ارزیابی ریسک "خرابی سیستم محور شمار" با استفاده از تکنیک تجزیه و تحلیل درخت خطا

احسان جعفریان[1]

[1]دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی ایمنی در راه‌آهن، دانشگاه علم و صنعت ایران، ehsanjafarian@rail.iust.ac.ir

چکیده

حمل و نقل ریلی از دیرباز نقشی بسیار مهم و اساسی را در حمل کالا و مسافر ایفا می‌کرده است. از همان روزهای آغازین بهره‌برداری از این صنعت، با توجه به هزینه‌های جانی و مالی هنگفت ناشی از بروز حوادث، همواره این سؤال مطرح بوده است که "چه اقداماتی را می‌توان در راستای افزایش سطح ایمنی بهره‌برداری از تجهیزات ریلی انجام داد؟"

بکارگیری یک سیستم جامع مدیریت ریسک به ما کمک می‌کند که با شناسایی مخاطرات بالقوه، آن‌ها را مورد ارزیابی قرار داده و با بکارگیری راه‌کارهایی مناسب، این پیشامدها را تاحد ممکن تقلیل داده و یا حذف نماییم.

در این مقاله، پیشامد "خرابی سیستم محورشمار"، با استفاده از تکنیک تجزیه و تحلیل درخت خطا، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و ضمن تعیین احتمال وقوع این پیشامد، مسیرها و پیشامدهای بحرانی تعیین می‌گردد.

مدلسازی انجام شده برای ریسک "خرابی سیستم محورشمار" به بهره‌بردار کمک می‌کند تا با تعیین احتمال وقوع ریسک و علل ریشه‌ای و بحرانی بوجود آورنده آن ریسک، راه‌کارهای کارآمد و مناسبی را جهت تقلیل و یا حذف ریسک مربوط اتخاذ نماید.

کلمات کلیدی: ارزیابی ریسک، تجزیه و تحلیل درخت خطا، خرابی سیستم محور شمار، الگوریتم پایین به بالا (بالارونده)، معیار بحرانی بودن.

۱- مقدمه

حمل و نقل ریلی از دیرباز نقشی بسیار مهم و اساسی را در حمل کالا و مسافر ایفا می‌کند. از همان روزهای آغازین بهره‌برداری از این صنعت، با توجه به هزینه‌های جانی و مالی هنگفت ناشی از بروز حوادث، همواره این سؤال مطرح بوده است که "چه اقداماتی را می‌توان در راستای افزایش سطح ایمنی بهره‌برداری از تجهیزات ریلی انجام داد؟"

بکارگیری یک سیستم جامع مدیریت ریسک به ما کمک می‌کند که با شناسایی مخاطرات بالقوه، آن‌ها را مورد ارزیابی قرار داده و با بکارگیری راه‌کارهایی مناسب، این پیشامدها را تاحد ممکن تقلیل داده و یا حذف نماییم.

تکنیک "تجزیه و تحلیل درخت خطا" بعنوان روشی ساخت‌یافته، دقیق و چندسونگر می‌تواند در مراحل شناسایی و تحلیل از سلسله مراحل مدیریت ریسک مورد استفاده قرار گیرد. این روش نخستین بار در سال ۱۹۶۲ در آزمایشگاه‌های تلفن بل توسط واتسن[1] و میرنز[2] ارائه گردید و در قالب پروژه‌ای که به سفارش نیروی هوایی امریکا انجام می‌گرفت، جهت بهبود قابلیت اطمینان سیستم پرتاب موشک‌های قاره‌پیما مورد استفاده قرار گرفت [۱]. سپس، هاسل[3] از شرکت بوییِنگ، ضمن بهره‌جویی از این ابزار، قوانینی را برای تشکیل درخت خطا ارائه نمود[۲]. این تکنیک، تا به امروز در طیف وسیعی از سیستم‌ها نظیر پرتاب موشک، حمل و نقل دریایی، فضانوردی، حمل و نقل ریلی، تأسیسات انرژی هسته‌ای، حمل و نقل هوایی، زیردریایی‌ها، تجهیزات دارویی و کارخانه‌های شیمیایی، با موفقیت بکار گرفته شده است[۳].

تکنیک تجزیه و تحلیل درخت خطا با رویکردی استنتاجی، کلیه مسیرهای ممکنی را که می‌توانند منجر به وقوع پیشامد نامطلوب اصلی گردد شناسایی کرده و ضمن تعیین احتمال وقوع پیشامد اصلی، ارزیابی‌ای را بر روی پیشامدهای پایانی و برش‌های حداقل ارائه می‌نماید که تحلیل‌گر را در درک دقیق پیشامدها و مسیرهای برش یاری کرده و برای او این امکان را فراهم می‌کند که با ارائه راه‌کاری مناسب، از وقوع ریسک مورد نظر تا حد ممکن پیشگیری نماید.

در این تحقیق، ریسک "خرابی سیستم محور شمار" با استفاده از تکنیک تجزیه و تحلیل درخت خطا مورد بررسی قرار می‌گیرد و ضمن شناسایی علل بوجود آورنده این ریسک و ترسیم درخت خطا، بحرانی‌ترین پیشامدهای پایانی که منجر به وقوع این پیشامد می‌گردد، تعیین می‌شوند.

شناسایی پیشامدهای بحرانی به تحلیل‌گر این توانایی را می‌دهد تا با شناسایی علل ریشه‌ای و بحرانی بوجود آورنده ریسک، راه‌کارهای مناسب و کارآمدی را جهت تقلیل و یا حذف ریسک اتخاذ نماید.

[1] H. Watson
[2] Allison B. Mearns
[3] D. Hassl

Archive of SID
www.SID.ir

۲- تجزیه و تحلیل درخت خطا

درخت خطا مدلی است که بصورت منطقی و ترسیمی، ترکیب‌های متفاوت پیشامدهایی را که می‌توانند منجر به وقوع پیشامد اصلی گردند، را نمایش می‌دهد. این تکنیک، از روش استنتاجی بهره می‌جوید. بدین معناکه تحلیل از یک پیشامد نامطلوب بالقوه شروع می‌شود، و سپس تمامی راه‌هایی که ممکن است به این پیشامد منجر گردند شناسایی می‌شوند [۴].

درخت خطا از تعدادی گره تشکیل می‌شود که درقالب ساختاری درختی به یکدیگر متصل می‌گردند. گره‌ها، مسیر خطا/شکست را نمایش می‌دهند و با نمادها و منطق بولی به یکدیگر متصل شده‌اند. ۴ دسته نمادی که در تکنیک تجزیه و تحلیل درخت خطا استفاده می‌شوند، عبارتند از:

۱. پیشامدهای پایانی
۲. پیشامدهای دروازه‌ای
۳. پیشامدهای شرطی
۴. پیشامدهای انتقال

در جدول ۱ برخی از کاربردی‌ترین نمادهای مورد استفاده در این تکنیک، ذکر گردیده‌اند.

۲-۱- تعاریف

مجموعه برش (CS[4]): مجموعه‌ای از پیشامدها می‌باشد که وقوع همزمان آن‌ها منجر به وقوع پیشامد اصلی می‌گردد.

مجموعه برش حداقل(Min CS[5]): به کوچکترین زیرمجموعه برش که برای وقوع رویداد اصلی لازم و کافی باشد، برش حداقل می‌گویند. در این مجموعه، حذف هریک اعضاء منجر به خارج شدن از وضعیت مجموعه برش گردد.

مرتبه مجموعه برش: به تعداد اعضاء مجموعه برش، مرتبه مجموعه برش می‌گویند. یک مجموعه از مرتبه یک، تنها یک عضو دارد و وقوع این عضو به تنهایی، منجر به وقوع پیشامد اصلی می‌گردد.

