

ارائه مدل ریاضی به منظور اندازه‌گیری قابلیت اطمینان در شبکه توزیع برق قدرت

محمد شایسته فرد،

دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی، گروه مدیریت صنعتی، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، تهران، ایران.

m_sh1782@yahoo.com

مجید معتمدی،

نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات، استادیار گروه مدیریت صنعتی، واحد نوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، نوشهر، مازندران، ایران.

mmoatamedy@gmail.com

محمد حسین درویش متولی،

استادیار گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. mhd.darvish@gmail.com

محمد مهدی موحدی

دانشیار گروه مدیریت صنعتی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، تهران، ایران. mmmovahedi@gmail.com

چکیده: امروزه پیشرفت روز افزون در فناوری، گسترش و توسعه نیازهای بشر به تکنولوژی‌های پایدار سبب شده تا توجه به انرژی الکتریکی بیش از گذشته در مرکز توجه قرار گیرد. از این‌رو افزایش قابلیت اطمینان در سیستم‌های الکتریکی در صنعت برق بسیار حائز اهمیت می‌باشد. هدف از این پژوهش ارائه مدل ریاضی جهت محاسبه و افزایش قابلیت اطمینان در شبکه توزیع برق قدرت می‌باشد. این پژوهش از نظر هدف و نتایج، کاربردی و از منظر روش و ماهیت اجرا مبتنی بر پژوهش عملیاتی است که با بهره‌گیری از مدل‌سازی ریاضی و با استفاده از نرم‌افزار پایتون بر اساس داده‌هایی در بازه زمانی ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۲ انجام شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد پارامترهایی نظیر دژنکتورها، باسبارهای فشار قوی و فشار ضعیف، ترانس‌های قدرت ۲۰ کیلو ولت به ۴۰۰ ولت، کابل‌های ارتباطی، خازن، ژنراتور و یو پی اس در محاسبه قابلیت اطمینان این شبکه از اهمیت بالاتری برخوردار هستند. از این رو با عنایت به هدف و محدودیت‌های متناظر با هر پارامتر مدل ریاضی مناسب ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد پس از ۵۰ تکرار و شبیه‌سازی، خط فوق اضطراری از بین چهار فیدر خروجی دارای اهمیت و رتبه بالاتری در قابلیت اطمینان می‌باشد. ضمناً بر اساس مدل ارائه شده مشاهده شده است کل خط بیست کیلوولت تحت بررسی دارای ۰.۶۷ درجه از قابلیت اطمینان می‌باشد. نتایج این تحقیق می‌تواند مبنای مناسبی جهت اجرای پروژه‌های پژوهشی و عملیاتی در شبکه‌های گسترده شعاعی در صنعت برق به شمار آید.

واژه‌های کلیدی: قابلیت اطمینان، شبکه قدرت، سیستم‌های الکتریکی

کیفیت و پایداری برق‌رسانی، یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها برای مصرف‌کنندگان بزرگ و کوچک (خانوارها) می‌باشد. قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت به دو صورت آنلاین (برای شرایط عملیاتی فعلی)، و آفلاین (برای گسترش بالقوه) مورد ارزیابی قرار می‌گیرد [3].

مفهوم اول به معنای قابلیت اطمینان سیستم در حالت استاتیک بوده و بستگی به وجود میزان کافی امکانات در سیستم، جهت تأمین بار مورد تقاضای مشترکین یا تأمین اهداف بهره‌برداری سیستم دارد. این امکانات شامل تجهیزات

۱. مقدمه

قابلیت اطمینان یک سیستم بیانگر میزان اطمینان به عملکرد صحیح و مطلوب یک سیستم در شرایط عادی و غیر عادی است که با کیفیت یک محصول در طول زمان ارتباط دارد [1]. احتمال آنکه یک سیستم وظیفه محوله‌اش را تحت شرایط محیطی مشخص، درست انجام دهد رایج‌ترین تعریف از قابلیت اطمینان می‌باشد [2].

corresponding author: mmoatamedy@gmail.com

<https://doi.org/10.48313/jqem.2023.194548>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۰۲

دوره ۱۳/ شماره ۲

صفحات ۲۳۱-۲۵۲

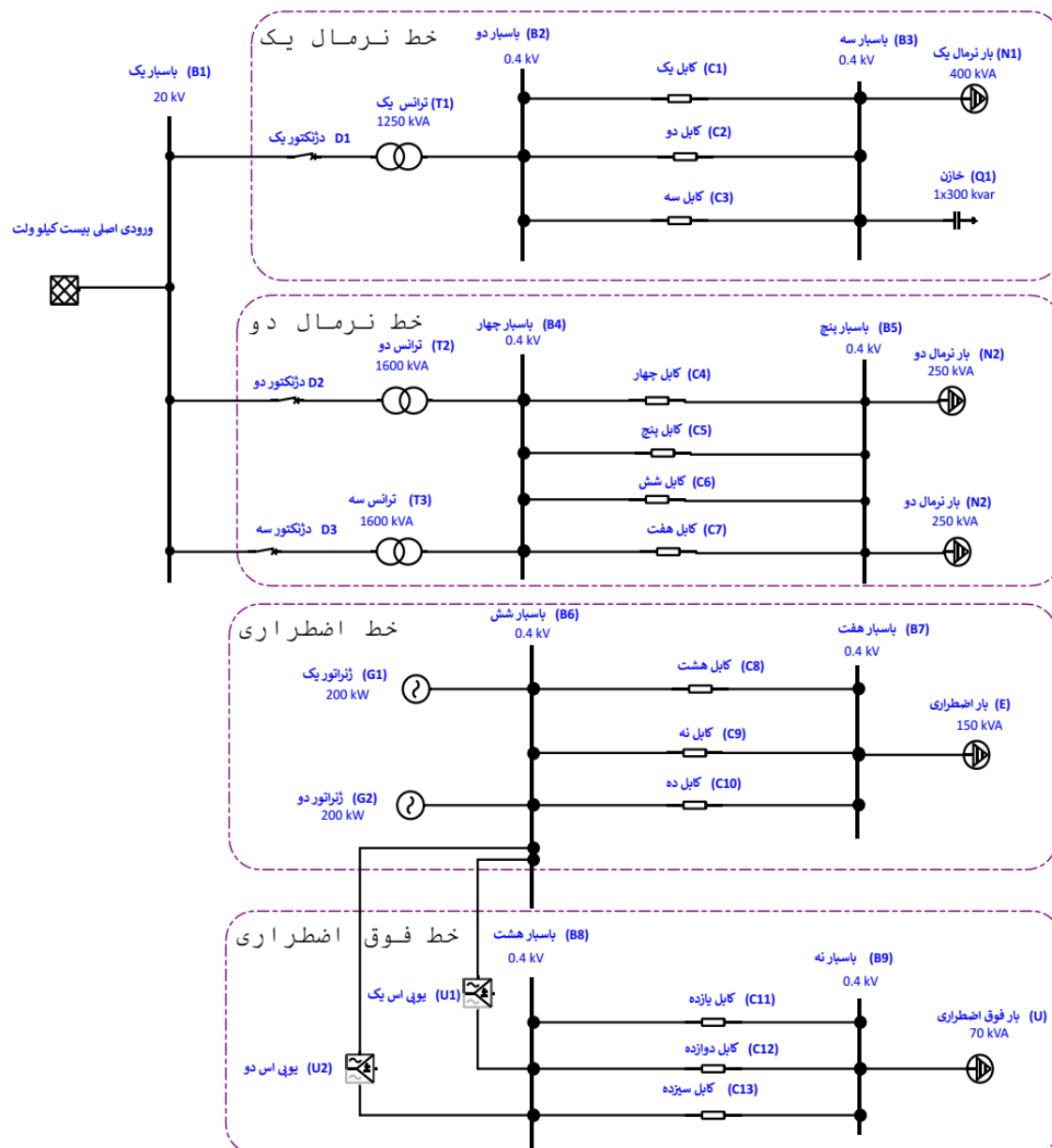
قابلیت اطمینان سیستم برق‌رسانی (قدرت)، بر آن شدیم تا چندین پارامتر که به هم مرتبط نیز می‌باشند را در رابطه با قابلیت اطمینان سیستم قدرت شناسایی و اولویت‌بندی نماییم. این پژوهش در پی آن است تا در مرحله اول پارامترها و شاخص‌های مؤثر بر قابلیت اطمینان شبکه برق قدرت را شناسایی نماید و در مرحله دوم با توجه به شاخص‌ها و پارامترها، اهداف و محدودیت‌ها را در فرم یک مدل برنامه‌ریزی خطی ارائه نماید به گونه‌ای که قادر به اندازه‌گیری قابلیت اطمینان در یک شبکه چند سطحی و شعاعی از انتقال برق قدرت باشد.

در یک نگاه کلی می‌توان یک شبکه قدرت را به سه بخش عمده تولید، انتقال و توزیع تقسیم‌بندی نمود. هر یک از این بخش‌ها دارای تجهیزات گوناگونی می‌باشند که عملکرد هر یک می‌تواند در تأمین نیاز مشترکین تأثیر به‌سزائی داشته باشد [5]. اولین گام برای ارزیابی و بهبود قابلیت اطمینان سیستم، تعیین معیارهایی برای اهداف طراحی می‌باشد. این معیارها با توجه به نیازهای مصرف‌کنندگان برآورد می‌شود. شکل ۱ شمای کوچکی از سیستم قدرت را نشان می‌دهد. می‌توان المان‌های مختلفی نظیر باسبارهای فشار قوی و فشار ضعیف، دژنکتور، ترانس، خط انتقال فشار ضعیف، بانک خازنی را مشاهده نمود. در هر خط وجود یا عدم وجود هر المان تأثیر بسیار زیادی در خروجی انتهایی سیستم که همان بار مصرفی می‌باشد خواهد داشت. در نتیجه در برخی خطوط که اهمیت بیشتری دارند از المان‌های موازی نیز استفاده شده تا به کمک آن‌ها قابلیت اطمینان افزایش یابد. در شکل ۱، چهار فیدر^۲ ملاحظه می‌گردد که هر کدام با توجه به اهمیتی که هر بار در هر خط تغذیه می‌شوند از المان‌های مخصوص خود استفاده کرده‌اند.

لازم برای تولید انرژی الکتریکی به مقدار کافی، تجهیزات مناسب و کافی در بخش‌های انتقال و توزیع به منظور منتقل کردن انرژی الکتریکی از محل تولید به نقاط بار متصل به سیستم است. به عبارت بهتر شایستگی سیستم، تحت شرایط استاتیک که اغتشاشات سیستم را در بر نمی‌گیرد، ارزیابی می‌شود. مفهوم دوم یعنی قابلیت اعتماد سیستم، به توانایی سیستم برای پاسخگویی به اغتشاشاتی که به سیستم وارد می‌شود، بستگی دارد. بنا بر این قابلیت اعتماد سیستم به وسیله پاسخ سیستم به هر حادثه و آشفتگی که به سیستم وارد می‌شود و سیستم متحمل آن می‌گردد، ارزیابی می‌شود و به عبارت بهتر قابلیت اطمینان سیستم در حالت دینامیکی را بررسی می‌کند. برای مثال در این خصوص می‌توان به استفاده از تجهیزاتی به نام UPS^۱ در برخی از مصارف حساس نام برد. طرز کار این تجهیز بدین صورت می‌باشد که مصارفی که از UPS تغذیه می‌شوند [4]، ضمن داشتن ولتاژی کاملاً سینوسی و بدون هیچ‌گونه امواج در ولتاژ و تغییر در فرکانس، حتی در شرایطی که بر اثر اتفاق یا حادثه‌ای برق قطع شود هم می‌تواند بدون هیچ‌گونه مشکلی در مصارف به‌صورت پیوسته و بدون هیچ قطعی برق را به مصرف‌کننده برساند. حوادث و آشفتگی‌های ایجاد شده، شامل شرایطی است که به وسیله اغتشاشات تصادفی در هر نقطه از سیستم ممکن است به‌وجود آید و منجر به از دست رفتن هزینه‌ی ایجاد شده جهت تولید و انتقال انرژی برای مدت طولانی یا کوتاه گردد.

