prioritizing waste reduction strategies. Electricity losses in Jiroft City, Kerman province are a concern for Southern Kerman Power Distribution Company as they lead to financial losses and reduce the company's revenue. According to the received statistics, the energy delivered to this city in 2018 was 1005 million kilowatts, while the sales of the company in this city was 854 million kilowatts. Therefore, the amount of electricity losses in this city is 141 million kilowatts, which is equal to 15% of the delivered energy. Therefore, this company needs to prioritize these factors in order to focus and address the main causes of losses in this city. As a result, this study aims to prioritize the causes of electricity losses in Jiroft City. In this paper, by using previous research and interviews with experts in this field, the main criteria involved in decision making were identified, and they were then were weighted using analytical hierarchical process method. Then, the causes of power losses were identified using the documents of the company, and the effective factors were prioritized according to the weighted criteria using the TOPSIS method. The results showed that, in Jiroft City, among the factors of technical losses, the losses of meters and measuring devices and the losses due to the unbalanced load in phases and single-phase distribution of low pressure were in the first and second priority, respectively. Unauthorized use of electricity in hidden manner was also recognized as the most important cause of non-technical losses in this case study.

**Keywords:** power loss, analytic hierarchical process, TOPSIS, multi-criteria decision making
**Received: 2021 March 11**
**Accepted: 2021 June 7**

www.SID.ir

Iranian Electric Industry Journal
Quality & Productivity
ص.ص 84-75

Vol. 10 / No. 3/ Autumn 2021
ISSN 2322-2344
eISSN 2717-1639
Archive of SID

# اولویت بندی عوامل تلفات برق با ترکیب روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس (مطالعه موردی: شرکت توزیع نیروی برق جنوب استان کرمان)

نوع مطالعه: پژوهشی

http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222344.1400.10.3.5.4

سعید شاهی مریدی [1] ، دانشجوی کارشناسی ارشد، سید حامد موسوی راد[2]، دانشیار ، میترا میرحسینی[3] ، استادیار، حسین نیک پور[3]، کارشناس ارشد

۱- بخش مهندسی صنایع- دانشکده فنی و مهندسی- دانشگاه شهید باهنر- کرمان- ایران
saeedshahimoridi@gmail.com -

۲- بخش مهندسی صنایع- دانشکده فنی و مهندسی- دانشگاه شهید باهنر- کرمان- ایران
s.h.moosavirad@uk.ac.ir -

۳- بخش مهندسی برق- دانشکده فنی و مهندسی- دانشگاه شهید باهنر- کرمان- ایران
m.mirhosseini@uk.ac.ir -

۴- شرکت توزیع نیروی برق جنوب استان کرمان - کرمان- ایران
hosseinnikpour@yahoo.com -

**چکیده:** تلفات برق در شهرستان جیرفت در استان کرمان به عنوان یک دغدغه برای شرکت توزیع نیروی برق جنوب استان کرمان محسوب می شود که منجر به ضرر و زیان مالی و کاهش درآمد شرکت می شود. لذا این شرکت برای تمرکز و رسیدگی بر عوامل اصلی تلفات در این شهرستان نیاز به اولویت بندی این عوامل دارد. در نتیجه هدف این تحقیق اولویت بندی عوامل تلفات برق در شهرستان جیرفت می باشد. در این مقاله با استفاده از تحقیقات گذشته و مصاحبه با خبرگان این حوزه ابتدا معیارهای اصلی دخیل در تصمیم گیری شناسایی شدند و سپس با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی معیارها وزن‌گذاری شدند. در ادامه عوامل تلفات با استفاده از مستندات شرکت شناسایی شدند و با استفاده از روش تاپسیس عوامل تاثیرگذار با توجه به معیارهای وزن گذاری شده اولویت بندی شدند. نتایج تحقیق نشان داد در شهرستان جیرفت از بین عوامل تلفات فنی، تلفات کنتور و وسایل اندازه گیری و تلفات ناشی از نامتعادلی بار در فازها و توزیع تکفازه فشار ضعیف به ترتیب در اولویت اول و دوم قرار دارند. همچنین استفاده غیر مجاز از برق به صورت مخفی و پنهان به عنوان مهم ترین عامل تلفات غیر فنی در این تحقیق شناخته شد.

**واژه های کلیدی:** تلفات برق، تحلیل سلسله مراتبی، تاپسیس، تصمیم گیری چند معیاره.

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۹/۱۲/۲۱

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۴۰۰/۰۳/۱۷

نام نویسنده‌ی مسئول : سید حامد موسوی راد

نشانی نویسنده‌ی مسئول : بخش مهندسی صنایع- دانشکده فنی و مهندسی- دانشگاه شهید باهنر- کرمان- ایران


www.SID.ir

Archive of SID

## ۱- مقدمه

بخش زیادی از برق و انرژی تولید شده در نیروگاه ها در مسیر ار سال به مصرف کننده گم می شود و این تلفات به عوامل مختل فی از جم له ساختار شبکه ، نوع تجهیزات ، تراکم بار ، نوع م صرف و سهم آن ها بستگی دارد (Farshchian et al. 2021). این افت برق هم بر شرکت های توزیع برق و هم بر انتقال برق تأثیر می گذارد. برای تشریح بیشتر موضوع در ابتدا تعریفی از تلفات بیان می شود. تلفات از دیدگاه عل می عبارت است از آن بخش از انرژی الکتریکی که به کار مف ید ت بدیل نشود (صادقی خمامی و مقیمی، ۱۳۸۷). از دیدگاه شرکت های توز یع کننده برق، تل فات ع بارت ا ست از تفا ضل ا نرژی ت حویلی و ا نرژی خروجی یا به ع بارتی دی گر تفا ضل ا نرژی خر یداری شده و ا نرژی فروخته‌شده است. آمار برق در ایران نشان از سهم حدود ۲۳ در صدی تلفات برق دارد که نیمی از این تل فات به شبکه توز یع مرتبط می شود(صادقی خمامی و مقیمی، ۱۳۸۷). لذا از دید شرکت های توز یع کننده برق، تنها تلفاتی که در شبکه‌های توزیع برق به و جود می‌آ ید برایشان اهمیت پیدا می کند. البته لازم به ذکر است که تلفات توان که متناسب است با مجذور بارهای عبوری از اجزا سیستم، در ساعات پیک بار از مقدار متوسط تلفات توان بسیار بیشتر خواهد بود. در نتی جه در شرایط پیک مصرف که ممکن است تقا ضا بیش از عر ضه برق شود است بیشترین مقدار تلفات را نیز خواهیم داشت. بنابراین نیاز است که اقداماتی برای کاهش تلفات صورت گیرد.

تلفات توزیع برق را در دو دسته تلفات فنی و تلفات غیر فنی قرار می دهند (Viegas et al. 2017). تلفات فنی به آن ب خش از تل فات گفته می شود که به دل یل ماه یت تجه یزات شبکه توز یع برق بوجود می آید. در مقابل تلفات غیرفنی به مجموع هدر ر فت برق که به دلیل ماهیت الکتریکی شبکه نباشد گفته می شود. با توجه به اهمیتی که انواع تلفات برق دارند تحقیقات زیادی در این زمینه ان جام شده است تا بتوانند هر چه بیشتر این تلفات را کاهش ده ند. با ا ین وجود تحقیقات کمی در زمینه اولویت بندی راهکارهای کاهش تل فات صورت گرفته است. لذا با تمر کز بر اهم یت و م یزان تل فات برق در شهرستان جیرفت استان کرمان، هدف این تحقیق اولویت بندی عوامل تلفات برق در این شهرستان می باشد.