مسیر بحرانی: به محتمل‌ترین برش حداقلی که به پیشامد اصلی می‌انجامد، گفته می‌شود.

پیشامد تکراری (MOE[6]): پیشامد پایانی‌ای می‌باشد، که در بیش از یک نقطه در درخت خطا مشاهده می‌گردد.

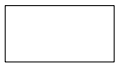
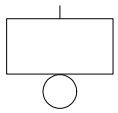
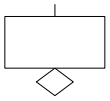
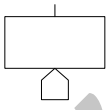
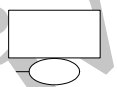
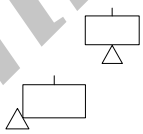
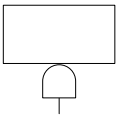
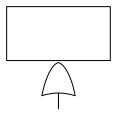
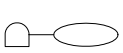
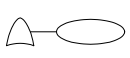
شاخه تکراری (MOB[7]): شاخه‌ای از درخت خطا می‌باشد که بیش از یکبار در درخت خطا استفاده می‌شود.

نرخ خرابی: تعداد خرابی‌ها در یک بازه زمانی مشخص، بیانگر نرخ خرابی می‌باشد.

متوسط زمان تعمیر(MTTR[8]): میانگین زمان لازم برای انجام عملیات اصلاحی، متوسط زمان تعمیر می‌باشد.

دسترس ناپذیری: احتمال اینکه سیستم یا جزئی از سیستم در زمان مشخصی، دردسترس (قابل استفاده) نباشد.

جدول ۱: نمادهای کاربردی

نماد	عنوان	شرح
	کادر متن گره	برای درج متن در تمامی گره‌های درخت خطا، از این نماد استفاده می‌شود. متن در کادر درج می‌گردد و نماد گره در زیر کادر قرار می‌گیرد.
	پیشامد پایه	پیشامدی است که، قابل تجزیه و تحلیل بیشتر نمی‌باشد.
	پیشامد ثانویه (بسط نیافته)	پیشامدی است که باوجود اینکه می‌تواند مورد تجزیه و تحلیل بیشتر قرار گیرد، ولی بنا به دلیلی این کار انجام نمی‌شود.
	پیشامد نرمال (خانه‌ای)	پیشامدی است که، بصورت معمول انتظار می‌رود در سیستم رخ دهد. این پیشامد معمولاً یا در وضعیت روشن است یا خاموش. احتمال متناظر با این دو وضعیت ۱ و ۰ می‌باشد.
	شرط	از این نماد، برای نشان دادن شرط بر روی یک دروازه استفاده می‌شود.
	انتقال	از این نماد، اغلب در دو وضعیت زیر استفاده می‌شود: نخست هنگامیکه، شاخه‌ای از درخت در بیش از یک مرتبه در درخت مشاهده شود. دوم هنگامیکه، بدلیل کمبود فضا امکان ادامه درخت در صفحه مهیا نباشد.
	دروازه "و"	پیشامد خروجی تنها درصورتی رخ می‌دهد، که تمامی پیشامدهای ورودی رخ داده باشند.
	دروازه "یا"	پیشامد خروجی درصورتی رخ می‌دهد، که حداقل یکی از پیشامدهای ورودی رخ داده باشند.
	دروازه "و اولویت دار"	پیشامد خروجی، تنها درصورتی رخ می‌دهد، که تمامی پیشامدهای ورودی رخ دهند ولی با ترتیبی خاص (از چپ به راست).
	دروازه "یا انحصاری"	پیشامد خروجی، درصورتی رخ می‌دهد، که تنها یکی از پیشامدهای ورودی رخ داده باشد نه بیشتر.

[4] **C**ut **S**et (CS)
[5] **M**in **C**ut **S**et (MCS)
[6] **M**ultiple **O**ccurring **E**vent (MOE)
[7] **M**ultiple **O**ccurring **B**ranch (MOB)
[8] **M**ean **T**ime to **R**epair (MTTR)

Archive of SID

www.SID.ir

۲-۲- ایجاد درخت خطا

ایجاد درخت خطا، یک فرآیند تکراری است که از نوک درخت (پیشامد اصلی) شروع می‌شود و از طریق شاخه‌ها ادامه پیدا می‌کند، در هر مرحله سؤال‌ها و منطق یکسانی بکار گرفته می‌شود و به ریشه درخت (پیشامدهای پایه‌ای) ختم می‌شود.

توسعه درخت خطا تا جایی ادامه پیدا می‌کند که تمامی پیشامدها برحسب خطاهای پایه‌ای قابل شناسایی سخت‌افزاری، نرم‌افزاری و یا انسانی، تعیین شده باشند. این نقطه، نقطه پایانی درخت خطا می‌باشد [۳].

مراحل ایجاد درخت خطا به شرح زیر می‌باشد:

۱. انتخاب پیشامد دروازه‌ای (در اولین مرحله پیشامد دروازه‌ای اصلی).
۲. شناسایی تمامی علل ممکن.
۳. تعیین نوع پیشامدهای ورودی.
۴. تعیین منطق بین علت‌ها و معلول‌ها.
۵. وارد کردن در مدل ترسیمی.
۶. بررسی درخت ترسیم شده تا این مرحله.
۷. اصلاح (درصورت نیاز).
۸. انتخاب پیشامد دروازه‌ای بعدی.

۲-۳- ارزیابی درخت خطا

یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین مراحل کار با روش تجزیه و تحلیل درخت خطا، ارزیابی می‌باشد. این مرحله، بعد از مرحله "ایجاد درخت خطا" انجام می‌گیرد و طی آن تحلیل‌گر، بسته به اهداف پروژه، ممکن است یک و یا هر دو نوع ارزیابی زیر را انجام دهد:

- ارزیابی کیفی
- ارزیابی کمی

در ارزیابی کیفی، تحلیل بصورت غیر عددی و برمبنای خصوصیات مجموعه‌های برش (مرتبه برش، اعضای مجموعه) انجام می‌گیرد. بنابراین، تحلیل‌گر در اوّلین گام، باید مجموعه برش‌های حداقل را تعیین کند و در مرحله با استفاده از خصوصیات برش‌های حداقل تحلیل مورد نظر را انجام دهد[۱].

ارزیابی کیفی عمدتاً به دو طریق زیر انجام می‌گیرد:

- رتبه بندی کیفی مجموعه‌های برش حداقل: رتبه‌بندی کیفی برش‌های حداقل، برمبنای مرتبه مجموعه برش تعیین می‌گردد. بدین‌معنی که مجموعه‌های برش با مرتبه پایین‌تر، از اهمیت بیشتری برخوردار هستند.
- رتبه‌بندی کیفی پیشامدهای پایانی: رتبه بندی کیفی پیشامدهای پایانی برمبنای تعداد دفعات تکرار در برش‌های مختلف انجام می‌گیرد.

ارزیابی کمی معمولاً متعاقب ارزیابی کیفی و عمدتاً در سه گام زیر انجام می‌گیرد:

- گام اول - تعیین برش‌های حداقل
- گام دوم - تعیین احتمال پیشامد اصلی
- گام سوم – تعیین معیارهای اهمیت

گام اول - تعیین برش‌های حداقل

همانطورکه پیش از این نیز گفته شد، برش حداقل مجموعه‌ای از پیشامدهای پایانی است که برای وقوع پیشامد اصلی لازم و ضروری می‌باشد [۱].