با توجه به اینکه تا کنون مطالعه‌ای در خصوص شناسایی پارامترهای اثرگذار بر قابلیت اطمینان در یک سیستم قدرت زنجیره‌وار و پیوسته مانند زنجیره تأمین و به‌صورت چند سطحی مشاهده نشده است و با عنایت به اهمیت توجه به

² feeder¹ uninterruptible power supply



شکل ۱- شمای کلی سیستم قدرت مورد مطالعه به همراه ۴ مصرف کننده (محقق یافت)

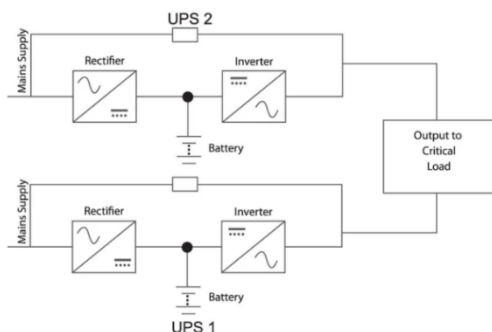
متفاوت با کلیدهای برقی که در همه جا مشاهده می شود دارند. هدف از وجود این کلیدها قطع و وصل مدار به علت کارهای تعمیراتی یا حفاظت از سیستم می باشد [7]. همان قدر که وجود این تجهیز ضروری است، درست کار نکردن آن در مواقع عادی یا حساس هم می تواند منجر به پایین آمدن یا حتی از بین رفتن کامل قابلیت اطمینان نیز شود. سیستم داخلی این کلیدها باید به گونه ای باشد که در هنگام قطع و وصل کردن کلید جرقه های شدید حاصل از این قطع و وصل

برای تشخیص بهتر هر المان، توضیحات کوتاهی ارائه می گردد: D، دژنکتور فشار قوی است و نقش کلید را ایفا می کند تا در شرایط نیاز یا وجود اتصالی در مصارف قطع شود. قابلیت اطمینان این تجهیز تابع طول عمر، دمای کار، ظرفیت، الودگی، رطوبت هوا، تنش های تابلو، ولتاژ کار، نحوه نگهداری، ظرفیت جریانی و .. می باشد [6]. دژنکتور به کلیدهای فشار قوی گفته می شود که قابل استفاده در ولتاژهای بسیار بالا می باشند و ساختاری کاملاً تخصصی و

ژنراتور: بارهای اضطراری را تغذیه می‌کنند و در این سیستم مصارفی هستند که بعد از قطع شدن برق و حدوداً بعد از ۱۵ ثانیه (زمان روشن شدن و زیر بار رفتن ژنراتور) برقرار شده و کار عادی خود را انجام می‌دهند. مانند روشنایی قسمتی از ساختمان‌ها و یا سیستم سرمایش یا گرمایش استودیوهای پخش.

UPS، به معنی منبع تغذیه بدون وقفه می‌باشد. این تجهیز برای جاهایی که دارای اهمیت بسیار بالایی هستند و تحت هیچ شرایطی نباید ولتاژ خروجی قطع شود مورد استفاده قرار می‌گیرد این تجهیز بارهای فوق اضطراری را تغذیه می‌کنند و مصارفی را شامل می‌شوند که چه برق شهر باشد و چه نباشد خروجی آن برقرار بوده و بدون وقفه برق‌رسانی را به مصارف انجام می‌دهد [4].

قابلیت اطمینان در یوپی‌اس وابسته به عوامل بسیار زیادی می‌باشد. این تجهیز بسیار پیچیده و گران می‌باشد و حتی برند تولیدکننده این دستگاه و باتری‌ها و تعداد زنجیره‌های باتری هم در قابلیت اطمینان آن تأثیرگذار می‌باشد. ولی چون در این سیستم از برند یکسان و تعداد زنجیره باتری یکسان با برند یکسان استفاده شده است، در این مقایسه این پارامترها لحاظ نمی‌گردد. چیدمان UPS نیز در موضوع یاد شده حائز اهمیت می‌باشد. شکل ۲ دو دستگاه موازی را نشان می‌دهد که این آرایش باعث افزایش قابلیت اطمینان نیز خواهد شد.



شکل ۲- بلوک دیاگرام داخلی یوپی‌اس

ادبو^۳ قابلیت اطمینان یوپی‌اس با یک سیستم کنترلی را با دستگاهی با چند سیستم کنترلی مقایسه کرده و با استفاده از تابع چگالی احتمال وایبول تغییرات نرخ شکست ناشی از افزایش دما را در آن تحلیل و بررسی نموده است [12]. این دستگاه هم مانند تجهیزات دیگر از نمودار وانی شکل پیروی می‌کند که قسمت چپ زمان سوختگی و تست ابتدایی

را خاموش کند و به بیرون منتقل نکند. جیمز تول^۱ و همکاران [8]. نقش قابلیت اطمینان در انواع کلیدها را بررسی کرده‌اند همچنین خسروپناه و همکاران [9] به مطالعه‌ای در خصوص نقش و کاربرد انواع کلیدهای فشار قوی در افزایش قابلیت اطمینان پرداخته‌اند.

T، ترانس کاهنده می‌باشد که ولتاژ ۲۰ کیلو ولت (فشار قوی) را به ۴۰۰ ولت (فشار ضعیف) که قابل استفاده برای مصارف می‌باشد، تبدیل می‌کند.

ترانسفورماتور قدرت تجهیز است که ولتاژ بالا را به پایین و بالعکس تبدیل می‌کند. در هنگامی از بار فاصله داریم باید از ولتاژ بالاتر استفاده کنیم تا تلفات کمتری داشته باشیم و زمانی که نزدیک به مصرف‌کننده می‌رسد باید ولتاژ به ۲۳۰ ولت تک‌فاز یا ۴۰۰ ولت سه فاز تبدیل شود تا تجهیزات و مصارف مثل مصارف خانگی بتوانند با این ولتاژ کار کنند. طبیعتاً عملکرد درست یا غلط این تجهیز هم بر روی قابلیت اطمینان سیستم نیز تأثیر خواهد گذاشت.

B، باسبارهای فشار قوی هستند که از جنس شینه‌های مسی بوده و می‌توان از آن خط بیست کیلو را انشعاب گرفت. در شکل بالا سه انشعاب از آن گرفته شده است.

باسبارهای فشار ضعیف مانند فشار قوی از جنس مس می‌باشد و از آن انشعاب مصارف فشار ضعیف گرفته خواهد شد.

کابل‌های انتقال: برای انتقال انرژی بین دو نقطه با فاصله زیاد باید از کابل انتقال استفاده نمود. در این مطالعه از کابل فشار ضعیف برای انتقال ولتاژ طی مسافت یک کیلومتر (با توجه به طراحی که در سیستم پیاده شده) استفاده شده است. کابل‌ها هم مانند باسبارها از جنس مس و در سایزهای مختلف موجود می‌باشد. در این طراحی از سایزهای ۲۴۰ و ۳۰۰ استفاده شده است [4].

دلایل مختلفی برای قطع شدن برق وجود دارد. طبق مطالعه موسسه ادیسون^۲ [10]. ۷۰ درصد از قطعی‌های برق در آمریکا ناشی از اتفاقات طبیعی مثل رعد و برق، باران، برف و ۱۱ درصد هم ناشی از حیوانات و پرندگان می‌باشد برای همین موضوع قابلیت اطمینان در خطوط زیر زمینی بسیار بالاتر از هوایی می‌باشد [11].

بانک خازنی: در یکی از خطوط از بانک خازنی استفاده شده که اصلاح ضریب قدرت را انجام دهد و ولتاژ باسبار انتهایی خط یک را به حد مطلوب برساند.

³ Addabbo

¹ toula

² Edison Electric Institute

شبکه‌های عصبی برای ارزیابی احتمالی قابلیت اطمینان در سیستم‌های مهندسی توسعه یافته که بسیاری از این روش‌ها برای ارزیابی قابلیت اطمینان در حوزه‌های مختلف سیستم‌های قدرت کاربرد داشته‌اند. به منظور افزایش دقت در محاسبه قابلیت اطمینان، شناسایی و به کارگرفتن شاخص‌های اثرگذار بسیار حائز اهمیت است. مطالعاتی که برای تعیین و اثر شاخص‌های کاربردی در خصوص تأثیر بر قابلیت اطمینان بر سیستم قدرت انجام شده به طور مختصر در ذیل بیان شده‌اند. مطالعه ادبیات نظری و بررسی پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که محاسبه و اندازه‌گیری قابلیت اطمینان در سیستم‌های پیچیده و چندسطحی خطوط برق قدرت دارای اهمیت بسیار زیادی بوده است. عمده پژوهش‌های گذشته با محوریت تجزیه و تحلیل اندازه‌گیری و بهینه‌سازی قابلیت اطمینان و طول عمر اجزای درونی خطوط انتقال برق، ترانسفورماتورها، UPSها و غیره به صورت جداگانه بوده‌اند و اگر هم در پژوهشی پارامترها به صورت یکپارچه در نظر گرفته شده‌اند، به بررسی و تحلیل در یک سیستم ساده الکتریکی پرداخته شده. از این رو آنچه به عنوان خلع یا شکاف در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است ارائه یک مدل ریاضی به منظور اندازه‌گیری قابلیت اطمینان در یک سیستم پیچیده و شعاعی در شبکه توزیع برق قدرت است که علاوه بر دارا بودن پارامترهای سایر پژوهش‌ها، به ارتباط آن‌ها در خطوط موازی از یک سیستم چند سطحی می‌باشد. با توجه به بررسی مطالعات گذشته و پیشینه مرتبط با این پژوهش به چند نمونه اشاره می‌شود:

می‌باشد. بخش وسط عمر مفید و نرمال دستگاه را شامل می‌شود و بخش راست حالت قطع شدن در اثر فرسودگی را شامل خواهد شد [2].



شکل ۳- منحنی تغییرات طول عمر

تمامی UPSها باید مجهز به باتری باشند تا در شرایطی که برق قطع می‌شود بتواند برق را به مصرف‌کننده‌ها برساند پس یکی از ارکان اصل در این تجهیز باتری می‌باشد. برند نوع باتری، آمپر ساعت هر باتری، تعداد زنجیره‌های موازی برای هر دستگاه، طول عمر باتری و دمای محیطی که باتری در آن نگهداری می‌شود همگی در قابلیت اطمینان باتری‌ها و UPSها مؤثر می‌باشند.