در ادامه ابتدا سوابق تحقیق در زمینه عوامل تل فات برق برر سی خواهد شد. سپس در ادامه روش تحقیق این پژوهش بر ا ساس روش های ت صمیم گ یری چ ندمعیاره شامل تحل یل سل سله مراات بی [1] و تاپسیس [2] تشریح خواهد شد. سپس نتایج اولویت بندی عوامل تل فات برق در شهرستان جیرفت ارائه خواهد شد. در پا یان نتی جه گ یری و توصیه های عملی و علمی برای مدیران و محق قین ا ین حوزه ارا ئه خواهد شد.

## ۲- مرور ادبیات

در زمینه کاهش تلفات برق پژوهش های ز یادی صورت گرف ته است اما در خصوص اولویت بندی عوامل تلفات پژوهش چندانی صورت نگرفته است که سعی می شود به صورت خلاصه نگاهی گذرا به آن ها داشته باشیم. شماخته (۱۳۹۶) در تحقیقی در حوزه تلفات در سی ستم توزیع برق و روش‌های شناسایی و کاهش آنها بیان می کند با توجه به اینکه اکثر روش های مع مول در دن یا با شرایط جغراف یایی و آب و هوایی ایران سازگار نبوده و نتایج آنها رضایت بخش نیست نیاز است با استفاده از منابع و اطلاعات داخلی هرچه بیشتر در این زمی نه تحق یق شود]. پژوهشی که توسط عمادی نژاد (۱۳۹۵) ان جام شد ب یان می کندکه الگوی کاهش تلفات بر پایه تجربه به دست می آ ید و شرکت های برق رسانی بهتر است پیش از کاهش تل فات نا شی از تاسی سات برق، به فکر کاهش تلفات غ یر تاسی ساتی با شند و برای کاهش آن راهکارهای ف نی و اجت ماعی را تدوین نمای ند. پژوه شی که تو سط بشیری و جهرمی (۱۳۸۸) انجام شد بیان می کند فعالیت های ف نی و مدیریتی متعددی در کاهش تلفات انرژی شبکه های توزیع موثر می - باشند و با استفاده از ا بزار گ سترش عمل کرد کیف یت و روش تحل یل سلسله مراتبی بصورت کیفی می توان ت صمیم گ یری های کلان در مورد سهم عوامل تلفات ارائه داد. نتایج بدست آمده آنها ن شان ده نده این مطلب است که به نظرکارشناسان خ بره، تل فات ا نرژی در شبکه توزیع برق کشور بیشتر ناشی از مسئله طراحی و سپس بهره برداری از شبکه می با شد. در پژوه شی که تو سط لط فی(۱۳۸۸) ان جام شد راهکارهای کاهش تلفات برق در شرکت توزیع برق شیراز بر ا ساس روش تحلیل سلسله مراتبی فازی را اولو یت ب ندی و مورد تجز یه و تحلیل قرار گرفتند. بهمن پور (۱۳۸۱) نیز در تحقیقی به بررسی تلفات توان پرداخته و اشاره نموده که در آمارها فقط تلفات ا نرژی ذ کر می گردد. همچنین با ارائه آمارها نشان داده است که تلفات توان بی شتر از تل فات ا نرژی بوده و عا مل ا لزام آور سرمایه گذاری ا ست. محمدیان(۱۳۷۵) تلفات در شبکه های توزیع را به سه ب خش ع مده تلفات در شبکه فشار ضعیف، تل فات در پ ستهای توز یع و تل فات در شبکه فشار متوسط تقسیم کرده است که سهم تلفات در شبکه ف شار ضعیف را بیشتر دانسته و لذا شناخت و تجزیه و تحلیل آن را با اهمیت برشمرده است و در ادامه نقش و سهم مولفه های شبکه فشار ضعیف را مورد کاوش قرار داده ا ست. در پژوه شی که تو سط بر هانی بهابادی(۱۳۹۰) انجام شد بیان شده است تلفات ه موار ه بع نوان یک عامل مهم در بهره وری از شبکه های برق مطرح بوده است، که با عث افزایش هزینه برداری و تو سعه شبکه می گردد. مهم ترین گام در کاهش تلفات، شناسائی عوامل و زمینه های موثر در ایجاد تلفات می باشد. در پژوهشی دیگر که برای کاهش تلفات ان جام شد ب یان شده است که تنظیم مجدد شبکه یک راهکار عملی است که ن یاز ا ست با حداقل هزینه به شبکه های توزیع اعمال شود (Kashem, 2008). در مقاله ای دیگر محققین به مقایسه راه حل های اجرا شده در کشورهای


www.SID.ir

Archive of SID

آمریکای جنوبی برای کاهش تلفات غیر فنی پرداختند. در این مقایسه، شاخص جدیدی بر اساس پایگاه داده بانک جهانی برای تحلیل تلفات غیرفنی معرفی گردید. نتایج تحقیقات آن ها نشان داد که در بیشتر کشورهای آمریکای جنوبی، در افق مورد مطالعه همبستگی زیادی بین شاخص معرفی شده و کیفیت تامین برق و جود دارد (de Oliveira Ventura et al. 2020). در تحقیقی دیگر تأثیر الگوهای مصرف و فن آوری های مختلف تولید بر اتلاف انرژی و هزینه تلفات با استفاده از داده های یک سیستم الکتریکی واقعی با نفوذ تجدیدپذیر بالا در کشور اسپانیا مورد ارزیابی قرار گرفت (Costa-Campi et al. 2018). در پژوهشی دیگر روشی برای ارزیابی کاهش تلفات توزیع فنی و غیر فنی در صورت استفاده انبوه از لامپ های فلورسنت فشرده در ساختمانهای صربستان ارائه شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که با استفاده از منابع نوری بهینه انرژی، می توان به میزان قابل توجهی در تلفات فنی و غیر فنی کاهش داشت (Trifunovic, 2011). در مطالعه ای در غنا عوامل سرقت برق توسط مصرف کنندگان را که از تلفات غیرفنی محسوب می شوند بررسی گردید و افزایش قیمت برق، کیفیت پایین برق تأمین شده، فساد مالی ، اجرای ضعیف قانون در برابر سرقت برق از جمله دلیل اصلی معرفی گردید (Yakubu, 2018). در مقاله ای دیگر یک روش جدید برای بهبود محاسبه تلفات فنی که منجر به تخمین بهتر تلفات غیرفنی می شود با استفاده از سنسورهای دما ارائه شد. همچنین آنها فرایند جدیدی برای شناسایی مکان های احتمالی سرقت انرژی با استفاده از اختلاف افت ولتاژ ارائه کردند (Henriques, 2020).

در تحقیقی دیگر محمدیان فروشانی یک دسته بندی از عوامل تلفات برق انجام داده است که در آن تلفات در شبکه انتقال، تلفات عایق، تلفات سیستم توزیع، تلفات عایقی تجهیزات، تلفات غیر فنی از جمله دسته های ایجاد شده می باشد (محمدیان، ۱۳۹۶).