تا امروز، الگوریتم‌های متعددی برای تعیین برش‌های حداقل ارائه گردیده‌است که در مجموع می‌توان این الگوریتم‌ها را در ۳ دسته زیر خلاصه نمود [۵]:

دسته ۱. الگوریتم‌های مستقیم
دسته ۲. الگوریتم‌های بالارونده
دسته ۳. الگوریتم‌های پایین رونده

گام دوم - تعیین احتمال پیشامد اصلی

احتمال پیشامد اصلی، احتمال وقوع پیشامدی نامطلوب و بالقوه، در بازه‌ای زمانی یا در طول مأموریتی مشخص می‌باشد و می‌تواند متغیری تصادفی و وابسته به زمان یا عددی ثابت فرض شود.

مشابه تعیین برش‌های حداقل، برای محاسبه احتمال وقوع پیشامد اصلی نیز، روش‌های متعددی ارائه گردیده است. برخی از این روش‌ها عبارتند از [۳]:

- روش مستقیم اجتماع برش‌های حداقل
- روش دروازه به دروازه از بالا به پایین
- روش دروازه به دروازه از پایین به بالا
- روش شبیه‌سازی

در جدول ۲، روابط متناظر با دروازه‌های معرفی شده، ارائه گردیده است [۶].

گام سوم - تعیین معیارهای اهمیت

یکی از مهمترین خروجی‌های تکنیک تجزیه و تحلیل درخت خطا، مجموعه معیارهای اهمیت می‌باشد که برای کلیه پیشامدها و مجموعه‌های برش، قابل محاسبه می‌باشند و رتبه‌بندی‌ای را ارائه می‌کنند که تحلیل‌گر را در تصمیم‌گیری یاری می‌نماید.

در جدول ۳، کاربردی‌ترین معیارهای اهمیت برش‌های حداقل و پیشامدهای پایانی ذکر گردیده‌اند [۳ و ۵]:

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲: روابط متناظر با دروازه‌های درخت خطا

دروازه	معادل در جبر مجموعه‌ها	رابطه متناظر	
و	اشتراک	$P\left(\bigcap_i E_i\right)=\prod_i P(E_i)$	با فرض استقلال پیشامدها
یا	اجتماع	$P\left(\bigcup_i E_i\right)=(\sum 1st\ \ Terms)-(\sum 2nd\ \ Terms)+(\sum 3rd\ \ Terms)-(\sum 4th\ \ Terms)+\ldots$	
یا انحصاری	تفاضل متقارن	$P\left(\Delta_i E_i\right)=(\sum 1st\ \ Terms)-2(\sum 2nd\ \ Terms)+3(\sum 3rd\ \ Terms)-4(\sum 4th\ \ Terms)+\ldots$	
و اولویت‌دار	حالت خاصی از اشتراک	$P(G)=\frac{\prod_i P(E_i)}{N!}$	

۳. سیستم محور شمار

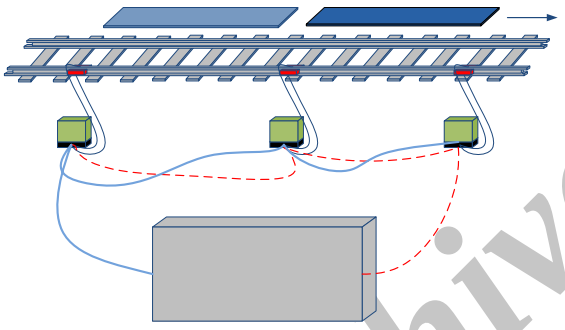
محور شمار سیستمی‌است که بمنظور تعیین وضعیت اشغال بودن قطعه خط و حصول اطمینان از خروج کامل وسیله نقلیه از آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. چنین سیستمی از آشکارسازهای چرخ متشکل از سنسورهای نصب شده بر روی ریل و تجهیزات الکترونیکی کناره خط، و واحد ارزیابی‌کننده مرکزی می‌باشد[۷].

در این سیستم، جهت پوشش یک قطعه خط، دو سیستم سنسور بر روی ریل و در ابتدا و انتهای قطعه خط، نصب می‌گردد. هنگام ورود قطار به قطعه خط و هنگام عبور محورها از روی سیستم سنسورِ نصب شده در ابتدا قطعه خط، سنسورها محورها را تشخیص می‌دهد و پالس‌هایی را ارسال می‌کنند. واحد شمارنده برمبنای اطلاعات دریافتی از واحد آشکارساز محورشمار، تعداد محورهای ورودی به قطعه خط را تعیین می‌نماید.

در انتهای قطعه خط، عمل شمارش محورها بطریقی مشابه انجام می‌گیرد، با این تفاوت که این‌بار شمارش بصورت معکوس می‌باشد.

درصورتیکه پس از عبور قطار از قطعه خط، شمارنده عددی غیر از صفر را نشان دهد، قطعه خط اشغال فرض می‌شود، درغیراینصورت، فرض می‌شود که قطعه خط برای عبور قطار بعدی خالی می‌باشد.

شمای یک سیستم نمونه محور شمار در شکل ۱ نشان داده شده است[۸].



شکل ۱ – شمای سیستم محور شمار چندبخشی

جدول ۳: کاربردی‌ترین معیارهای اهمیت

معیار	تعریف	شرح
اهمیت مجموعه‌برش	$I_{MinCS_j}=\frac{P(\bigcap_{E_i\in MinCS_j} E_i)}{P_{TE}}$	در این تعریف، عبارت $P(\bigcap_{E_i\in MinCS_j} E_i)$، احتمال وقوع برش حداقل iام را محاسبه می‌کند و P_{TE} احتمال وقوع پیشامد اصلی می‌باشد.
ویسلی-فاسل	$I_{FV}(E_i)=\frac{\sum P(MinCS_j \mid E_i\in MinCS_j)}{P(TE)}$	در این تعریف، عبارت $\sum P(MinCS_j)$، مجموع احتمال وقوع مجموعه‌های برش حداقلی که پیشامد iام یکی از اعضای آن مجموعه‌ها می‌باشد، را تعیین می‌کند و P_{TE} مشابه معیار قبل، احتمال وقوع پیشامد اصلی می‌باشد.
برنبام	$I_B(E_i)=P(TE\mid E_i)-P(TE\mid \sim E_i)$	در این تعریف $P(TE\mid E_i)$، احتمال پیشامد اصلی با فرض رخ دادن پیشامد iام می‌باشد و $P(TE\mid \sim E_i)$ احتمال پیشامد اصلی با فرض رخ ندادن پیشامد iام است.
بحرانی بودن	$I_C(E_i)=\frac{I_B(E_i)*P(E_i)}{P(TE)}$	در این تعریف، $I_B(E_i)$، معیار برنبام پیشامد iام است و $P(E_i)$ و P_{TE} بترتیب احتمال وقوع پیشامد iام و احتمال وقوع پیشامد اصلی می‌باشند.

Archive of SID

www.SID.ir

۳-۱- واحد آشکارساز چرخ

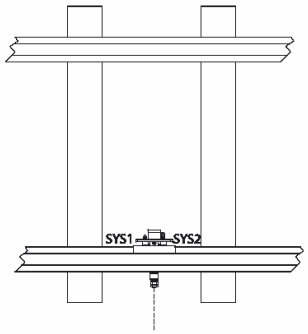
واحد آشکارساز چرخ، همانطورکه پیش از این نیز گفته شد، متشکل از سیستم سنسور نصب شده در وجه داخلی جان ریل و تجهیزات الکترونیکی کناره خط می‌باشد. این واحد دارای ساختاری مدولار می‌باشد و بهنگام عبور محور، محور عبوری را تشخیص می‌دهد و طی فرآیندی مشخص، اطلاعات مربوط به محور عبوری و سایر اطلاعات را به واحد شمارنده (ارزیابی‌کننده) ارسال می‌کند.