بارهای مصرفی: با توجه به نیاز مشترکین که در این مطالعه ساختمان‌های با اهمیت یا کم‌اهمیت و خیلی مهم را شامل می‌شوند هر قسمت بار مختص خود را خواهد داشت [4]. ارزیابی قابلیت اطمینان در یک سیستم قدرت در عمل به محاسبه شاخص‌های کمی برای تشخیص عملکرد نسبی سیستم دلالت می‌کند و علاوه بر محاسبه شاخص‌ها نیاز به انجام تحلیل‌های مختلفی دارد. تاکنون روش‌های متعددی مانند روش مستقیم، جداسازی، کاهش شبکه، درخت خطا، درخت رویدادها، زنجیره مارکوف¹، شبیه‌سازی مونت کارلو² و

² Monte Carlo Simulation

¹ Markov chain

جدول ۱- تحقیقات انجام شده در رابطه با پارامترها و اثرات آن بر قابلیت اطمینان

محقق	سال	عنوان پژوهش	نتایج و روش
خسروپناه و همکاران	۲۰۲۳	کلیدهای قدرت و انواع آن	به بررسی انواع مختلف کلید قدرت و کاربرد و قابلیت اطمینان هر کلید پرداخته شده است [9]
احمدی	۲۰۲۲	اثر هارمونیک بر طول عمر ترانس	کاهش قابلیت اطمینان و طول عمر ترانس در محیط‌های هارمونیکی [8]
مینهاو و همکاران	۲۰۲۲	تجزیه و تحلیل بهینه‌سازی قابلیت اطمینان بر اساس حفاظت ژنراتور	محاسبه قابلیت اطمینان در اثر تنش‌های داخلی ژنراتور و نقش حفاظت‌های ژنراتور در آن [11]
سیانگ لی و همکاران	۲۰۲۲	ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت تجدیدپذیر با توجه به رویدادهای ناشی از حرارت در سیستم مقیاس بزرگ ذخیره انرژی با باتری	به بررسی نقش حرارت و دما بر روی قابلیت اطمینان باتری‌ها در سیستم‌های تجدید پذیر پرداخته شده است [13]
یانگ و همکاران	۲۰۲۱	ارزیابی قابلیت اطمینان دیزل توان بالا با در نظر گرفتن اثرات خرابی موقت	استفاده از مدل زنجیره مارکوف برای ارزیابی قابلیت اطمینان ژنراتور [5]
یویارکین و همکاران	۲۰۲۰	بهبود راندمان محاسباتی تکنیکی برای ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های قدرت الکتریکی	با استفاده از تکنیک مونت کارلو به ارائه روشی برای محاسبه راندمان در جهت افزایش قابلیت اطمینان در سیستم‌های قدرت پرداخته شده است [3]
ژیانگ و همکاران	۲۰۲۰	تعمیر و نگهداری پیشگیرانه در باتری‌های یوپی‌اس	بررسی نقش تعمیرات و نگهداری باتری‌ها در قابلیت اطمینان یوپی‌اس [14]
سانتانا و همکاران	۲۰۱۹	ارزیابی قابلیت اطمینان کابل‌های برق با در نظر گرفتن ویژگی ترمیم	مقایسه اثر قابلیت اطمینان برای کابل‌های قابل تعمیر و غیر قابل تعمیر [15]
رحیمی و همکاران	۲۰۱۸	تحلیل قابلیت اطمینان آرایش‌های مازاد متداول برای کلیدهای قدرت و ارائه ساختار مازاد جدید	بررسی و تحلیل انواع آرایش‌های کلیدهای قدرت در افزایش قابلیت اطمینان [9]
افضلی و همکاران	۲۰۱۷	نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه و اصلاحی به منظور بهره‌وری طول عمر ترانسفورماتور قدرت با در نظر گرفتن اثر فرسودگی بر قابلیت اطمینان	با استفاده از الگوریتم جستجوی کلاخ توسعه یافته به ارائه روش بهینه برای تعمیر و نگهداری ترانسفورماتور قدرت پرداخته شده است [16]
آدا فورت و همکاران	۲۰۱۷	تجزیه و تحلیل در خصوص بردهای کنترلی یوپی‌اس	مقایسه بردهای منترلی مختلف در افزایش قابلیت اطمینان یوپی‌اس‌ها [12]
میلانویچ	۲۰۱۷	عوامل مؤثر بر طول عمر ترانس	نقش دما را بررسی کرده است که هرچه دما بالاتر رود طول عمر ترانس و قابلیت اطمینان آن نیز کم خواهد شد [17]
امیری و همکاران	۲۰۱۷	تحلیل قابلیت اطمینان سیستم‌های موازی و سری تعمیرپذیر با استفاده از متغیرهای فازی تصادفی	بررسی عملکرد تعمیر پذیری اجزا در سیستم‌های سری و موازی مقایسه شده‌اند [18]
نعمتی و همکاران	۲۰۱۵	بررسی قابلیت اطمینان در کابل‌های زیرزمینی	با استفاده از الگوریتم PGD قابلیت اطمینان در ۵ مورد مختلف از کابل‌های زیرزمینی بررسی شده است [8]
اولیتان و همکاران	۲۰۱۵	ارزیابی قابلیت اطمینان در ups	نقش قابلیت اطمینان ups در سیستم‌های پزشکی [19]
سلوبودان و همکاران	۲۰۱۳	مقایسه پیکربندی یوپی‌اس در قابلیت اطمینان	مقایسه حالت‌های مختلف استقرار یوپی‌اس‌ها و نقش هر کدام در افزایش قابلیت اطمینان [20]
واتر و همکاران	۲۰۱۲	نقش الودگی در قابلیت اطمینان ترانسفورماتور	نقش آلودگی در یکی از شهرهای هلند در کم شدن طول عمر ترانس بین ۶۰ تا ۳۰ سال پرداخته و برای این نقش مدلی ارائه نموده است [21]

و متغیرها به صورت ترکیبی می‌باشند. محیط مورد مطالعه خطوط برق بیست کیلو ولت و چهارصد ولت سازمان صدا و سیما که در آن قابلیت اطمینان بسیار با اهمیت می‌باشد، در نظر گرفته شده است. در این پژوهش به منظور شناسایی شاخص‌ها و پارامترهای با ضریب اهمیت بالا در قابلیت اطمینان

۲. روش‌شناسی تحقیق

این پژوهش از نظر هدف کاربردی است و به لحاظ ماهیت اجرا مبتنی بر پژوهش عملیاتی می‌باشد. از نظر زمان مقطعی است

جدول ۲- تعریف پارامترهای مدل سازی

W_i $i = 1,2,3,4$	وزن خطوط نرمال ۱، نرمال ۲، اضطراری و فوق اضطراری
RV_{Bi} $i = 1,2 \dots, 9$	قابلیت اطمینان ولتاژ با سبارها (تعداد مواردی که ولتاژ صفر شده) در بازه زمینی ۱۳۹۸-۱۴۰۲
RL_{Bi} $i = 1,2 \dots, 9$ RL_{Di} $i = 1,2,3$ RL_{Ti} $i = 1,2,3$ RL_{Ci} $i = 1,2,3$ RL_Q RL_{Gi} $i = 1,2$ RL_{Di} $i = 1,2,3$ RL_{ui} $i = 1,2$	قابلیت اطمینان طول عمر با سبارها، دژکتور، کابل، ترانس، خازن، یوپی اس، ژنراتور با استفاده از توزیع وایبول $R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta\right]$
RSD_i $i = 1,2,3$ RST_i $i = 1,2,3$ RSC_i $i = 1,2,3$ SQ RS_{Gi} $i = 1,2$ RS_{ui} $i = 1,2$	ظرفیت جریانی دژکتور، ترانس، کابل طبق رابطه $S = \sqrt{3} * V * I$ و تابع فازی مثلثی
RT_{ti} $i = 1,2,3$ Rt_{Ci} $i = 1,2 \dots, 13$ Rt_Q Rt_{bui} $i = 1,2$ Rt_{bGi} $i = 1,2$	قابلیت اطمینان و تأثیر دما در آن به صورت دوزنقه یا مثلثی فازی
n_T	تعداد ترانس
K_{Ci}	طول کابل بر حسب متر

مطابق شکل ۱ چندین خط برای مصرف کننده‌های مختلف وجود دارد که قابلیت اطمینان کل خط‌ها که ناشی از خروجی و قابلیت اطمینان ۴ خط می‌باشد از رابطه زیر به دست خواهد آمد:

$$Max Z = (1 - (1 - W_1 R_{N1}) * (1 - W_2 R_{N2}) * (1 - W_3 R_E) * (1 - W_4 R_{Ti}))$$

در رابطه بالا W وزن هر کدام از خطوط می‌باشد همچنین R_{N1} ، قابلیت اطمینان خط نرمال شماره یک، که شامل بارهای معمولی و کم اهمیت مثل روشنایی معابر یا اتاق‌های اداری معمولی می‌باشد که با قطع شدن برق شهر، مصارف هم خاموش خواهند شد.

R_{N2} ، قابلیت اطمینان خط نرمال شماره دو بوده و بارهایی هستند که از نظر اهمیت اندکی از نرمال یک بیشتر هستند مثل روشنایی داخل ساختمان‌های با اهمیت بیشتر نسبت به قبل و سیستم تهویه اتاق‌های اداری که مانند قبل در این خط هم با قطع شدن برق شهر، مصارف هم خاموش خواهند شد.

سیستم‌های چند سطحی و موازی در خطوط برق قدرت از نظرات خبرگان اهل فن که تعداد این افراد ۱۵ نفر با سابقه کار ۲۰ سال به بالا و مدرک دانشگاهی مهندسی برق قدرت می‌باشند و در محل کار خدمتی خود نیز از افراد کلیدی و تصمیم‌گیر هستند استفاده شده است.

فرایند انجام این پژوهش به شرح زیر است:

در ابتدا با مطالعه بر روی مطالعات گذشته این نتیجه حاصل شده است که در هیچ مطالعه‌ای تمامی پارامترهای مهم و اثر گذار که در پیشینه ذکر شده با هم بررسی نشده‌اند و در خیلی از موارد مانند دما یا طول عمر می‌توانند هم روی خود و هم روی سایر المان‌هایی که در قابلیت اطمینان مؤثر هستند تأثیر بگذارند سپس با استفاده از خروجی مقالات مطالعه شده و کتب فنی، عوامل مؤثر در این تجهیزات را که نزدیک به حدود ۲۰ مورد بوده‌اند برای بررسی و نظر خبرگان تعیین شده‌اند. پس از غربالگری پارامترها به حدود ۱۳ مورد تقلیل یافت. در این پژوهش به منظور اولویت‌بندی شاخص‌ها و پارامترهای اثر گذار جهت فرموله سازی مدل ریاضی از تکنیک دلفی فازی استفاده شده است. همچنین به دلیل مستقل بودن ۴ خط موجود در این شبکه و مصرف مستقل بار الکتریکی مصرفی در آن‌ها از تکنیک AHP^1 به منظور تعیین اوزان خطوط استفاده شده است.

قابلیت اطمینان در هر المان با توجه به مشخصات فنی که دارد، متغیر می‌باشد به عنوان مثال قابلیت اطمینان در یک ترانس توزیع می‌تواند شامل مواردی نظیر طول عمر، دمای کار، ظرفیت، الودگی، رطوبت هوا و غیره باشد. ولی چندین عامل می‌تواند تأثیر یا وزن بیشتری نسبت به عوامل دیگر داشته باشند. با عنایت به پارامترها و شاخص‌های شناسایی شده و مورد استفاده در مدل ریاضی ارائه شده، به تعریف این پارامترها می‌پردازیم:

¹ Analytical Hierarchy Process

همان‌طور که انتظار می‌رود بارهایی که مربوط به یوپی‌اس می‌باشد باید دارای اهمیت بیشتری نیز باشند و طبیعتاً باید دارای بالاترین قابلیت اطمینان هم باشند (به این مورد در مراحل جلوتر پرداخته خواهد شد).

به دست آمدن پارامترهایی که در مجموع روی قابلیت اطمینان کل سیستم اثرگذار باشد از نکات مهمی است که در مراحل بررسی قابلیت اطمینان بسیار حائز اهمیت می‌باشد. نتیجه کلی در رابطه با اجزایی مثل ترانس‌ها، باسبارها، دژنکتورهای فشار قوی، کابل‌ها، ژنراتورها و یوپی‌اس‌ها از طریق تکنیک دلفی فازی مورد بررسی قرار گرفتند و از طریق AHP وزن‌دهی شدند. و نظر ۱۵ نفر از خبرگان اهل فن که در رابطه با تعیین اوزان خطوط نرمال اضطراری و فوق اضطراری نیز نظر داده بودند پس از طرح سوال و نظر سنجی توسط نرم افزار سوپردسیژن تحلیل شده و در نهایت پارامترهای مثل طول عمر، دما، ظرفیت، تعداد المان‌ها و ولتاژ از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشند. در رابطه با فاکتورهایی که دارای رتبه بالاتری نسبت به بقیه از نظر اهمیت و تأثیر گذاری بر قابلیت اطمینان می‌تواند داشته باشد می‌توان به دما اشاره کرد. دما در تمامی تجهیزات سیستم قدرت که در شکل ۱ نشان داده شده است، مورد استفاده قرار می‌گیرد دارای اهمیت می‌باشد و در رتبه اول می‌باشد. دمای بالا روی طول عمر تجهیزات و در نتیجه قابلیت اطمینان سیستم قدرت تأثیر بسیار بالایی خواهد داشت. در رتبه دوم می‌توان به طول عمر اشاره کرد که دارای وزن پایین تری نسبت به پارامتر دما می‌باشد و رتبه سوم ولتاژ می‌باشد.

