



ارائه الگویی جهت ارزیابی کمی قابلیت اطمینان برق گرفتگی فشار ضعیف در صنعت توزیع برق با استفاده از FTA در محیط فازی

حامد کلاسنگانی^۱، منوچهر امیدواری^۲

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۲/۱۰

تاریخ ویرایش: ۹۳/۱۲/۱۱

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۴/۲۱

چکیده

زمینه و هدف: تکنولوژی برق و گسترش آن در حدود وسیع موجبات تماس مردمان بی‌شماری را اعم از متخصصین فن و کارکنان درگیر با تولید، انتقال و توزیع نیرو و نیز مصرف‌کنندگان برق شامل مشترکین خانگی و صنعتی را فراهم ساخته است. برای کارکنان و مصرف‌کنندگان انجام کار و مصرف این انرژی پاک باید به‌گونه‌ای باشد که هیچ‌گونه خطری را برای رفاه و سلامتی انسان به وجود نیاورد. با این همه غالباً حوادث ناخواسته‌ای در مورد برق گرفتگی را شاهد هستیم که در اثر این حوادث انسان‌هایی جان‌باخته و یا به‌طور دائم از کارافتاده می‌شوند. هدف از مطالعه حاضر ارائه الگویی تحلیل حادثه برق گرفتگی فشار ضعیف بر اساس مدل Fault Tree Analysis (FTA) در محیط فازی در صنعت توزیع برق می‌باشد.

روش بررسی: در مطالعه حاضر پس از انجام مطالعات کتابخانه‌ای و مطالعات اولیه، با جمع‌آوری اطلاعات از شرکت‌های توزیع برق در خصوص علل حوادث برق گرفتگی فشار ضعیف به تحلیل آن‌ها پرداختیم. سپس با استفاده از روش FTA به ریشه‌یابی حادثه برق گرفتگی فشار ضعیف پرداخته شده است. با توجه به اینکه مدل مذکور، به‌صورت درختی و سلسله مراتبی می‌باشد برای تخصیص وزن احتمالات به علل ریشه‌ای از روش فازی استفاده شده است. بدین گونه که پس از ریشه‌یابی حوادث با استفاده از مدل FTA و یافتن رویدادهای پایه از منطق فازی در تعیین احتمال وقوع هر رویداد پایانی استفاده شد و با تخصیص وزن احتمالات به دروازه‌های "و" و "یا" با استفاده از روابط احتمالاتی، با بررسی میزان تأثیر آن‌ها در وقوع رویداد اصلی، به ارائه نتیجه نهایی پرداختیم.

یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد که احتمال وقوع حادثه برق گرفتگی فشار ضعیف در صنعت توزیع برق ۰/۱۰۹۲۸۵۴۵۴ می‌باشد که این میزان سطح ریسک بسیار بالایی برای کارکنان درگیر در این صنعت مهم و حیاتی می‌باشد. لذا با توجه به تعیین MCS های بحرانی و با اتخاذ روش‌های کنترلی، حذف این مسیر در میزان احتمال حادثه برق گرفتگی فشار ضعیف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

نتیجه‌گیری: در برق گرفتگی شبکه فشار ضعیف، قابلیت اطمینان ۰/۸۹۰۶۱۴۵۴۶ می‌باشد که با شناسایی مسیر بحرانی (A1.1)، می‌توان با اتخاذ تدابیر کنترلی و حذف آن، قابلیت اطمینان را به ۰/۹۲۷۷۵۴۲۵۸ افزایش داد که افزایش چشمگیری در قابلیت اطمینان می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: صنعت توزیع برق، حادثه، رویداد نامطلوب، مدل (FFTA)، مسیر بحرانی (MCS).

مقدمه

همان سیستم توزیع است. حوادث در این بخش به دلیل گستردگی و در دسترس بودن این شبکه نسبت به سایر بخش‌های صنعت برق بیشتر است. با توسعه روزافزون استفاده از برق در زندگی بشر و کاربرد گسترده آن در تمامی جنبه‌های زندگی انسان‌ها، به همان میزان گسترش شبکه‌های توزیع برق در شهرها و روستاها نیز افزایش یافته است و به این دلیل، حوادث برقی نیز افزایش یافته است که این موضوع یکی از پرچالش‌ترین مسائل صنعت برق، چه به لحاظ انسانی و مفاهیم دینی، هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم ناشی از حوادث، به لحاظ قانونی و همچنین اثرات نامطلوب روانی است که

سیستم قدرت شامل تولید، انتقال و توزیع است. برق به‌وسیله نیروگاه‌های مختلف اعم از حرارتی، گازی و غیره تولید می‌شود. سیستم انتقال رابط بین تولید و توزیع و سیستم توزیع رابط بین سیستم انتقال و مشترکان (مصرف‌کنندگان) برق است که از طریق شبکه‌های زمینی یا هوایی، این انرژی گران‌بها را به آنان می‌رسانند. بخش توزیع از لحاظ ایمنی از اهمیت بیشتری برخوردار است سیستم توزیع حاصل عمل بخش‌های تولید و انتقال را یکجا در اختیار داشته و اصولاً تعبیری که از برق در اذهان مردم وجود دارد

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی قزوین، واحد علوم تحقیقات، قزوین، ایران.

۲- (نویسنده مسئول) استادیار دانشکده صنایع و مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، قزوین، ایران.omidvari88@yahoo.com

در جامعه ایجاد می‌کند. روش تجزیه و تحلیل درخت خطا و یا به عبارت دیگر روش درخت علت^۱ در سال‌های ۶۲ - ۱۹۶۱ میلادی توسط Watson ابداع و در همان سال توسط نامبرده در ارزیابی قابلیت اعتماد سیستم کنترل پرتاب موشک‌های بالستیک مورد استفاده قرار گرفت [۱۱]. موفقیت تکنیک در شناسایی و در نتیجه حذف تعدادی از نقاط ضعیف پروژه باعث شد که به‌عنوان ابزار توانمندی در ارزیابی ایمنی سیستم‌های پیچیده مورد توجه قرار گیرد در سال‌های بعد تکنیک FTA توسط شرکت هواپیمایی بوئینگ و به‌ویژه شخص Haasl توسعه یافته و به‌صورت قانونمند درآمد. اولین مقاله در زمینه تکنیک FTA در سال ۱۹۶۵ در سمپوزیوم ایمنی سیستم که توسط دانشگاه واشنگتن و شرکت هواپیمایی بوئینگ برگزار شده بود ارائه شد [۱۴]. اولین بار تئوری فازی جهت استفاده در تکنیک FTA توسط Zadeh در سال ۱۹۶۸ با استفاده از یک متدولوژی کاملی جهت فائق آمدن بر مشکلات ناشی از عدم قطعیت و ابهامات در خصوص احتمالات رویدادهای پایه مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به اینکه احتمال دروازه‌های "و" و "یا" جهت تخمین احتمالات وقوع رویدادهای پایه، ذهنی می‌باشد لذا از تئوری فازی جهت فائق آمدن بر این مشکل استفاده شده است که نتایج حاصله مطابق و سازگار با شرایط واقعی بوده است [۱]. در مطالعاتی که توسط Shahriar و همکاران در سال ۲۰۱۲ در خصوص پیش‌بینی علل حوادث در صنایع خطوط نفت و گاز با استفاده از تکنیک FTA به ریشه‌یابی علل حوادث پرداخته شده که در این مقاله با استفاده روش فازی ابهامات مربوط به احتمالات رویدادهای پایه را کاهش داده است؛ و در نهایت نتایج حاصل از این مطالعه به مالکین کمپانی‌های بزرگ نفت و گاز در خصوص مدیریت ریسک و همچنین تصمیم‌گیری در خصوص پیامدهای چندبعدی که از نقص در این صنایع ممکن است به وجود آید، کمک کرده است [۱۳].

در جاییکه بانک اطلاعات برای علل ریشه‌ای موجود نبوده با استفاده از منطق فازی و ترکیب آن با نظر متخصصان سعی شده که این مشکل برطرف شود. جهت تبدیل یک عدد فازی به یک مقدار دقیق روش‌های مختلفی از جمله روش مرکز ثقل، روش بیشترین تابع عضویت، روش امتیازدهی به چپ و راست عدد فازی و ... وجود دارد. از آنجا که در این تحقیق از تابع عضویت پیوسته استفاده شده است، از روش امتیازدهی به چپ و راست عدد فازی استفاده شده است. در این روش تعیین حد شیب α و β نیز به نظر متخصصان برمی‌گردد [۳]. برای رسیدن به اعداد قطعی و تبدیل اعداد فازی به اعداد قطعی می‌توان از روش گرانیگاه^۲ استفاده نمود. به دلیل اینکه این روش تمام نقاط حوزه تعریف و درجه عضویت آن‌ها را در نظر می‌گیرد دقیق‌ترین روش دی فازی کردن می‌باشد. در خصوص تعیین خبرگان و انتخاب آن‌ها Miller اشاره به اعداد جادویی ۵-۹ را برای تعداد خبرگان و کارشناسان در تعیین اعداد فازی نمود [۴]. در تحقیقات دیگر گروه‌های خبرگان به دودسته هم‌جنس^۳ و ناهم‌جنس^۴ تقسیم شد و چنین نتیجه می‌گیرد که نتایجی که از بین گروه ناهمگون به دست می‌آید از ارزش بالاتری برخوردار است [۵ و ۶]. با توجه به مطالب فوق و از آنجا که می‌دانیم منطق فازی تا حد بسیاری برای رفع عدم قطعیت می‌باشد. در این مقاله سعی شده عدم قطعیت به‌وسیله متخصصان پوشش داده شود بنابراین به‌کارگیری نظر متخصصان برای دی فازی فای ممکن است عدم قطعیت را در مقابل فرمول مرکز ثقل بالا ببرد. لذا در این مطالعه بر آن شدیم تا با استفاده از ترکیب FTA و فازی و با استفاده از فرمول مرکز ثقل و دی فازی کردن دقت تجزیه و تحلیل شکست یک سیستم استفاده گردد.

^۲. Center of gravity

^۳. Homogenous

^۴. Heterogeneous

^۱. Cause tree method (CTM)



شکل ۱- مراحل اجراء مطالعه

سیستم گردید (شکل ۲ و ۳).

با استفاده از درخت خطای ایجاد شده و در نظر گرفتن رویدادهای پایه با توجه به اینکه اطلاعات لازم در خصوص تعیین احتمال شکست رویداد پایه وجود نداشت از منطق فازی جهت تعیین نرخ احتمال استفاده شد. با توجه به نرخ احتمالات به دست آمده و عدم وجود اطلاعات از ۵ مرحله فازی برای ادامه کار استفاده شد. مراحل بخش فازی کردن در شکل ۴ نشان داده شده است.

است و ما در این تحقیق بر آن شدیم که با استفاده از این تکنیک حوادث برقی را در صنعت توزیع برق پیش بینی و ریشه یابی کنیم. لذا با توجه به اینکه صنعت برق از خطرناک ترین صنایع می باشد و از طرفی بخش توزیع بیشترین آمار حوادث را به خود اختصاص داده است و با توجه به اینکه این صنعت در حال حاضر به دلیل رشد بی رویه شهرها تهدیدی برای جان بسیاری از مردم می باشد لذا بر آن شدیم که این طرح را در صنعت توزیع برق به اجرا درآوریم.

روش بررسی

این مطالعه از نوع مطالعات توصیفی حل مدل گذشته نگر بوده که در آن با استفاده از روش FTA اقدام به تعیین احتمال برق گرفتگی فشار ضعیف در صنعت توزیع برق گردید. با توجه به کمبود اطلاعات برای تعیین نرخ شکست اجزاء سیستم لازم است میزان نرخ شکست به صورت غیرقطعی برآورد گردد که برای افزایش دقت و رفع عدم قطعیت از منطق فازی استفاده شد. برای افزایش دقت محاسبات از فرمول مرکز ثقل برای دی فازی کردن این مدل استفاده گردید. این فرمول تا حد بسیاری مشکل دی فازی فای را حل می کند. علاوه بر این در این مقاله دیده شده که برخی از رویدادهای پایه ای قابل بررسی می باشند و برخی دیگر در سیستم می مانند تا شکست پیدا کنند؛ بنابراین تعیین احتمال این دو نوع رویداد کاملاً با هم متفاوت می باشند. فرمول مرکز ثقل دی فازی فای می تواند در رفع مشکلات مذکور برآید. مراحل اجرای این مطالعه در شکل ۱ ارائه شده است.

در این تحقیق بر اساس مطالعات انجام شده در شرکت توزیع نیروی برق استان گلستان، چک لیست مخاطرات برق گرفتگی فشار ضعیف تهیه و درخت خطای آن رسم گردید که در ادامه چک لیست و درخت خطای مخاطرات مربوط به حادثه برق گرفتگی فشار ضعیف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است (جدول ۱). با توجه به نتایج جدول ۱ درخت خطا رسم شد که این درخت خطا پایه اصلی برای محاسبات نرخ شکست

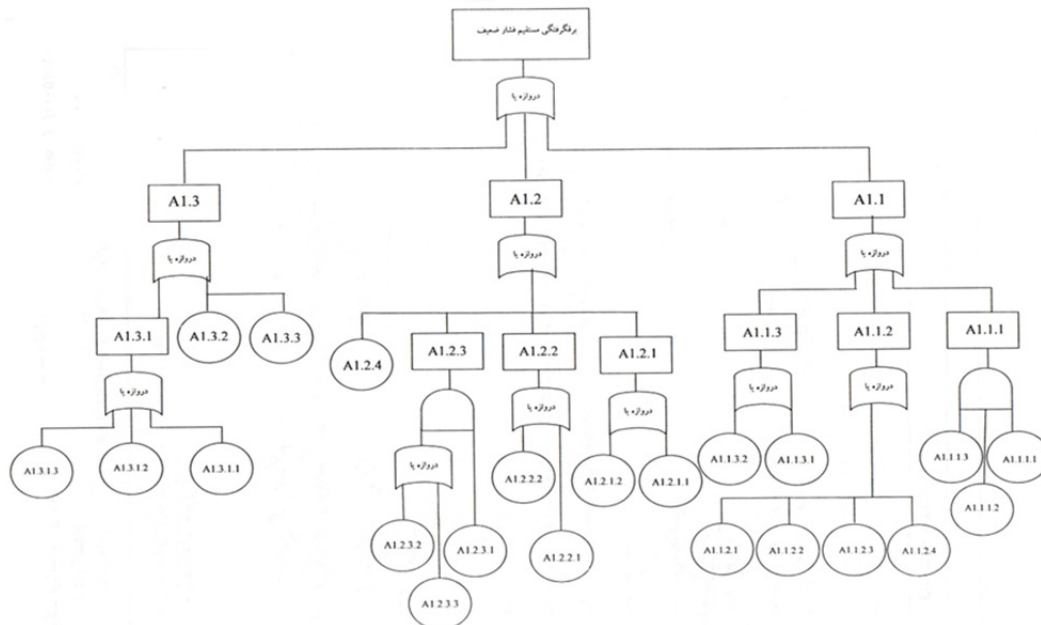
جدول ۱- نتایج حاصل از مطالعه سیستم مورد مطالعه

رویداد اصلی	رویدادی میانی	رویدادی میانی	رویدادی میانی
	خطای انسانی پرسنل (A1.1.1)	تماس ناخواسته با شبکه برق‌دار (A1.1)	
عدم توجه به شبکه های مجاور (A1.1.1.1)			
عدم استفاده از وسایل حفاظت فردی و گروهی جهت کار با شبکه برق‌دار (A1.1.1.2)			
استفاده از ابزار نامناسب (A1.1.1.3)			
سرقت سیم برق‌دار (A1.1.2.1)	ورود به حریم شبکه برق (A1.1.2)		
تماس بوم جرتقیل با سیم برق‌دار (A1.1.2.2)			
تماس با داربست با سیم برق‌دار (A1.1.2.3)			
تماس اشیای فلزی با سیم برق‌دار (A1.1.2.4)			
عدم رعایت حریم افقی و عمودی در احداث شبکه (A1.1.3.1)	در دسترس بودن تجهیزات شبکه برق‌دار (A1.1.3)		
باز بودن درب تابلوهای توزیع عمومی (A1.1.3.2)			
عدم نصب ارت (A1.2.1.1)	خطای انسانی (A1.2.1)	برق‌دار شدن ناخواسته (A1.2)	برق گرفتگی مستقیم (A1)
وصل اشتباه (A1.2.1.2)			
عدم نصب ارت (A1.2.2.1)	القای خطوط موازی یا متقاطع (A1.2.2)		
عدم رعایت فاصله مجاز خطوط (A1.2.2.2)			
عدم نصب ارت (A1.2.3.1)	ولتاژ برگشتی (A1.2.3)		
برگشتی از روشنایی معابر (A1.2.3.2)			
برگشتی از مشترکین (A1.2.3.3)			
قطع اشتباهی مدار (A1.3.1.1)	برخورد با هادی های مجاور (A1.2.4)		
عدم آشنایی با توپولوژی شبکه (A1.3.1.2)	خطای انسانی (A1.3.1)	عدم قطع برق (A1.3)	
شروع کار با عجله و فراموش کردن قطع مدار (A1.3.1.3)			
	معیوب بودن تجهیزات قطع کننده برق (A1.3.2)		
	یکسره بودن تجهیزات قطع کننده برق (A1.3.3)		
در رفتن سیم از روی مقره و برخورد با پایه (A2.1.1.1)	تماس سیم برق‌دار با پایه (A2.1.1)	تماس با پایه های مرطوب برق‌دار (A2.1)	
برخورد ناخواسته با سیم و هادی مدارات مجاور (A2.1.1.2)			
پاره شدن سیم و افتادن بر روی پایه های برق (A2.1.1.3)			
نشئی مقره (A2.1.2.1)	برق‌دار شدن پایه از طریق اتریه (A2.1.2)		
شکسته شدن مقره (A2.1.2.2)			
	اتصال سیم برق‌دار و برخورد با بدنه تابلو (A2.2.1)	تماس با بدنه تابلوهای برق‌دار (A2.2)	برق گرفتگی غیر مستقیم (A2)
عدم وجود ارت حفاظتی (A2.2.2.1)	عدم وجود لایه های حفاظتی (A2.2.2)		
عدم وجود عایق دابل مضاعف (A2.2.2.2)			
	نشئی مقره (A2.3.1)	برق‌دار شدن اتریه (A2.3)	
	شکسته شدن مقره (A2.3.2)		
	برخورد ناخواسته با سیم و هادی مدارات مجاور (A2.4.1)	تماس با پایه های چراغ روشنایی معابر (A2.4)	
	اتصال سیم برق‌دار و برخورد با بدنه فلزی چراغ روشنایی معابر (A2.4.2)		
عدم وجود ارت حفاظتی (A2.4.3.1)	عدم وجود لایه های حفاظتی (A2.4.3)		
عدم وجود عایق دابل مضاعف (A2.4.3.2)			

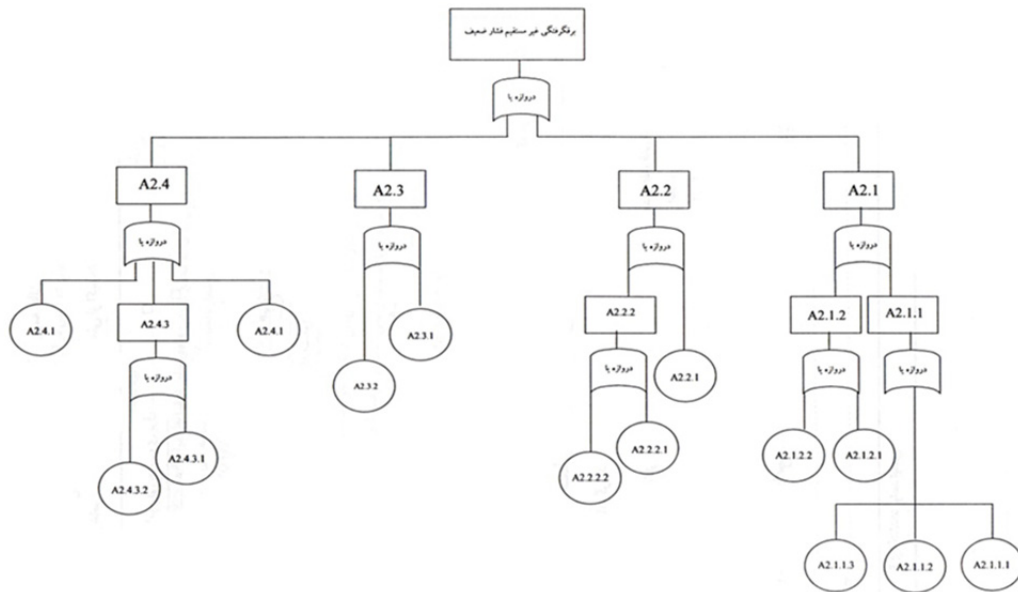
برق گرفتگی فشار ضعیف A

برق گرفتگی غیر مستقیم (A2)

مرحله ۱: انتخاب متخصصان: در زمان عدم وجود Data از نظر خبرگان استفاده می‌نماییم؛ که در این مطالعه پنج خبره جهت تعیین وزن انتخاب گردید [۷]. قابل ذکر است که این ۵ کارشناس اهمیت وزنی یکسانی ندارند. به همین دلیل برای تعیین وزن اهمیت متخصصان از روش ارائه شده توسط Lavasani و



شکل ۲- فلوجارت حادثه برق گرفتگی مستقیم فشار ضعیف



شکل ۳- فلوجارت برق گرفتگی غیر مستقیم فشار ضعیف

امتیازدهی خبرگان در جدول ۲ نشان داده شده است. **مرحله ۲: تعیین وزن خبرگان:** بعد از مشخص شدن شاخص‌های ارزیابی خبرگان در مرحله ۲ وزن خبره‌ها تعیین گردید. خبره در این مطالعه به کسی گفته شد که دارای اطلاعات کافی از سیستم مورد ارزیابی و آشنا با

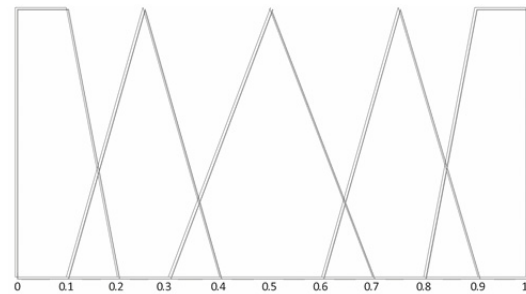
همکارانش در سال ۲۰۱۱ ارائه شده استفاده گردید [۸]. شاخص‌های مورد استفاده در تعیین شاخص‌های تعیین وزن اهمیت خبرگان عبارت بوده از: عنوان، تجربه، تحصیلات و سن که از مطالعه‌ای که Renjith و همکارانش انجام داده‌اند گرفته شده است [۳]. نحوه

جدول ۲- جدول امتیاز دهی براساس ویژگی های خبرگان

ردیف	وضعیت	طبقه بندی	امتیاز
۱	عنوان	مدیر، معاون	۴
		کارشناس، رئیس	۳
		سرپرست، تکنسین	۲
		سیمبان	۱
	تجربه	بیشتر از ۳۱	۴
۲		۲۱-۳۰	۳
		۱۱-۲۰	۲
		۵-۱۰	۱
	تحصیلات	دکترای فنی	۵
		فوق لیسانس فنی	۴
۳		لیسانس فنی	۳
		فوق دیپلم فنی	۲
		دیپلم فنی	۱
	سن	بیش از ۵۱	۴
		۴۱-۵۰	۳
۴		۳۱-۴۰	۲
		کمتر از ۳۰	۱



شکل ۴- پنج مرحله منطق فازی در تعیین نرخ رویداد ها



شکل ۵- ترمهای زبانی مورد استفاده متخصصان

اساس دامنه‌های فازی ارائه شده در جدول ۳ و ترم‌های زبانی و وزن اهمیت خبره‌ها میزان وزن هر رویداد انتهایی ارزیابی گردید.

مرحله ۳: اجماع نظر متخصصان: در این مرحله با استفاده از فرمول ۳ وزن متخصصان در ترم‌های زبانی ضرب نموده و به اجماع نظر متخصصان دست می‌یابیم.

$$M_i = \sum W_i A_{ij} \quad (i=1,2,3,\dots,m) \quad (3)$$

W_i = وزن متخصصان

A_i = تعداد متخصصان

j = ترم‌های زبانی

M_i = اجماع نظر متخصصان

FTA بوده است. در این مطالعه وزن منظور شده بر اساس همین شاخص‌ها در جدول ۳ ارائه شده است. برای تعیین وزن خبرگان از ترم‌های زبانی استفاده گردید که ۵ ترم زبانی بکار رفته خیلی کم، کم، متوسط، زیاد، خیلی زیاد بود. برای فازی نمودن این بخش از فازی مثلثی استفاده گردید که شکل ۴ بیان کننده دامنه فازی ترم‌های زبانی بکار رفته در این تحقیق است. قابل ذکر است که ترم‌های زبانی، به متخصصان برای تعیین میزان رخداد رویدادهای پایه کمک می‌کند. وزن منظور شده در خصوص ترم‌های زبانی در شکل ۵ نشان داده شده است.

در این مرحله با استفاده از شکل ۵ و همچنین نظر متخصصان می‌توان با استفاده از روش ارائه شده توسط Chen و Hwang که در سال ۱۹۹۲ ارائه نمودند مورد ارزیابی قرار گرفته [۹]؛ و وزن آن‌ها تعیین گردد بر

جدول ۳- وزن ترم های زبانی و نظر خبرگان در یک رویداد پایه ای

وزن ترم های زبانی	خبره ۱	خبره ۲	خبره ۳	خبره ۴	خبره ۵
	۰/۱۸۳۳	۰/۱۶۶۶	۰/۲۳۳۳	۰/۱۸۳۳	۰/۲۳۳۳
خیلی کم	۰	۰	۰/۱	۰/۲	۰/۲
کم	۰/۱	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۴	۰/۴
متوسط	۰/۳	۰/۳	۰/۵	۰/۷	۰/۷
زیاد	۰/۶	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۹	۰/۹
خیلی زیاد	۰/۸	۰/۹	۱	۱	۱

(۴) وسلی^۶ (فرمول ۸) به ترتیب بحرانی ترین MCS^۷ را مشخص می نماییم.

(۷)

$$TE = 1 - ((1 - MCS_1) \dots \dots \dots * (1 - MCS_{12}))$$

$$FVI = \frac{MCS_i}{TE} \quad (۸)$$

یافته‌ها

برای روشن شدن روش ارائه شده به ارائه جزئیات حل عددی یکی از رویدادهای انتهایی می پردازیم. نتایج حاصل از وزن خبرگان انتخابی در جدول ۴ ارائه شده است

جدول ۴- وزن خبرگان انتخابی

خبرگان	سن	تحصیلات	تجربه	عنوان	جمع امتیاز	وزن خبره
خبره ۱	۳	۳	۲	۳	۱۱	۰/۱۸۳۳
خبره ۲	۲	۳	۲	۳	۱۰	۰/۱۶۶۶
خبره ۳	۴	۳	۳	۴	۱۴	۰/۲۳۳۳
خبره ۴	۲	۳	۲	۴	۱۱	۰/۱۸۳۳
خبره ۵	۳	۴	۳	۴	۱۴	۰/۲۳۳۳

با توجه رابطه ۴ و اعداد به دست آمده از فرمول دوزنقه‌ای چنین استنباط شد که عدد دیفازی‌ای به دست آمده ۰/۵۹۰۶۸۵۲۹۵^۸ FPS^۸ بود. این عدد به عنوان FPS^۸ منظور شد که با قرار دادن آن در فرمول‌های ۵ و ۶ عدد

$$DE = \frac{1}{3} \times \frac{((a_4 + a_3)^2 - (a_4 \times a_3) + (a_1 \times a_2) - (a_1 + a_2)^2)}{(a_4 + a_3 - a_2 - a_1)}$$

مرحله ۴: دی فازی فای: در مرحله بعد، عدد به دست آمده در بالا معادل نظر ۵ کارشناس بوده که هنوز به صورت (امکانی) می باشد. در این مرحله با استفاده از مدل مرکز ثقل و فرمول دوزنقه‌ای می توان دیفازی‌ای عدد بالا را به دست آورد

مرحله ۵: استفاده از تبدیل فرمول امکان به احتمال: در مرحله قبل، عدد دیفازی‌ای به دست آمد ۰/۵۹۰۶۸۵۲۹۵ هنوز به صورت امکانی می باشد و از آنجایی که درخت خطا احتمال می پذیرد، عدد به دست آمده در این مرحله فازی، از امکان به احتمال تبدیل می گردد که در این رابطه از فرمول‌های (۱۸) (Onisawa, 1988) (فرمول‌های ۵ و ۶) برای این مرحله استفاده می شود.

$$K = [(1 - FPS) \times FPS^{-1}]^{0.3} \times 2.301 \quad (۵)$$

$$\text{احتمال} = 10^{-k} \quad (۶)$$

بعد از تعیین نرخ احتمالاتی رویدادهای پایه و به کمک بانک اطلاعات به دست آمده نرخ TE^۵ را محاسبه می نماییم که از (فرمول ۷) استفاده می نماییم، سپس بر اساس TE به دست آمده طبق فرمول فاسل -

⁶. Fussell - Vesely

⁷. Minimal Cut Set

⁸. Fuzzy Possibility Score

⁵. Top Event

احتمالاتی متناظر آن به دست می آید:

$$K=[(1-FPS) \times FPS^{-1}]^{0.3} \times 2.301 = 2/0.61232469$$

$$\text{احتمال} = 10^{-k} = 0.0084954$$

شده و آن‌ها طی ۵ مرحله عنوان شده، احتمالاتی گردیده‌اند. با تعیین نرخ احتمالات رویدادهای پایه و قرار دادن آن در جدول ۵ می‌توان نرخ احتمال رویداد اصلی را محاسبه کرد. لذا با توجه به علل ریشه‌ای جهت راحت‌تر شدن حل مسئله از طریق فرمول نویسی در اکسل، نتایج جدول ۵ به دست آمده است.