آقا بابا گلی و مرادی (۱۳۹۵) در تحقیق به بررسی عوامل تلفات شبکه ناشی از سرقت تاسیسات برق و راهکارهای کاهش آن پرداختند. یافته های آنها نشان داد دوفاز یک فاز نمودن شبکه و جایگزینی فاز معابر به جای فاز مسروقه از مولفه های این نوع تلفات می باشند. در این راستا تنظیم بار شبکه های سرقتی و توجه به سرقت های ثبت شده در نرم افزار حوادث در کاهش این نوع تلفات می تواند موثر باشند.

منجذب و رضایی موحد (۱۳۹۸) عوامل مؤثر بر تلفات برق در صنعت برق ایران را با استفاده از رویکرد پویایی سیستم و روش اقتصادسنجی بررسی کردند. نتایج آن ها نشان داد که برآورد مدل ساختاری بر اساس روش اقتصادسنجی دقیقتر از روش شبیه‌سازی با پویایی های سیستم است. لذا مدل‌سازی پویایی های سیستم بیشتر برای نشان دادن روابط متغیر ها (روابط علی و معلولی) و همچنین میزان تأثیر هر متغیر بر دیگری مناسب می باشد.

مرادخانی و رشیدبیگی (۱۳۹۹) مطالعه ای در خصوص شناسایی مناطقی است که آلوده به این نوع تلفات غیرفنی ناشی از وجود انشعاب غیرمجاز و دست‌کاری لوازم اندازه‌گیری انجام دادند. آنها روشی برای تخمین تلفات شبکه فشار ضعیف پیشنهاد داده اند که مبتنی‌بر تعریف شاخص ضریب بار قرائت‌شده است. آنها در تحقیق شان بیان کردند که در صورت وجود انشعاب غیرمجاز و دست‌کاری لوازم اندازه‌گیری، این ضریب نسبت به ضریب بار واقعی فیدر کاهش خواهدیافت.

در مجموع با توجه به مقالات مرور شده تا کنون تحقیقات کمی در زمینه برررسی و اولویت بندی عوامل تلفات برق انجام شده است. همچنین با توجه به تفاوت ویژگی های فرهنگی و جغرافیایی برای هر شهر و منطقه نیاز است که این تحلیل ها در مورد تلفات فنی و غیر فنی به صورت ویژه برای آنها انجام شود.

## ۳- روش تحقیق

این پژوهش با تمرکز بر تلفات نیروی برق شهرستان جیرفت در استان کرمان انجام گرفته است که تحت پوشش شرکت توزیع نیروی برق جنوب استان کرمان می باشد. طبق آمار دریافتی انرژی تحویلی به این شهرستان در سال ۱۳۹۷، ۱۰۰۵ میلیون کیلو وات بوده در حالی که مقدار فروش شرکت در این شهرستان ۸۵۴ میلیون کیلووات بوده است. لذا میزان تلفات برق در این شهرستان ۱۴۱ میلیون کیلووات بوده که برابر با ۱۵ درصد انرژی تحویلی می باشد. در این تحقیق برای شناسایی عوامل تلفات فنی و غیرفنی برق از مرور ادبیات و اسناد موجود در شرکت توزیع نیروی برق جنوب استان کرمان استفاده شده است. همچنین برای تعیین معیار های تصمیم گیری جهت اولویت بندی عوامل تلفات از سوابق تحقیق و مصاحبه با کارشناسان و خبرگان شرکت توزیع برق جنوب استان کرمان استفاده شده است. در ادامه برای پیداکردن وزن هر کدام از معیار ها از بین روش های موجود تصمیم گیری چندمعیاره، روش تحلیل سلسله مراتبی با توجه به مزایایی همچون تطبیق‌پذیر بودن، عدم محاسبات ریاضی پیچیده و شفاف بودن معیارها انتخاب گردید (Azimifard et al. 2018، سلطان پور و همکاران، ۱۳۹۶).

تکنیک تحلیل سلسله مراتبی توسط توماس ساعتی به سال ۱۹۸۳ معرفی شد. روش تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین وزن معیار های ارزیابی در دو مرحله زیر انجام می شود (Azimifard et al. 2018، سلطان پور و همکاران، ۱۳۹۶):

مرحله اول- مقایسهٔ زوجی: گزینه‌ها با توجه به مقادیر ارجحیت دوبه‌دو مقایسه می‌شوند و سپس ماتریس تصمیم‌گیری ($D$) تشکیل می‌شود. عنصر $r_{ji}$ در ماتریس تصمیم‌گیری میزان ارجحیت گزینهٔ i نسبت به گزینهٔ j را نشان می‌دهد؛ ارجحیت هر گزینه نسبت به خودش برابر با یک و ارجحیت گزینهٔ j نسبت به گزینهٔ i برابر با معکوس ارجحیت گزینهٔ i به j است.

$$D = (r_{ij})\ ;\ i = 1, \dots, m\ ,j = 1, \dots, n \qquad (1)$$


www.SID.ir

Archive of SID

$$r_{ji} = \frac{1}{r_{ij}} \quad (2)$$

مرحله دوم- محاسبهٔ بردار وزن های نسبی ($w$): ابتدا ماتریس تصمیم‌گیریِ بی‌مقیاس ($N_D$) با تقسیم عناصر ماتریس تصمیم‌گیری بر مجموع عناصر ستون مربوطه به دست می‌آید و در ادامه با محاسبهٔ میانگین سطرهای ماتریس تصمیم‌گیریِ بی‌مقیاس، بردار وزن های نسبی تشکیل می‌شود.

$$N_D = (n_{ij})\ ;\ i = 1, \dots, m\ , j = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$n_{ij} = r_{ij} / \sum_{i=1}^{m} r_{ij} \quad (4)$$

$$w = (w_i)\ ; i = 1, \dots, m \quad (5)$$

$$w_i = \left( \sum_{j=1}^{n} n_{ij} \right) / n \quad (6)$$

در اینجا تعداد سطرها ($m$) و تعداد ستون‌ها ($n$) برابر است.

به منظور بررسی قابل اطمینان بودن تصمیم‌ها، نسبت ناسازگاری محاسبه می‌شود. گام های محاسبهٔ نسبت ناسازگاری به شرح زیر است:

گام اول- محاسبهٔ بردار مجموع وزنی ($w_s$): ماتریس تصمیم در بردار وزن‌های نسبی ضرب می‌شود.

$$w_s = N_D \times w \quad (7)$$

گام دوم- محاسبهٔ بردار سازگاری ($c$): عناصر بردار مجموع وزنی بر بردار وزن نسبی تقسیم می‌شود.

$$c = (c_i)$$
$$C_i = W_{si} / W_i \quad (8)$$

گام سوم- به دست آوردن بزرگ‌ترین مقدار ویژه ($\lambda_{max}$): با محاسبهٔ میانگین عناصر بردار سازگاری به دست می‌آید.

$$\lambda_{max} = \left( \sum_{i=1}^{m} c_i \right) / m \quad (9)$$

گام چهارم- محاسبهٔ شاخص ناسازگاری ($II$)

$$II = (\lambda_{max} - n)/(n - 1) \quad (10)$$

گام پنجم- محاسبهٔ شاخص تصادفی ($RI$): این شاخص با استفاده از جدول زیر و تعداد گزینه‌ها به دست می‌آید.

