تحلیل درخت خطا با استفاده از منطق فازی

ولی درهمی دانشگاه تربیت مدرس
مهدی باصولی عضو هیات علمی جهاد دانشگاهی

چکیده :

تحلیل درخت خطا یکی از روش‌های کارایی است که جهت ارزیابی و تحلیل قابلیت اطمینان سیستم‌های صنعتی به‌کار می‌رود. این تحلیل یک مدل سلسله مراتبی و منطقی جهت یک موقعیت نامطلوب می‌باشد که برحسب تمام ترکیب‌ها و ترتیب‌های ممکن رویدادهای اصلی و واسطه‌ای که منجر به آن وضعیت شده‌اند، بیان می‌شود. در بسیاری از موارد تعیین نرخ و یا احتمال وقوع خرابی، به صورت قطعی بسیار مشکل و یا حتی غیرممکن است و ورودی‌های سیستم به صورت غیرقطعی می‌باشند. در این حالت روش فازی به‌عنوان یک ابزار قوی در حل مسائل با داده‌ی غیرقطعی می‌تواند مفید باشد. از طرف دیگر مقدمه‌ی ضروری تحلیل درخت خطا، تعریف و فهم سیستم مورد بررسی و تشکیل درخت می‌باشد که با توجه به ارتباط نزدیک منطق فازی با بیان انسانی می‌توان از دانش متخصصین در این زمینه به راحتی استفاده کرده و به کمک روابط فازی سیستم مورد بررسی را معرفی نمود. در این مقاله تحلیل درخت خطا در حالت غیرقطعی با استفاده از منطق فازی ارائه شده است. به عبارت دیگر به کمک ورودی‌های فازی و دریچه های AND و OR و ... فازی، درخت خطا شبیه‌سازی شده و تحلیل درخت خطا با استفاده از عملگرهای فازی صورت پذیرفته‌است. در پایان با استفاده از یک مثال تحلیل مساله تشریح گردیده است.

واژه‌های کلیدی:

تحلیل درخت خطا، منطق فازی، داده‌ی غیرقطعی، دریچه‌های فازی.

مقدمه:

هدف تمامی موسسات از عرضه‌ی کالاها و خدمات برآورده نمودن نیازمندی‌ها و جلب رضایت مشتریان می‌باشد. درحالی‌که مشتریان نیز به نوبه‌ی خود دارای انتظارات رو به تزایدی از جهت افزایش سطح کیفیت کالاها و یا خدمات می‌باشند و این موضوع بخشی از واقعیت رشد تجارت جهانی و رقابت افزاینده می‌باشد. جهت هماهنگی نیازهای مخاطبین با عملکرد هر سازمان، الگوهای متعددی به‌کار گرفته شده است، به‌گونه‌ای که جهت‌گیری مدیریت نوین برپایه نگرش مشتری‌گرایانه تدوین گردیده است. . مدیریت کیفیت فراگیر یک روش مدیریتی نوین است که می‌توان پایه و اساس آن را مشارکت کارکنان در فرآیندهای تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی و اجرا دانست. این سبک مدیریت دارای دو هدف عمده‌ی تضمین کیفیت و قابلیت رقابتی می‌باشد. مدیریت کیفیت فراگیر اقدامی هوشمندانه، آرام و مستمر می‌باشد که تاثیر بسزایی در تامین اهداف سازمان دارد و در نهایت به رضایت مشتری، افزایش کارایی و بالا بردن سطح رقابت در بازار ختم می‌شود.

ازجمله ابزارهای مهم مدیریت کیفیت تحلیل درخت خطا می‌باشد. این شیوه از مهم‌ترین شیوه‌های ارزیابی قابلیت اطمینان است. به گونه‌ای که اکثر صنایع مانند نیروگاه‌های هسته‌ای، صنایع هوا – فضا و صنایع خودروسازی از این تحلیل به صورت گسترده‌ای استفاده می‌کنند. از این شیوه برای بررسی کیفی فرآیندهای شکست سیستم‌های پیچیده و عواقب شکست آنها و همچنین بررسی کمی سوانح استفاده می‌شود. این شیوه که یک روش از بالا به پایین است در مقابل روش تحلیل خرابی و اثرات آن[1] قرار دارد.

