تاریخ دریافت: ۸۷/۶/۳
تاریخ پذیرش: ۸۷/۱۱/۷

تعیین نقاط حساس نشتی در ایستگاههای تقویت فشار گاز با استفاده از تحلیل درخت خطا[1] (FTA^2)

دکتر سید علی خاتمی فیروزآبادی[3]
علی خرم روز[4]

چکیده

تجارب نشان داده است که مهمترین عامل نشتی در ایستگاههای تقویت فشار گاز، شیرهای بکار رفته شده در آنها می باشند. نشتی گاز در محیط صنعتی می‌تواند عواقب وخیم جبران ناپذیری داشته باشد. بنابراین لازم است مسئله ایمنی اینگونه محیطها مورد توجه جدی قرار گیرد. به منظور شناسایی این عوامل، ابتدا لازم است اهمیت جلوگیری از وقوع حوادث و پیشگیری آن با استفاده از روشهای ارزیابی ریسک بیان شود. تحلیل درخت خطا، روشی است که می تواند نقاط عیب یک سیستم را با توجه به احتمال وقوع آنها معین نماید. به منظور تحلیل مسئله و شناسایی نقاط نشتی گاز، درخت خطای هر ناحیه در ایستگاه تقویت فشار رسم شده و با توجه به داده های موجود در ایستگاه، احتمال

۱- این تحقیق با حمایت مالی شرکت ملی گاز ایران انجام شده است.
2- Fault Tree Analysis (FTA)
۳- عضو هیات علمی دانشگاه علامه طباطبایی
۴- کارشناس ارشد شرکت ملی گاز ایران

خرابی قطعات بعنوان عامل موثر در نشتی گاز، وارد نرم افزار *FTA* می شود. می‌توان از خروجیهای نرم افزار مزبور جهت تحلیل نتایج استفاده به عمل آورد. بر اساس بررسی این خروجیها، مشاهده می شود که بیشترین میزان نشتی گاز در ایستگاههای تقویت فشار مربوط به ناحیه تصفیه گاز و محل فعالیت توربین ها می باشد. سپس راهکارهایی جهت پیشگیری از وقوع نشتی گاز در ایستگاهها پیشنهاد شده اند.

کلید واژگان تحقیق

تحلیل درخت خطا، قابلیت اطمینان، ایمنی، ایستگاه تقویت فشار گاز

مقدمه

توجه به مسئله ایمنی در تاسیسات صنعتی و بخصوص صنایع شیمیایی از اهمیت بسیاری برخوردار است. به گواهی آمار و ارقام، میزان خسارت و صدمات انسانی، اقتصادی و زیست محیطی ناشی از حوادث صنعتی در جهان بسیار بالاست [۱۱]. سالانه در جهان حدود ۲۵۰ میلیون حادثه شغلی (تقریبا" معادل ۶۵۸۰۰۰ حادثه در روز) رخ می دهد که منجر به غیبت های ناشی از کار می شود. روزانه ۳۰۰۰ نفر به دلیل حوادث ناشی از کار جان خود را از دست می دهند. به عبارت دقیق تر در هر ۲ دقیقه یک نفر در اثر این حوادث زندگی خود را از دست می دهد. طبق آمار منتشره از سوی *ILO*[1] ، سالانه حدود ۱۶۰ میلیون کارگر دچار بیماریهای ناشی از شغل خود میشوند و حدود یک میلیون نفر بدلیل این بیماریها جان خود را از دست می دهند[۱۱]. در ایران، سالانه حدود ۱۴۰۰۰

1 -International Labor Organization (ILO)

حادثه ناشی از کار اتفاق می افتد که از این تعداد بالغ بر ۱۲۰ مورد فوت و ۱۵۰ مورد از کارافتادگی کلی ناشی از کار به علت حوادث می باشد. با توجه به ضوابط بین المللی که هر مورد فوت یا از کار افتادگی کلی را معادل ۶۰۰۰ تا ۷۵۰۰ روز از دست رفته کاری فرض می کند، لذا در طی یکسال، بالغ بر ۴۰۰ سال کاری را از دست می دهیم [۱۲، ۱۳].

برای پیشگیری از این صدمات و کشف مخاطراتی که منجر به بروز حوادث می‌شوند و نیز برای تحلیل ریسک واحدهای صنعتی، به تدابیر خاص و روشهای سیستماتیکی نیاز است تا با شناسایی عمده عوامل، به کاهش حوادث کمک نماید. روشهای زیادی از قبیل تحلیل پرسش، تحلیل مخاطرات و راهبری، تحلیل درخت خطا، حالات شکست و اثرات آن و ... توسعه یافته اند. در این مقاله سعی محققیق بر آن بوده است تا با بکارگیری تحلیل درخت خطا در ایستگاههای فشار گاز، عمده عوامل بروز حوادث را شناسایی نموده و پیشنهاداتی جهت رفع آنها ارائه نمایند.

روش تجزیه و تحلیل درخت خطا در سالهای ۶۲-۱۹۶۱ میلادی ابداع و در همان سال در ارزیابی قابلیت اعتماد سیستم کنترل پرتاب موشکهای بالستیک مورد استفاده قرار گرفت [۷]. در سالهای بعد تکنیک *FTA* توسط شرکت هواپیمایی بوئینگ و بویژه شخص *D.F.Haasl* توسعه یافت و به صورت قانونمند در آمد. 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 [۴] .

در سالهای ۱۹۷۰ تا ۱۹۷۴ کاربرد تکنیک *FTA* در ارزیابی ایمنی صنایع هسته‌ای گسترش یافت. در سال ۱۹۷۵ "کمیسیون قانونگذاری هسته ای" نتیجه مطالعات خود تحت عنوان "ارزیابی ریسک حوادث در کارخانجات هسته‌ای ایالات متحده آمریکا" را منتشر کرد. در این تحقیق که با استفاده از روش *FTA* انجام شده بود علل ریشه ای حوادث هسته ای، نقش و اهمیت هر کدام از علل فوق و

همچنین احتمال وقوع حوادث یاده شده در یکسال برای صنایع هسته ای غیر نظامی آمریکا محاسبه گردید [۴،۶،۷] .

در سال ۱۹۷۵ از روش *FTA* در تجزیه و تحلیل خطرات موجود در صنایع شیمیایی استفاده شد. در این تحقیق توانایی تکنیک تجزیه و تحلیل درخت خطا در شناسایی و ارزیابی علل حادثه رها شدن گازها و بخارات سمی در یک کارخانه تولید سموم نباتی، راه را برای استفاده از تکنیک یاد شده در صنایع دیگر هموارتر کرد [۶].

در ارزیابی خطاهای انسانی می توان از تکنیک *FTA* استفاده کرد. برای مثال خطر نشت هیدروکربنها از سکوهای نفتی با تأکید بر روی اهمیت خطاهای انسانی در بروز حادثه مزبور با بکارگیری تکنیک *FTA* مورد مطالعه قرار گرفته است [۸].