**جدول (1): شاخص تصادفی بودن برای محاسبهٔ نسبت ناسازگاری**

| $n$ | $RI$ | $n$ | $RI$ |
|---|---|---|---|
| ۱ | ۰ | ۷ | ۱/۳۲ |
| ۲ | ۰ | ۸ | ۱/۴۱ |
| ۳ | ۰/۵۸ | ۹ | ۱/۴۵ |
| ۴ | ۰/۹ | ۱۰ | ۱/۴۹ |
| ۵ | ۱/۱۲ | ۱۱ | ۱/۵۱ |
| ۶ | ۱/۲۴ | ۱۲ | ۱/۴۸ |

گام ششم- محاسبهٔ نسبت ناسازگاری ($IR$): نسبت ناسازگاری با تقسیم شاخص ناسازگاری بر شاخص تصادفی به دست می‌آید. اگر نسبت ناسازگاری ۰/۱ یا بیشتر باشد بیانگر ناسازگاری در مقایسات است.

$$IR = II/RI \quad (11)$$

همچنین برای اولویت بندی عوامل تلفات از روش تاپسیس با توجه به مزایای زیر استفاده شده است [21]:

- از اطلاعات به دست‌آمده به طور کامل استفاده می‌کند
- عدم نیاز به اطلاعات مستقل
- بدترین مقادیر قابل دستیابیِ همهٔ معیارها و فواصل از بهترین جواب ایده‌آل و بدترین جواب را به طور همزمان در نظر می‌گیرد
- در نظر گرفتن همزمان معیار های کیفی و معیار های کمی
- خروجی آن می‌تواند ترتیب اولویت گزینه‌ها را مشخص و این اولویت را به صورت کمی بیان کند
- تضاد و تطابق بین شاخص‌ها را در نظر می‌گیرد

در روش تاپسیس، فاصلهٔ یک گزینه از نقطهٔ ایده‌آل مثبت و ایده‌آلِ منفی در نظر گرفته می شود. یعنی گزینهٔ انتخابی دارای کمترین فاصله از راه‌حل ایده‌آل و دورترین فاصله از راه حل ایده‌آلِ منفی می‌باشد.گام های این روش به شرح زیر است [21]:

گام اول- بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم‌گیری (D) و ایجاد ماتریس تصمیم‌گیری نرمال ($N_D$)؛

$$D = (r_{ij})\ ;\ i = 1, \dots, m\ , j = 1, \dots, n \quad (12)$$

$$N_D = (n_{ij})\ ;\ i = 1, \dots, m\ , j = 1, \dots, n \quad (13)$$

$$n_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} r_{ij}^2}} \quad (14)$$

گام دوم- ایجاد ماتریس نرمال وزن‌دار (V) با استفاده از بردار وزن‌ها (w)؛

$$\mathrm{w} = (\mathrm{w_j})\ ;\ \mathrm{j} = 1, \dots, \mathrm{n} \quad (15)$$


www.SID.ir

Archive of SID

$$M_w = \begin{bmatrix} w_1 & \cdot & \cdot \\ \cdot & \ddots & \cdot \\ \cdot & \cdot & w_n \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$V = (v_{ij}) = N_D \times M_w \; ; \; i = 1, \dots, m \, , j = 1, \dots, n \quad (17)$$

گام سوم- تعیین راه‌حل ایده‌آل (A+) و راه‌حل ایده‌آلِ منفی (A-)؛

$$A^+ = (v_j^+) = \left\{ \left( \max_i v_{ij} \,|j \in J \right), \left( \min_i v_{ij} \,|j \in J' \right) \right\} \; ; \; i = 1, \dots, m \quad (18)$$

$$A^- = (v_j^-) = \left\{ \left( \min_i v_{ij} \,|j \in J \right), \left( \max_i v_{ij} \,|j \in J' \right) \right\} \; ; \; i = 1, \dots, m \quad (19)$$

مجموعهٔ J شامل معیارهای مثبت و J′ شامل معیارهای منفی می‌باشد.

گام چهارم- محاسبهٔ فاصلهٔ هر یک از گزینه‌ها با راه حل ایده‌آل (di+) و راه‌حل ایده‌آلِ منفی (di-) از روش اقلیدسی؛

$$d_{i+} = \left\{ \sum_{j=1}^{n} \left( v_{ij} - v_j^+ \right)^2 \right\}^{0.5} \; ; \; i = 1, \dots, m$$
$$d_{i-} = \left\{ \sum_{j=1}^{n} \left( v_{ij} - v_j^- \right)^2 \right\}^{0.5} \; ; \; i = 1, \dots, m \quad (20)$$

گام پنجم- محاسبهٔ نزدیکی هر یک از گزینه‌ها با راه حل ایده‌آل (cli+)؛

$$cl_{i+} = \frac{d_{i-}}{d_{i+} + d_{i-}} \; ; \; 0 \le cl_{i+} \le 1 \; ; \; i = 1, \dots, m \quad (21)$$

گام ششم- رتبه‌بندی گزینه ها بر اساس ترتیب نزولی cli+ و گزینه‌ای بهتر است که cli+ بیشتری دارد.

## ۴- نتایج

ابتدا با مرور ادبیات و مصاحبه با کارشناسان و خبرگان شرکت توزیع نیروی برق جنوب استان معیارهای اولیه موثر در تصمیم گیری‌ها شناسایی شدند. سپس مجددا معیارهای اولیه توسط خبرگان و کارشناسان شرکت بررسی و سه معیار نهایی برای ارزیابی عوامل انتخاب شدند که در جدول ۲ ارائه شده است.

**جدول (۲): معیارهای ارزیابی عوامل تلفات**

| معیار | تعریف | مرجع |
|---|---|---|
| شدت تأثیرات تلفات بر کاهش کیفیت توان الکتریکی | کیفیت توان بر اساس تغییرات ولتاژ، فرکانس و پدیده های گذارا تعریف می شوند. در این تحقیق با توجه به نظر افراد خبره تاثیر تلفات بر کاهش کیفیت توان بر اساس طیف لیکرت از یک تا ۷ به صورت کیفی بررسی شد | [۲۳،۲۴] و مصاحبه با خبرگان شرکت |
| سهم هر کدام از عوامل تلفات | بیانگر نسبت هر کدام از عوامل تلفات به کل تلفات می باشد. در این تحقیق با توجه به نظر افراد خبره سهم هر کدام از عوامل تلفات بر اساس طیف لیکرت از ۱ تا ۷ بررسی شد | [۲۴] و مصاحبه با خبرگان شرکت |
| هزینهٔ راهکارهای رفع تلفات | در این تحقیق هزینه های راهکارهای رفع هر کدام از عوامل تلفات با واحد ریال به ازای هرکیلووات کاهش بر اساس نظر پیمانکار شرکت محاسبه گردید. | [۷] و مصاحبه با خبرگان شرکت |

با توجه با نظرات کارشناسان شرکت و ماهیت معیارها، معیار هزینهٔ راهکارهای رفع تلفات به عنوان معیار منفی (عاملی که مقدار بیشتری از این معیار داشته باشد اولویت پایین تری دارد) و بقیه معیارها به عنوان معیار مثبت (عاملی که مقدار بیشتری از این معیار داشته باشد اولویت بالاتری دارد) در نظر گرفته شدند.