[1] Failure & Mode Effects Analysis

در بررسی ایمنی و ارزیابی قابلیت اطمینان هر سیستم باید وابستگی‌های متوازی و متوالی اعضای شبکه‌ای که سیستم را تشکیل داده‌اند باید در نظر گرفته شود. زمانی‌که ساختار سیستم ها پیچیده می‌شود، مدل‌سازی قابلیت اطمینان نیز پیچیده‌تر می‌شود. تحلیل درخت خطا به واسطه‌ی آسان بودن به‌کارگیری و مدل‌سازی شبکه مورد استفاده‌ی فراوان قرار گرفته است. در این شیوه شرایط شکست و خرابی و یا خطای مشخصی از سیستم به عنوان حادثه‌ی نهایی در نظر گرفته می‌شود. ترکیب و توالی سایر شکست‌ها که منجر به وقوع حادثه‌ی نهایی می‌شوند، ساختار درخت خطا را به وجود می‌آورد. برای این منظور باید ابتدا علل اصلی حادثه‌ی نهایی شناسایی شده و سپس گام به گام با تجزیه‌ی علل به جزییات بیشتر، وابستگی آنها به عملکرد عضوهای سیستم بررسی شوند. این تحلیل در وهله‌ی نخست به عنوان ابزار ارزیابی کیفی برای یک طراح است تا به اهمیت رفتار تک تک عضوهای سیستم پی‌برده و تدابیر لازم را برای حذف عوامل اساسی شکست و خرابی سیستم اعمال کند. در وهله‌ی دوم، با استفاده از اطلاعات مربوط به قابلیت اطمینان عضوها، از پایین‌ترین سطح، الحاق منطقی رویدادها صورت می‌گیرد و نهایتا ارزیابی کمی قابلیت اطمینان سیستم حاصل خواهد شد.

در فضای واقعی سیستم، تخمین نرخ خرابی و یا احتمال وقوع هر رویداد به منظور تعیین قابلیت اطمینان سیستم و انجام تحلیل درخت خطا ساده نیست و این امر تحلیل‌گر را با مشکل روبرو می‌سازد. به بیان دیگر مساله با عدم قطعیت موجه می‌شود و عدم قطعیت در هر جز سیستم و یا رویدادهای اساسی می‌تواند به عدم اطمینان در احتمال خطای کل سیستم منجر شود. در این حالت روش فازی به‌عنوان یک ابزار قوی در حل مسائل با داده‌ی غیرقطعی می‌تواند مفید باشد. در این منطق هر پارامتر یک عدد فازی در نظر گرفته می‌شود و احتمالات خطای اجزا همانند احتمالات فازی فرض می‌شوند و از اصل توسعه برای عملیات جبری استفاده می‌شود.

از طرف دیگر مقدمه‌ی ضروری تحلیل درخت خطا، تعریف و فهم سیستم مورد بررسی و تشکیل درخت می‌باشد که با توجه به ارتباط نزدیک منطق فازی با بیان انسانی می‌توان از دانش متخصصین در این زمینه به راحتی استفاده کرده و به کمک روابط فازی سیستم مورد بررسی را معرفی نمود. به بیانی دیگر جهت طی مرحله‌ی دشوار تشکیل درخت و ارائه‌ی مدار منطقی برای یک سیستم با وجود عدم قطعیت‌ها، روش فازی به عنوان یک واسطه‌ی کارآمد بسیار مناسب می‌باشد.

نظریه‌ی فازی در سال ۱۹۶۵ به‌وسیله‌ی یک دانشمند ایرانی به‌نام دکتر لطفی‌زاده معرفی گردید[۱]. پژوهشگران مختلفی از این نظریه در تحلیل درخت خطا استفاده نموده‌اند؛ مانند میسارا۱ و۰۰۰[۲]، سینگر۲ [۳]، تاناکا۳و همکاران[۴]. در این تحقیقات به جای فرض پارامترهای ورودی به عنوان متغیر تصادفی، اعداد فازی به‌کار گرفته شده و عدم قطعیت به حادثه‌ی نهایی تعمیم داده شده بود. اما این دیدگاه‌ها نتوانستند مدل‌هایی با رویدادهای تکراری را حمایت نمایند. سومن۴ و میسارا [۵] یک روش ساده برای تحلیل فازی درخت خطا ارائه نمودند که بر پایه‌ی روش برش آلفا بنا شده بود.

از طرف دیگر در تحلیل کمی درخت خطا، تحلیل دیگری نهفته است که عامل بهبود را در سیستم‌ها شناسایی می‌کند. جهت تعیین و محاسبه‌ی این عامل در حالت عدم قطعیت مدلی توسط فوروتا۵ [۶] و لیانگ۶ و ۰۰۰ [۷] ارائه گردید.

در این مقاله چگونگی تشکیل درخت با استفاده از دریچه‌های فازی و تحلیل درخت خطا در حالت عدم قطعیت با استفاده از منطق فازی مورد بررسی قرار گرفته و نتایج شبیه‌سازی شده است. این امر با ذکر یک مثال از درخت خطا توضیح داده شده است.