معادلات قابلیت اطمینان در هر یک از خطوط با توجه به تجهیزات سری و موازی مطابق شکل یک با توجه به روابط زیر به دست خواهند آمد:

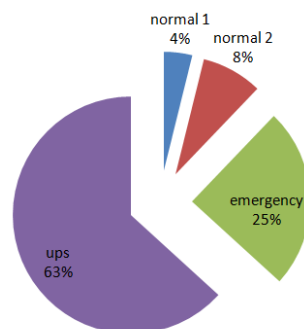
R_E ، قابلیت اطمینان خط اضطراری است و بارهای اضطراری نام دارند. یعنی با قطع شدن برق پس از زمانی حدود ۱۵ ثانیه که ژنراتور روشن می‌شود مجدد برقرار خواهند شد و خاموشی وقت زیادی را نمی‌گیرد مانند روشنایی استودیوها یا سیستم های خنک کننده.

R_U ، بارهای فوق اضطراری نام دارند یعنی تحت هیچ شرایطی نباید خاموش شوند و برق‌رسانی به این بارها باید به صورت مداوم و بدون وقفه انجام گیرد مانند میزهای صدا و تصویر در استودیوهای پخش یا روشنایی استودیوهای پخش زنده یا سیستم های ارسال و دریافت سیگنال.

در ابتدا باید اهمیت هر کدام از خط‌ها مشخص گردد تا درجه اهمیت آنها با توجه به نوع بارهایی که تغذیه می‌کنند تعیین شود.

با تکنیک AHP و استفاده از نظرات ۱۵ تن از خبرگان اهل فن نتیجه به صورت زیر در خواهد آمد :

$$\begin{aligned} \text{Max } Z = & (1 - (1 - 0.039R_{N1})) \\ & * (1 - 0.083R_{N2}) \\ & * (1 - 0.246R_E) \\ & * (1 - 0.633R_U) \end{aligned}$$



شکل ۴- مدل گرافیکی اهمیت هر یک از خطوط موجود در شبکه برق قدرت مورد بررسی

$$\begin{aligned} \text{Max } Z = & (1 - (1 - W_1R_{N1})) * (1 - W_2R_{N2}) * (1 - W_3R_E) * (1 - W_4R_U) \\ R_{N1} = & R_{B1} \cdot R_{D1} \cdot R_{T1} \cdot R_{B2} \cdot (1 - (1 - R_{C1})(1 - R_{C2})(1 - R_{C3})) \cdot R_{B3} \cdot R_Q \\ R_{N2} = & (1 - (1 - R_{D2})(1 - R_{D3})) \cdot (1 - (1 - R_{T2})(1 - R_{T3})) \cdot R_{B4} \cdot (1 \\ & - (1 - R_{C4})(1 - R_{C5})(1 - R_{C6})(1 - R_{C7})) \cdot R_{B5} \\ R_E = & (1 - (1 - R_{G1})(1 - R_{G2})) \cdot R_{B6} \cdot (1 - (1 - R_{C8})(1 - R_{C9})(1 - R_{C10})) \cdot R_{B7} \\ R_U = & (1 - (1 - R_{U1})(1 - R_{U2})) \cdot R_{B8} \cdot (1 - (1 - R_{C11})(1 - R_{C12})(1 - R_{C13})) \cdot R_{B9} \end{aligned}$$

پارامترهای دیگر با وجود محدودیت‌های وابسته به هر پارامتر به دست می‌آید.

معادلات بالا مربوط به قابلیت اطمینان هر کدام از خطوط موجود در شکل ۱ می‌باشد. در هر خط هر پارامتر از محاسبه

با توجه به محیط قرار گیری این تجهیزات و استفاده از نظر خبرگان و کاتالوگ‌های فنی محدودیت‌هایی تعیین می‌گردد. در روابط پایین ملاحظه می‌گردد هر پارامتر چگونه و با چه محدودیت‌هایی رو به رو خواهد بود. برخی محدودیت‌ها مربوط به مشخصات فنی هر تجهیز و برخی مربوط به نحوه طراحی آن می‌باشد. برخی دیگر که به‌صورت عدد نوشته شده به‌عنوان مثال ولتاژ باسبار شماره یک با استفاده از داده‌های ولتاژ که چند مرتبه در مدت سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۲ قطع شده است، به‌دست آمده است. برخی متغیرها نیز از روش‌های فازی محاسبه شده است.

$$1600 \leq s_{Ti} \leq 2000, \quad i = 2,3$$

$$20^\circ \leq t_{Ti} \leq 110^\circ, \quad i = 1,2,3$$

$$1 \leq n_{TN2} \leq 3$$

$$R_{B4} = RL_{B4} \cdot RV_{B4}$$

$$RV_{B4} = 0.991$$

$$R_{C4} = L_{C4} \cdot S_{C4} \cdot t_{C4} \cdot n_{C4} \cdot K_{C4}$$

$$R_{C5} = L_{C5} \cdot S_{C5} \cdot t_{C5} \cdot n_{C5} \cdot K_{C5}$$

$$R_{C6} = L_{C6} \cdot S_{C6} \cdot t_{C6} \cdot n_{C6} \cdot K_{C6}$$

$$R_{C7} = L_{C7} \cdot S_{C7} \cdot t_{C7} \cdot n_{C7} \cdot K_{C7}$$

$$300 \leq S_{Ci} \leq 400, \quad i = 4,5,6,7$$

$$0^\circ \leq t_{Ci} \leq 70^\circ, \quad i = 1,2,3, \dots, 13$$

$$1000 \leq K_{ci} \leq 1200 \text{ m}, \quad i = 4,5,6,7$$

$$1 \leq n_{c4} \leq 3$$

$$1 \leq n_{c5} \leq 3$$

$$1 \leq n_{c6} \leq 3$$

$$1 \leq n_{c7} \leq 3$$

$$R_{B5} = RL_{B5} \cdot RV_{B5}$$

$$RV_{B5} = 0.991$$

$$R_{G1} = L_{G1} \cdot t_{bG1} \cdot S_{G1}$$

$$R_{G2} = L_{G2} \cdot t_{bG2} \cdot S_{G2}$$

$$10^\circ \leq t_{bGi} \leq 40^\circ, \quad i = 1,2$$

$$200 \leq S_{Gi} \leq 400 \text{ kw}, \quad i = 1,2$$

$$R_{B6} = RL_{B6} \cdot RV_{B6}$$

$$R_{B7} = RL_{B7} \cdot RV_{B7}$$

$$RV_{B6} = 0.993 \quad RV_{B7} = 0.993$$

$$R_{C8} = L_{C8} \cdot S_{C8} \cdot t_{C8} \cdot n_{C8} \cdot K_{C8}$$

$$R_{C9} = L_{C9} \cdot S_{C9} \cdot t_{C9} \cdot n_{C9} \cdot K_{C9}$$

$$R_{C10} = L_{C10} \cdot S_{C10} \cdot t_{C10} \cdot n_{C10} \cdot K_{C10}$$

$$300 \leq S_{Ci} \leq 400, \quad i = 8,9,10$$

$$0^\circ \leq t_{Ci} \leq 70^\circ, \quad i = 1,2,3, \dots, 13$$

$$1 \leq n_{c8} \leq 3$$

$$1 \leq n_{c9} \leq 3$$

$$1 \leq n_{c10} \leq 3$$

$$1000 \leq K_{ci} \leq 1200 \text{ m}, \quad i = 8,9,10$$

$$R_{u1} = L_{u1} \cdot L_{bu1} \cdot S_{u1} \cdot t_{bu1}$$

$$R_{u2} = L_{u2} \cdot L_{bu2} \cdot S_{u2} \cdot t_{bu2}$$

$$0 \leq L_{bui} \leq 43800 \text{ h}, \quad i = 1,2$$

$$85 \leq s_{ui} \leq 120 \text{ kw}, \quad i = 1,2$$

$$15^\circ \leq t_{bui} \leq 35^\circ, \quad i = 1,2$$

$$R_{B8} = RL_{B8} \cdot RV_{B8}$$

$$RV_{B8} = 0.999$$

جلد ۱۳ - شماره ۳ - پاییز ۱۴۰۲

فاکتور طول عمر با استفاده از توزیع وایبل محاسبه و ارزیابی شده. قابلیت اطمینان ولتاژ باسبارها با توجه به آمار قطع شدن ولتاژ در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۲ به‌دست آمده است. سایر پارامترها مانند سائز که با S در فرمول‌ها نشان داده شده مانند کابل‌ها، ترانس‌ها، دژنکتور، ژنراتور و یوپی‌اس با توجه به محاسبات برقی که در طراحی یک پروژه و در ابتدا انجام می‌دهند به‌دست آمده است. در فاکتور دما که با t نشان داده شده در برخی تجهیزات مثل باتری، ترانس، کابل دارای عنصر بسیار تأثیرگذار در افزایش یا کاهش قابلیت اطمینان می‌باشد