در ادامه عوامل تلفات با استفاده از مقالات و تحقیقات گذشته در دو دسته تلفات فنی و غیرفنی شناسایی شدند. سپس با نظر کارشناسان شرکت توزیع نیروی برق جنوب استان کرمان (دفتر نظارت و کنترل لوازم اندازه گیری به عنوان متولی رسیدگی به تلفات غیر فنی و دفتر مهندسی و نظارت به عنوان متولی رسیدگی به تلفات فنی) این عوامل به بحث گذاشته شد و در نهایت عوامل نهایی تدوین و به تایید کارشناسان مربوطه رسیدند.

بر این اساس برای تلفات فنی و غیر فنی، عوامل زیر مشخص گردید:

الف) تلفات فنی

تلفات ذاتی تجهیزات (صادقی خمامی و مقیمی، ۱۳۸۷)

تلفات ناشی از شرایط محیطی (صادقی خمامی و مقیمی، ۱۳۸۷)

تلفات کنتور و وسایل اندازه گیری (صادقی خمامی و مقیمی، ۱۳۸۷)

تلفات ناشی از ضریب توان نامناسب (صادقی خمامی و مقیمی، ۱۳۸۷)

تلفات ناشی از نامتعادلی بار در فازها و توزیع تکفازه فشار ضعیف (صادقی خمامی و مقیمی، ۱۳۸۷، شماخته، ۱۳۹۶، عمادی نژاد، ۱۳۹۵، محمدیان و فیاض، ۱۳۷۵)


www.SID.ir

Archive of SID

تلفات در اثر استفاده از لوازم و تجهیزات نامرغوب ( صادقی خمامی و مقیمی، ۱۳۸۷)

تلفات ناشی از طراحی های نامناسب (صادقی خمامی و مقیمی، ۱۳۸۷، شماخته، ۱۳۹۶، اشراق جهرمی و بشیری، ۱۳۸۸)

تلفات ناشی از قدمت و فرسودگی شبکه ها ( صادقی خمامی و مقیمی، ۱۳۸۷، شماخته، ۱۳۹۶، عمادی نژاد، ۱۳۹۵)

تلفات ناشی از اتصالات شبکه و عدم استفاده از سیستم زمین کردن صحیح (صادقی خمامی و مقیمی، ۱۳۸۷، عمادی نژاد، ۱۳۹۵)

تلفات ناشی از احداث شبکه های طولانی جهت تامین برق روستا ها بنا بر ضرورت اجتماعی(صادقی خمامی و مقیمی، ۱۳۸۷، محمدیان و فیاض، ۱۳۷۵)

تلفات در تجهیزات شبکه به دلیل نشت جریان (صادقی خمامی و مقیمی، ۱۳۸۷)

ب) تلفات غیر فنی

استفاده غیر مجاز از برق به صورت آشکار و مشهود ( صادقی خمامی و مقیمی، ۱۳۸۷، Viegas, 2017)

استفاده غیر مجاز از برق به صورت مخفی و پنهان ( صادقی خمامی و مقیمی، ۱۳۸۷، Viegas, 2017)

روشنایی معابر، عدم قرائت صحیح، در مدار نبودن کنتور، عدم نصب کنتور ( صادقی خمامی و مقیمی، ۱۳۸۷، شماخته، ۱۳۹۶، Viegas, 2017)

با توجه به اجماع نظر مدیران در مورد مقایسات زوجی معیار های تلفات فنی و غیرفنی، وزن هر کدام از معیارها با استفاده روش تحلیل سلسله مراتبی مشخص گردید که نتایج در جدول زیر آورده شده است (محاسبات در بخش ضمایم آمده است).

**جدول (۳): وزن معیارهای تلفات با روش تحلیل سلسله مراتبی**

| تلفات فنی | | تلفات غیر فنی | |
|---|---|---|---|
| معیار | وزن | معیار | وزن |
| هزینهٔ راهکارهای رفع تلفات | 0.648 | هزینه راهکارهای رفع تلفات | 0.193 |
| شدت تأثیرات تلفات بر کاهش کیفیت توان الکتریکی | ۰.۲۳۰ | شدت تاثیرات تلفات بر کاهش کیفیت توان الکتریکی | 0.107 |
| سهم هر کدام از عوامل تلفات | 0.122 | سهم هر کدام از عوامل تلفات | 0.699 |

همانگونه که مشاهده می شود در حوزه تلفات فنی، معیار هزینه راهکارهای رفع تلفات بیشترین اهمیت را دارد و در حوزه تلفات غیر فنی، معیار سهم هر کدام از عوامل تلفات بیشترین اهمیت را دارد. همچنین نرخ ناسازگاری داده ها برای تلفات فنی۰.۰۰۳ و تلفات غیر فنی ۰.۰۱۴ محاسبه گردید و چون هر دو نرخ ناسازگاری از ۰.۱ کمتر می باشند لذا مقایسه های انجام شده سازگار و معتبر می باشند.

در ادامه عوامل تلفات فنی و غیرفنی بر اساس سه معیار مذکور نیاز است که اولویت بندی شوند. برای تکمیل ماتریس تصمیم گیری، اطلاعات مورد نیاز با سوال از خبرگان شرکت بدست آورده شد زیرا اطلاعات دقیق تلفات را شرکت‌های توزیع برق در اختیار ندارند و به ناچار باید از نظر خبرگان استفاده کرد. لازم به ذکر است که دو معیار شدت تأثیرات تلفات بر کاهش کیفیت توان الکتریکی و سهم هر کدام از عوامل تلفات با استفاده از طیف لیکرت امتیازدهی شدند و معیار هزینه های راهکارهای رفع تلفات برای تلفات فنی با هزینه ریالی برای هرکیلووات کاهش امتیاز دهی شد.

**جدول (۴): اطلاعات معیارهای تلفات فنی در شهرستان جیرفت**

| عوامل تلفات | معیارها | هزینه های راهکارهای رفع تلفات (هزینه تومان بر اساس هر کیلووات کاهش تلفات) | شدت تاثیرات تلفات بر کاهش کیفیت توان الکتریکی (طیف لیکرت از ۱ تا ۷) | سهم هر کدام از عوامل تلفات در کل تلفات (طیف لیکرت از ۱ تا ۷) |
|---|---|---|---|---|
| تلفات ذاتی تجهیزات | | 1200.00 | 9.00 | 3.00 |
| تلفات ناشی از شرایط محیطی | | 300.00 | 1.00 | 7.00 |
| تلفات کنتور و وسایل اندازه گیری | | 100.00 | 7.00 | 7.00 |
| تلفات ناشی از ضریب توان نامناسب | | 200.00 | 1.00 | 3.00 |
| تلفات ناشی از نامتعادلی بار در فازها و توزیع تکفازه فشار ضعیف | | 100.00 | 3.00 | 1.00 |
| تلفات در اثر استفاده از لوازم و تجهیزات نامرغوب | | 100.00 | 1.00 | 1.00 |
| تلفات ناشی از طراحی های نامناسب | | 500.00 | 3.00 | 3.00 |
| تلفات ناشی از قدمت و فرسودگی شبکه ها | | 200.00 | 3.00 | 7.00 |
| تلفات ناشی از اتصالات شبکه و عدم استفاده از سیستم زمین کردن صحیح | | 200.00 | 1.00 | 3.00 |
| تلفات ناشی از احداث شبکه های طولانی جهت تامین برق روستا ها بنا بر ضرورت اجتماعی | | 1000.00 | 7.00 | 1.00 |
| تلفات در تجهیزات شبکه به دلیل نشت جریان | | 300.00 | 1.00 | 3.00 |


www.SID.ir

Archive of SID

**جدول (۵): اطلاعات معیارهای تلفات غیر فنی در شهرستان جیرفت**

| سهم هر کدام از عوامل تلفات در کل تلفات | شدت تاثیرات تلفات بر کاهش کیفیت توان الکتریکی | هزینه های راهکارهای رفع تلفات(هزینه تومان بر اساس هر کیلووات کاهش تلفات) | سیرجان |
|---|---|---|---|
| 6.00 | 3.00 | 3.00 | استفاده غیر مجاز از برق به صورت آشکار |
| 9.00 | 9.00 | 1.00 | استفاده غیر مجاز از برق به صورت مخفی و پنهان |
| 1.00 | 1.00 | 9.00 | روشنایی معابر، عدم قرائت صحیح، در مدار نبودن کنتور، عدم نصب کنتور |