تحلیل درخت خطا

هدف اصلی یک درخت خطا، ارزیابی احتمال رخ دادن رویداد نهایی و مشخص نمودن رویدادهایی است که در وقوع رویداد نهایی نقش بسزایی دارند. به منظور تعیین نرخ وقوع رویداد نهایی، اطلاعات مربوط به قابلیت اطمینان، قابلیت تغییر پذیری، احتمال خرابی، نرخ خرابی، نرخ تعمیر و ۰۰۰ مورد نیاز می‌باشند. از طرف دیگر یک درخت خطا، نمای شماتیکی از سیستم ارائه می‌دهد که این ابزار در ارزیابی سیستم بسیار مفید خواهد بود.

این تکنیک اولین بار به وسیله واتسن**۷** در طول مطالعه‌ی سیستم های کنترل پرتاب موشک‌های بالستیک، بیان شده است[۸]. پس از آن توسط افراد مختلف مورد بازنگری و بررسی قرار گرفته است.

[1] K.B.Misara
[2] D.singer
[3] H.Tanaka
[4] K.P.Soman
[5] H.Furuta
[6] G.S.Liang
[7] H.A.Watson

تحلیل درخت خطا یک تکنیک کمی و کیفی است. به بیان دیگر در حالتی که این تحلیل، رویدادهای اصلی و مسیرهایی را که منجر به وقوع رویداد نهایی می‌شوند را شناسایی و معرفی می‌کند، تکنیکی کیفی است و در حالتی که فرکانس و احتمال رخ دادن یک رویداد را تخمین می‌زند، تکنیکی کمی می‌باشد.

مراحل تحلیل درخت خطا

تشکیل و تحلیل درخت خطا به ترتیب مراحل زیر می‌باشد:

تعریف سیستم

یک مقدمه‌ی ضروری برای تشکیل درخت خطا، تعریف و فهم سیستم مورد بررسی می‌باشد. تعریف سیستم، ارتباط و وابستگی بین اجزا مختلف آن‌را بیان نموده، پارامترهای قابلیت اطمینان را مشخص کرده و شرایطی که در هر وضعیت مشخصی به وجود می‌آید، را مشخص می دارد.

تشکیل درخت خطا

یک درخت خطا، ارائه‌ی ترسیمی ارتباط بین رویدادهای سطح پایین و رویداد نامطلوب یا حادثه‌ی نهایی سیستم می‌باشد. این ارتباط در درخت توسط نمادهای منطقی نشان داده می‌شود. منطق لازم برای ترسیم این نمودارها، مستلزم درک کاملی از عملکرد فیزیکی سیستم می باشد. نمادهای منطقی که در این درخت به کار می‌روند عبارتند از:

نماد AND، OR، NOT، NOR، NAND، XOR، AND اولویت‌دار، انتقال، مانع، ارایه‌ی توضیحات، رویداد اساسی و رویداد نیمه‌تمام. با ترکیبی از نمادها و رویدادها می توان تصویر کاملی از سیستم مورد بررسی را ارائه نمود.

تحلیل کیفی۱

تحلیل درخت خطا در دو مرحله صورت می‌پذیرد که اولین مرحله‌ی آن تحلیل کیفی می‌باشد. منظور از تحلیل کیفی تهیه کردن ترکیب‌های مختلفی از رویدادها است که باعث خرابی سیستم می‌شوند. به عبارت دیگر در این قسمت هدف تعیین کوچکترین مجموعه انقطاع۲ برای حادثه‌ی نهایی درخت خطا می‌باشد[۸].

مجموعه‌ی انقطاع

طبق تعریف مجموعه‌ی انقطاع، مجموعه‌ای متشکل از عضوهای سیستم است که ایجاد خطا در آنها باعث بروز خطا در سیستم می‌شود. به بیان دیگر این مجموعه شامل رویدادهایی می‌باشد که رخدادن مجموع آنها، باعث رخدادن حادثه‌ی نهایی می‌شود. علت نامیده شدن این مجموعه به مجموعه‌ی انقطاع این امر است که عضوهای این مجموعه، عضوهایی از سیستم هستند که خطا در آنها، موجب انقطاع همه مسیرها از ورودی به خروجی می‌شود. در تحلیل کیفی درخت خطا، تاکید عمده بر ارائه‌ی کامل کوچک‌ترین مجموعه‌های انقطاع می‌باشد. دیدگاه قراردادی برای تعیین این مجموعه ها، بسط منطقی با استفاده از جبر بول برای حادثه‌ی نهایی و تبدیل آن به شکل جمع حاصلضرب‌ها۳ می‌باشد[۸].

تحلیل کمی۴

در این بخش احتمال و فرکانس حوادث نهایی و رویدادهای نامطلوب محاسبه می‌شود. همچنین نرخ وقوع هر کدام از مجموعه‌های انقطاع مورد بررسی قرار می‌گیرد. اطلاعات مربوط به مجموعه‌های انقطاع از تحلیل کیفی به‌دست می‌آیند. باید توجه داشت برخلاف تحلیل قابلیت اطمینان که از مقادیر قابلیت اطمینان و قابلیت در دسترس بودن۵ استفاده می‌شود، در تحلیل درخت خطا به علت آنکه تحلیل بر روی خرابی صورت می‌پذیرد، از مقادیر عدم قابلیت اطمینان و عدم قابلیت در دسترس بودن استفاده می‌شود.