۳-۱-۱- سیستم سنسور چرخ

سیستم سنسور چرخ همانطورکه در شکل ۲ مشاهده می‌شود، از ۲ سنسور مستقل تشکیل شده است که این سنسورها، در قالب محفظه‌ای در وجه داخلی جان ریل نصب شوند و هنگام عبور وسیله نقلیه، محور وسیله عبوری را تشخیص می‌دهند[۹].

تشخیص محور با استفاده از این سیستم، برمبنای افت انرژی در یک میدان الکترومغناطیسی متناوب، هنگامیکه توسط فلز تحت تأثیر قرار می‌گیرد، می‌باشد. اندازه‌گیری این تداخل، امکان تشخیص محور، همچنین نظارت بر نصب صحیح سنسور را مهیا می‌کند[۱۰].

در این سیستم از منطق ۲ از ۲، استفاده می‌شود، براساس این منطق، خروجی تنها زمانی معتبر است، که هر دو سنسور نتایج یکسانی را ارائه دهند[۱۱].



شکل ۲ – سیستم سنسور چرخ

۳-۱-۲- واحد الکترونیکی کناره خط

بمنظور، تحلیل اطلاعات ارسالی سیستم سنسور، تعیین جهت حرکت وسیله نقلیه و کنترل و پشتیبانی سنسور و ارسال سیگنال مدوله شده به واحد ارزیابی‌کننده در سیستم محور شمار از واحدی تحت عنوان واحد الکترونیکی کناره خط بهره‌برداری می‌شود. این واحد بطور معمول درون تابلو، جعبه و یا اتاقکی در نزدیکی ریل و در ارتفاعی مناسب نصب می‌شوند.

همانطورکه در بخش قبل نیز ذکر شد، در این‌جا از منطق ۲ از ۲ برای تشخیص محور استفاده می‌شود.

در شکل ۳، نمونه‌ای از واحد الکترونیکی کناره خط نشان داده شده است[۱۲].

شکل ۲ – نمونه‌ای از واحد الکترونیکی کناره خط

۳-۲- واحد ارزیابی‌کننده مرکزی

واحد ارزیابی‌کننده، بخشی از سیستم محور شمار می‌باشد که اطلاعات دریافتی از تشخیص دهنده چرخ را پردازش می‌کند، وضعیت قطعه خط را تعیین می‌نماید و امکان ارتباط محورشمار را با سایر سیستم‌ها و یا خدمه فراهم می‌کند.

این واحد دارای ساختاری مدولار می‌باشد و مطابق شکل از تعدادی مدول ارزیابی کننده تشکیل شده است. هریک از این مدول‌ها، تعداد مشخصی نقطه تشخیص یا آشکار ساز را تحت پوشش قرار می‌دهند[۱۱].

شکل ۳ – واحد ارزیابی‌کننده مرکزی

۴- ارزیابی ریسک خرابی سیستم محورشمار

۴-۱- ایجاد درخت خطای "خرابی سیستم محورشمار"

همانطورکه پیش از این گفته شد، فرآیند ایجاد درخت خطا، فرآیندی تکراری می‌باشد که از پیشامدی در بالای درخت خطا شروع شده و از طریق شاخه‌ها ادامه می‌یابد، و درنهایت به ریشه‌های درخت (پیشامدهای پایانی) ختم می‌شود. در هر مرحله سؤال‌های یکسانی مطرح می‌شود که این سؤال‌ها منجر به شناسایی پیشامدهای ورودی (علل)، نوع پیشامدهای ورودی و رابطه بین آن‌ها می‌شود. در جدول ۴، فرآیند ایجاد درخت خطای پیشامد "خرابی سیستم محور شمار"، در قالب ۱۴ گام خلاصه شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

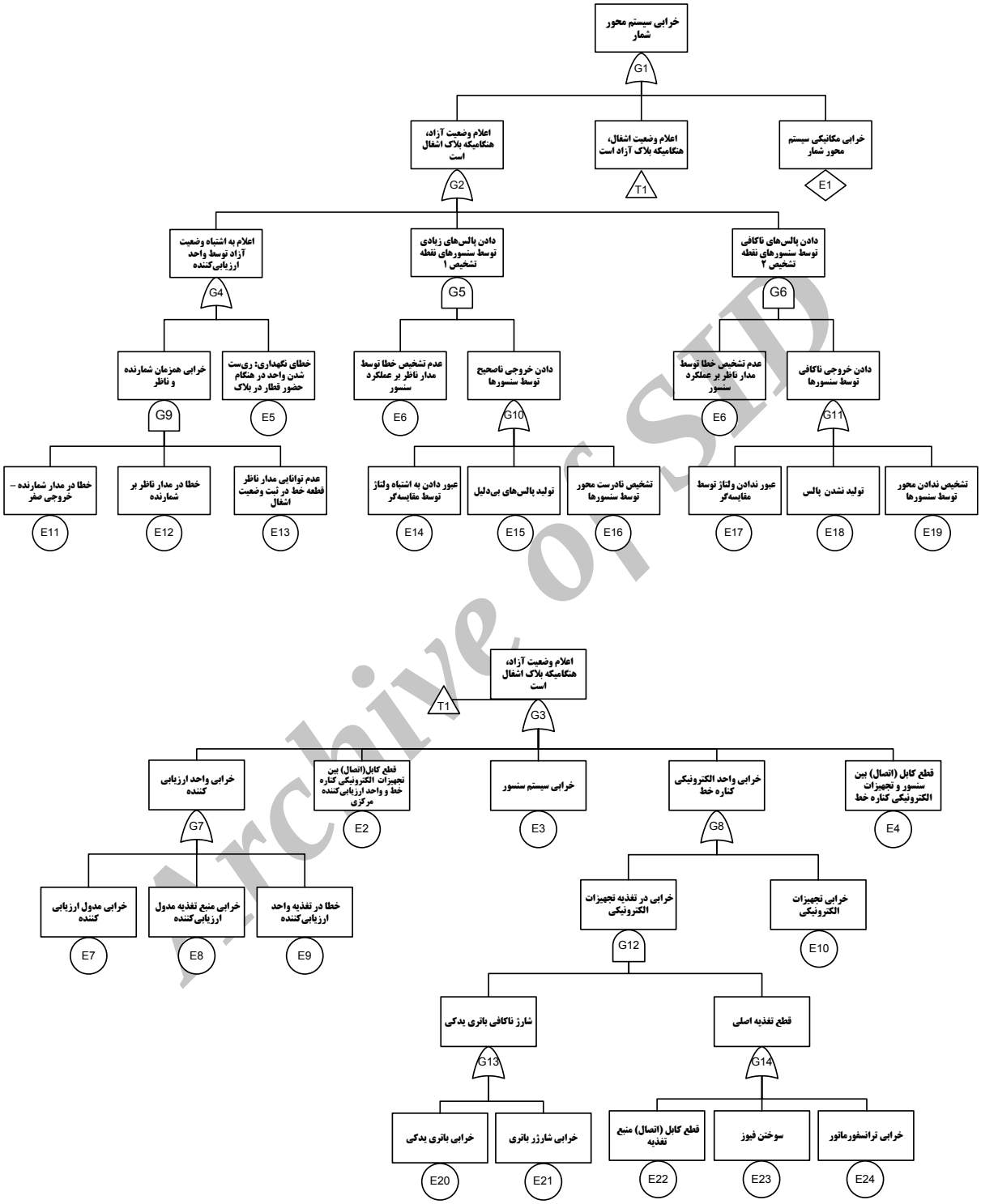
جدول ۴: گام‌های ایجاد درخت خطای پیشامد "خرابی سیستم محور شمار"

