

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



موسسه آموزش عالی انرژی

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

مهندسی شیمی - بهداشت، ایمنی و محیط زیست (HSE)

**عنوان:**

**ارائه الگویی جهت تعیین احتمال وقوع  
رویدادهای منجر به توقف تولید، در سکوهای  
گازی با استفاده از تکنیک FTA  
(مطالعه موردی یکی از سکوهای گازی پارس جنوبی)**

**اساتید راهنما:**

**دکتر یوسف یاسی**

**دکتر طاهر طاهریان**

**استاد مشاور:**

**مهندس سیدحسن اصفهانی**

**پژوهشگر:**

**رضا غلامی ارجنکی**

**پائیز ۱۳۹۵**

## سپاسگزاری:

سپاس پروردگار مهربانم را که در هر نفس فرصتی گرانها به من عطا نموده و در هر فرصتی نعمتی ارزنده، هر گامی را قوتی و هر مسیری را همتی، اکنون که به یاری ایزد منان این پژوهش پایان یافته است، به رسم ادب و احترام:

بر خویش واجب می‌دانم از مجموعه خوانانی که در انجام این پژوهش یاری نموده‌اند سپاس‌گزاری نمایم در این مجال ابتدا جا دارد از پدر و مادر عزیزم که زیباترین لطف خداوند هستند و همواره بهترین و صبورترین معلم و دلسوزترین حامیان من برای ادامه تحصیل بوده‌اند سپاس‌گزارم. از همسر عزیزم که در همه حال مشوق و پشتیبان من بوده‌اند و همواره حمایت و توجه‌شان مایه دلگرمی من است کمال تشکر و قدردانی را دارم.

خاضعانه‌ترین سپاس‌هایم را تقدیم می‌دارم به تمام آموزگارانی که به من کلمه‌ای از خوبی آموختند فروتنانه ستایشگر اساتید راهنمایم هستم: جناب آقای دکتر یوسف یاسی، جناب آقای دکتر طاهر طاهریان و استاد مشاور جناب آقای مهندس سید حسن اصفهانی تمام سپاس قلبی‌ام را به خاطر راهنمایی‌های عالمانه ایشان جهت هدایت من در مسیر پژوهش، تقدیمشان می‌دارم.

تمام بودن‌ها، همدلی‌ها و همراهی‌های دوستان عزیزم را سپاس می‌گویم. همواره قدرشناس همه دوستانم هستم، که مهربانه همراهم بوده‌اند و بر ایشان از پروردگار آرزوی پیروزی و موفقیت می‌نمایم.

در پایان از تمامی عزیزانی که یاری‌گرم بوده‌اند و بنا به قصور، نام مهربانشان در اینجا نگاشته نشد، قلباً سپاس‌گزارم. لطفشان در فزون

تقدیم بہ:

محکمترین و استوارترین پشتوانہ زندگی ام

«پدرم»

تقدیم بہ:

عشق و مہربانی، دلسوزی و محبت، روح زندگی ام

ہمراہ ہمیشگی سخات سخت زندگی ام

«مادرم»

تقدیم بہ:

مشوق و پشتیبان ہمیشگی سخات سخت زندگی ام

«ہمسرم»

## چکیده:

نظر به نقش حیاتی گاز در اقتصاد کشور و حساسیت عملیات انتقال گاز و تاثیر مخرب توقف تولید در این عملیات، آشکار می گردد که لازم است در کلیه سامانه های عملیاتی به ویژه آن دسته که بروز خطا در آنها می تواند پیامدهای شدیدی را بدنبال داشته باشد. توقف عملیات در سکوی گازی به مخاطرات و ریسک هایی مربوط می شود که دستگاه ها ، تجهیزات و کل فرآیند را تهدید می کند . این مخاطرات عموماً ریشه در طراحی ضعیف سکوی گازی ، استفاده غیر موثر از منابع ، عملیات اشتباه و تهدیدهای طبیعی ، انسانی و فرآیندی دارند . بنابراین بایستی یک ارزیابی ریسک و خطر از سکوی گازی انجام شود و منابع تهدید کنترل گردد .

در مطالعه حاضر کلیه سناریوهای احتمالی بروز خطا ، شرایط مؤثر بر آنها و پیامدهای حاصله پیش بینی شده، برای برآورد میزان احتمال شکست هریک از رویداد ها از مستنداتی از جمله OREDA و . . . استفاده و با استفاده از نرم افزار Fault Tree+ کلیه درخت های خطا برای هر یک از رویدادهای نهایی رسم و احتمال شکست هر یک محاسبه شده است. در ادامه براساس شاخص خارج از سرویس بودن برای هرکدام از ۹ سناریوی محتمل بدست آمده ، پس از آن عدد شدت نیز تعیین و از حاصلضرب این دو عدد، مقدار بحرانی محاسبه خواهد شد. براساس ماتریس عدد بحرانی مقادیر بیش از ۹ نیاز به اقدام اصلاحی عاجل داشته و بایستی بلا فاصله اصلاح گردند. که با بدست آمدن عدد بحرانی جهت هر یک از ۹ سناریو حاضر، برای تعداد ۷ مورد از آنها اقدامات کنترلی و اصلاحی لازم با هدف تقلیل ریسک هر یک اعلام و در انتها یک مدل شامل جمع بندی کلیه مراحل انجام کار ارائه گردیده است.

کلمات کلیدی : درخت خطا، ریسک، شکست، خرابی، شاخص خارج از سرویس بودن

## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

### فصل اول: مقدمه و کلیات تحقیق

۱-۱-مقدمه:	۲
۱-۲- بیان مسئله :	۳
۱-۳- اهمیت و ضرورت انجام تحقیق:	۵
۱-۴- جنبه جدید بودن و نوآوری در تحقیق:	۷
۱-۵- اهداف مشخص تحقیق:	۸
۱-۵-۱- اهداف اصلی تحقیق :	۸
۱-۵-۲- اهداف فرعی تحقیق :	۸
۱-۵-۳- اهداف کاربردی :	۸
۱-۶- سوالات تحقیق :	۸
۱-۷- فرضیات تحقیق:	۹
۱-۸- چه کاربردهایی از انجام این پژوهش متصور است ؟	۱۰

### فصل دوم: مروری بر ادبیات موضوعی و پیشینه تحقیق و مطالعات نظری

۱-۲- مقدمه :	۱۲
۱-۲-۲- پیشینه تحقیق:	۱۲
۱-۲-۲-۱- تحقیقات انجام شده در داخل کشور:	۱۳
۱-۲-۲-۲- تحقیقات انجام شده در خارج کشور:	۱۵
۱-۳- میدان گازی پارس جنوبی:	۱۶
۱-۴- بانک های اطلاعاتی:	۱۷

۵-۲- واژه‌ها و اصطلاحات فنی و تخصصی (به صورت مفهومی و عملیاتی):..... ۱۹

## فصل سوم: روش تحقیق

۱-۳- مقدمه ..... ۲۳

۲-۳- نقش درخت خطا در تصمیم گیری ..... ۲۴

۳-۲-۱- کاربرد درخت خطا در ردیابی مسیر منطقی منتهی به وقوع رویداد رأس :..... ۲۴

۳-۲-۲- کاربرد درخت خطا در اولویت دهی به رویدادهایی که بیشترین سهم را در وقوع آن دارند : ..... ۲۵

۳-۲-۳- کاربرد درخت خطا به عنوان یک ابزار پیش فعال در پیشگیری از وقوع رویداد رأس : ۲۵

۳-۲-۴- کاربرد درخت خطا در بهینه سازی و به حداقل رساندن منابع : ..... ۲۶

۳-۲-۵- درخت خطا به عنوان ابزار کمکی در طراحی سیستم: ..... ۲۶

۳-۲-۶- کاربرد درخت خطا به عنوان یک ابزار تشخیص دهنده علل وقوع رویداد رأس و برطرف کننده آن : ..... ۲۶

۳-۳- درخت خطا یک روش جزءگرا ..... ۲۷

۳-۴- مراحل انجام تحلیل درخت خطا : ..... ۲۷

۳-۴-۱- شناخت سیستم : ..... ۲۸

۳-۴-۲- انتخاب بخشی از سیستم : ..... ۲۸

۳-۴-۳- تعیین رویداد نامطلوب : ..... ۲۸

۳-۴-۴- رسم درخت خطا : ..... ۲۹

۳-۴-۵- مشخص نمودن مجموعه برش های حداقل : ..... ۲۹

۳-۴-۶- محاسبه احتمال وقوع رویداد رأس : ..... ۲۹

۳-۴-۷- تعیین رویدادهای فرعی : ..... ۲۹

۳-۴-۸- رتبه بندی رویدادهای فرعی : ..... ۳۰

- ۳-۴-۹- تعیین رویدادهای فرعی با اولویت (رتبه) بالا : ۳۰.....
- ۳-۴-۱۰- رتبه بندی برش های حداقل : ۳۰.....
- ۳-۴-۱۱- محاسبه عدد بحرانی برای هر یک از سناریوها: ۳۱.....
- ۳-۴-۱۲- بررسی اقدامات اصلاحی : ۳۱.....
- ۳-۵-۵- نماد شناسی : بلوک های سازنده درخت خطا ۳۳.....
- ۳-۵-۱- درگاه ها : ۳۳.....
- ۳-۵-۱-۱- درگاه OR : ۳۳.....
- ۳-۵-۱-۲- درگاه AND: ۳۵.....
- ۳-۵-۲- رویدادهای پایه ۳۶.....
- ۳-۶- اهداف انجام آنالیز درخت خطا ۳۷.....
- ۳-۷- انواع خطا : ۳۷.....
- ۳-۷-۱- خطا/خرابی اولیه : ۳۷.....
- ۳-۷-۲- خطا/خرابی ثانویه : ۳۷.....
- ۳-۷-۳- خطا/خرابی دستوری : ۳۸.....
- ۳-۸- رسم درخت خطا تا چه سطحی ادامه مییابد؟ ۳۸.....
- ۳-۹- مدل سازی شکستهای علت مشترک ۳۹.....
- ۳-۱۰- کاربرد جبر بولی درتحلیل درخت خطا ۴۴.....
- ۳-۱۰-۱- درگاه OR ۴۶.....
- ۳-۱۰-۲- درگاه AND ۴۸.....
- ۳-۱۱- کمی سازی درخت خطا و دادههای مورد نیاز آن ۵۰.....
- ۳-۱۲- دادههای مورد نیاز ۵۱.....



- ۵۱..... ۳-۱۲-۱- داده‌های نرخ شکست قطعات
- ۵۲..... ۳-۱۲-۲- داده‌های مربوط به خطای انسانی
- ۵۳..... ۳-۱۲-۳- داده‌های شکستهای علت مشترک
- ۵۳..... ۳-۱۳- سنجش اهمیت در درخت خطا
- ۵۵..... ۳-۱۴- محاسبه احتمال خطای انسانی
- ۵۹..... ۳-۱۵- روش شناسی (TESEO)
- ۶۰..... ۳-۱۶- مزایای روش TESEO
- ۶۰..... ۳-۱۷- مروری بر تسهیلات سکوهاى طرح توسعه فاز ۱۷ و ۱۸ :
- ۶۲..... ۳-۱۸- مراحل انجام پروژه :

#### فصل چهارم: جمع‌بندی و تحلیل نتایج

- ۶۵..... ۴-۱- تشریح سیستم توقف اضطراری:
- ۶۵..... ۴-۱-۱- سطح صفر- توقف اضطراری کلی:
- ۶۶..... ۴-۱-۲- سطح یک- توقف اضطراری منطقه حریق:
- ۶۶..... ۴-۱-۳- سطح ۲- توقف اضطراری قسمتی از فرایند :
- ۶۶..... ۴-۱-۴- سطح ۳- توقف اضطراری واحد یا تجهیزات:
- ۶۷..... ۴-۲- انتخاب اعضای تیم:
- ۶۷..... ۴-۳- نحوه انتخاب رویداد راس :
- ۷۰..... ۴-۴- روش محاسبه مقدار شاخص خارج از دسترس بودن با استفاده از OREDA :
- ۷۸..... ۴-۵- توقف اضطراری در ظرف مایع گیر:
- ۸۰..... ۴-۶- ایجاد مشکل در تولید برق سکو
- ۸۳..... ۴-۷- شکست در سیستم هیدرولیک:

- ۸۵.....: ( SSSV SIRCUIT ) SSSV مدار بخش ۱-۷-۴
- ۸۵.....: SSV &SDV مدار بخش ۲-۷-۴
- ۸۶.....: CHOKE VALVE SDV و مدار بخش ۳-۷-۴
- ۸۷.....: توقف اضطراری در سیستم گاز مصرفی سکو: ۸-۴
- ۸۹.....: توقف اضطراری سیستم مشعل ۹-۴
- ۹۲.....: فعال شدن کاذب سیستم اعلان و تشخیص ۱۰-۴
- ۱۰۰.....: کاهش فشار در خط انتقال گاز از سکو به خشکی ۱۱-۴
- ۱۰۳.....: باز شدن جریان گاز به شبکه مشعل: ۱۲-۴
- ۱۰۷.....: شکست در هوای ابزار دقیق : ۱۳-۴
- ۱۱۰.....: خطا در رفتار اپراتور و توقف اضطراری سکو ۱۴-۴
- ۱۱۰.....: محاسبه خطای انسانی : ۱-۱۴-۴

### فصل پنجم: بحث و نتیجه گیری

- ۱۱۵.....: خلاصه مراحل پژوهش انجام شده : ۱-۵
- ۱۱۵.....: جمع بندی و ارائه پیشنهادات : ۲-۵
- ۱۲۱.....: منابع و مآخذ ۱۱-۵

## فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲ : توضیح حالات شکست تجهیزات : .....	۲۱
جدول ۱-۳ : شرح انواع درگاه های مورد استفاده در ترسیم درخت خطا.....	۳۳
جدول ۲-۳- شرح انواع رویداد های مورد استفاده در ترسیم درخت خطا .....	۳۶
جدول ۳-۳ : شرح قوانین جبر بول .....	۴۵
جدول ۴-۳ : شاخص احتمال خطای انسانی .....	۵۷
جدول ۵-۳ : ضرائب عددی مورد استفاده در روش TESEO .....	۵۸
جدول ۴-۱ : سلسله مراتب سیستم توقف اضطراری .....	۶۵
جدول ۴-۲: تخمین مقدار خارج از سرویس بودن برای عوامل رویداد راس:.....	۷۴
جدول ۴-۳- حالات طبقه بندی شکست .....	۷۶
جدول ۴-۴ تاثیر شکست روی عملکرد تولید : .....	۷۶
جدول ۴-۵ : آیتم های بحرانی.....	۷۷

## فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۳-۱ : مراحل انجام تحلیل درخت خطا .....	۳۲
شکل ۳-۲ : درگاه OR .....	۳۴
شکل ۳-۳ : درگاه OR با دو ورودی .....	۳۴
شکل ۳-۴ : درگاه AND .....	۳۵
شکل ۳-۵ : درگاه AND با دو ورودی .....	۳۵
شکل ۳-۶ : رویداد پایه .....	۳۶
شکل ۳-۷ : درخت خطای مربوط به شکست همزمان ۳ قطعه با در نظر گرفتن شکست های علت مشترک .....	۴۳
شکل ۳-۸ : نقش دروازه در درخت خطا .....	۴۴
شکل ۳-۹ : درگاه OR با دو ورودی .....	۴۶
شکل ۳-۱۰ : درگاه AND با دو ورودی .....	۴۹
شکل ۴-۱ شکل وان حمامی نرخ تابع شکست (۱۳) .....	۷۱
شکل ۴-۲-برش نقشه ابزار دقیق و فرآیند ظرف مایع گیر .....	۷۸
شکل ۴-۳-درخت خطای توقف اضطراری در ظرف مایع گیر .....	۷۹
شکل ۴-۴-برش نقشه برش نقشه ابزار دقیق و فرآیند ژنراتور .....	۸۰
شکل ۴-۵-درخت خطای ایجاد مشکل در تولید برق سکو .....	۸۱
شکل ۴-۶-برش نقشه برش نقشه ابزار دقیق و فرآیند سیستم قدرت هیدرولیک .....	۸۳
شکل ۴-۷-درخت خطای شکست در سیستم قدرت هیدرولیک .....	۸۴
شکل ۴-۸-برش نقشه برش نقشه ابزار دقیق و فرآیند سیستم گاز مصرفی .....	۸۷
شکل ۴-۹-درخت خطای توقف اضطراری در سیستم گاز مصرفی سکو: .....	۸۸

- شکل ۴-۱۰- برش نقشه برش نقشه ابزار دقیق و فرآیند مشعل سکو..... ۸۹
- شکل ۴-۱۱- درخت خطای توقف اضطراری سیستم مشعل..... ۹۱
- شکل ۴-۱۲- درخت خطای ( Flame Detector ) ..... ۹۴
- شکل ۴-۱۳- درخت خطای ESD / Fire & Gas System ..... ۹۵
- شکل ۴-۱۴- درخت خطای HC Gas Detector ..... ۹۶
- شکل ۴-۱۵- درخت خطای Smoke Detector ..... ۹۷
- شکل ۴-۱۶- درخت خطای H<sub>2</sub>S GAS Detectors ..... ۹۸
- شکل ۴-۱۷- درخت خطای Fusible Plug Network ..... ۹۹
- شکل ۴-۱۸- برش نقشه ابزار دقیق و فرآیند خط انتقال گاز از سکو به خشکی ..... ۱۰۰
- شکل ۴-۱۹- برش نقشه برش نقشه ابزار دقیق و فرآیند خط انتقال گاز از سکو به خشکی ..... ۱۰۱
- شکل ۴-۲۰- درخت خطای کاهش فشار در خط انتقال گاز از سکو به خشکی..... ۱۰۲
- شکل ۴-۲۱- برش نقشه ابزار دقیق و فرآیند باز شدن جریان گاز به مشعل (قسمت اول) ..... ۱۰۳
- شکل ۴-۲۲- برش نقشه ابزار دقیق و فرآیند باز شدن جریان گاز به مشعل (قسمت دوم) ..... ۱۰۴
- شکل ۴-۲۳- برش نقشه ابزار دقیق و فرآیند باز شدن جریان گاز به مشعل (قسمت سوم) ..... ۱۰۴
- شکل ۴-۲۴- درخت خطای باز شدن جریان گاز به شبکه مشعل..... ۱۰۵
- شکل ۴-۲۵- برش نقشه ابزار دقیق و فرآیند هوای ابزار دقیق (قسمت اول)..... ۱۰۷
- شکل ۴-۲۶- برش نقشه ابزار دقیق و فرآیند هوای ابزار دقیق (قسمت دوم) ..... ۱۰۷
- شکل ۴-۲۷- برش نقشه ابزار دقیق و فرآیند هوای ابزار دقیق (قسمت سوم)..... ۱۰۸
- شکل ۴-۲۸- درخت خطای شکست در هوای ابزار دقیق..... ۱۰۹
- شکل ۵-۱- مدل ارائه شده جهت کاهش توقفات تولید با استفاده از تکنیک درخت خطا ..... ۱۲۰

## فصل اول

### مقدمه و کلیات تحقیق

## ۱- مقدمه:

پیشرفت های حاصل شده در صنعت نفت و گاز کشور ما، پیشرفت های نوین در صنعت ساخت، نصب و بهره برداری از تاسیسات فراساحلی می باشد. هر چند تاسیسات و تجهیزات فرآیندی در راستای بهره‌وری، سودآوری و همچنین تولید ثروت مورد استفاده قرار می‌گیرند اما دارای پتانسیل‌های عمده‌ای جهت رساندن آسیب به اموال، انسان‌ها و سرمایه‌های سازمانی می‌باشند. از آسیب‌های متعدد ناشی از حوادث در صنایع فرایندی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

-بیماری، جراحت و مرگ و میر

-آسیب به اموال و سرمایه سازمان

-آلودگی زیست محیطی و تهدید گونه‌های جانوری و گیاهی

-توقف تولید و کاهش سود و سرمایه سازمان

-آسیب به اعتبار و شهرت سازمان

همانطور که در بالا ذکر گردید بروز حادثه از جنبه‌های گوناگون می‌تواند به سازمان خسارت وارد نماید لذا ایجاد و استقرار سیستم مدون و مناسب مدیریت ریسک یکی از عوامل ضروری در محیط‌های صنعتی به شمار می‌رود.

از سوی موسسه مدیریت پروژه، مدیریت ریسک به عنوان یکی از سطوح اصلی "کلیات دانش مدیریت پروژه" معرفی شده است (۱).

لذا با توجه به ماهیت سکوهای گازی و در نظر گرفتن این مهم که بروز حوادث در سکوهای گازی هزینه و بار اقتصادی و اعتباری سنگینی را بر صنعت نفت و گاز کشور ما متحمل می سازد بررسی راهکارهای مدیریت مخاطرات موجود در این حیطه امری لاینفک می باشد.

نگاهی اجمالی به گزارشات سازمان های معتبر در زمینه ارزیابی ریسک سکوهای دریایی نشان می دهد تا کنون روش مورد استفاده در این تحقیق کارایی لازم در خصوص شناسایی مخاطرات سکوهای دریایی و محاسبه ریسک آسیب به اموال و تجهیزات، محیط زیست و افراد را داشته است. لذا نظر به اهمیت تولید پایدار در پالایشگاههای گازی، استفاده از متدهای معتبر جهت ارزیابی ریسک سکوهای دریایی، ابزاری سودمند جهت جلوگیری از توقف تولید در اثر حوادث احتمالی را در اختیار مدیران قرار می دهد.

## **۱-۲- بیان مسئله :**

در چند دهه ی اخیر به منظور پیشگیری از وقوع حوادث بالقوه و ارتقاء سطح ایمنی در فرایندهای شیمیایی و پژوهش ها و اقدامات زیادی صورت پذیرفته است که نتیجه ی آن مدیریت سیستماتیک ایمنی در این فرایندها می باشد، یکی از عناصر اصلی سیستم های مدیریت ایمنی، شناسایی خطرات، ارزیابی ریسک و کنترل آنها می باشد، که به متخصصین ایمنی کمک می کند تا با انجام بررسی های لازم توانایی تصمیم گیری منطقی برای کاهش احتمال وقوع حوادث و شدت پیامد های آنها را داشته باشند میزان بروز حوادث شغلی در کشورهای مختلف جهان بخصوص در بخش صنایع نسبتا بالا و با گذشت زمان هم چنان رو به افزایش است به طوریکه که سالانه حدود ۲۵۰ میلیون حادثه شغلی منجر به جرح و ۳۰۰ هزار حادثه شغلی منجر به مرگ در جهان رخ می دهد. در کشور ایران نیز بر اساس آمارهای منتشر شده توسط سازمان تامین اجتماعی در سال ۱۳۹۰ در اثر وقوع حوادث در کارگاهها و صنایع تحت پوشش ۲۶۸ نفر فوت نموده اند. (۲)



صنعت نفت یکی از مهمترین صنایع داخلی کشور بوده و نقش اساسی در توسعه کشور را بر عهده دارد که سیستم های ایمنی در آن از قدمت بیشتری نسبت به صنایع دیگر برخوردار است و در این میان یکی از سخت ترین و پر خطرترین فعالیت ها، عملیات سکوهایی فراساحلی می باشد. نظر به نقش حیاتی گاز در اقتصاد کشور و حساسیت عملیات انتقال گاز و تاثیر مخرب توقف تولید در این عملیات، آشکار می گردد که لازم است در کلیه سامانه های عملیاتی به ویژه آن دسته که بروز خطا در آنها می تواند پیامدهای شدیدی را بدنبال داشته باشد کلیه سناریوهای احتمالی بروز خطا، شرایط مؤثر بر آنها و پیامدهای حاصله بدقت برآورد و پیش بینی شده و با استفاده از نتایج بدست آمده، اولویت بندی اقدامات کنترلی و اصلاحی لازم جهت کاهش احتمال خطا جهت کاستن ریسک آنها اعمال گردد. بنابراین هر سکوی گازی یک واحد کلیدی در فرآیند اکتشاف، تولید و پالایش گاز محسوب می شود و توقف آن، مسیر تولید گاز در کشور را مختل می نماید.

یکی از مخاطره آمیز ترین و مهم ترین عملیات ها در صنایع نفت و گاز عملیات بهره برداری از چاه های نفت و گاز در صنایع بالادستی می باشد. در واقع این تأسیسات دو وظیفه تقلیل فشار جریان خروجی از مخزن به فشار عملیاتی بهره برداری و آب گیری و تزریق مواد شیمیایی (جهت جلوگیری از تشکیل هیدرانت و خوردگی) را بر عهده دارند که هر دو عملیات بسیار مخاطره آمیز می باشند. حال آنکه این شرایط در موقعیت فراساحلی و دریا ریسک بالاتری خواهد داشت که می تواند به فاجعه منجر گردد. در زیر نمونه هایی از حوادث مهم در زمینه بهره برداری فراساحل آورده شده است:

#### ۱- حادثه خلیج مکزیک

بر اثر نشت و آتش سوزی مواد نفتی از سکوی گازی شرکت BP<sup>۱</sup> در خلیج مکزیک باعث کشته شدن ۱۱ نفر و میزان خسارات وارده بالغ بر مبلغ ۴۰ میلیارد دلار برآورد گردید و علاوه بر آن افت ۲۲ درصد ارزش سهام و ۶۳ درصد کاهش سود در پی داشت.

---

<sup>۱</sup> British Petroleum

## ۲- حادثه سکوی Piper Alpha

در سال ۱۹۸۸ حادثه فوق که به علت خطای انسانی رخ داد ضمن اینکه منجر به انهدام کامل سکوی فوق گردید باعث فوت ۱۶۷ نفر و زخمی شدن ۶۰ نفر گردید.

۳- حوادث ثبت شده در تأسیسات فراساحل انگلیس در فاصله زمانی ۱۹۹۱ - ۲۰۰۴ تنها در بخش توربین گازی بیش از ۳۰۷ رویداد فرآیندی رخ داده است.

در حال حاضر در ایران دو نوع از سکوهای فراساحل متعارف و مورد استفاده می باشند:

نوع اول سکوهای دارای بخش مسکونی<sup>۱</sup> میباشند و نوع دیگر به صورت نرمال غیر مسکونی<sup>۲</sup> هستند. که در تمامی این سکوهای مسکونی با توجه به طراحی اولیه و فاصله ای که بین بخش های مسکونی و عملیاتی بهره برداری وجود دارد نسبت به سکوهای غیر مسکونی از شرایط ایمن تری برای اسکان نفرات برخوردارند. با توجه به شرایط موجود از لحاظ عملیاتی و تعمیراتی امکان بهره برداری از سکوهای غیر مسکونی بدون حضور دایم نفرات امکان پذیر نیست و شرایط به گونه ای رقم خورده است که نفرات مجبور به حضور به صورت دائم بر روی این سکوها می باشند. در حال حاضر تعداد ۱۹ عدد سکو در منطقه پارس جنوبی از این نوع بوده و بیش از نیمی از گاز کشور از طریق این سکوها تامین می گردد. با توجه به شرایط موجود و تعدد سکوها در این منطقه لازم است ضمن بررسی وضعیت و شرایط استقرار نفرات بر روی سکو اقدامات ویژه ای به صورت فوری صورت پذیرد.

## ۱-۳- اهمیت و ضرورت انجام تحقیق:

هر چند تأسیسات و تجهیزات فرایندی در جهت بهره وری، سودآوری و همچنین تولید ثروت مورد استفاده قرار می گیرند اما دارای پتانسیل های عمده ای برای رساندن آسیب به انسان ها و اموال می باشند. با توجه به توسعه و پیشرفت صنایع فرایندی بالاخص سکوهای گازی منطقه پارس جنوبی که سهم عمده ای در اقتصاد کشورمان دارند، می توان به سادگی دریافت که نگاهی دقیق به حوادث و ریسک هایی که پتانسیل ایجاد این حوادث را دارا هستند

<sup>۱</sup> Living Quarter

<sup>۲</sup> Not Normally Manned

جزء لاینفک مراحل تولید و توسعه پایدار در این صنایع به شمار می‌آیند لذا جلوگیری از حوادث و تداوم تولید، مستلزم استقرار سیستم مدیریت ایمنی، بهداشت و محیط زیست<sup>۱</sup> با هدف صیانت از نیروی انسانی، حفاظت از محیط زیست، کاهش توقف تولید و جلوگیری از آسیب به تجهیزات در سازمان‌ها می‌باشد. هسته مرکزی این سیستم، مدیریت ریسک می‌باشد. در این تحقیق ارتقاء سطح ایمنی و کاهش رویداد های منجر به توقف تولید، در سکوهای گازی مد نظر است که در این راستا ایجاد برنامه‌ای نظام مند و مستدل جهت انجام ارزیابی ریسک سکوهای دریایی که دارای پیچیدگی زیاد- فشار بالا و حامل گاز ترش (تقریباً حامل ۶۰۰۰ تا ۷۰۰۰ ppm<sup>۲</sup> گاز H<sub>2</sub>S) بوده. لذا ارزیابی ریسک و شناسایی نقاط مستعد ایجاد حادثه در سکوهای گازی و کنترل ریسک‌های آن الزامیست. انجام این پروژه می‌تواند در کنترل ریسک خطرات بسیار کاربردی باشد و امکان بروز حوادث را بصورت چشم‌گیری کاهش دهد.

لازم به ذکر است در صورت بروز حادثه در سکوی گازی، تولید پالایشگاه و سکو متوقف خواهد شد و این قطع اضطراری<sup>۳</sup> شدن بدلیل حساس بودن دستگاهها و تجهیزات و نیاز به ایجاد شرایط ویژه برای راه اندازی مجدد آنها دارد. در صورت آسیب به تجهیزات هنگام راه اندازی مجدد ممکن است تولید برای مدت زمان طولانی متوقف شود تا نسبت به خریداری و جایگزین نمودن دستگاه‌ها اقدام شود که این روند میلیاردها دلار خسارت مالی به بار خواهد آورد. به طور مثال در یکی از سکوهای گازی پارس جنوبی در سال ۹۱ - ۵۲۰۳ میلیون مترمکعب در اثر توقفات تولید، گاز تولید نشده است که با حساب قیمت متوسط گاز صادراتی (۴۰ سنت)، معادل دلاری خسارت وارده ناشی از توقف تولید دومیلیارد و هشتاد و یک میلیون دلار برآورد می‌شود.

<sup>۱</sup> Health, Safety & Environment Management System ( HSE MS)

<sup>۲</sup> Part Per Million

<sup>۳</sup> Shut Down

در ضمن با توجه به شرایط منطقه ای و مشترک بودن این میدان با کشور قطر بایستی کلیه سیاست گذاری در راستای کاهش توقف های اضطراری بر روی هر یک از این سکوها باشد. که این موضوع نبایستی منکر ایمن بودن شرایط استقرار نفرات بر روی سکو باشد. با توجه به توضیحات بالا روش آنالیز درخت خطا<sup>۱</sup> برای ارزیابی ایجاد شرایط توقف اضطراری بر روی یکی از سکوهایی پارس جنوبی انتخاب شده است.

## ۴-۱- جنبه جدید بودن و نوآوری در تحقیق:

✓ ارزیابی وقوع رویداد های منجر به توقف تولید، در سکوهایی گازی بصورت اختصاصی جهت سکوهایی گازی در دست بهره برداری پارس جنوبی تاکنون تهیه نشده و مطالعه فوق به لحاظ روش اجرا در بخش فراساحل بویژه تلفیق مدیریت ریسک و ارزیابی کمی احتمال وقوع خطاهای انسانی یکتاست.

✓ این طرح نتایج بسیار خوبی را در اختیار صنایع بالادستی کشورمان قرار خواهد داد تا مبنایی برای تصمیم گیری های مختلف از جمله اسکان نفرات، همزمانی عملیات ها<sup>۲</sup>، انجام حفاری های جدید، انجام عملیات های مختلف بر روی چاه ها و ... باشد.

✓ ارائه الگویی جهت تعیین احتمال وقوع رویداد های منجر به توقف تولید، در سکوهایی گازی با استفاده از تکنیک درخت خطا

✓ بررسی آیت های دخیل در تولید پایدار از سکوهایی گازی و ارائه پیشنهادات کاربردی جهت پیشگیری از توقف تولید

✓ به حداقل رسانیدن و پیشگیری از خسارت های احتمالی به سکوی گازی

✓ استفاده از نتایج و خروجی الگوی ارائه شده جهت طرح ریزی واکنش در شرایط اضطراری

<sup>۱</sup> Fault Tree Analysis(FTA)

<sup>۲</sup> Simultaneous Operations (SIMOPS)

## **۱-۵- اهداف مشخص تحقیق:**

### **۱-۵-۱- اهداف اصلی تحقیق :**

- ارائه الگوی شناسایی خطرات و ارزیابی ریسک‌های فرآیندی بر مبنای روش درخت
- خطا بمنظور کاهش نرخ شدت و پیامد حوادث در سکوهای گازی
- بررسی آیت‌های دخیل در تولید پایدار از سکوهای گازی و ارائه پیشنهادات کاربردی
- جهت پیشگیری از توقف تولید

### **۱-۵-۲- اهداف فرعی تحقیق :**

- تعیین احتمال کمی ریسک‌های فرآیندی ناشی از تولید در سکوهای گازی
- شناسایی و ارزیابی مخاطرات موجود در سکوهای گازی
- شناسایی نقاط بحرانی واحدها
- بررسی عملکرد سیستم‌های حفاظتی موجود در برابر مخاطرات
- به حداقل رسانیدن و پیشگیری از خسارت‌های احتمالی به سکوی گازی
- کاهش هزینه‌های مستقیم و غیر مستقیم ناشی از توقف تولید

### **۱-۵-۳- اهداف کاربردی :**

- بهره‌گیری و تعامل بیشتر با سازمان‌های بیمه
- بکارگیری روش‌های سیستمی و ساختارمند در ارزیابی ریسک و تعمیم نتایج آن در سایر تأسیسات نفت و گاز کشور .
- استفاده از نتایج و خروجی مدل ارائه شده جهت طرح ریزی واکنش در شرایط اضطراری

## **۱-۶- سوالات تحقیق :**

- مهمترین خطرات موجود در سکوهای گازی که منجر توقف در تولید می‌گردند چه می‌باشند؟

○ چه اقدامات پیشگیرانه کنترلی برای پیشگیری از وقوع حوادث در سکوه‌های گازی وجود دارد؟

○ حالت‌های مختلف توقف اضطراری کامل یک سکوی گازی چیست و چه سطوحی برای آن تعریف شده است؟

○ در هر یک از سطوح تا چه اندازه احتمال برگشت و بازیابی تولید به وضعیت عادی وجود دارد؟

○ نقش خطای انسانی در میزان احتمال توقف اضطراری یک سکو به چه میزان تخمین زده می‌شود؟

○ با توجه به نتایج حاصله از مدل ارائه شده تا چه میزان این مدل قابل تعمیم به سایر تاسیسات فرآیندی می‌باشد؟

## **۱-۷- فرضیات تحقیق:**

- سکوی گازی سطوح مختلف توقف اضطراری دارد، این توقف‌ها بطور خودکار بوده و اپراتورها تنها می‌توانند به رفع مشکل و برگرداندن سریع سکو به حالت اولیه اقدام کنند.
- روش‌ها و تکنیک‌های ارزیابی ریسک از نظر کاربرد و دامنه شمول متفاوت هستند. سکوی گازی یک واحد فرآیندی است که ورودی آن سیال گاز، میعانات گازی و آب و خروجی آن دو خط ۳۲ اینچ گاز و میعانات گازی به سمت پالایشگاه است.
- نظر به تعریف ریسک که حاصل ضرب شدت در احتمال می‌باشد و با توجه به اینکه در مطالعه حاضر شدت تمامی رویدادها توقف در تولید می‌باشد. در نتیجه در هر یک از درخت‌های خطا تنها میزان احتمال مورد بررسی قرار گرفته است.
- روش تحلیل درخت خطا بطور مؤثر به شناسایی عوامل ایجاد کننده وضعیت اضطراری و توقف تولید پرداخته و راهکارهای مستدل و محاسبه شده‌ای را جهت جلوگیری از این موقعیت‌ها ارائه می‌دهد.
- در آنالیز درخت خطا، خطای انسانی و اشتباه اپراتورها در تحلیل خود وارد می‌کند.

- جهت محاسبه احتمال خطای انسانی و میزان اعتماد به انسان در فرآیند تولید گاز ، روش های تحلیل بسیاری وجود دارد که می توانند در کنار تحلیل درخت خطا قرار بگیرند.
- سیستم کنترل ابزار دقیق سکوی گازی از نوع سیستم کنترل گسترده<sup>۱</sup> است که پیشرفته بوده و به شکل هوشمند عمل می کند.

## ۱-۸- چه کاربردهایی از انجام این پژوهش متصور است ؟

از آنجایی که پژوهش فوق بصورت کاربردی جهت یکی از سکوهای غیر مسکونی منطقه پارس جنوبی انجام شده، که به دلیل تشابه طراحی و ساختاری کلیه سکوهای این منطقه می تواند در سایر سکوها نیز مورد کاربرد واقع گردد. با استفاده از نتایج و آگاهی از رویداد های منجر به توقف تولید با احتمال وقوع بالا می تواند نسبت به اعمال اقدامات کنترلی اقدام نموده و باعث بالارفتن سطح ایمنی و افزایش بهره وری تاسیسات فراساحل گردد.

دانشگاهیان و دیگر مراکز پژوهشی نیز می توانند دیگر فعالیت های مهم و حساس در صنعت فراساحل (مانند -بارگیری و استقرار سکو، مقابله با نشتی های فرآیندی، همزمانی بهره برداری از سکو و حفاری توسط ریگ ) را مورد مطالعه قرارداداده و ضمن شناسایی نقاط ضعف با استفاده همزمان از چند روش ارزیابی اعتبارسنجی آنها را مورد آزمون قرار دهند.

---

1 Distributed Control System (DCS)

## **فصل دوم**

**مروری بر ادبیات موضوعی**

**و پیشینه تحقیق و مطالعات نظری**



## ۲-۱- مقدمه :

روش انجام این پروژه به صورت میدانی و کتابخانه‌ای بوده و جهت گردآوری داده‌ها از مصاحبه و بررسی مدارک و مستندات مربوطه استفاده شده است. لازم به ذکر است که جهت انجام مطالعات ارزیابی کمی ریسک به روش پایه ریسک در ابتدا می‌بایست نوع و مشخصات سیستم مورد بررسی تعریف گردد، همچنین محدوده انجام پروژه شامل تاسیسات، فعالیت‌ها و شرایطی که می‌بایست مطالعه ارزیابی ریسک بر روی آنها انجام گردد شناسایی و تعیین شوند. بنابراین ابتدا در این پروژه نیز، تعداد، مشخصات فنی، مشخصات گاز و شرایط سکوی گازی تعیین خواهد شد.