حال با تکمیل پرسشنامه ها لازم است عوامل مورد بحث با توجه به وزن های بدست آمده معیارها(جدول ۴) با استفاده از روش تاپسیس اولویت بندی شوند که نتایج در دو جدول زیر ارائه شده است (محاسبات در بخش ضمایم آمده است).

**جدول (۶): اولویت عوامل تلفات فنی در شهرستان جیرفت**

| اولویت عوامل | عوامل تلفات |
|---|---|
| اولویت شماره ۱ | تلفات کنتور و وسایل اندازه گیری |
| اولویت شماره ۲ | تلفات ناشی از نامتعادلی بار در فازها و توزیع تکفازه فشار ضعیف |
| اولویت شماره ۳ | تلفات ناشی از قدمت و فرسودگی شبکه |
| اولویت شماره ۴ | تلفات در اثر استفاده از لوازم و تجهیزات نامرغوب ها |
| اولویت شماره ۵ | تلفات ناشی از ضریب توان نامناسب و تلفات ناشی از اتصالات شبکه و عدم استفاده از سیستم زمین کردن صحیح |
| اولویت شماره ۶ | تلفات ناشی از ضریب توان نامناسب و تلفات ناشی از اتصالات شبکه و عدم استفاده از سیستم زمین کردن صحیح |
| اولویت شماره ۷ | تلفات ناشی از شرایط محیطی |
| اولویت شماره ۸ | تلفات در تجهیزات شبکه به دلیل نشت جریان |
| اولویت شماره ۹ | تلفات ناشی از طراحی های نامناسب |
| اولویت شماره ۱۰ | تلفات ناشی از احداث شبکه های طولانی جهت تامین برق روستا ها بنا بر ضرورت اجتماعی |
| اولویت شماره ۱۱ | تلفات ذاتی تجهیزات |

**جدول(۷): اولویت عوامل تلفات غیر فنی در شهرستان جیرفت**

| اولویت عوامل | وزن معیارها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی |
|---|---|
| اولویت شماره ۱ | استفاده غیر مجاز از برق به صورت مخفی و پنهان |
| اولویت شماره ۲ | استفاده غیر مجاز از برق به صورت آشکار |
| اولویت شماره ۳ | روشنایی معابر، عدم قرائت صحیح، در مدار نبودن کنتور، عدم نصب کنتور |

## ۵- نتیجه گیری

با توجه به هدف تحقیق، ۱۱ عامل تلفات فنی در شهرستان جیرفت با توجه به سه معیار شدت تأثیرات تلفات بر کاهش کیفیت توان الکتریکی، سهم هر کدام از عوامل تلفات، هزینهٔ راهکارهای رفع تلفات اولویت بندی شدند. بر اساس نتایج حاصله، تلفات کنتور و وسایل اندازه گیری و تلفات ناشی از نامتعادلی بار در فاز ها و توزیع تک فازه فشار ضعیف به ترتیب در اولویت اول و دوم قرار گرفتند. این نتایج با یافته های اشراق جهرمی و بشیری (۱۳۸۸) که نشان دادند تلفات انرژی در شبکه توزیع برق کشور ناشی از بهره برداری زیاد می باشند نیز هم خوانی دارد. ولیکن چون در تحقیق اشراق جهرمی و بشیری (۱۳۸۸) و کاشم و همکاران (Kashem, 1998) معیار هزینه های راهکار رفع تلفات دیده نشده بود، آنها تلفات ناشی از طراحی و تنظیم مجدد شبکه را مهم ترین عوامل تلفات نام بردند که در تحقیق حاضر در اولویت های آخر قرار دارند.

در راستای کاهش تلفات کنتور و وسایل اندازه گیری نیاز است که دقت در اندازه‌گیری ها بیشتر شود که می توان از طریق به روز رسانی و هوشمند سازی و دیجیتال نمودن کنتورها و وسایل اندازه گیری این امر محقق شود. همچنین برای کاهش تلفات ناشی از نامتعادلی بار در فاز ها و توزیع تک فازه فشار ضعیف، روش های کلاسیک از قبیل جابجایی بار، جابجایی فاز و تجدید آرایش شبکه توزیع وجود دارد (محمدی، ۱۳۹۴). همچنین روش های هوشمندی مانند تجدید آرایش شبکه با الگوریتم های هوشمند، استفاده از ترانسفورماتور های تعدیل بار، استفاده از تولید پراکنده و استفاده از ادوات فکتس در کنار روش های کلاسیک برای متعادل سازی می توان استفاده نمود (محمدی ۱۳۹۴). همچنین مشاهده می کنیم که با توجه به هزینه زیاد بر طرف کردن تلفات ناشی از احداث شبکه های طولانی جهت تامین برق روستا ها بنا بر ضرورت اجتماعی و غیر قابل کنترل بودن تلفات ذاتی تجهیزات، این نوع تلفات فنی در اولویت های آخر رسیدگی قرار گرفتند.

در ادامه بر اساس نتایج، ۳ عامل تلفات غیر فنی شامل (۱) استفاده غیر مجاز از برق به صورت مخفی و پنهان، (۲) استفاده غیر مجاز از برق به صورت آشکار و (۳) روشنایی معابر، عدم قرائت صحیح، در مدار نبودن کنتور، عدم نصب کنتور به ترتیب بر اساس معیار های گفته شده در اولویت رسیدگی در شهرستان جیرفت قرار گرفتند. استفاده غیر مجاز از برق به صورت مخفی یا پنهان به صورت دستکاری در لوازم اندازه‌گیری و کنتورها، خارج کردن کنتورها از مدار، عدم قرائت صحیح مأمورین تشخیص و سوءاستفاده از برق و کارکرد نادرست کنتورها نام برد. همچنین استفاده غیر مجاز از برق به صورت آشکار به مسائل اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی افراد مربوط می شود. در همین راستا آقا بابا گلی و مرادی (۱۳۹۵) نیز در تحقیق شان بیان کردند که تنظیم بار شبکه های سرقتی و توجه به سرقت های ثبت شده در نرم افزار حوادث در کاهش این نوع تلفات ناشی از سرقت برق می تواند موثر


www.SID.ir

Archive of SID

باشند. لذا نیاز است که مدیران شرکت توزیع برق به این اولویت ها جهت کاهش تلفات توجه نمایند.