$$R_{B1} = RL_{B1} \cdot RV_{B1}$$

$$RV_{B1} = 0.989$$

$$R_{D1} = RL_{D1} \cdot RS_{D1}$$

$$36 \text{ A} \leq S_{D1} \leq 40 \text{ A}$$

$$R_{T1} = RL_{T1} \cdot RS_{T1} \cdot Rt_{T1} \cdot Rn_{T1}$$

$$1250 \leq S_{T1} \leq 2000$$

$$20^\circ \leq t_{Ti} \leq 60^\circ, \quad i = 1,2,3$$

$$1 \leq n_{T1} \leq 2$$

$$R_{B2} = RL_{B2} \cdot RV_{B2}$$

$$RV_{B2} = 0.987$$

$$R_{B3} = RL_{B3} \cdot RV_{B3}$$

$$RV_{B3} = 0.986$$

$$R_{C1} = RL_{C1} \cdot RS_{C1} \cdot Rt_{C1} \cdot Rn_{C1} \cdot RK_{C1}$$

$$240 \leq S_{Ci} \leq 400, \quad i = 1,2,3$$

$$0^\circ \leq t_{Ci} \leq 70^\circ, \quad i = 1,2,3, \dots, 13$$

$$1000 \leq K_{ci} \leq 1500 \text{ m}, \quad i = 1,2,3$$

$$1 \leq n_{CN1} \leq 3$$

$$R_{C2} = RL_{C2} \cdot RS_{C2} \cdot Rt_{C2} \cdot Rn_{C2} \cdot RK_{C2}$$

$$240 \leq S_{Ci} \leq 400, \quad i = 1,2,3$$

$$0^\circ \leq t_{Ci} \leq 70^\circ, \quad i = 1,2,3, \dots, 13$$

$$1 \leq n_{CN1} \leq 3$$

$$1000 \leq K_{ci} \leq 1500 \text{ m}, \quad i = 1,2,3$$

$$R_{C3} = RL_{C3} \cdot RS_{C3} \cdot Rt_{C3} \cdot Rn_{C3} \cdot RK_{C3}$$

$$240 \leq S_{Ci} \leq 400, \quad i = 1,2,3$$

$$0^\circ \leq t_{Ci} \leq 70^\circ, \quad i = 1,2,3, \dots, 13$$

$$1 \leq n_{CN1} \leq 3$$

$$1000 \leq K_{ci} \leq 1300 \text{ m}, \quad i = 1,2,3$$

$$R_Q = RL_Q \cdot RS_Q \cdot Rt_Q \cdot RV_Q$$

$$300 \text{ kvar} \leq s_Q \leq 400 \text{ kvar}$$

$$0^\circ \leq t_Q \leq 45^\circ$$

$$380 \text{ v} \leq V_Q \leq 400 \text{ v}$$

$$R_{D2} : L_{D2} \cdot S_{D2}$$

$$35 \text{ A} \leq S_{Di} \leq 55 \text{ A}, \quad i = 2,3$$

$$R_{D3} : L_{D3} \cdot S_{D3}$$

$$35 \text{ A} \leq S_{Di} \leq 55 \text{ A}, \quad i = 2,3$$

$$R_{T2} : L_{T2} \cdot S_{T2} \cdot t_{T2} \cdot n_{T2}$$

$$1600 \leq s_{Ti} \leq 2000, \quad i = 2,3$$

$$5^\circ \leq t_{Ti} \leq 75^\circ, \quad i = 1,2,3$$

$$1 \leq n_{TN2} \leq 3$$

$$R_{T3} = L_{T3} \cdot S_{T3} \cdot t_{T3} \cdot n_{T3}$$

نشریه مهندسی و مدیریت کیفیت

$$1000 \leq K_{ci} \leq 1100 \text{ m}, \quad i = 11,12,13$$

$$1 \leq n_{C11} \leq 3$$

$$1 \leq n_{C12} \leq 3$$

$$1 \leq n_{C13} \leq 3$$

$$R_{B9} = R_{LB9} \cdot R_{VB9}$$

$$R_{VB9} = 0.99$$

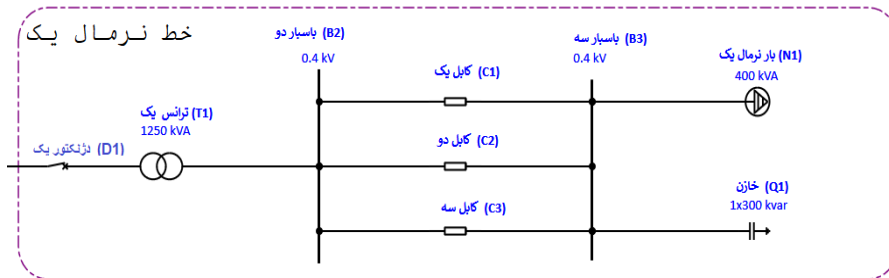
$$R_{C11} = L_{C11} \cdot S_{C11} \cdot t_{C11} \cdot n_{C11} \cdot K_{C11}$$

$$R_{C12} = L_{C12} \cdot S_{C12} \cdot t_{C12} \cdot n_{C12} \cdot K_{C12}$$

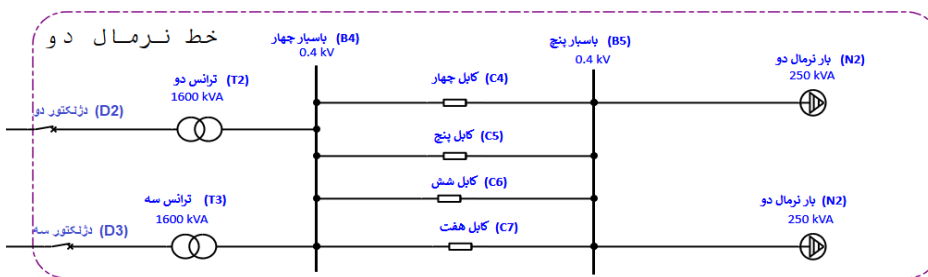
$$R_{C13} = L_{C13} \cdot S_{C13} \cdot t_{C13} \cdot n_{C13} \cdot K_{C13}$$

$$300 \leq S_{Ci} \leq 400, \quad i = 11,12,13$$

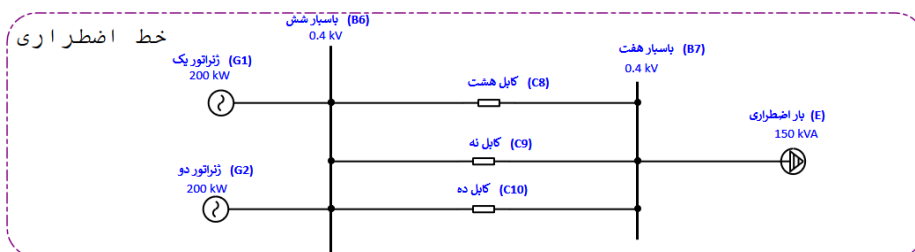
$$0^\circ \leq t_{Ci} \leq 70^\circ, \quad i = 1,2,3, \dots, 13$$



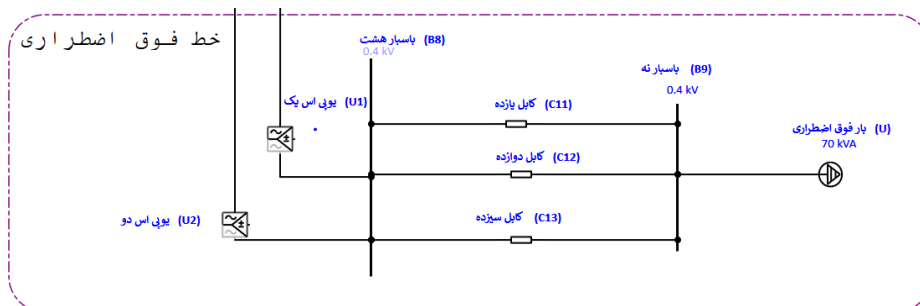
شکل ۵- نقشه خط نرمال یک (N1)



شکل ۶- نقشه خط نرمال دو (N2)



شکل ۷- نقشه خط اضطراری (E)



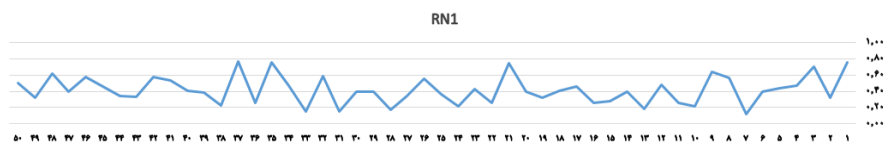
شکل ۸- نقشه خط فوق اضطراری (U)

۳. یافته‌های پژوهش

همان‌طور که در حالت واقعی پیاده‌سازی این سیستم قدرت نیز وجود دارد، طبق اهمیت هر خط قاعدتاً باید بالاترین اندازه قابلیت اطمینان به خط فوق اضطراری برسد و مرحله پایین‌تر خط اضطراری و سپس خط نرمال شماره دو و خط نرمال شماره یک در آخرین اولویت قرار می‌گیرد. در حالت واقعی نیز مهم‌ترین بارهای مصرفی مثل میزهای پخش صدا و تصویر مربوط به بارهای فوق اضطراری که بالاترین میزان قابلیت اطمینان را دارد مربوط می‌باشد و در ادامه طبق توضیحاتی که قبلاً ذکر شد بارهایی با درجه اهمیت پایین‌تر به ترتیب مصارف خطوط اضطراری و نرمال دو و نرمال یک تخصیص می‌یابد. حال خروجی نرم‌افزار را مورد بررسی قرار می‌دهیم که طبق جدول ۲ نتایج زیر به دست آمده‌اند:

جدول ۳- خروجی مدل بر اساس نرم افزار پایتون

شماره خروجی	RN1	RN2	RE	RU	Z total	شماره خروجی	RN1	RN2	RE	RU	Z total
۱	۰.۷۶	۰.۹۶	۰.۹۶	۰.۹۹	۰.۷۳	۲۶	۰.۵۵	۰.۷۲	۰.۸۲	۰.۸۲	۰.۶۴
۲	۰.۲۲	۰.۶۵	۰.۷۸	۰.۹۸	۰.۷۳	۲۷	۰.۳۴	۰.۱۴	۰.۹۷	۰.۹۸	۰.۷۳
۳	۰.۰۷	۰.۰۹	۰.۹۷	۰.۵۶	۰.۵۴	۲۸	۰.۱۷	۰.۱۲	۰.۸۶	۰.۸۷	۰.۶۵
۴	۰.۴۷	۰.۸۷	۰.۸۹	۰.۵۵	۰.۵۴	۲۹	۰.۰۴	۰.۲۹	۰.۹۷	۰.۵۲	۰.۵
۵	۰.۴۴	۰.۵۱	۰.۹۸	۰.۹۸	۰.۷۴	۳۰	۰.۳۹	۰.۱۱	۰.۹۶	۰.۹۹	۰.۷۲
۶	۰.۳۹	۰.۹۶	۰.۸۷	۰.۴۱	۰.۳۶	۳۱	۰.۱۵	۰.۰۴	۰.۹۸	۰.۴۱	۰.۳۶
۷	۰.۱۲	۰.۰۸	۰.۴۸	۰.۵۶	۰.۴۹	۳۲	۰.۵۹	۰.۵۲	۰.۹۷	۰.۳۱	۰.۴۱
۸	۰.۵۶	۰.۵۳	۰.۲۷	۰.۵۸	۰.۴۵	۳۳	۰.۱۵	۰.۶۵	۰.۰۷	۰.۹۹	۰.۷۱
۹	۰.۶۴	۰.۲۶	۰.۲۷	۰.۹۹	۰.۶۷	۳۴	۰.۴۷	۰.۹۲	۰.۸۶	۰.۸۵	۰.۶۶
۱۰	۰.۲۱	۰.۸۹	۰.۰۷	۰.۶۷	۰.۵۴	۳۵	۰.۷۶	۰.۹۵	۰.۹۷	۰.۹۸	۰.۷۴
۱۱	۰.۲۶	۰.۰۴	۰.۸۴	۰.۵۸	۰.۵۴	۳۶	۰.۲۶	۰.۶۵	۰.۲۴	۰.۹۹	۰.۶۸
۱۲	۰.۴۸	۰.۴۷	۰.۷۹	۰.۷۴	۰.۵۹	۳۷	۰.۷۷	۰.۳۳	۰.۷۹	۰.۷۷	۰.۶۱
۱۳	۰.۱۸	۰.۳۴	۰.۷۳	۰.۹۹	۰.۷۱	۳۸	۰.۲۲	۰.۱۶	۰.۹۶	۰.۹۸	۰.۷۳
۱۴	۰.۰۴	۰.۶۳	۰.۹۶	۰.۳۹	۰.۴۴	۳۹	۰.۳۸	۰.۰۶	۰.۹۷	۰.۰۹	۰.۶۸
۱۵	۰.۲۸	۰.۹۶	۰.۹۸	۰.۵۱	۰.۵۲	۴۰	۰.۴۱	۰.۵۶	۰.۶۲	۰.۹۹	۰.۰۷
۱۶	۰.۲۶	۰.۶۷	۰.۹۸	۰.۴۴	۰.۰۵	۴۱	۰.۵۳	۰.۹۶	۰.۷۱	۰.۴۴	۰.۴۴
۱۷	۰.۴۶	۰.۸۱	۰.۰۱	۰.۵۸	۰.۴۲	۴۲	۰.۵۸	۰.۹۵	۰.۳۵	۰.۹۹	۰.۶۹
۱۸	۰.۴۱	۰.۹۷	۰.۰۷	۰.۳۲	۰.۰۴	۴۳	۰.۳۳	۰.۹۶	۰.۱۷	۰.۹۹	۰.۶۸
۱۹	۰.۳۲	۰.۴۹	۰.۹۸	۰.۲۷	۰.۶۵	۴۴	۰.۳۴	۰.۰۵	۰.۶۵	۰.۹۹	۰.۷۱
۲۰	۰.۳۹	۰.۹۶	۰.۸۸	۰.۹۳	۰.۰۷	۴۵	۰.۴۶	۰.۸۴	۰.۸۹	۰.۹۹	۰.۷۲
۲۱	۰.۷۵	۰.۴۴	۰.۶۵	۰.۹۹	۰.۷۱	۴۶	۰.۵۸	۰.۹۵	۰.۳۲	۰.۹۹	۰.۶۸
۲۲	۰.۲۶	۰.۴۸	۰.۹۷	۰.۹۹	۰.۷۳	۴۷	۰.۳۹	۰.۹۷	۰.۴۲	۰.۹۹	۰.۰۷
۲۳	۰.۴۳	۰.۶۲	۰.۳۸	۰.۶۷	۰.۰۵	۴۸	۰.۶۲	۰.۹۵	۰.۶۳	۰.۸۹	۰.۶۷
۲۴	۰.۲۱	۰.۴۸	۰.۸۳	۰.۹۱	۰.۶۸	۴۹	۰.۳۲	۰.۰۲	۰.۱۹	۰.۹۹	۰.۶۸
۲۵	۰.۳۶	۰.۴۹	۰.۵۱	۰.۹۸	۰.۶۹	۵۰	۰.۰۵	۰.۶۵	۰.۱۴	۰.۹۲	۰.۶۱
میانگین	۰.۴۱۴۴	۰.۶۳۱۶	۰.۷۱۱۲	۰.۷۸۱۸	۰.۶۱۳۴	Z total	RU	RE			



شکل ۹. منحنی قابلیت اطمینان خط نرمال شماره یک

کل مصارف بی‌برق شوند یا در حالتی که یکی از تجهیزات سری خط در جایگاهی باشد که قابلیت اطمینان پایینی را داشته باشد کل خط را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد و همین علت پایین بودن قابلیت اطمینان این خط پس از ۵۰ تکرار خواهد شد که در شکل ۹ قابل مشاهده می‌باشد. این خط دارای قابلیت اطمینان کمتری نسبت به سایر خطوط می‌باشد و میانگین قابلیت اطمینان این خط پس از ۵۰ بار تکرار به عدد ۰.۴۱ رسیده که قابلیت پایینی را نشان می‌دهد.

در جدول ۳ خروجی نرم افزار در ۵۰ مرتبه محاسبه شده و بر روی هر یک از خطوط به تفکیک قابلیت اطمینان قابل مشاهده می‌باشد. در ادامه به بررسی تک تک خطوط با توجه به منحنی‌های محاسبه شده به تحلیل و بررسی پرداخته خواهد شد:

ابتدا خط نرمال یک که با عنوان RN1 بیان شده (مطابق شکل ۵) با توجه به اینکه خط نرمال می‌باشد بارهای بسیار کم اهمیتی را شامل می‌شود که در صورت قطع شدن برق شهر



شکل ۱۰- منحنی قابلیت اطمینان خط نرمال شماره دو

از نظر اهمیت درجه بالاتری نسبت به بارهای خط نرمال یک داشته باشند. مشاهده می‌گردد پس از ۵۰ بار تکرار میانگین قابلیت اطمینان این خط ۰.۶۳ اندازه‌گیری شده است.

خط نرمال دوم با عنوان RN2 بیان شده (مطابق شکل ۶) با توجه به بهره‌مندی آن از تجهیزات قوی‌تر و استفاده از المان‌های موازی جهت افزایش قابلیت اطمینان انتظار می‌رود نتایج خروجی نرم‌افزار عدد بالاتری را نسبت به خط نرمال یک داشته باشد و در واقعیت بارهایی به این خط متصل شوند که



شکل ۱۱- منحنی قابلیت اطمینان خط اضطراری

با قابلیت اطمینان بیشتری در این خط استفاده گردد. در این خط پس از محاسبه و اندازه‌گیری قابلیت اطمینان مشخص گردید دارای ضریب اطمینان بالاتری نسبت به دو حالت قبل است و میانگین قابلیت اطمینان در این خط ۰.۷۱ اندازه‌گیری شده است.

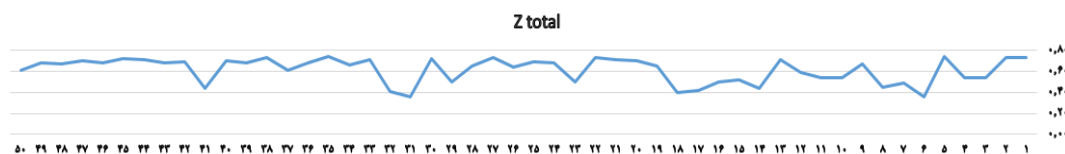
خط اضطراری (شکل ۷) با عنوان RE بیان شده شامل بارهایی است که در زمان قطع برق شهر مدت زمانی خاموش می‌شوند و تا زمانی که ژنراتور زیر بار بیاید (حدود ۱۵ ثانیه) بدون برق بوده و پس از آن از ژنراتور برق این مصارف تأمین می‌گردد. بارهای این خط از درجه اهمیت بالاتری نسبت به دو حالت قبلی برخوردار خواهند بود و انتظار می‌رود المان‌های موازی و



شکل ۱۲. منحنی قابلیت اطمینان خط فوق اضطراری

می‌باشد. به این معنی که وضعیت باتری و همچنین دمای محیط روی باتری می‌تواند کاملاً اثر گذار بر قابلیت اطمینان یوپی‌اس و کل خط باشد [13]. با توجه به اینکه این طراحی برای یک زنجیره باتری و با دمای متغیر طراحی شده بود خروجی به صورت شکل ۸ می‌باشد و اگر ملاحظه شود در اکثر مراحل خروجی نرم‌افزار حتی به عدد ۰.۹۹ نیز رسیده که نشان می‌دهد اگر برخی مواردی که به آن اشاره شد مناسب باشند قابلیت اطمینان ۰.۹۹ نیز به دست خواهد آمد و حداکثر قابلیت اطمینان دور از دسترس نخواهد بود.

خط مصرفی انتهایی (شکل ۸) که شامل بارهای فوق اضطراری می‌باشد یعنی تحت هیچ شرایطی نباید ولتاژ مصرف‌کننده‌ها قطع گردد و باید بالاترین درجه از قابلیت اطمینان را در بین تمام خطوط داشته باشند. مشاهده می‌گردد پس از خروجی گرفتن از نرم‌افزار قابلیت اطمینان ۰.۷۸ می‌باشد. در این خط یکی از المان‌های بسیار مهم در افزایش قابلیت اطمینان یوپی‌اس‌ها باتری می‌باشد. اگر در یک زنجیره باتری یک باتری به درستی کار نکند، کل مجموعه بدون برق خواهند شد [20] به همین دلیل در برخی از خروجی‌ها قابلیت اطمینان این خط عدد پایین‌تری را نشان داده است که کاملاً درست و طبیعی



شکل ۱۳. منحنی قابلیت اطمینان کل خط بیست کیلو ولت

قابلیت اطمینان داشته باشند را تا جای امکان بهبود بخشید تا خروجی کل قابلیت اطمینان بالایی را به دست آورد.

جدول ۴. بالاترین و پایین‌ترین مقادیر Z

Min Z	Median Z	Max Z
۰,۳۶	۰,۶۷	۰,۷۴

طبق جدول ۴ کمترین اندازه Z به ۰.۳۶ رسیده که در این حالت طبیعتاً باید المان‌های تشکیل‌دهنده Z که شامل RN1 و RN2 و RE و RU می‌باشد نیز کمترین مقدار خود را داشته باشند. بالاترین میزان Z به ۰.۷۴ رسیده که در این حالت همه خطوط نیز بالاترین میزان قابلیت اطمینان را داشته‌اند. عدد میانی ۰.۶۷ رنج متعادل قابلیت اطمینان کلی می‌باشد.

مقدار Z قابلیت اطمینان تمام خطوط طبق روابط بالا و بر اساس وزن‌های هر خط می‌باشد که به میانگین ۰.۶۱ رسیده است. این عدد پایین می‌باشد و بر اساس همین موضوع بارهای مختلف با توجه به درجه اهمیتی که دارند به خطوطی مختلف از این ۴ خط که هر کدام قابلیت اطمینان‌های مختلفی دارند متصل خواهد شد.

با بررسی پارامترها و معادله کلی خط Z و نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که برای بالاتر بردن قابلیت اطمینان در کل خط باید عواملی که باعث کم شدن آن می‌شود را تا حد امکان کاهش داد، به عنوان مثال در برخی موارد به علت وجود المان‌های سری مثل ترانس‌ها یا باتری‌های یوپی‌اس و یا دمای محل قرارگیری تجهیزات که می‌توانند اثر مثبت یا منفی روی

۴. نتیجه‌گیری

و اثر آرایش آن در قابلیت اطمینان نیز مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین در [11] اثر تنش‌های مکانیکی و داخلی دیزل بر قابلیت اطمینان دیزل ژنراتور بررسی شده است. در رابطه با موضوع مورد مطالعه در آینده می‌توان تلفیقی از بررسی جزء به جزء پارامترهای تجهیزات که در این مطالعه در نظر گرفته شده همچنین اطلاعات دقیق‌تر در مورد ترانس‌ها [17] (بررسی و نقش نوع ترانس و نوع عایقی و حتی نقش سرویس و نگهداری در قابلیت اطمینان [25])، یوپی‌اس‌ها (نظیر نوع مدارات داخلی، ترانس بیس یا ترانس لس بودن) دستگاه همچنین اثرات نوع بار در قابلیت اطمینان این تجهیزات)، باتری‌ها همانطور که در [13] اثرات دما بر وضعیت باتری‌ها بررسی شد (نوع سرویس‌های تست باتری مهم می‌باشد و همچنین تأثیر بسیار زیاد افزایش زنجیره‌های باتری [14] بر قابلیت اطمینان)، کابل‌ها (مقایسه جنس کابل‌ها و نحوه چیدمانشان کنار هم) و کلیدها (مقایسه نوع عایقی در بین کلیدها) و بررسی کلی این تجهیزات در خطوط توزیع کوچک محلی و در دید وسیع‌تر شبکه توزیع برق شهری و کشوری نیز به تحلیل و بررسی پرداخت. این کار سبب می‌گردد قبل از پیاده‌سازی تجهیزات مختلف اطمینان نسبی از عملکرد سیستم قدرت طراحی شده به‌دست آورد ضمن آنکه در این تشخیص هر چه پارامترهای تأثیرگذار بیشتری دخیل باشند دقت محاسبات قابلیت اطمینان و در نتیجه درجه اطمینان از اعداد به‌دست آمده نیز می‌تواند به میزان واقعی نزدیک‌تر باشند.

موضوع قابلیت اطمینان و بررسی آن از نکات بسیار مهم در هر سیستم می‌باشد و باعث ایجاد اطمینان یا عدم اطمینان از کارکرد درست در زنجیره تأمین یا تولیدکننده یا کارخانجات می‌باشد. در این مطالعه خطوط برق قدرت که نوعی زنجیره تأمین نیز می‌باشد مورد بررسی قرار گرفت. در این زنجیره هرکدام از بخش‌ها می‌توانست روی خروجی بخش بعدی خودش اثر مثبت یا منفی بگذارد و هر کدام از این تجهیزات خود دارای پارامترهای مختلفی بودند که هر کدام می‌توانست باعث افزایش یا کاهش قابلیت اطمینان شوند. تمامی پارامترهای هر قطعه از طریق تکنیک دلفی فازی مورد بررسی قرار گرفتند و از طریق AHP وزن‌دهی شدند. پس از پیاده‌سازی در نرم‌افزار پایتون و با بررسی از بین ۵۰ مرتبه خروجی گرفتن از نرم‌افزار هم در خطوطی که اهمیت بالاتری داشتند قابلیت اطمینان بیشتری نیز به‌دست آمد که نشان می‌دهد ارزش هر خط به چه صورت می‌باشد و چگونه قابلیت اطمینان هر خط محاسبه و ارزیابی می‌شود.

در این پژوهش قابلیت سیستم قدرت که شامل ترانس، کابل، باسبار، یوپی‌اس، ژنراتور، بانک خازنی بر اساس شاخص‌های دما، طول عمر، ظرفیت، تعداد المان‌های موازی، و ولتاژ مورد ارزیابی قرار گرفت در حالی که در [8]، [17]، [21] اثرات مؤثر بر طول عمر ترانس و نقش بارهای هارمونیک و آلودگی محیطی در عملکرد ترانسفورماتور قدرت و در [19]، [12]، [14] اثرات بردهای کنترلی و تعمیر و نگهداری در قابلیت اطمینان یوپی‌اس، در [10]، [9] نقش و اثرات کلیدهای قدرت

[4] Dmitry, K. and Boyarkin, D. (2020). Improvement in the computational efficiency of a technique for assessing the reliability of electric power systems based on the Monte Carlo method, *Iakubovskii Reliability Engineering & System Safety*. DOI:10.1016/j.ress.2020.107171

[5] Guo, D., Yang, M., Wu, H., Ge, D., & Cao, X. (2021). Dynamic Reliability Evaluation of Diesel Generator System of One Chinese 1000MWe NPP Considering Temporal Failure Effects. *Frontiers in Energy Research*, 9, 793577. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.79357>

[6] EDISON ELECTRIC INSTITUTE. (2019) EMERGING ENERGY SOLUTIONS FOR RESIDENTIAL CUSTOMERS. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/ht

www.pqprc.ir

۵. منابع

[1] Amiri, M. (1400). Reliability theory and application. Publications of Allameh Tabatabai University (in persian)

[2] Amiri, M., Ayatollahi, A. R. (2017). Reliability analysis of random fuzzy repairable parallel and series system. <https://sid.ir/paper/881747/fa>

[3] Schijndel, van, A., Wouters, P. A. A. F., & Wetzer, J. M. (2012). Modeling of replacement alternatives for power transformer populations. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 27(2), 506-513.

<https://doi.org/10.1109/TPWRD.2011.2181541>

نشریه مهندسی و مدیریت کیفیت

Operations in Zaria Kaduna State. Communications on Applied Electronics. 3(6): 23-31. DOI:10.5120/cae2015651980

[17] Nemati, H. M., Sant'Anna, A., Nowaczyk, S., Jürgensen, J. H., & Hilber, P. (2019). Reliability evaluation of power cables considering the restoration characteristic. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 105, 622-631.

[18] Awadallah, S. K., Milanović, J. V., & Jarman, P. N. (2014). The influence of modeling transformer age related failures on system reliability. *IEEE Transactions on Power Systems*, 30(2), 970-979. DOI:10.1109/TPWRS.2014.2331103

[19] Ahmadi, M., Akbarzadeh, M. and Tehranizadeh, M. (2016). Topic 13 Planning and implementation of national building regulations. publication Tehran Nashr.

[20] Khosropanah, N. and Davoodi Sharif Abad, S. (2023). Type of circuit breakers. The 20th International Conference on Information Technology, Computers and Telecommunications. <https://civilica.com/doc/1769186/>. (In Persian)

[21] Addabbo, T., Fort, A., Mugnaini, M., & Vignoli, V. (2017). Distributed UPS control systems reliability analysis. *Measurement*, 110, 275-283. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.06.021>

[22] Li, S., Ye, C., Ding, Y., Song, Y., & Bao, M. (2022). Reliability assessment of renewable power systems considering thermally-induced incidents of large-scale battery energy storage. *IEEE Transactions on Power Systems*, 38(4), 3924-3938. DOI 10.1109/TPWRS.2022.3200952

[23] Jovanovic, S. and Rahmat, K. (2013). Reliability Comparison of Uninterruptible Power Supply (UPS) System Configurations, Intelc 2013; 35th International Telecommunications Energy Conference, SMART POWER AND EFFICIENCY. 978-3-8007-3500-6

[24] Mirhosseini, M. and Keynia, M. (2021). Asset management and maintenance programming for power distribution systems. IET Generation, Transmission & Distribution / Volume 15, Issue 16 / p. 2287-2297. <https://doi.org/10.1049/gtd2.12177>

[25] Moghimi, M., Fereidunian, A. and Alizadeh, A. (2021). Reliability-Centered Maintenance Scheduling Considering Failure Rates Uncertainty: A Two-Stage Robust Model. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 37(3):1941 – 1951. DOI:10.1109/TPWRD.2021.3101458

<tps://www.eei.org/-/media/Project/EEI/Documents/Issues-and-Policy/SolutionsForResidentialCustomers.pdf>

[7] Ghahramani, A. (2006). High pressure substations and related equipment. Publication of Higher Education Institute of Water and Electricity Industry.

[8] Nemati, H. and Sant'Anna, A. (2015). Reliability Evaluation of Underground Power Cables with Probabilistic Models Sławomir Nowaczyk International Conference on Data Mining 2015 Physics.37-43p. <https://www.researchgate.net/publication/311494529>

[9] Rahimi, T., Hoseini, H. and Sabahi, M. (2018). Reliability analysis of regular redundancy arrangements for power switches and Presenting a new surplus structure. *Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineer.*, 15(1): 89-102 (In Persian)

[10] Runde, M. (2013). Failure frequencies for high-voltage circuit breakers, disconnectors, earthing switches, instrument transformers, and gas-insulated switchgear, *IEEE Transactions on Power Delivery* 28(1): 529-530, DOI:10.1109/TPWRD.2012.2220638

[11] Cao, M., Guo, J., Xiao, H., & Wu, L. (2022). Reliability analysis and optimal generator allocation and protection strategy of a non-repairable power grid system. *Reliability Engineering & System Safety*, 222, 108443.

[12] Toula, O. and Ambafi, G. J. (2012). Reliability Study of circuit breakers (case study Phcn osogbo work center equipment office) *Innovations in Science and Engineering*. <https://www.researchgate.net/publication/273508663>

[13] Reliability & availability in LEGRAND UPS the global specialist in electrical and digital building. www.legrand.com

[14] Shadkam, H. (2016). Production and distribution of electrical energy. Publication of Basic Science Extension

[15] Tang, J. X., Du, J. H., Lin, Y., & Jia, Q. S. (2020). Predictive maintenance of vrla batteries in ups towards reliable data centers. *IFAC-PapersOnLine*, 53(2), 13607-13612.

[16] Akinsanmi, O., Babarinde, A. and Ijamaru, G. (2015). Reliability Assessment of Uninterruptible Power Supply (UPS) System for Medical

Providing a Mathematical Model to Measure Reliability in the Power Distribution Network

Mohammad Shayesteh fard

Phd student in Industrial Management, Rudehen Branch, Islamic Azad University,
Rudehen, Tehran, Iran. m_sh1782@yahoo.com

Majid Motamedi¹

Department of Industrial Management, Nowshahr Branch, Islamic Azad University,
Nowshahr, Mazandaran, Iran. mmoatamedy@gmail.com

Mohammad hosein Darvish Motevali

Department of Industrial Management, West Tehran Branch, Islamic Azad
University, Tehran, Iran. mhd.darvish@gmail.com

Mohammad Mehdi Movahedi

Department of Industrial Management, Firozkoh Branch, Islamic Azad University,
Firozkoh, Tehran, Iran. mmmovahedi@gmail.com

Abstract: Today, the increasing progress in technology, the expansion and development of human needs for sustainable technologies have caused attention to electric energy to be in the center of attention more than in the past. Therefore, increasing the reliability of electrical systems in the power industry is very important. The purpose of this research is to provide a mathematical model to calculate and increase reliability in the power distribution network. This research is practical in terms of its purpose and results, and in terms of the method and nature of implementation, it is based on operational research that was conducted using mathematical modeling and using Python software based on data from 1398 to 1402. The findings show that parameters such as generators, high pressure and low pressure busbars, 20 kV to 400 V power transformers, communication cables, capacitors, generators and UPS are more important in calculating the reliability of this network. Therefore, according to the purpose and the corresponding limitations, a suitable mathematical model has been presented for each parameter. The results show that after 50 repetitions and simulations, the ultra-emergency line has a higher importance and rank in reliability among the four output feeders. Also, based on the presented model, it has been observed that the entire 20 kV line under investigation has 0.67 degrees of reliability. The results of this research can be considered as a suitable basis for the implementation of research and operational projects in wide radial networks in the electricity industry.

Keywords: Reliability, power transmission, electrical systems

¹ corresponding author: mmoatamedy@gmail.com

Aim and Introduction

The reliability of a system expresses the degree of confidence in the correct and optimal performance of a system in normal and abnormal conditions, which is related to the quality of a product over time [2]. The most common definition of reliability is the probability that a system will perform its assigned task correctly under certain environmental conditions [3].

This research seeks to identify the parameters and indicators that are effective on the reliability of the power grid in the first stage, and in the second stage, according to the indicators and parameters, to present the goals and limitations in the form of a linear programming model in such a way that it can measure the reliability in a multi-level and radial network of power transmission.

In a general view, a power network can be divided into three main parts: production, transmission and distribution. Each of these departments has various equipments, the performance of each of which can have a great impact on the common needs [13].

Methodology

This research is practical in terms of its purpose and in terms of the nature of implementation, it is based on operational research. In terms of time, it is cross-sectional and the variables are combined. The studied environment of 20 kV and 400 V power lines of the Broadcasting Organization, where reliability is very important, has been considered. In this research, in order to identify indicators and parameters with a high importance factor in the reliability of multi-level and parallel systems in power lines, from the opinions of technical experts, the number of these people is 15 people with a work experience of 20 years and above and a university degree in power electrical engineering. And they are used as key and decision-making people in their workplace.

The process of conducting this research is as follows:

At first, by studying past studies, it has been concluded that in no study, all the important and effective parameters mentioned in the background have been examined together, and in many cases, such as temperature or life span, they can affect both themselves and others. The elements that are effective in reliability, then by using the output of the studied articles and technical books, the effective factors in this equipment, which were close to 20 cases, have been determined for review and expert opinion. After screening, the parameters were reduced to about 13 items. In this research, in order to prioritize the influencing indicators and parameters to formulate the mathematical model, fuzzy Delphi technique has been used. Also, due to the independence of the 4 lines in this network and the independent consumption of the electrical load consumed in them, the AHP technique has been used to determine the weights of the lines.

Reliability in each element varies according to its technical specifications.

For example, reliability in a distribution transformer can include things such as life span, working temperature, capacity, contamination, air humidity, etc. But several factors can have more influence or weight than other factors.

$$Max Z = (1 - (1 - W_1 R_{N1}) * (1 - W_2 R_{N2}) * (1 - W_3 R_E) * (1 - W_4 R_U))$$

First of all, the importance of each of the lines should be determined in order to determine their degree of importance according to the type of loads they feed.

With the AHP technique and using the opinions of 15 technical experts, the result will be as follows:

$$Max Z = (1 - (1 - 0.039R_{N1}) * (1 - 0.083R_{N2}) * (1 - 0.246R_E) * (1 - 0.633R_U))$$

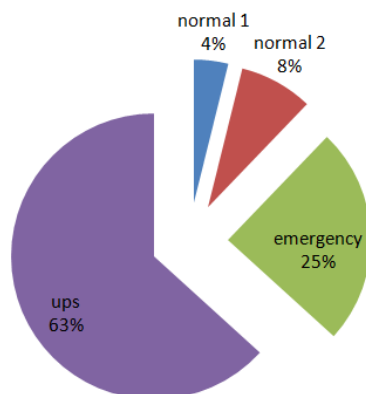


Figure 1. Graphical model of the importance of each line in the investigated power grid

Reliability equations in each of the lines with respect to series and parallel equipment according to Figure 1 will be obtained according to the following relationships:

$$Max Z = (1 - (1 - W_1R_{N1}) * (1 - W_2R_{N2}) * (1 - W_3R_E) * (1 - W_4R_U))$$

$$R_{N1} = R_{B1} \cdot R_{D1} \cdot R_{T1} \cdot R_{B2} \cdot (1 - (1 - R_{C1})(1 - R_{C2})(1 - R_{C3})) \cdot R_{B3} \cdot R_Q$$

$$R_{N2} = (1 - (1 - R_{D2})(1 - R_{D3})) \cdot (1 - (1 - R_{T2})(1 - R_{T3})) \cdot R_{B4} \cdot (1 - (1 - R_{C4})(1 - R_{C5})(1 - R_{C6})(1 - R_{C7})) \cdot R_{B5}$$

$$R_E = (1 - (1 - R_{G1})(1 - R_{G2})) \cdot R_{B6} \cdot (1 - (1 - R_{C8})(1 - R_{C9})(1 - R_{C10})) \cdot R_{B7}$$

$$R_U = (1 - (1 - R_{U1})(1 - R_{U2})) \cdot R_{B8} \cdot (1 - (1 - R_{C11})(1 - R_{C12})(1 - R_{C13})) \cdot R_{B9}$$

Findings

Based on the real data in the power grid of the Broadcasting Organization, mathematical modeling was done and using the information mentioned above, it was implemented in Python software. According to 50 repetitions and simulations, the reliability of each of the 4 lines in the multi-level network was calculated and measured separately, and finally considering the sum of the lines as the reliability of the entire network.

In Table 3, the output of the software is calculated 50 times and can be seen on each of the lines by reliability. In the following, each line will be analyzed according to the calculated curves:

Table 1. Model Output Based on Python Software

Z total	RU	RE	RN2	RN1	Number of output	Z total	RU	RE	RN2	RN1	Number of output
0/64	0/82	0/85	0/72	0/55	26	0/73	0/99	0/96	0/96	0/76	1
0/73	0/98	0/97	0/14	0/34	27	0/73	0/98	0/78	0/65	0/32	2
0/65	0/87	0/86	0/12	0/17	28	0/54	0/56	0/97	0/9	0/7	3
0/5	0/52	0/97	0/29	0/4	29	0/54	0/55	0/89	0/87	0/47	4
0/72	0/99	0/96	0/15	0/39	30	0/74	0/98	0/98	0/51	0/44	5
0/36	0/41	0/98	0/4	0/15	31	0/36	0/41	0/87	0/96	0/39	6
0/41	0/31	0/97	0/52	0/59	32	0/49	0/56	0/48	0/8	0/12	7
0/71	0/99	0/7	0/65	0/15	33	0/45	0/58	0/27	0/53	0/56	8
0/66	0/85	0/86	0/92	0/47	34	0/67	0/99	0/27	0/26	0/64	9
0/74	0/98	0/97	0/95	0/76	35	0/54	0/67	0/7	0/89	0/21	10
0/68	0/99	0/24	0/65	0/26	36	0/54	0/58	0/84	0/4	0/26	11
0/61	0/77	0/79	0/33	0/77	37	0/59	0/74	0/79	0/47	0/48	12
0/73	0/98	0/96	0/16	0/22	38	0/71	0/99	0/73	0/34	0/18	13
0/68	0/9	0/97	0/6	0/38	39	0/44	0/39	0/96	0/63	0/4	14
0/7	0/99	0/62	0/56	0/41	40	0/52	0/51	0/98	0/96	0/28	15
0/44	0/44	0/71	0/96	0/53	41	0/5	0/44	0/98	0/67	0/26	16
0/69	0/99	0/35	0/95	0/58	42	0/42	0/58	0/47	0/81	0/46	17
0/68	0/99	0/17	0/96	0/33	43	0/4	0/32	0/7	0/97	0/41	18
0/71	0/99	0/65	0/5	0/34	44	0/65	0/27	0/98	0/49	0/31	19
0/72	0/99	0/89	0/84	0/46	45	0/7	0/93	0/88	0/96	0/39	20
0/68	0/99	0/32	0/95	0/58	46	0/71	0/99	0/65	0/44	0/75	21
0/7	0/99	0/42	0/97	0/39	47	0/73	0/99	0/97	0/48	0/26	22
0/67	0/99	0/63	0/95	0/62	48	0/5	0/67	0/38	0/62	0/43	23
0/68	0/99	0/19	0/26	0/32	49	0/68	0/91	0/83	0/48	0/21	24
0/61	0/92	0/17	0/65	0/5	50	0/69	0/98	0/51	0/49	0/36	25
Z total	RU	RE	RN2	RN1	average						
0/6134	0/7818	0/712	0/6316	0/4144							

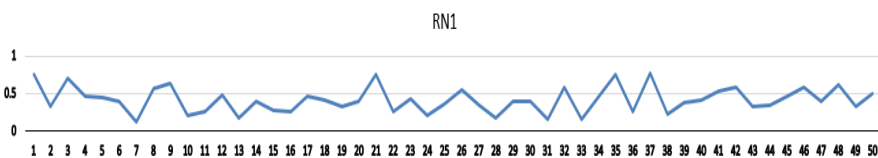


Figure 2. Reliability curve normal line number one

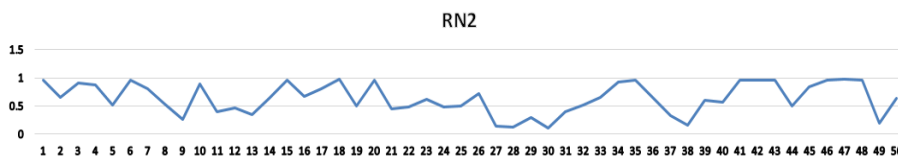


Figure 2. Reliability curve of normal line number two

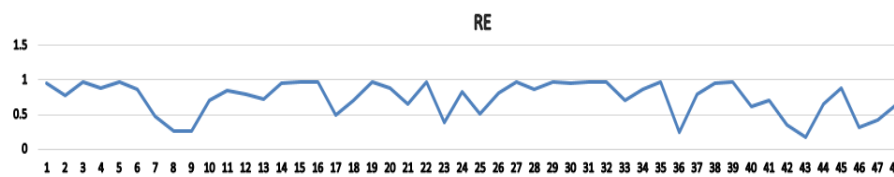


Figure 3. Emergency line reliability curve

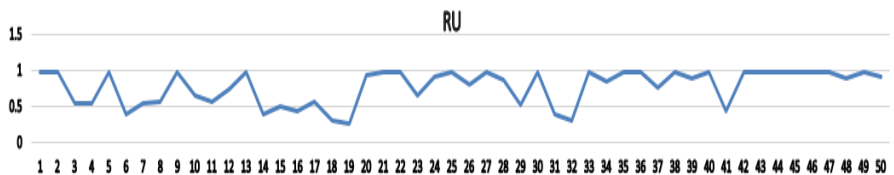


Figure 4. Reliability curve of ups line

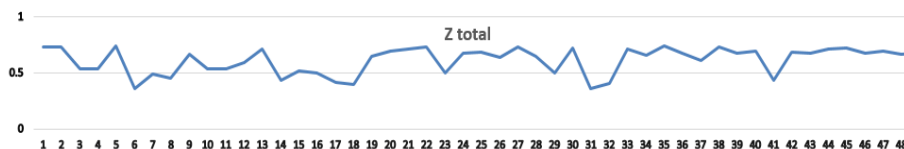


Figure 5. Reliability curve of the entire 20 kV line

Conclusion

The issue of reliability and its review is one of the most important points in any system and it creates confidence or uncertainty of correct operation in the supply chain or manufacturer or factories. In this study, power lines, which are also a type of supply chain, were investigated. In this chain, each part could have a positive or negative effect on the output of the next part, and each of these equipments had different parameters, each of which could increase or decrease reliability. All the parameters of each piece were examined through fuzzy Delphi technique and weighted through AHP.

After the implementation in Python software and by checking out of 50 times of output from the software, more reliability was obtained in the lines that were of higher importance, which shows how the value of each line is and how the reliability of each line is calculated. and is evaluated.

In this research, the capability of the power system, which includes transformer, cable, busbar, UPS, generator, capacitor bank, was evaluated based on temperature, life span, capacity, number of parallel elements, and voltage, while in [7], [8], [1] the effective effects on transformer lifetime and the role of harmonic loads and environmental pollution in power transformer performance and in [4], [12], [14] the effects of control boards and maintenance in UPS reliability, in [9], [10] The influence and effects of power switches and the effect of their arrangement on reliability have also been investigated. Also, in [5], the effect of mechanical and internal diesel stresses on the reliability of the diesel generator has been investigated.

In relation to the subject under study in the future, it is possible to compile a detailed review of the parameters of the equipment considered in this study, as well as more detailed information about transformers [6] (investigation and role of transformer type and insulation type and even the role of service and maintenance in reliability), UPS (such as the type of internal circuits, whether the device is trans-base or trans-less, as well as the effects of the type of load on the reliability of this equipment), batteries, as in [15], the effects of temperature on the state of batteries were investigated (The type of battery testing services is important, as well as the huge impact of increasing battery chains [11] on reliability), cables (comparison of the types of cables and how they are arranged together) and switches (comparison of the type of insulation between the switches) and a general review of these equipments in distribution lines. Small local and in a wider view of the urban and national electricity distribution network was also analyzed and investigated. This work makes it possible to obtain relative confidence in the performance of the designed power system before the implementation of various equipment, while the more influential parameters are involved in this diagnosis, the accuracy of

reliability calculations and, as a result, the degree of confidence in the obtained numbers can also be realistic be closer.

Reference

- [1] Addabbo, T., Fort, A., Mugnaini, M., & Vignoli, V. (2017). Distributed UPS control systems reliability analysis. *Measurement*, 110, 275-283. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.06.021>
- [2] Amiri, M. (1400). Reliability theory and application. Publications of Allameh Tabatabai University (in persian)
- [3] Amiri, M., Ayatollahi, A. R. (2017). Reliability analysis of random fuzzy repairable parallel and series system .<https://sid.ir/paper/881747/fa>
- [4] Ahmadi, M., Akbarzadeh, M. and Tehranizadeh, M. (2016). Topic 13 Planning and implementation of national building regulations. publication Tehran Nashr.
- [5] Cao, M., Guo, J., Xiao, H., & Wu, L. (2022). Reliability analysis and optimal generator allocation and protection strategy of a non-repairable power grid system. *Reliability Engineering & System Safety*, 222, 108443.
- [6] Moghimi, M., Fereidunian. A. and Alizadeh, A. (2021). Reliability-Centered Maintenance Scheduling Considering Failure Rates Uncertainty: A Two-Stage Robust Model. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 37(3):1941 – 1951. DOI:10.1109/TPWRD.2021.3101458
- [7] Nemati, H. and Sant'Anna, A. (2015). Reliability Evaluation of Underground Power Cables with Probabilistic Models Sławomir Nowaczyk International Conference on Data Mining 2015 Physics.37-43p. <https://www.researchgate.net/publication/311494529>
- [8] Nemati, H. M., Sant'Anna, A., Nowaczyk, S., Jürgensen, J. H., & Hilber, P. (2019). Reliability evaluation of power cables considering the restoration characteristic. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 105, 622-631.
- [9] Rahimi, T., Hoseini, H. and Sabahi, M. (2018). Reliability analysis of regular redundancy arrangements for power switches and Presenting a new surplus structure. *Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineer.*, 15(1): 89-102 (In Persian)
- [10] Runde, M. (2013). Failure frequencies for high-voltage circuit breakers, disconnectors, earthing switches, instrument transformers, and gas-insulated switchgear, *IEEE Transactions on Power Delivery* 28(1): 529-530, DOI:10.1109/TPWRD.2012.2220638
- [11] Reliability & availability in LEGRAND UPS the global specialist in electrical and digital building. www.legrand.com
- [12] Shadkam, H. (2016). Production and distribution of electrical energy. Publication of Basic Science Extension.

- [13] Schijndel, van, A., Wouters, P. A. A. F., & Wetzer, J. M. (2012). Modeling of replacement alternatives for power transformer populations. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 27(2), 506-513. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2011.2181541>
- [14] Toula, O. and Ambafi, G. J. (2012). Reliability Study of circuit breakers (case study Phcn osogbo work center equipment office) *Innovations in Science and Engineering*. <https://www.researchgate.net/publication/273508663>
- [15] Tang, J. X., Du, J. H., Lin, Y., & Jia, Q. S. (2020). Predictive maintenance of vrla batteries in ups towards reliable data centers. *IFAC-Papers OnLine*, 53(2), 13607-13612.