گام	پیشامد	ورودی‌ها	نوع پیشامد ورودی	نوع دروازه
۱	خرابی سیستم محور شمار	اعلام وضعیت اشغال، هنگامیکه بلاک آزاد است	پیشامد میانی	دروازه "یا"
		اعلام وضعیت آزاد، هنگامیکه بلاک اشغال است	پیشامد میانی	
		خرابی مکانیکی محورشمار	پیشامد ثانویه	
۲	اعلام وضعیت آزاد، هنگامیکه بلاک اشغال است	اعلام به اشتباه وضعیت آزاد توسط واحد ارزیابی‌کننده	پیشامد میانی	دروازه "یا"
		دادن پالس‌های زیادی توسط سنسورهای نقطه تشخیص ۱	پیشامد میانی	
		دادن پالس‌های ناکافی توسط سنسورهای نقطه تشخیص ۲	پیشامد میانی	
۳	اعلام به اشتباه وضعیت آزاد توسط واحد ارزیابی‌کننده	خرابی هم‌زمان شمارنده و ناظر	پیشامد میانی	دروازه "یا"
		خطای نگهداری: ریست سیستم در هنگام حضور قطار در بلاک	پیشامد پایه‌ای	
۴	خرابی هم‌زمان شمارنده و ناظر	خطا در مدار شمارنده – دادن خروجی صفر	پیشامد پایه‌ای	دروازه "و"
		خطا در مدار ناظر بر شمارنده	پیشامد پایه‌ای	
		عدم توانایی مدار ناظر قطعه خط در ثبت وضعیت اشغال	پیشامد پایه‌ای	
۵	دادن پالس‌های زیادی توسط سنسورهای نقطه تشخیص ۱	عدم تشخیص خطا توسط مدار ناظر بر عملکرد سنسور	پیشامد پایه‌ای	دروازه "و"
		دادن خروجی ناصحیح توسط سنسورها	پیشامد میانی	
۶	دادن خروجی ناصحیح توسط سنسورها	عبور دادن به اشتباه سطح ولتاژ توسط مقایسه‌گر	پیشامد پایه‌ای	دروازه "یا"
		تولید پالس‌های بی‌دلیل	پیشامد پایه‌ای	
		تشخیص نادرست محور توسط سنسورها	پیشامد پایه‌ای	
۷	دادن پالس‌های ناکافی توسط سنسورهای نقطه تشخیص ۲	عدم تشخیص خطا توسط مدار ناظر بر عملکرد سنسور	پیشامد پایه‌ای	دروازه "و"
		دادن خروجی ناکافی توسط سنسورها	پیشامد میانی	
۸	دادن خروجی ناکافی توسط سنسورها	عبور ندادن ولتاژ توسط مقایسه‌گر	پیشامد پایه‌ای	دروازه "یا"
		تولید نشدن پالس	پیشامد پایه‌ای	
		تشخیص ندادن محور توسط سنسورها	پیشامد پایه‌ای	
۹	اعلام وضعیت اشغال، هنگامیکه بلاک آزاد است	خرابی واحد ارزیابی‌کننده	پیشامد میانی	دروازه "یا"
		قطع کابل(اتصال) بین تجهیزات الکترونیکی کناره خط و واحد ارزیابی‌کننده مرکزی	پیشامد پایه‌ای	
		خرابی سیستم سنسور	پیشامد پایه‌ای	
		خرابی تجهیزات الکترونیکی کناره خط	پیشامد میانی	
		قطع کابل (اتصال) بین سنسور و تجهیزات الکترونیکی کناره خط	پیشامد پایه‌ای	
۱۰	خرابی واحد ارزیابی‌کننده	خرابی مدول ارزیابی‌کننده	پیشامد پایه‌ای	دروازه "یا"
		خرابی منبع تغذیه مدول ارزیابی‌کننده	پیشامد پایه‌ای	
		خطا در تغذیه واحد ارزیابی‌کننده	پیشامد پایه‌ای	
۱۱	خرابی واحد الکترونیکی کناره خط	خرابی در تغذیه واحد الکترونیکی	پیشامد میانی	دروازه "یا"
		خرابی تجهیزات الکترونیکی	پیشامد میانی	
۱۲	خرابی در تغذیه تجهیز الکترونیکی	شارژ ناکافی باتری یدکی	پیشامد میانی	دروازه "و"
		قطع تغذیه اصلی	پیشامد میانی	
۱۳	شارژ ناکافی باتری یدکی	خرابی باتری یدکی	پیشامد پایه‌ای	دروازه "یا"
		خرابی شارژر باتری	پیشامد پایه‌ای	
۱۴	قطع تغذیه اصلی	قطع کابل (اتصال) منبع تغذیه	پیشامد پایه‌ای	دروازه "یا"
		سوختن فیوز	پیشامد پایه‌ای	
		خرابی ترانسفورماتور	پیشامد پایه‌ای	

Archive of SID

www.SID.ir

درنهایت نمودار درخت خطای این پیشامد بصورت زیر ترسیم می‌شود:



شکل ۱: درخت خطای پیشامد "خرابی سیستم محور شمار"

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۵: پیشامدهای پایانی

نام پیشامد	متن گره	نرخ خرابی سالیانه (λ)	متوسط زمان تعمیر (ساعت)	احتمال در دسترس نبودن
E1	ازکارفتادگی سیستم محورشمار	$۱/۰۰\times۱۰^{-۲}$	۱/۰	$۱/۰۰\times۱۰^{-۸}$
E2	قطع کابل (اتصال) بین تجهیزات الکترونیکی کناره خط و واحد ارزیابی‌کننده مرکزی	$۶/۱۰\times۱۰^{-۲}$	۰/۶	$۳/۶۶\times۱۰^{-۸}$
E3	خرابی سیستم سنسور	$۱/۲۸\times۱۰^{-۱}$	۱/۰	$۱/۲۸\times۱۰^{-۷}$
E4	قطع کابل (اتصال) بین سنسورها و تجهیزات الکترونیکی کناره خط	$۶/۱۰\times۱۰^{-۲}$	۰/۶	$۳/۶۶\times۱۰^{-۸}$
E5	خطای نگهداری: ریست سیستم، هنگامیکه حضور قطار در بلاک	$۱/۲۰\times۱۰^{-۳}$	۵/۸	$۶/۹۶\times۱۰^{-۹}$
E6	عدم تشخیص خطا توسط مدار ناظر بر عملکرد سنسور	$۸/۵۰\times۱۰^{-۲}$	۱/۰	$۸/۵۰\times۱۰^{-۸}$
E7	خرابی مدول ارزیابی‌کننده	$۹/۹۰\times۱۰^{-۲}$	۰/۵	$۴/۹۵\times۱۰^{-۸}$
E8	خرابی منبع تغذیه مدول ارزیابی‌کننده	$۳/۷۰\times۱۰^{-۲}$	۰/۳	$۱/۱۱\times۱۰^{-۸}$
E9	خطا در تغذیه مدول ارزیابی‌کننده	$۲/۰۰\times۱۰^{-۲}$	۰/۴	$۸/۰۰\times۱۰^{-۹}$
E10	خرابی مدارتِ تجهیزاتِ الکترونیکی	$۲/۵۰\times۱۰^{-۲}$	۱/۰	$۲/۵۰\times۱۰^{-۸}$
E11	خطا در مدار شمارنده – دادن خروجی صفر	$۲/۵۰\times۱۰^{-۲}$	۵/۸	$۱/۴۵\times۱۰^{-۷}$
E12	خطا در مدار ناظر شمارنده	$۲/۵۰\times۱۰^{-۲}$	۵/۸	$۱/۴۵\times۱۰^{-۷}$
E13	عدم توانایی مدار ناظر قطعه خط در ثبت وضعیت اشغال	$۲/۵۰\times۱۰^{-۲}$	۵/۸	$۱/۴۵\times۱۰^{-۷}$
E14	عبور دادن به اشتباه ولتاژ توسط مقایسه‌گر	$۳/۱۴\times۱۰^{-۷}$	۸/۲	$۲/۵۷\times۱۰^{-۱۲}$
E15	تولید پالس‌های بی‌دلیل	$۳/۱۴\times۱۰^{-۷}$	۲/۱	$۶/۵۹\times۱۰^{-۱۳}$
E16	تشخیص نادرست محور توسط سنسورها	$۱/۹۶\times۱۰^{-۶}$	۶/۲	$۱/۲۲\times۱۰^{-۱۱}$
E17	عبور ندادن ولتاژ توسط مقایسه‌گر	$۱/۴۴\times۱۰^{-۶}$	۸/۲	$۱/۱۸\times۱۰^{-۱۱}$
E18	تولید نشدن پالس	$۱/۴۴\times۱۰^{-۶}$	۶/۲	$۸/۹۳\times۱۰^{-۱۲}$
E19	تشخیص ندادن محور توسط سنسورها	$۱/۴۴\times۱۰^{-۶}$	۶/۲	$۸/۹۳\times۱۰^{-۱۲}$
E20	خرابی باتری یدکی	$۲/۵۰\times۱۰^{-۲}$	۱/۱	$۲/۷۵\times۱۰^{-۸}$
E21	خرابی شارژ باتری یدکی	$۲/۵۰\times۱۰^{-۲}$	۲/۱	$۵/۲۵\times۱۰^{-۸}$
E22	قطع کابل (اتصال) منبع تغذیه	$۲/۵۰\times۱۰^{-۲}$	۰/۳	$۷/۵۰\times۱۰^{-۹}$
E23	سوختن فیوز	$۲/۵۰\times۱۰^{-۲}$	۱/۴	$۳/۵۰\times۱۰^{-۸}$
E24	خرابی ترانسفورماتور	$۲/۵۰\times۱۰^{-۲}$	۰/۲	$۵/۰۰\times۱۰^{-۹}$