---

[1]Qualitive Analysis
[2]Minimal Cut Sets (MCS)
[3]Sum Of Product (SOP)
[4]Quantitive Analysis
[5]Availability

بررسی کمی احتمال رخ دادن حادثه‌ی نهایی در درخت خطا، به طور ساده، به دو طریق صورت می گیرد. در روش اول از جبر بول و ساختار منطقی درخت خطا برای ترکیب رویدادهای اساسی استفاده می شود. این روش با تعریف حادثه‌ی نهایی برحسب رویدادهای اساسی، میانی و نیمه‌تمام شروع می‌شود و به ترتیب هر حادثه‌ی میانی توسط نتایج ارتباط منطقی حادثه‌های عامل جایگزین می‌شود. این عمل تا زمانی که عبارتی برای نمایش حادثه‌ی نهایی برحسب حادثه‌های مبنا و نیمه‌تمام حاصل شود، ادامه می‌یابد.

در روش دوم از قواعد احتمال و ساختار منطقی درخت خطا برای ترکیب و الحاق رویدادهای اساسی استفاده می شود. در سیستم‌های بزرگ، عبارت‌های جبری پیچیده‌ای شکل می‌گیرد. در این گونه موارد، تعیین مقادیر عددی احتمال در هر مرحله از ادغام حادثه‌ها صورت می‌پذیرد تا از شکل‌گیری عبارات جبری مفصل اجتناب شود. لذا روش کاربرد مقادیر، روشی از پایین به بالا خواهد بود و با شروع از رویدادهای اساسی، احتمال رویدادهای میانی را مرحله به مرحله و با توجه به نمادهای منطقی و ارتباط آنها به دست می‌آورد و در نهایت احتمال حادثه‌ی نهایی به‌دست می‌آید. از معایب نهفته در روش کاربرد مستقیم مقادیر این است که در صورت تاثیر یک رویداد اساسی در چند حادثه‌ی میانی مختلف، نرخ وقوع آن بیش از یک بار در محاسبه‌ی احتمال حادثه‌ی نهایی منظور می‌شود و این کل محاسبه را به بیراهه می‌برد. جهت رفع این مشکل می‌توان از مجموعه‌های انقطاع که در تحلیل کیفی به‌دست آمده‌اند، استفاده نمود. بدین ترتیب که احتمال رخ دادن هر یک از مجموعه‌های انقطاع محاسبه شده و سپس آنها باهم جمع می‌شوند.

عامل بهبود

در تحلیل درخت خطا، احتمال رخ دادن حادثه‌ی نهایی، به وسیله تابعی از رویدادهای اساسی نشان داده می‌شود. به عبارت دیگر

$$PTOP = h(P(X1),P(X2),\ldots,P(Xn))$$

چنانچه احتمال رخ دادن رویداد اول صفر در نظر گرفته شود، می‌توان احتمال رخدادن حادثه‌ی نهایی را این‌گونه نمایش داد:

$$PTOP1 = h(0,P(X2),\ldots,P(Xn))$$

با استفاده از معادلات فوق می‌توان عاملی به نام عامل بهبود را برای هر رویداد تعریف نمود به طوری که این عامل، میزان سهم هر رویداد در احتمال حادثه‌ی نهایی را مشخص نماید. طبق تعریف عامل بهبود برای رویداد اول عبارت است از:

$$PTOP - PTOP1$$

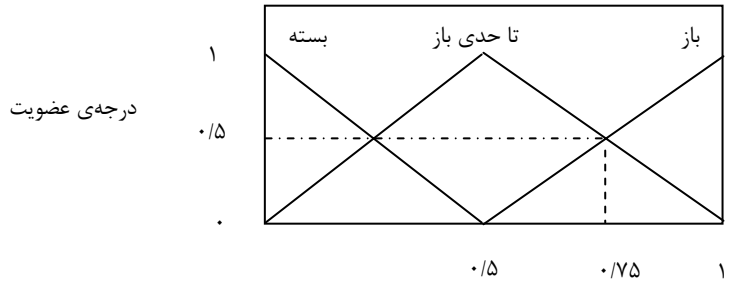
جهت رویدادهای دیگر نیز این امر همین‌گونه تعمیم می‌یابد. مشخص است که هر چه مقدار این فاکتور بیشتر باشد، آن رویداد سهم بیشتری در حادثه‌ی نهایی دارد. بنابراین در تحلیل درخت خطا می‌توان به جای در نظر گرفتن همه‌ی سیستم، توجه خود را بر رویدادهایی متمرکز نمود که سهم عمده‌ای در رخدادن حادثه‌ی نهایی دارند.