همچنین قابلیت اعتماد روباتهای مورد استفاده در محیطهای مخاطره‌زا با استفاده از این تکنیک مورد مطالعه قرار گرفته است. خطاهای سخت افزاری، نرم افزاری و انسانی دخیل در شکست آنها و همچنین احتمال وقوع خطاهای یاد شده تعیین گردید. نتایج این مطالعه با ارائه راه حلهایی در جهت حذف یا کاهش نقاط ضعف پروژه به طراحی و ساخت روباتهای با قابلیت اعتماد بیشتری منجر شد [16]. همچنین از روش *FTA* در تجزیه و تحلیل ایمنی سیستمهایی که بر اساس برنامه های کامپیوتری پیچیده ای عمل می کنند استفاده شده است. [۴].

علاوه بر تحقیقات ذکر شده، در ایران نیز تحقیقات چندی در بکارگیری روش تحلیل درخت خطا انجام شده است. ایرج محمدفام در تحقیق خود (ارزیابی خطر انفجار الکتروفیلتر کوره سیمان کارخانه سیمان تهران به روش تجزیه و تحلیل درخت خطا و ارائه راه حلهای مناسب) با استفاده از توانمندیهای تکنیک تجزیه و تحلیل درخت خطا، کلیه عوامل عمده مؤثر در بروز حادثه انفجار سیستم الکتروفیلتر شناسایی و سپس نحوه ترکیب و همچنین ارتباط آنها به ترتیب در

قالب رویدادهای پایانی و میانی و عملگرهای "و" و "یا" تعیین گردید. با مشخص شدن احتمال وقوع رویدادهای پایانی (شامل خطاهای انسانی، شکست سخت‌افزاری و نرم‌افزاری)، امکان تجزیه و تحلیل کمی درخت خطا میسر شد و در نهایت با محاسبه احتمال وقوع رویدادهای میانی، احتمال وقوع رویدادی اصلی در یکسال محاسبه گردید [1].

در تحقیق دیگری با عنوان «بررسی و تحلیل عوامل خروج از خط قطار در راه آهن ایران با استفاده از تحلیل درخت خطا»، مجموعا ۹۳ رویداد با استفاده از تکنیک تحلیل درخت خطا شناسایی و مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت و در نهایت علاوه بر رویدادهای بحرانی، نقاط سانحه خیز و عوامل بحرانی نواحی ۱۲ گانه راه آهن ایران، شناسایی گردید [2].

در تحقیق دیگری که در مجتمع پتروشیمی اراک صورت گرفته است، واحد پلی اتیلن سبک خطی[1] (*LLDPE*) که از جمله واحدهای پلیمری می باشد هدف مورد نظر برای اجرای *FTA* قرار گرفت. جلوگیری از ناتوان شدن راکتور *R-400* بعنوان واقعه رأس انتخاب شد. سپس رویدادها شناسایی و سپس احتمال وقوع این رویداده ها بدست آمد و در نهایتاً احتمال وقوع رویداد راس محاسبه گردید. تحلیل رویدادهای فرعی رتبه بندی شده نشان داد ۴ رویدادی که ۷۰ درصد وقوع رویداد رأس را به خود اختصاص داده بودند مربوط به تجهیزات و ادواتی بودند که خطاها و یا اشتباهاتی در طراحی یا دستور العمل کار با آنها وجود داشت [3].

تحلیل درخت خطا (*FTA*)

FTA نموداری است تصویری و متشکل از کلیه علل منطقی که می تواند هر یک به تنهایی و یا با هم، منجر به یک حادثه نهایی[2] گردد [۴]. *FTA* یکی از پرکاربردترین شیوه های تحلیل قابلیت اطمینان است [۵]. *FTA* رویه ای قیاسی[3]

1- Low Linear Density Poly Ethylene
2 -Top Effect
3 -Deductive Approach

برای تعیین ترکیبات مختلف خطاهای انسانی ، سخت افزاری و نرم افزاری است که منجر به وقوع رویداد نامطلوب مشخصی (رویداد رأس) در سیستم می شود [۶].

تکنیک تحلیل درخت خطا یکی از قویترین ابزارهای تحلیل فرآیند ایمنی سیستم، بویژه در هنگام ارزیابی سیستم های بسیار پیچیده و دقیق است [۴]. بدلیل استفاده از رویکرد قیاسی در این روش (رسیدن از کل به جزء)، بسیاری از تحلیلگران ایمنی سیستم، بر این باورند که بکارگیری روش مزبور می تواند با شناسایی نقاط عیب یک سیستم، از وقوع رویدادهای نامطلوب جلوگیری کند. هر چند بطور معمول از این تکنیک برای شناسایی و ارزیابی مجموعه عواملی که منجر به بروز یک رویداد ناخواسته می شود استفاده به عمل می آید اما بایستی در نظر داشت که این روش را می توان برای ارزیابی فعالیت های لازم جهت رسیدن به یک رویداد مطلوب و مورد نظر، نظیر عدم بروز انفجار در مخازن تحت فشار نیز استفاده کرد [۶]. *FTA* بالاخص در ارزیابی ایمنی سیستم های با انرژی بالا در راستای کسب اطمینان از کافی بودن اقدامات پیشگیرانه برای کنترل احتمال وقوع حوادث ناگوار مفید است [۵].

FTA شامل ایجاد یک درخت خطا، وارد نمودن احتمال خطای رویدادهای پایه، توزیع احتمالات خطاها برای تعیین احتمال رویداد اصلی و تعیین مجموعه‌های برشی می باشد. یک مجموعه برشی، مجموعه ای از رویدادها است که با رخ دادن همه آنها با هم، رویداد اصلی به وقوع می پیوندد. گروه برش حداقل، کمترین گروهی از رویدادها است که اگر همگی رخ دهند منجر به وقوع رویداد اصلی می‌گردد [۹]. تجزیه و تحلیل درخت خطا ممکن است بدنبال اجرای

یک برنامه PHA[1] (آنالیز مقدماتی خطر) یا $FMEA$[2] صورت گیرد هر چند که هیچکدام از آنها نیازی برای FTA محسوب نمی‌شوند.

می توان مهمترین دلایل انجام FTA را بصورت زیر بیان کرد [۹]:

- شناسایی علت یا مجموعه علل منتهی به رویداد نهایی
- نشان دادن روابط منطقی حاکم بین علل بروز یک حادثه
- تعیین عواملی که بیشترین تاثیر را بر روی حادثه نهایی دارند
- شناسایی خطاهای با علل مشترک

اولین گام در تجزیه و تحلیل درخت خطا، کسب شناخت کامل و دقیق از سیستم است. اطلاعات دقیق و جزیی درباره کلیه اجزاء سیستم، اثرات متقابل فیزیکی و کارکردی مابین اجزاء و شرایط طبیعی و غیر طبیعی را می توان از منابع مختلفی نظیر نقشه ها، نمودارها، لیست اجزاء، دستورالعمل های عملیاتی، روشهای تعمیر و نگهداری ، مصاحبه با کارکنان، متخصصان و ... بدست آورد. بعلاوه مقایسه سیستم با سیستم های مشابه نیز می تواند اطلاعات مفید دیگری را تامین کند.