۴-۲- ارزیابی درخت خطای ریسک "خرابی سیستم محور شمار"

در اولین گام از مرحله ارزیابی، باید برش‌های حداقل تعیین گردند، در این تحقیق، از روش پایین به بالا (بالارونده) برای ایمنظور استفاده شده است، این الگوریتم با استفاده از یک رویکرد بالارونده، کار خودش را از پیشامدهای پایانی در پایین درخت خطا شروع می‌کند و ضمن حرکت بسمت پیشامد اصلی، برای تمامی گره‌های میانی عمل توسعه و کاهش انجام می‌گیرد و نهایتاً به پیشامد اصلی ختم می‌شود. بنابراین مجموعه برش‌های حداقل بدست آمده با استفاده از این

Archive of SID

www.SID.ir

الگوریتم، برای تمامی پیشامدهای دروازه‌ای ازجمله پیـشامد دروازه‌ای اصلی، شرایط برش حداقل را دارند.

$$G13 = E20 + E21$$
$$G14 = E22 + E23 + E24$$

$$G9 = E11.E12.E13$$
$$G10 = E14 + E15 + E16$$
$$G11 = E17 + E18 + E19$$
$$G12 = G13.G14 = E20.E22 + E20.E23 + E20.E24 + E21.E22 + E21.E23 + E21.E24$$

$$G4 = G9 + E5 = E11.E12.E13 + E5$$
$$G5 = E6.G10 = E6.E14 + E6.E15 + E6.E16$$
$$G6 = E6.G11 = E6.E17 + E6.E18 + E6.E19$$
$$G7 = E7 + E8 + E9$$
$$G8 = G12 + E10 = E20.E22 + E20.E23 + E20.E24 + E21.E22 + E21.E23 + E21.E24 + E10$$

$$G2 = G4 + G5 + G6 = E11.E12.E13 + E5 + E6.E14 + E6.E15 + E6.E16 + E6.E17 + E6.E18 + E6.E19$$
$$G3 = G7 + E2 + E3 + G8 + E4 = E7 + E8 + E9 + E2 + E3 + E20.E22 + E20.E23 + E20.E24 + E21.E22 + E21.E23 + E21.E24 + E10 + E4$$

$$G1 = G2 + E1 + G3 = E11.E12.E13 + E5 + E6.E14 + E6.E15 + E6.E16 + E6.E17 + E6.E18 + E6.E19 + E1 + E7 + E8 + E9 + E2 + E3 + E20.E22 + E20.E23 + E20.E24 + E21.E22 + E21.E23 + E21.E24 + E10 + E4$$

بنابراین مجموعه برش‌های حداقل بصورت زیر می‌باشد:

$$MinCS = \{E1, E2, E3, E4, E5, E6.E14, E6.E15, E6.E16, E6.E17, E6.E18, E6.E19, E7, E8, E9, E10, E11.E12.E13, E20.E22, E20.E23, E20.E24, E21.E22, E21.E23, E21.E24\}$$

۴-۲-۱- ارزیابی کیفی درخت خطا

۴-۲-۱-۱- رتبه بندی کیفی برش‌های حداقل

همانطورکه پیش از این گفته شد، رتبه‌بندی کیفی برش‌های حـداقل در وهله اول براساس رتبه برش، و در وهله بعد براساس احتمال وقوع اعضاء آن برش انجام می‌گیرد، بـر ایـن اسـاس، از مجمـوع ۲۲ بـرش مورد بررسی، ۹ برش از مرتبه یک می‌باشند، که از ایـن میـان، بـرش حداقل شماره ۳، به جهت محتمل‌تر بودن وقوع اعضاء آن، بـه عنـوان بحرانی‌ترین برش حداقل برگزیده می‌شود.

۴-۲-۱-۲- رتبه‌بندی کیفی پیشامدهای پایانی

ارزیابی کیفی پیشامدهای پایانی، بافرض اسـتقلال و برابـری احتمـال وقوع پیشامدهای پایانی، در وهله اول برمبنای تعداد دفعات مـشاهده آن‌ها در برش‌های مختلف و در وهله بعد برمبنای رتبه برش حـداقلی که پیشامد مذکور را شامل می‌شود انجـام مـی‌گیـرد. بـا ایـن فـرض، پیشامد شماره ۶ یعنی "عدم تـشخیص خطـا توسـط مـدار نـاظر بـر عملکرد سنسور"، کـه بـه تنهـایی در شـش مجموعـه بـرش حـداقل مشاهده می‌شود، ، بعنوان بحرانی‌ترین پیشامد انتخاب می‌گردد. ولـی همانطورکه ذکر شد، در این مورد، فرض چنین تحلیل برآورده نـشده است.

۴-۲-۲- ارزیابی کمی درخت خطا

همانطور که پیش از این نیز گفته شد، در ارزیابی کمی درخت خطـا، پیش از رتبه‌بندی و تعیین معیارهـای اهمیـت بـرش‌هـای حـداقل و پیشامدهای پایانی، باید احتمال وقوع پیشامد اصلی محاسبه گردد، از این‌رو در ادامه، احتمال وقوع پیشامد اصلی با روش محاسبه مـستقیم با استفاده از برش‌های حداقل محاسبه می‌شود:

$$P(G1) = P(\bigcup_j MinCS_j) \approx 3.3117*10^{-7}$$

۴-۲-۲-۱- رتبه‌بندی کمی برش‌های حداقل

بمنظور رتبه‌بندی کمی برش‌های حـداقل، در ایـن تحقیـق از معیـار اهمیت برش‌های حداقل استفاده گردیده و نتایج آن در قالـب جـدول ۶ ارائه گردیده است.