تحلیل درخت خطا با استفاده از منطق فازی

امروزه استفاده از منطق فازی در سیستم‌هایی که دارای ورودی‌های غیرصریح و نامطمئن هستند و همچنین سیستم‌هایی که قابلیت مدل‌سازی توسط دانش بشری برمبنای قانون دارند، افزون‌تر می‌شود. از جمله‌ی این سیستم‌ها، سیستمی است که توسط درخت خطا مورد تحلیل واقع می‌شود و تعیین ورودی‌های قطعی جهت آن دشوار و حتی ناممکن می‌باشد. به طور مثال در بررسی عواملی که در خروج از خط قطار در راه‌آهن موثرند، تعیین آستانه برای رخدادن یک رویداد نامطلوب مانند شل بودن پیچ ریل به صورت قطعی بسیار مشکل است. چرا که بین بسته بودن و باز بودن پیچ فاصله‌ای وجود دارد و با توجه به درصد باز بودن پیچ، احتمال خطر وجود دارد. منطق فازی با اختصاص ارزش درستی در فاصله‌ی صفر و یک به گزاره‌ها، امکان استدلال تقریبی را فراهم می‌سازد.

از طرف دیگر مقدمه‌ی ضروری جهت تحلیل درخت خطا، تعریف و فهم سیستم مورد بررسی و تشکیل درخت می‌باشد که با توجه به ارتباط نزدیک منطق فازی با بیان انسانی می‌توان از دانش متخصصین در این زمینه به راحتی استفاده کرده و به کمک روابط فازی سیستم مورد بررسی را معرفی نمود. به بیانی دیگر جهت طی مرحله‌ی دشوار تشکیل درخت و ارائه‌ی مدار منطقی برای یک سیستم با وجود عدم قطعیت‌ها، روش فازی به عنوان یک واسطه‌ی کارآمد بسیار مناسب می‌باشد.

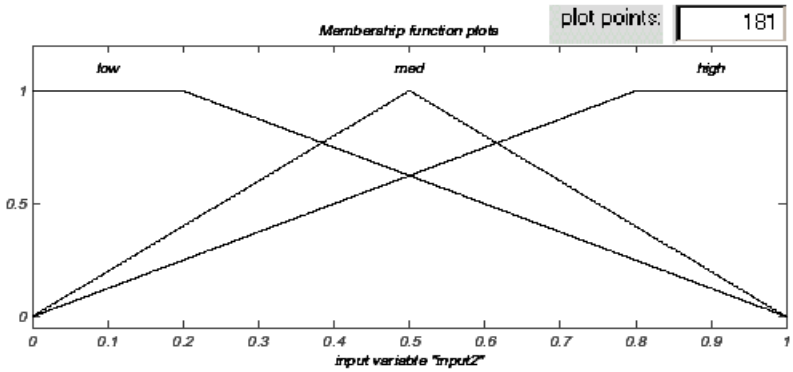
با توجه به آنچه گفته شد، جهت بهبود تحلیل درخت خطا در زمان عدم قطعیت ورودی‌ها، پیشنهاد می‌شود تحلیل درخت خطا با استفاده از ورودی‌ها و دریچه‌های فازی صورت پذیرد. بدین مفهوم که در ساخت مدل منطقی درخت با بهره‌گیری از دانش متخصصین، درخت خطا با دریچه‌های فازی تعریف شود و همچنین ورودی‌ها به صورت گزاره‌های فازی با تابع عضویت بین صفر و یک در نظر گرفته شود. به طور مثال جهت وضعیت پیچ ریل مذکور، سه حالت باز، تا حدی باز، بسته با تابع عضویتی مانند شکل ۱ در نظر گرفته می‌شود. بدین مفهوم که اگر پیچ ریل ۷۵درصد باز شده باشد، آنگاه پیچ با درجه‌ی عضویت ۰/۵ باز و با درجه‌ی عضویت ۰/۵ تا حدی باز در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۱- تابع عضویت ورودی برای پیچ ذکر شده

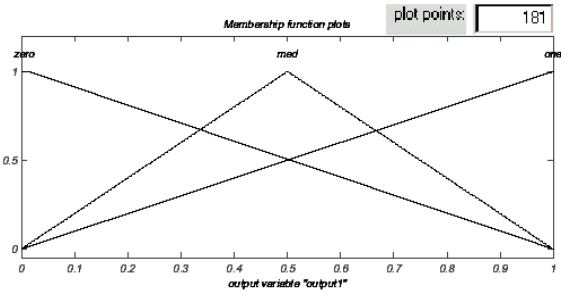
در مرحله‌ی بعد باید دریچه‌های فازی تعریف شوند. سه دریچه‌ی AND، OR و NOT دریچه‌های اصلی در مدارهای منطقی می‌باشند که با ترکیب آنها می‌توان هر دریچه‌ی دیگر را به‌دست آورد.