برای تحقیقات آتی پیشنهاد می شود با توجه به تغییرات تی که ممکن است در معیارهای مرتبط با عوامل پیش بیاید یک سیستم پشتیانی تصمیم برای اولویت بندی مستمر عوامل تلفات طراحی شود. همچنین با سناریونگاری که از روش‌های آینده‌پژوهی است می توان برای شرکت سناریوهایی را طراحی کرد که کمک می‌کند شرکت در برابر آینده‌های ممکن و محتمل تصمیم‌های بهتری اخذ کند. در ادامه این تحقیق می توان در شهرستان های دیگر نیز تلفات آنها با معیارهای مذکور اولویت بندی گردند و بررسی شود که آیا نتایج متفاوتی بدست می آید و آیا متغییرهای دیگری مانند موقعیت جغرافیایی و فرهنگ مردم نیز تاثیری در نتایج اولویت بندی در بین شهرستان های متفاوت می گذارد.

## سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مادی و معنوی شرکت توزیع نیروی برق جنوب استان کرمان به شماره قرارداد ۹۷- ۰۱۵۳ انجام گرفته است. همچنین از کلیه کارکنان شرکت که در این طرح مشارکت داشتند سپاسگزاریم.

## ضمایم

محاسبات روش تحلیل سلسله مراتبی

- وزن معیارهای تلفات غیرفنی

$$D=\begin{bmatrix}1 & 2 & 0.25\\ 0.5 & 1 & 0.17\\ 4 & 6 & 1\end{bmatrix}$$

$$N_D=\begin{bmatrix}0.182 & 0.222 & 0.176\\ 0.091 & 0.111 & 0.120\\ 0.727 & 0.667 & 0.667\end{bmatrix}\quad W_i=\begin{bmatrix}0.193\\ 0.107\\ 0.699\end{bmatrix}$$

- وزن معیارهای تلفات فنی

$$D=\begin{bmatrix}1 & 3 & 5\\ 0.333 & 1 & 2\\ 0.2 & 0.5 & 1\end{bmatrix}$$

$$N_D=\begin{bmatrix}0.652 & 0.667 & 0.625\\ 0.217 & 0.222 & 0.250\\ 0.130 & 0.111 & 0.125\end{bmatrix}\quad W_i=\begin{bmatrix}0.648\\ 0.230\\ 0.122\end{bmatrix}$$

محاسبات روش تاپسیس

- رتبه بندی عوامل تلفات غیرفنی

$$D=\begin{bmatrix}3 & 3 & 6\\ 1 & 9 & 9\\ 9 & 1 & 1\end{bmatrix}\quad N_D=\begin{bmatrix}0.314 & 0.314 & 0.552\\ 0.105 & 0.943 & 0.829\\ 0.943 & 0.105 & 0.092\end{bmatrix}$$

$$M_w=\begin{bmatrix}0.193 & 0 & 0\\ 0 & 0.107 & 0\\ 0 & 0 & 0.699\end{bmatrix}$$

$$V=\begin{bmatrix}0.061 & 0.034 & 0.386\\ 0.020 & 0.101 & 0.579\\ 0.182 & 0.011 & 0.064\end{bmatrix}$$

$$A^{+}=\begin{bmatrix}0.020 & 0.101 & 0.579\end{bmatrix}$$

$$A^{-}=\begin{bmatrix}0.182 & 0.011 & 0.064\end{bmatrix}$$

| عوامل تلفات غیرفنی | $d_{i+}$ | $d_{i-}$ | $cl_{i+}$ | رتبه |
|---|---|---|---|---|
| استفاده غیر مجاز از برق به صورت آشکار | 0.209 | 0.345 | 0.623 | 2 |
| استفاده غیر مجاز از برق به صورت مخفی و پنهان | 0.000 | 0.547 | 1.000 | 1 |
| روشنایی معابر، عدم قرائت صحیح، در مدار نبودن کنتور، عدم نصب کنتور | 0.547 | 0.000 | 0.000 | 3 |

- رتبه بندی عوامل تلفات فنی


www.SID.ir

Archive of SID

| عوامل تلفات فنی | $d_{i+}$ | $d_{i-}$ | $cl_{i+}$ | رتبه |
|---|---|---|---|---|
| تلفات ذاتی تجهیزات | 0.412 | 0.128 | 0.237 | 11 |
| تلفات ناشی از شرایط محیطی | 0.147 | 0.340 | 0.698 | 7 |
| تلفات کنتور و وسایل اندازه گیری | 0.032 | 0.424 | 0.931 | 1 |
| تلفات ناشی از ضریب توان نامناسب | 0.137 | 0.373 | 0.732 | 5 |
| تلفات ناشی از نامتعادلی بار در فازها و توزیع تکفازه فشار ضعیف | 0.108 | 0.411 | 0.791 | 2 |
| تلفات در اثر استفاده از لوازم و تجهیزات نامرغوب | 0.137 | 0.410 | 0.750 | 4 |
| تلفات ناشی از طراحی های نامناسب | 0.180 | 0.263 | 0.594 | 9 |
| تلفات ناشی از قدمت و فرسودگی شبکه ها | 0.102 | 0.378 | 0.787 | 3 |
| تلفات ناشی از اتصالات شبکه و عدم استفاده از سیستم زمین کردن صحیح | 0.137 | 0.373 | 0.732 | 5 |
| تلفات ناشی از احداث شبکه های طولانی جهت تامین برق روستا ها بنا بر ضرورت اجتماعی | 0.341 | 0.121 | 0.261 | 10 |
| تلفات در تجهیزات شبکه به دلیل نشت جریان | 0.151 | 0.336 | 0.690 | 8 |

$$D=\begin{bmatrix}1200 & 9 & 3\\ 300 & 1 & 7\\ 100 & 7 & 7\\ 200 & 1 & 3\\ 100 & 3 & 1\\ 100 & 1 & 1\\ 500 & 3 & 3\\ 200 & 3 & 7\\ 200 & 1 & 3\\ 1000 & 7 & 1\\ 300 & 1 & 3\end{bmatrix}$$

$$N_D=\begin{bmatrix}0.691 & 0.620 & 0.215\\ 0.173 & 0.069 & 0.501\\ 0.058 & 0.482 & 0.501\\ 0.115 & 0.069 & 0.215\\ 0.058 & 0.207 & 0.072\\ 0.058 & 0.069 & 0.072\\ 0.288 & 0.207 & 0.215\\ 0.115 & 0.207 & 0.501\\ 0.115 & 0.069 & 0.215\\ 0.575 & 0.482 & 0.072\\ 0.173 & 0.069 & 0.215\end{bmatrix}$$

$$M_w=\begin{bmatrix}0.648 & 0 & 0\\ 0 & 0.230 & 0\\ 0 & 0 & 0.122\end{bmatrix}$$

$$V=\begin{bmatrix}0.447 & 0.142 & 0.026\\ 0.112 & 0.016 & 0.061\\ 0.037 & 0.111 & 0.061\\ 0.075 & 0.016 & 0.026\\ 0.037 & 0.047 & 0.009\\ 0.037 & 0.016 & 0.009\\ 0.186 & 0.047 & 0.026\\ 0.075 & 0.047 & 0.061\\ 0.075 & 0.016 & 0.026\\ 0.373 & 0.111 & 0.009\\ 0.112 & 0.016 & 0.026\end{bmatrix}$$

$$A^{+}=\begin{bmatrix}0.037 & 0.142 & 0.061\end{bmatrix}$$

$$A^{-}=\begin{bmatrix}0.447 & 0.016 & 0.009\end{bmatrix}$$

## مراجع


Azimifard, A., Moosavirad, S. H., & Ariafar, S. (2018). Selecting sustainable supplier countries for Iran's steel industry at three levels by using AHP and TOPSIS methods, *Resources Policy*, 57, pp. 30-44.

Costa-Campi, M. T., Daví-Arderius, D., & Trujillo-Baute, E. (2018). The economic impact of electricity losses, *Energy economics*, 75, pp. 309-322.

De Oliveira Ventura, L., Melo, J. D., Padilha-Feltrin, A., Fernández-Gutiérrez, J. P., Zuleta, C. C. S., & Escobar, C. C. P. (2020). A new way for comparing solutions to non-technical electricity losses in South America, *Utilities Policy*, 67, pp. 101113.

Farshchian, G., Darestani, S. A., & Hamidi, N. (2021). Developing a decision-making dashboard for power losses attributes of Iran's electricity distribution network. *Energy*, 216, pp. 119248.

Henriques, H. O., Corrêa, R. L. S., Fortes, M. Z., Borba, B. S. M. C., & Ferreira, V. H. (2020). Monitoring technical losses to improve non-technical losses estimation and detection in LV distribution systems, *Measurement*, 161, pp. 107840.

Kashem, M. A., Moghawemi, M., Mohamed, A., & Jasmon, G. B. (1998). Loss reduction in distribution networks using new network reconfiguration algorithm, *Electric Machines and power systems*, 26(8), pp.815-829.

Trifunovic, J., Mikulovic, J., Djurisic, Z., & Kostic, M. (2011). Reductions in electricity losses in the distribution power system in case of the mass use of compact fluorescent lamps, *Electric Power Systems Research*, 8(2), pp.465-477.

Viegas, J. L., Esteves, P. R., Melício, R., Mendes, V. M. F., & Vieira, S. M. (2017). Solutions for detection of non-technical losses in the electricity grid: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, pp. 1256-1268.



www.SID.ir

Archive of SID

Yakubu, O., Babu, N., & Adjei, O. (2018). Electricity theft: Analysis of the underlying contributory factors in Ghana, *Energy policy*, 123, pp. 611-618.

اشراق جهرمی, ع؛ بشیری، ح، (اردیبهشت ۱۳۸۸). تعیین و اولویت بندی فعالیت ها و پروژه های کاهش تلفات انرژی برق در شبکه های توزیع ایران با استفاده از ابزارQFD ، چهاردهمین کنفرانس سراسری شبکه های توزیع نیروی برق، ،انجمن مهندسی برق و الکترونیک ایران، کرمان، ایران.

آقابابااگلی، ا؛ مرادی، م، (شهریور ۱۳۹۵). بررسی عوامل تلفات شبکه ناشی از سرقت تاسیسات برق و راهکارهای کاهش آن، همایش ملی مهندسی برق مجلسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر مجلسی، اصفهان، ایران.

مرادخانی، ا؛ رشیدبیگی، ج، (۱۳۹۹). تخمین تلفات شبکه توزیع فشار ضعیف در حضور سرقت انرژی مبتنی بر اطلاعات موجود در سیستم GIS، مجله مهندسی برق، ۴۹(۴)، ۱۸۳۶-۱۸۲۷.

برهانی بهابادی، ح؛ صدیقی انارکی، ع؛ میرزایی، ا، (اردیبهشت 1390). بررسی تعیین نقش عوامل مؤثر بر کاهش تلفات ناشی از توان راکتیو در شبکه انتقال و فوق توزیع برق استان یزد با در نظر گرفتن حدود پایداری ولتاژ، نوزدهمین کنفرانس مهندسی برق، مهندسی برق، الکترونیک، پزشکی و سرزمین پایدار، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.

بهمن پور، ا، (اردیبهشت ۱۳۸۱). تلفات توان در سیستم توزیع نیرو، هفتمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق، انجمن مهندسی برق و الکترونیک ایران، تهران، ایران.

رحمانی، س؛ امیدواری، م، (۱۳۹۵). ارزیابی ریسک ایمنی در فرآیند توزیع برق با استفاده از روش بهبود یافتهET & BA و رتبه بندی آن با مدل‌های VIKOR و TOPSISدر محیط فازی، بهداشت و ایمنی کار، ۶ (۱)، ۱۲-۱.

رهنمائی هشجین، م، بررسی تاثیر تلفات کلید زنی بر کیفیت توان سیستم های قدرت، ۶ (۲)، ۳۸-۳۱، ۱۳۹۶.

سلطان پور، ع؛ آریافر، ش؛ موسوی راد، س، (تیر ۱۳۹۶). بررسی کاربرد روش تحلیل سلسله مراتبی در طبقه بندی چند معیاره اقلام موجودی، دومین کنفرانس سالانه اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

شماخته, ج، (اردیبهشت ۱۳۹۶). تلفات در سیستم توزیع برق و روش‌های شناسایی و کاهش آنها، سومین کنفرانس سالانه ملی مهندسی مکانیک و راهکارهای صنعتی، مرکز علمی آموزشی و پژوهشی ارگ، مشهد، ایران.

صادقی خمامی، م؛ مقیمی، س، (۱۳۸۷). مروری بر روشهای محاسبه ، ارزیابی و تخمین تلفات در شبکه های توزیع نیروی برق، شرکت توانیر- معاونت هماهنگی توزیع-دفتر نظارت بر توزیع، تهران.

عمادی نژاد، ا، (دی ۱۳۹۵). بررسی تلفات شبکه‌های توزیع و انتقال برق و ارائه راهکار کاهش تلفات، یازدهمین سمپزیوم پیشرفت‌های علوم و تکنولوژی کاهش تلفات، مهندسی برق، الکترونیک، پزشکی و سرزمین پایدار، موسسه آموزش عالی خاوران، مشهد، ایران.

لطفی، غ، (۱۳۸۸). اولویت بندی روشهای کاهش تلفات برق در شرکت توزیع برق شیراز بر اساس AHP فازی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد، ایران.

محمدیان ، ح؛ فیاض ، ع، (اردیبهشت ۱۳۷۵) تحلیل عوامل تلفات و تعیین اولویت کاهش آنها در شبکه فشار ضعیف، ششمین کنفرانس سراسری شبکه های توزیع نیروی برق، شرکت برق منطقه استان مازندران، بابلسر، ایران.

محمدیان فروشانی، م، (اردیبهشت ۱۳۹۶). مجموع عوامل تلفات در توزیع برق و خطوط انتقال، سومین کنفرانس ملی رویکردهای نوین در مهندسی کامپیوتر و برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودسر، رودسر، ایران.

محمدی، م، نامتعادلی بار در شبکه های توزیع، (اسفند ۱۳۹۴). دومین کنفرانس بین المللی پژوهش در علوم و تکنولوژی، موسسه سرآمد همایش کارین، استانبول، ترکیه.

منجذب، م؛ رضایی موحد، ب، (۱۳۹۸). طراحی مدل پیش‌بینی تلفات در شبکه‌های انتقال و توزیع برق: مقایسه رویکردهای پویایی سیستمی و اقتصادسنجی، فصلنامه پژوهش های سیاست گذاری وبرنامه ریزی انرژی، ۵ (۳)،۱۸۲-۱۵۱.

## زیرنویس‌ها

[1] Analytic Hierarchy Process (AHP)

[2] Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)


www.SID.ir