همانطورکه در این جدول ملاحظه می‌شـود، بـرش حـداقل ۳ بـا احتمال وقوع $۱/۲۸\times۱۰^{-۷}$ و اهمیت ۰/۴۱، بحرانی‌ترین برش حداقل و بعبارت بهتر، مسیر بحرانی می‌باشد.

۴-۲-۲-۲- رتبه‌بندی کمی برش‌های پایانی

جهت رتبه‌بندی کمی پیشامدهای پایانی در این تحقیق از سه معیـار "فاسل-ویسلی"، "برنبام" و "بحرانی بـودن" اسـتفاده شـده و نتـایج نهایی آن در جدول ۷ ارائه گردیده است. همانطورکه در ایـن جـدول دیده می‌شود، با توجه به شرایط و مفروضـات مـدل، معیـار برنبـام از میان ۲۴ پیشامد پایانی، ۹ پیشامد را بعنـوان پیـشامدهـای بحرانـی شناسـایی نمـوده اسـت. در حالیکـه معیـارهـای "فاسـل-ویـسلی" و "بحرانی بودن"، تنها پیشامد E3 یعنی "خرابی سیستم سنـسور"، را بعنوان بحرانی‌ترین پیشامد پایانی معرفی نمودند، دلیـل ایـن تفـاوت این است که معیار "برنبام"، احتمال وقوع پیشامد پایـانی را بـصورت مستقیم در محاسبات خود دخالت نمی‌دهد و درنتیجه ممکـن اسـت پیشامدی بعنوان پیشامد بسیار با اهمیت انتخـاب شـود کـه احتمـال وقوع آن بسیار ناچیز است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۶: رتبه‌بندی کمی برش‌های حداقل

شماره برش	اعضاء مجموعه	احتمال مجموعه برش	معیار اهمیت مجموعه برش	
			مقدار	رتبه
۱	E1	$۱/۰۰\times۱۰^{-۸}$	$۳/۲۱\times۱۰^{-۲}$	۷
۲	E2	$۳/۶۶\times۱۰^{-۸}$	$۱/۱۷\times۱۰^{-۱}$	۳
۳	E3	$۱/۲۸\times۱۰^{-۷}$	$۴/۱۱\times۱۰^{-۱}$	۱
۴	E4	$۳/۶۶\times۱۰^{-۸}$	$۱/۱۷\times۱۰^{-۱}$	۳
۵	E5	$۶/۹۶\times۱۰^{-۹}$	$۲/۲۳\times۱۰^{-۲}$	۹
۶	E6,E14	$۲/۱۹\times۱۰^{-۱۹}$	$۷/۰۲\times۱۰^{-۱۳}$	۲۰
۷	E6,E15	$۵/۶۰\times۱۰^{-۲۰}$	$۱/۸۰\times۱۰^{-۱۳}$	۲۱
۸	E6,E16	$۱/۰۳\times۱۰^{-۱۸}$	$۳/۳۱\times۱۰^{-۱۲}$	۱۶
۹	E6,E17	$۱/۰۰\times۱۰^{-۱۸}$	$۳/۲۲\times۱۰^{-۱۲}$	۱۷
۱۰	E6,E18	$۷/۵۹\times۱۰^{-۱۹}$	$۲/۴۳\times۱۰^{-۱۲}$	۱۸
۱۱	E6,E19	$۷/۵۹\times۱۰^{-۱۹}$	$۲/۴۳\times۱۰^{-۱۲}$	۱۸
۱۲	E7	$۴/۹۵\times۱۰^{-۸}$	$۱/۵۹\times۱۰^{-۱}$	۲
۱۳	E8	$۱/۱۱\times۱۰^{-۸}$	$۳/۵۶\times۱۰^{-۲}$	۶
۱۴	E9	$۸/۰۰\times۱۰^{-۹}$	$۲/۵۷\times۱۰^{-۲}$	۸
۱۵	E10	$۲/۵۰\times۱۰^{-۸}$	$۸/۰۲\times۱۰^{-۲}$	۵
۱۶	E11,E12,E13	$۳/۰۵\times۱۰^{-۲۱}$	$۹/۷۸\times۱۰^{-۱۵}$	۲۲
۱۷	E20,22	$۲/۰۶\times۱۰^{-۱۶}$	$۶/۶۲\times۱۰^{-۱۰}$	۱۴
۱۸	E20,23	$۹/۶۲\times۱۰^{-۱۶}$	$۳/۰۹\times۱۰^{-۹}$	۱۱
۱۹	E20,24	$۱/۳۷\times۱۰^{-۱۶}$	$۴/۴۱\times۱۰^{-۱۰}$	۱۵
۲۰	E21,E22	$۳/۹۴\times۱۰^{-۱۶}$	$۱/۲۶\times۱۰^{-۹}$	۱۲
۲۱	E21,E23	$۱/۸۴\times۱۰^{-۱۵}$	$۵/۸۹\times۱۰^{-۹}$	۱۰
۲۲	E21,E24	$۲/۶۲\times۱۰^{-۱۶}$	$۸/۴۲\times۱۰^{-۱۰}$	۱۳