دریچه‌ی NOT با تعریف مکمل فازی بر روی ورودی‌های آن تعریف می‌شود. بنابراین لازم است دو دریچه‌ی دیگر مورد بررسی بیشتر قرار گیرند. مدل ارائه شده در این مقاله دریچه‌هایی با دو ورودی را در نظر می‌گیرد. هر ورودی دارای سه تابع عضویت کم، متوسط و زیاد می‌باشد که بین صفر و یک قرار می‌گیرند. شکل ۲ تابع عضویت تعریف شده را برای هر ورودی نشان می‌دهد.



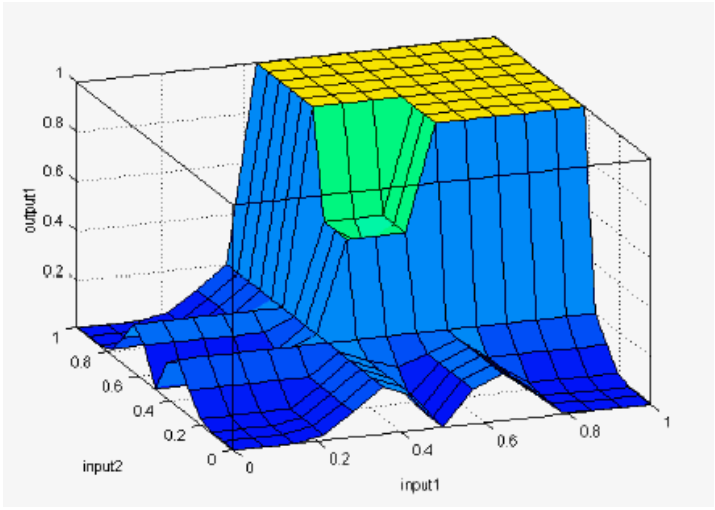
شکل ۲- تابع عضویت تعریف‌شده برای ورودی دریچه‌های AND و OR

برای خروجی نیز سه تابع عضویت صفر، متوسط و یک در نظر گرفته شده است. تابع عضویت خروجی نیز در شکل۳ آمده است.

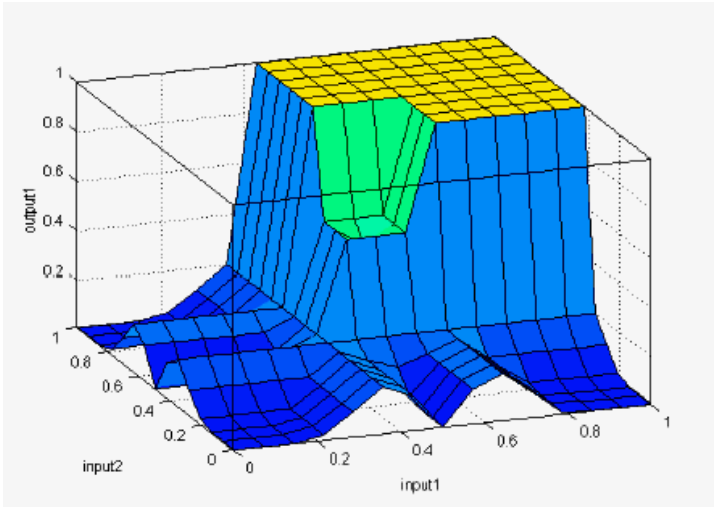


شکل ۳- تابع عضویت تعریف‌شده برای خروجی دریچه‌های AND و OR

جهت تحلیل درخت خطا به روش فازی از مدل ممدانی[1] برای سیستم‌های فازی استفاده شده است[۱]. همچنین برای دریچه‌های AND از فازی‌زدایی[2] بزرگ‌ترین مقدار ماکزیمم و برای دریچه‌های OR از فازی‌زدایی متوسط مقدار ماکزیمم استفاده می‌شود. شکل‌های ۴ و ۵ نمودارهای سطحی ورودی-خروجی را به ترتیب برای دریچه‌های AND و OR مدل شده نشان می‌دهند.



شکل ٤- نمودار سطحی ورودی-خروجی دریچه‌ی AND فازی



شکل ٥- نمودار سطحی ورودی- خروجی دریچه‌ی OR فازی

با تعریف توابع عضویت ورودی و خروجی و مدل استفاده شده (ممدانی)، تحلیل درخت خطا با داده‌های غیر صریح به روش فازی صورت می‌پذیرد. این تحلیل با یک مثال شرح داده می‌شود.