در FTA رویدادهای مختلفی وجود دارد که ذیلاً بطور مختصر به آنها پرداخته می شود.

انواع رویدادها[3] [۴، ۵ و ۶]

رویداد خطا[4] : این رویداد که معمولاً همراه با رویدادهای دیگر نشان داده می‌شود نشانگر وجود یک شرط همراه با رویداد مورد نظر می باشد.

1 -Preliminary Hazard Analysis(PHA)
2 -FMEA(Failure Mode and Effect Analysis)
3 -Events
4 -Fault Event

رویداد شرطی[1] : رویداد ناخواسته ای است که هدف عمده تحلیل درخت خطا، یافتن علل بوجود آورنده آن است و بیانگر شرایط یا محدودیت های خاصی است که ممکن است برای هر عملگر منطقی وجود داشته باشد.

رویداد اصلی/ رأس / نهایی[2] : رویدادی است که در بالاترین نقطه درخت خطا جای می گیرد و علل بوجود آورنده آن شناسایی و تحلیلی می گردد. می‌توان گفت رویداد اصلی رویدادی است که تحلیلگر بدنبال یافتن علل و راههای بوقوع پیوستن آن است.

رویداد میانی[3] : هر رویداد به استثنای رویداد اصلی که مورد تحلیل قرار گرفته و علل بوجود آورنده آن تعیین می گردد رویداد میانی محسوب می گردد. به عبارت دیگر رویداد میانی به علت وقوع رویدادهای قبلی(از طریق عملگر های منطقی) رخ می دهد.

رویداد توسعه نیافته[4]: رویدادی است که به علت عدم دسترسی به اطلاعات یا به دلیل کم اهمیت بودن آن توسعه نیافته است. این رویداد، رویدادی است که تجزیه بعدی آن در بهبود درک مسئله نقشی ندارد. به عبارت دیگر، در تحلیل فعلی نیازی به تجزیه ندارد. این رویداد شبیه رویداد پایه است اما نماد آن متفاوت است و تفاوت آن با رویداد پایه در این است که ممکن است در تحلیل های آینده توسعه یافته و مورد استفاده قرار گیرد.

رویداد خارجی[5] : رویدادی است که معمولاً انتظار وقوع آن می رود.

---

1 -Conditional Event
2 -Top Event
3 -Intermediate Event
4 -Undevelopment Event
5 -External Event (House Event)

رویداد پایه ای[1]: رویدادی است که نمی توان علل بوجود آورنده آن را تعیین کرد و یا خطای اولیه ای است که نیاز به توسعه بیشتر ندارد. رویدادهای اولیه در حقیقت حد دقت سیستم می باشند.

خصوصیات سه رویداد آخر عبارتند از [۶]:

- معمولاً رویدادهایی در سطح جزء هستند.
- بوسیله سیستم های دیگر ایجاد می شوند.
- جزء رویداد های خارجی نظیر سیل، گرد وغبار، زلزله و ... به شمار می‌آیند.
- در صورت تحلیل کمّی احتمال وقوع آنها مشخص می باشد.

با داشتن احتمال وقوع رویداد های پایه، می توان احتمال وقوع رویداد رأس را محاسبه کرد.

قبل از توضیح عملگرها، با توجه به اینکه در عملگرها از قوانین جبر منطقی (بولی یا دودویی) استفاده می شود، لازم است توضیحاتی در خصوص جبر بولی ارائه گردد.

منطق دو دویی (جبر بولی)[2]

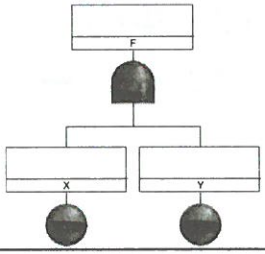
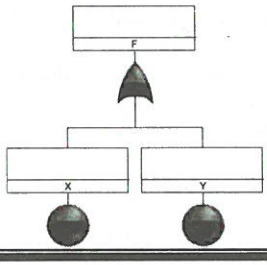
منطق دو دویی با متغیرهایی سروکار دارد که فقط می توانند دو ارزش اختیار کنند. دو ارزشی که متغیرها می گیرند ممکن است با اسامی مختلف نام برده شوند (مثلً درست و نادرست، بلی یا خیر و...) اما می توان این مقادیر را به صورت بیت[3] در نظر گرفته و مقادیر"0" و "۱" را به آنها اختصاص داد. منطق دودویی به منظور پردازش اطلاعات دودویی به شکل ریاضی بکار می رود. به منطق دودویی، منطق جبر بولی نیزگفته می‌شود[۹ و ۱۰].

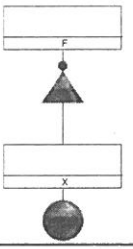
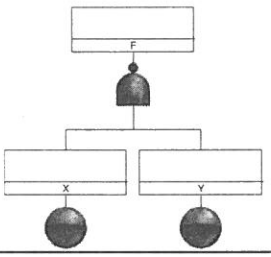
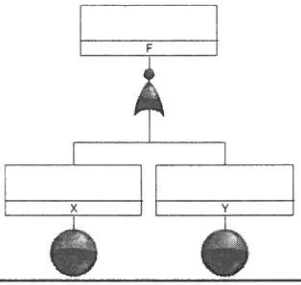
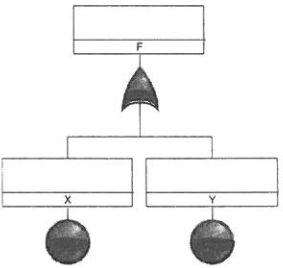
1 -Basic Event
2 -Boolen Algebra

انواع عملگرها [۴، ۵، ۶]

وظیفه عملگرها، ارتباط دادن رویدادهای مختلف در بدنه درخت خطا به یکدیگر است. عملگر ها با توجه به نوع خود، یک یا چند ورودی دریافت کرده ولی فقط یک خروجی تولید می کنند. عملگرهای مختلفی وجود دارد که در جدول ۱ به اختصار ذکر شده اند.

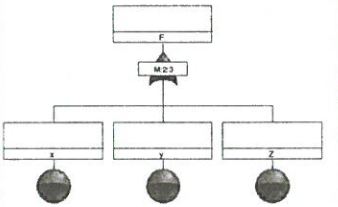
جدول ۱

نام	نماد ترسیمی	تابع جبری	منطق
AND		$F = x.y$	x y | F 0 0 | 0 0 1 | 0 1 0 | 0 1 1 | 1
OR		$F = x + y$	x y | F 0 0 | 0 0 1 | 1 1 0 | 1 1 1 | 1

$\begin{array}{c\|c} x & F \\ \hline 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{array}$	$F = x'$		NOT
$\begin{array}{cc\|c} x & y & F \\ \hline 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{array}$	$F = (x.y)'$		MAND
$\begin{array}{cc\|c} x & y & F \\ \hline 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{array}$	$F = (x + y)'$		NOR
$\begin{array}{cc\|c} x & y & F \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{array}$	$F = x \oplus y$ $= xy' + x'y$		XOR

x	y	z	F
1	1	1	1
1	1	0	1
1	0	1	1
1	0	0	0
0	1	1	1
0	1	0	0
0	0	1	0
0	0	0	0

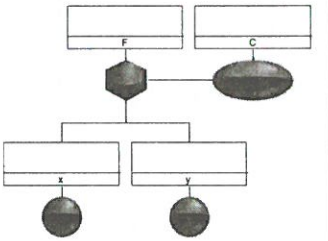
$F = x.y + y.z + z.x$



Voting Gate (m/n)

x	y	C	F
1	1	1	1
1	1	0	0
1	0	1	0
1	0	0	0
0	1	1	0
0	1	0	0
0	0	1	0
0	0	0	0

$F = (x.y).C$



مانع

مزایا و معایب بکارگیری ***FTA*** در عمل

مزایا

۱) این روش به منظور شناسایی خطرات در سیستم های پیچیده بکار می رود.

۲) با استفاده از این روش می توان خطاهای انسان و تجهیزات را مورد تحلیل قرار داد.

۳) این روش می تواند بر روی یک عیب، تمرکز یابد بدون آتکه نمای کلی خطر را از بین ببرد.

۴) این روش چشم اندازی را ایجاد می کند که نشان میدهد معایب چگونه می‌توانند منجر به عواقب جدی تر و خطرناک تر شوند.

۵) این روش، روشی کمّی - کیفی است و امکان برآوردهای احتمالی یک عیب یا حادثه را فراهم می کند [۶].

معایب

۱) نیازمند داشتن اطلاعات جامع و تخصصی از سیستم است.
۲) برای سیستم های بزرگ و حجیم به راحتی قابل استفاده نیست.
۳) این روش وقت گیر و نسبتاً مشروح و کلی است.
۴) تکمیل و اجرای این روش نیاز به مدارک مشروح و مستند دارد که باید در دسترس باشند [۶].

قوانین جبر منطقی [۴، ۵، ۶]

درخت خطا نمایشی از روابط منطقی بین رویدادهای خطاهایی است که منجر به وقوع رویداد رأس می شود. یک درخت خطا را می توان همیشه به معادلات هم ارزی از معادلات منطقی تبدیل کرد. بنابراین درک قوانین منطقی، زمینه ساز ساخت و ساده سازی درخت خطا است. پس از طراحی درخت خطا، می توان درخت مزبور را بصورت کمّی و کیفی ارزیابی نمود. باید توجه داشت که مشخصات کمّی و کیفی مستقیماً از درخت خطا بدست نمی آیند بلکه از معادلات مَنطقی هم ارز درخت آن بدست خواهد آمد. جدول ۲ قوانین جبر بولی را نشان می دهد.

جدول ۲

نماد ریاضی	نماد منطقی
$(1a) X \cap Y = Y \cap X$	$X.Y = Y.X$
$(1b) X \cup Y = Y \cup X$	$X + Y = Y + X$
$(2a) X \cap (Y \cap Z) = (X \cap Y) \cap Z$	$X.(Y.Z) = (X.Y).Z$
$(2b) X \cup (Y \cup Z) = (X \cup Y) \cup Z$	$X + (Y + Z) = (X + Y) + Z$
$(3a) X \cap (Y \cup Z) = (X \cap Y) \cup (X \cap Z)$	$X.(Y + Z) = X.Y + X.Z$
$(3a) X \cup (Y \cap Z) = (X \cap Y) \cap (X \cup Z)$	$X + (Y.Z) = (X + Y).(X + Z)$
$(4a) X \cup X = X$	$X.X = X$
$(4b) X \cap X = X$	$X + X = X$
$(5a) X \cup (X \cap Y) = X$	$X + X.Y = X$
$(5b) X \cap (X \cup Y) = X$	$X.(X + Y) = X$
$(6a) X \cap X' = \phi$	$X.X' = \phi$
$(6a) X \cup X' = \Omega$	$X + X' = \Omega$
$(6a) (X')' = X$	$(X')' = X$
$(7a) (X \cap Y)' = Y' \cup X'$	$(X.Y)' = Y' + X'$
$(7a) (X \cup Y)' = Y' \cap X'$	$(X + Y)' = Y'.X'$
$(8a) \phi \cup X = X$	$\phi + X = X$
$(8b) \phi \cap X = \phi$	$\phi.X = \phi$
$(8c) \Omega \cap X = X$	$\Omega X = X$
$(8d) \Omega \cup X = \Omega$	$\Omega + X = \Omega$
$(8e) \phi' = \Omega$	$\phi' = \Omega$
$(8f) \Omega' = \phi$	$\Omega' = \phi$
$(9a) X \cup (X' \cap Y) = X \cup Y$	$X + (X'.Y) = X + Y$
$(9b) X' \cup (X \cap Y') = X' \cup Y' = (X \cap Y)'$	$X' + (X.Y') = X' + Y' = (X.Y)'$

به منظور درک چگونگی استفاده از درخت خطا مثال زیر را در نظر بگیرید (شکل ۱).

فرض کنید لامپی روشن نمی شود. حادثه یا نقص نهایی در این مثال چرایی روشن نشدن لامپ است. ممکن است جریان برق در لامپ وجود نداشته باشد، ممکن است خود لامپ خراب باشد و یا ممکن است جریان برقی به آن وصل نشده باشد. جریان برق فقط در صورت خراب شدن هر دو واحد تغذیه برق و باطری قطع می گردد.

معیوب بودن فیوز می تواند به علت فرسودگی یا علت دیگر باشد اما این امکان هم وجود دارد که بار زیادی[1] از فیوز عبور داده شده باشد. عبور بار زیاد از فیوز می تواند منجر به اتصال کوتاه[2] در مدار متصل به لامپ شود. به همین صورت در مورد اینکه چرا جریان از واحد تولید برق با باطری تأمین نمی شود می توان بررسی ها را ادامه داد.

بکارگیری *FTA* در تعیین نشتی گاز

برای تحلیل درخت خطا و چگونگی استفاده از این تکنیک در عمل، یک مطالعه موردی در ایستگاه تقویت فشار تنگ نی انجام شده است. این ایستگاه به ۷ ناحیه زیر تقسیم می شود. فرآیند این تحقیق در شکل ۲ به نمایش درآمده است.

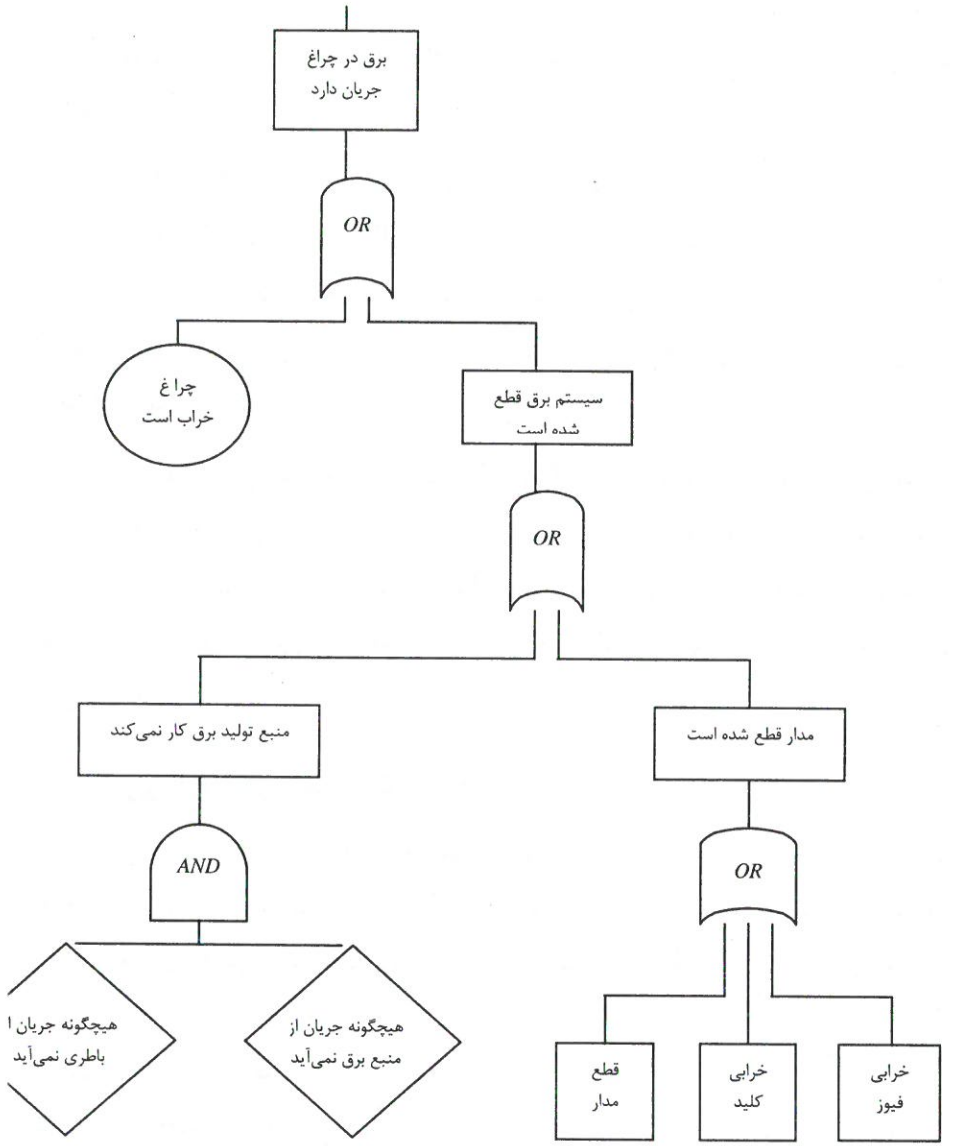
ناحیه ۱: ناحیه دریافت و ارسال گاز

ناحیه ۲: ناحیه تصفیه گاز

ناحیه ۳: در این ناحیه توربین ها قرار گرفته اند.

ناحیه ۴: در این ناحیه واحد تصفیه روغن قرار گرفته است که در حال حاضر فعال نیست.

1- Overload



شکل ۱: درخت خطای مثال ارائه شده

ناحیه ۵: ناحیه تقلیل فشار گاز

ناحیه ۶: ناحیه فضای سبز ایستگاه

ناحیه ۷: ناحیه استقرا کارگاه تعمیرات، اتاق کنترل و اتاق باتری

با توجه به اینکه ناحیه های ۶ و ۷ خارج از محدوده فرآیندی[۱] می باشند لذا این نواحی جزء محدوده تحقیق به حساب نمی آیند. لازم به ذکر است که بازه زمانی مورد بررسی در این تحقیق ۵ ساله است زیرا اطلاعات مربوط به تعمیرات شیرهای موجود در این ۵ سال با دقت تهیه شده است.

در هر ناحیه اتصالات مربوط به کلیه شیرهای گاز شناسایی شده و در هر یک از اتصالات، قطعاتی که خرابی آنها منجر به نشتی گاز می شود بررسی می گردد. نهایتاً درخت خطای هر شیر رسم شده و سپس درخت خطای هر ناحیه بصورت جداگانه تهیه می شود. احتمال خرابی هر قطعه با توجه به تعداد خرابی آن در مدت زمان کارکرد محاسبه شده است.

برای تحلیل خطای قطعات مورد بررسی، شاخص (احتمال) خرابی برای هر شیر محاسبه شده و از آن جهت تحلیل استفاده شده است. این احتمال برای هر قطعه از تقسیم تعداد خرابی در دوره مورد بررسی به متوسط زمان کارکرد بدست می‌آید.

متوسط زمان کارکرد از میانگین زمانی کارکرد قطعه تا وقوع خرابی آن بدست می‌آید. مثلا" اگر قطعه X در زمانهای t_1، t_2 و t_3 دچار ۳ خرابی شده باشد و زمانهای کارکرد درست این قطعه Δt_1، Δt_2 و Δt_3 باشند متوسط زمان کارکرد آن از رابطه زیر بدست می آید:

$$\text{متوسط زمان کارکرد} = \frac{(\Delta t_3 + \Delta t_2 + \Delta t_1)}{3}$$

---

[۱]- محدوده فرآیندی، محدوده ای است که در آن گاز ورودی به ایستگاه دریافت و سپس عملیات تقویت فشار روی آن صورت گرفته و از ایستگاه خارج می شود.

بطور کلی وقتی در یک دوره زمانی n خرابی اتفاق می افت متوسط زمان کارکرد از رابطه زیر بدست می آید:

$$\text{متوسط زمان کارکرد} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta t_i}{n}$$

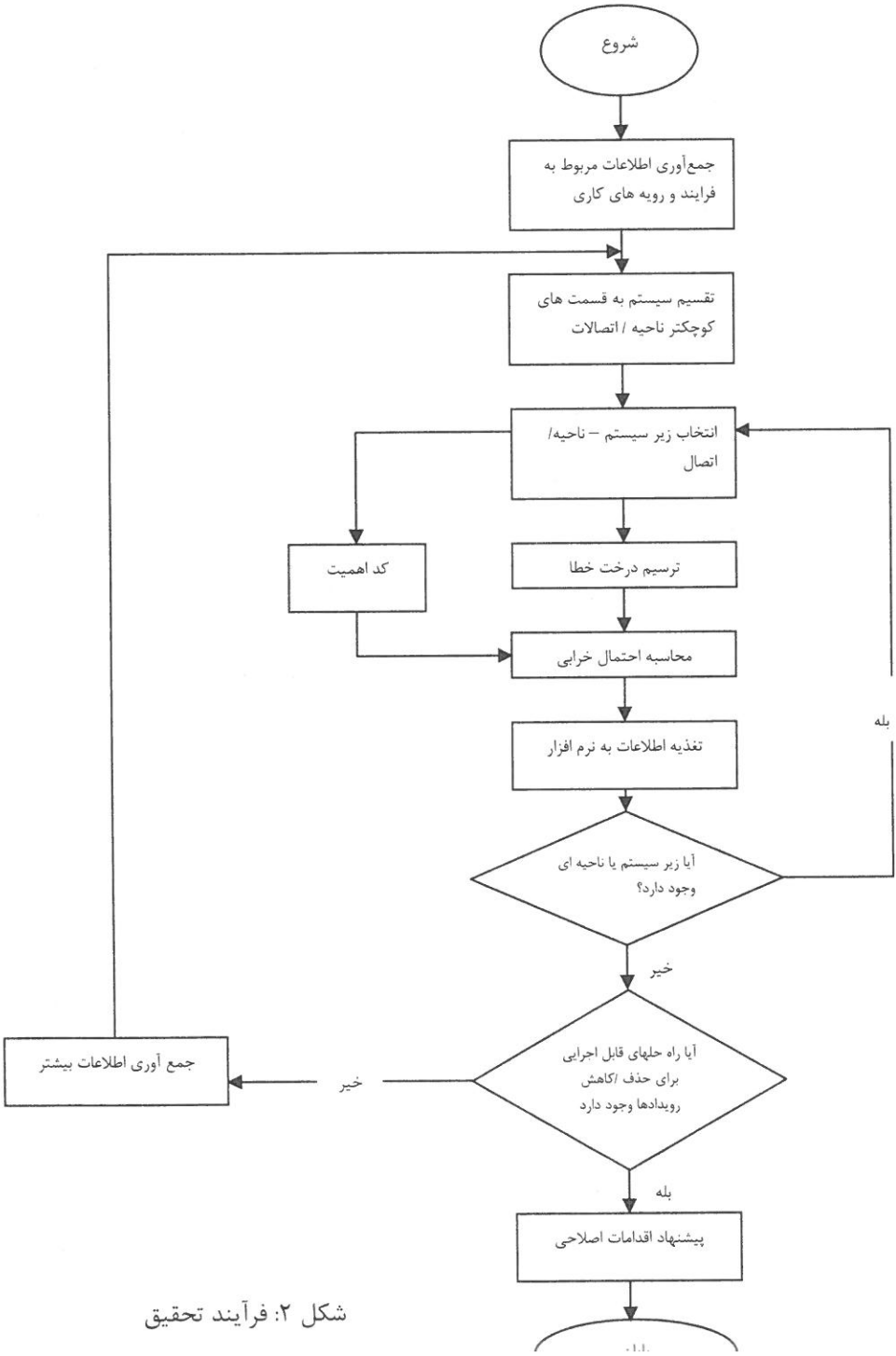
جهت محاسبه احتمال خرابی برای هر قطعه از اتصالات با توجه به شاخص خرابی مربوط به آن قطعه از رابطه زیر استفاده شده است:

$$\text{احتمال خرابی هر قطعه} = \text{شاخص خرابی} / \text{جمع کل شاخص های خرابی آن شیر} = \frac{FI_i}{\sum_{i}^{n} FI_i}$$

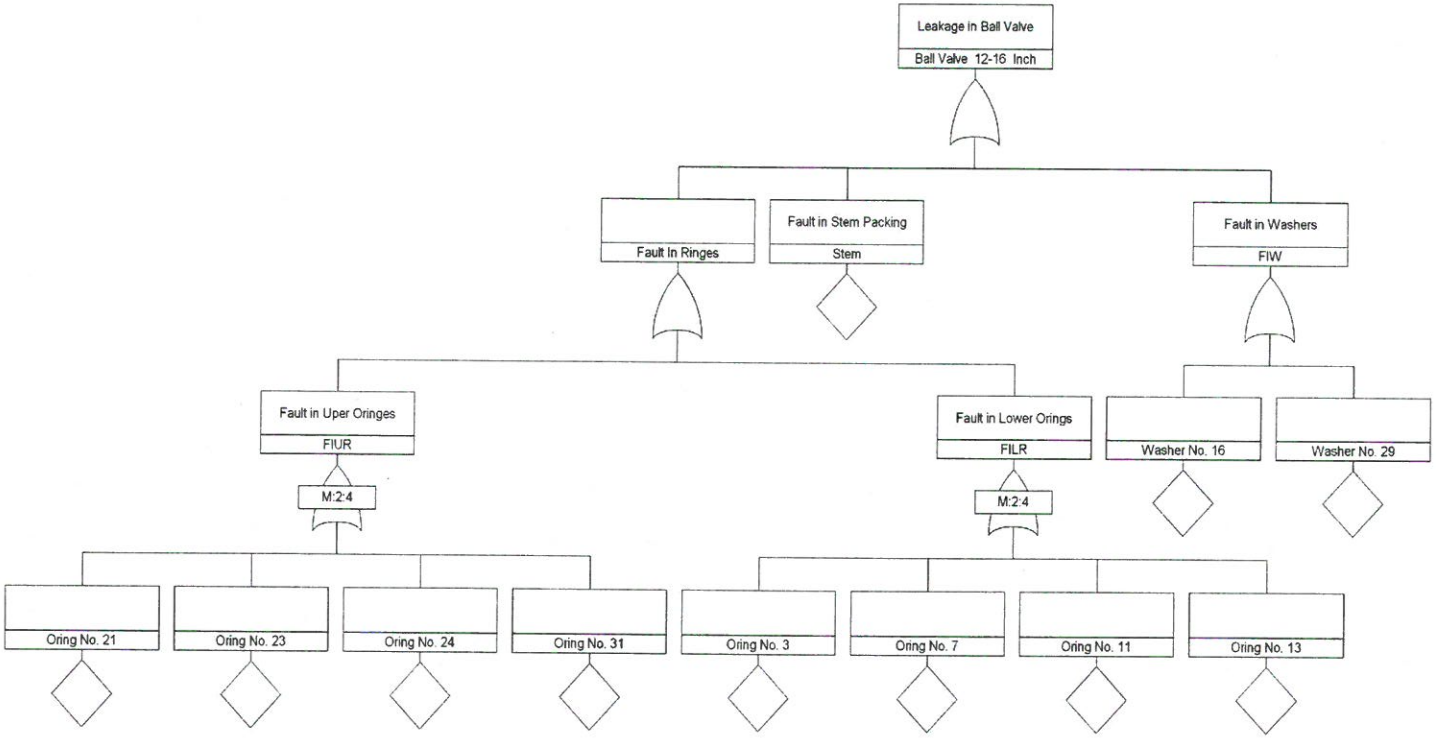
کد اهمیت

برای تحلیل مسئله از نرم افزار *Sephire* استفاده می شود. این نرم افزار ساخت سازمان فضایی آمریک (ناسا) می باشد که برای آنالیز درخت خطا استفاده شده است. با توجه به اینکه در نرم افزار مربوطه نمی توان وزن و اهمیت نشتی گاز (شدت و حجم نشتی گاز) را لحاظ کرد لذا به همین منظور از کد اهمیت استفاده شده است. این کد بیانگر حجم نشتی گاز ناشی از خرابی یک قطعه است. برای مثال اگر برای قطعه ای این کد برابر با ۸ باشد به مفهوم آن است که اگر آن قطعه خراب شود حجم نشتی گاز ناشی از خرابی آن قطعه بسیار بالاست. این کد از حداقل 0^+(نشتی بسیار بسیار اندک) شروع و تا کد ۸ (نشتی بسیار بالا) ادامه می‌یابد.

از رویه بالا استفاده می شود زیرا نه تنها حجم نمونه ها کم است بلکه تعداد خرابیهای قطعات نیز کمتر از ۳۰ عدد است (با توجه به جدید الاحداث بودن ایستگاه و عدم وجود اطلاعات).



شکل ۲: فرآیند تحقیق



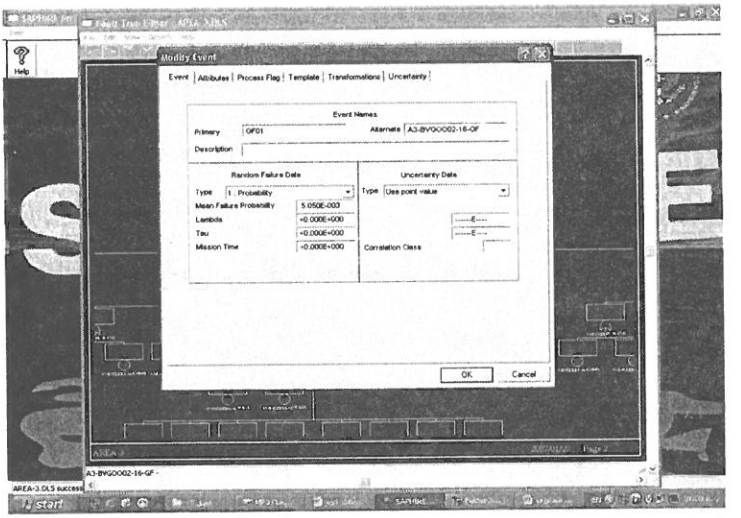
شکل ۳: نمودار شیر و درخت خطای *Ball Valve 12"-16"-20"*

تحلیل جوابهای بدست آمده

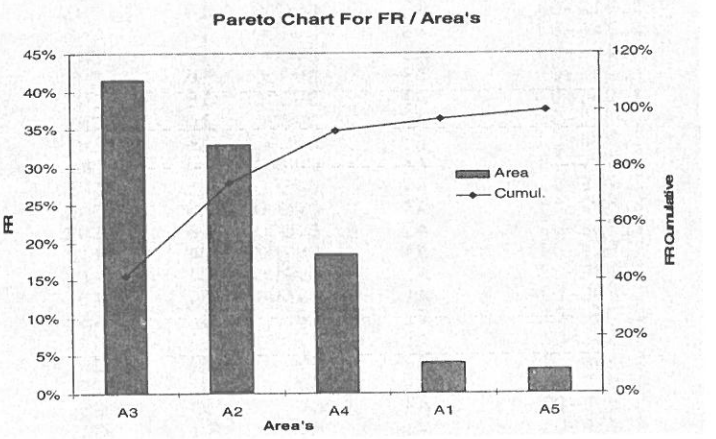
در ورودی زیر، اطلاعات مربوط به نمودار شیر شکل ۳ وارد شده است.

همچنین نمونه ای از خروجی نرم افزار به صورت زیر است:

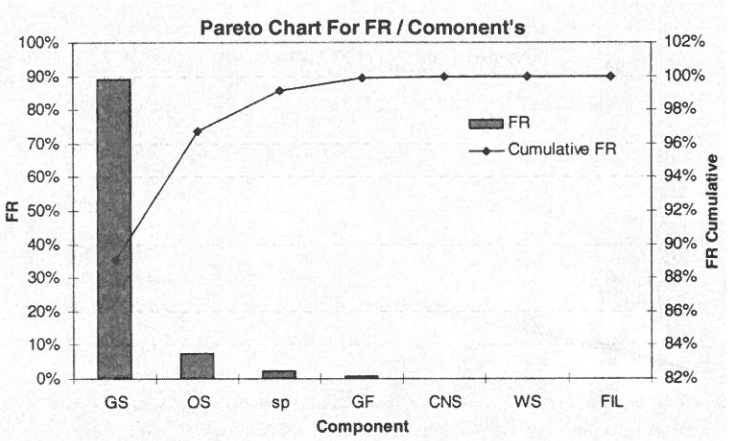
No.	Frequency	AREA	VALVE	incH	Component
670	6.55E-03	A3	BVGOO	06	CNS
669	6.75E-03	A3	BVGOO	06	CNS
658	7.19E-03	A3	BVGOO	06	CNS
668	6.76E-03	A3	BVGOO	06	CNS
727	3.72E-03	A3	BVGOO	06	CNS
715	4.03E-03	A3	BVGOO	06	CNS
713	4.13E-03	A3	BVGOO	12	CNS
714	4.13E-03	A3	BVGOO	12	CNS
732	3.61E-03	A3	BVGOO	12	CNS
720	3.86E-03	A3	BVGOO	12	CNS
703	4.54E-03	A3	BVGOO	12	CNS
702	4.56E-03	A3	BVGOO	12	CNS
768	2.95E-03	A2	BVGOO	16	CNS
757	3.13E-03	A2	BVGOO	16	CNS
712	4.16E-03	A3	BVGOO	16	CNS
731	3.61E-03	A3	BVGOO	16	CNS
633	8.74E-03	A3	BVGOO	16	CNS
675	6.46E-03	A3	BVGOO	16	CNS
767	2.95E-03	A3	BVGOO	16	CNS
761	3.08E-03	A3	BVGOO	16	CNS
785	2.73E-03	A3	BVGOO	16	CNS
776	2.85E-03	A3	BVGOO	16	CNS
740	3.49E-03	A3	BVGOO	16	CNS
784	2.74E-03	A3	BVGOO	16	CNS
790	2.59E-03	A3	BVGOO	16	CNS
782	2.76E-03	A3	BVGOO	16	CNS
765	3.00E-03	A5	BVPNG	04	FIL
756	3.13E-03	A1	BVPNG	04	FIL
842	1.89E-03	A1	BVPNG	04	FIL
134	4.70E-01	A2	SV	02	GS
5	5.59E-01	A2	SV	02	GS
21	5.30E-01	A2	SV	02	GS
79	4.92E-01	A2	SV	02	GS
15	5.39E-01	A3	CV	02	GS
117	4.78E-01	A3	CV	02	GS
41	5.12E-01	A3	CV	02	GS
192	4.27E-01	A2	GTVWL	02	GS



با توجه به خروجی نرم افزار، احتمال نشتی گاز در ایستگاه در طول مدت مورد بررسی برابر با ۴,۲۲٪ است. بنابراین احتمال عدم نشتی گاز در ایستگاه مزبور برابر با ۹۵,۷۸٪ می باشد.



شکل ۴

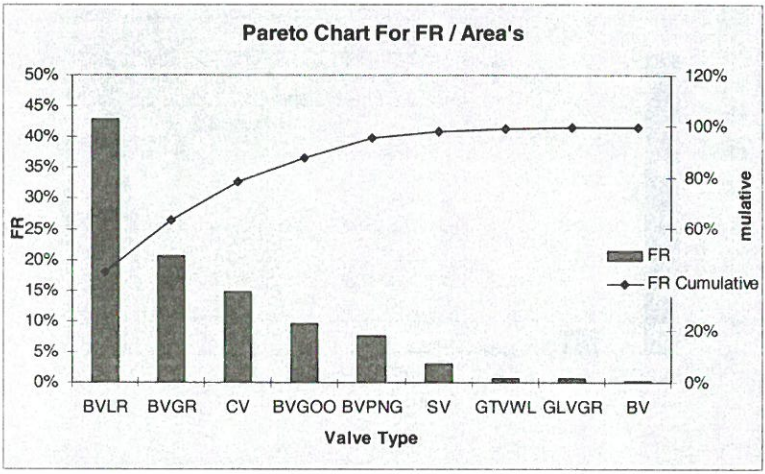


شکل ۵

با توجه به شکلهای ۴ و ۵، بیشترین میزان احتمال خرابی اتصالات موجود در ایستگاه، به ترتیب در نواحی *A3* ، *A2* و *A4* (این نواحی به ترتیب ناحیه توربین‌ها، تصفیه گاز، تصفیه روغن) می باشد. همانطور که در این اشکال ملاحظه می‌شود میزان احتمال خرابی گسکت ها[1] بیش از سایر قطعات می باشد. همچنین میزان احتمال خرابی آنها در ناحیه ۳ بیش از سایر ناحیه ها است.

با توجه به شکل ۶ ملاحظه می شود که شیرهای توپی دستی *BVLR* ، توپی اتوماتیک *BVGR* و کنترل ولو *CV* میباشند. همچنین ملاحظه می شود که شیرهای ۲ اینچ بیشترین میزان احتمال خرابی را دارند.

1- Gaskets



شکل ۶

با توجه به توضیحات فوق، موارد زیر پیشنهاد می شوند:

۱) کلیه گسکت ها به موقع تعویض شوند (طی برنامه زمانبندی شده).
۲) در هنگام تعمیرات اساسی، دقت کافی در باز وبسته کردن اتصالات صورت گیرد.
۳) در هنگام باز وبسته کردن اتصالات، از ضربه زدن به آنها جلوگیری شود.
۴) از گسکت ها و اورینگهای[1] با کیفیت بالاتر استفاده شود.
۵) والوهای[2] *BVLR* با کیفیت بهتری تهیه و استفاده شود.

1- O-ring
2- Valves

۶) نواحی دارای بیشترین میزان خرابی، یعنی نواحی ۲ (تصفیه گاز) و ۳ (توربینها)، در زمانهای کوتاهتری بازرسی شوند (از یک سال به شش ماه).

نتیجه گیری

استفاده از روش تحلیل درخت خطا می تواند به عنوان ابزاری مفید و سودمند در بررسی علل خرابی اجزای یک سیستم مورد استفاده قرار گیرد. باید توجه داشت روش مزبور فقط برای یک ایستگاه بکار گرفته شد اما برای تایید مفید بودن آن، لازم است از همین روش برای سایر بخشها استفاده گردد. با توجه به اطلاعات موجود پیشین از خرابی قسمتهای مختلف ایستگاه و بررسی علل خرابی با استفاده از روش مزبور، می‌توان به اهمیت بکارگیری این روش در عمل پی برد. همچنین می توان از تکنیک مطالعه خطرات برای شناسایی علل[1] *ESD* (منظور توقفات اضطرای توربین در ایستگاه تقویتِ فشار گاز است) در ایستگاه و همچنین بررسی علل خوردگی خط لوله استفاده کرد. سپس می توان نتایج روشهای مزبور را با هم مورد مقایسه قرار داد.

1- ESD (Emergency Shut Down)

منابع و مآخذ

منابع فارسی

۱) محمدفام، ایرج "ارزیابی خطر انفجار الکتروفیلتر کوره سیمان کارخانه سیمان تهران به روش تجزیه و تحلیل درخت خطا و ارائه راه‌حلهای مناسب"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۶.

۲) اصولی، مهدی "بررسی و تحلیل عوامل خروج از خط قطار در راه آهن ایران با استفاده از تحلیل درخت خطا"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۳۸۰.

۳) اصفهانی، سید حسن؛ خیرآبادی، اسماعیل و طحان نژاد، علی " تحلیل درخت خطا بر روی راکتور پلیمریزاسیون در واحد پلی اتیلن سبک خطی پتروشیمی اراک"، مجتمع پتروشیمی اراک، ۱۳۸۳.

4-Haasl, D. F., Roberts, N. H., Vesely, W. E., and Goldberg, F. F."Fault Tree Handbook", US Nuclear Regulatory Commission, 1981.

5-Totrial manual of Visual Reliability software Relex 7. USA 2000

6-Allen, D. J. and Rao, M. S. M. " New Algorithms for the synthesis and analysis of Fault Trees I & Ec Fundamentals", 1980.

7-Villemeure, A., Anne. C., and Christine, L. M. "Reliability, Availability, Safety Assessment", John Wiley,1992.

8-Roland, H. E. "System Safety Engineering and Management", John Wiley Interscience, 1990.

۸) محمد فام، ایرج "مهندسی ایمنی تکنیکهای شناسایی ، ارزیابی و کنترل خطرات در محیط های صنعتی"، فن آوران، ۱۳۸۲.

۹) قابوسی، فربد "مرجع کامل *PLC* کنترل های منطقی برنامه پذیر"، نشر آفرنگ، ۱۳۸۲.

10)www.ILO.org

۱۰) اسماعیلی، حسن "ایمنی و مدیریت ریسک"، اولین همایش ملی ایمنی و مدیریت *HSE*، ۱۳۸۴.

۱۱) "دایره المعارف ایمنی و بهداشت کار"، معاونت تنظیم روابط کار و وزارت کار و امور اجتماعی (ترجمه)، تهران، وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی ، ۱۳۸۰- ۱۳۷۹.