مرحله بعد، شناسایی نقاط شکست منجر به توقف تولید می‌باشد که با توجه به سوابق حوادث گذشته و تجربه تیم مطالعه، این مخاطرات شناسایی و تعیین خواهند شد. پس از شناسایی نقاط شکست، نمودار درخت خطا رسم شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

## ۲-۲- پیشینه تحقیق:

مدل‌سازی و آنالیز سیستم به کمک درخت خطا اولین بار در سال ۱۹۶۲ در آزمایشگاه بل و تحت نظارت نیروی هوایی آمریکا مطرح شد و امروزه به عنوان یکی از پرکاربردترین روش‌ها در حوزه مدل‌سازی حالات خرابی سیستم، ارزیابی، تشخیص و مکان‌یابی عیوب سیستم در سطح وسیعی از رشته‌های مهندسی مورد استفاده قرار گرفته است. درخت خطا یک دیاگرام سلسله مراتبی است که به صورت استنتاجی از روی ساختار عملکردی یک سیستم ترسیم می‌شود و در آن تمامی راه‌های ممکن برای خرابی سیستم (شامل علل و عوامل

نامطلوب) به تصویر کشیده می‌شود. این مدل به دو صورت کمی و کیفی قابل ارزیابی می‌باشد. در این مدل بالاترین المان نماینده وقوع رویداد نامطلوب (رویدادی که از دیدگاه قابلیت اطمینان و ایمنی بحرانی و خطرناک محسوب می‌شود) در سیستم و پایین‌ترین المان نماینده رویدادهای پایه (این رویدادها معمولاً خرابی اجزای یک سیستم در پایه‌ترین سطح ممکن هستند) می‌باشند. آنالیز وقوع رویداد سطح بالاتر به کمک جبر بول و از روی ترکیب مجموعه‌ای از رویداد سطح پایین‌تر صورت می‌پذیرد. در این درخت بالاترین رویداد را رویداد نهایی<sup>۱</sup> و پایین‌ترین رویداد را "رویداد پایه"<sup>۲</sup> می‌نامند. رویدادهای پایه به کمک درگاه‌های منطقی به یکدیگر متصل شده و رویدادهای سطوح بالاتر را می‌سازند. در یک درخت استاتیکی هر گاه خرابی یک جزء به تنهایی باعث خرابی یک سیستم یا زیرسیستم شود، آنگاه تعامل این خرابی با دیگر خرابی‌ها را با درگاه OR نشان می‌دهند. همچنین هرگاه سیستمی وجود داشته باشد که برای خرابی آن بایستی تمام اجزاء معیوب شوند آنگاه آن سیستم و اجزای متعلق به آن را با درگاه AND مدل می‌کنند.(۳)

## ۲-۱-۲-تحقیقات انجام شده در داخل کشور:

در داخل کشور سابقه انجام تحلیل بیشتر به پایان نامه های کارشناسی و کارشناسی ارشد دانشجویان مهندسی صنایع و ایمنی صنعتی بر می گردد . گزیده ای از مهم ترین مطالعات صورت گرفته در زمینه کاربرد روش تحلیل درخت خطا در صنایع نفت و گاز در زیر آورده شده است:

-در مقاله " تجزیه و تحلیل دو روش FTA و Tripod-Beta در ریشه یابی حوادث صنعت نفت و گاز" دو روش درخت خطا و Tripod-Beta را به منظور انتخاب روش مناسب در تحلیل و آنالیز حوادث با پتانسیل خطر ریسک بالا در صنعت نفت و گاز مقایسه نموده اند. در این پژوهش حوادثی با پتانسیل خطر ریسک بالا انتخاب و با استفاده از دو روش درخت

---

<sup>1</sup> Top Event  
<sup>2</sup> Basic Event

خطا و Tripod-Beta علل بروز آنها شناسایی و بر این اساس معیارهایی جهت مقایسه این دو روش تعریف گردیده است (۴).

- در مقاله "روشی جدید برای ساخت اتوماتیک درخت خطای سیستم بمنظور تسهیل و تسریع عیب یابی و تعمیرات آن" روش جدیدی را برای ساخت و تحلیل درخت خطا توصیف کرده اند و صحت عملکرد آن را با یک مثال تشریح نموده اند. که مهمترین مزایای این روش نسبت به روش های پیشین نیز ارائه گردیده است (۵).

- در مقاله "جایگاه تحلیل درخت خطا در ارزیابی ریسک شرکت ملی نفت ایران" به معرفی الگوریتمی برای اجرای درخت خطا در واحدهای فرآیندی پرداخته و کاربرد آن را در یک واحد تقویت فشار نمونه، با استفاده از الگوریتم فوق نشان داده اند. همچنین نتایج حاصل از تحلیل و شرح اقدامات پیشنهادی، ارائه شده و بعد از انجام پیشنهادات، ریسک مجدداً محاسبه شده و قدرت تحلیلی روش، نشان داده شده است. در پایان جایگاه تحلیل درخت خطا در بین دیگر روش های ارزیابی ریسک نظیر FMEA و HAZOP، HAZID، بصورت نمودار، مشخص و توصیف شده است. (۶)

- آقای سید حسن اصفهانی و همکارانش در مقاله "کاربرد تحلیل درخت خطا در یک واحد تقویت فشار گاز" کاربرد روش درخت خطا در یافتن علل ریشه ای (رویدادهای پایه) توقف ناگهانی کمپرسور دوم تقویت فشار گاز، بر اثر بالا رفتن سطح مایع در استوانه جذب، تشریح شده است. بدین منظور درخت خطایی رسم شده که در آن هم خطای سیستم کنترلی و هم خطای انسانی، تصویر گردیده است. توصیف خطاهای انسانی و کمی کردن آن، از مواردی است که معمولاً در تحلیل درخت خطا، نادیده گرفته می شود. اما در این مطالعه موردی از یکی از روش های آنالیز خطاهای انسانی به نام TESEO<sup>۱</sup> برای متمایز کردن اینگونه خطاها، استفاده شده است. در این تحقیق، سطح ریسک موجود محاسبه شده و با توجه به استاندارد های موجود (ISO17776)، منطقه ریسک مورد ارزیابی قرار گرفته است (۷).

---

<sup>۱</sup> Tecnica Empirica Stima Errori Operatori

- آقای سید حسن اصفهانی و همکارانش (۱۳۸۴) در مقاله "تحلیل درخت خطا بر روی راکتور پلیمریزاسیون در واحد پلی اتیلن سبک خطی پتروشیمی اراک" به شرح و نتایج بدست آمده از انجام تحلیل درخت خطا بر روی راکتور پلیمریزاسیون در واحد پلی اتیلن سبک خطی (LLDPE) پتروشیمی اراک پرداخته و رخداد نامطلوب مورد نظر ناتوان شدن راکتور R-400 برای تولید را مورد بررسی قرار داده اند. که بر پایه نتایج بدست آمده از تحلیل درخت خطا یک مجموعه پیشنهادها برای کاهش احتمال از کار افتادن این راکتور ارائه شده است (۸).

## ۲-۲-۲- تحقیقات انجام شده در خارج کشور:

- آقای Choi و همکارانش (۲۰۱۶) در مقاله ای تحت عنوان "Reliability and availability assessment of seabed storage tanks using fault tree analysis" تولید نفت و گاز از دریا بوسیله بستر سازی در کف دریا و جایگزینی این سیستم با تسهیلات شناور بر روی آب را مورد بررسی قرار داده و قابلیت اطمینان این نوع سیستم ها را با استفاده از روش تحلیل درخت خطا مورد ارزیابی قرار داده است. در این مقاله از منابع مهمی از جمله : OREDA استفاده شده و در انتها نیز قابلیت اطمینان این سیستم ها در شرایط عادی در حدود ۹۱/۸٪ بدست آمده است (۹).

- آقای Alkhaledi و همکارانش (۲۰۱۵) در مقاله ای تحت عنوان "Using fault tree analysis in the Al-Ahmadi town gas leak incidents" به ارزیابی سه حادثه مهم انفجار بین جولای تا نوامبر سال ۲۰۱۰ که در منطقه الحمدي - کویت رخ داده با استفاده از روش FTA پرداخته است. دو تا از این حوادث در دو نقطه مختلف در شمال الحمدي در ناحیه اتصالات شبکه خط لوله طبیعی گاز کویت و دیگری در روی شبکه خط لوله گاز در جنوب الحمدي اتفاق افتاده است. در این مقاله از روش تحلیل درخت خطا جهت شناسایی نوع و منبع نشتی گاز و محاسبه چگونگی رسیدن نشتی گاز به سطح استفاده شده است (۱۰).

- آقای Clifton A. Ericson در مقاله "Fault Tree analysis" (۱۹۹۹) به تشریح روش تحلیل درخت خطا پرداخته است. در ابتدا تاریخچه، مفاهیم پایه و تعاریف آورده شده و در ادامه در خصوص نتایج حاصله به همراه روند انجام کار بحث شده است (۱۱).

- آقای "Nikolaos Limnios" در کتاب "Fault Trees" (۲۰۰۷) کلیه مفاهیم پایه مربوط به تحلیل درخت خطا را تشریح نموده و در انتها نیز به جهت جمع بندی و تفهیم مطالب چند مثال به صورت نمونه موردی آورده شده است (۱۲).

## ۲-۳- میدان گازی پارس جنوبی:

میدان پارس جنوبی در ایران، در واقع بخش شمال شرقی یک ساختار وسیع زمین شناسی در خلیج فارس بوده و در قطر به میدان شمالی معروف است. این میدان در حدود ۱۰۰ کیلومتری جنوب ساحل بندر عسلویه، محل احداث تجهیزات و تسهیلات دریافت کننده گاز استخراجی قرار دارد. هیدروکربن‌ها در بخشهای متعددی از این میدان یافت می شوند. مهمترین منبع آن، مخزن کربنات کنگان - دالان می باشد که با ضخامتی حدود ۴۵۰ متر در عمق حدود ۳۰۰۰ متری زمین قرار دارد. این میدان گازی یکی از بزرگترین میدانهای گازی جهان می باشد. گاز موجود در میدان پارس جنوبی در حدود ۴۵۰ هزار بیلیون فوت مکعب برآورد می شود.

در حال حاضر با هدف تولید کل ۱۲۰۰۰ میلیون فوت مکعب گاز و ۵۰۰۰۰۰ بشکه میعانات گازی در روز، توسعه این میدان در ۲۴ فاز مورد نظر می باشد. مسئولیت توسعه میدان پارس جنوبی در حال حاضر به عهده شرکت نفت و گاز و پارس یکی از شرکت‌های وابسته به شرکت ملی نفت ایران می باشد. در حال حاضر تعداد ۱۸ سکوی دریایی در این میدان در حال بهره برداری می باشند. سکوهای ۱۷ و ۱۸ از بروزترین و جدیدترین سکوهای موجود می باشند که از سال گذشته به راه اندازی پالایشگاه فاز ۱۷ و ۱۸ بهره برداری از آنها آغاز شده است. در این پروژه به عنوان نمونه موردی مدارک و مستندات این سکوها مورد

بررسی قرار گرفته و از آنجایی که طراحی تمامی سکوهای دریایی این میدان یکسان می باشد لذا نتایج حاصله قابل تعمیم جهت کلیه سکوهای دریایی این منطقه می باشد.

### سکوهای دریایی فاز ۱۷ و ۱۸ پارس جنوبی:

سکوهای دریایی فاز ۱۷ و ۱۸ پارس جنوبی شامل دو سکوی سرچاهی (SPD24, SPD23) می باشد. سکوهای دریایی فاز ۱۷ و ۱۸ پارس جنوبی در فاصله ۱۰۵ کیلومتری از تاسیسات خشکی در عمق ۶۰-۷۰ متری از سطح دریا در خلیج فارس نصب شده اند. هدف از نصب این سکوها برداشت ۱۰۰۰ میلیون فوت مکعب<sup>۱</sup> گاز و میعانات گازی از مخزن پارس جنوبی توسط دو سکوی سرچاهی و آبیگری از گاز و میعانات گازی توسط سکوی بهره برداری و ارسال بصورت دو فازی توسط دو خط لوله ۳۲ اینچی زیر دریایی به تاسیسات خشکی بمنظور فرآورش و ارسال گاز با مشخصات استاندارد به خط لوله سراسری IGAT4 جهت مصرف و صادرات می باشد.

## ۲-۴- بانک های اطلاعاتی:

بانک اطلاعات نرخ شکست قطعات فرآیندی<sup>۲</sup>:

بانک اطلاعات نرخ شکست قطعات فرآیندی جهت تهیه قابلیت اطمینان داده ها تجهیزات خشکی و دریایی در سال ۱۹۸۱ با همکاری شرکت نفت نروژ (در حال حاضر ایمنی نفت سازمان نروژ) تاسیس شد. هدف اصلی آن ایجاد منابع قابل اعتماد داده های اصلی برای صنعت نفت و گاز و یک منبع داده منحصر به فرد در نرخ شکست، توزیع حالت شکست و بار در تعمیر تجهیزات مورد استفاده در صنعت دریایی باشد. این مدرک مجموعه ای از داده صنعت نفت تجهیزات ایمنی و اطمینان است. این سازمان در حال حاضر، به عنوان یک گروه همکاری چندین شرکت نفت و گاز طبیعی به کار خود ادامه میدهد.

<sup>۱</sup> Million Metric Standard Cubic Feet per Day (MMSCFD)

<sup>۲</sup> Offshore Reliability Data (OREDA)

هدف دیگر بانک اطلاعات نرخ شکست قطعات فرآیندی به منظور کمک به ایمنی بهبود یافته و مقرون به صرفه بودن در طراحی و بهره برداری از تاسیسات نفت و گاز، از طریق جمع آوری و تحلیل تعمیر و نگهداری و داده های عملیاتی، ایجاد یک پایگاه داده قابلیت اطمینان با کیفیت بالا و تبادل قابلیت اطمینان، در دسترس بودن، تعمیر و نگهداری و تکنولوژی ایمنی در میان شرکت های شرکت کننده می باشد.

تا سال ۱۹۹۶، بانک اطلاعات نرخ شکست قطعات فرآیندی داده ها در مورد ۲۴۰۰۰ قطعه از تجهیزات مورد استفاده در تاسیسات دریایی گردآوری کرده بود، و مستند ۳۳،۰۰۰ خرابی تجهیزات. شدت شکست مستند در پایگاه داده به عنوان هم مهم، تخریب، اولیه، یا شدت ناشناخته دسته بندی کرد.

این پایگاه داده شامل داده ها از تقریباً ۳۰۰ نصب و راه اندازی، بیش از ۱۵،۰۰۰ قطعه از تجهیزات، نزدیک به ۴۰،۰۰۰ سوابق شکست، و نزدیک به ۷۵،۰۰۰ سوابق تعمیر و نگهداری می باشد (۱۳).

#### **ISO/IEC 31010 73:2009**

هدف این استاندارد انعکاس نمونه های مناسب و متداول در انتخاب و استفاده از تکنیک های ارزیابی ریسک است و به مفاهیم جدید یا استنتاج شده ای که به سطح قابل قبولی از اجماع حرفه ای نمی رسد، اشاره نمی کند.

طبیعت این استاندارد، عمومی است به طوری که می تواند راهنمودهایی را برای بسیاری از صنایع و سیستم ها فراهم نماید. ممکن است استانداردهای خاص دیگری در ارتباط با این صنایع وجود داشته باشد که روش ها و سطوح ارزیابی بهتری برای کاربردهای خاص تدوین نموده اند. اگر آن استانداردها با این استاندارد هماهنگی داشته باشند، آن استانداردهای خاص نیز در حالت کلی مناسب خواهند بود.

این استاندارد بین‌المللی، حامی استاندارد ISO ۳۱۰۰۰ است و راهنمایی‌هایی را جهت انتخاب و بکارگیری تکنیک‌های سیستماتیک ارزیابی ریسک ارائه می‌کند.

ارزیابی ریسک انجام شده مطابق با این استاندارد به سایر فعالیت‌های مدیریت ریسک کمک می‌نماید.

کاربرد تعدادی از تکنیک‌ها با ارجاعات ویژه به سایر استانداردهای بین‌المللی که مفهوم و کاربرد تکنیک‌ها با جزئیات بیشتری در آن‌ها توضیح داده شده در این استاندارد معرفی شده است.

. این یک استاندارد عمومی مدیریت ریسک است و هر گونه ارجاع به ایمنی طبیعت آگاهی دهنده دارد. راهنمایی در مورد معرفی جنبه‌های ایمنی در استانداردهای IEC در راهنمای ISO/IEC ۵۱ آمده است (۱۴).

## **۲-۵- واژه‌ها و اصطلاحات فنی و تخصصی (به صورت مفهومی و**

### **عملیاتی):**

ایمنی بهداشت محیط زیست (HSE): فعالیت‌ها، کارکنان یا اقدامات معینی که برای اطمینان از یکپارچگی سرمایه، پیشگیری از رویدادها و یا از بین بردن اثرات سوء HSE، حیاتی شناخته شده‌اند (۱۵).

سیستم مدیریت ایمنی و بهداشت و محیط زیست: ساختار، مسئولیت‌ها، رویه‌ها، روشهای اجرایی، فرایندها و منابع شرکت برای استقرار مدیریت ایمنی و بهداشت و محیط زیست (۱۵).

خطر (Danger): پتانسیلی که سبب آسیب شامل بیماری یا جراحت، صدمه به تجهیزات، واحدهای تولیدی، محصولات یا محیط زیست و یا از بین رفتن تولید یا افزایش پرداخت خسارت‌ها گردد (۱۶).

ریسک (Risk): شانس وقوع یک واقعه ناخواسته معین و شدت پیامدهای واقعه (۱۶)



**سیستم (System):** ترکیبی از پرسنل، آئین نامه ها، مواد، ابزار، تجهیزات، وسایل و نرم افزارها که بطور یکپارچه و در یک شکل طراحی شده و برای انجام یک هدف از پیش تعیین شده فعالیت می کنند.

**توان دسترسی (Availability):** توانایی یک آیتم در یک حالت برای انجام یک نیاز تحت شرایط داده شده با توجه به لحظه از زمان و یا بیش از یک فاصله زمانی معین.

**نرخ شکست (Failure Rate):** تابع نرخ شکست این را بیان می کند که چه احتمالی وجود دارد که تا زمان  $t$  آیتم مورد نظر سالم مانده است و چه واحد زمانی در آینده دچار شکست میشود (۱۳).

شکست (Failure): خرابی برای بیان وضعیت عنصری بکار می رود که برای ادامه انجام مطلوب وظیفه اش احتیاج به تعمیر دارد. برای مثال شکستن محور یک پمپ خرابی تلقی می شود (۱۷).

**خطا (Fault):** خطای یک عنصر، حالتی است که وضعیت نامطلوب فعلی بدون انجام تعمیر قابل رفع باشد. مثلاً کار نکردن یک سوئیچ به علت خیس بودن و در صورتی که با خشک شدن وظیفه اش را انجام دهد، خطا تلقی می شود (۱۷).

**قابلیت اطمینان (Reliability):** قابلیت اطمینان یک سیستم عبارت است از احتمال کارکرد سالم و بدون عیب برای مدت زمان مشخص طبق شرایط موجود و از پیش تعیین شده (۱۳).

**مدیریت ریسک:** مدیریت ریسک بخش لاینفکی در موفقیت یک پروژه و فرآیندی است که به شناسایی زود هنگام مشکلات احتمالی و در نتیجه انجام اقدامات لازم جهت جلوگیری از تبدیل آنها به مشکلات و مسائل واقعی در آینده پروژه کمک می کند.

حالات شکست: عوامل اختصاری حالات شکست که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است در جدول شماره ۱-۲ به تفصیل آورده شده است.

جدول ۱-۲: توضیح حالات شکست تجهیزات :

شرح	تعریف	حالت خطا
بستن / باز شدن ناخواسته	عملیات های بیهوده	SPO
گیر کردن در حالت باز یا شکست منجر به بسته شدن کامل	بسته شدن در شکست	FTC
گیرکردن در حالت باز یا شکست منجر به باز شدن کامل	باز شدن در شکست	FTO
شکست پیدایشی	شکست عملکردی یا احتمالی	FTF

**فصل سوم:**

**روش تحقیق**

### ۳-۱- مقدمه

تحلیل درخت خطا<sup>۱</sup>، یک تکنیک مبتنی بر شکست و جزء‌گرا می باشد. جزء‌گرا از این جهت که با یک رویداد نامطلوب شروع شده و سپس با استفاده از یک فرآیند سیستمی رو به عقب، علل وقوع این رویداد ناخواسته را مشخص می کند و در طی این فرآیند، درخت خطایی به منظور توصیف گرافیکی رویدادها و ارتباط آنها برای وقوع رویداد نامطلوب یا رویداد رأس، رسم می شود. در این درخت از نمادهایی استفاده می شود که نوع رویدادها و نوع ارتباط آنها را با یکدیگر نشان می دهد. در واقع درخت خطا، یک مدل کیفی است که اطلاعات مفید بسیاری از علل بروز یک رویداد نامطلوب ارائه می دهد و از طرفی می توان آن را کمی نمود و اطلاعات بیشتری درباره احتمال وقوع رویداد رأس و میزان اهمیت تمامی علل و رویداد های مدل شده، بدست آورد.

علاوه بر درخت خطا، روش های کل گرا نیز در تحلیل ریسک و قابلیت اطمینان، بکار برده می شوند. تفاوت این روش ها با تحلیل درخت خطا در منطق رو به جلو آنهاست. بدین معنی که شروع آنها با یک رویداد آغازین بوده و در نهایت به بررسی آثار و پیامدهای حاصل از این رویداد می پردازند. شباهت این روش ها با درخت خطا در این است که همگی نگرشی مبتنی بر شکست دارند. در این پروژه نقش درخت خطا در فرآیند تصمیم گیری آورده شده و بر روی اطلاعات ذی قیمتی که می توان از این روش برای اولویت بندی اهمیت رویداد های سهم در وقوع رویداد رأس بدست آورد، تأکید شده است. چرا که با مشخص

---

<sup>۱</sup> Fault Tree Analysis

شدن میزان اهمیت یک رویداد پایه و سهم آن در بروز رویداد رأس ، تصمیم گیری در مورد تخصیص منابع و امکانات برای بهبود عملکرد سیستم ، سهل تر خواهد شد.

تکنیک درخت خطا را می شود هم برای سیستم موجود و هم سیستمی که در حال طراحی است ، بکار برد. تنها تفاوتی که وجود دارد سطح دسترسی به داده ها می باشد . در سیستم های در حال طراحی ، بدلیل فقدان داده های مورد نیاز ، از داده های عام استفاده می شود . اما در یک سیستم موجود با توجه به وجود سابقه تعمیر و نگهداری تجهیزات و دیگر اطلاعات ثبت شده ، دسترسی به داده ها ساده تر است . با اجرای درخت خطا در یک سیستم ، نقاط ضعف سیستم مشخص شده و می توان ارزیابی لازم را برای ارتقاء و بهبود سیستم انجام داد . همچنین می توان رفتار سیستم را پیش بینی کرده ، بر آن نظارت نمود. علاوه بر این با شناسایی نقاط ضعف سیستم و علل آن ، شرح اقدامات شفاف تر شده و مسئولیت بخش ها و افراد مشخص می شود.

### **۳-۲- نقش درخت خطا در تصمیم گیری**

اطلاعات متنوعی از درخت خطا حاصل می شود که نقش بسزایی در تصمیم گیری مدیران دارد . در این بخش به بعضی از این ویژگیها اشاره می شود :

### **۳-۲-۱- کاربرد درخت خطا در ردیابی مسیر منطقی منتهی به وقوع رویداد**

#### **رأس :**

درخت خطا یک مدل منطقی از مسیر علت های اصلی و رویدادهای میانی منتهی به رویداد رأس را پیش روی تحلیل گر قرار می دهد. با مشاهده رویدادهای خطا در این مسیر منطقی ، تحلیل کیفی درخت خطا براحتی امکان پذیر می گردد و رویدادهای منفرد مجموعه برش ها ، برجسته می شوند . در واقع می توان ادعا کرد که اطلاعات کیفی حاصل از درخت دست کمی از اطلاعات کمی بدست آمده ، نخواهد داشت .

### ۳-۲-۲- کاربرد درخت خطا در اولویت دهی به رویدادهایی که بیشترین سهم را

#### در وقوع آن دارند :

- مطمئناً یکی از اساسی ترین منافع حاصل از تحلیل درخت خطا در یافتن رویدادهایی است که بالاترین نقش را در بروز رویداد رأس دارند . اگر درخت خطا کمی شود ، رویدادهای پایه و قطعاتی که میزان اهمیت بیشتری دارند ، مشخص شده و می توان آنها را به ترتیب درصد سهم شان در بروز رویداد رأس ، اولویت بندی نمود . بر اساس تجربه ، تنها ۱۰ تا ۲۰ درصد از رویدادهای پایه پر اهمیت و قابل توجه هستند . از مزایای اولویت بندی رویدادها ، تخصیص حسابگرانه هزینه ها است . با شناسایی قطعات ، تجهیزات و سیستم های بحرانی و دردسرافرین ، براحتی می توان هزینه ها را به منظور کاهش و یا حذف این رویدادها ، متمرکز نمود و از صرف آنها در بخش های غیر ضروری پرهیز کرد . بدین ترتیب علاوه بر کاهش هزینه ها ، احتمال بروز رویداد نامطلوب نیز کاهش خواهد یافت.

### ۳-۲-۳- کاربرد درخت خطا به عنوان یک ابزار پیش فعال<sup>۱</sup> در پیشگیری از

#### وقوع رویداد رأس :

تحلیل درخت خطا ، اغلب در شناسایی مناطق آسیب پذیر مورد استفاده قرار می گیرد . بدین ترتیب می توان قبل از بروز حادثه در این مناطق مستعد آسیب پذیر ، اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه را طراحی نمود . بدین شکل ، می توان از همان ابتدای طراحی سیستم ، ابتکار عمل را بدست گرفت و سطح ایمنی آن را ارتقاء داد . همچنین گروه اجرایی ، با ارائه نتایج حاصل از تحلیل ، توجیه خوبی در طرح و اجرای اقدامات اصلاحی خواهد داشت.

---

<sup>۱</sup> proactive

### **۳-۲-۴- کاربرد درخت خطا در بهینه سازی و به حداقل رساندن منابع :**

به این کاربرد تحلیل درخت خطا اغلب کمتر توجه می شود . درخت خطا نه تنها میزان اهمیت و سهم رویدادها را مشخص می کند ، بلکه رویدادهای قابل اغماض را نیز نمایان می سازد. در مورد این رویدادها ، نیازی به اختصاص بودجه و منابع نیست و گاهی بعد از اجرای تحلیل و تخصیص مجدد منابع ، مقدار آن تا ۴۰ درصد کاهش پیدا می کند.

### **۳-۲-۵- درخت خطا به عنوان ابزار کمکی در طراحی سیستم:**

به هنگام طراحی سیستم، از تحلیل درخت خطا می توان در انتخاب طرح مناسب بهره برد. طریقه کار بدین شکل است که ابتدا فهرستی از الزامات عملکردی تهیه شده و برای هر طرح از درخت خطا جهت بررسی بهترین طرح ، که بیشترین الزامات را برآورده می سازد، استفاده می گردد . البته در صورتیکه داده های طراحی کافی نباشد ، می توان از داده های عام<sup>۱</sup> استفاده نمود .

### **۳-۲-۶- کاربرد درخت خطا به عنوان یک ابزار تشخیص دهنده علل وقوع**

#### **رویداد رأس و برطرف کننده آن :**

این نوع کاربرد درخت خطا، کاملاً متفاوت با کاربردهای پیشگیرانه یا پیش فعال آن است. با بسط درخت خطا، علل بروز رویداد رأس و رویدادهای میانی بطور تفصیلی آشکار شده و مورد تأکید قرار می گیرد . در هر مرحله از کشف علل ، می توان اقداماتی را جهت کاهش یا حذف آنها ، پیشنهاد نمود . مزیت درخت خطا در این بخش این است که می توان از آن برای ارزیابی اثربخشی پیشنهادات مختلف بهره برد . حتی می شود جلوتر رفت و یک ارزیابی کاملاً احتمالی را پایه گذاری نمود . یعنی حتی برای قطعاتی که کمتر علت خطا می شوند نیز یک احتمال شکست در نظر گرفت . همچنین

---

<sup>1</sup> Generic data

در فهرست اقدامات کاهنده ریسک، می توان زمان های توقف<sup>۱</sup> و یا تعمیر<sup>۲</sup> را نیز مد نظر قرار داد.

همانطور که مشاهده گردید تحلیل درخت خطا نقش به سزایی در فرآیند تصمیم گیری دارد. از این تحلیل می توان در تمامی چرخه حیات<sup>۳</sup> سیستم از مرحله طراحی تا توسعه و تولید، استفاده نمود. با پیشروی طرح و دسترسی به داده های بیشتر، از این روش به منظور ردیابی و بازبینی خطاها و حذف یا کاهش ریسک آنها استفاده کامل می شود.

### ۳-۳- درخت خطا یک روش جزءگرا<sup>۴</sup>

در روش های جزءگرا، استدلال از کل به جزء است. در تحلیل سیستم با روش های جزءگرا و با فرض شکست سیستم (به هر طریقی)، سعی بر این است که زیرسیستم هایی که در این شکست، نقش داشته اند، شناسایی شوند. نمونه ای از روش های جزءگرا در زندگی واقعی، تجزیه و تحلیل حوادث است. دلیل غرق شدن کشتی تایتانیک در میانه سفر دریایی اش که تا آن زمان غرق نشدنی فرض می شد، چه بود؟ کدامین خطاهای سخت یا نرم افزاری و حتی انسانی باعث سقوط یک هواپیما در یک منطقه مسکونی می شود؟

در این تحلیل، وضعیت نامطلوبی از سیستم در نظر گرفته شده و مسیر منطقی رویدادها (که در برگیرنده شکست زیرسیستم ها، تجهیزات و قطعات است) تا رسیدن به علل اصلی، دنبال می شود. از طرف دیگر در روش های کل گرا<sup>۵</sup>، وضعیت های شکست نهایی سیستم یا سناریوهای شکست، مد نظر هستند.

### ۳-۴- مراحل انجام تحلیل درخت خطا:

یک درخت خطا موفق بایستی مراحل زیر را به دنبال داشته باشد:

---

<sup>1</sup> Downtime

<sup>2</sup> Repair

<sup>3</sup> Lifecycle

<sup>4</sup> Deductive

<sup>5</sup> Inductive



### **۳-۴-۱- شناخت سیستم :**

در این مرحله سیستم تحت مطالعه به عنوان یک بلوک در نظر گرفته شده و ابتدا ورودی ها و خروجی های آن مشخص می گردد .

مثال هایی از ورودی ها ، مسیر های خوراک<sup>۱</sup> ، سرویس های جانبی<sup>۲</sup> ، محصولات میانی ، محصولات فرعی و افزودنی ها<sup>۳</sup> و خروجی ها شامل مواردی مانند محصول<sup>۴</sup> ، محصولات میانی یا جانبی و پسماند می باشد . سپس فرآیندی که در سیستم برای رسیدن به محصول وجود دارد شرح داده می شود . این فرآیند شامل شرح وظایف و نوع تجهیزات و ادواتی است که مستقیماً در تولید نقش دارند . البته در ابتدای کار نیازی به شرح و بسط کامل فرآیند نیست و تنها جریان مواد<sup>۵</sup> بررسی می شود . بدین منظور می توان از نقشه جریان مواد واحد استفاده نمود .

### **۳-۴-۲- انتخاب بخشی از سیستم :**

در این مرحله بخشی از سیستم که بر اساس به تجربه و سوابق دارای اشکال یا نقص است ، انتخاب می گردد . این انتخاب همچنین می تواند بر اساس کاهش شدت پیامدهای حاصل از بروز رویداد های مخاطره آمیز در بخش فوق باشد . در این مرحله معیار تصمیم گیری بایستی شرح داده شود .

### **۳-۴-۳- تعیین رویداد نامطلوب :**

در این بخش، انتخاب رویداد نامطلوب که دارای عدد ریسک بالا بوده و وقوع آن آثار خسارت باری را بر روی سیستم می گذارد ، بطور دقیق مشخص می گردد و رویداد رأس<sup>۶</sup> نامیده می شود .

---

<sup>۱</sup> Feed

<sup>۲</sup> Utility

<sup>۳</sup> Additives

<sup>۴</sup> Product

<sup>۵</sup> Process Flow

<sup>۶</sup> Top Event

### ۳-۴-۴- رسم درخت خطا :

در این مرحله با استفاده از درگاه های منطقی و مجموعه ای از قواعد پایه ، درخت خطای مرتبط با رویداد رأس تعیین شده در مرحله قبل ، رسم می گردد . بدین منظور در ابتدا رویداد هایی که بی واسطه و بلافصل منجر به رخداد رویداد رأس می شوند ، تحت عنوان رویداد های فرعی فهرست شده و در ساختار درخت قرار می گیرند . سپس روند یافتن علل رویداد ها تا رسیدن به رویداد های پایه (رویدادهایی که به دلیل نداشتن اطلاعات و یا قرار گرفتن در بیرون مرزهای تحلیل ، بسط داده نمی شوند ) ، ادامه پیدا می کند.

### ۳-۴-۵- مشخص نمودن مجموعه برش های حداقل<sup>۱</sup> :

بعد از رسم درخت خطا ، با استفاده روش های ریاضی ( نظیر جبر بولی ) یا نرم افزار ، برش های حداقل مشخص شده و رویداد رأس بر حسب حاصل جمع این برش ها نوشته می شود .

### ۳-۴-۶- محاسبه احتمال وقوع رویداد رأس :

در این مرحله با استفاده از اطلاعات و جداول مربوط به نرخ شکست تجهیزات و ادوات و نیز داده های مربوط به خطاهای انسانی ، احتمال وقوع رویداد رأس محاسبه می گردد.

### ۳-۴-۷- تعیین رویدادهای فرعی :

رویداد های فرعی که اولین دلایل بلافصل بروز رویداد رأس هستند را از درخت خطا استخراج می کنیم .

---

<sup>1</sup> Minimal Cut Set

### ۳-۴-۸- رتبه بندی<sup>۱</sup> رویدادهای فرعی :

در این مرحله رویدادهای فرعی بر حسب مجموع برش های حداقل خود نوشته شده و احتمال وقوع هر یک محاسبه می گردد . سپس با تقسیم عدد احتمال فوق بر احتمال وقوع رویداد رأس و نوشتن جواب تقسیم بر حسب درصد ، سهم هریک از رویدادهای فرعی در رخداد رویداد رأس تعیین می گردد و به شکل نزولی در جدولی با عنوان " رتبه بندی رویداد های فرعی " آورده می شود .

### ۳-۴-۹- تعیین رویدادهای فرعی با اولویت ( رتبه ) بالا :

از جدول رتبه بندی مرحله قبل ، رویدادهایی که بیشترین سهم در بروز رویداد رأس را دارند ، در جدولی مجزا با عنوان " رویدادهای فرعی با اولویت بالا " ، فهرست می شوند .

### ۳-۴-۱۰- رتبه بندی برش های حداقل :

رویداد های فهرست شده در مرحله قبل ، هریک شامل مجموعه ای از برش های حداقل هستند که حاصل جمع عدد احتمال این برش ها ، احتمال بروز رویداد فرعی مورد نظر را بدست می دهد . در این مرحله با روشی شبیه به مرحله قبل ، اولین رویداد فرعی جدول از فهرست جدا شده و رتبه بندی برش های حداقل آن در جدولی تحت همین عنوان آورده می شود . این عمل برای رویدادهای فرعی که عناوین بعدی را دارند تکرار می شود . البته تعداد رویداد های انتخابی ، بستگی به مجموع سهم آنها در وقوع رویداد رأس دارد . به عنوان ممکن است جمع رویدادهای فرعی با سهم ۷۰ درصد ، معیاری برای انتخاب آنها باشد.

---

<sup>۱</sup> Ranking

### **۳-۴-۱۱- محاسبه عدد بحرانی برای هر یک از سناریوها:**

در این مرحله پس از تعیین عدد خارج از سرویس بودن<sup>۱</sup> براساس مدارک و مستندات مقدار شدت<sup>۲</sup> را نیز محاسبه و از حاصلضرب این مقادیر مقدار عدد بحرانی<sup>۳</sup> محاسبه شده و براساس ماتریس عدد بحرانی در خصوص میزان ریسک هرکدام از سناریوها قضاوت نموده و اقدامات اصلاحی پیشنهادی ارائه می گردد.

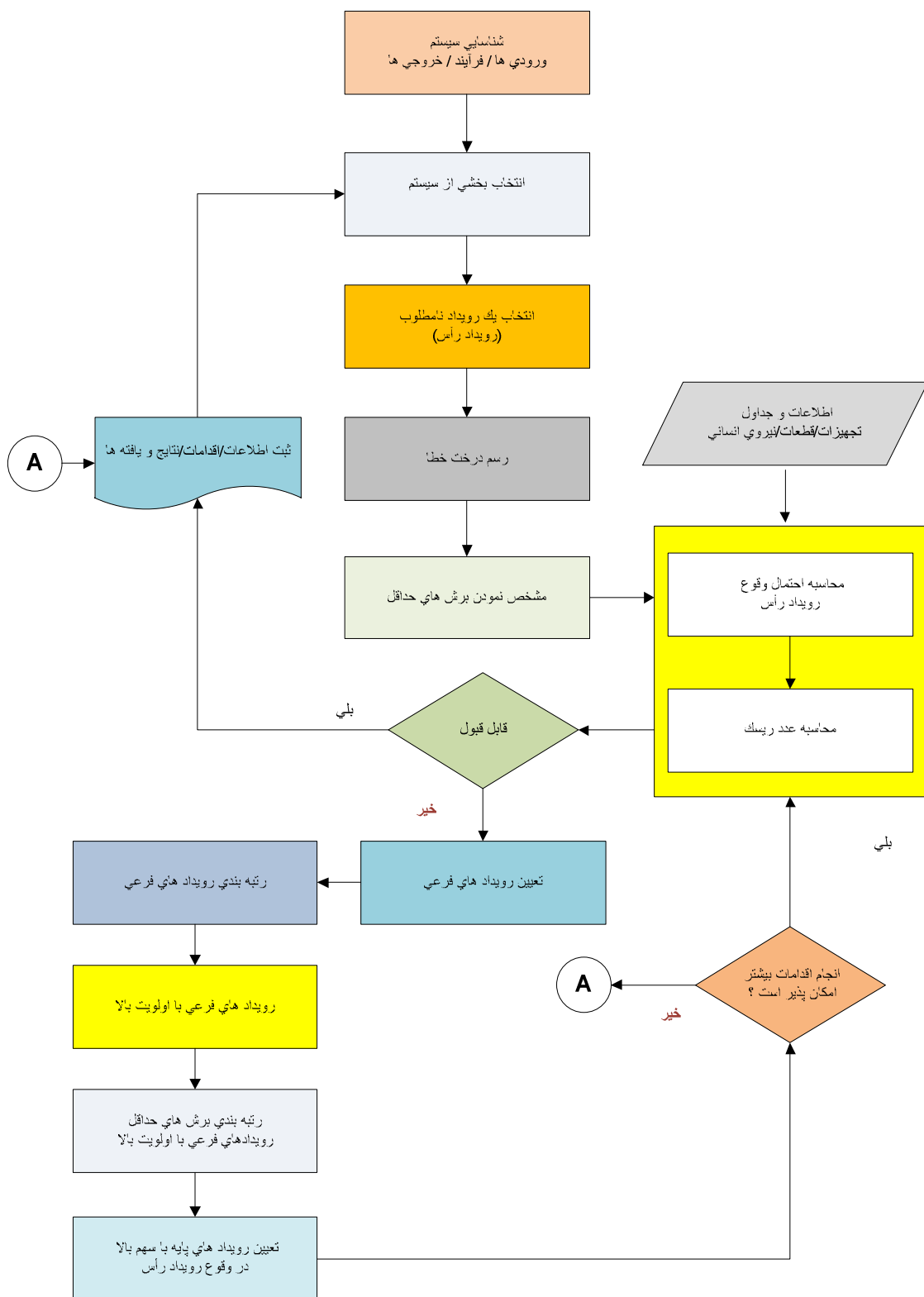
### **۳-۴-۱۲- بررسی اقدامات اصلاحی:**

اقدامات اصلاحی پیشنهاد شده برای کاهش نرخ شکست تجهیزات و در نتیجه کاهش وقوع احتمال رویداد رأس ، در این مرحله مورد بررسی قرار گرفته و در برگه ای با عنوان " اقدامات اصلاحی " ثبت می گردد .

ارتباط هر یک از موارد مطرحه در شکل ۳-۱ نشان داده شده است.

---

<sup>1</sup> Unavailability  
<sup>2</sup> Severity  
<sup>3</sup> Critical Number



شکل ۳-۱: مراحل انجام تحلیل درخت خطا






### ۳-۵- نماد شناسی<sup>۱</sup>: بلوک های سازنده درخت خطا

در رسم گراف کلی مدل درخت خطا از نمادها و درگاه هایی استفاده می شود که هر کدام آنها بیانگر شرایطی از وضعیت کل سیستم می باشند. متداول ترین این نمادها در روش مورد بررسی قرار گرفته اند:

#### ۳-۵-۱- درگاه<sup>۲</sup> ها:

دو نوع درگاه پایه در درخت خطا وجود دارد: درگاه AND و درگاه OR انواع دیگر درگاه ها حالت های خاصی از این دو نوع درگاه پایه هستند.

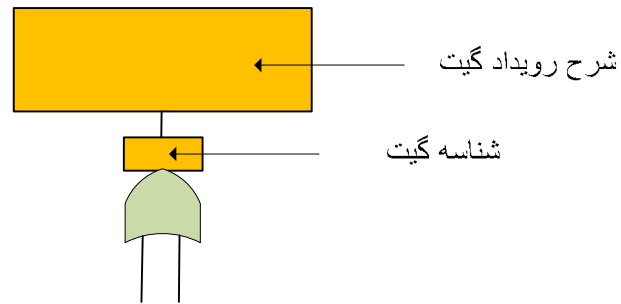
جدول ۳-۱: شرح انواع درگاه های مورد استفاده در ترسیم درخت خطا

نماد درگاه	شرح درگاه
	AND (و منطقی): خطای خروجی وقتی رخ می دهد که تمامی خطاهای ورودی همزمان اتفاق بیفتند.
	OR (یا منطقی): خطای خروجی وقتی رخ می دهد که حداقل یکی از خطاهای ورودی رخ بدهد.
	COMBINATION (ترکیب): خطای خروجی وقتی اتفاق می افتد که n تا از خطاهای ورودی رخ بدهند.
	PRIORITY AND (و همراه با اولویت): خطای خروجی وقتی اتفاق می افتد که تمامی خطاهای ورودی به ترتیب خاصی رخ بدهند.
	EXCLUSIVE OR (یا انحصاری): خطای خروجی وقتی رخ می دهد که دقیقاً یکی از خطاهای ورودی رخ بدهد.

#### ۳-۵-۱-۱- درگاه OR:

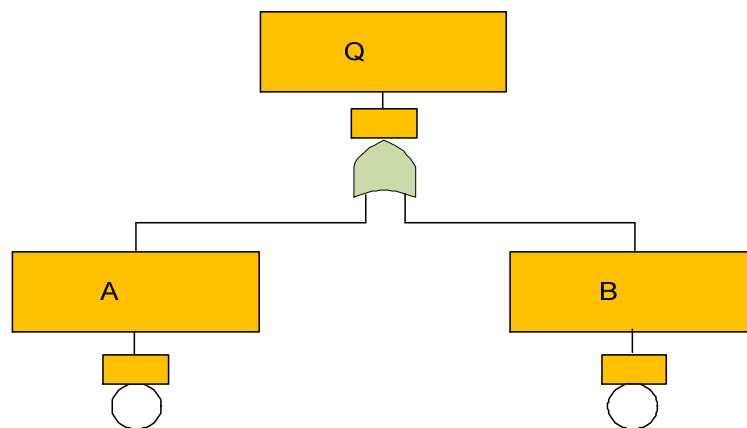
<sup>۱</sup> symbology

<sup>۲</sup> واژه Gate در فارسی ترجمه های متفاوتی بسته به کاربرد کلمه و موضوع دارد. در مدارات الکترونیکی به معنای درگاه استفاده شده است. در کاربردهای دیگر ترجمه های دریچه، منخل، دروازه، ورودیه و در بزرگ را برای این کلمه داریم.



شکل ۲-۳ : درگاه OR

در صورتیکه شرط وقوع رویداد خروجی درگاه ، وقوع حداقل یکی از رویداد های ورودی باشد ، از درگاه OR استفاده می شود . این درگاه می تواند دارای تعداد ورودی های دلخواه باشد . شکل ۳-۳ یک نمونه از درگاه OR با دو ورودی را نشان می دهد .



شکل ۳-۳ : درگاه OR با دو ورودی

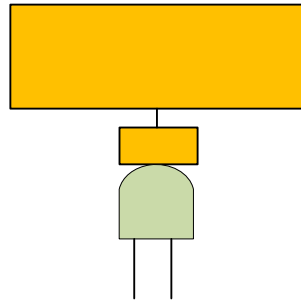
در این تصویر رویداد خروجی Q در صورتی رخ می دهد که :

رویداد A اتفاق بیفتد .

رویداد B اتفاق بیفتد .

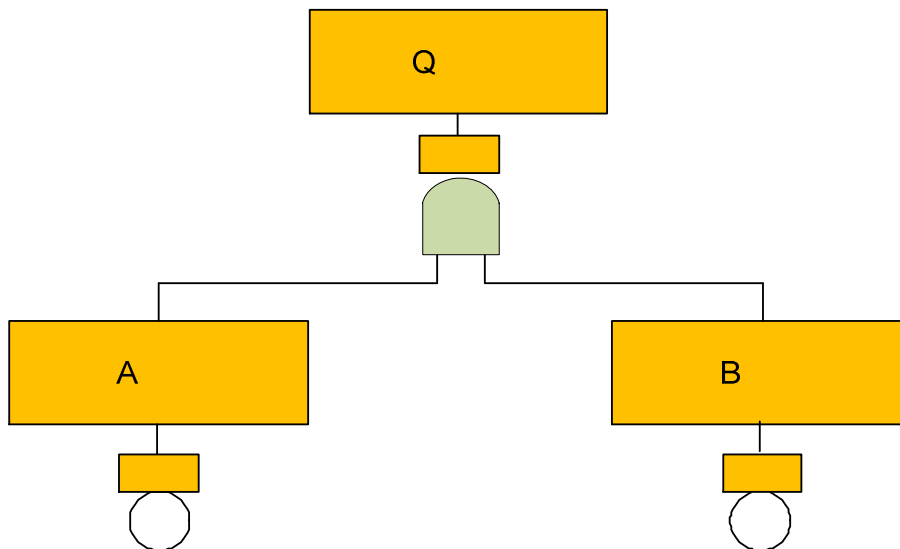
رویداد A یا B اتفاق بیفتد .

### ۳-۵-۱-۲-درگاه AND:



شکل ۳-۴: درگاه AND

درگاه AND علامت این است که وقوع رویداد خروجی مشروط به وقوع همزمان تمامی رویدادهای ورودی است. این درگاه می تواند به اندازه دلخواه ورودی داشته باشد. شکل ۳-۵ یک نمونه درگاه AND با خروجی Q و دو ورودی A و B را نشان می دهد. رویداد Q وقتی رخ می دهد که ورودی های A و B، همزمان رخ دهند.

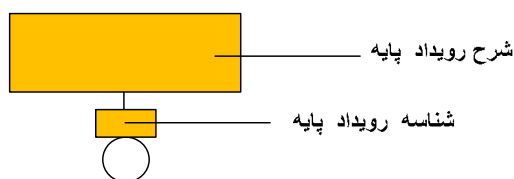


شکل ۳-۵: درگاه AND با دو ورودی



### ۳-۵-۲- رویدادهای پایه<sup>۱</sup>

رویدادهای پایه در درخت خطا رویدادهایی هستند که بدلیل رسیدن به مرزهای تحلیل یا نبود اطلاعات، بیش از این بسط نخواهند یافت. یعنی نقاط انتهایی درخت یا به عبارتی برگ های آن هستند. نرخ شکست یا احتمال وقوع این رویدادها، در حقیقت بانک اطلاعاتی درخت خطا را تشکیل می دهند که اساس وبنیاد ارزیابی کمی ریسک می باشد.



شکل ۳-۶: رویداد پایه

با قراردادن یک دایره در زیر شناسه رویداد، شناخته می شوند. این رویدادها، خطا یا شکست های آغازگر<sup>۲</sup> درخت خطا بوده و در مرزهای تحلیل قرار گرفته اند و بیش از این بسط نخواهند یافت.

جدول ۳-۲- شرح انواع رویداد های مورد استفاده در ترسیم درخت خطا

نماد رویداد	شرح رویداد
	رویداد پایه: یک خطای آغازین پایه که نیازی به توسعه بیشتر آن نیست.
	رویداد بسط نیافته: رویدادی که بدلیل عدم دسترسی به اطلاعات و یا بدلیل نارسا بودن پیامدها بسط داده نمی شود.
	رویداد شرطی: شرایط خاص یا محدودیت هایی که به هر درگاه منطقی اعمال می شود.
	رویداد خانه: رویدادی که انتظار می رود در شرایط عادی، حتماً اتفاق بیفتد.

<sup>1</sup> Basic Events

<sup>2</sup> Initiator

### ۳-۶- اهداف انجام آنالیز درخت خطا

- ❖ توالی شکست ها بصورت استقرائی مشخص می شوند.
- ❖ نقاط حساس و آسیب پذیر واحد شناسایی می شوند.
- ❖ برای مدیریت ریسک سیستم یک ابزار کمکی-گرافیکی است.
- ❖ در این تحلیل خطای انسانی در نظر گرفته می شود.

### ۳-۷- انواع خطا :

همچنین از منظری می توان وقایع را به دو گروه خطا<sup>۱</sup> و خرابی<sup>۲</sup> تقسیم بندی کرد. خرابی برای بیان وضعیت عنصری بکار می رود که برای ادامه انجام مطلوب وظیفه اش احتیاج به تعمیر دارد. برای مثال شکستن محور یک پمپ خرابی تلقی می شود. اما خطای یک عنصر، حالتی است که وضعیت نامطلوب فعلی بدون انجام تعمیر قابل رفع باشد. مثلاً کار نکردن یک سوئیچ به علت خیس بودن و در صورتی که با خشک شدن وظیفه اش را انجام دهد، خطا تلقی می شود. خطاها و خرابی ها خود به سه دسته تقسیم می شوند.

#### ۳-۷-۱- خطا/خرابی اولیه<sup>۳</sup> :

نقص در عملکرد یک عنصر، در محدوده مورد نظر و طراحی شده برای آن را گویند. برای مثال اگر یک مخزن تحت فشار در محدوده فشار طراحی شده اش به علت نقص در جوشکاری بدنه اش بترکد، خرابی از نوع اولیه محسوب می شود. در این گروه واقعه به علت عیب خود عنصر نه نیرو یا عامل خارجی، رخ می دهد.

#### ۳-۷-۲- خطا/خرابی ثانویه<sup>۴</sup> :

نقص در عملکرد یک عنصر هنگامی که خارج از شرایط طراحی شده قرار گیرد، خطا یا خرابی ثانویه می باشد. برای مثال اگر در اثر شرایط خاص فرآیندی فشار در همان مخزن تحت

<sup>۱</sup> Fault

<sup>۲</sup> Failure

<sup>۳</sup> Primary Fault/Failure

<sup>۴</sup> Secondary Fault/Failure

فشار بالاتر از فشار طراحی برود و مخزن بترکد، خرابی از نوع ثانویه محسوب می شود. در این نوع خطا ها یا خرابی ها، عوامل بیرونی نقش دارند.

### **۳-۷-۳- خطا/خرابی دستوری<sup>۱</sup>:**

نقص در عملکرد به علت نرسیدن دستور کنترلی را گویند. برای مثال اگر آلارمی بخاطر خرابی سنسور دما، بالا رفتن دما را اعلام نکند، خطای دستوری رخ داده است. در این حالت نه خود عنصر عیبی دارد و نه نیروی بیرونی به آن وارد می شود، اما به دلیل نرسیدن فرمان، وظیفه خود را انجام نمی دهد.

### **۳-۸- رسم درخت خطا تا چه سطحی ادامه می یابد؟**

اینکه تحلیل درخت خطا را تا چه سطح و عمقی جلو ببریم به پایان کار و نتایج حاصله معنی می بخشد. اگر درخت خطا بیش از حد بسط یافته و تا سطوح بسیار پایین تر ادامه پیدا کند نه تنها تلاش بیهوده ای محسوب می شود بلکه عدم قطعیت<sup>۲</sup> و عدم اطمینان بیشتری را در نتایج حاصله ایجاد می کند.

به عنوان یک قاعده کلی، درخت خطا را باید تا سطحی که ارتباط بین اجزاء را مشخص کرده و با میزان دسترسی به داده همخوانی داشته باشد، ادامه داد. پیشروی بیشتر باعث از دست رفتن انسجام و ساختار می شود. به عنوان مثال، یک شیر کنترل<sup>۳</sup> را ممکن است تا ریزترین قطعاتش تجزیه کرد اما آیا در چنین سطحی و تا این حد و اندازه، داده و اطلاعات موجود است و با فرض وجود، عدم اطمینان در نتایج کمی شده به شدت افزایش می یابد.

معمولاً درخت خطای مربوط به یک شکست و خرابی سیستمی، تا قطعات عمده سیستم بسط یافته و تا سطحی که به نقش ها و اجزاء اصلی مربوط می شود، ادامه پیدا می کند.

---

<sup>۱</sup> Command Fault/Failure

<sup>۲</sup> Uncertainty

<sup>۳</sup> Control valve

### ۳-۹- مدل سازی شکست‌های علت مشترک<sup>۱</sup>

منظور از شکست‌های علت مشترک، شکست (خرابی) دو یا چند قطعه به طور همزمان یا در فاصله‌ای نسبتاً کوتاه است که به خاطر یک علت مشترک باشد. قطعه، ممکن است هر عنصری از یک سیستم (مانند شیر کنترل، پمپ یا زیر سیستم‌هایی نظیر منبع تغذیه برق در صنایع نفت) باشد. شکست‌های علت مشترک در تحلیل درخت خطا، مانند دیگر شکست‌ها، به طور صریح دیده نمی‌شوند و در لفافه هستند بنابراین وابستگی یک قطعه را از نظر وظیفه و کارکرد به بخش تامین کننده سیستم (به عنوان مثال تغذیه برق یا سیم خنک‌ساز) نشان نمی‌دهند که مثلاً اگر جریان از طرف این بخش قطع شد، چه شکست‌های چندگانه‌ای ممکن است بوجود آید. بنابراین منظور ما از شکست‌های علت مشترک، یک وابستگی ضمنی است که می‌تواند باعث ایجاد شکست‌های یکسان در قطعات شبیه به هم شود.

اهمیت، این نوع از شکست‌ها به حدی است که حذف آنها ممکن است منجر به اشتباه قابل توجه‌ای در تخمین احتمال وقوع رویداد رأس شود و بایستی در تحلیل درخت خطا مدل شوند. برای اطمینان از لحاظ نمودن شکست‌های علت مشترک، بایستی عناصر و اجزای یکسان که مستعد شکست هستند را شناسایی و مدل نمود. مثال‌هایی از شکست‌های علت مشترک که ممکن است در سیستم رخ دهد، عبارتند از:

۱- یک عیب طراحی یا نقص مشترک در مواد سازنده قطعات مشابه یک کارخانه که ممکن است منجر به شکست در کارکرد یا عدم تحمل شرایط محیطی طراحی شده برای آنها شود. مثال‌هایی از این دست، ترک‌های آشکار نشده در بدنه موتورهای و یا استفاده از مواد ضعیف در پمپ‌ها، می‌باشد.

۲- از تنظیم خارج شدن چند قطعه بدلیل یک خطای نصب مشترک، مانند شیرهای یکطرفه‌ای که، بر عکس نصب شده‌اند و بعد از نصب، بازرسی و بازبینی نشده‌اند.

---

<sup>1</sup> Common Cause Failures (CCF)

۳- یک خطای تعمیر و نگهداری مشترک که منجر به عدم تنظیم چند قطعه و عدم کارایی آنها، شود. مانند شیرهای کنترلی که بعد از تعمیر به طور دقیق و در وضعیت مناسب در محل خود قرار نگرفته یا خوب کالیبره نشده باشند.

۴- شرایط ناهنجار محیطی مشترک مانند ارتعاش، تشعشع، رطوبت یا آلودگی که منجر به شکست و خرابی چندین قطعه شود.

اگر علت مشترک خاصی مانند خطای تعمیر و نگهداری به طور شفاف در درخت خطا آورده شود، در این صورت این خطا دیگر به عنوان شکست‌های علت مشترک مدل نخواهد شد. عموماً خطاهای علت مشترک، سهم بالقوه‌ای در شکست قطعات مشابه، نظیر دو شیر که مشخصه‌های یکسانی دارند، دو پمپ یکسان با مشخصه‌های فنی مشابه و غیره، دارند. همچنین اینگونه خطاها با بالا رفتن تعداد قطعات یکسان، نقش و سهم بارزتری در وقوع رویدادهای بالا دست، پیدا می‌کنند.

برای تشریح اهمیت خطاهای علت مشترک به ذکر یک مثال ساده می‌پردازیم که بی-ارتباط با وضعیت واقعی نیست. فرض کنید سه قطعه یکسان داریم که با شکست و خرابی هر سه، سیستم دچار شکست شود. این قطعات ممکن است شیر اطمینان، پمپ‌های هیدرولیک، کنترلر یا هر قطعه دیگری با کارکرد یکسان باشند. اگر هر قطعه یک مقدار احتمال شکست  $P$  برابر با  $0.01$  داشته باشد، در این صورت احتمال شکست همزمان هر سه قطعه با هم عبارت است از:

معادله ۳-۱

$$P_{\text{independent}} = P^3$$

$P_{\text{independent}}$ : یعنی

$$P_{\text{independent}} = 1 \times 10^{-3} \times 10^{-3} \times 10^{-3}$$

یا  $P_{\text{independent}}$

$$P_{\text{independent}} = 1 \times 10^{-9}$$

در نتیجه احتمال شکست سه قطعه به طور مستقل، یکبار در یک بلیون بار می شود. حال، فرض کنید که امکان شکست و خرابی قطعات با علت مشترک نیز وجود دارد و احتمال وقوع این شکست مشترک برابر با یک درصد (یعنی ۰/۰۱) باشد. تعبیر این عدد این است که بگوییم یک درصد از خطاها به دلیل شکست‌های علت مشترک است. به عنوان مثال ممکن است یک ترک مشترک در چندین قطعه وجود داشته باشد که به هنگام ساخت از چشم بازرسان بدور مانده باشد. به هر حال اگر به خاطر این عیب، یکی از قطعات دچار خرابی شود، دیگر قطعات نیز مصون نخواهند ماند.

بنابراین احتمال شکست مشترک ۳ قطعه، برابر است با:

معادله ۲-۳

$$PCCF = 1 \times 10^{-3} \cdot 1 \times 10^{-2}$$

یا

$$PCCF = 1 \times 10^{-5}$$

در نتیجه احتمال شکست مشترک برابر یک بار در صد هزار بار بوده و ده هزار مرتبه

بزرگتر از احتمال شکست مستقل می باشد.

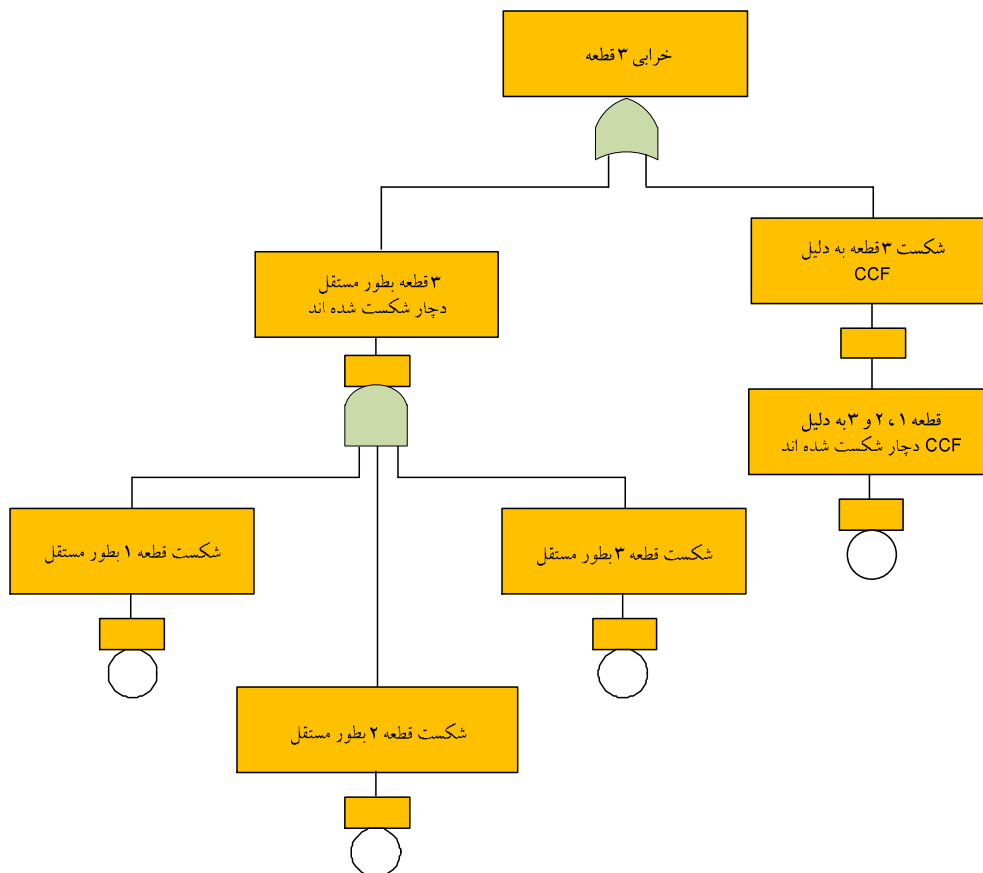
در واقع شکست‌های علت مشترک، یک احتمال شرطی بوده و به معنای شکست و خرابی دیگر قطعات به شرط خرابی یک قطعه مفروض می باشد. بنابراین احتمال شکست مشترک، کسری از شکست‌های دربرگیرنده تمامی قطعات مشابه می باشد و این مطلب اساس تخمین آن از داده‌ها است.\*

همانطور که مشاهده می شود، شکست‌های علت مشترک تمامی قطعات یک مجموعه مشابه را تحت تأثیر قرار می دهد و حتی اگر احتمال شکست آن ناچیز باشد، می تواند احتمال شکست تمامی قطعات را بالا برده و باعث شکست سیستم شود. (در مثال بالا حتی اگر احتمال شکست‌های علت مشترک یک در هزار بود، احتمال شکست سیستم به خاطر

شکست‌های علت مشترک ، یک بار در یک میلیون بار می‌شد که هزار برابر احتمال شکست سیستم به علت شکست مستقل قطعات است).

شکست‌های علت مشترک در درخت خطا بایستی به طور مجزا مدل شوند. برای سه قطعه مثال بالا، ساختار درخت خطا را در شکل ۷-۳ نشان داده‌ایم. همانطور که می‌بینید ، شکست‌های علت مشترک به عنوان یک شاخه مستقل مستقیماً با یک درگاه OR به رویداد رأس رسیده است . البته راه دیگری هم وجود دارد ، بدین شکل که رویداد خطای شکست-های علت مشترک ، با هر رویداد پایه بطور مستقل OR شود که بیشتر در مدلسازی سیستم-های پیچیده با وابستگی‌های تو در تو، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در تحلیل درخت خطا، نقش و سهم شکست‌های علت مشترک به عنوان رویدادهای مجزا بسیار مهم است. به هر حال برای فراموش نکردن و جا نگذاشتن شکست‌های علت مشترک ، یک قاعده ساده این است که هر کجا قطعات عامل یکسان داشتیم بایستی شکست-های علت مشترک آنها را در نظر بگیریم.



شکل ۳-۷: درخت خطای مربوط به شکست همزمان ۳ قطعه با در نظر گرفتن شکست های علت

مشترک

در مورد قطعات یکسان غیر عامل یا ایستا (مانند لوله ها و خطوط انتقال انرژی) و در صورت اهمیت نقش آنها در بروز رویدادهای بالا دست، نیز می توان شکست های علت مشترک را منظور نمود.

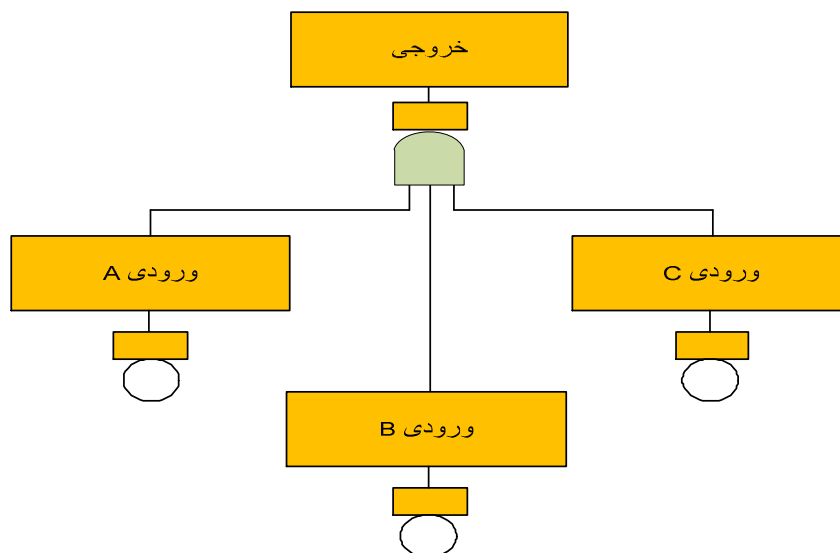


### ۳-۱۰- کاربرد جبر بولی در تحلیل درخت خطا

اکنون که درخت خطا به عنوان یک نمودار منطقی از زنجیره رویدادهای منتهی به وقوع یک رویداد خاص، درک شد. تعریف دقیق‌تری از رویدادهای درخت خطا ارائه می‌دهیم:

اگر رویدادی توسط رویدادهای دیگر، برانگیخته و شروع شود به آن خطا<sup>۱</sup> و اگر خود به تنهایی یک آغازگر اصلی باشد، شکست<sup>۲</sup> نامیده می‌شود.

در درخت خطا، رویدادهای خطا به رویدادهای شکست (و بالعکس) با استفاده از نمادهای خاصی به هم وصل می‌شوند. همانطور که در بخش چهارم شرح داده شد، نماد اساسی<sup>۳</sup> درگاه<sup>۴</sup> می‌باشد و هر درگاه خروجی و ورودی‌هایی نظیر شکل ۳-۸ دارد.



شکل ۳-۸: نقش دروازه در درخت خطا

خروجی درگاه، رویداد خطایی با سطح بالاتر و ورودی‌های آن نسبت به خروجی، سطح پایین‌تری دارند. رسم درخت خطا از رویدادهای خطای با سطح بالا شروع شده و به رویداد های شکست (پایه) سطح پایین ختم می‌گردد. در این فرآیند و به هنگام شرح و بسط رویدادها دائماً در مورد درگاه‌های مورد استفاده و مناسب برای ارتباط بین رویدادها، بحث و

<sup>۱</sup> Fault

<sup>۲</sup> Failure

<sup>۳</sup> Basic symbol

<sup>۴</sup> Gate

تصمیم گیری می شود . دو طبقه<sup>۱</sup> درگاه پایه ، درگاه AND و درگاه OR می باشد. چون این درگاهها، رویدادها را با روشی مشابه عملگرهای بولی به هم ربط می دهند ، تناظر یک به یکی بین نمایش جبر بولی و درخت خطا وجود دارد. قوانین جبر بول به طور خلاصه در جدول زیر آمده است:

جدول ۳-۳: شرح قوانین جبر بول

شرح	نمایش مهندسی	نمایش ریاضی
قانون جابجایی <sup>۲</sup>	$X \cdot Y = Y \cdot X$	(1a) $X \cap Y = Y \cap X$
قانون شرکت پذیری <sup>۳</sup>	$X + Y = Y + X$	(1b) $X \cup Y = Y \cup X$
قانون توزیع پذیری <sup>۴</sup>	$X \cdot (Y + Z) = (X \cdot Y) + (X \cdot Z)$ $X + (Y \cdot Z) = (X + Y) \cdot (X + Z)$	(2a) $X \cap (Y \cup Z) = (X \cap Y) \cup (X \cap Z)$ (2b) $X \cup (Y \cap Z) = (X \cup Y) \cap (X \cup Z)$
قانون همانی <sup>۵</sup>	$X \cdot X = X$	(4a) $X \cap X = X$
قانون جذب <sup>۶</sup>	$X + X \cdot Y = X$	(5b) $X \cup (X \cap Y) = X$
متمم گیری <sup>۷</sup>	$X \cdot X' = \phi$	(6a) $X \cap X' = \phi$
نظریه دمورگان <sup>۸</sup>	$(X')' = X$	(6c) $(X')' = X$
عملیات با تهی و مرجع	$\phi \cdot X = \phi$ $\phi + X = X$ $\Omega \cdot X = X$ $\Omega + X = \Omega$	(8a) $\phi \cap X = \phi$ (8b) $\phi \cup X = X$ (8c) $\Omega \cap X = X$ (8d) $\Omega \cup X = \Omega$
برخی روابط پر کاربرد دیگر	$X + X' \cdot Y = X + Y$ $X' \cdot (X + Y') = X' \cdot Y' = (X + Y)'$	(9a) $X \cup (X' \cap Y) = X \cup Y$ (9b) $X' \cap (X \cup Y') = X' \cap Y' = (X \cup Y)'$

<sup>1</sup> Category

<sup>2</sup> Commutative Law

<sup>3</sup> Associative Law

<sup>4</sup> Distributive Law


<sup>5</sup> Idempotent Law

<sup>6</sup> Law of Absorption

<sup>7</sup> Complementation

<sup>8</sup> de Morgan's Theorem

### ۳-۱۰-۱-درگاه OR

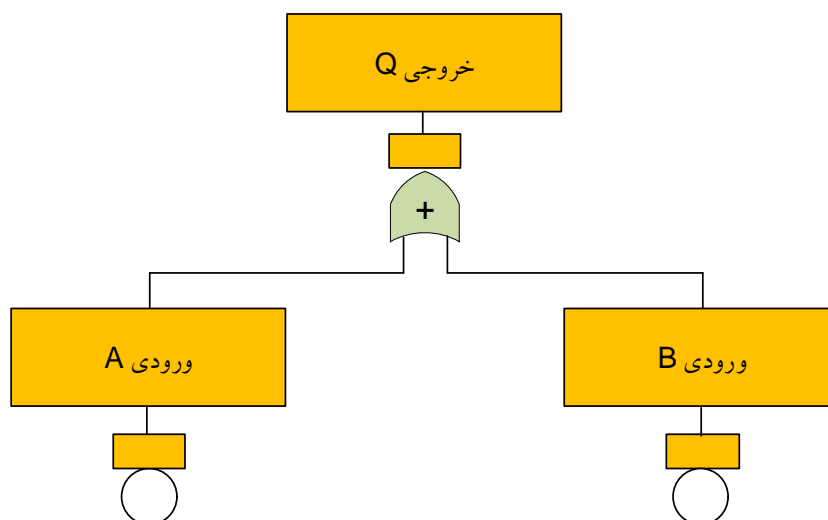
همانطور که در بالا گفته شد، نماد درگاه OR،  است که اجتماع رویدادهای وصل شده به آن را ارائه می‌دهد.

یعنی یکی یا همه رویدادهای ورودی بایستی رخ بدهند تا رویداد خروجی به وقوع بپیوندد. درگاه OR معادل نماد + درجبر بولی است و به علت شباهت عملکرد این درگاه با این نماد، گاهی اوقات در داخل نماد درگاه OR، علامت + گذاشته می‌شود. به عنوان مثال برای درگاه OR با دو ورودی که در شکل ۹-۳ رسم شده، عبارت معادل آن در جبر بولی به شکل  $Q = A + B$  آمده است. معادلات مربوط به شکل ۹-۳ بر حسب احتمال، عبارت است از:

$$P(Q) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) \quad \text{معادله ۳-۳}$$

و یا

$$P(Q) = P(A) + P(B) - P(A)P(B|A)$$



شکل ۹-۳ : درگاه OR با دو ورودی

مشاهده می‌شود که:

▪ اگر  $A$  و  $B$  رویدادهایی نامتداخل<sup>۱</sup> باشند در این صورت  $P(A \cap B) = 0$  است و

داریم :

معادله ۳-۴

$$P(Q) = P(A) + P(B)$$

▪ اگر  $A$  و  $B$  رویدادهایی مستقل<sup>۲</sup> باشند، داریم :  $P(B|A) = P(B)$  و

معادله ۳-۵

$$P(Q) = P(A) + P(B) - P(A)P(B)$$

▪ اگر رویداد  $B$  کاملاً به رویداد  $A$  وابسته باشد (یعنی با وقوع  $A$ ، رویداد  $B$  نیز اتفاق

بیفتد)، در این صورت:  $P(B|A) = 1$

اگر در معادله  $P(Q) = P(B)$  نتیجه می شود:

معادله ۳-۶

$$P(Q) = P(A) + P(B) - P(A)$$

▪ تقریب  $P(Q) \cong P(A) + P(B)$ ، همواره تخمین محافظه کارانه‌ای از رویداد خروجی

$Q$  است یعنی برای هر رویداد  $A$  و  $B$  داریم :

معادله ۳-۷

$$P(A) + P(B) \geq P(A) + P(B) - P(A \cap B)$$

▪ اگر  $A$  و  $B$ ، رویدادهایی مستقل و کم احتمال (مثلاً با احتمال کمتر از ۰/۱)، باشند در

این صورت،  $P(A \cap B)$  در مقایسه با  $P(A) + P(B)$ ، کوچک بوده و

$P(A) + P(B)$  تقریب دقیقی برای  $P(Q)$  خواهد بود.

▪ در یک درگاه OR انحصاری با دو ورودی  $A$  و  $B$  رویداد خروجی  $Q$  وقتی اتفاق می -

افتد که  $A$  یا  $B$  و نه هر دو رخ بدهند. عبارت احتمالی رویداد خروجی  $Q$  در یک درگاه OR

<sup>1</sup> Mutually exclusive

<sup>2</sup> Independent

انحصاری عبارت است از:

### ■ معادله ۳-۸

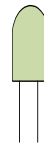
$$P(Q) \text{ Exclusive OR} = P(A) + P(B) - 2P(A \cap B)$$

با مقایسه معادلات (۱-۳) و (۲-۳) مشاهده می‌کنیم که اگر A و B مربوط به شکست قطعات کم احتمال باشند، تفاوت بین عدد احتمال بین دو عبارت، ناچیز است. به همین دلیل است که تمایز بین درگاه OR انحصاری و معمولی، در صورت پایین بودن عدد احتمال شکست‌ها و استقلال آن‌ها، ضرورتی ندارد.

البته در صورت وجود یک وابستگی قوی بین رویدادهای ورودی یا بزرگ بودن احتمال وقوع شکست‌ها، بایستی درگاه OR انحصاری را متمایز نمود. چرا که در این حالت عبارت اشتراک به حد کافی بزرگ و معنی‌دار بوده و در نتیجه به دست آمده، تأثیر گذار خواهد بود.

### ۳-۱۰-۲- درگاه AND

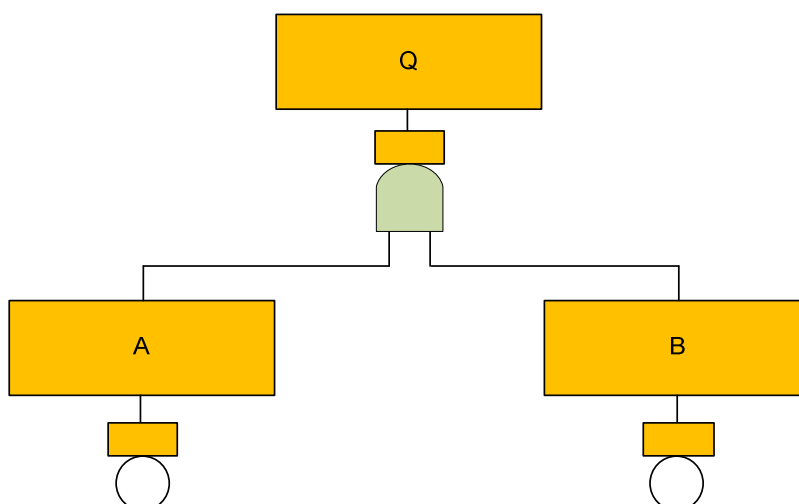
نماد درگاه AND است که اشتراک رویدادهای وصل شده به آن را نمایش می‌دهد.



درگاه AND معادل نماد «۰» در جبر بول است. تمامی رویدادهای متصل شده به درگاه AND بایستی رخ دهند تا رویداد خروجی درگاه به وقوع بپیوندد. در تصویر ۳-۱۰، یک درگاه AND با دو ورودی را مشاهده می‌کنید که معادله بولی آن  $Q = A.B$  است.

به علت شباهت عملکرد این درگاه با نماد «۰» در جبر بولی، گاهی اوقات در داخل نماد

درگاه AND، علامت «۰» می‌گذارند. (شکل ۳-۱۰ را ببینید)



شکل ۱۰-۳: درگاه AND با دو ورودی

از نظر احتمال برای دو رویداد A و B شکل ۱۰-۳ داریم:

معادله ۹-۳

$$P(Q) = P(A)P(B|A) = P(B)P(A|B)$$

از معادله بالا نتایج زیر نتیجه می شود:

▪ اگر A و B رویدادهایی مستقل باشد داریم:

معادله ۱۰-۳

$$P(B|A) = P(B), P(A|B) = P(A)$$

و در نتیجه:

معادله ۱۱-۳

$$P(Q) = P(B) P(A)$$

▪ اگر A و B مستقل نباشند،  $P(Q)$  ممکن است به طور معنی داری بزرگتر از

$P(B)P(A)$  باشد. برای مثال اگر در شرایط افراطی، B کاملاً وابسته به A باشد یعنی هر جا که

A رخ دهد، B نیز رخ دهد، در این صورت  $P(B|A) = 1$  است و در نتیجه  $P(Q) = P(A)$

می باشد.

### ۳-۱۱- کمی سازی درخت خطا و داده‌های مورد نیاز آن

■ برای محاسبه مقدار احتمال وقوع رویداد رأس در یک درخت خطا ، بایستی مقادیر احتمال رخداد هر یک از رویدادهای پایه را در دست داشته باشیم. سپس با جایگذاری این مقادیر در معادله بولی به دست آمده، که بر حسب مجموعه برشهای حداقل مرتب شده است ، می‌توان احتمال وقوع رویداد رأس را به دست آورد. همانطور که در بخش قبل شرح داده شد، یک روش ، استفاده از نمودار تصمیم دودویی<sup>۱</sup> و معادلات آن است. البته بیشتر نرم‌افزارهای درخت خطا، مجموعه برش های حداقل<sup>۲</sup> را به دست می‌آورند که عمده مزیت آن، ارائه اطلاعات باارزش بیشتر نظیر شاخص اهمیت است.

■ با توجه به اینکه رویداد رأس، حاصلجمع برش های حداقل است، می‌توان احتمال آن را با جمع نمودن احتمال برش‌ها، تقریب زد. البته فرض این تقریب که به تقریب رویداد نادر<sup>۳</sup> معروف است ، داشتن برش‌های حداقل با مقدار احتمال کمتر از  $0/1$  می‌باشد. واضح است که برقرار نبودن این شرط، مستلزم این است که احتمال اشتراک برش‌ها نیز محاسبه شود.

■ از طرفی یک مجموعه برش حداقل ، اشتراک رویدادهای پایه است و در جبر بولی بصورت حاصلضرب رویدادهای پایه (مثلاً A.C.D و یا خیلی ساده ACD ) نوشته می‌شود . بنابراین احتمال یک برش حداقل ، با ضرب احتمال<sup>۴</sup> ها به دست می‌آید. بنابراین احتمال رویداد رأس در واقع حاصل جمع حاصلضرب احتمال رویدادهای پایه منفرد است که به تقریب جمع حاصل ضرب ها<sup>۵</sup> معروف است. در صورتیکه اکثر اعداد احتمال رویدادهای پایه کمتر از  $0/1$  باشد ، این تقریب دقتی تا دو رقم اعشار دارد . برای بررسی میزان دقت این تقریب می‌توان از یک تقریب مرتبه دوم (که شامل محاسبه احتمال اشتراک هر جفت برش حداقل می‌شود) و مقایسه آن با نتیجه به دست آمده استفاده کرد.

■ معادل ریاضی گفته‌های بالا عبارت است از:

<sup>1</sup> Binary decision diagram

<sup>2</sup> Minimal cut set

<sup>3</sup> Rare event approximation

<sup>4</sup> Basic Event

<sup>5</sup> Sum of products approximation

$$P(Top) = \sum P(M_i) \quad \blacksquare \text{ معادله ۳-۱۲}$$

$$P(M_i) = P(BE1)P(BE2) \dots P(BEK) \quad \blacksquare \text{ معادله ۳-۱۳}$$

▪ که در آن عبارت  $P(\quad)$  ، احتمال رویدادی را نشان می‌دهد که در داخل پرانتز قرار دارد و منظور از TOP، رویداد رأس<sup>۱</sup> است. همچنین  $M_i$  ، یک مجموعه برش حداقل خاص ، رویدادهای پایه  $M_i$  ، K تعداد رویدادهای پایه و  $\sum$  علامت جمع می باشد .

▪ اگر درخت خطا کوچک و تعداد رویدادها کم باشد، به راحتی می‌توان تمامی برش-های حداقل را نوشت. اما برای درخت خطاهای بزرگ که تعداد رویدادهای آن مثلاً بیش از ۱۰۰ عدد با تعداد زیادی درگاه‌های AND و OR باشد، شمار برش‌های حداقل از یک میلیون بیشتر می‌شود و نیاز به استفاده از نرم‌افزار می‌باشد. اکثر نرم‌افزارهای درخت خطا ، تکنیک‌هایی را برای تخمین شمار کلی برش‌های حداقل براساس تعداد رویدادهای پایه، درگاه‌ها و نوع آنها، دارند.

### ۳-۱۲- داده‌های مورد نیاز

▪ همانطور که قبلاً گفته شد برای کمی سازی درخت خطا نیاز به داده‌های شکست رویدادهای پایه می‌باشد. بدین منظور پایگاه‌های داده براساس نوع رویدادهای پایه تقسیم بندی شده‌اند. داده‌های موجود در این پایگاه‌ها از فرمول‌های استاندارد احتمال و قابلیت اطمینان برای محاسبه احتمال رویدادها استفاده می‌کنند. انواع داده‌های اصلی مورد نیاز برای کمی سازی درخت خطا عبارت است از:

#### ۳-۱۲-۱- داده‌های نرخ شکست قطعات

▪ این داده‌ها برای محاسبه احتمال شکست و عدم دسترسی قطعه، مورد نیاز است. اگر از یک پایگاه داده نرخ شکست استفاده شود، حالت شکست قطعات نیز مشخص می‌گردد. البته اگر قطعه در شرایط محیطی خاصی قرار داشته باشد، بایستی در استخراج نرخ شکست از این نوع پایگاه‌ها، دقت کرده و اصلاحات لازم را انجام داد. مورد دیگر اینکه بایستی براساس

---

<sup>1</sup> Top Event



وضعیت کاری یا آماده باش قطعه، نرخ شکست را تعیین کرد. نرخ شکست در حالت دوم مربوط به زمانی است که قطعه در حالت آماده باش قرار دارد و بایستی احتمال شکست آن را در صورت فراخوانی محاسبه نمود. نرخ شکست در حالت اول مربوط به زمانی است که قطعه با موفقیت فراخوانی شده و شروع به کار کرده است و می‌خواهیم احتمال خرابی قطعه را در هنگام کارکرد آن محاسبه کنیم. البته در این حالت بایستی بازه زمانی کار قطعه نیز مشخص گردد و در حالت آماده باش، مدت زمان متوسط خرابی قطعه قبل از اتمام تعمیرات، به منظور محاسبه عدم دسترسی مورد نیاز است. نرخ‌های شکست گاهی به جای اینکه برحسب ساعت باشند براساس تقاضا آورده می‌شوند.

### ۳-۱۲-۲- داده‌های مربوط به خطای انسانی

■ داده‌های موجود در پایگاه‌های داده خطای انسانی براساس نرخ خطا در هنگام عمل است. کمی‌سازی یا بررسی قابلیت اطمینان خطای انسان، به غیراز تحلیل عوامل انسانی می‌باشد. تحلیل عوامل انسانی، جنبه‌های روانی عوامل تأثیرگذار بررفتار انسانی را بررسی می‌کند و کیفی است در صورتیکه تحلیل قابلیت اطمینان انسانی به کمی‌سازی و محاسبه احتمال انواع مختلف اعمال انسانی می‌پردازد و برای همین قابل استفاده در درخت خطا است.

■ برای کمی کردن خطاهای انسانی در درخت خطا نیاز به یک پایگاه داده نرخ خطای انسانی می‌باشد و خطاهای انسانی ذکرشده در تحلیل درخت، بایستی با موارد موجود در این پایگاه داده، انطباق داده شود و در صورت عدم انطباق اغلب از تجربه کارشناسان برای تخمین نرخ خطای انسانی استفاده می‌گردد. اگر بخواهیم خیلی محافظه کارانه عمل کنیم، می‌توانیم برای اینگونه خطاها، نرخ بالایی در نظر گرفته و با انجام آزمون حساسیت، حساسیت احتمال رویداد رأس به دست آمده را نسبت به این مقادیر تعیین کنیم. البته در هر حالت همواره یک عدم قطعیت در نرخ خطای انسانی وجود دارد که بایستی براساس تغییرات احتمالی در عملکرد انسان و شرایط موجود و همچنین خطای ناشی از تخمین‌های آماری، مدنظر قرار بگیرد.

### ۳-۱۲-۳- داده‌های شکست‌های علت مشترک

■ در صورتیکه شکستهای علت مشترک در درخت خطا مدل شده باشد بایستی داده-های مربوط به این نوع شکست‌ها تهیه شود. عموماً در این حالت، احتمالات شرطی هستند و براساس ضرایب بتا تعیین می‌شوند. البته مانند بخش قبل، به منظور تست حساسیت، بهتر است، مقادیر بزرگتری برای پارامترها در نظر گرفت و اگر رویداد رأس حساسیت زیادی نسبت به این مقادیر نشان داد، ارزیابی دقیقتری از آنها انجام دهیم.

### ۳-۱۳- سنجش اهمیت<sup>۱</sup> در درخت خطا

■ یکی از مهمترین خروجی‌های تحلیل درخت خطا، اندازه‌گیری اهمیت نتایج حاصله است. البته میزان اهمیت رویدادها را می‌توان در تمامی سطوح درخت خطا و برای رویدادهای فرعی انجام داد تا سهم آنها در وقوع رویداد رأس مشخص شود و با توجه به نتایج آن، بتوان رویدادهای میانی (رویدادهای درگاه) و حتی رویدادهای پایه را بر اساس اهمیتشان، الویت بندی کرد.

■ این سنجش‌ها، هم به صورت نسبی و هم مطلق محاسبه می‌شود آنچه اغلب به هنگام محاسبه این اهمیت‌ها نتیجه‌گیری و استنباط می‌شود این است که تنها تعداد اندکی از رویدادها، نقش برجسته‌تری در وقوع رویداد رأس دارند. در بسیاری موارد کمتر از ۲۰ درصد رویدادها در ۹۰ درصد وقوع رویداد رأس نقش دارند.

■ علاوه بر مشخص شدن میزان اهمیت رویدادها، از دیگر نتایج سودمند این اندازه-گیری، روشن شدن وضعیت تخصیص منابع به منظور، تست، تعمیر و نگهداری<sup>۲</sup>، بازرسی<sup>۳</sup>، کنترل کیفیت<sup>۴</sup> و غیره می‌باشد. تا بدینوسیله، با بهینه سازی توزیع منابع، هزینه‌ها به حداقل برسد و سیستم به وضعیت بهتری سوق داده شود.

<sup>۱</sup> Importance Measure

<sup>۲</sup> maintenance

<sup>۳</sup> inspection

<sup>۴</sup> quality control

▪ از طرفی اگر هزینه از قبل برای مثلاً بالا بردن سطح کیفی سیستم یا تعمیر و نگهداری اختصاص داده شده باشد، با تشکیل درخت خطا و تعیین میزان اهمیت رویدادها، می‌توان احتمال وقوع رویداد رأس را به حداقل رساند.

▪ علاوه بر تخصیص منابع، از سنجش اهمیت می‌توان برای تعیین زمان های تعمیر یا از سرویس خارج کردن قطعات، بهره برد. آنچه مسلم است قطعه‌ایی که سهم عمده‌ای در وقوع رویداد رأس دارد بایستی در زمان کمتری تعمیر شود یا از سرویس خارج گردد.

▪ سنجش‌های اهمیتی که در تحلیل درخت خطا رایج است عبارتند از :

#### ▪ الف) سنجش اهمیت Fussell-Vesely (F-V) Importance

▪ این سنجش، سهم رویدادها را در احتمال وقوع رویداد رأس مشخص می‌کند و به هر دوشکل نسبی و مطلق انجام می‌شود.

#### ▪ ب) سنجش اهمیت Risk Reduction Worth (RRW)

این سنجش میزان کاهش احتمال وقوع رویداد رأس در صورت اطمینان دادن از عدم وقوع یک رویداد مفروض، را مشخص می‌کند این سنجش نیز به هر دو شکل نسبی و مطلق انجام شده و به سنجش RRW معروف است. روش انجام آن بدین صورت است که بایستی با صفر نمودن احتمال یک رویداد مفروض، احتمال وقوع رویداد رأس را مجدداً تعیین کرد.

#### ▪ ج) سنجش اهمیت Risk Achievement Worth (RAW)

این سنجش میزان افزایش احتمال وقوع رویداد رأس در صورت اطمینان از وقوع یک رویداد مفروض را مشخص می‌کند. سنجش RAW، مسیر فعالیت‌های پیشگیرانه<sup>۱</sup> را برای اطمینان از عدم وقوع یک شکست نشان می‌دهد چرا که شکست‌هایی با RAW بزرگ تأثیر منفی بیشتری بر روی سیستم داشته و بایستی از وقوع آنها پیشگیری شود. مجدداً هر دو سنجش نسبی و مطلق قابل انجام است و برای محاسبه آن بایستی احتمال وقوع رویداد رأس را مجدداً با فرض یک بودن احتمال وقوع یک رویداد مفروض، محاسبه کرد.

---

<sup>۱</sup> prevention activities

### ▪ (د) سنجش اهمیت Birnbaum (BM)

این سنجش نرخ تغییر در احتمال وقوع رویداد رأس را براساس تغییر عدد احتمال یک رویداد مفروض، تعیین می‌کند. سنجش BM، همان تحلیل حساسیت<sup>۱</sup> است و روش انجام آن بدین صورت است که برای یک رویداد داده شده، ابتدا مقدار احتمال یک در نظر گرفته شده و سپس احتمال وقوع رویداد رأس مشخص می‌شود و بعد مقدار احتمال رویداد مزبور، با عدد صفر جایگزین شده، مجدداً احتمال وقوع رویداد رأس محاسبه می‌گردد و دو مقدار فوق از هم کم می‌شوند. ارتباط BM با دو روش قبل عبارت است از:

معادله ۳-۱۴

$$BM = RAW + RRW$$

### ۳-۱۴- محاسبه احتمال خطای انسانی

آخرین رویداد منفرد، شاید مهم ترین آنها هم باشد. در واقع هر کجا که انسان با ماشین تعامل داشته باشند، احتمال خطا از طرف انسان بسیار بیشتر از ماشین است. شاید در مورد دستگاه ها و تجهیزات الکتریکی و مکانیکی مورد استفاده در صنعت بتوان به طریقی نوع شکست ها را طبقه بندی و شناسایی نمود. اما در مورد اپراتورها و کاربران این دستگاه ها انجام این طبقه بندی ساده نیست.

کارگرانی که وظیفه راه اندازی و بهره برداری از تجهیزات را به عهده دارند، حتی آنها که با تجربه هستند، گاه مرتکب خطاهایی می شوند که سلامت خود را به خطر می اندازند و یا سبب وارد آمدن آسیب به تجهیزات می شوند. در مورد سکوهای گازی و در بسیاری از واحدهای فرآیندی، خطاهای مشابهی از طرف اپراتورها رخ می دهد. برخی از این خطاها عبارتند از: فراموشی در باز یا بستن شیر تخلیه، گزارش نکردن مشکلات ایمنی، از کار انداختن یا بای پاس کردن سیستم های ایمنی، رعایت نکردن توالی مراحل یک روش اجرائی، اقدامات خودسرانه و یکطرفه، عدم توجه به علائم هشداردهنده، نصب اشتباه

---

<sup>1</sup> Sensitivity analysis

شیرهای یکطرفه ، قرائت اشتباه ارقام و اندازه ها ، عدم بررسی صحت اطلاعات یا پیام های دریافتی ، زدن اشتباه کلیدها ، ترک پُست و عدم توجه به تعمیرات پیشگیرانه .

همچنین برخی از اقدامات یا تصمیم گیری های اشتباه خود مسبب خطاهای انسانی است . به عنوان مثال جایگزین کردن اپراتور ماهر و مجرب با اپراتور جدید و آموزش ندیده ، عدم توجه به شرایط نامناسب محیط کار ( از کار افتادن سیستم تهویه و تبرید ، نور کم ، سروصدا ، میزو صندلی های غیر ارگونومیک ) ، عدم توجه به قابلیت ها و توانایی های افراد ، طولانی کردن ساعات کاری و ارجاع وظایف غیرتخصصی به اپراتور ها ، نمونه هایی از این نوع اقدامات حادثه ساز است .

در سال ۱۹۸۰ به وسیله Colombari , Bello روش TESEO ایجاد و جهت صنایع فرآیندی مورد استفاده قرار گرفت. این روش نسبتا سراسر است و آسان جهت کار بوده اما در عین حال محدود می باشد و جهت ارزیابی قابلیت اطمینان به صورت یک بازبینی سریع به کار می رود. و در صنایع بهداشتی ، اتمی ، مهندسی، حمل و نقل و بخشهای تجاری کاربرد داشته و ضمنا مدلی بر مبنای زمان می باشد. این روش احتمال خطا را به صورت حاصل ضرب احتمالات ۵ عامل اصلی به دست می آورد.

جدول ۳-۴ : شاخص احتمال خطای انسانی

بازه تغییرات	توضیح
(۰.۰۰۱-۰.۱)	نوع وظیفه‌ای که باید اجرا شود.
(۰.۱-۱۰)	زمان مورد نیاز که باید اپراتور کارش را کامل کند.
(۰.۵-۳)	سطح مهارت اپراتور
(۱-۳)	حالت ذهنی اپراتور
(۰.۷-۱۰)	شرایط رایج ارگونومی و محیطی

با توجه به نمودارها و جداول مربوطه شاخص احتمال خطای انسانی کلی<sup>۱</sup> با فرمولاسیون ذیل خطا را محاسبه می نماید.

معادله ۳-۱۵

$$HEP = K1 \times K2 \times K3 \times K4 \times K5$$

و همانطور که در فوق ذکر شده بازه تغییرات **K1** الی **K5** در شرایط مختلف متغیر می باشند که مطابق با جدول ذیل (که تغییرات بازه مربوط به عوامل **K1** و **K2** و **K5**) را نمایش می دهد) می باشد و ضمناً هر جا **Pe > 1** محاسبه شد، باید آن را برابر **Pe = 1** فرض نماییم.

<sup>1</sup> Human Error Probability Index

جدول ۳-۵: ضرائب عددی مورد استفاده در روش TESEO

<p><b>نوع فعالیت</b></p> <p>ساده ، روتین</p> <p>روتین نیاز به توجه</p> <p>غیر روتین</p>	<p><b>K<sub>1</sub></b></p> <p>۰.۰۰۱</p> <p>۰.۰۱</p> <p>۰.۰۱</p>
<p><b>اهمیت آنی برای کارهای روتین</b></p> <p>زمان کاردر دسترس (ثانیه)</p> <p>۲</p> <p>۱۰</p> <p>۲۰</p>	<p><b>K<sub>2</sub></b></p> <p>۱۰</p> <p>۱</p> <p>۰.۵</p>
<p><b>اهمیت آنی برای کارهای غیر روتین</b></p> <p>زمان موجود(ثانیه)</p> <p>۳</p> <p>۳۰</p> <p>۴۵</p> <p>۶۰</p>	<p><b>K<sub>2</sub></b></p> <p>۱۰</p> <p>۱</p> <p>۰.۳</p> <p>۰.۱</p>
<p><b>کیفیت اپراتور</b></p> <p>انتخاب دقیق، باتجربه ، آموزش دیده</p> <p>دانش و آموزش متوسط</p> <p>دانش و آموزش کم</p>	<p><b>K<sub>3</sub></b></p> <p>۰.۵</p> <p>۱</p> <p>۳</p>
<p><b>فاکتور اضطراب در فعالیت</b></p> <p>شرایط اضطرابی مهم</p> <p>شرایط اضطرابی بالقوه</p> <p>شرایط نرمال</p>	<p><b>K<sub>4</sub></b></p> <p>۳</p> <p>۲</p> <p>۱</p>
<p><b>فاکتور ارگونومیک فعالیت</b></p> <p>محیط زیست عالی ، تماس عالی با طبیعت</p> <p>محیط زیست خوب ، تماس خوب با طبیعت</p> <p>محیط زیست مجزا ، بدون تماس با طبیعت</p> <p>محیط زیست مجزا ، تماس کم با طبیعت</p> <p>محیط زیست بد ، تماس کم با طبیعت</p>	<p><b>K<sub>5</sub></b></p> <p>۰.۷</p> <p>۱</p> <p>۳</p> <p>۷</p> <p>۱۰</p>

### ۳-۱۵- روش شناسی (TESEO)

هنگام استفاده از روش TESEO، یک ارزیابی قابلیت اطمینان انسان<sup>۱</sup> مورد نیاز می‌باشد که بنابراین ارزش  $K_n$  برای هر محتوا از روی جداول مربوط که در قبل ذکر شد تعیین می‌شود.

در ذیل به یک نمونه جهت تقریب به ذهن اشاره می‌نمائیم.

فرض نمایید یک اپراتور در یک خط انتقال تولید بین ۲ مخزن کار می‌کند و نقش او در این کارخانه اطمینان از انتقال یک محصول سالم منتخب از یک مخزن به دیگری (که توسط شیرهای محلی کنترل از راه دور انجام می‌شود)، می‌باشد.

و لازم به ذکر است که شیرهای اصلی باید جهت انجام این کار باز باشند و سطح مهارت و تجربه اپراتور در حد متوسط برای این کار بوده و فرد در یک اتاق کنترل با سر و صدای نسبتاً زیاد و نور کم مستقر است.

و زمان پنجره برای این کار ۵ دقیقه در نظر گرفته شده است.

با مراجعه به نمودارهای و جداول برای محاسبه احتمال خطاهای انسانی اعداد زیر بدست می‌آید.

$$K_1 = 0.01, K_2 = 0.5, K_3 = 1, K_4 = 1, K_5 = 10$$

و در نتیجه:

$$HEP = 0.01 \times 0.5 \times 1 \times 1 \times 10 = 0.05$$

نتیجه:

با توجه به جواب به دست آمده برای احتمال خطاهای انسانی این احتمال می‌تواند در صورت کاهش احتمال  $K_5$  (شرایط محیطی وارگونومی)، کاهش یابد زیرا در شرایط محیطی بهتر اتاق کنترل و حالت‌های شیرها  $K_5$  می‌تواند به جای ۱۰، ۱ شود و در این صورت قابلیت اطمینان انسان به جای ۰.۰۵ عدد ۰.۰۰۵ محاسبه شود.

---

<sup>1</sup> Human Reliability Assessment



### ۳-۱۶- مزایای روش TESEO

این روش در مقایسه با روش HRA بسیار ساده است و سریع می باشد. نه تنها در تولید نتیجه نهایی بلکه در تحلیل های حساس نیز این روش در تشخیص اثرات و بهبود در عوامل انسانی در یک ارزیابی قابلیت اطمینان کلی انسان مفید و سودمند خواهد بود. لازم به ذکر است این روش کاربرد وسیعی در طراحی اتاق های کنترل با روش ها و مشخصات مختلف دارد.

اما خطاهای انسانی مورد هدف ما در پروژه تحلیل درخت خطا ، خطاهایی است که متوجه اپراتور ها و افراد مستقر در اتاق کنترل است . نوع دیگر خطاها که مد نظر این پروژه است مربوط می شود به زمان تعمیر و نگهداری تجهیزات بخصوص ادوات کنترل ابزار دقیق و تجهیزاتی که در بخش تأمین هوا یا برق واحد ، نصب شده اند . بنابراین دسته بندی ما از خطاهای انسانی به شرح زیر است :

- خطا در تشخیص سطح مایع
- خطای ناشی از فراموشی
- خطاهای ناشی از عملکرد تأخیری
- عدم حضور در اتاق کنترل
- خطاهای اقدامی (اشتباه زدن کلیدها ، عدم دقت در دستورالعمل )
- خطا در تعمیر و نگهداری
- نداشتن مهارت و تجربه (بخصوص افرادی که جدید هستند یا کارآموزند)
- نداشتن آگاهی (عدم آشنایی با فرآیند ها و دستورالعمل مقابله با شرایط اضطراری )

### ۳-۱۷- مروری بر تسهیلات سکویای طرح توسعه فاز ۱۸و۱۷ :

طرح توسعه فاز ۱۸و۱۷ پارس جنوبی شامل دو سکوی NNM سرچاهی با نام های ۱۷ و ۱۸ می باشد. (هرکدام شامل ۱۵ جایگاه بهره برداری از چاه). سکوها در عمق حدود ۷۰ متری آب مستقر شده و هرکدام شامل ۱۰ چاه فعال می باشند.

بر اساس فلسفه طراحی کارکنان بهره برداری بوسیله هلیکوپتر و یا قایق یا شناور به جهت امور تعمیر و نگهداشت، تست و سایر فعالیت های ادواری تردد خواهند نمود (که این مهم تا کنون محقق نشده است) و یک اتاق کنترل جهت استقرار موقتی برای ۶ نفر در نظر گرفته شده است.

این سکو ها به گونه ای طراحی شده که درحین بهره برداری، فعالیت های حفاری، از جمله اسید شویی و ازدیاد برداشت در آنها انجام گیرد. حداکثر میزان تولید در نظر گرفته شده برای هر کدام از این سکو ها ۱۲۰۰ میلیون فوت مکعب در شرایط نرمال می باشد.

هر کدام از این سکو ها بایستی آب و میعانات گازی همراه آب را از سیال ورودی از چاه ها جدا می کند که فرآیند اصلی شامل موارد زیر می باشد :

• جدا کننده تست<sup>۱</sup> با متعلقات ابزار دقیقی جهت تست و دریافت نمونه هر یک از

چاه ها

• دو ظرف مایع گیر<sup>۲</sup> برای جدا سازی که شامل دو نوع سیستم زیر می باشند:

✓ جدا کننده گاز/مایع

✓ جدا کننده مایع/مایع

• سیستم تصفیه آب هیدرو کربنی<sup>۳</sup>:

وظیفه این سیستم جدا سازی هیدروکربن های محلول در آب تولیدی از چاه ها را برعهده دارد که پس از جدا سازی این هیدروکربن ها و رسیدن میزان هیدروکربن محلول در آب به مقدار 10ppm بر اساس استاندارد آبهای آزاد) آن را به دریا تخلیه می نماید.

• خطوط ۳۲ اینچ<sup>۴</sup> دریا: این خطوط گاز و میعانات گازی را از هر کدام از سکو ها یه

پالایشگاه خشکی انتقال میدهد.

---

<sup>1</sup> TEST SEPARATOR

<sup>2</sup> Free Water Knock Out Drum

<sup>3</sup> OILY WATER TREATMENT

<sup>4</sup> SEA LINE

- تسهیلات تزریق محلول ضد خوردگی و منواتیلن گلایکول<sup>۱</sup> ۷۰٪ وزنی به خط دریا
- جهت ممانعت از تشکیل هیدرات و خوردگی. محلول منواتیلن گلایکول توسط یک خط<sup>۲</sup> اینچ از خشکی دوباره به هر یک از سکو ها انتقال داده میشود.
- سیستم فلرینگ و گاز سوخت<sup>۳</sup>
- واحد های پشتیبانی<sup>۴</sup> ( تولید هوا، دیزل، و . . . )

### ۳-۱۸- مراحل انجام پروژه :

- ۱- شناخت سیستم و انتخاب زیر سیستم :
  - مدارک و مستنداتی از جمله نمودار لوله کشی و ابزار دقیق فرآیند<sup>۵</sup> و جداول علت و معلول<sup>۶</sup>
  - جلسات مهندسی با سرپرستان بهره برداری
  - فلسفه طراحی سکو<sup>۶</sup>
- ۲- تعیین رویداد نامطلوب:
  - شدت هریک از رویداد ها، توقف اضطراری سکو در نظر گرفته شده و فاکتور اصلی در میزان ریسک هر یک از رویداد های راس میزان احتمال شکست می باشد.
  - مدرک علت و معلول مبنای انتخاب رویداد نامطلوب
- ۳- رسم درخت خطا و مشخص نمودن مجموعه برش های حداقل
  - استفاده از نرم افزار Fault Tree + جهت رسم و محاسبه میزان شکست
  - استفاده از درگاه های OR و And به عنوان پر کاربرد ترین گیت ها
  - محاسبه خارج از سرویس بودن هر تجهیز با استفاده از منبع OREDA
  - ورود اطلاعات به نرم افزار و محاسبه خارج از سرویس بودن رویداد راس

<sup>۱</sup> MEG

<sup>۲</sup> Fuel Gas

<sup>۳</sup> Utility

<sup>۴</sup> Piping and instrumentation diagram(P&ID)

<sup>۵</sup> Cause & Effect

<sup>۶</sup> Design Philosophy

#### ۴- تعیین و رتبه بندی رویداد های راس:

- رویداد های فرعی بر اساس مدارک نمودار لوله کشی و ابزار دقیق فرآیند و جداول

علت و معلول

- رتبه بندی هر یک از رویداد های اصلی بر اساس ماتریس بحرانی و احتمال وقوع

تعیین خواهد شد.

#### ۵- بررسی رویداد ها و ارائه اقدامات اصلاحی:

- در این بخش بر اساس رویداد های راس بر اساس اولویت بندی مورد بررسی قرار

گرفته و برای هر یک اقدامات اصلاحی متناسب ارائه می گردد.

تشریح رویه رسم درخت خطا بوسیله نرم افزار (+ fault tree)

مهمترین بخش این مطالعه رسم درخت خطا براساس موارد مطروحه برای نمونه موردکاوی می باشد. در حال حاضر این مرحله به دلیل پیچیدگی روابط مربوط به درخت خطا و همچنین زمان بر بودن محاسبات آنها، توسط نرم افزارهای کامپیوتری انجام می شود که تعداد معدودی از این نرم افزارها وجود دارند. یکی از بروزترین و کاربردی ترین آنها نرم افزار Fault Tree + است که به منظور ترسیم درخت خطا در این پروژه مورد استفاده قرار گرفته است. برای اینکه بتوانیم با کمک نرم افزار Fault Tree + درخت خطای رسم شده را کمی نموده به شاخص خارج از دسترس بودن را به عنوان ورودی نرم افزار نیاز داریم. براساس مستندات و مدارک موجود از جمله : OREDA این شاخص بوسیله دو فاکتور: نرخ شکست<sup>۱</sup> و زمان تعمیر<sup>۲</sup> بدست می آید که در بخش های بعدی نحوه محاسبه آنها به تفصیل آورده شده است.

---

<sup>1</sup> Failure Rate

<sup>2</sup> Repair Time

**فصل چهارم :**  
**جمع بندی و تحلیل نتایج**

## ۴-۱- تشریح سیستم توقف اضطراری<sup>۱</sup>:

سلسله مراتب سیستم توقف اضطراری چهار سطح می باشد که به ترتیب درجه کاهش درجه ریسک به شرح ذیل می باشد:

جدول ۴-۱: سلسله مراتب سیستم توقف اضطراری

شناساگر سطح	تعریف سطح توقف	سطح توقف اضطراری
ESD ۰	توقف اضطراری کلی <sup>۲</sup>	Level ۰
ESD ۱	توقف اضطراری منطقه حریق <sup>۳</sup>	Level ۱
ESD ۲	توقف اضطراری قسمتی از فرایند <sup>۴</sup>	Level ۲
PSS	توقف اضطراری واحد یا تجهیزات <sup>۵</sup>	Level ۳

## ۴-۱-۱- سطح صفر - توقف اضطراری کلی:

این سطح از توقف شامل توقف اضطراری کلیه سیستم های فرآیندی و یوتیلیتی می باشد که تمامی تسهیلات تولید و بهره برداری به صورت خودکار تخلیه فشار اضطراری میشود همچنین منابع پتانسیل خطر و جرقه شامل سیستم های ضروری و اضطراری به جز سیستم های الکتریکی حیاتی (روشنایی اضطراری ، علایم موقعیت یابی دریانوردی و . . . ) بوسیله

<sup>1</sup> Emergency Shutdown

<sup>2</sup> Total Black Shutdown

<sup>3</sup> Fire Zone Emergency Shutdown

<sup>4</sup> Process Shutdown

<sup>5</sup> Unit/Equipment Shutdown

باطری های مناسب در زون یک پشتیبانی می شوند. سیستم دیزل ژنراتور نیز متوقف شده و از استارت آن پیشگیری می شود.

**توقف اضطراری کلی:** به صورت دستی از طریق دکمه های توقف اضطراری که در موقعیت های کلیدی بر روی سکو تعبیه شده (هلی دک، منطقه تجمع افراد و ...) آغاز می گردد.

#### **۴-۱-۲- سطح یک- توقف اضطراری منطقه حریق:**

در این سطح کلیه سیستم های فرآیندی و یوتیلیتی در یک منطقه حریق به صورت اتوماتیک متوقف شده و تخلیه فشار اضطراری می گردد. در این سطح توقف همانند سطح صفر شیر ایمنی درون چاهی<sup>۱</sup> مسدود شده و تولید از چاه متوقف می گردد.

#### **۴-۱-۳- سطح ۲- توقف اضطراری قسمتی از فرایند :**

در توقف تولید سطح ۲ تمامی فرآیند و واحد های یوتیلیتی به صورت موضعی متوقف می شوند و شیرهای Wing و Chock بسته می شوند. در این سطح تولید به حداقل میرسد اما قطع نمی شود. دکمه مربوط به فعال نمودن این سطح از توقف تولید در قسمت پنل کنترلی سر چاهی در روی سکو وجود داشته و یا به صورت کنترل از راه دور از اتاق کنترل فعال می گردد.

#### **۴-۱-۴- سطح ۳- توقف اضطراری واحد یا تجهیزات<sup>۲</sup>:**

سطح سه مربوط به توقف تجهیزات به صورت فردی می باشد. در این سطح چنانچه مشکلی برای چاه تولید ایجاد شود شیرهای سرچاهی به ترتیب از Master تا Chock بسته می شوند. ولی سکو در حالت با فشار باقی می ماند.

---

<sup>1</sup> DHSV

<sup>2</sup> Proccess shutdown system (PSS)

## ۴-۲- انتخاب اعضای تیم:

برای اینکه بتوان رویداد های راس بدرستی انتخاب کرد و درختواره ای مبتنی بر قواعد و اصول رسم درخت خطا رسم نمود نیاز به یک تیم با تجربه در زمینه های مختلف احساس می شد. در این پروژه نفرات ذیل به عنوان تیم انتخاب گردیده و از نظرات آنها استفاده گردیده است.

- ✓ کارشناس HSE : رهبر تیم و متدولوژیست
- ✓ سرپرست ارشد بهره برداری : تحلیلگر فرآیند سیستم
- ✓ کارشناس ابزار دقیق : تحلیلگر ماژول های کنترل ابزار دقیق
- ✓ کارشناس و تکنسین برق واحد : بررسی کننده شبکه توزیع برق
- ✓ کارشناس نظارت بر تولید نفت و گاز : ارزیاب میزان توقف تولید گاز

## ۴-۳- نحوه انتخاب رویداد راس :

انتخاب رویداد رأس ، کلیدی ترین بخش ارزیابی ریسک به روش درخت خطا است . در واقع این رویداد سمت و سو و هدف تحلیل را مشخص کرده ، به آن اعتبار می بخشد . همانطور که در فصل سوم این پژوهش گفته شد ، رویداد رأس ، رویدادی است ناخوشایند که به نوعی یک سیستم را تهدید کرده ، باعث شکست آن می شود . این سیستم می تواند تنها یک عنصر یا تجهیز ساده باشد و یا بخش یا تمامی یک کارخانه را در بر بگیرد .

ظرافت انتخاب رویداد رأس به تجربه و تبحر تحلیل گر و میزان شناخت وی از سیستم مورد نظر و اشکالات آن بر می گردد . در بخش قبل به تشریح فرآیند عملیاتی سکوی دریایی پرداختیم . این شرح فرآیند ، شروع خوبی در شناخت عملیات و فرآیند کارخانه است اما شاید کافی نباشد . یک تحلیل دیگر با تجربه تمامی شواهد و اطلاعات مورد نیاز را جمع آوری می کند . به عنوان مثال برخی اطلاعات دیگری که ممکن است در ادامه تحلیل بکار آید ، عبارتند از :



- نقشه های مربوط به جانمایی تجهیزات و پلان کلی کارخانه

- نمودارهای جریان مواد

- نقشه های خطوط لوله و ابزار دقیق

- نظامنامه و خطی مشی سازمان در بخش ایمنی ، بهداشت و محیط زیست

- مستندات مربوط به تعمیر و نگهداری

- کتابچه های راهنمای تجهیزات

- نقشه خطوط توزیع برق

- سایر مستندات به تشخیص تحلیل دیگر (ان)

اما مسئله بسیار مهم در در صنایع فرآیندی که هدف و فلسفه وجودی آنها تلقی می شود ، تداوم تولید است . سکوی تولید گاز ، در ابتدای مسیر تولید بخش عمده ای از گاز کشور قرار گرفته است . هر نوع اشکال و توقف آن باعث توقف زنجیره تولید می شود . بنابراین بایستی تلاش شود که چنین اتفاقی نیفتد و تحت هیچ شرایطی توقف عملیات در این کارخانه نداشته باشیم.

یکی از هوشمندانه ترین راه های یافتن علل توقف عملیات در واحدهای فرآیندی که شاید کمتر مورد توجه قرار گرفته است، بررسی نمودار توقف واحد<sup>1</sup> می باشد. این نمودار که به شکل منطقی دلایل توقف واحد را نشان می دهد، کمک خوبی جهت شناسایی عوامل بازدارنده تولید است . البته بیشترین استفاده و کاربرد این نمودار در عیب یابی و رفع اشکالات ابزاردقیق می باشد و به همین دلیل نمودار فوق در اندازه بزرگ و به عنوان نقشه راهنما در اتاق کنترل سکو، نصب شده است. بهر حال تیم ارزیابی، که کاملاً واقف به ارزش این نمودار در تعیین دلایل فرعی رویداد رأس بود، آن را تهیه کرده و ضمیمه پایان نامه نمود. مدرک دیگری که جهت انتخاب رویداد راس مورد استفاده قرار گرفت فلسفه توقف اضطراری سکو های دریایی بود که کمک شایانی به تیم ارزیاب پروژه کرده است.

---

<sup>1</sup> ESD Block Diagram

رویداد رأس هم با توجه به حساس بودن و نقش کلیدی سکوهاى دریایی در تولید گاز مصرفی کشور، توقف عملیات و عدم تولید سطوح توقف اضطراری سطح ۱ و ۲، تعیین گردیده است. هر کدام از رویدادها براساس مدارک طراحی، طی جلسات متعدد و با بهره گیری از خرد جمعی اعضای تیم و اخذ نظرات سرپرستان و کارشناسان بهره برداری تعیین شده اند که در زیر عناوین هریک آورده شده است:

- ۱- توقف اضطراری در ظرف مایع گیر<sup>۱</sup>
- ۲- ایجاد مشکل در تولید برق سکو<sup>۲</sup>
- ۳- شکست در سیستم هیدرولیک<sup>۳</sup>
- ۴- توقف اضطراری در سیستم گاز مصرفی سکو<sup>۴</sup>
- ۵- توقف اضطراری سیستم مشعل<sup>۵</sup>
- ۶- فعال شدن کاذب سیستم اعلان و تشخیص<sup>۶</sup>
- ۷- کاهش فشار در خط انتقال گاز از سکو به خشکی<sup>۷</sup>
- ۸- باز شدن جریان گاز به شبکه مشعل<sup>۸</sup>
- ۹- شکست در سیستم هوای ابزار دقیق<sup>۹</sup>
- ۱۰- خطای اپراتور و توقف اضطراری سکو<sup>۱۰</sup>

برای هر یک از رویدادهای بالا براساس فلسفه طراحی و مدارک دیاگرام لوله کشی و ابزار دقیق و جدول علت و معلول، عوامل پایه و میانی انتخاب شده و با استفاده از نرم افزار Fault Tree + درخت خطای هر یک رویداد های راس ترسیم شده است. همانطور که در بخش های قبلی نیز اشاره گردید برای اولویت بندی هر یک از رویدادهای نیاز به محاسبه

---

1 Emergency Shut Down Of FWKOD

2 Defect in Generating Power System of Platform

3 Failure In Hydraulic System

4 Fuel Gas Emergency Shut Down System

5 Flare Emergency Shutdown System

6 F&G System Spurious Activation

7 Pressure Drop in gas Transporting Lines from Offshore to Onshore

8 Discharging Gas Flow To Flare System

9 Failure In Air Instrument System

10 Operator's Fault And Platform Emergency Shutdown

شاخص خارج از دسترس بودن<sup>۱</sup> می باشد که در این مرحله برای بدست آوردن این متغیر نیاز به دو فاکتور: نرخ شکست و زمان تعمیر می باشد. برای استخراج این مقادیر و بدست آوردن این متغیر از مستند OREDA ویرایش ۲۰۰۲ و ۱۹۹۴ استفاده شده است. که در زیر مراحل محاسبه برای هر کدام از رویدادها به تفصیل آمده است.

#### ۴-۴- روش محاسبه مقدار شاخص خارج از دسترس بودن با استفاده از OREDA:

مهمترین دلیل استفاده از روش ORDEA ارائه روش هایی برای تخمین متوسط نرخ شکست و زمان تعمیر میباشد.

$$T = \text{نرخ شکست}$$

تابع نرخ شکست این را بیان میکند که چه احتمالی وجود دارد که تا زمان  $T$  آیتم مورد نظر سالم مانده است و چه واحد زمانی در آینده دچار شکست میشود.

اگر آیتم در حال از بین رفتن باشد احتمال آن با زمان  $T$  افزایش پیدا میکند. برای مثال فردی که ۹۵ سال سن دارد احتمال مرگ بیشتری نسبت به یک فرد ۲۰ ساله دارد. بنابراین تابع نرخ شکست تابعی از زمان  $T$  و یا عمر آیتم میباشد.

برای بیان تابع به زبان ریاضی از زمانی که طول میکشد تا آیتم به شکست برسد شروع میکنیم  $T$  یعنی مدت زمانی که از استفاده آیتم در حالت عملیاتی تا وقوع اولین شکست گذشته است. معمولاً غیر ممکن است مقدار زمانی که طول میکشد تا آیتم از کار بیفتد را به طور دقیق محاسبه کرد بنابراین  $T$  مقدار تصادفی به همراه مقداری توزیعی دارد. تابع ریاضی  $T$  به صورت ریاضی بدین شکل تعریف میشود:

#### معادله ۱-۴

$$\lambda(t) \cdot \Delta(t) \sim \Pr(t < T \leq t + \Delta t | T > t)$$

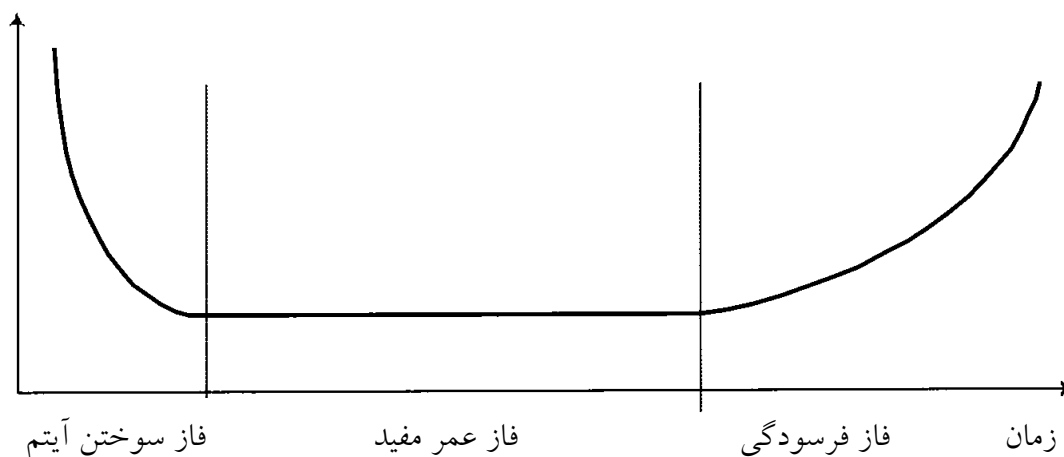
سمت راست معادله نشان میدهد "احتمال شکست آیتم در بازه  $(t, t + \Delta t)$  خواهد بود، در زمانی که هنوز آیتم در زمان  $t$  قرار دارد" به زبان دیگر: "احتمال اینکه آیتم به عمر  $t$  رسیده است و در بازه آتی  $(t, t + \Delta t)$  دچار شکست میشود". تقریب زمانی مناسب و دقیق

<sup>۱</sup> Unavailability

خواهد بود که زمان  $\Delta(t)$  بازه ی زمانی کوتاهی باشد . تابع نرخ شکست همچنین به عنوان نرخ پتانسیل خطر<sup>۱</sup> و یا نیروی مرگ و میر نامیده میشود .

عمر یک آیتم فنی معمولاً به سه بخش متفاوت تقسیم میشود : فاز اول سوختن آیتم که به دلیل استفاده نابجا اتفاق می افتد (از بین رفتن در آغاز کار ) ، فاز دوم عمر مفید . فاز سوم فرسودگی آیتم . تابع نرخ شکست معمولاً در هر فاز شکل متفاوتی دارد . همانطور که در شکل ۴-۱ نشان داده شده است تابع نرخ شکست میتواند در فاز اول (سوختن آیتم ) کاهش پیدا کند ، نزدیک به تابع ثابت در فاز دوم (عمر مفید ) باشد و در فاز فرسودگی افزایش پیدا کند . منحنی شکل ۴-۱ همچنین به نام منحنی ( وان حمام ) نیز به دلیل ویژگی های ظاهری شناخته میشود و معمولاً ادعا شده که مدلی واقعی برای تجهیزات مکانیکی می باشد .

اگر ما فرض کنیم که در فاز عمر مفید تابع ثابت باشد این بدان معنی است که آیتم مورد نظر در این زمان از بین نمی رود بلکه شروع آن از فاز سوم یعنی فاز فرسودگی خواهد بود .



شکل ۴-۱ شکل وان حمامی نرخ تابع شکست (۱۳)

اصلاح سوختن آیتم به این دلیل گفته شده که ممکن است مشکلی در کیفیت ذاتی خودآیتم و یا خللی در زمان نصب آیتم باعث آن شود . مشکلات ذاتی کیفیت میتواند بوسیله تست های دقیق کیفیت قبل از نصب آیتم مشخص شوند . امکان دارد خاطهای ناشی از نصب آیتم در جمع آوری داده های مربوط به ORDEA نادیده گرفته شود . مخصوصاً برای

<sup>۱</sup> Hazard

تجهیزات که در راس هستند . برای تجهیزات زیر دریا داده ها از زمان نصب آیتم در فاز عمر مفید جمع آوری میشوند . این بدان معنی است که آیتم کاملاً نصب شده و آماده ی راه اندازی برای اهداف مورد نظر میباشد .

بسیاری از آیتم های تحت پوشش ORDEA هم پوشانی با برنامه های تعویض و تعمیر هستند بنابراین بسیار از آن ها قبل از این که به فاز فرسودگی برسند ، تعمیر یا نوسازی میشود. بنابراین مهمترین بخش رویداد شکست درپایگاه داده های OREDA فاز عمر مفید خواهد بود ، جایی که نرخ شکست تقریباً ثابت میباشد .بنابراین تمامی نخمین های استفاده شده در این قسمت بر این فرض استوار هستند که نرخ تابع شکست ثابت و مستقل از زمان است به عبارت ریاضی:  $\lambda(t) = \lambda$ .

نکته :

- هیچگونه آزمایش آماری برای تایید کردن فرض ثابت بودن نرخ تغییر انجام نشده است .

- به دلیل اینکه فرض شده است تمامی داده های ما از پایین منحنی وان حمامی بدست می آید ، تخمین نرخ شکست نشان دهنده و ارائه دهنده ی کمترین مقدار خود در طول عمر آیتم میباشد .

یکی از کاربرد های مهم فرض ثابت بودن نرخ شکست این است که میتوان آیتم را در طول زمانی که عملیاتی است به عنوان آیتم نو در نظر گرفت . همه شکست ها ، شانس های شکست قطعی هستند و با عمر آیتم رابطه ای ندارند .

متوسط زمان تا شکست MTTF بدین صورت محاسبه میشود:

معادله ۴-۲

$$MTTF = 1/\lambda$$

موارد گفته شده و مفاهیم آن ها کاملاً در مثال هولند و راسند (۱۹۹۴) بیان میشود .

تخمین گر ها و حدود عدم قطعیت برای مثال همگن :

وقتی ما داده های شکست برای آیتم های یکسانی که تحت شرایط عملیاتی و محیطی یکسانی عمل میکنند ، داریم آن را مثال همگن مینامیم . تنها داده مورد نیاز برای تخمین نرخ شکست  $\lambda$  در این حالت تعداد شکست های مشاهده شده  $n$  و زمان تجمعی  $T$  استفاده از دستگاه میباشد .

$$n = \text{تعداد شکست ها}$$

$$T = n / \lambda = \text{زمان تجمعی در سرویس بودن}$$

مقدار زمان تجمعی  $T$  در سرویس بودن ممکن است یا از روی تقویم و یا زمان عملیاتی محاسبه شود این رویکرد فقط در موقعیت های زیر ارزش دارد :

- نرخ شکست برای تعداد مشخصی آیتم ، با نرخ شکست مشابه  $\lambda$  موجود باشد.
  - داده ها (چندین شکست ) برای یک آیتم در طول یک بازه ی زمانی مشخص باشد و نرخ شکست  $\lambda$  در این بازه ی زمانی ثابت بماند.
  - ترکیبی از دو موقعیت گفته شده ، یعنی تعدادی آیتم هر کدام تعدادی شکست را ممکن است داشته باشند . این موقعیت وضعیت معمولی برای داده های ORDEA میباشد .
- محاسبه احتمال شکست:

هر یک از حالات شکست بر اساس آیتم شاخص خارج از دسترس بودن<sup>1</sup> ارزیابی خواهد شد، که این آیتم نیز بر مبنای داده های حاصل از نرخ شکست و نرخ تعمیر حاصل میگردد. روش محاسبه به صورت زیر خواهد بود:

---

<sup>1</sup> Unavailability

### معادله ۳-۴

$$Q(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}$$

Q (t): Unavailability

$\lambda$ : نرخ شکست

$\mu$ : نرخ تعمیر

با توجه به توضیحات فوق تخمین مقدار خارج از دسترس بودن برای هر یک از عوامل رویداد های راس انتخابی در جدول زیر آورده شده است:

جدول ۴-۲: تخمین مقدار خارج از سرویس بودن برای عوامل رویداد راس:

ردیف	تجهیز	حالت شکست	نرخ شکست در یک میلیون ساعت	MTTR (hours)	نرخ شکست منبع داده ها	شاخص خارج از سرویس بودن
۱	شیر فوران چاه	شکست منجر به بسته شدن	۲	۲/۳	OREDA 02 (pg.667)	4.59998E-06
۲	شیر فوران چاه	عملیات های بیهود	۱/۱۵	۸	OREDA 02 (pg.667)	9.19992E-06
۳	دستگاه اندازه گیری فشار		۲۰/۴۷	۱۲	OREDA 02 (pg.533)	0.00024558
۴	شیر فشار	بحرانی	۳/۴	۱۱۳	OREDA 02 (pg.738)	0.000711394
۵	شیر شات دان	عملیات های بیهود	۱۶/۶۶	۲۴	OREDA 02 (pg.700)	0.00039968
۶	شیر شات دان	شکست منجر به باز شدن	۱۰/۸۷	۱۲	OREDA 02 (pg. 700)	0.000130423
۷	اندازه گیر فشار	اولیه	۵/۶۲	۶	OREDA 02 (pg.533)	3.37189E-05
۸	شناساگر گاز هیدروکربن	شکست عملکردی	۱/۴۳	۴/۳	OREDA 02 (pg. 526)	6.14896E-06
۹	شناساگر گاز	شکست	۱/۳۴	۱	OREDA 02 (pg. 521)	1.34E-06

				عملکردی	هیدروژن سولفید	
1.1E-07	OREDA 92 (pg. 397)	۲	۰/۰۵۵	بحرانی	شبکه شناساگر حرارتی	۱۰
0.00017352	OREDA 92 (pg. 79) OREDA 02 (pg. 544)	۲۴	۷/۲۳	شکست عملکردی	شناساگر سطح -	۱۱
0.005321738	OREDA 02 (pg. 173)	۵۵۱	۹/۷۱	شکست در لحظه شروع بکار	پمپها	۱۲
0.019359895	OREDA 02 (pg. 173)	۷۱۴	۲۷/۶۵	توقف بیهوده	پمپ ها	۱۳
0.005042286	OREDA 02 (pg. 173)	۳۲	۱۵۸/۳۷	بیهوده	کمپرسور	۱۴
0.049599068	OREDA 02 (pg. 173)	۷۰۴	۷۴/۱۳	شکست در لحظه شروع بکار	کمپرسور	۱۵
0.003297242	OREDA 02 (pg. 293)	۱۰۹	۳۰/۳۵	توقف بیهوده	ژنراتور برقی	۱۶
0.002677601	OREDA 02 (pg. 293)	۶۹	۳۸/۹۱	شکست در لحظه شروع بکار	ژنراتور برقی	۱۷
2.03996E-05	OREDA 02 (pg. 533)	۶	۳/۴	اولیه	شناساگر دود	۱۸
2.35999E-06	OREDA 02 (pg. 518)	۴	۰/۵۹	عملیات های بیهوده	شناساگر شعله	۱۹

برای هر یک از حالات شکست طبقه بندی شاخص خارج از دسترس بودن در ۴

کلاس مطابق جدول زیر انجام شده است.

معیار انتخاب هر کدام از کلاس ها تشکیل جلسات و قضاوت مهندسی می باشد.



جدول ۴-۳- حالات طبقه بندی شکست

کلاس	بازه خارج از سرویس بودن
۱	$Q \leq 10^5 - 5$
۲	$10^5 - 5 < Q \leq 10^5 - 4$
۳	$10^5 - 4 < Q \leq 10^5 - 3$
۴	$Q > 10^5 - 3$

شدت<sup>۱</sup>: طبقه بندی شدت هر یک از حالات شکست بر اساس تاثیر شکست روی تولید و عملکرد فردی سکوی سرچاهی انجام می شود که بر اساس این تعریف شدت شامل ۴ کلاس می باشد.

جدول ۴-۴- تاثیر شکست روی عملکرد تولید :

کلاس شدت	توقف تولید (%) ( $\Delta$ )
۱	0%
۲	$0 < \Delta \leq 9\%$ متناسب با بسته شدن یک چاه
۳	$9\% < \Delta \leq 50\%$
۴	$\Delta > 50\%$

با توجه به اینکه در تمامی درخت های خطا مبنای تعریف رویداد راس بر اساس توقف تولید سکو می باشد در نتیجه در تمامی درخت خطا ها شدت از نوع کلاس ۴ می باشد.

عدد بحرانی<sup>۲</sup>: این عدد برای هر یک از حالات خطا بر اساس ترکیبی از حاصلضرب شاخص خارج از دسترس بودن و شدت بدست می آید :

معادله ۴-۴

<sup>1</sup> severity

<sup>2</sup> critical

$$C = Q \times S$$

$C = \text{critically}$

$Q = \text{Unavailability}$

$S = \text{Severity}$

مبنای تعریف آیتم بالا بودن حالت بحرانی بر اساس عدد بحرانی بزرگتر از ۹ تعریف خواهد شد. این بدان معناست که در شرایطی که نرخ خطا میزان تقلیل تولید تا ۹ درصد از نرخ تولید عادی را داراست عدد شاخص خارج از دسترس بودن آن حداقل  $10^{-4}$  می باشد.

جدول ۴-۵: آیتم های بحرانی

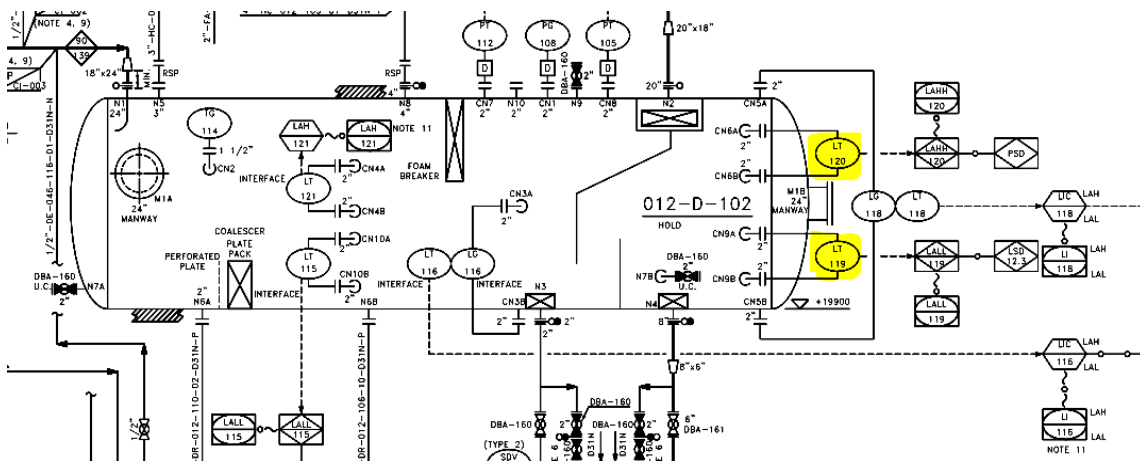
فاز از سرویس بودن	۴	۴	۸	۱۲	۱۶
	۳	۳	۶	۹	۱۲
	۲	۲	۴	۶	۸
	۱	۱	۲	۳	۴
		۱	۲	۳	۴
		شدت			
		آیتم های بحرانی			

بر اساس توضیحات تکمیلی فوق هر یک از درخت خطا های تعیین شده به صورت مستقل مورد بررسی قرار گرفته و برای هر کدام علل پایه ای منحصر بفرد و بر مبنای آن علل میانی و رویداد راس تعریف شده است. در این مرحله برای رسم شکل اصلی درخت و محاسبات مربوط به عدد شاخص خارج از دسترس بودن از نرم افزار Fault Tree+ استفاده شده است.

## ۴-۵- توقف اضطراری در ظرف مایع گیر<sup>۱</sup>:

ظرف مایع گیر یک تجهیز جدا کننده است که بر اساس خاصیت فیزیکی (افزایش حجم و کاهش سرعت جریان) وظیفه جداسازی فیزیکی را انجام میدهد. این یونیت از خروجی چاه یک جریان سه فازی متشکل از آب و گاز و میعانات گازی<sup>۲</sup> گاز خروجی از چاه که حاوی مواد هیدروکربنی می باشد وارد اولین ظرف جدا کننده می شود. فرآیند کار این ظرف بر اساس جداسازی فیزیکی و براساس اختلاف دانسیته مواد می باشد برای بالا بردن تاثیر و کارایی جداسازی تمهیدات مختلفی لحاظ شده مثل افزایش قطر افزایش قابل توجه حجم ظرف به مسیر ورودی باعث کاهش شدید سرعت و تفکیک عملکرد می شود. صفحات مانع<sup>۳</sup> باعث می شود که میعانات هیدروکربنی که دارای دانسیته کمتری بوده و بالای آب قرار میگیرد از آب جدا شده و میعانات جدا شده بالا بردن خلوص و جدا سازی ذرات ریز همراه به سمت درام ۱۰۳، و آب هم به سیستم Oily Water Treatment می رود. گاز جدا سازی

شده به واحد Gas Condensate Header می رود.



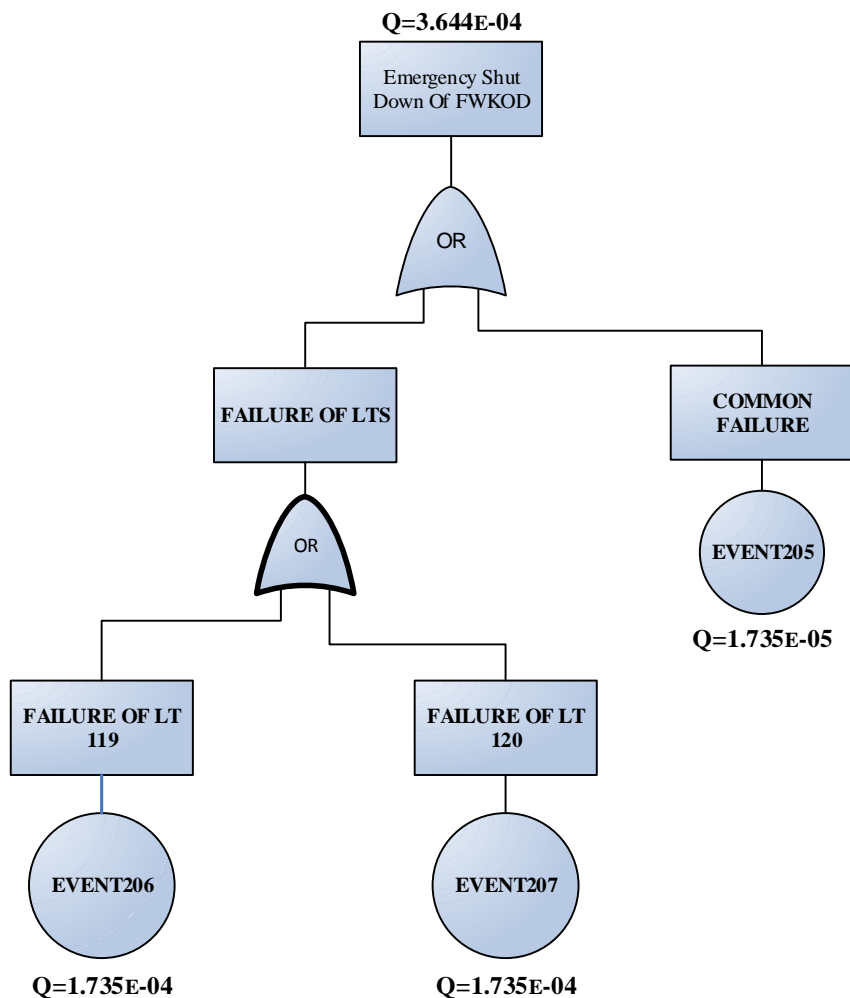
شکل ۴-۲- برش نقشه ابزار دقیق و فرآیند ظرف مایع گیر

P&ID:SP17/18-PO-PR-DW-2149

<sup>1</sup> Emergency Shut Down Of FWKOD

<sup>2</sup> Condnsate

<sup>3</sup> BUFL



شکل ۴-۳ درخت خطای توقف اضطراری در ظرف مایع گیر

شرح درخت خطا:

دو نشانگر سطح<sup>۱</sup> 119 و 120. برای کنترل تفکیک و اجتناب از رفتن مایعات به همراه گاز و همچنین نگه داشت حداقل مقدار نیاز مایع و عدم ورود گاز به مسیر مایعات سیستم های اندازه گیری و هشدار دهنده نصب شده اند. نشانگر سطح 120 برای اجتناب از رفتن مایعات به همراه گاز نشانگر سطح 119 جهت اندازه گیری سطح مایع در حالت بسیار پائین می باشد. حال چنانچه به هردلیلی در یکی از دو تجهیز فوق مشکلی پیش آید فرمان توقف اضطراری برای ظرف مایع گیر صادر خواهد شد. بنابراین رسم درخت خطا برای این رویداد فرعی پایان می یابد.

<sup>1</sup> Level Transmitter (LT)

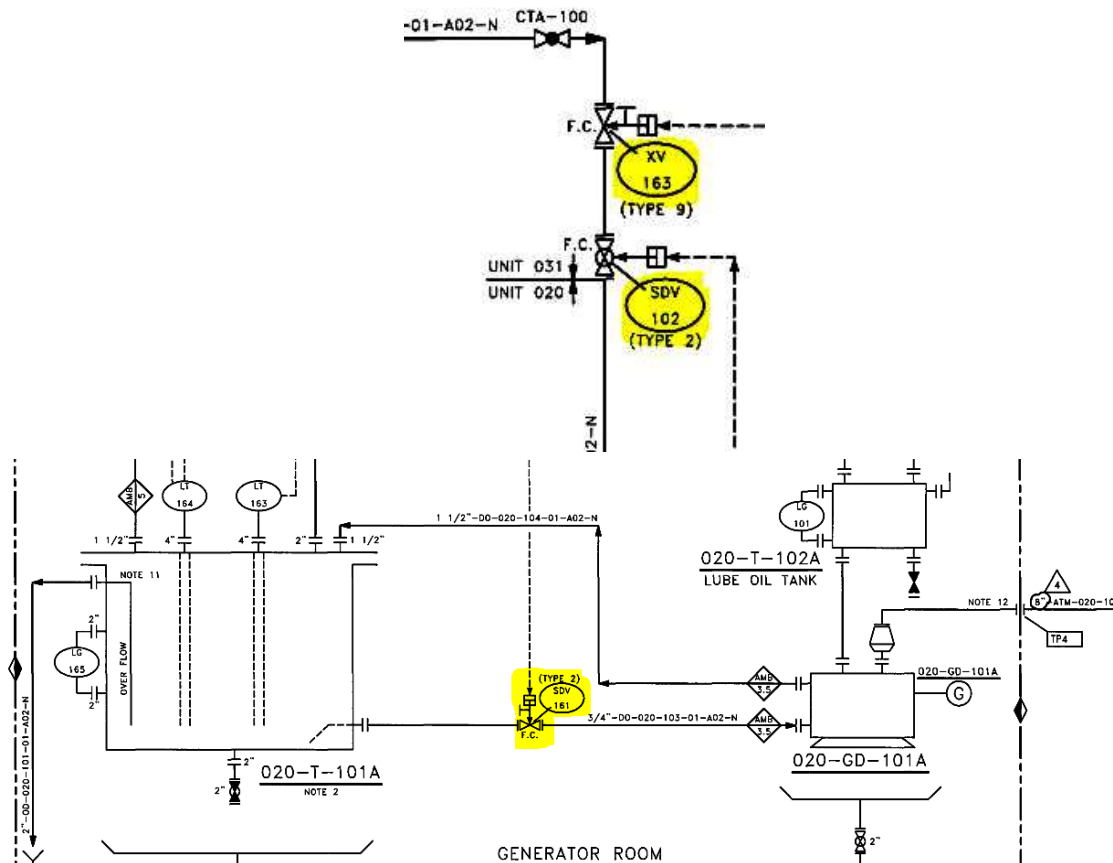
محاسبات درخت خطا مطابق با جدول ۴-۵ :

$$Q = 3.644E - 04$$

$$S = 4$$

$$C = 3 \times 4 = 12 > 9 \Rightarrow 1^{st} \text{ High Critical Item}$$

#### ۴-۶- ایجاد مشکل در تولید برق سکو<sup>۱</sup>



شکل ۴-۴ برش نقشه برش نقشه ابزار دقیق و فرآیند ژنراتور

P&ID:SP17/18-PO-PR-DW-2166

برق مورد نیاز در سکوی، توسط دو توربو ژنراتور<sup>۲</sup> موجود در عرشه بالا<sup>۳</sup> سکو تامین

می شود. هر ژنراتور توانی برابر ۳۸۰۰ kw (۰/۸ P.F) ، ولتاژ ۶ kv و فرکانس ۵۰ Hz

بصورت سه فاز تولید خواهد کرد. ژنراتور و گرداننده ژنراتور ( توربین گازی ) روی یک

محور سوار<sup>۴</sup> هستند. ژنراتور نیاز به ۱۵۰۰ دور در دقیقه برای تولید برق با شرایط بالا دارد. دور

۱۷۰۰۰ توربین در گریکس به ۱۵۰۰ تبدیل می شود. مولد این ژنراتور یک توربین گازی

<sup>۱</sup> Defect in Generating Power System of Platform

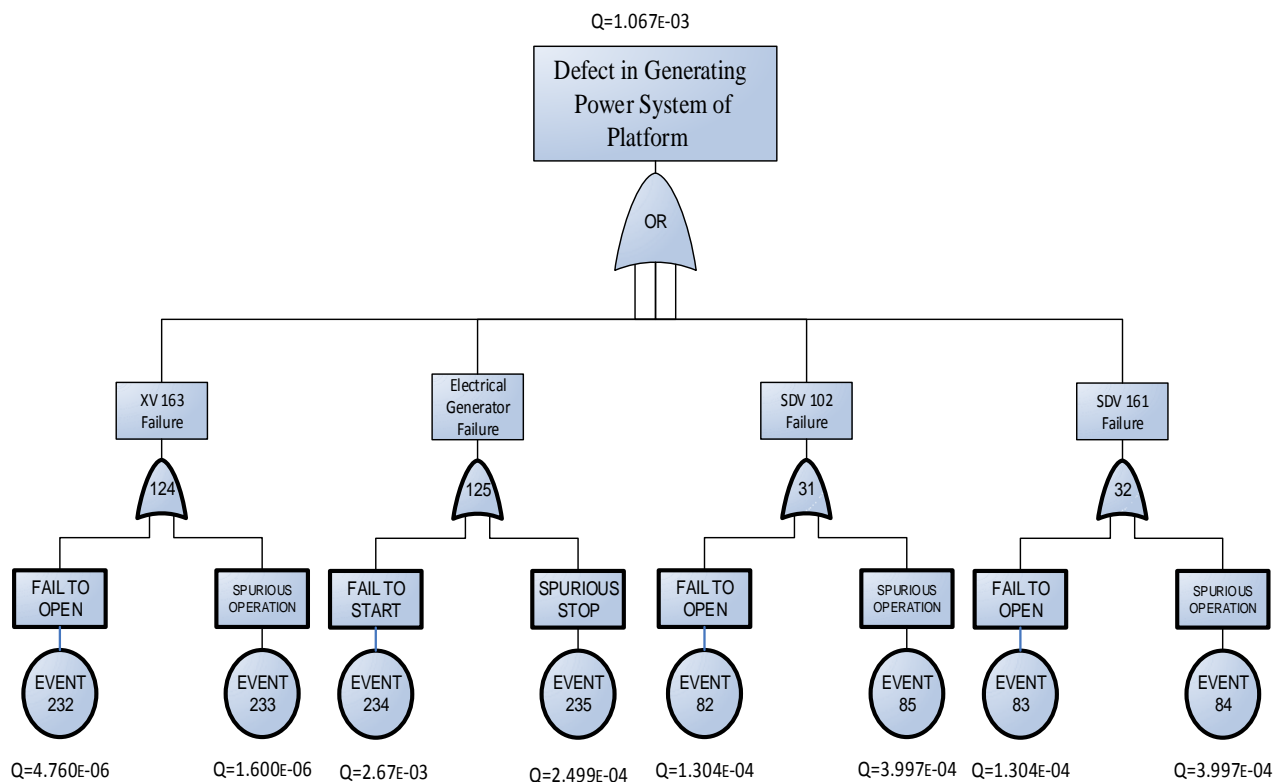
<sup>۲</sup> Gas-turbine generator set

<sup>۳</sup> Top Deck

<sup>۴</sup> single shaft

ساخت شرکت ALSTOM از نوع دو سوختی می باشد. ( سوخت مایع و گاز ) همیشه یک توربو ژنراتور در سرویس و یکی بصورت آماده بکار می باشد.

هر توربین گازی دارای یک گرداننده اولیه<sup>۱</sup>، سیستم سوخت مایع<sup>۲</sup> سیستم سوخت گاز<sup>۳</sup>، سیستم های روغنکاری، سیستم هوای ورودی، سیستم فشرده سازی هوا در ده مرحله، محفظه احتراق، توربین دو مرحله ای و سیستم خروج گازهای سوخته می باشد.



شکل ۴-۵- درخت خطای ایجاد مشکل در تولید برق سکو

<sup>1</sup> starter  
<sup>2</sup> Diesel fuel system  
<sup>3</sup> Fuel gas system

### شرح درخت خطا:

در این واحد طبق بررسی مدارک و نقشه ها تعداد حالات ایجاد شکست شامل موارد زیر می باشد.

- ایجاد خطا در شیر برقی XV-162 که در این حالت با ایجاد خطا در شیر به جای بسته شدن ولو باز میگردد.

- ایجاد خطا در شیر SDV-102 و SDV161 که در این حالت با ایجاد خطا در شیر به جای بسته شدن ولو باز میگردد.

- در این حالت دیزل ژنراتور اصلی سکو 020-GD-10A دچار مشکل شده و دیزل ژنراتور رزروی سکو نیز در استارت دچار مشکل شود.

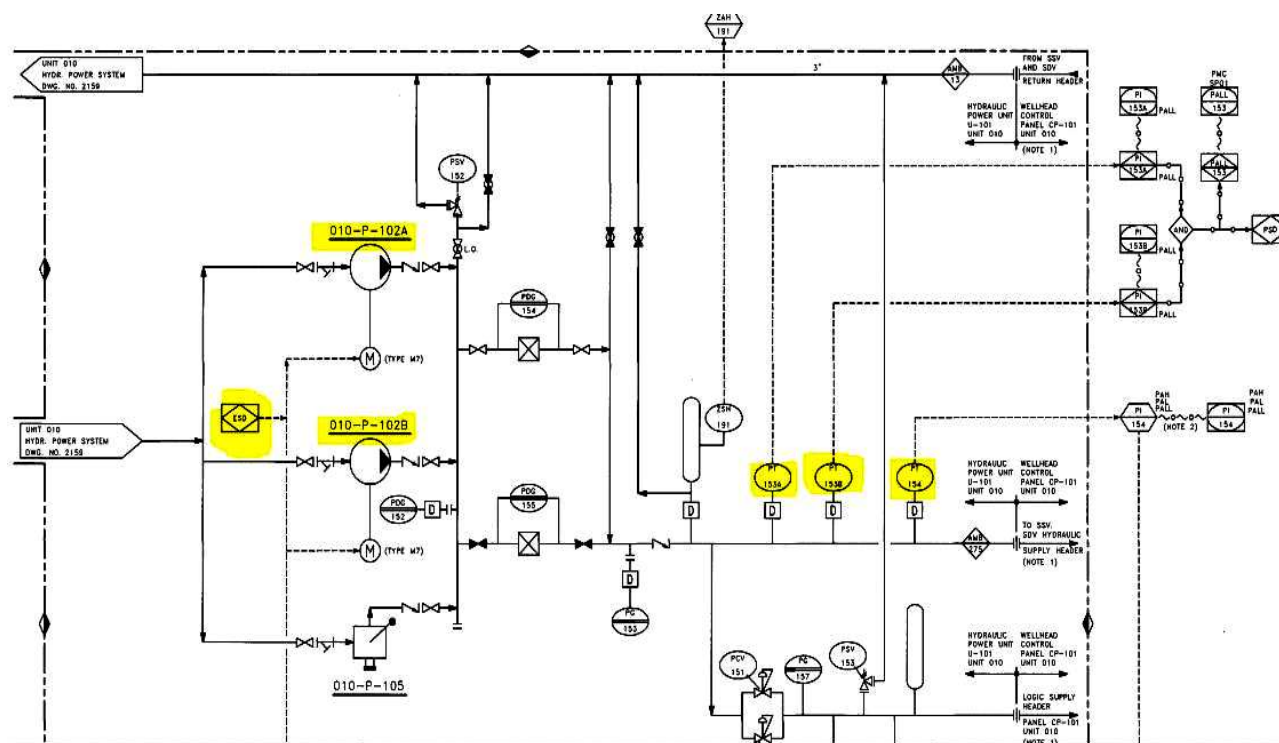
محاسبات درخت خطا مطابق با جدول ۴-۵ :

$$Q = 1.0676E - 03$$

$$S = 4$$

$$C = 4 \times 4 = 16 > 9 \Rightarrow 2^{nd} \text{ High Critical Item}$$

## ۴-۷- شکست در سیستم هیدرولیک<sup>۱</sup>:



شکل ۴-۶- برش نقشه برش نقشه ابزار دقیق و فرآیند سیستم قدرت هیدرولیک

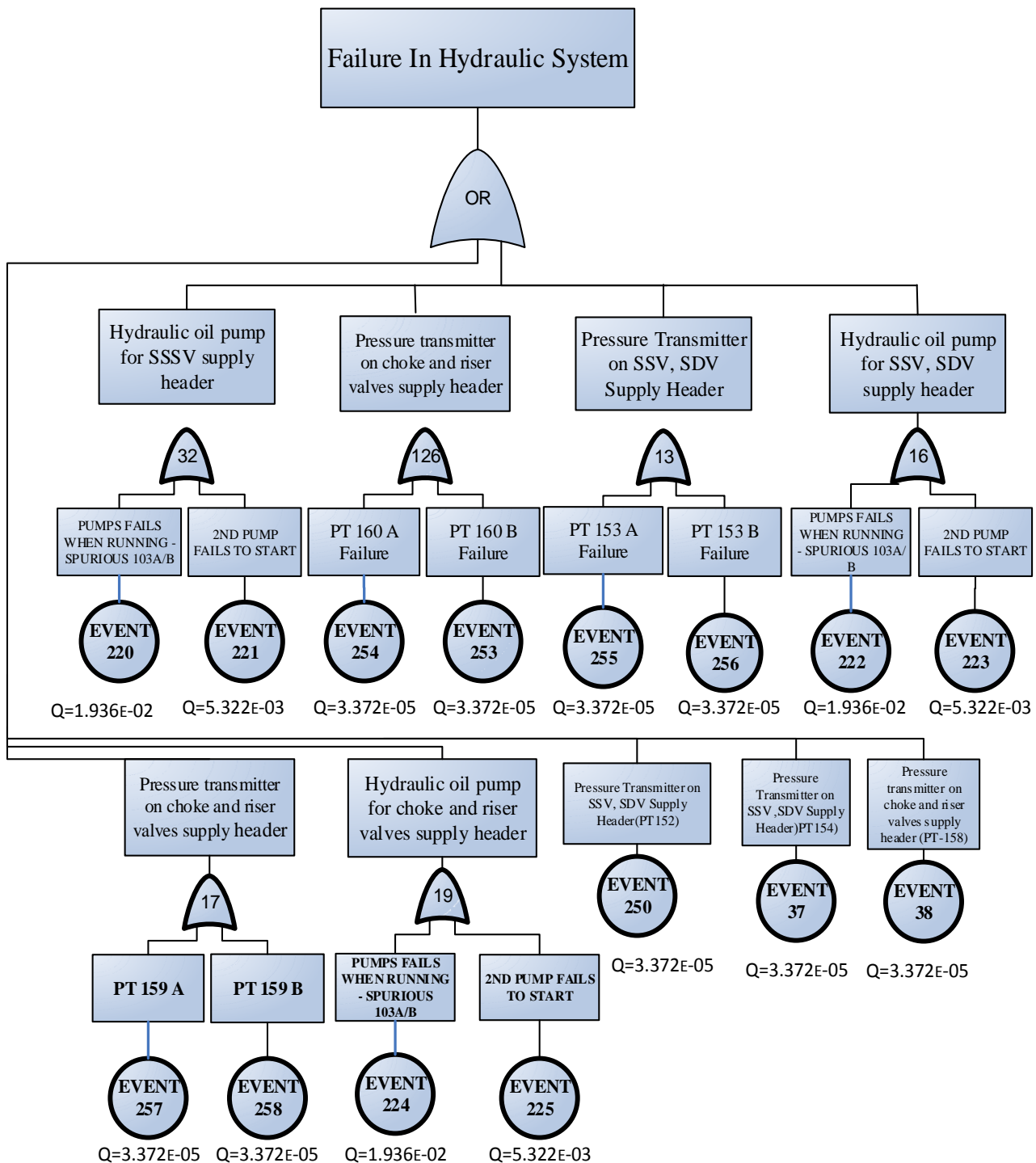
**P&ID:SP17/18-PO-PR-DW-2160**

با توجه به ماهیت و شرایط فیزیکی عملکردی شیرهای کنترلی و همچنین لحاظ نمودن محیط فرآیندی بخصوص از لحاظ گاز گازهای قابل اشتعال، دسترسی، فشار تعمیرات برای بازوبند نمودن شیرهای ورودی و خروجی فرآیندی از نیروهای محرکه متفاوتی استفاده که سیالات هیدرولیک از انواع متداول در صنایع نفت و گاز می باشند و فرآیند کار بر اساس سیالات غیر قابل فشرده شدن و بالا بردن ضریب هیدرولیک با در نظر گرفتن گردش فشار در یک سیستم مدار بسته و کاملاً آب بندی شده می باشد.

<sup>1</sup> Failure In Hydraulic System



$$Q=4.102E-04$$



شکل ۴-۷- درخت خطای شکست در سیستم قدرت هیدرولیک

واحد نیروی هیدرولیکی مشتمل بر ۳ بخش اصلی می باشد که ضمن معرفی هرکدام

موارد شکست به شرح ذیل می باشد.

#### ۴-۷-۱- بخش مدار SSSV ( SSSV SIRCUI ) :

این بخش از واحد نیروی الکتریکی وظیفه رساندن میزان روغن مورد نیاز در فشار مطلوب برای شیرهای های درون چاهی<sup>۱</sup> را بر عهده دارد که شامل ۲ پمپ و یک مخزن ذخیره روغن می باشد. حالات شکست در این بخش عبارت است از :

- هر گونه عامل توقف در پمپ روغن اصلی (A-۰۱۰ P-۱۰۱) و عدم در سرویس آمدن پمپ روغن آماده به کار

- ایجاد خطا در فشار سنج (PT-۱۵۲) که موجب ایجاد خطا در فشار خط خروجی شده و تنظیمات دور موتور پمپ های روغن گردیده و در نهایت توقف اضطراری واحد را به همراه خواهد داشت.

- تجهیزات (PT160A/B) چنانچه هر دو همزمان دچار خطا شوند طبق منطق لاجیک این بخش توقف اضطراری فرآیندی اتفاق می افتد.

#### ۴-۷-۲- بخش مدار SSV & SDV :

این بخش از واحد نیروی الکتریکی وظیفه رساندن میزان روغن مورد نیاز در فشار مطلوب برای شیرهای درون چاهی را بر عهده دارد که شامل ۲ پمپ و یک مخزن ذخیره روغن می باشد. حالات شکست در این بخش عبارت است از :

- هر گونه عامل توقف در پمپ روغن اصلی (A-۰۱۰ P-۱۰۲) و عدم در سرویس آمدن پمپ روغن آماده به کار

- ایجاد خطا در فشار سنج (PT-۱۵۴) که موجب ایجاد خطا در فشار خط خروجی شده و تنظیمات دور موتور پمپ های روغن گردیده و در نهایت توقف اضطراری واحد را به همراه خواهد داشت.

- تجهیزات (PT۱۵۳ A/B) چنانچه هر دو همزمان دچار خطا شوند طبق منطق لاجیک این بخش توقف اضطراری فرآیندی اتفاق می افتد.

---

<sup>۱</sup> Down Hole Safety Valve (DHSV)

#### ۴-۷-۳- بخش مدار و SDV CHOKE VALVE:

این بخش از واحد نیروی الکتریکی وظیفه رساندن میزان روغن مورد نیاز در فشار مطلوب برای شیرهای درون چاهی را بر عهده دارد که شامل ۲ پمپ و یک مخزن ذخیره روغن می باشد. حالات شکست در این بخش عبارت است از:

- هر گونه عامل توقف در پمپ روغن اصلی (P-۱۰۳ A - ۰۱۰) و عدم در سرویس آمدن پمپ روغن آماده به کار

- ایجاد خطا در فشار سنچ (PT-۱۵۸) که موجب ایجاد خطا در فشار خط خروجی شده و تنظیمات دور موتور پمپ های روغن گردیده و در نهایت توقف اضطراری واحد را به همراه خواهد داشت.

- تجهیزات (PT۱۵۹ A/B) چنانچه هر دو همزمان دچار خطا شوند طبق منطق لاجیک این بخش توقف اضطراری فرآیندی اتفاق می افتد.

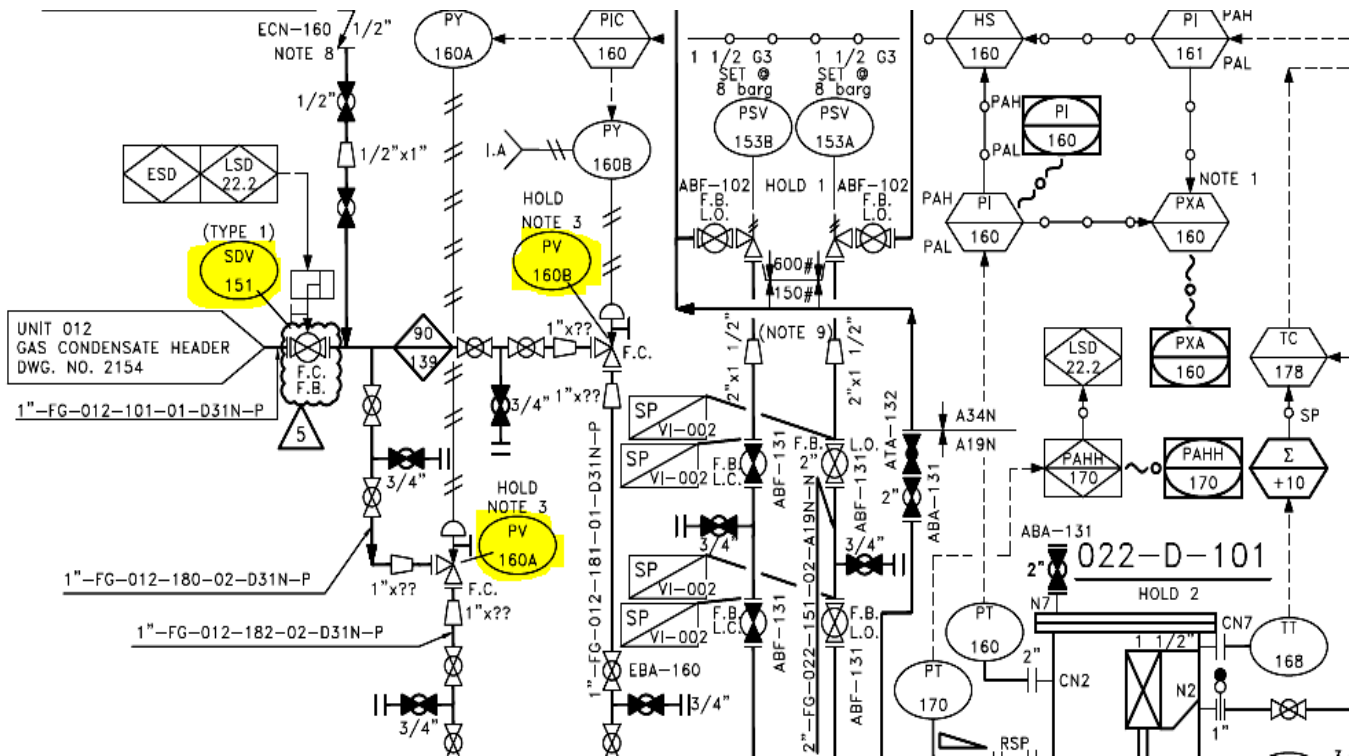
محاسبات درخت خطا مطابق با جدول ۴-۵:

$$Q = 4.102e - 04$$

$$S = 4$$

$$C = 3 \times 4 = 12 > 9 \Rightarrow 3^{th} \text{ High Critical Item}$$

## ۴-۸- توقف اضطراری در سیستم گاز مصرفی سکو!



شکل ۴-۸ برش نقشه برش نقشه ابزار دقیق و فرآیند سیستم گاز مصرفی

P&ID: SP17/18-PO-PR-DW-2156

سیستم تهیه سوخت گاز دارای دو گرم کننده برقی اولیه<sup>۱</sup>، یک ظرف جدا کننده مایعات از گاز<sup>۲</sup>، دو مافوق گرم کننده برقی و دو فیلتر می باشد.

هدف از نصب این سیستم در عرشه میانی<sup>۳</sup> تهیه و آماده سازی سوخت گازی برای توربوژنراتورها جهت تولید انرژی الکتریسیته، تولید سوخت گازی کم فشار<sup>۴</sup> برای مصارفی همچون سیستم احیاء گلایکول بعنوان گاز عریان کننده<sup>۵</sup>، تخلیه و تمیز کردن<sup>۶</sup> لوله ها و سیستم ها از محتویات داخلی، سوخت برای پیلوت مشعل تخلیه فشار و گاز مورد نیاز برای قرنطینه

<sup>۱</sup> Fuel Gas Emergency Shut Down System

<sup>۲</sup> Preheater

<sup>۳</sup> Scrubber

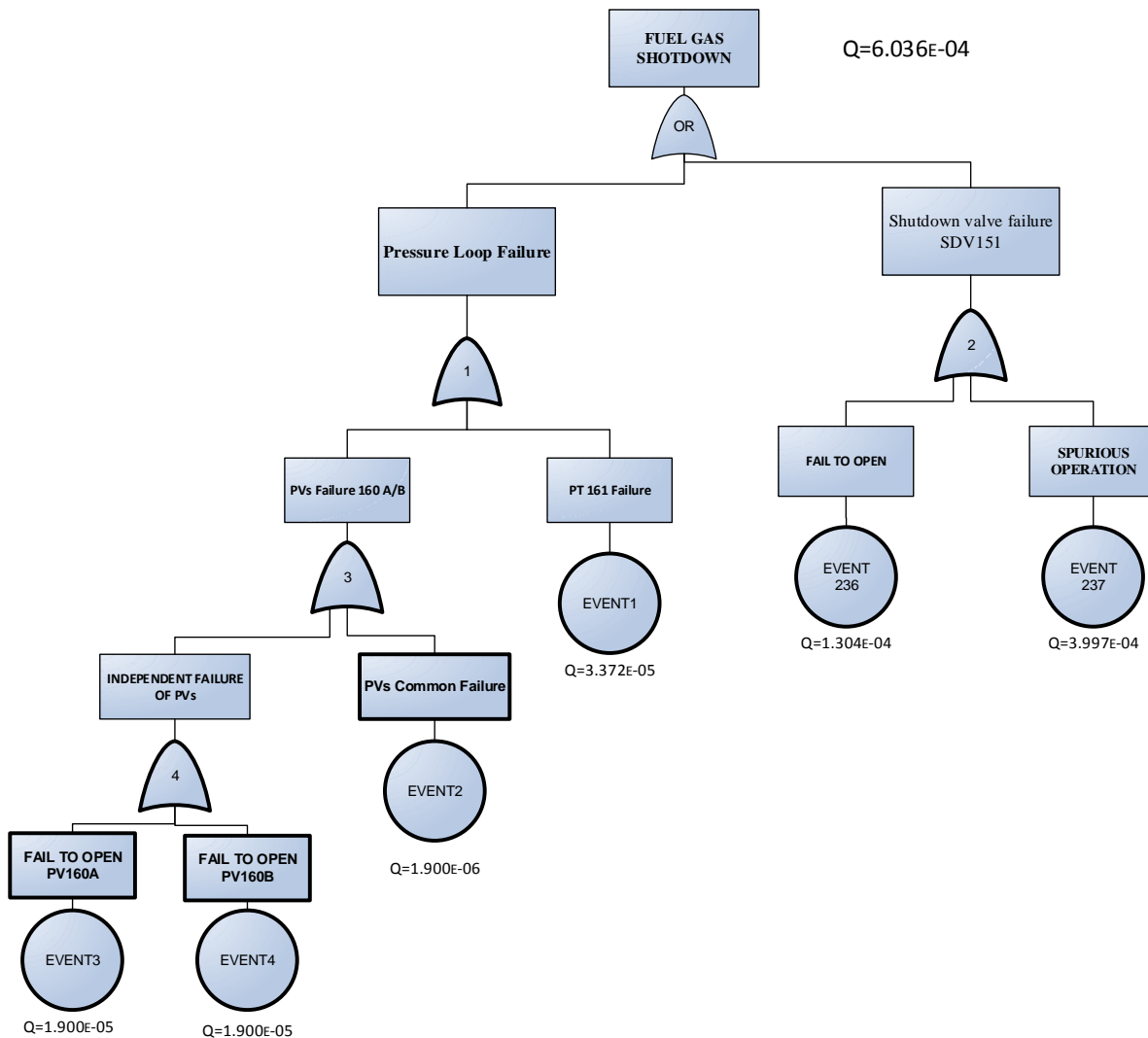
<sup>۴</sup> Mezzanine Deck

<sup>۵</sup> LP fuel

<sup>۶</sup> stripping gas

<sup>۷</sup> purging

کردن<sup>۱</sup> و تامین جریان سیستم مشعل بمنظور حفظ فشار مثبت می باشد.



شکل ۴-۹- درخت خطای توقف اضطراری در سیستم گاز مصرفی سکو:

به طور کلی عوامل بروز خطا در این سیستم به شرح زیر می باشد:

۱- ایجاد خطا در تجهیز PT-۱۶۱ که منجر به عدم تنظیم جریان ورودی به درام

۲- D-۱۰۱ - ۰۲۲ می باشد.

۳- ایجاد خطا در تجهیز PV-۱۶۰A و PV-۱۶۰A به گونه ای که در زمان ایجاد

شکست به جای بسته شدن باز شده و میزان سوخت در درام D-۱۰۱ - ۰۲۲ افزایش می یابد.

۴- ایجاد خطا در SDV- ۱۵۱ به گونه ای که در زمان خطا کاملاً بازگردد.

<sup>۱</sup> blanketing gas

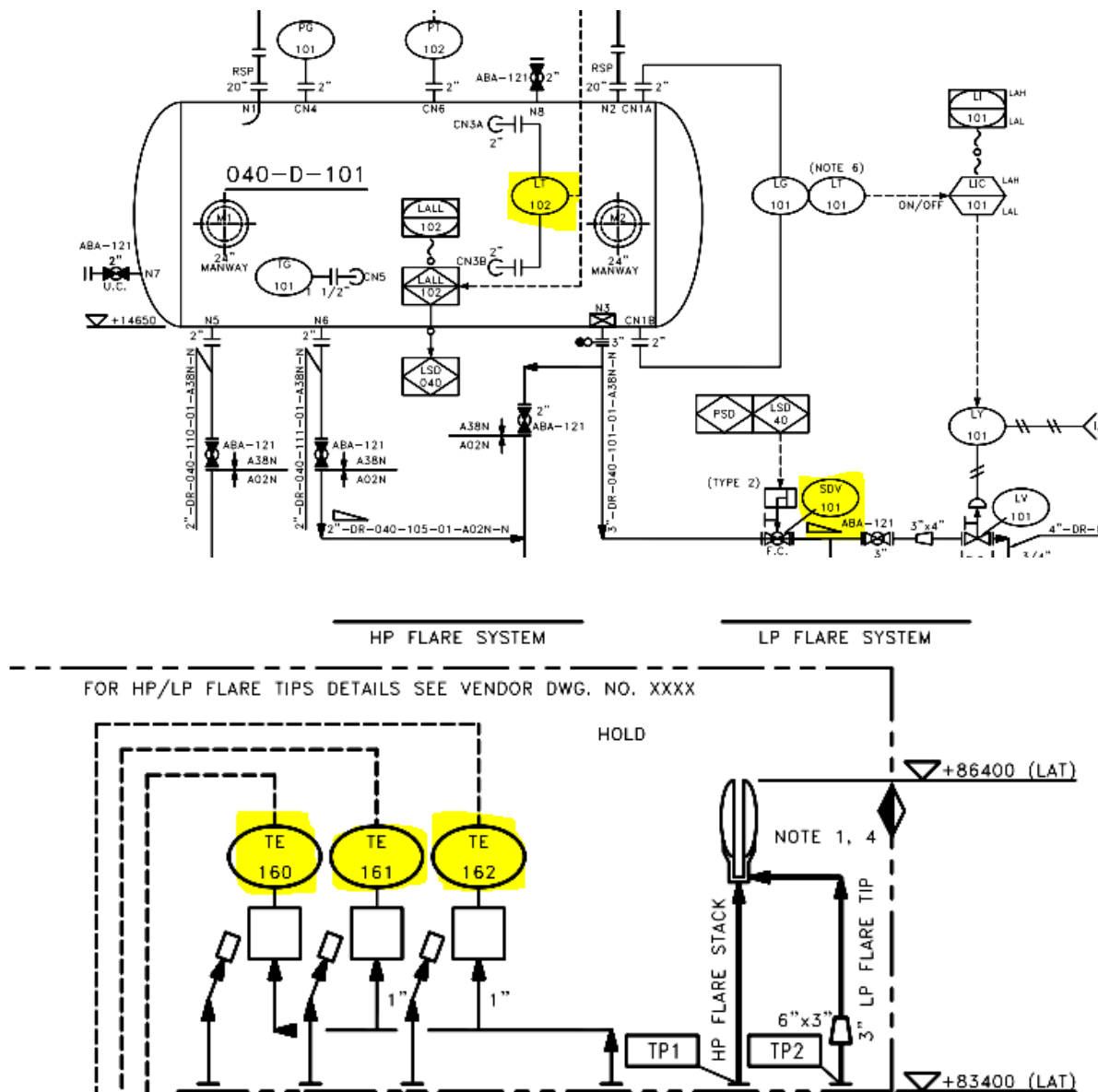
محاسبات درخت خطا مطابق با جدول ۴-۵:

$$Q = 6.03e - 04$$

$$S = 4$$

$$C = 3 \times 4 = 12 > 9 \Rightarrow 4^{th} \text{ High Critical Item}$$

#### ۴-۹- توقف اضطراری سیستم مشعل<sup>۱</sup>



شکل ۴-۱۰- برش نقشه برش نقشه ابزار دقیق و فرآیند مشعل سکو

P&ID:SP17/18-PO-PR-DW-2147& 2148

<sup>1</sup> Flare Emergency Shutdown System

سیستم مشعل فشار بالا شامل شاه لوله مشعل که هیدروکربن های اضافی سیستم های فرآیندی و تجهیزات را به جداکننده مشعل و تخلیه بسته انتقال میدهد.

برای جلوگیری از ورود هیدروکربن های مایع به مشعل فشار بالا از این جدا کننده استفاده می شود. از این جداکننده برای جدا کردن قطرات مایع بزرگتر از ۶۰۰ میکرون استفاده می شود. گازهای جدا شده بسمت مشعل فشار بالا که به فاصله ۲۰ متری از سکو و ارتفاع ۲۲/۸۰ متر از سطح آرام آب دریا که ۳ متر بالا تر از سکوی هلی کوپتر قرار دارد ارسال می شود. سر مشعل<sup>۱</sup> از نوع صوتی فشار بالا<sup>۲</sup> میباشد.

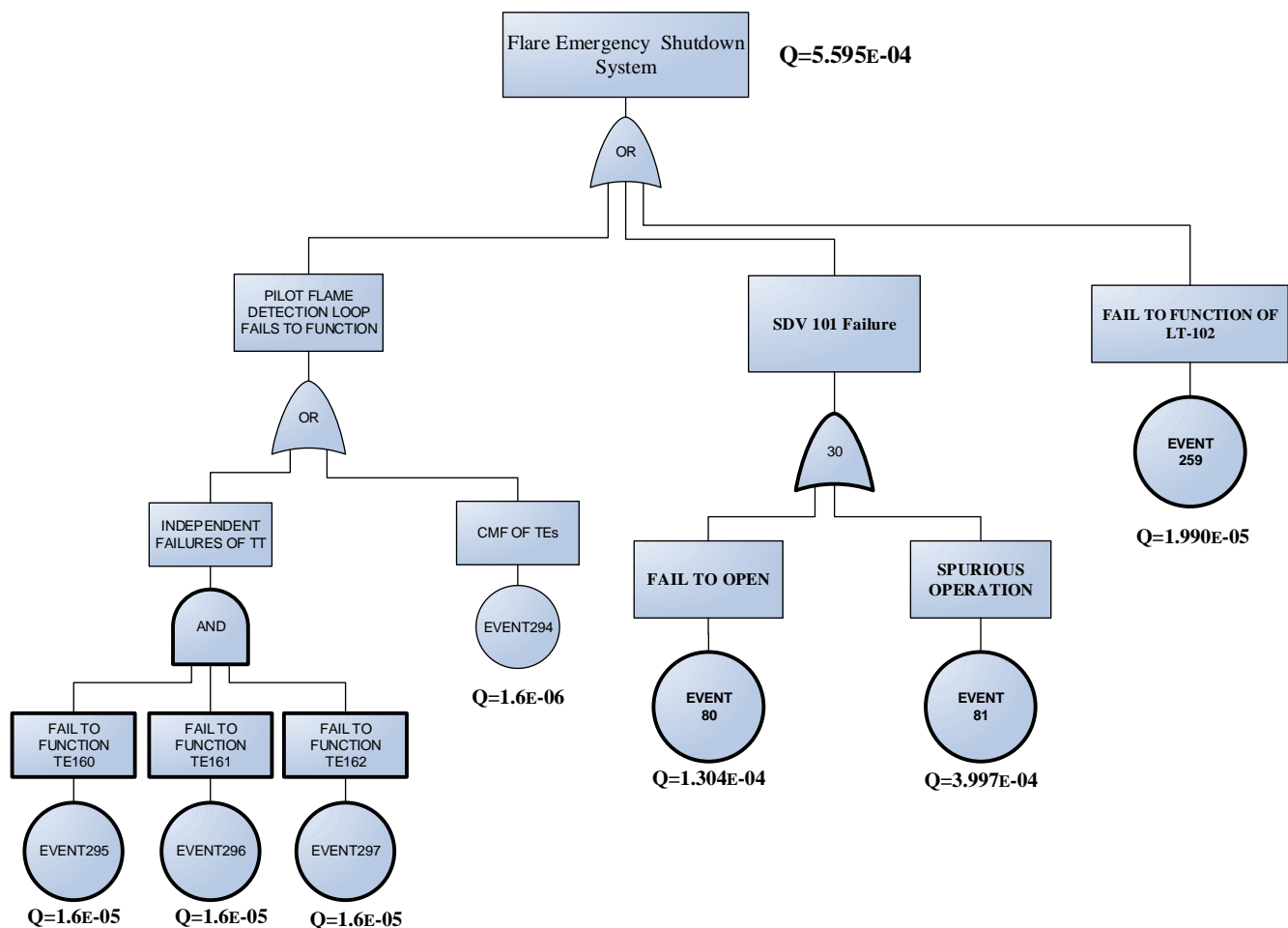
مشعل فشار بالا دارای یک سیستم جرقه زن الکتریکی که از پروپان ( با فشار ۰/۶ barg ) بعنوان گاز پایلوت ( این سر مشعل دارای سه پایلوت می باشد ) استفاده می شود. در زمانی که سکو توسط نفر کنترل میشود می توان مسیر مشعل را توسط نیتروژن تخلیه کرد. مشعل برای ۱۲ mmscf/d گاز و فشار ۵ barg طراحی شده است.

سیستم پروپان شامل شش کیسول ۴۵ کیلوگرمی است. میزان پروپان مورد نیاز kg/hr ۲/۸ است که این مقدار پروپان جوابگوی نیاز ۴ روز پایلوت مشعل سکو خواهد بود.

---

<sup>۱</sup> tip

<sup>۲</sup> high pressure sonic type



شکل ۴-۱۱-درخت خطای توقف اضطراری سیستم مشعل

### شرح درخت خطا :

این واحد از سکو شامل دو بخش کلی ظرف مایع گیر<sup>۱</sup> و مشعل های کم فشار و پر فشار می باشد. شرایط خطر در هر یک از آنها به شرح زیر می باشد:

-تجهیز نشانگر سطح ۱۰۲ که بر روی ظرف مایع گیر مشعل (۱۴۱-D-۰۴۰) نصب شده است در زمان خطا در حالت سطح مایع خیلی کم بر اساس منطق لاجیک منجر به توقف اضطراری محلی میگردد و در زمان خطا در شرایطی که سطح مایع خیلی بالا رفته باشد منتج به توقف اضطراری فرآیندی میگردد.

<sup>۱</sup> Knock Out Drum



-ایجاد خطا در شیر توقف اضطراری (۱۰۱) خروجی مایع از ظرف مایع گیر مشعل به سمت واحد ۴۱ باعث ایجاد توقف اضطراری فرآیندی میگردد.

-تعداد ۳ عدد ترموکوبل (TE-۱۶۰/۱۶۱/۱۶۲) بر روی استک فلر نصب گردیده اند. که چنانچه هر سه همزمان خاموش گردند بر اثر کاهش دمای سنسور های تعبیه شده در پنل جرعه زنی مشعل ایجاد توقف اضطراری فرآیندی می کنند.

محاسبات درخت خطا مطابق با جدول ۴-۵ :

$$Q = 5.595E - 04$$

$$S = 4$$

$$C = 3 \times 4 = 12 > 9 \Rightarrow 5^{th} \text{ High Critical Item}$$

#### ۴-۱۰- فعال شدن کاذب سیستم اعلان و تشخیص<sup>۱</sup>

سیستم آتش و گاز<sup>۲</sup> کلیه امکانات لازم برای مراقبت و محافظت سکو و پرسنل در مقابل وضعیت های خطرناک ناشی از وجود آتش یا غلظت های بالای گازهای قابل اشتعال<sup>۳</sup> و غلظت های بالای گازهای سمی<sup>۴</sup> را فراهم می آورد. در سیستم آتش و گاز آشکارگرهایی<sup>۵</sup> وجود دارند که وضعیت های خطرناک ناشی از وجود آتش، غلظت های بالای گازهای قابل اشتعال ، غلظت های بالای گازهای سمی، حرارت و دود را به سیستم آتش و گاز اعلام می کنند. در اثر فعال شدن هر کدام از این آشکارگرها با توجه به نوع و موقعیت آشکارگر یکسری عملیات جهت محافظت و مراقبت از سکو و نفرات و مقابله با وضعیت خطرناک انجام خواهد شد.

به طور کلی انواع آشکارگرهای بکار رفته در سکو های دریایی عبارتند از:

○ آشکار گر دود<sup>۶</sup>

○ آشکار گر گازهای قابل اشتعال<sup>۷</sup>

<sup>1</sup> F&G Spurious Activation

<sup>2</sup> FIRE & GAS

<sup>3</sup> Hydrocarbon Gas

<sup>4</sup> Toxic gas

<sup>5</sup> detector

<sup>6</sup> smoke detector

<sup>7</sup> HC GAS DETECTOR

○ آشکار گر گازهای سمی<sup>۱</sup>

○ آشکار گر شعله<sup>۲</sup>

سیستم آتش و گاز حداقل باید وظائف زیر را انجام دهد:

○ مراقبت از تمام نواحی جائیکه گاز قابل اشتعال هنگام عملیات عادی وجود دارد.

○ مراقبت از هوای ورودی به اقامتگاه و اقامتگاه موقت در برابر غلظت گاز قابل اشتعال و

سمی .

○ فراهم آوردن تأسیسات اعلام آتش.

○ هشدار به کارکنان در اتاق کنترل مرکزی در مورد وضعیت اضطراری گاز و آتش.

○ فعال ساختن سیستم خودکار آتش نشانی و آغاز عملیات توقف اضطراری

○ فعال کردن خودکار سیستم های مناسب جهت مقابله با آتش<sup>۳</sup> در شرائط اضطراری .

○ فعال کردن خفه کننده های انسداد آتش<sup>۴</sup> و توقف سیستم تهویه.

رسم درخت: با توجه به محدودیت رسم درخت کل، درخت خطای این قسمت به چند

رویداد راس تقسیم شده و در زیر رسم شده است.

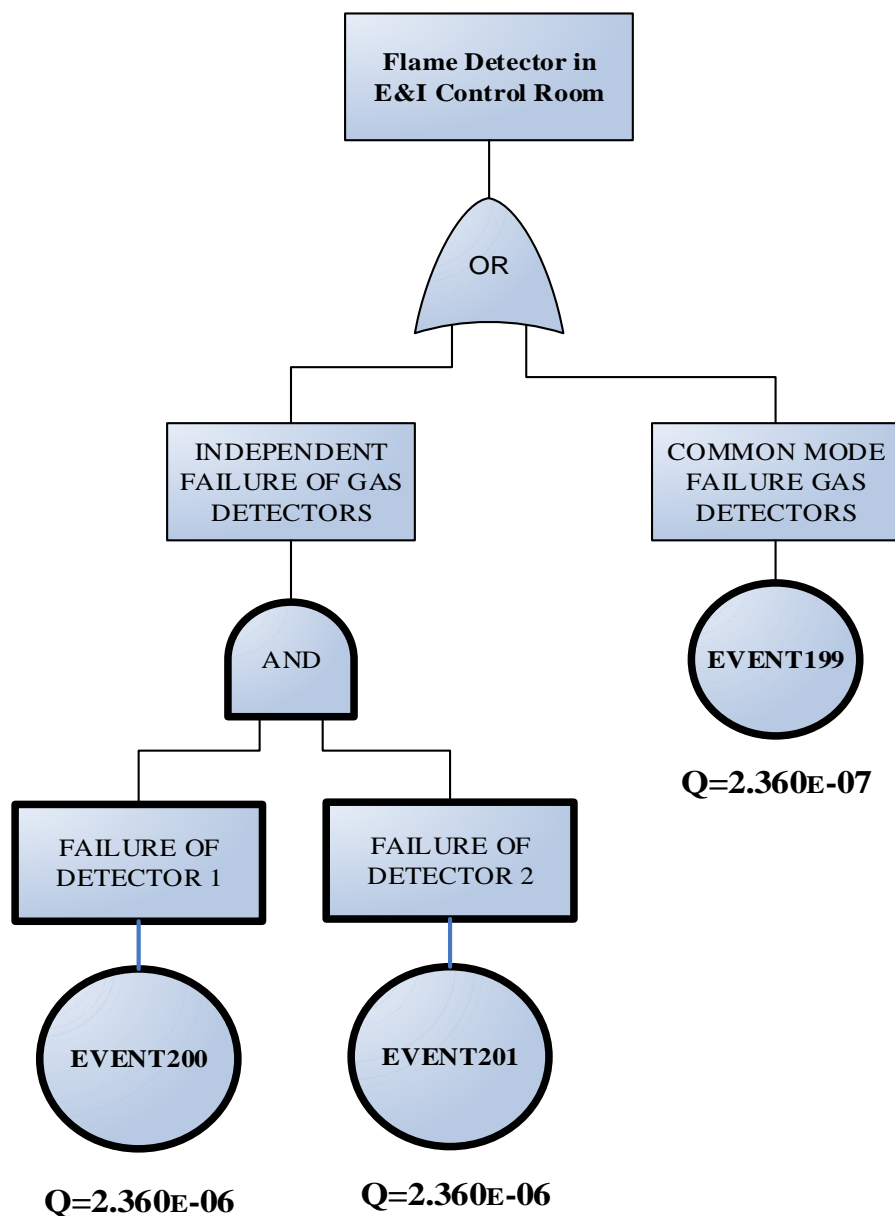
---

<sup>1</sup> H2S GAS DETECTOR

<sup>2</sup> Flame detector

<sup>3</sup> Deluge & CO2 Release

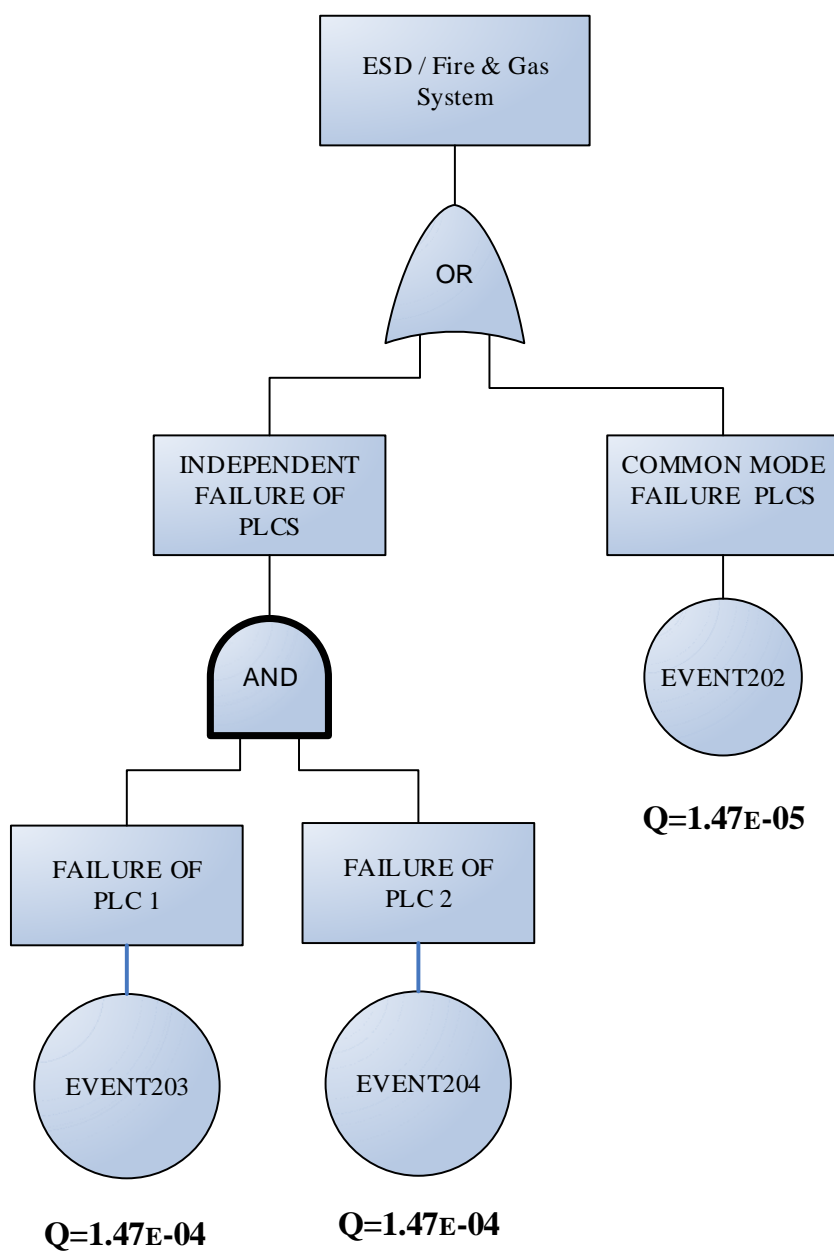
<sup>4</sup> Fire Damper



شکل ۴-۱۲- درخت خطای ( Flame Detector )

شرح درخت خطا :

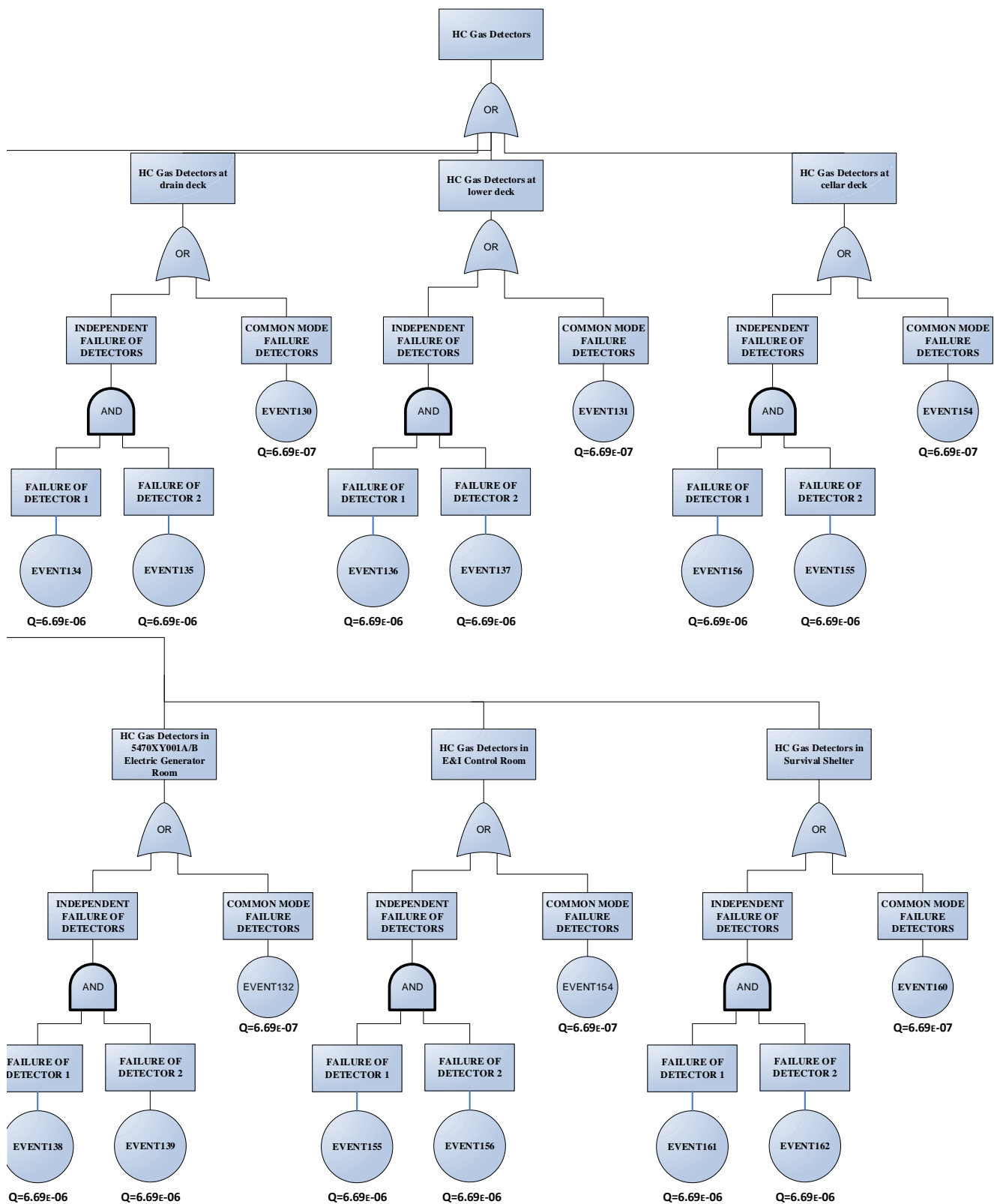
سیستم آشکار ساز شعله ای از تجهیزات اعلام حریق می باشد زمانی که شعله ای به وجود می آید خروجی اش فعال می گردد. در این درخت دو عدد آشکار ساز شعله ای وجود دارد که خطای این سیستم بر مبنای خطای تشخیص هر دو آشکار ساز می باشد. به همین خاطر از گیت AND در درخت استفاده شده است.



شکل ۴-۱۳- درخت خطای ESD / Fire & Gas System

شرح درخت خطا:

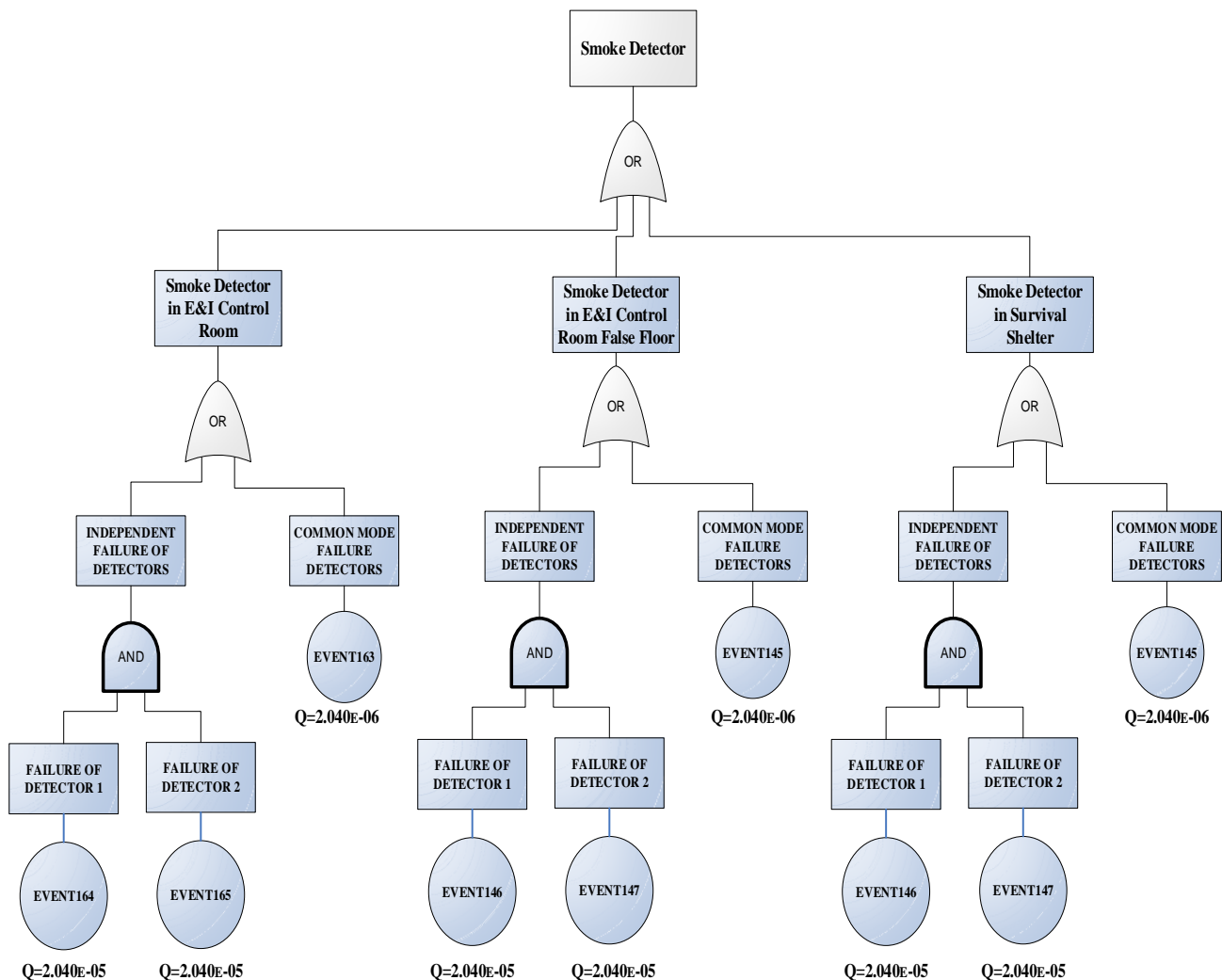
سیستم نرم افزاری کلیه آشکار ساز سکو متشکل از دو قسمت می باشد. که مطابق درخت خطای همزمان این دو باعث توقف اضطراری سکو خواهد شد.



شکل ۴-۱۴- درخت خطای HC Gas Detector

شرح درخت خطا :

آشکار ساز هیدرو کربن بروی قسمت های مختلف سکو نصب گردیده است. بر روی هر قسمت دو عدد از این نوع دتکتور نصب می باشد. در صورتی که هر دو به صورت همزمان فرمان خطای نشت گاز صادر نمایند موجب توقف اضطراری در سکو می شود.

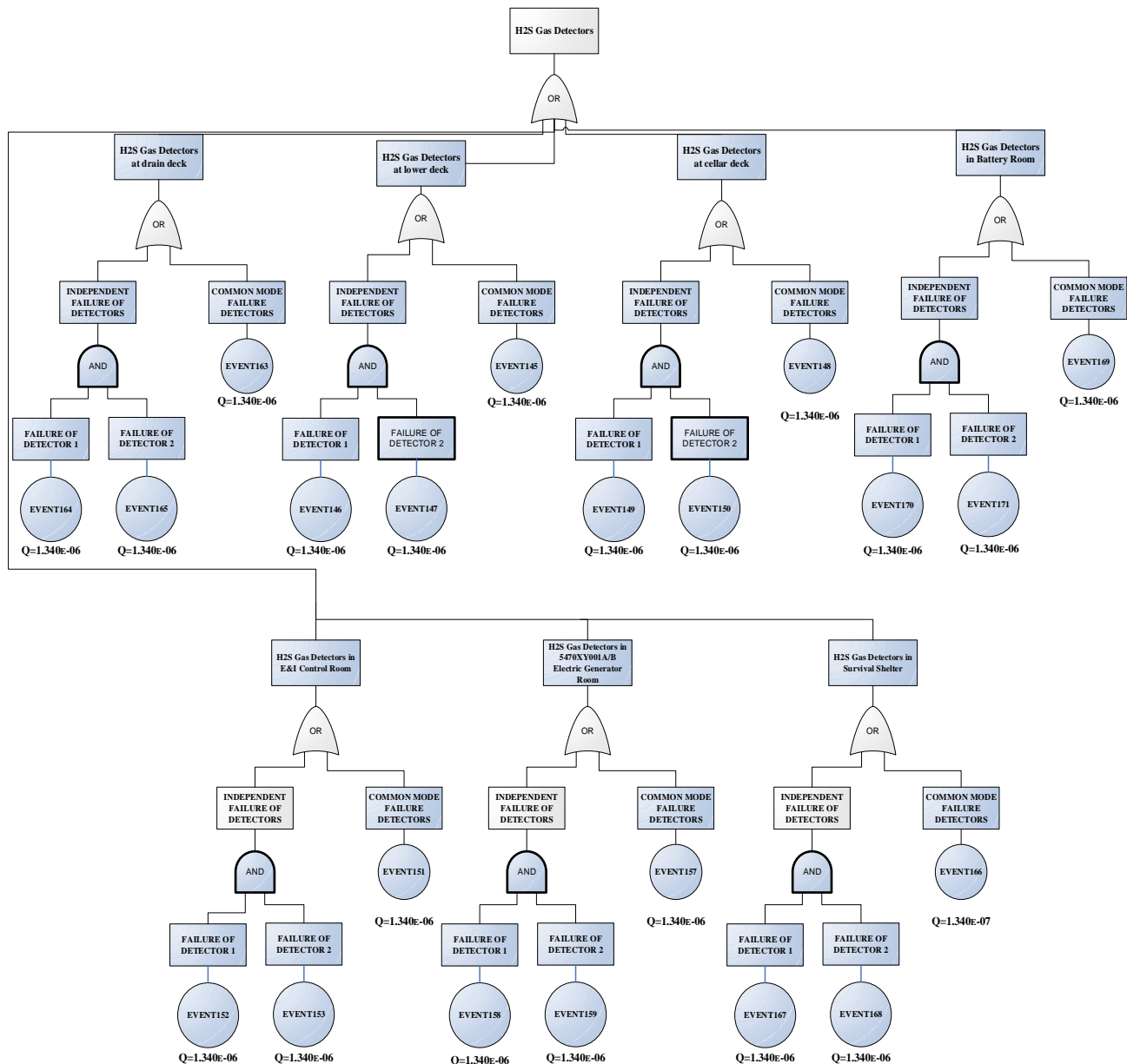


شکل ۴-۱۵- درخت خطای Smoke Detector

شرح درخت :

آشکار ساز دودی در سه قسمت از سکو و در هر قسمت ۲ عدد نصب گردیده است. آلارم این دتکتور ها طبق لاجیک برنامه آشکار ساز ۲ از ۲ می باشد به این صورت که باید

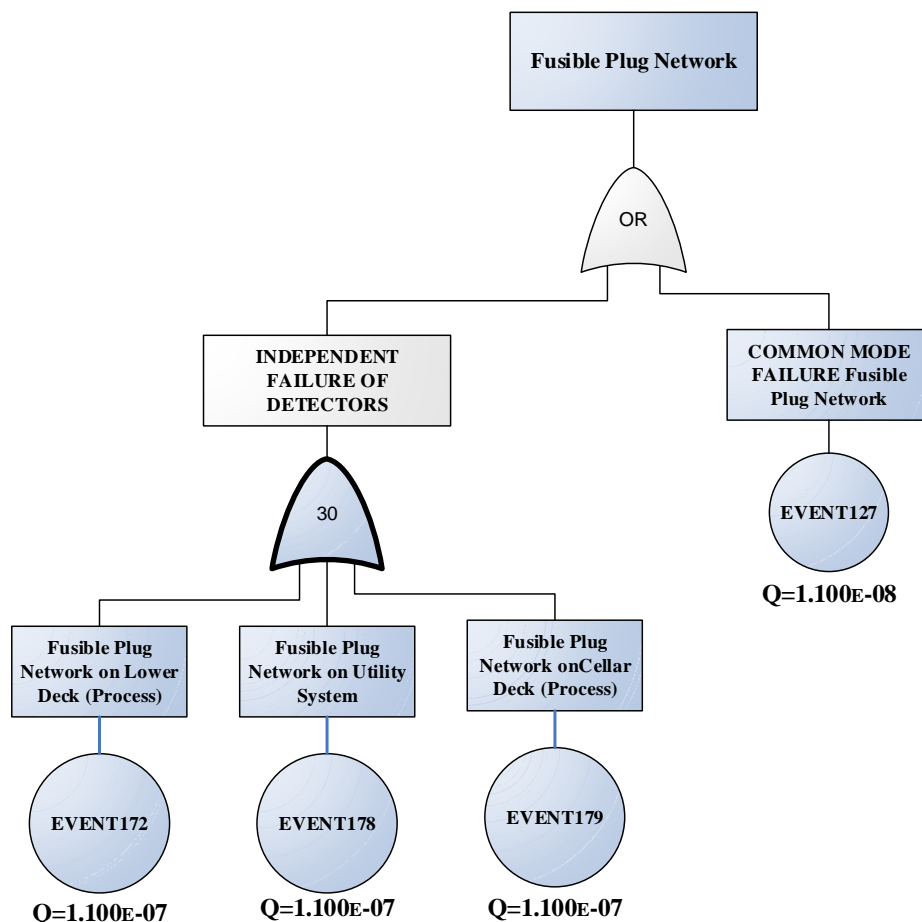
برای الارم هر دو آشکار ساز خطا دهند. این خطا با گیت AND مشخص شده است. این خطا با گیت AND مشخص شده است. در صورت خطای همزمان هر کدام از قسمت ها توقف اضطراری در سکو رخ خواهد داد.



شکل ۴-۱۶- درخت خطای H<sub>2</sub>S GAS Detectors

شرح درخت :

دتکتور های هیدروژن سولفور ه بر روی قسمت های مختلف سکو از جمله نصب گردیده است. آلام این دتکتور ها طبق لاجیک برنامه دتکتور ۲ از ۲ می باشد به این صورت که باید برای الارم هر دو دتکتور خطا دهند. این خطا با گیت AND مشخص شده است. در صورت خطای همزمان هر کدام از قسمت ها توقف اضطراری در سکو رخ خواه داد.



شکل ۴-۱۷ درخت خطای Fusible Plug Network

توضیح درخت:

با توجه به توضیحات بالا عملکرد این سیستم بر مبنای مدرک طراحی فلسفه علت و معلول<sup>۱</sup> می باشد. که سلسله مراتب، تعداد در هر منطقه حریق، خروجی هر مرحله و ... در این

<sup>1</sup> Cause & Effect



مدرک آورده شده است. لذا درخت تحلیل خطای این بخش با رعایت کلیه الزامات مندرج در مدرک فوق الذکر به صورت بالا می باشد.

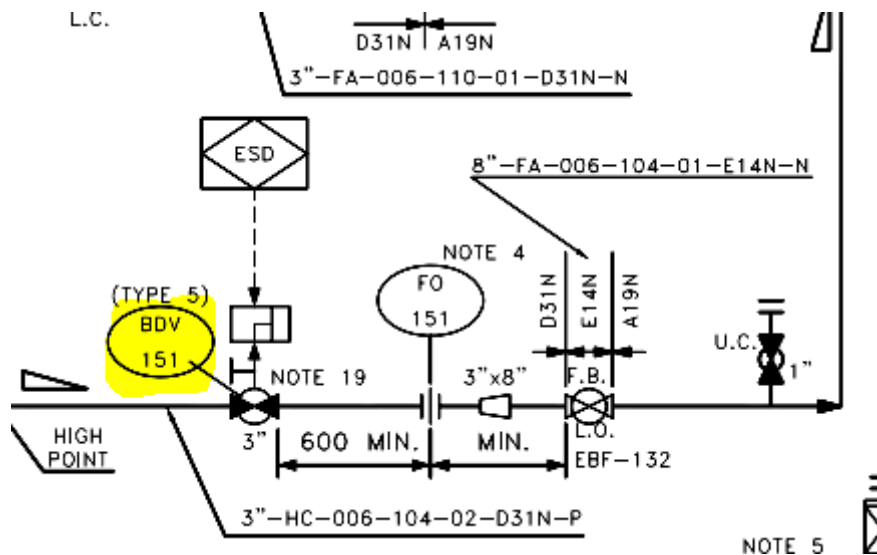
محاسبات درخت خطا مطابق با جدول ۴-۵:

$$Q = 9.5095E - 05$$

$$S = 4$$

$$C = 2 \times 4 = 8 < 9$$

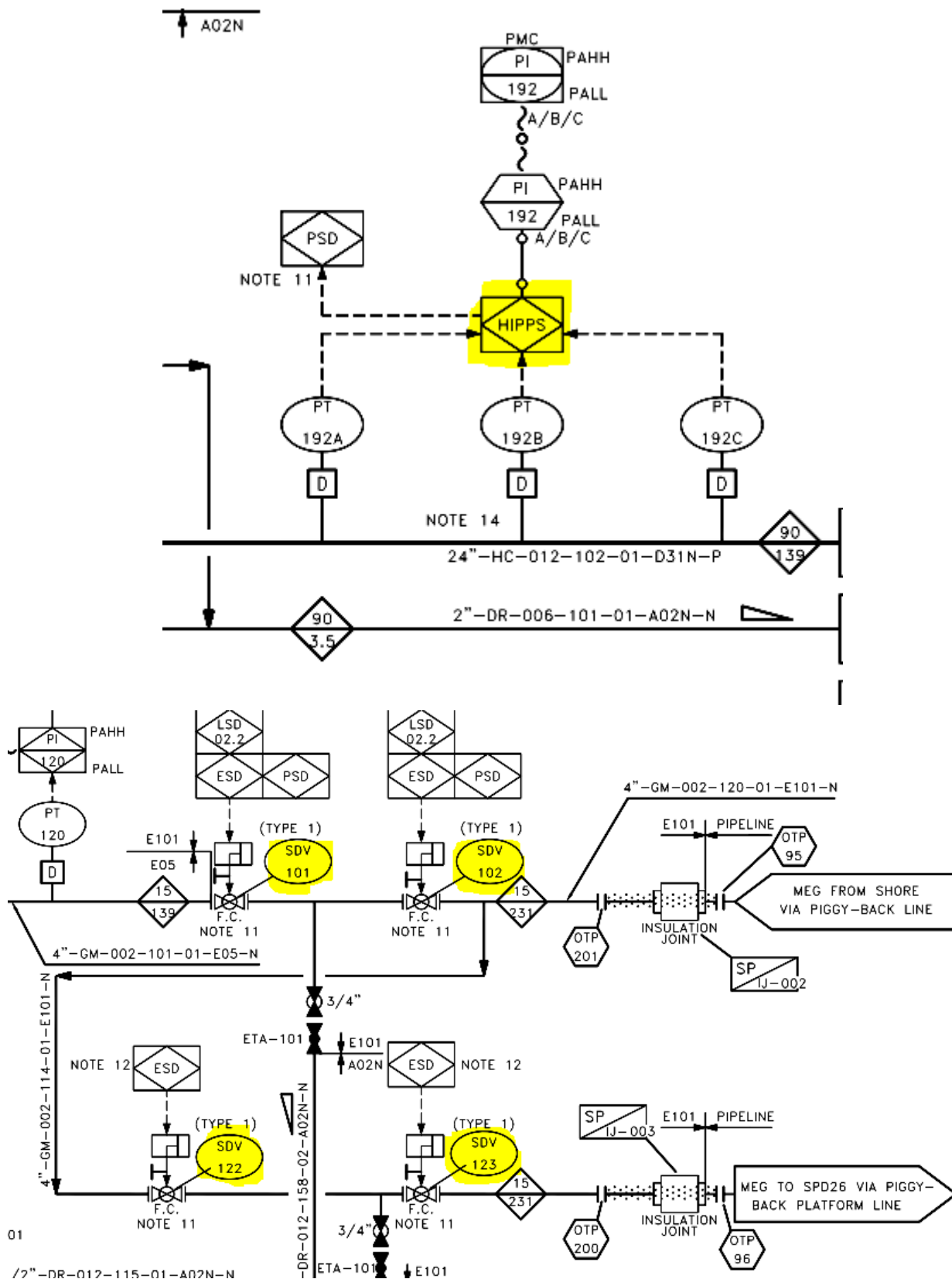
#### ۴-۱۱- کاهش فشار در خط انتقال گاز از سکو به خشکی<sup>۱</sup>



شکل ۴-۱۸ برش نقشه ابزار دقیق و فرآیند خط انتقال گاز از سکو به خشکی

P&ID:SP17/18-PO-PR-DW-2147

<sup>1</sup> Pressure Drop in gas Transporting Lines from Offshore to Onshore

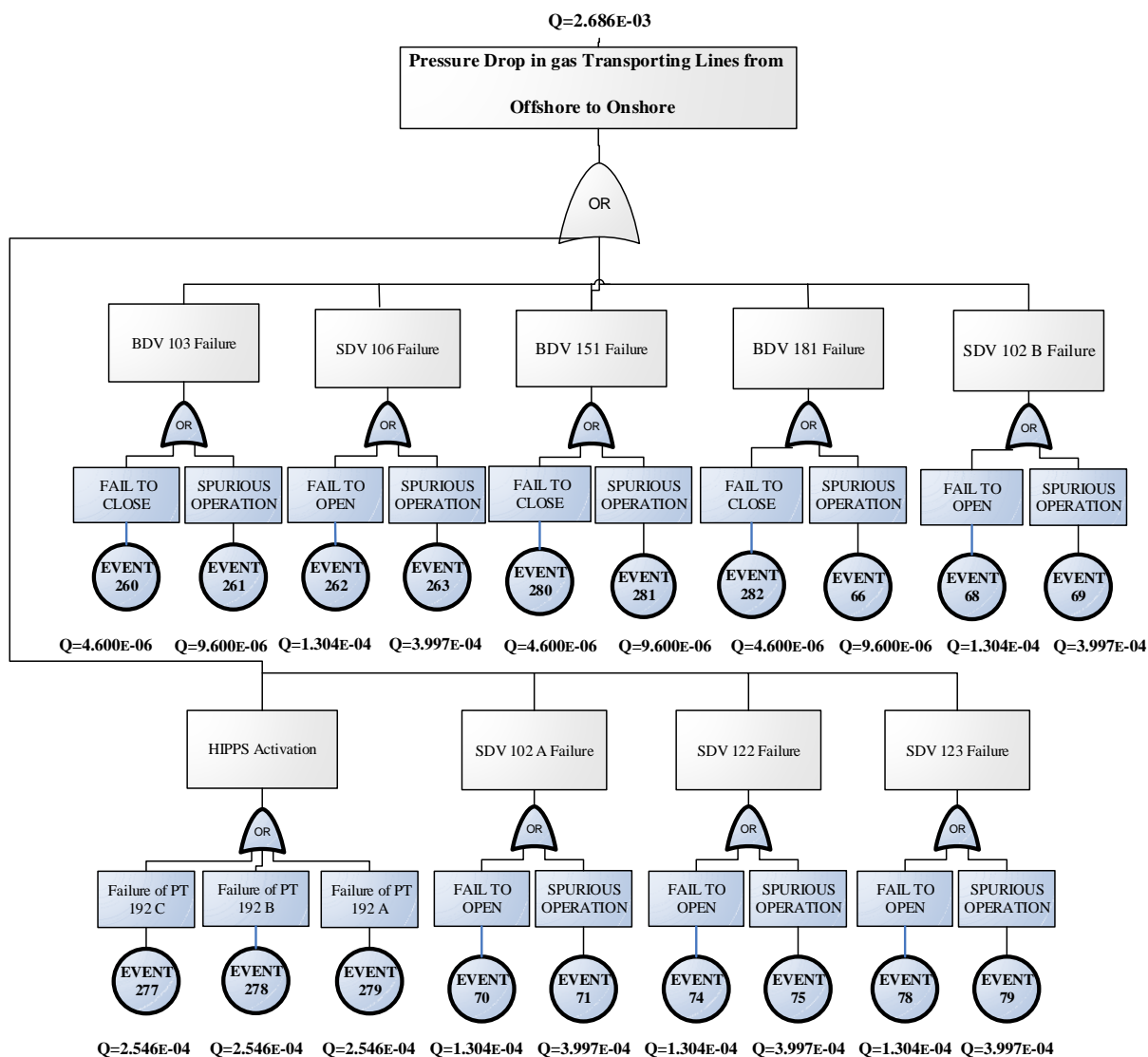


شکل ۴-۱۹ برش نقشه ابزار دقیق و فرآیند خط انتقال گاز از سکو به خشکی

P&ID:SP17/18-PO-PR-DW-2148

این بخش شامل ۴ قسمت می باشد:

- ۱- تجهیزات SDV-122/123 که بر روی خط ورودی ظرف دریافت کننده توپک<sup>۱</sup> (۱۰۲-L-۰۰۶) قرار دارند نیز در صورت خطا که از سیستم HIPPS تشخیص داده می شود دچار توقف اضطراری می گردد.
- ۲- تجهیزات SDV102A/B که بر روی خط دریا<sup>۲</sup> بعد از ظرف مایع گیر قرار دارند در صورت هر گونه خطا منجر به توقف اضطراری میگردند.



شکل ۴-۲۰- درخت خطای کاهش فشار در خط انتقال گاز از سکو به خشکی

<sup>1</sup> PIG

<sup>2</sup> Sea Line

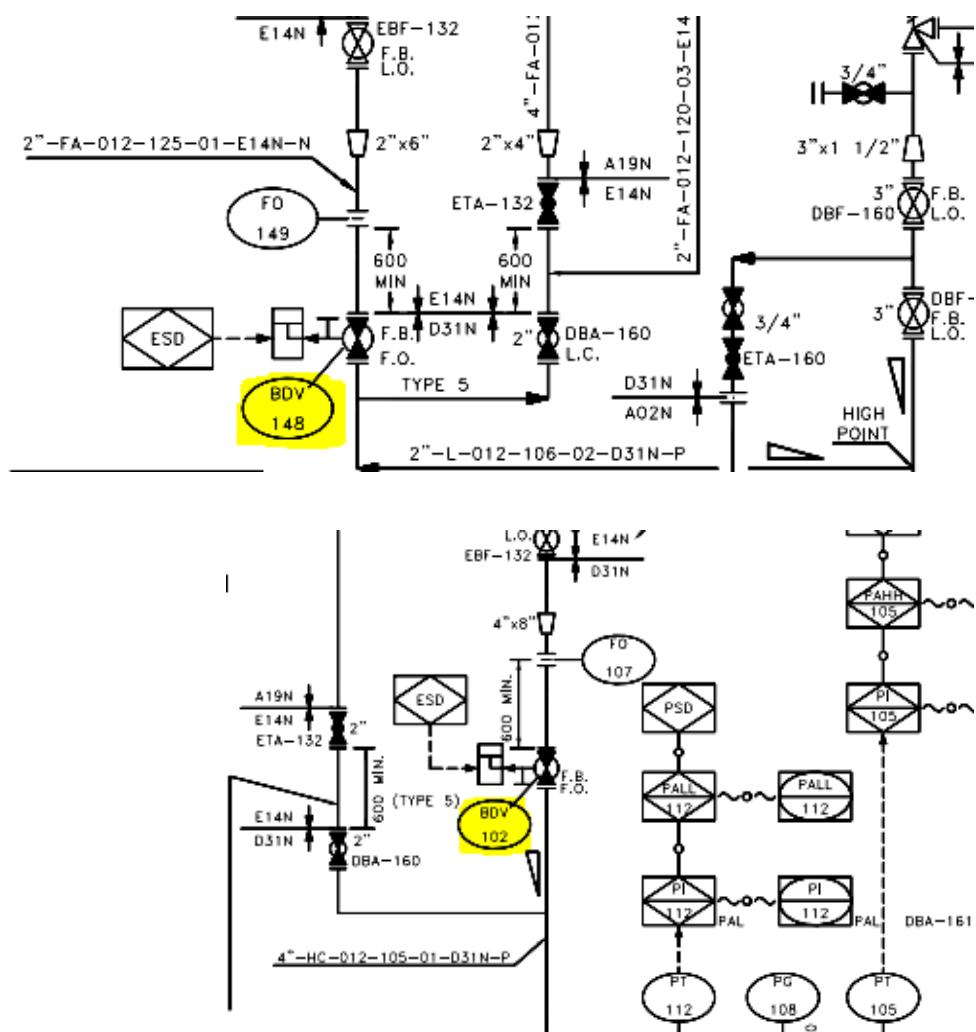
محاسبات درخت خطا مطابق با جدول ۴-۵:

$$Q = 2.6860E - 03$$

$$S = 4$$

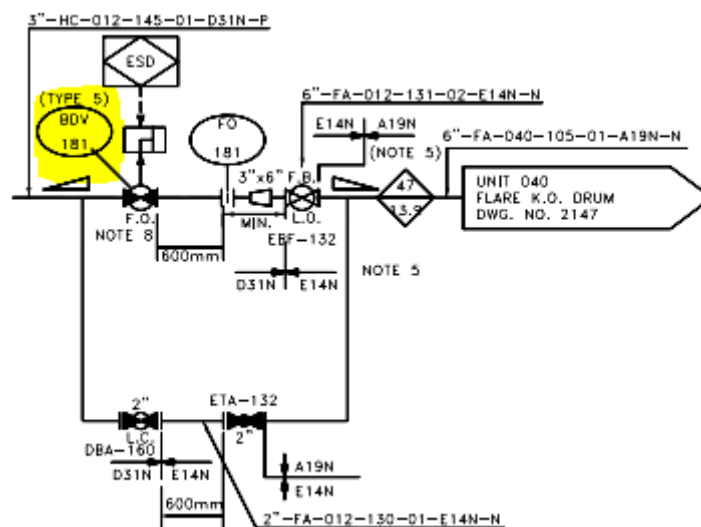
$$C = 4 \times 4 = 16 > 9 \Rightarrow 6^{th} \text{ High Critical Item}$$

#### ۴-۱۲- باز شدن جریان گاز به شبکه مشعل<sup>۱</sup>:



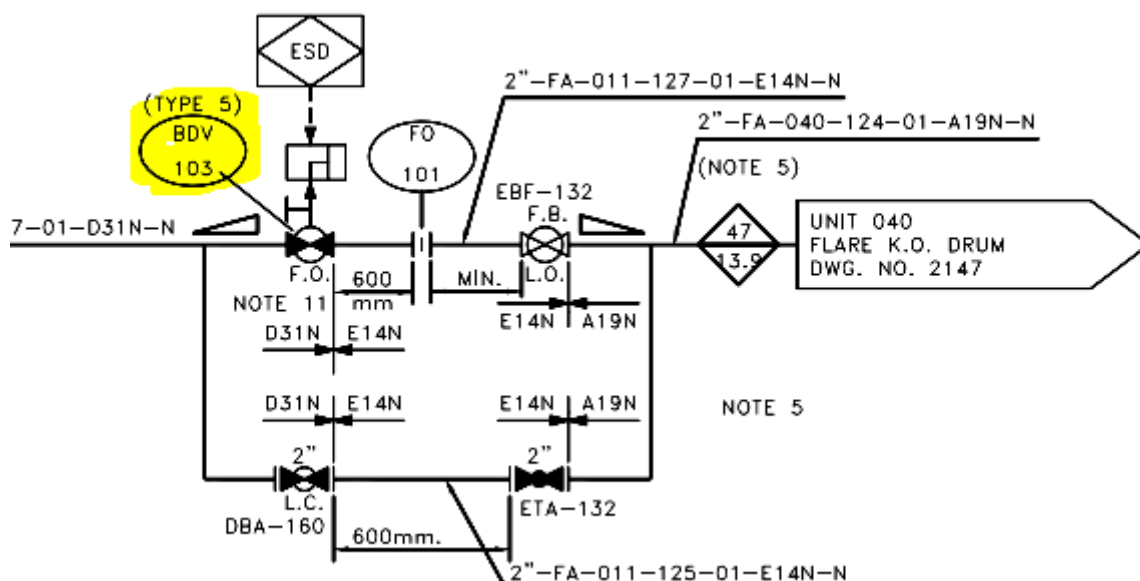
شکل ۴-۱۱ نقشه ابزار دقیق و فرآیند باز شدن جریان گاز به مشعل (قسمت اول)

P&ID:SP17/18-PO-PR-DW



شکل ۴-۲۲- برش نقشه ابزار دقیق و فرآیند باز شدن جریان گاز به مشعل (قسمت دوم)

P&ID:SP17/18-PO-PR-DW- 2144

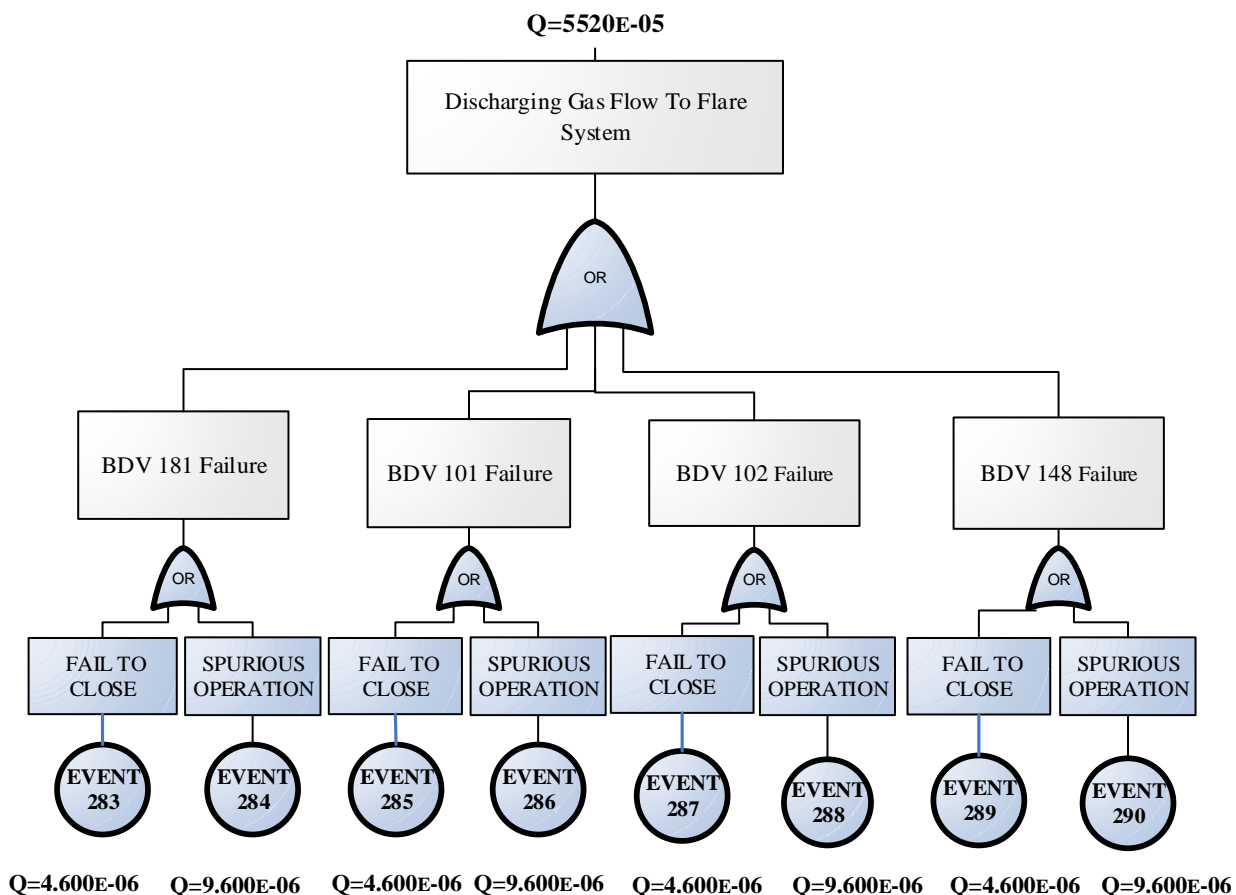


شکل ۴-۲۳- برش نقشه ابزار دقیق و فرآیند باز شدن جریان گاز به مشعل (قسمت سوم)

P&ID:SP17/18-PO-PR-DW-2143

یکی از سیستم های کنترلی واحد در مواقع توقف اضطراری، نشتی ها، مشکلات فرآیندی سیستم فوق می باشد، نحوه عملکرد آن بر اساس منطق تعریف شده در سیستم کنترلی واحد است، به روی تجهیزات و ادوات مسیر فرآیندی بخصوص ظروف که در زمان توقف، اشکالات

فرآیندی با پدیده افزایش فشار مواجه میشوند شیرهای BDV متناسب با حجم و شرایط تجهیز نصب گردیده، این شیرها در حالت نرمال بسته و در زمان های غیر نرمال که در بالا قید شد در جهت حفظ ایمنی تاسیسات باز میشوند و محتویات تجهیز را به سمت سیستم مشعل هدایت مینماید. نحوه عملکرد و باز شدن شیرهای فوق بر اساس منطق لاجیک کنترلی سکو می باشد.



شکل ۴-۲۴ درخت خطای باز شدن جریان گاز به شبکه مشعل

- ۱- ایجاد خطا در BDV ۱۸۱ که بعد از هدر سر چاه های فرد قرار دارد. هرگونه خطا در این سیستم که آن را به صورت نرمال باز نگه دارد ایجاد توقف اضطراری میکند. (تجهیز BDV ۱۰۳ که بر روی هدر چاه های زوج نصب گردیده نیز به همانگونه عمل می کند.
- ۲- بر روی لاین خروجی از واحد ظرف مایع گیر (UNIT ۰۱۲) به سمت خط دریا

قبل از خروجی جریان به سمت تنه پیگ لانچر تجهیز ۱۵۱-BDV که بر روی خط مشعل پر فشار قرار دارد چنانچه به هر دلیلی خطایی در این خط اتفاق افتد منجر به توقف اضطراری و باز شدن این تجهیز خواهد شد.

۳-جریان بالا دستی از تجهیز (۱۰۳-D-۰۱۲) یک خط ۳ اینچ وجود دارد که در زمان افزایش پارامتر های عملیاتی در این تجهیز به سمت مشعل تخلیه خواهد شد. تجهیز ۱۴۸-BDV بر روی این خط قرار دارد به گونه ای که هر گونه خطا و یا شکست در این موقعیت منجر به ایجاد توقف اضطراری و باز شدن آن خواهد شد.

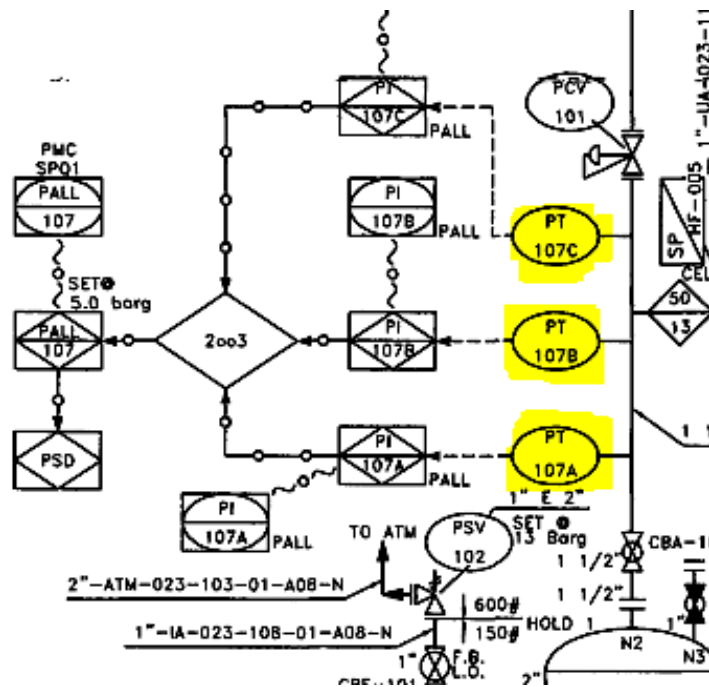
۴- جریان بالا دستی از تجهیز (۱۰۲-D-D-۰۱۲) ظرف مایع گیر یک خط ۴ اینچ وجود دارد که در زمان افزایش پارامتر های عملیاتی در این تجهیز به سمت مشعل تخلیه خواهد شد. تجهیز ۱۰۲-BDV بر روی این خط قرار دارد به گونه ای که هر گونه خطا و یا شکست در این موقعیت منجر به ایجاد توقف اضطراری و باز شدن آن خواهد شد.

$$Q = 5.520E - 05$$

$$S = 4$$

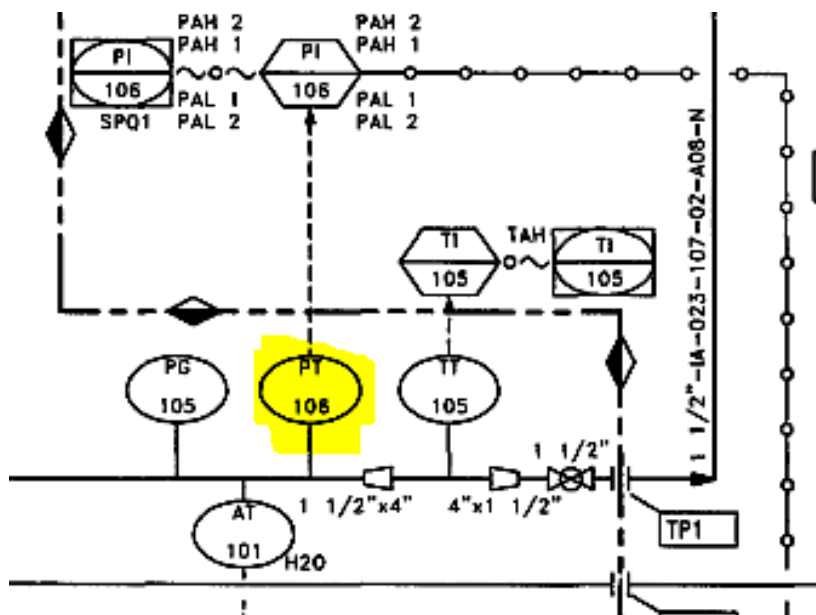
$$C = 2 \times 4 = 8 < 9$$

#### ۴-۱۳- شکست در هوای ابزار دقیق<sup>۱</sup> :



شکل ۴-۲۵ برش نقشه ابزار دقیق و فرآیندهای ابزار دقیق (قسمت اول)

P&ID:SP17/18-PO-PR-DW-

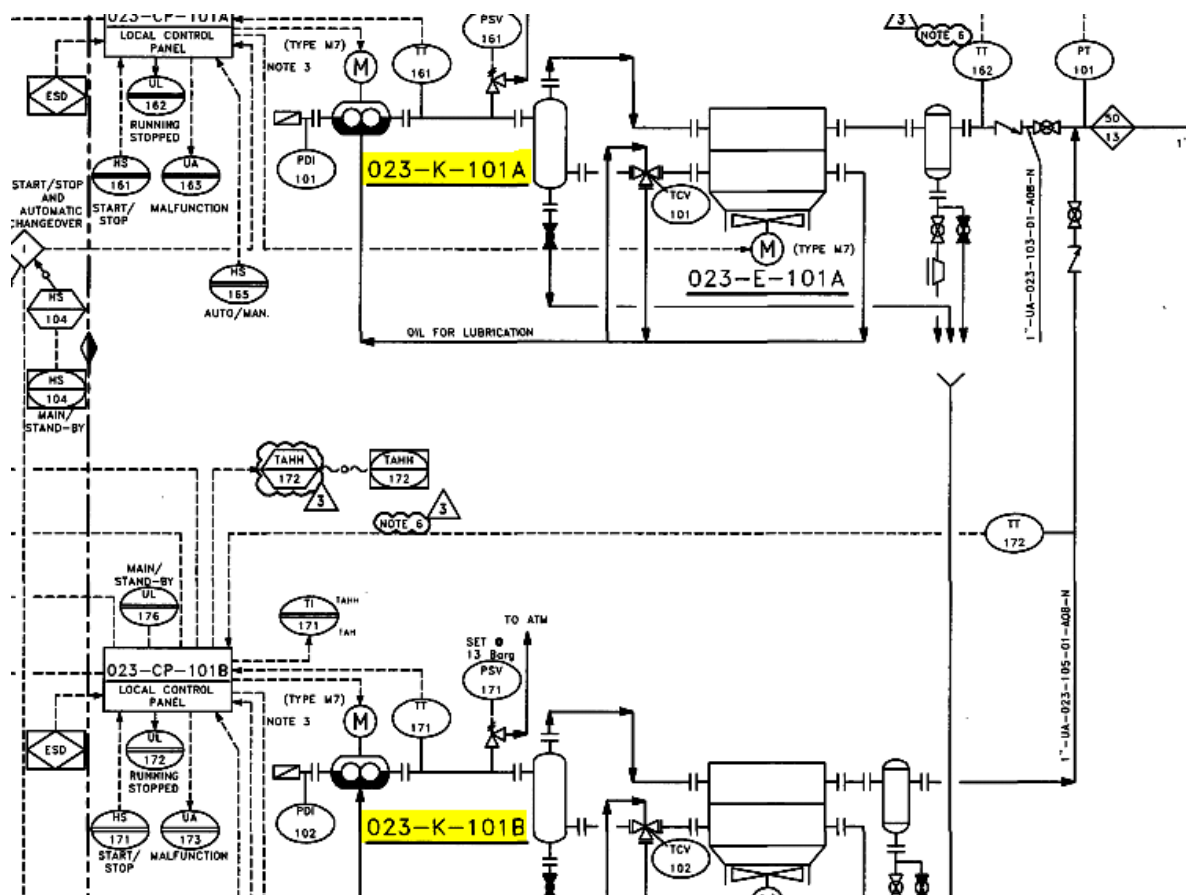


شکل ۴-۲۶ برش نقشه ابزار دقیق و فرآیندهای ابزار دقیق (قسمت دوم)

P&ID:SP17/18-PO-PR-DW-2156

<sup>1</sup> Failure In Air Instrument System





شکل ۴-۲۷- برش نقشه ابزار دقیق و فرآیندهای ابزار دقیق (قسمت سوم)

**P&ID:SP17/18-PO-PR-DW-2164**

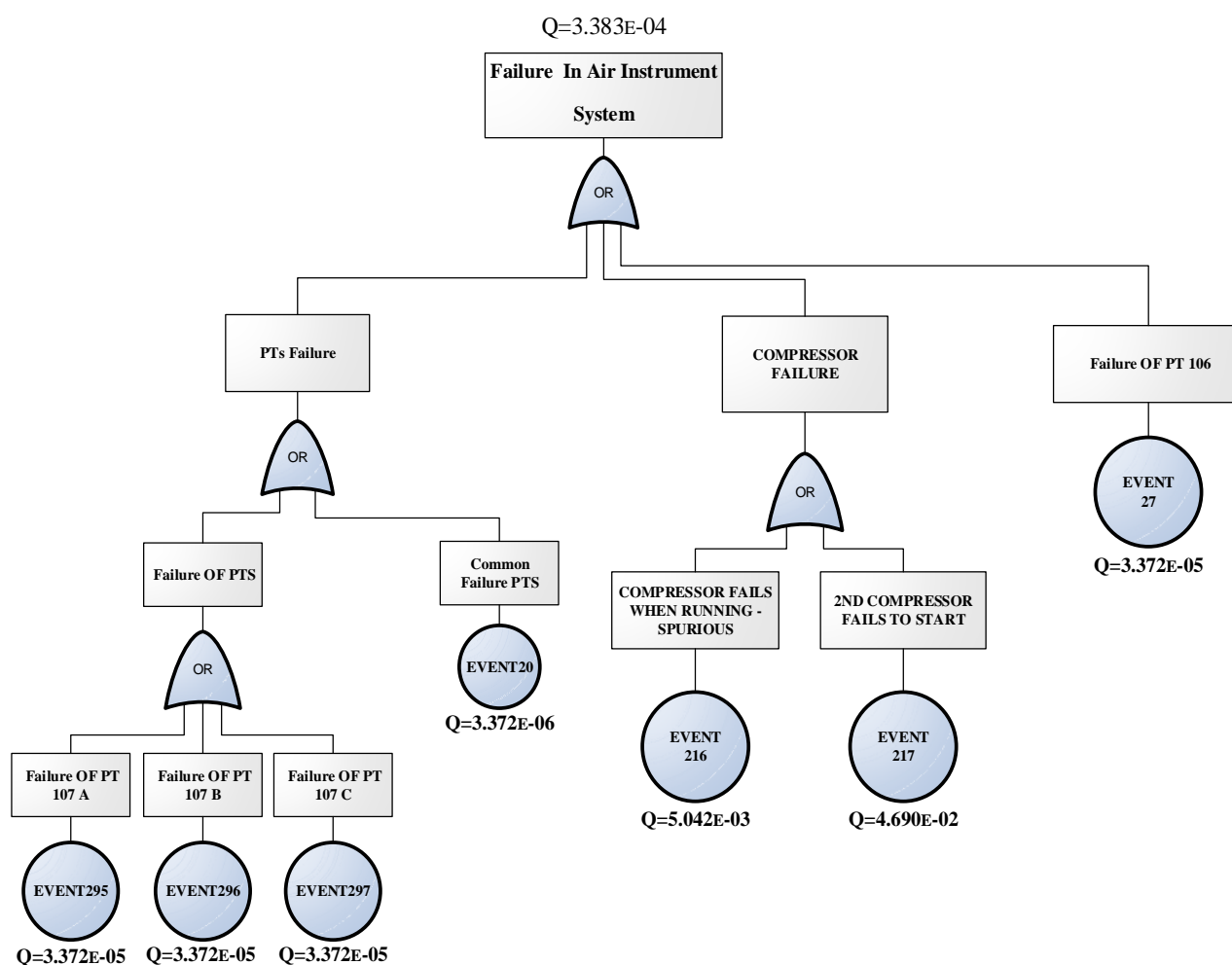
هدف از طراحی و نصب سیستم تولید هوا در سکوی بهره برداری تولید هوا خشک برای سیستم های ابزار دقیق و هوای مورد نیاز در پروسس سیستم های سکوی سر چاهی می باشد. این سیستم شامل: کمپرسورهای تولید هوا<sup>۱</sup>، مخزن نگهداری هوای تولید شده<sup>۲</sup> بظرفیت ۲۷ متر مکعب، سیستم خشک کننده هوا<sup>۳</sup> و مخزن نگهداری هوای خشک<sup>۴</sup> تولیدی بظرفیت ۲۷ متر مکعب می باشد.

<sup>۱</sup> Rotary Screw Compressor

<sup>۲</sup> utility air receiver

<sup>۳</sup> air dryer

<sup>۴</sup> air receiver dry



شکل ۴-۲۸- درخت خطای شکست در هوای ابزار دقیق

### شرح درخت :

در این واحد مهم ترین اصل در توقف اضطراری ایجاد هر گونه خطای سیستمی و تجهیزاتی و مکانیکی بر روی هر کدام از کمپرسور های هوا می باشد. علاوه بر آن چنانچه دو قلم از سه تجهیز ( PT-۱۰۷ A/B/C ) که بر روی جریان هوای خروجی از درام هوای فشرده خشک<sup>۱</sup> (D-۱۰۲-۰۲۳) قرار دارند عمل نمایند در حالت فشار خیلی کم علاوه بر اعلام سیستم دچار توقف اضطراری می گردد.

<sup>1</sup> Dry Compased Air Vessel

محاسبات درخت خطا مطابق با جدول ۴-۵ :

$$Q = 3.883E - 04$$

$$S = 4$$

$$C = 3 \times 4 = 12 > 9 \Rightarrow 7^{th} \text{ High Critical Item}$$

#### ۴-۱۴- خطا در رفتار اپراتور و توقف اضطراری سکو<sup>۱</sup>

علیرغم پیشرفت های اخیر در روش های ایمنی فنی و طراحی فرآیند ، باز هم شاهد افزایش نرخ حوادث<sup>۲</sup> و حجم خسارات وارده به صنایع و سازمان ها هستیم . در بسیاری از این حوادث از عامل انسانی به عنوان علت مشترک یاد می شود . اما چرا حتی در کارخانجاتی که رکوردهای خوب ایمنی دارند به ناگاه حوادث تأسف بار و بزرگی رخ می دهد که تا مدت ها در ذهن ها نقش می بندد و سبب توقف کامل تولید می گردد ؟ آیا این وقایع و اتفاقات نشانه هایی از نادیده انگاشتن و عدم توجه به نقش عامل انسانی در بروز حوادث نیست ؟

به نظر می رسد تمامی سازمان ها بایستی ارتقاء عملکرد انسانی و به حداقل رساندن خطاهای او را در استراتژی یکپارچه خود لحاظ کنند و پیش بینی و تدارک ابزار مناسب و ایجاد دانش لازم جهت نیل به این هدف را در برنامه های ایمنی خود بیاورند . تجربه ثابت کرده است که عوامل انسانی نقش بسزائی در حوزه های کلیدی سازمان ها از قبیل کیفیت محصول ، حجم تولید و میزان سودآوری دارد .

#### ۴-۱۴-۱- محاسبه خطای انسانی :

در روش TESEO ، خطای اپراتور بصورت تابعی با ۵ پارامتر ، تعریف می شود .

$$P = K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5$$

<sup>1</sup> Operator's Fault And Platform Emergency Shutdown

<sup>2</sup> Accident Rate

که در آن  $P$  احتمال وقوع خطای اپراتور ، و تعریف پارامترها عبارت است از

$K1 =$  نوع کاری که انجام می شود.

$K2 =$  زمانی که اپراتور لازم دارد تا کار را انجام دهد.

$K3 =$  ویژگیهای فردی اپراتور، میزان تجربه یا مهارت اپراتور

$K4 =$  عوامل روانی موثر در عکس العمل اپراتور

$K5 =$  شرایط محیطی و عوامل ارگونومیکی محل کار

این روش را در بخش خطاهای انسانی به تفصیل شرح دادیم . در این پروژه ، با توجه به اینکه بخش عمده ای از وقوع رویداد رأس بخاطر عکس العمل نامناسب و خطای اپراتور است ، تیم با دقت بیشتری این بخش را بررسی نموده است در این بخش براساس خرد جمعی اعضای تیم تشکیل شده مواردی که احتمال خطای انسانی در آنها بیشتر وجود دارد به شرح ذیل جمع بندی گردیده است:

- اپراتورهایی که به تازگی جذب شده و به اندازه کافی تجربه کار با تجهیزات را نداشتند.

- اپراتورهای فراموش کار که فراموش کرده اند با توجه به برنامه بازدید تجهیزات فوق ، به موقع از تجهیزات فوق بازدید به عمل آورند.

- افرادی که عکس العمل دیر هنگام به آلارم ها نشان داده و آلارم هایی که از طرف حسگرها و سیستم ابزاردقیق به اتاق کنترل آمده است را با تأخیر عمل می کنند.

مجموع این ۳ خطا ، وقوع خطای انسانی را در بر دارد . ضرایب در نظر گرفته شده برای خطای اپراتور در حالت های مختلف به شرح زیر است :

در مورد (اپراتور آموزش ندیده یا تازه وارد)

$$K1 = 0.01, K2 = 0.1, K3 = 3, K4 = 3, K5 = 0.7$$

در مورد ( فراموشی در بازدید از تجهیزات )

$$K1 = 0.01, K2 = 0.5, K3 = 1, K4 = 1, K5 = 0.7$$

برای ( عکس العمل کند اپراتور)

$$K1 = 0.1, K2 = 0.1, K3 = 1, K4 = 3, K5 = 0.7$$

برای محاسبه احتمال خطای انسانی همانگونه که در بخش ۳-۱۴ بدان اشاره شد ،

بایستی حاصلضرب ضرایب  $K1$  تا  $K5$  را محاسبه نمود :

در مورد (اپراتور آموزش ندیده یا تازه وارد)

$$P1 = 0.01 \times 0.1 \times 3 \times 3 \times 0.7 = 0.0063$$

در مورد (فراموشی در بازدید از تجهیزات)

$$P1 = 0.01 \times 0.5 \times 1 \times 1 \times 0.7 = 0.0035$$

برای ( عکس العمل کند اپراتور)

$$P1 = 0.1 \times 0.1 \times 1 \times 3 \times 0.7 = 0.021$$

و در نهایت احتمال خطای انسانی برابر است با :

$$HE = 0.0063 + 0.0035 + 0.021 = 0.0308$$

با فرض نمایی و منفی بودن تابع توزیع نقص برای رویداد (رأس) انتخاب این توزیع با

توجه به ثابت بودن نرخ نقص در زمان عملیات، کاملاً منطقی به نظر میرسد (وبادردست داشتن

مقدار  $P=0.0308$  و جاگذاری آن در تابع توزیع نقص و با فرض  $t = 1$  زمان یکسال در نظر

گرفته شده است (مقدار  $\lambda$  یا نرخ نقص در واحد سال) به صورت زیر محاسبه میشود:

$$p = 1 - e^{-\lambda t}$$

$$\lambda = -\ln(1 - p)$$

$$\lambda = -\ln(1 - 0.0308)$$

$$\lambda = 0.0313$$

$$\frac{1}{\lambda} = 31.94$$

این عدد احتمال یک بار نقص در ۳۱.۹۴ سال است. یعنی در هر دوره ۳۱.۹۴ سال انتظار می‌رود تنها یک بار توقف کامل تولید به دلیل خطای اپراتور اتفاق بیفتد. که مقدار بسیار ناچیزی می‌باشد.

**فصل پنجم :**

**بحث و نتیجه گیری**

## ۵-۱- خلاصه مراحل پژوهش انجام شده :

- استفاده از فرمول ها و قوانین مندرج در استاندارد OREDA جهت تعریف : نرخ خطا، نرخ تعمیر ،نرخ خارج از سرویس بودن ، شدت و بحرانی
- استفاده از خرد جمعی در جلسات متعدد و تعیین معیارهای قابل قبول برای طبقه بندی مقادیر: نرخ خارج از سرویس بودن و شدت در چهار کلاس و تعیین ارتباط بین این دو فاکتور برای مشخص کردن سطوح بحرانی .
- تشکیل جلسات متعدد مهندسی جهت مشخص نمودن درخت خطا های مورد مطالعه براساس رویداد راس توقف اضطراری و کامل سکو در سطح ۰ یا ۱ بر مبنای جداول علت و معلول.
- تعیین علل پایه ای و میانی برای هر کدام از درخت های خطا و رسم هر کدام از آنها.
- بررسی هر کدام از درخت خطا های مورد بررسی و تعیین عدد بحرانی برای هر کدام از درخت ها و مقایسه آن با جدول ۵-۴ . جهت تعیین مقادیر بالای این معیار .

## ۵-۲- جمع بندی و ارائه پیشنهادات :

- پس از مقایسه مقادیر بحرانی حاصل از هر کدام از درخت های خطا تعداد ۷ مورد از آنها دارای مقادیر بحرانی بالاتر از ۹ می باشند که بایستی تقلیل یابند. عناوین این رویداد ها به ترتیب مقدار عدد بحرانی عبارتند از :
- کاهش فشار در خط انتقال گاز از سکو به خشکی
- ایجاد مشکل در تولید برق سکو



• توقف اضطراری در سیستم گاز مصرفی سکو

• توقف اضطراری در سیستم مشعل

• شکست در سیستم هیدرولیک

• شکست در سیستم هوای ابزار دقیق

• توقف اضطراری در ظرف مایع گیر

### ارائه پیشنهادات :

#### ۱- کاهش فشار در خط انتقال گاز از سکو به خشکی

به طور کلی بیشترین نرخ احتمال شکست در کاهش فشار در خط انتقال گاز از سکو به خشکی در شیرهای توقف اضطراری<sup>۱</sup> رخ می دهد. که ناشی از دو عامل شکست در باز شدن و عملیات کاذب می باشد. برای پیشگیری از موارد ذکر شده راهکارهای زیر ذکر میگردد:

- طراحی بر اساس شرایط عملیاتی و محیطی منطقه بهره برداری (ساحلی، فراساحلی، کویری، رطوبت بالا)
- تطابق ساخت با نقشه های طراحی
- انجام بازرسی های روتین و غیر روتین موثر و تخمین عمر تجهیز بر اساس گزارشات نرم افزار RBI
- انجام برنامه تعمیرات PM مدون و موثر
- انجام اقدامات نگهداشت صنعتی تجهیزات و متعلقات
- انجام مدون تست عملکرد به صورت IN LINE

#### ۲- ایجاد مشکل در تولید برق سکو

- اصلاح حساسیت بالای تجهیزات به نوسانات جزئی برق (اصلاح مشکل طراحی) که در حال حاضر با نوسانات جزئی برق وقفه اضطراری میشود.

---

<sup>۱</sup> SDV

- استفاده از دو دیزل ژنراتور پرتابل با مشخصات ژنراتور سکو.
  - انجام بازرسی های روتین و غیر روتین موثر و تخمین عمر تجهیز بر اساس گزارشات
- نرم افزار RBI
- انجام برنامه تعمیرات PM مدون و موثر
  - استفاده از روش های مدرن جهت تامین جریان الکتریکی برای سکو های دریایی از جمله استفاده از انرژی باد و امواج دریایی.

### ۳- توقف اضطراری در سیستم گاز مصرفی سکو

- بزرگتر شدن حجم مخزن گاز مصرفی .
- انجام بازرسی های روتین و غیر روتین موثر و تخمین عمر تجهیز بر اساس گزارشات
- نرم افزار RBI
- انجام برنامه تعمیرات PM مدون و موثر
  - بازدید روزانه اپراتور بهره برداری از نمایشگر سطح های مخزن گاز مصرفی و اطمینان از صحت عملکرد آنها.

### ۴- توقف اضطراری در سیستم مشعل

- اطمینان از انجام تعمیرات ترموکوبل های مشعل در هنگام تعمیرات اساسی به علت عدم امکان تعمیرات در زمان بهره برداری.
  - انجام بازرسی های روتین و غیر روتین موثر و تخمین عمر تجهیز بر اساس گزارشات
- نرم افزار RBI
- انجام برنامه تعمیرات PM مدون و موثر
  - اطمینان از صحت عملکرد و آماده به کار بودن سیستم جرقه زنی<sup>۱</sup> سیستم مشعل
  - تهیه تفنگ روشن کننده مشعل جهت استفاده در شرایطی که سیستم جرقه زنی توانایی روشن کردن مشعل را دارا نباشند.

---

<sup>۱</sup> Ignition Package

## ۵- شکست در سیستم هیدرولیک

- انجام بازرسی های روتین و غیر روتین موثر و تخمین عمر تجهیز بر اساس گزارشات
- نرم افزار RBI

- انجام برنامه تعمیرات PM مدون و موثر

## ۶- شکست در سیستم هوای ابزار دقیق

- بهره گیری از دو عدد کمپرسور پرتابل با توان کمپرسور های سکو برای تامین هوای سکو در شرایط اضطراری
- بازنگری کلی در طراحی، تامین، ساخت و راه اندازی سیستم HVAC کمپرسور سکو.

## ۷- توقف اضطراری در ظرف مایع گیر

- تعمیرات دوره ای شیرها و ادوات اندازه گیری و تمیز کردن استرینر پمپ مربوط به ظرف مایع گیر .
  - جلوگیری از ورود گاز با میعانات بالا به مخزن مایع گیر .
  - سرکشی منظم توسط اپراتورها و کنترل کردن کليه ادوات اندازه گیری به طور چشمی.
  - انجام بازرسی های روتین و غیر روتین موثر و تخمین عمر تجهیز بر اساس گزارشات
- نرم افزار RBI
- انجام برنامه تعمیرات PM مدون و موثر

## سایر اقدامات پیشنهادی در بخش های مختلف عبارتند از:

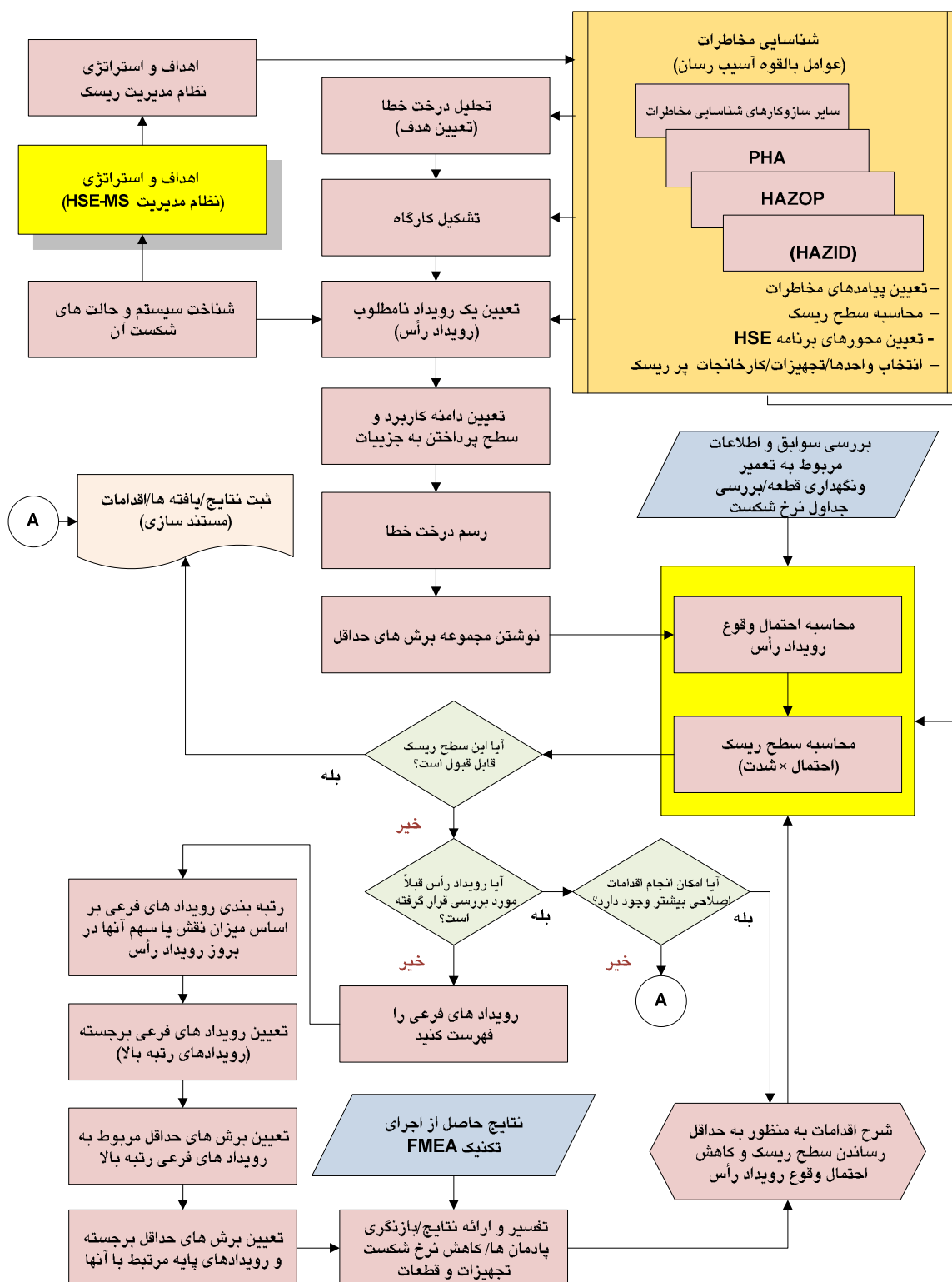
- بهره گیری از وضعیت افزونگی<sup>۱</sup> جهت تجهیزات بحرانی
- استفاده از برنامه مدون تعمیرات اساسی موثر و کارآمد.

بطور کلی تمامی مراحل انجام این پژوهش را می توان در مدل ارائه شده در نمودار ۵-۱ نشان داد. در این نمودار ابتدا اهداف استراتژی تعیین، سیستم شناخته شده و رویداد های نامطلوب

---

<sup>۱</sup> Redundancy

تعیین می‌شود. پس از تعیین رویداد های نامطلوب مهم غربالگری شده و برای هر کدام از آنها براساس علل پایه استخراجی از مدارک و نقشه های طراحی مشخص و با استفاده از این اطلاعات درخت خطا ترسیم می‌شود. براساس مجموعه برشهای حداقل میزان احتمال بدست آمده و در ادامه براساس نتایج حاصله و مدارک و مستندات میزان شدت در هر کدام از سناریوها محاسبه می‌شود. از حالضرب این دو عدد مقدار عدد بحرانی / ریسک بدست آمده و بر مبنای ماتریس بحرانی /ریسک در خصوص میزان ریسک هر یک از درخت خطا ها تعیین شده و در انتها براساس مقدار ریسک بدست آمده در خصوص تقلیل آن و راهکارها و اقدامات اصلاحی تصمیم گیری خواهد شد.



شکل ۵-۱- مدل ارائه شده جهت کاهش توقفات تولید با استفاده از تکنیک درخت خطا

## منابع و مآخذ

- ۱- اصولی، سیدحسین؛ نجابت، احسان؛ بیاتی، علی؛ ناصری، حسین و افخمی، علی؛ "راهنمای پیکره دانش مدیریت پروژه". تهران: شرکت ملی صنایع پتروشیمی، (۱۳۸۴)
- ۲- حاجی حسینی، علیرضا؛ "مهندسی خطاهای انسانی، تهران"، انتشارت فن آوران، (۱۳۸۹)
- 3- Beresh, R. Ciufo, J. Anders, A. "Basic fault tree analysis for use in protection reliability" international journal of Reliability and safety, 2008, VOL. 10, P.1.
- ۴- محمدی، محمود؛ عبادی، خدیجه و صیادی، مرتضی؛ "تجزیه و تحلیل دو روش FTA و Tripod-Beta در ریشه یابی حوادث صنعت نفت و گاز، نخستین همایش ملی HSE با رویکرد صنایع بالادستی نفت و گاز"، آبادان، دانشگاه صنعت نفت، وزارت نفت جمهوری اسلامی ایران، (۱۳۹۲).
- ۵- تجرد، فهیمه؛ لطیف شبگاهی، غلامرضا و شمشیر گران، سید رضا؛ "روشی جدید برای ساخت اتوماتیک درخت خطای سیستم بمنظور تسهیل و تسریع عیب یابی و تعمیرات آن"، ششمین کنفرانس ملی نگهداری و تعمیرات، تهران، انجمن نگهداری و تعمیرات، سالن اجلاس سران، (۱۳۸۹).
- ۶- اصفهانی، سید حسن؛ والی نژاد، محمود؛ "جایگاه تحلیل درخت خطا در ارزیابی ریسک شرکت ملی نفت ایران، سومین همایش ملی مهندسی ایمنی و مدیریت HSE"، تهران، دانشگاه صنعتی شریف، (۱۳۸۸).
- ۷- اصفهانی، سید حسن؛ "کاربرد تحلیل درخت خطا ۱ در یک واحد تقویت فشار گاز"، سومین همایش ملی مهندسی ایمنی و مدیریت HSE، تهران، دانشگاه صنعتی شریف، (۱۳۸۸).
- ۸- اصفهانی، سیدحسن؛ خیرآبادی، اسماعیل و طحان نژادیان، علی؛ "تحلیل درخت خطا بر روی راکتور پلیمریزاسیون در واحد پلی اتیلن سبک خطی پتروشیمی اراک"، اولین همایش ملی مهندسی ایمنی و مدیریت HSE، تهران، دانشگاه صنعتی شریف، (۱۳۸۴).
- 9- Choi, H. Chang, D. "Reliability and availability assessment of seabed storage tanks using fault tree analysis" Ocean Engineering, 2016, VOL. 120, PP. 1-14.
- 10- Alkhaledi, K. Alrushaid, S. Almansouri, J. Alrashed, A. "Using fault tree analysis in the Al-Ahmadi town gas leak incidents" Safety Science, 2015, VOL. 79, PP.187-189.
- 11- Clifton A. Ericson II, "Hazard analysis techniques for system safety". A JOHN WILEY & SONS, INC, PUBLICATION, 2005, pp. 83-223.
- 12- Limnios, N. "Fault Trees", ISTE Ltd, 2007, [www.iste.co.uk](http://www.iste.co.uk), PP.49-95.
- 13- SINTEF Industrial Management. "Offshore Reliability Data Handbook (OREDA)", Det Norske Veritas (DNV), 2007
- 14- Standard for Risk Assessment. "ISO/IEC 31010", 2009.

- ۱۵- برخورداری، ابولفضل؛ میرمحمدی، سیدجلیل و حافظی، رحمت الله؛ کلیات بهداشت حرفه ای تهران: اندیشمند. ویرایش سوم (۱۳۸۶)
- ۱۶- گوهر رخی، مهدی؛ ترابی، مرتضی؛ گلعداری، فواد و اکبری، فرزاد؛ "ارزیابی کمی و کیفی ریسک در واحدهای فرایندی. تهران، دانشگران صنعت پژوه". چاپ اول؛ (۱۳۸۸).
- ۱۷- اصفهانی، سیدحسن؛ "تحلیل درخت خطا"، تهران انتشارات کالج برتر، (۱۳۸۹).
- ۱۸- خسروی راد، فاطمه؛ زارعی، اسماعیل؛ محمدفام، ایرج و شجاع، اسماعیل؛ "تجزیه و تحلیل علل ریشه ای فرآیندی ایستگاه های تقلیل فشار شهری با استفاده از تکنیک های تحلیل خطرات عملکردی و تحلیل پاپیونی". مجله مهندسی بهداشت حرفه ای، دوره ۱، شماره سوم، (۱۳۹۳) صفحات ۲۱-۲۵.
- ۱۹- جوزی، سیدعلی؛ عصمت ساعتلو، سید جعفر و جوان، زیبا؛ "ارزیابی ریسک زیست محیطی در واحد الفین مجتمع پتروشیمی آریاساسول به روش تجزیه و تحلیل درخت خطا"، مجله سلامت و محیط، فصلنامه ی علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، دوره هفتم، شماره سوم، (۱۳۹۳)، صفحات ۳۸۵-۳۹۸.
- ۲۰- رحیمی، روئینه؛ محمد فام، ایرج و ورشوساز، کنایون؛ "ارزیابی خطر انفجار مخازن نگهداری نفت کوره در بندر شهید رجایی با استفاده از تجزیه تحلیل درخت خطا"، دومین کنفرانس برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست، تهران، دانشگاه تهران (۱۳۹۱).

- 21- Omidvar, M. Lavasani, S, M, R. Mirza, S. **"Presenting of failure probability assessment pattern by FTA in Fuzzy logic (Case Study: Distillation Tower unit of Oil Refinery Process)"** Journal of Chemical Health & Safety, 2014, VOL. 21, PP. 1-3.
- 22- Stamatelatos, M. Vesely, V. Dugan, J. Fragola, J. Minarick III, J. Railsback, J. **"Fault Tree Handbook with Aerospace Applications"** National Aeronautics and Space Administration, 2002.
- 22- **"Fault Tree Analysis"**. Edition 2.0, International Electro technical Commission (IEC-61025), 2006.
- 23- Khan, FI. Lqbal, I. Ramesh, N. Abbasi, S. **"a new methodology for safety management based on feedback from credible accident- probabilistic fault tree analysis system"** journal of Hazardous materials, 2001, VOL. 87, PP. 23-56.
- 24- Ren Cheng, S. Binshan, L. Bi-Min, H. Ming-Hung, S. **"Fault-tree analysis for liquefied natural gas terminal emergency shutdown system"** Expert Systems with Applications, 2009, VOL.9, PP. 11918-11924.

# **Presenting a model to determine the probability of events leading to discontinuing production of gas platform by using FTA technique (A Case Study of the South Pars gas platform)**

## **Abstract**

**Introduction:** By regarding vital role of gas production in Iran's economy, importance of gas transportation operation (gto) and irreparable results of interrupting gas production, it's very obvious that all operational systems especially those exposing failures could lead to serious consequences. Causes of operation interruption in IAS platforms is due to hazards and risks that threatening equipment, installations and total plant's processes. The sources of these hazards are in platform poor design, abuse of resources, wrong operation, natural human-made and process threats. Therefore we should implement hazard identification and assessment of gas platforms along with controlling resources threats.

In this study, all probable scenarios leading to failures, their influences, results and consequences are predicted. For estimating probability of events failure we used references like OREDA and for drawing sub trees and calculating failure likelihood of each final event, we utilized Fault Tree+ software. After that based on unviability number for all nine possible scenarios, severity rank is determined. By multiplying these two parameters we can yield critical number (CN). By determining CN, we can judge on required remedial actions. Critical numbers above nine, require immediate corrective measures. In this project we calculate CN of each scenarios to mitigate risks. Control measures for seven scenarios with high CN have been determined and finally a model for integrating all steps have been presented.

**key words:** fault tree analysis (fta), failure, unavailability, risk, Critical





**Energy Institute of Higher Education**

**Faculty of Engineering**

**Department Of Chemical Engineering – HSE**

**Thesis For**

**Degree of Master of Science (M.Sc)**

**Title:**

**Presenting a model to determine the probability  
of events leading to discontinuing production of  
gas platform by using FTA technique  
(A Case Study of the South Pars gas platform)**

**Supervisors:**

**Dr. Yousef Yasi**

**Dr. Taher Taherian**

**Advisor:**

**Sayyed Hasan Esfahani**

**By:**

**Reza Gholami Arjenaki**

**November / 2016**