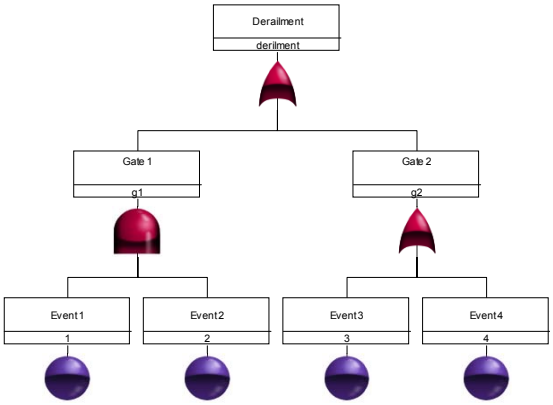
[1] Mamdani
[2] Defuzzification

مثال

شکل ۶ یک درخت خطای ساده برای حالت رخ دادن خروج از خط قطار را نشان می‌دهد. تعریف چهار رویداد عنوان شده در این شکل در جدول یک آمده است. مشاهده می شود که چنانچه برآمدگی ریل خارجی در یک قوس نامناسب باشد و در همان زمان چرخ با تیزی پروفیل مواجه شده باشد، قطار از خط خارج می‌شود. همچنین اگر یکی از دو رویداد نیم‌باز بودن سوزن و یا عدم گردش بوژی رخ دهد، قطار از خط خارج می‌گردد.

جدول ۱- شرح رویدادهای درخت خطا در مثال

شماره‌ی رویداد	شرح رویداد
۱	نامناسب بودن برآمدگی ریل خارجی در قوس
۲	تیزی پروفیل
۳	نیم‌باز بودن سوزن
۴	عدم گردش بوژی



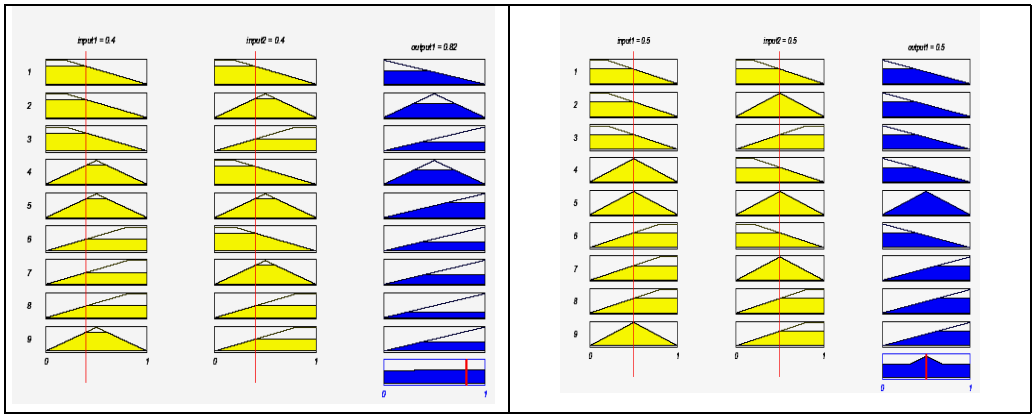
شکل ۶- نمودار درخت خطا برای مثال

توابع عضویت ورودی‌ها مانند شکل ۲ در نظر گرفته می‌شود و دریچه‌های درخت دریچه‌های فازی فرض می‌شوند که از قوانین مدل پیروی می‌کنند. حالت زیر برای بررسی در نظر گرفته می‌شود.

سوزن ۴۰درصد نیم‌باز است. برآمدگی ریل ۵۰درصد نامناسب است.

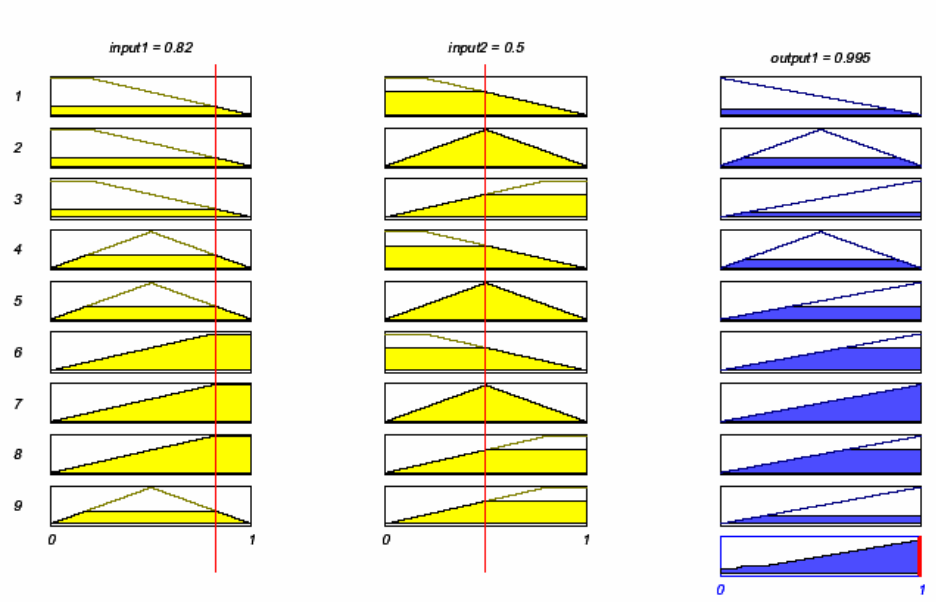
بوژی ۴۰درصد با عدم گردش مواجه است. پروفیل چرخ با ۵۰درصد تیزی مواجه است.