جدول ۷: رتبه‌بندی کمی پیشامدهای پایانی

نام پیشامد	معیار ویسلی-فاسل		معیار برنبام		معیار بحرانی بودن	
	مقدار	رتبه	مقدار	رتبه	مقدار	رتبه
E1	$۳/۲۱\times۱۰^{-۲}$	۷	$۱/۰۰\times۱۰^{۰}$	۱	$۳/۲۱\times۱۰^{-۲}$	۷
E2	$۱/۱۷\times۱۰^{-۱}$	۳	$۱/۰۰\times۱۰^{۰}$	۱	$۱/۱۷\times۱۰^{-۱}$	۳
E3	$۴/۱۱\times۱۰^{-۱}$	۱	$۱/۰۰\times۱۰^{۰}$	۱	$۴/۱۱\times۱۰^{-۱}$	۱
E4	$۱/۱۷\times۱۰^{-۱}$	۳	$۱/۰۰\times۱۰^{۰}$	۱	$۱/۱۷\times۱۰^{-۱}$	۳
E5	$۲/۲۳\times۱۰^{-۲}$	۹	$۱/۰۰\times۱۰^{۰}$	۱	$۲/۲۳\times۱۰^{-۲}$	۹
E6	$۱/۲۳\times۱۰^{-۱۱}$	۱۵	$۴/۵۱\times۱۰^{-۱۱}$	۲۱	$۱/۲۳\times۱۰^{-۱۱}$	۱۵
E7	$۱/۵۹\times۱۰^{-۱}$	۲	$۱/۰۰\times۱۰^{۰}$	۱	$۱/۵۹\times۱۰^{-۱}$	۲
E8	$۳/۵۶\times۱۰^{-۲}$	۶	$۱/۰۰\times۱۰^{۰}$	۱	$۳/۵۶\times۱۰^{-۲}$	۶
E9	$۲/۵۷\times۱۰^{-۲}$	۸	$۱/۰۰\times۱۰^{۰}$	۱	$۲/۵۷\times۱۰^{-۲}$	۸
E10	$۸/۰۲\times۱۰^{-۲}$	۵	$۱/۰۰\times۱۰^{۰}$	۱	$۸/۰۲\times۱۰^{-۲}$	۵
E11	$۹/۷۸\times۱۰^{-۱۵}$	۲۲	$۲/۱۰\times۱۰^{-۱۴}$	۲۲	$۹/۷۸\times۱۰^{-۱۵}$	۲۲
E12	$۹/۷۸\times۱۰^{-۱۵}$	۲۲	$۲/۱۰\times۱۰^{-۱۴}$	۲۲	$۹/۷۸\times۱۰^{-۱۵}$	۲۲
E13	$۹/۷۸\times۱۰^{-۱۵}$	۲۲	$۲/۱۰\times۱۰^{-۱۴}$	۲۲	$۹/۷۸\times۱۰^{-۱۵}$	۲۲
E14	$۷/۰۲\times۱۰^{-۱۳}$	۲۰	$۸/۵۰\times۱۰^{-۸}$	۱۰	$۷/۰۲\times۱۰^{-۱۳}$	۲۰
E15	$۱/۸۰\times۱۰^{-۱۳}$	۲۱	$۸/۵۰\times۱۰^{-۸}$	۱۰	$۱/۸۰\times۱۰^{-۱۳}$	۲۱
E16	$۳/۳۱\times۱۰^{-۱۲}$	۱۶	$۸/۵۰\times۱۰^{-۸}$	۱۰	$۳/۳۱\times۱۰^{-۱۲}$	۱۶
E17	$۳/۲۲\times۱۰^{-۱۲}$	۱۷	$۸/۵۰\times۱۰^{-۸}$	۱۰	$۳/۲۲\times۱۰^{-۱۲}$	۱۷
E18	$۲/۴۳\times۱۰^{-۱۲}$	۱۸	$۸/۵۰\times۱۰^{-۸}$	۱۰	$۲/۴۳\times۱۰^{-۱۲}$	۱۸
E19	$۲/۴۳\times۱۰^{-۱۲}$	۱۸	$۸/۵۰\times۱۰^{-۸}$	۱۰	$۲/۴۳\times۱۰^{-۱۲}$	۱۸
E20	$۴/۱۹\times۱۰^{-۹}$	۱۲	$۴/۷۵\times۱۰^{-۸}$	۱۹	$۴/۱۹\times۱۰^{-۹}$	۱۲
E21	$۸/۰۰\times۱۰^{-۹}$	۱۱	$۴/۷۵\times۱۰^{-۸}$	۱۹	$۸/۰۰\times۱۰^{-۹}$	۱۱
E22	$۱/۹۲\times۱۰^{-۹}$	۱۳	$۸/۰۰\times۱۰^{-۸}$	۱۶	$۱/۹۲\times۱۰^{-۹}$	۱۳
E23	$۸/۹۸\times۱۰^{-۹}$	۱۰	$۸/۰۰\times۱۰^{-۸}$	۱۶	$۸/۹۸\times۱۰^{-۹}$	۱۰
E24	$۱/۲۸\times۱۰^{-۹}$	۱۴	$۸/۰۰\times۱۰^{-۸}$	۱۶	$۱/۲۸\times۱۰^{-۹}$	۱۴

Archive of SID

www.SID.ir

لذا با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان نتیجه گرفت که، پیشامد "خرابی سیستم سنسور" بحرانی‌ترین پیشامد پایانی می‌باشد. باتوجه به این مطلب، اولین گزینه پاسخ‌دهی برای کاهش احتمال وقوع پیشامد اصلی یعنی "خرابی سیستم محورشمار"، کاهش احتمال خرابی سنسورها می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری

درخت خطا، ابزاری ترسیمی با عملگرهای منطقی می‌باشد که ابزاری قدتمند را برای انجام مرحله شناسایی و تحلیل ریسک کلیه سیستم‌ها، از جمله سیستم ریلی، ارایه می نماید.

در این مقاله، ریسک "خرابی سیستم محور شمار" با استفاده از تکنیک تجزیه و تحلیل درخت خطا مورد ارزیابی قرار گرفت.

برای این منظور، کلیه برش‌های حداقل با استفاده از الگوریتم پایین به بالا (بالارونده) شناسایی گردید و با استفاده از احتمال وقوع برش‌های حداقل، احتمال وقوع پیشامد اصلی محاسبه شد و درانتها، معیارهای اهمیت برای تمامی برش‌های حداقل و پیشامدهای پایانی تعیین گردید.

بر اساس نتایج بدست آمده از تحلیل، مجموعه‌برشی شماره ۳، که تنها عضو آن پیشامد E3 یعنی "خرابی سیستم سنسور"، می‌باشد با احتمال وقوع $۱/۲۸\times۱۰^{-۷}$ و اهمیت ۰/۴۱۱، بعنوان مسیر بحرانی تعیین گردید. برش حداقل شماره ۱۶ که از پیشامدهای E11، E12، و E13 یعنی "خطا در مدار شمارنده"، "خطا در مدار ناظر بر شمارنده"، و "عدم توانایی مدار ناظر قطعه خط در ثبت وضعیت اشغال" تشکیل شده است، بعنوان کم‌اهمیت‌ترین و غیرمحتملترین مجموعه برش حداقل تعیین گردید.

تجزیه و تحلیل انجام شده نشان می‌دهد که رتبه‌بندی کیفی برش‌های حداقل نیز نتایج مشابهی می‌انجامد. همانطورکه پیش از این نیز گفته شد، در ارزیابی کیفی، برش‌های حداقل برمبنای مرتبه مجموعه برش رتبه بندی می‌گردند. بنابراین برش حداقل شماره ۳ که مجموعه‌ای از مرتبه ۱ می‌باشد و احتمال وقوع اعضاء آن نسبت به اعضاء سایر مجموعه‌های از مرتبه مشابه بیشتر است، بعنوان بحرانی‌ترین برش حداقل و مجموعه برش شماره ۱۶، که مجموعه‌ای از مرتبه ۳ می‌باشد، بعنوان کم‌اهمیت‌ترین برش حداقل ازمنظر تأثیر در احتمال وقوع پیشامد اصلی تعیین می‌گردد.

درانتها، برمبنای نتایج حاصل از رتبه بندی کمی پیشامدهای پایانی، پیشامد E3 یعنی "خرابی سیستم سنسور"، بعنوان بحرانی‌ترین و تأثیرگذارترین پیشامد تعیین گردید.

لذا با توجه به نتایج تجزیه و تحلیل انجام شده، پیشنهاد می‌شود تا برای کاهش حداکثری در احتمال وقوع پیشامد اصلی، اقدامات پیشگیرانه و اصلاحی در راستای جلوگیری از بروز پیشامد مذکور انجام گیرد.

مراجع

[1]- Vincoli J., *Basic Guide to System Safety (Second Edition)*, John Wiley and Sons, 2006

[2]- Vesely W.E., "A time-dependent methodologie for fault tree evaluation" , Nucl. Eng. Des., 13, 1970, pp. 337–360.

[3]- Ericson C., *Hazard Analysis Techniques for System Safety*, John Wiley and Sons, 2005

[4]- Hoyland A., and Rausand M., *System Reliability Theory Models and Statistical Methods (2nd Edition)*, John Wiley and Sons, 2004

[5]- Nimlios N., *Fault Trees*, ISTE Ltd, 2007

[6]- Ross S., *A First Course in Probability (7th International Edition)*, Pearson International Edition, 2005

[7]- P Proctor, Infrastructure Risk Modeling, Causal Modeling, Axle Counter (SEL), 1997

[8]- Bombardier Zwus So. z.o.o, Catalog of Axle Counter SOL-2, March 2003

[9]- AZD Praha, Catalog of Axle Counter PZN-1

[10]- Klaus Altehage, Axle Counter System ACS2000 - Efficient and Universal Clear Track Signaling System, April 2003

[11]- Digital Multi-Section Axle Counter, Applied Electro-Magnetics Pvt. B-147, Sector- 63

[12]- ALTPRO d.o.o., Catalog of Axle Counter BO1

Archive of SID

www.SID.ir