بعد از انجام مراحل عنوان شده و تبدیل علل ریشه‌ای فازی به احتمالاتی، تعداد کل رویدادهای انتهایی فازی

جدول ۵- تعیین نرخ احتمال رویداد اصلی و رویداد انتهایی

رویداد اصلی	رویداد میانی	رویداد میانی	رویداد میانی	رویداد پایه
	$P(A1.1.1) = (P(A1.1.1.1) \cap P(A1.1.1.2) \cap P(A1.1.1.3)) = 0.000000045691149$	$P(A1.1) = P(A1.1.1) \cup P(A1.1.2) \cup P(A1.1.3) = 0.040031842$		$(A1.1.1.1) = 0.008684954$ $(A1.1.1.2) = 0.000404991$ $(A1.1.1.3) = 0.0129903$
	$P(A1.1.2) = (P(A1.1.2.1) \cup P(A1.1.2.2) \cup P(A1.1.2.3) \cup P(A1.1.2.4)) = 0.026122638$			$(A1.1.2.1) = 0.010591273$ $(A1.1.2.2) = 0.005844198$ $(A1.1.2.3) = 0.0122731$ $(A1.1.2.4) = 0.0082255$
	$P(A1.1.3) = (P(A1.1.3.1) \cup P(A1.1.3.2)) = 0.01428225$			$(A1.1.3.1) = 0.0102514$ $(A1.1.3.2) = 0.0040726$
	$P(A1.2.1) = (P(A1.2.1.1) \cup P(A1.2.1.2)) = 0.006131809$	$P(A1.2) = (P(A1.2.1) \cup P(A1.2.2) \cup P(A1.2.3) \cup P(A1.2.4)) = 0.01733854$		$(A1.2.1.1) = 0.0046599$ $(A1.2.1.2) = 0.0014788$
	$P(A1.2.2) = (P(A1.2.2.1) \cup P(A1.2.2.2)) = 0.008323728$			$(A1.2.2.1) = 0.0063136$ $(A1.2.2.2) = 0.0020229$
	$P(A1.2.3) = (P(A1.2.3.2) \cup P(A1.2.3.3) \cap P(A1.2.3.1)) = 0.000042901423$			$(A1.2.3.1) = 0.0055611$ $(A1.2.3.2) = 0.0021655$ $(A1.2.3.3) = 0.0055611$
	$P(A1.2.4) = 0.0029343$			
	$P(A1.3.1) = (P(A1.3.1.1) \cup P(A1.3.1.2) \cup P(A1.3.1.3)) = 0.009496421$	$P(A1.3) = P(A1.3.1) \cup P(A1.3.2) \cup P(A1.3.3) = 0.020374009$		$(A1.3.1.1) = 0.0029343$ $(A1.3.1.2) = 0.0013488$ $(A1.3.1.3) = 0.0052397$
	$P(A1.3.2) = 0.002317$			
	$P(A1.3.3) = 0.008685$			
	$P(A2.1.1) = (P(A2.1.1.1) \cup P(A2.1.1.2) \cup P(A2.1.1.3)) = 0.008685362$	$P(A2.1) = (P(A2.1.1) \cup P(A2.1.2)) = 0.012339478$		$(A2.1.1.1) = 0.0029343$ $(A2.1.1.2) = 0.0020358$ $(A2.1.1.3) = 0.0037398$
	$P(A2.1.2) = (P(A2.1.2.1) \cup P(A2.1.2.2)) = 0.003686131$			$(A2.1.2.1) = 0.0014788$ $(A2.1.2.2) = 0.0022106$
	$(A2.2.1) = 0.0050505$			
	$P(A2.2.2) = (P(A2.2.2.1) \cup P(A2.2.2.2)) = 0.004231139$	$P(A2.2) = (P(A2.2.1) \cup P(A2.2.2)) = 0.00926027$		$(A2.2.2.1) = 0.0026864$ $(A2.2.2.2) = 0.0015489$
	$(A2.3.1) = 0.0014788$	$(P(A2.3.1) \cup P(A2.3.2)) = 0.003686131$		
	$(A2.3.2) = 0.0022106$			
	$(A2.4.1) = 0.000997$	$(P(A2.4.1) \cup P(A2.4.2)) = 0.011436218$		
	$(A2.4.2) = 0.0038057$			
	$P(A2.4.3) = (P(A2.4.3.1) \cup P(A2.4.3.2)) = 0.006669318$			$(A2.4.3.1) = 0.0030661$ $(A2.4.3.2) = 0.0036143$

سازگار با شرایط واقعی بوده است [۱].
تحقیق انجام گرفته توسط Tyagi و همکارانش در مورد آنالیز درخت خطا نشان می‌دهد که بررسی احتمال شکست رویداد پایه‌ای، پایه اصلی آنالیز درخت خطا می‌باشد که به کمک منطق فازی (اعداد مثلثی و دوزنقه‌ای) کمی می‌گردد. استفاده از منطق فازی در درخت خطا می‌تواند هم ارزیابی‌ها را ساده‌تر نموده و هم دقت را بالا ببرد. این مسئله با نتیجه‌ای که در این تحقیق گرفته شده است همخوانی دارد [۲].

Ferdous و همکاران مقاله‌ای در خصوص متدولوژی FTA فازی ارائه کردند که ابتدا در این مقاله در خصوص متدولوژی FFTA به‌عنوان یک ابزار شناسایی علت‌های پایه‌ای رویداد ناخواسته اصلی و نشان دادن روابط منطقی بین هر یک از علت‌ها و احتمال وقوع آن‌ها اشاره شده است. سپس جهت اجرای تکنیک FTA کمی (مقداری)، به دلیل اینکه امکان تخمین دقیقی از احتمال وقوع علت‌های پایه‌ای وجود نداشت و ممکن بود نتیجه نهایی کمی سؤال برانگیز باشد، از روش فازی استفاده شده است. در نتیجه مشکل ناشی از ابهام و عدم دقت ناشی از ذهنی بودن اطلاعات را کاهش داده است [۱۲].

با توجه به مطالعات صورت گرفته احتمال شکست رویداد پایه به کمک اعداد فازی به‌وسیله کارشناسان مختلف با شرایط ناهمگون متفاوت خواهد بود و صحت انتخاب عدد فازی برای نشان دادن رویداد پایه بسیار اساسی می‌باشد. در نهایت این تحقیق می‌تواند با رفع عدم قطعیت و ابهامات موجود، به بهبود قابلیت اطمینان و کاهش هزینه‌های سیستم کمک شایانی نماید. روش بکار گرفته شده در این مقاله با روشی که در این مطالعه بکار گرفته شد همخوانی دارد. در این مطالعه با استفاده از روش فازی دوطرفه نه‌تنها به کارشناسان وزن داده شد بلکه با استفاده از دی فازی کردن وزن‌های رویدادهای انتهایی وزن هر رویداد مورد سنجش قرار گرفت که وجه افتراق روش بکار رفته در این مقاله با مطالعه حاضر در همین قسمت بوده که شاید نقطه قوت مقاله حاضر در خصوص کمی سازی و افزایش دقت

سلسله مراتبی می‌باشد برای تخصیص وزن احتمالات به علل ریشه‌ای از روش فازی استفاده شده است. بدین گونه که پس از ریشه‌یابی حوادث با استفاده از مدل FTA و یافتن رویدادهای پایه از منطق فازی در تعیین احتمال وقوع هر رویداد پایانی استفاده شد و با تخصیص وزن احتمالات به دروازه‌های "و" و "یا" با استفاده از روابط احتمالاتی، با بررسی میزان تأثیر آن‌ها در وقوع رویداد اصلی، به ارائه نتیجه نهایی پرداختیم

با توجه به تعیین MCS های بحرانی و میزان حساسیت مدل، به ترتیب MCS بحرانی حادثه برق‌گرفتگی فشار ضعیف مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و حذف هر یک از آن‌ها را در افزایش میزان قابلیت اطمینان بررسی نموده و سپس جهت افزایش قابلیت اطمینان، روش‌های کنترلی ذیل ارائه شده است:

بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق انجام گرفته توسط Pinto و همکارانش به این مسئله اشاره دارد که ارزیابی ریسک برای سلامتی و ایمنی کارکنان یک وظیفه پیچیده بوده که نیازمند توجه به پارامترهای مختلف می‌باشد.

تحقیقات و مطالعات کیفی قدیمی (گذشته) برای پاسخ به سؤالات ما ناکافی بوده برای رفع ابهامات موجود ما نیاز به جنبه‌های پایه‌ای مدل کمی ارزیابی ریسک یا (QRAM) برای استخراج داده‌ها و کاربرد منطق فازی داریم [۱۰].

استدلال بکار رفته در این مقاله برای استفاده از مدل‌های کمی و قطعی در ارزیابی ریسک مشابه استدلال بکار رفته در مطالعه حاضر است.

اولین بار تئوری فازی جهت استفاده در تکنیک FTA توسط Zadeh با استفاده از یک متدولوژی کاملی جهت فائق آمدن بر مشکلات ناشی از عدم قطعیت و ابهامات در خصوص احتمالات رویدادهای پایه مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به اینکه احتمال دروازه‌های "و" و "یا" جهت تخمین احتمالات وقوع رویدادهای پایه، ذهنی می‌باشد لذا از تئوری فازی جهت فائق آمدن بر این مشکل استفاده شده است که نتایج حاصله مطابق و

لذا در برق گرفتگی شبکه فشار ضعیف مستقیم می‌توان با انجام اقدامات کنترلی ذیل مسیر بحرانی فوق را کاهش داد:

الف: اقدامات مهندسی

- گسترش استفاده از شبکه‌های کابلی جهت جلوگیری از سرقت و برق گرفتگی
- استفاده از قفل‌های مناسب جهت اطمینان از بازماندن درب تابلوها
- رعایت حریم در طراحی‌های شبکه
- طراحی مناسب داربست‌ها در رعایت حریم
- نصب ارت بر روی داربست‌ها و جرقه‌گیرها و کلیه اشیای فلزی جهت جلوگیری از برق گرفتگی
- استفاده از پایه‌های گرد جهت جلوگیری از سرقت
- تهیه و استفاده از ابزار ارگونومیک جهت جلوگیری از سرقت

ب: اقدامات نظارتی و مدیریتی

- الزام به رعایت استانداردهای ارگونومیک و ایمنی در خرید ابزار و تجهیزات
- نظارت بر استفاده از وسایل حفاظت فردی و گروهی
- نظارت بر فرآیند خرید تجهیزات و وسایل حفاظت فردی و گروهی جهت اطمینان از انطباق آن‌ها با استانداردها
- بازدید میدانی جهت شناسایی تأسیسات و تجهیزات مخاطره‌آمیز
- نظارت بر رعایت حریم شبکه

منابع

1. Zadeh LA. "Fuzzy sets", Information and Control. 1965;8:338-353.
2. Tyagi SK, Pandey D, Tyagi R. Fuzzy set theoretic approach to fault tree analysis, International Journal of Engineering, Science and Technology. 2010;2(5):276-283.
3. Renjith VR, Madhu G, Nayagam VL. Bhasi AB Two-dimensional fuzzy fault tree analysis for chlorine release from a chlor-alkali industry using

محاسبه ضریب هر رویداد انتهایی می‌باشد. یکی از مهم‌ترین، مسائلی که در این مطالعه به آن اشاره نشده، این است که تمامی رویدادها در FTA به‌طور مستقل از یکدیگر حادث می‌شوند و وابستگی بین المان‌ها صفر در نظر گرفته شده است.

$$FTA \rightarrow AUB = A + B - A * B$$

با توجه به تعیین و رتبه‌بندی MCS های بحرانی و میزان حساسیت مدل، پس از انجام مطالعات کتابخانه‌ای و مطالعات اولیه، با جمع‌آوری اطلاعات حوادث شرکت‌های توزیع برق با تعیین علل حوادث به تحلیل آن‌ها پرداختیم. سپس با تعیین عوامل اثرگذار بر روی شدت، احتمال و تکرار حوادث و تعیین پارامترهای مؤثر بر شاخص‌های علل حوادث با استفاده از مدل FTA به ریشه‌یابی حوادث پرداخته شد. با توجه به اینکه مدل مذکور، به‌صورت درختی و سلسله‌مراتبی می‌باشد برای تخصیص وزن احتمالات به علل ریشه‌ای از روش فازی استفاده شده است. بدین گونه که پس از ریشه‌یابی حوادث با استفاده از مدل FTA و یافتن رویدادهای پایه از منطق فازی در تعیین احتمال وقوع هر رویداد پایانی استفاده شد و با تخصیص وزن احتمالات به دروازه‌های "و" و "یا" با استفاده از روابط احتمالاتی، با بررسی میزان تأثیر آن‌ها در وقوع رویداد اصلی، به ارائه نتیجه نهایی پرداختیم.

با توجه به تعیین MCS های بحرانی و میزان حساسیت مدل، به ترتیب MCS بحرانی هر حادثه به تفکیک مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و حذف هر یک از آن‌ها را در افزایش میزان قابلیت اطمینان بررسی نموده و سپس جهت افزایش قابلیت اطمینان، روش‌های کنترلی ذیل ارائه شده است:

در برق گرفتگی شبکه فشار ضعیف، قابلیت اطمینان ۰/۸۹۰۶۱۴۵۴۶ می‌باشد که با شناسایی مسیر بحرانی ۱ (A1.1)، می‌توان با حذف آن، قابلیت اطمینان را به ۰/۹۲۷۷۵۴۲۵۸ افزایش داد که افزایش چشمگیری در قابلیت اطمینان می‌باشد.



expert elicitation, *J Hazard Mater.* 2010; 15(183):103-110.

4. Miller GA. "The magical number seven plus or minus two: some limit on our capacity for processing information", *The Psychological Review.* 1956;63:81-97.

5. Cornelissen AMG, Berg JV, Koops WJ, Kaymak U. "Elicitation of expert knowledge for fuzzy evaluation of agricultural production system", *Agriculture Ecosystem & Environment.* 2002;95:1-18.

6. Nurmi H. "Approaches to collective decision making with fuzzy preference relation", *Fuzzy set and System.* 1981;6:249-259.

7. Ishikawa A, Amagasa M, Shiga T, Tomizawa G, Tatsuta R, Mieno H. "The max-min Delphi method and fuzzy Delphi method via fuzzy integration", *Fuzzy Set and System.* 1993;55:241-253.

8. Lavasani SM, Yang Z, Finlay J, Wang J. Fuzzy risk assessment of oil and gas offshore wells, *Process Safety and Environmental Protection.* 2011;89(5): 277-294.

9. Chen SJ, Hwang CL. *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making.* 1st Ed. Springer – Verlag Berlin Heidelberg, Germany. ISBN: 3-540-54998-6 (1992).

10. Pinto A, Nunes IL, Ribeiro RA. Qualitative Model for Risk Assessment in Construction Industry: A Fuzzy Logic Approach, DoCEIS 2010, International Federation for Information Processing IFIP AICT. 2010;314:105–111.

11. Murray H, Watson HA. Launch Control Safety Study, NJ Bell Labs. (1961), 7(1).

12. Ferdous R, Khan F, Veitch B, Amyotte. PR. Methodology for computer aided fuzzy fault tree analysis. *Process Safety and Environmental Protection.* 2009;87(4):217-226.

13. Shahriar A, Sadiq R, Tesfamariam S. Risk analysis for oil & gas pipelines: A sustainability assessment approach using fuzzy based bow-tie analysis. *Journal of loss prevention in the process industry.* 2012;25(3):505 – 523.

14. Hassl DF. Advanced concepts in Fault Tree Analysis, Boeing/UW System Safety Symposium. 1965.

Presenting a model for quantitative risk assessment of low voltage electrocution in electricity distribution industry using FTA in fuzzy environment

H. Kolasangiani¹, M. Omidvari²

Received: 2014/07/12

Revised: 2015/03/02

Accepted: 2015/04/30

Abstract

Background and aims: Wide spread of power technology over large areas has paved the way of communication for countless people including professionals and employees involved in production. Power transmission and power distribution have also provided welfare for industrial and domestic consumers. Working with and utilizing this clean energy should be in such a way that causes no hazards to human's health and well-being. Nonetheless, unexpected events regarding electric shock in which many have died or have permanently been disabled are usually reported. The purpose of the present study was presenting a model for analysing low voltage electric shock based on FTA¹ model in fuzzy environment in the electricity distribution industry.

Methods: In the current study, the causes of low voltage electrocution were analyzed by collecting data from electricity distribution companies followed by initial and library studies. Afterwards, the causes of low voltage electrocution were determined using FTA method. Regarding this fact that the mentioned model (FTA) is a tree hierarchichal model, fuzzy method was used to assign probability weight to root causes. After determining the causes of incidents using FTA model and after finding the basic events, fuzzy logic was adopted to detrmine the probability of occurence for every event and by assigning probability weight to "and" and "or" gates using probabilistic relationships as well as considering the magnitude of their effects in occurence of the main event, the final result was presented.

Results: The results reveal that the probability of occurence of low voltage electrocution in electricity distribution industry is 0.109385454 which is a very high level of risk for the employees involved in this vital industry. Therefore, with respect to detrmination of Minimal Cut Set and by adopting control methods, eliminating this path and its effect on the possibility of electrocution have been analyzed.

Conclusion: Reliability in low voltage electrocution stands at 0.890614546. By identifying critical path 1 (A 1.1) and by adopting control measures and eliminating it, reliability will improve to 0.927754258 which is a significant increase.

Keywords: Electricity distribution industry, Event, Adverese event, FTA model, Minimal cut set.

1. Masters student, Islamic Azad University of Qazvin, Science and Research Branch, Qazvin, Iran. hamed.safety62@gmail.com

2. (**Corresponding author**) Assistant Professor, Department of Industrial Engineering and Mechanics, Islamic Azad University of Qazvin, Qazvin, Iran. omidvari88@yahoo.com