چنانچه این حالت توسط مدل ارائه شده مورد بررسی قرار گیرد، خروجی دریچه‌ی OR در طبقه‌ی اول پس از فازی‌زدایی مقدار ۰/۸۲ و خروجی دریچه‌ی AND پس از فازی‌زدایی مقدار ۰/۵ به خود اختصاص می‌دهد. در نهایت مقدار خروجی نهایی درخت که میزان احتمال خروج از خط را بیان می‌کند مقدار ۰/۹۹ محاسبه می‌گردد که مقداری نزدیک به یک می‌باشد. شکل ۷ و ۸ نحوه‌ی محاسبه‌ی مقادیر عنوان‌شده را نشان می‌دهند. و در شکل ۹ چگونگی دست‌یابی به نتیجه بیان گردیده است.



شکل ۷- نحوه‌ی محاسبه‌ی خروجی دریچه‌ی AND برای ورودی‌های (۰/۵ و ۰/۵)

شکل ۸- نحوه‌ی محاسبه‌ی خروجی دریچه‌ی OR برای ورودی‌های (۰/4 و ۰/4)



شکل ۹- نحوه‌ی محاسبه‌ی نهایی

چنانچه حالت مذکور به صورت عادی و با ورودی‌های صریح و قطعی و حد آستانه‌ی ۵۰ درصد برای اختصاص عدد یک منطقی به ورودی‌ها در نظر گرفته شود، مقدار خروجی نهایی که احتمال خروج از خط قطار را نشان می‌دهد برابر صفر خواهد شد، بدین مفهوم که خروج از خط رخ نخواهد داد. در صورتی‌که در عمل و به تجربه ثابت شده است که رخ‌دادن حالت مذکور سبب خروج از خط قطار گردیده است[۹].

نتیجه‌گیری

با توجه به آن‌که در فضای واقعی تحلیل درخت خطا، تحلیل‌گر با مسائلی روبرو می‌شود که داده‌ها و ورودی‌های تحلیل قطعی و صریح نیستند، در این مقاله پیش‌نهاد گردید از منطق فازی برای تشکیل درخت و دریچه‌ها استفاده شده و تحلیل توسط مدل فازی صورت پذیرد. با توجه به بیان قوی فازی، بروز اشتباهات تحلیل به حداقل می‌رسد. همان‌گونه که در مثال عنوان شده است، تحلیل عادی درخت در زمان غیر قطعی بودن به نتیجه‌ای کاملا معکوس خواهد رسید که این امر با مدل ارائه شده به برطرف شده و نتیجه‌ی واقعی به‌دست خواهد آمد. از طرف دیگر استفاده از دریچه‌ها و ورودی‌های فازی باعث افزایش قابلیت انعطاف تحلیل می‌گردد.

منابع

1- Wang, L.X., "A course in fuzzy systems and control", Prentice-Hall International. 199۷.

2- Misara,K.B. and Weber,G.G., "Use of fuzzy set theory for level-1 studies in probabilistic risk assessment", Fuzzy sets and systems, 37, pp. 267-286. 1990.

3- Singer, D., "A fuzzy set approach to Fault Tree Analysis and reliability analysis", Fuzzy sets and systems, 34, pp. 145-155. 1990.

4- Tanaka, H. , Fan,L.T., Lai, F.S. and Taguchi, K., "Fault Tree Analysis by fuzzy probability", IEEE Trans. Relibility, 32, pp. 453-457. 1983.

5- Soman, K.p. and Misara, K.B., "Fuzzy Fault Tree Analysis using resolution identity",J. Fuzzy Math, 1, pp. 193-212. 1993.

6- Furuta, H. and Shiraishi, N., "Fuzzy importance in Fault Tree Analysis", Fuzzy sets and systems, 12, pp.205-213. 1984.

7- Liang, G.S. and Wang, M.J.J., "Fuzzy Fault Tree Analysis using failure possibility", Microelectronics and Relibility, 33, pp.583-597. 1993.

8- Sinnamon, R.M. and Andrews, J.D., "New approaches to evaluating Fault Trees", Reliability Engineering and System Safety", 58, pp. 89-96. 1997.

۹- مجموعه گزارش‌های داخلی کمیته‌ی خروج از خط مرکز تحقیقات راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران