# Presenting A Combined Model of Root Cause Analysis Method and Graphical Evaluation and Review Technique in The Analysis of Cgs Station

**Bavarsad Salehpour Iman**[1]
PhD student in Industrial Engineering - University of Kurdistan

**Sargholi Karami Ehsan***[2]
Master of Industrial Management - Najaf Abad University

**Esmailpour Majid**[3]

Master of Public Administration - Dahaghan Azad University

**Tahmasbi kia Aslan**[4]

Master of Science in Physics - University of Isfahan

## Abstract
This research aims to provide a model to calculate the probability of different states of disturbance in Shahid Sadoghi city gate station in khouzestan province base on root cause analysis (RCA) and graphical evaluation and review technique (GERT). Thus, in this case three hypotheses were defined. Then the statistical data of failure were extracted and categorized from the mechanized maintenance and repair software and then analyzed. After that with the help of the RCA method and using the GERT, a model was presented to calculate the probability of these failures. The findings of this research show that the probabilities of errors leading to malfunction of the station can be calculated, the most likely failure was related to which equipment and also what is the probability of failure leading to a critical situation.
**key words**: root cause analysis, city gate station, graphical evaluation and review technique, physical asset management

[1] Iman.Bssp@Gmail.Com مسئول برنامه ریزی و تعمیرات --شرکت گاز استان خوزستان-

[2]Ehsansargholikarami@Gmail.Com-09163205766 رئیس اداره گاز شهرستان ایذه - ORCID Code: 0000-0002-0531-1022

[3]Esmpmajid@Gmail.Com کارشناس ارشد نگهداری و تعمیرات ایستگاهها -شرکت گاز استان خوزستان -

[4] Sargholi@Gmail.Com مسئول نگهداری و تعمیرات ایستگاههای تقلیل فشار- شرکت گاز استان خوزستان-

# ارائه یک مدل ترکیبی از روش RCA و شبکه GERT در تحلیل ایستگاههای CGS

**ایمان باورصاد صالحپور**[1]
دانشجوی دکتری مهندسی صنایع- دانشگاه کردستان
**احسان سرقلی کرمی***[2]
کارشناس ارشد مدیریت صنعتی- دانشگاه نجف آباد
**مجید اسماعیل پور**[3]
کارشناس ارشد مدیریت دولتی- دانشگاه آزاد دهاقان
**اصلان طهماسبی کیا**[4]
کارشناس ارشد فیزیک- دانشگاه اصفهان

## چکیده

این پژوهش با هدف ارائه مدلی برای محاسبه احتمالات مختلف اختلال در ایستگاه تقلیل فشار( CGS[5] ) شهید صدوقی شرکت گاز استان خوزستان بر اساس روش تحلیل علل ریشه ای(RCA)[6] و با بهره گیری از تکنیک ارزیابی و بازنگری گرافیکی(GERT)[7] انجام شده است. لذا سه فرضیه در رابطه با موضوع فوق تعریف گردید. سپس داده های آماری خرابی ها از نرم افزار مکانیزه نگهداری و تعمیرات استخراج، دسته بندی و تجزیه و تحلیل گردید. همچنین به کمک روش (RCA) و تکنیک (GERT) مدلی برای محاسبه احتمالات این خرابی ها ارائه شد. یافته های این تحقیق نشان می دهد ضمن اینکه احتمالات خطاهای منجر به ایجاد اختلال در ایستگاه قابل محاسبه است، بیشترین احتمال خرابی مربوط به کدام تجهیز بوده و همچنین احتمال رخداد خرابی های منجر به وضعیت بحرانی چقدر است.

**کلمات کلیدی**: ایستگاه تقلیل فشار گاز (CGS)، تحلیل علل ریشه ای(RCA) ، تکنیک ارزیابی و بازنگری گرافیکی (GERT)، مدیریت دارایی های فیزیکی

## ۱-مقدمه

امروزه گاز طبیعی نقش بسیار پررنگی در تامین انرژی برای مصارف مختلف دارد. لذا به همان نسبت نیز تاسیسات گازرسانی و نگهداری و تعمیرات آنها با اهمیت است. یکی از این تاسیسات مهم، ایستگاههای تقلیل فشار گاز (CGS) می باشند که وظیفه آنها کاهش فشارخطوط انتقال گاز و تزریق گاز با فشار 250 PSI[8] به ایستگاههای درون شهری می باشد. بدیهی است که هرگونه اختلال در عملکرد قطعات و تجهیزات این ایستگاهها منجر به عدم امکان گازرسانی پایدار خواهد شد. از طرفی نگهداری و تعمیرات نامناسب تجهیزات باعث کاهش عمر دارایی های فیزیکی شرکت ملی گاز ایران می گردد. با توجه به اهمیت موضوع در سرویس بودن دائم ایستگاههای تقلیل فشار (CGS) و حساسیت آنها و تلاش سازمانها در حفظ دارایی های فیزیکی، نیاز است با رویکرد جدیدی به تجهیزات آن بنگریم و از زوایای دیگری این ایستگاهها مورد مطالعه قرار گیرند.

---

[1] Iman.Bssp@Gmail.Com مسئول برنامه ریزی و تعمیرات - شرکت گاز استان خوزستان-
[2] Ehsansargholikarami@Gmail.Com-09163205766 - رئیس اداره گاز شهرستان ایذه -ORCID Code: 0000-0002-0531-1022
[3] Esmpmajid@Gmail.Com - کارشناس ارشد نگهداری و تعمیرات ایستگاهها -شرکت گاز استان خوزستان
[4] Sargholi@Gmail.Com- مسئول نگهداری و تعمیرات ایستگاههای تقلیل فشار- شرکت گاز استان خوزستان
[5] City Gate Station
[6] Root Cause Analysis
[7] Graphical Evaluation and Review Technique
[8] Pound Per Square Inch

این ایستگاهها دارای تجهیزاتی به شرح ذیل بوده که به اختصار توضیح داده می شود.

فیلتر[1] : نوعی از تجهیزات هستند که برای جدا کردن ناخالصی های همراه گاز مورد استفاده قرار می گیرند.

کنتور[2] : برای اندازه گیری حجم گاز مصرفی مورد استفاده قرار می گیرد.

رگولاتور[3] : سیستم تنظیم کننده و کاهش دهنده فشار گاز که جریان گاز را از فشار های مختلف به مقدار فشار مورد نظر کاهش می دهد.

شیر اطمینان (سفتی ولو[4]): شیری است که عملکرد آن تابع فشار بالا دست بوده و از افزایش فشار در خروجی تا حد معینی، با تخلیه مقداری از گاز جلوگیری می نماید.

شیر قطع کننده اضطراری (شات اف ولو[5]) : نوعی از شیری که چنانچه فشار گاز خروجی از حد معینی بالاتر رود مکانیزم آن وارد عمل شده و باعث قطع اضطراری جریان گاز می گردد.

سیستم بودار کننده (ادرایزر[6]) : تجهیزی است که بوسیله آن مایع مرکاپتان برای بودار کردن گاز طبیعی در شبکه گازرسانی استفاده می گردد.

### ۱-۱-تحلیل علل ریشه ای خرابی (RCA)

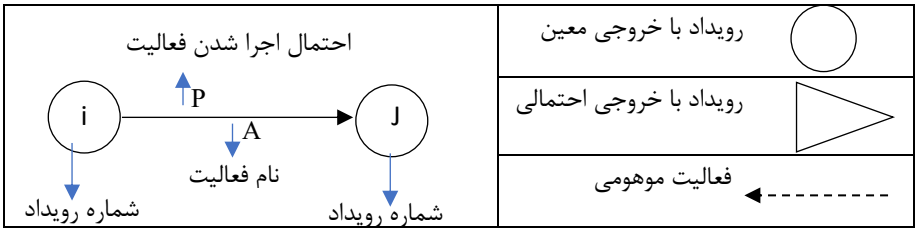
امروزه بخش عظیمی از حوادث و رخدادها مربوط به دستگاه ها و تجهیزات در صنایع مختلف به صورت غیر معمول تکرار می شوند. دستیابی به علل ریشه ای یک مشکل و جلوگیری از تکرار مجدد آن یا سایر مسائل مشابه، تنها در قالب یک فرآیند سیستماتیک میسر است که قابل آموزش و کنترل نیز باشد. آنالیز علل ریشه ای یکی از شناخته شده ترین روش های حل مسئله است. بهره گیری از این آنالیز بعداز وقوع حوادث و پیشامدهای ناگوار و نامطلوب یکی از راهکارهای معتبر جهت جلوگیری از بروز این مشکلات و مواجهه با آنهاست (عرب زاده و همکاران، ۱۳۹۵).

در این روش، علت وقوع و روابط علل و معلولی حاکم بر مسئله به شکلی ساختار یافته، عمیق و سیستماتیک مشخص و سپس راه حل هایی جهت حذف، تغییر و یا کنترل علل ریشه ای خرابی با هدف جلوگیری از تکرار آن ارائه می گردد (عرب زاده و همکاران، ۱۳۹۵). تحلیل علل ریشه ای خرابی ابزار مدیریتی ارزشمندی است که می تواند توسط مدیران ، به عنوان افراد خط اول یک سیستم آموخته شده و در سطوح مختلف به کار گرفته شود (https://www.toolshero.com/problem-solving/root-cause-analysis-rca/). این روش دارای تکنیک های مختلفی است که در این مقاله به کمک تکنیک استخوان ماهی[7] علل خرابی تجهیزات مشخص می گردند.

### ۱-۲-فن تکنیک ارزیابی و بازنگری گرافیکی (GERT)

در یک فرایند یا یک پروژه همیشه به اینگونه نیست که یک فعالیت بصورت قطعی اتفاق بیفتد. شبکه (GERT) برای حل مسئله با فعالیت های احتمالی استفاده می گردد (حاج شیر محمدی، ۱۳۷۸). علائم مورد استفاده در این پژوهش به شرح جدول (۱) می باشد.

جدول (۱). علائم مورد استفاده در تکنیک (GERT)




[1] Filter
[2] Meter
[3] Regulator
[4] Safety Valve
[5] Shut Off Valve
[6] Odorizer
[7] Fish Bone

در این تحقیق به کمک تکنیک (GERT) احتمال وقوع هر یک از حالت های خرابی ممکن در شبکه محاسبه می شود که این تکنیک از تئوری گراف نیز بهره می برد.

## ۲-پیشینه تحقیق

پژوهش ها نشان داده اند که خطاها در ذات خود چند عاملی هستند و بیش از اینکه به دلیل نقص در عملکرد افراد در زمان انجام وظیفه باشند به دلیل نقایص سیستمی رخ می دهند (بیگی و همکاران، ۱۳۹۳). تمامی سازمانهای تجهیز محور با خرابی و یا حوادث روبرو هستند که بعضاً منجر به توقفات تولید ، افزایش هزینه های مرتبط با نگهداری و تعمیرات و دوباره کاری می شوند.این گونه خرابی ها در بسیاری موارد در طول زمان در سازمان تکرار شده و اغلب اتلاف منابع سازمان را در پی دارند. جلوگیری از تکرار این گونه حوادث از اهمیت زیادی برای مدیران برخوردار است (خسروی راد و همکاران، ۱۳۹۳). جهت کنترل و پیشگیری از حوادث توجه به علل ریشه ای وقوع حوادث بسیار حائز اهمیت است. از آسیب و خسارتهای حوادث و احتمال وقوع آنها، نه تنها قابل پیشگیری است، بلکه قابل پیش بینی نیز میباشد، مشروط بر اینکه اقداماتی مانند شناسایی علل ریشه ای و پیامدهای نهایی آنها و کنترل آنها به موقع انجام گیرد. در خصوص بررسی ایرادات فنی منجر به ایجاد اختلال در عملکرد ایستگاههای تقلیل فشار گاز، پژوهشی یافت نگردید بنابراین نیاز به ریشه یابی علل خرابی و مشخص کردن سهم هر خرابی در این تاسیسات، ضروری به نظر می رسد.

### ۲-۱-فرضیه های تحقیق

فرضیه ۱ : احتمالات خطاهای منجر به ایجاد اختلال در عملکرد ایستگاه تقلیل فشارگاز شهید صدوقی قابل محاسبه است.

فرضیه ۲ : مهمترین عامل در ایجاد اختلال در ایستگاه تقلیل فشار گاز شهید صدوقی، اختلال در عملکرد بخش فیلتراسیون است .

فرضیه ۳ :احتمالات مسیرهای بحرانی منتج به قطع جریان گاز ایستگاه و یا خروج گاز با فشار بیش از حد استاندارد از ایستگاه قابل شناسایی و محاسبه است.

## ۳-روش شناسی تحقیق

به‌طورکلی هر فرآیند ساختاریافته‌ای که به دنبال درک علل وقوع یک حادثه و یا مشکل برای جلوگیری از تکرار آن باشد، یک آنالیز علل ریشه‌ای محسوب می‌شود. تاکنون روش‌های مختلف به‌منظور پیاده‌سازی تحلیل علل ریشه ای خرابی ها (RCA) ، ابداع و به کار گرفته‌شده است که در این روش‌ها، سعی می‌شود افراد مختلفی که در حل مسئله مشارکت دارند، با دیدگاه‌های مختلف اما زبانی مشترکی و نه درکی مشترک نسبت به مسئله، به صورتی همه‌جانبه اقدام به شناسایی علل و ریشه‌های وقوع حادثه کنند و با ارائه راهکارهایی برای حذف، کنترل و یا تغییر آن دلایل، مانع از بروز مجدد آن حادثه بشوند یا آثار وقوع آن را کاهش بدهند (نادری، ۱۴۰۱). در حقیقت تحلیل علل ریشه ای خرابی روشی است که علل اصلی خرابی ها را شناسایی کرده و از خرابی های مشابه و تکراری جلوگیری می نماید (سرآبادانی، ۱۳۹۹). تحلیل علل ریشه ای روش حل مساله‌ای است که به منظور یافتن علل ریشه‌ای و بنیادین خرابی‌ها و بروز مشکلات به کار گرفته می‌شود. در RCA با نگاهی به وقایع گذشته و با پرسیدن سوال‌هایی از قبیل «چه اتفاقی رخ داده است؟»، «چرا رخ داده است؟» و «برای جلوگیری از بروز مجدد آن چه کار می‌توان کرد؟» سعی در یافتن علل ریشه‌ای و ممانعت از تکرار این مشکل در تجهیزات سازمان هستیم (مولان و مولان[1]، ۲۰۲۰).

### ۳-۱-ابزارها و تکنیک‌های تحلیل علل ریشه ای

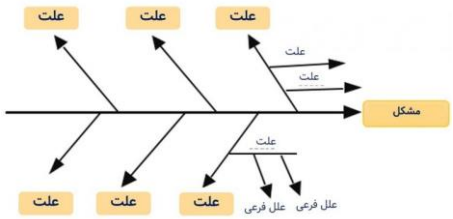
الف) روش ۵ چرا

ساکیچی تویودا، پدر انقلاب صنعتی ژاپن و بنیانگذار صنایع تویوتا روش ۵ چرا را ابداع کرد. این روش که در دهه ۱۹۷۰ ابتدا در شرکت تویوتا بکار گرفته شد، اکنون در سراسر جهان برای تحلیل علل ریشه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش ۵ چرا یکی از محبوب‌ترین تکنیک‌هایی است که برای انجام تحلیل علل ریشه ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. اصل و اساس این روش بر بنیان ساده‌ای بنا گذاشته شده است. اصلی که شامل پرسیدن «چرا» برای بارها و بارها است، تا زمانی که مسائل اصلی آشکار شوند. به طور متوسط، پنج «چرا» طول می کشد تا شما به دلیل اصلی بروز مشکل خود برسید، اما دامنه این پرسش از یک کسب‌وکار به کسب‌وکار دیگر و از یک مشکل به مشکل دیگر متفاوت است.

ب ) نمودار استخوان ماهی / نمودار ایشیکاوا

[1] Molan

نمودار استخوان ماهی، که تحت نام نمودار ایشیکاوا نیز شناخته می‌شود، یکی دیگر از روش‌های بسیار محبوب برای تحلیل علل ریشه‌ای است. نمودار استخوان ماهی شامل ایجاد یک نقشه علت و معلولی بصری برای مشخص کردن دقیق علل ریشه‌ای است و این کار را با درخواست از شما برای دنبال کردن مسیرهای بالقوه مختلف تا زمانی که به مسیر درست برسید، انجام می‌دهد. نمودار ایشیکاوا یا استخوان ماهی را می‌توان یک نوع نمایش بصری از روش ۵ چرا دانست.




شکل (۱). نمودار استخوان ماهی

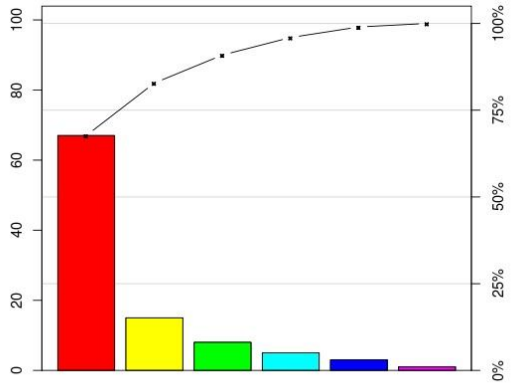
شما با ثبت مشکل در مرکز نمودار (ستون فقرات ماهی) شروع می‌کنید، و سپس چندین علت ممکن را برای این مشکل مرور می‌کنید، و آن‌ها را در اطراف مشکل اصلی در شاخه‌ها (استخوان‌های دنده ماهی) قرار می‌دهید. دسته‌های شاخه اولیه با ایده‌های بسیار گسترده و باز، مانند «محیط» یا «ارتباطات» آغاز می‌شوند، و سپس هر یک از این دسته‌بندی‌ها به دسته‌های کوچک‌تر و خاص‌تر تبدیل می‌شوند.

پ) نمودار پارتو

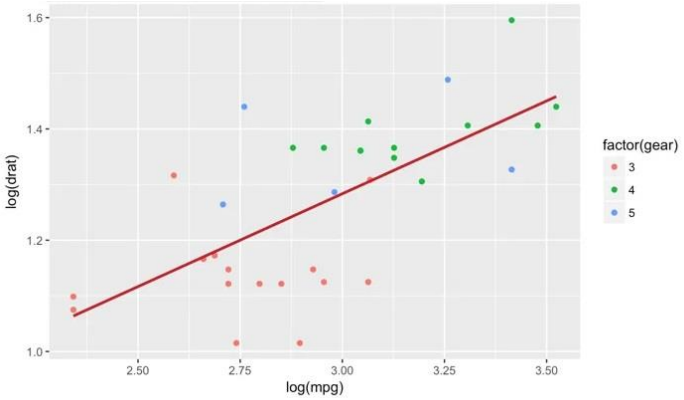
نمودار پارتو یک نمودار ستونی یا میله‌ای ترکیب‌شده با یک نمودار خطی است که پراکندگی یا میزان مسایل مختلف را گروه‌بندی می‌کند تا اهمیت نسبی آن‌ها را نشان دهد. میله‌ها به ترتیب نزولی پراکندگی را نشان می‌دهند، در حالی که خط با حرکت از چپ به راست، درصد تجمعی یا کل را نشان می‌دهد.(شکل (۲))

ج) نمودار نقطه‌ای (نمودار اسکتر)Scatter plot

یک نمودار نقطه‌ای یا نمودار اسکتر از نقاط داده جفت برای کمک به کشف روابط بین متغیرها استفاده می‌کند. نمودار نقطه ای روشی کمی برای تعیین ارتباط دو متغیر است. (شکل (۳))




شکل (۲). نمودار پارتو




شکل (۳). نمودار نقطه ای

د) تحلیل حالت و اثرات شکست(FMEA[1])

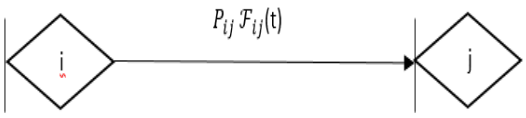
تحلیل حالت و اثرات شکست روشی است که در طول طراحی محصول یا فرایند برای کشف عیوب یا عیوب بالقوه مورد استفاده قرار می‌گیرد. تحلیل حالت و اثرات شکست در دهه ۷۰ و ۸۰ میلادی ابداع شد و نخستین بار در پروژه فضایی آپولو ۱۱ در آمریکا و سپس

[1] Failure Mode and Effects Analysis

در پروژه‌های اتمی بکار گرفته شد. از سال ۱۹۷۷ به بعد نیز این روش در صنایع خودروسازی نیز به کار رفته است. در قرن بیست و یکم این روش یکی از پرکاربردترین روش‌های ارزیابی ریسک در صنایع مختلف به حساب می‌آید.

**۳-۲-روش GERT**

GERT روشی مرکب از تئوری فلوگراف، توابع مولد گشتاور و PERT برای حل مسائل احتمالی می باشد. از این تکنیک برای حل محاسبه زمان قطعی و تخمینی فعالیتها استفاده می گردد.روش GERT برای آن دسته از پروژه ها ایجاد شد که دارای فعالیت احتمالی هستند، CPM و PERT حالتهای خاصی از GERT هستند. در شبکه GERT وجود حلقه در بین فعالیت ها مجاز است و ممکن است یک فعالیت چندین بار رخ بدهد. در شبکه های گرت هر فعالیت دارای دو پارامتر است که میتوان روی فعالیت نشان داد. پارامتر اول Pij احتمال وقوع گره j به شرط آنکه i به وقوع پیوسته باشد و پارامتر دوم Fij (t) تابعی از زمان موردنیاز برای تکمیل فعالیتی که با شاخه ij نشان داده شده است(شکل (۴)).




شکل (۴). شبکه GERT

بنابراین در یک گره احتمالی، وضعیت انتخابی موجود به گونه ایست که ممکن است یکی از چندین آلترناتیو براساس احتمالات وابسته انتخاب گردد. با این حال مجموع احتمالات برای تمام فعالیتهای احتمالی که از یک گره میباشند، باید برابر ۱ باشد. اگر احتمال یک فعالیت برابر با ۱ بود انشعاب قطعی می باشد. با شبیه سازی شبکه GERT میتوان در گره های مختلف برای مدت زمان و هزینه شبکه داده های آماری را جمع آوری نمود. هرکدام از فعالیت ها میتواند تابع توزیع جداگانه ای داشته باشد و لازم نیست همه آنها فقط از یک تابع استفاده نمایند.

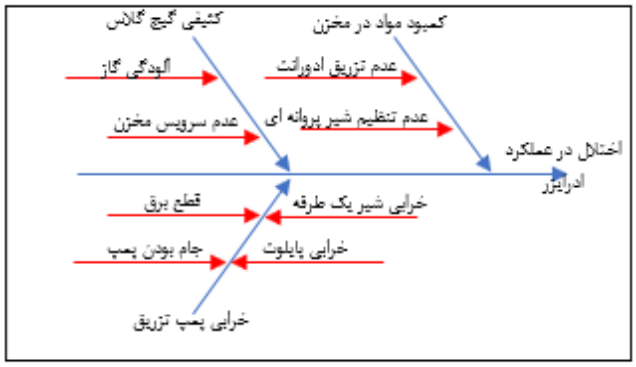
در یک شبکه گرت ممکن است تعدادی از گره ها دارای انشعابات احتمالی و تعدادی دارای انشعابات قطعی هستند. در شبکه های GERT تحقق یک رویداد را میتوان به گونه ای تعریف کرد که با اتمام یک یا چند فعالیت که به آن رویداد ختم میشوند، تحقق آن رویداد امکان پذیر می شود. همچنین در شبکه GERT وجود چند رویداد شروع و چند رویداد نهایی مجاز است و به همین دلیل شبکه GERT قادر است بسیاری از وضعیتهای واقعی را که نیاز به چنین ویژگیی دارند، مدلسازی نماید (خانه مهندس صنایع، ۱۳۹۶). در شبکه های گرت وجود حلقه میان فعالیت ها مجاز است و این بدین معنی است که برخی از فعالیت ها می توانند تکرار شوند و بعضی از آنها بیش از یکبار اتفاق می افتند.

در این تحقیق داده ها بر اساس خروجی نرم افزار مکانیزه نگهداری و تعمیرات مربوط به ایستگاههای تقلیل فشار ( CGS) شهید صدوقی شرکت گاز استان خوزستان در قالب ۱۰۰۰ دستور کار تعمیراتی استخراج شده است. که این داده ها در هفت گروه بر مبنای اختلالات موجود دسته بندی شده و علل ریشه ای هر کدام از اختلالات با استفاده از روش (RCA) و تکنیک استخوان ماهی بررسی گردیده است. و سپس ترکیبی از اختلالات موجود و همچنین تاثیر گذاری آنها بر همدیگر در یک الگویی به کمک تکنیک (GERT) ارائه شده است و تحلیل این مدل به اثبات فرضیه های تحقیق منجر می گردد. در این تحقیق خطای انسانی لحاظ نگردیده و صرفاً عملکرد تجهیزات فنی ملاک بوده است.

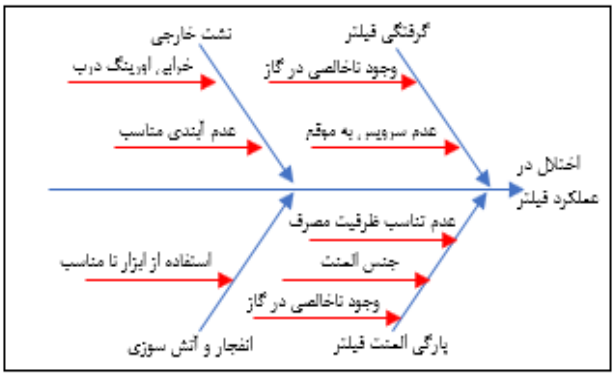
## ۴-یافته های تحقیق

گام اول : نمودار استخوان ماهی

با توجه به تجهیزات ذکر شده در ایستگاهها، برای هر تجهیز به کمک نمودار استخوان ماهی علل ریشه ای خرابی شناسایی شدند که در شکل های (۵) تا (۱۱) قابل مشاهده می باشند.

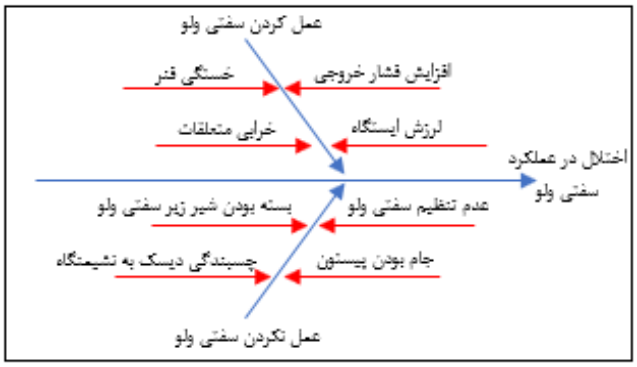



شکل (۵). اختلال در عملکرد ادرایزر



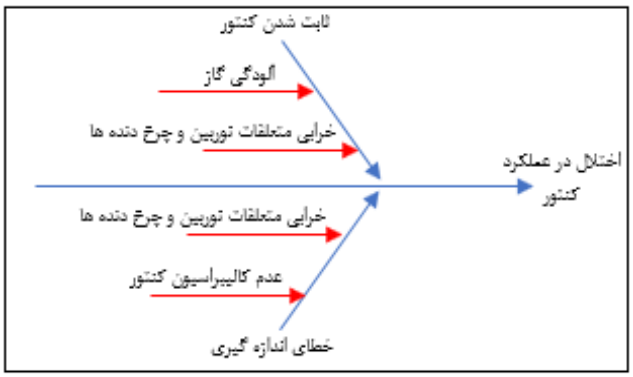

شکل (۶). اختلال در عملکرد فیلتر

شکل (۷). اختلال در عملکرد رگولاتور

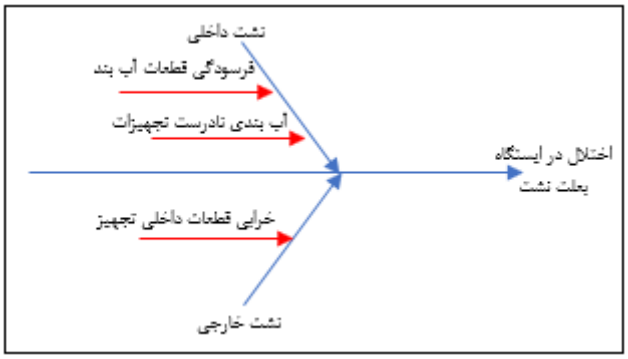



شکل (۸). اختلال در عملکرد سفتی ولو

شکل (۹). اختلال در عملکرد شات اف ولو




شکل (۱۰). اختلال در عملکرد کنتور




شکل (۱۱). اختلال بعلت نشتی در تجهیزات

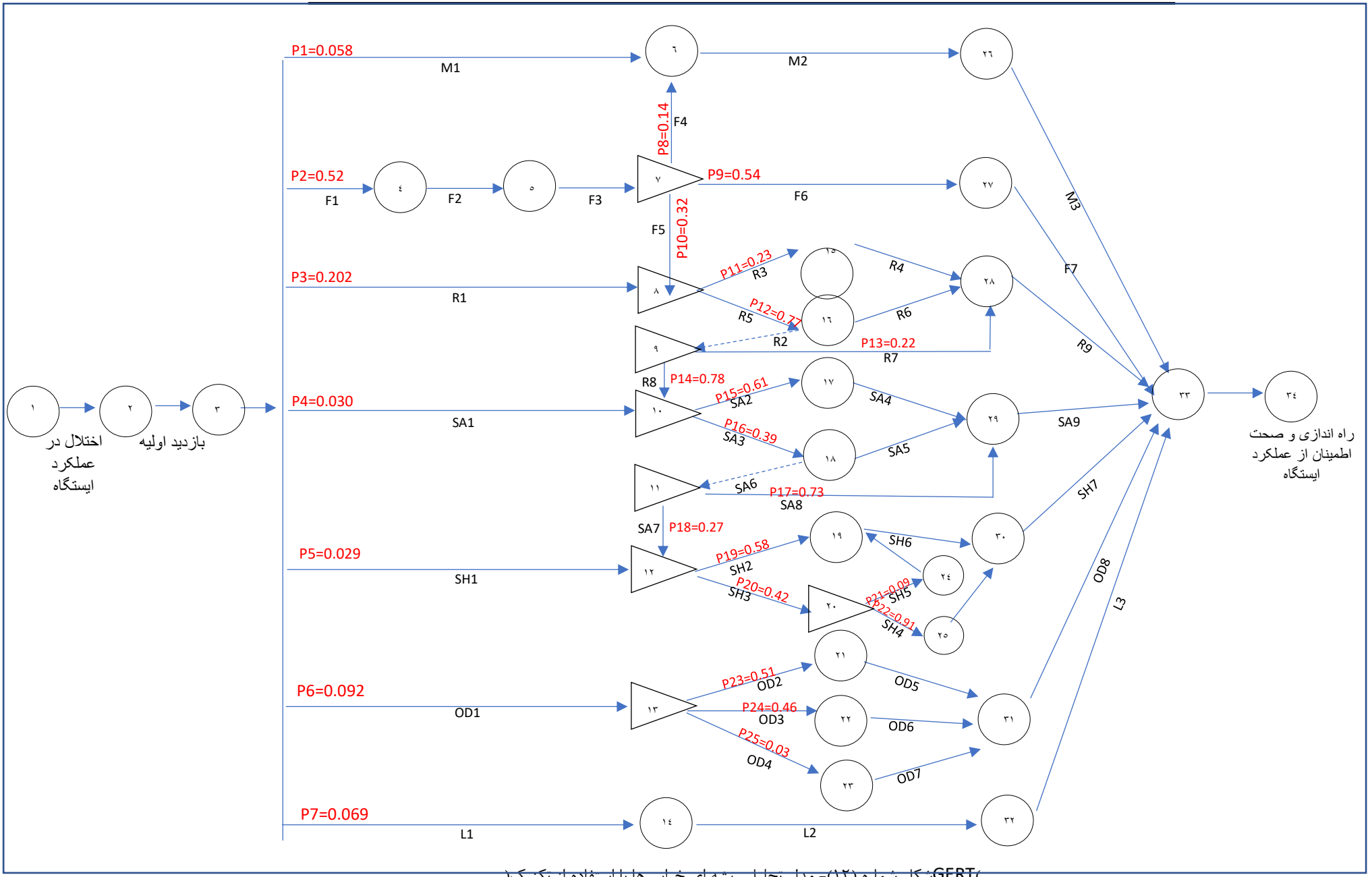
گام دوم : ارائه مدلی به کمک شبکه (GERT) برای بررسی علل ریشه ای خرابی ها
در این مدل (شکل (۱۲) ) مجموعه خرابی های (۱۰۰۰ عدد دستور کار تعمیراتی ایستگاه تقلیل فشار گاز شهید صدوقی) استخراج شده از نرم افزار مکانیزه نگهداری و تعمیرات در هفت گروه دسته بندی شده و بر اساس جدول (۲) (تعداد خرابی های هر تجهیز) احتمال وقوع هر کدام از تجهیزات اصلی سطح یک محاسبه گردیده است (جدول (۴)). سپس احتمال رخداد هر خرابی در خود تجهیز بدون تاثیر پذیری از سایر تجهیزات ( جدول (۵)) و تاثیر گذاری آن بر سایر تجهیزات ( جدول (۶)) محاسبه گردید.
توضیح شماره یک : شرح فعالیت ها در این مدل بصورت علائم اختصاری در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول (۲). تعداد خرابی های هر تجهیز

| شرح خرابی تجهیز | تعداد خرابی | شرح خرابی تجهیز | تعداد خرابی |
|---|---|---|---|
| اختلال در عملکرد کنتور | ۵۸ | تعداد خرابی رگواتور که بر سفتی ولو تاثیر منفی داشته | ۲۲۱ |
| اختلال در عملکرد فیلتر | ۵۲۰ | تعداد خرابی های سفتی ولو منجر به عمل نکردن آن | ۱۵۳ |
| اختلال در عملکرد رگولاتور | ۲۰۲ | تعداد خرابی های سفتی ولو منجر به عمل کردن آن | ۹۷ |
| اختلال در عملکرد سفتی ولو | ۳۰ | تعداد خرابی های سفتی ولو که بر شات آف ولو تاثیر نداشته | ۷۱ |
| اختلال در عملکرد شات اف ولو | ۲۹ | تعداد خرابی های سفتی ولو که بر شات آف ولو تاثیر منفی داشته | ۲۶ |
| اختلال در عملکرد ادرایزر | ۹۲ | تعداد خرابی های شات آف ولو منجر به عمل نکردن آن | ۳۲ |
| اختلال در عملکرد ایستگاه بدلیل وجود نشت در تجهیزات | ۶۹ | تعداد خرابی های شات آف ولو منجر به عمل کردن آن | ۲۳ |
| آسیب به کنتور در اثر اختلال در عملکرد فیلتر | ۷۳ | تعداد دفعاتی که شات اف ولو بصورت صحیح عمل نکرده | ۲ |
| تعداد خرابی های فیلتر که تجهیزات آسیب نرسانده | ۲۸۱ | تعداد دفعاتی که شات اف ولو بصورت صحیح عمل کرده | ۲۱ |
| تعداد خرابی فیلتر که به رگولاتور آسیب رسانده | ۱۶۶ | تعداد تزریق مایع به مخزن ادرایزر | ۴۷ |
| کاهش فشار در اثر اختلال در عملکرد رگولاتور | ۸۵ | تعداد تنظیم سیستم ادرایزر | ۴۲ |
| افزایش فشار در اثر اختلال در عملکرد رگولاتور | ۲۸۳ | تعمیر خرابی تجهیزات ادرایزر | ۳ |
| تعداد خرابی رگواتور که بر سفتی ولو تاثیر نداشته | ۶۲ | | |

جدول (۳). علائم اختصاری ارائه شده در مدل

| کد | شرح | کد | شرح |
|---|---|---|---|
| M1 | اختلال در عملکرد کنتور | SA5 | تعویض فنر-سیت-دیسک-اورینگ و ... |
| M2 | تعویض کنتور | SA6 | بررسی عملکرد شات آف ولو |
| M3 | راه اندازی کنتور | SA7 | تاثیر منفی بر شات آف ولو |
| F1 | اختلال در عملکرد فیلتر | SA8 | عدم تاثیر بر عملکرد شات آف |
| F2 | گرفتگی /پارگی المنت فیلتر | SA9 | تنظیم و راه اندازی سفتی ولو |
| F3 | تعویض المنت فیلتر | SH1 | اختلال در عملکرد شات آف ولو |
| F4 | آسیب به کنتور | SH2 | خرابی های منجر به عمل نکردن شات آف ولو |
| F5 | آسیب به رگولاتور | SH3 | عمل کردن شات آف ولو |
| F6 | عدم آسیب به تجهیزات ایستگاه | SH4 | شاتاف درست عمل کرده |
| F7 | تزریق گاز در فیلتر | SH5 | شات آف درست عمل نکرده |
| R1 | اختلال در عملکرد رگولاتور | SH6 | تعویض شیر چند راهه-تعمیر پایلوت-اکچویتور و ... |
| R2 | بررسی عملکرد سفتی ولو | SH7 | تنظیم و راه اندازی شات آف ولو |
| R3 | کاهش فشار خروجی | OD1 | اختلال در عملکرد ادورایزر |
| R4 | تعویض دیافراگم-مینیفولد-فنر و ... | OD2 | کمبود مواد بودار کننده در مخزن |
| R5 | افزایش فشار خروجی | OD3 | توزیع نامناسب مواد بودار کننده |
| R6 | تعویض اسلیو-کلوژر-سیت و .. | OD4 | خرابی متعلقات |
| R7 | عدم تاثیر بر سفتی ولو | OD5 | تزریق مواد بودار کننده |
| R8 | تاثیر منفی بر سفتی ولو | OD6 | تنظیم شیر پروانه ای |
| R9 | تنظیم رگولاتور و راه اندازی | OD7 | تعمیر و سرویس ادورایزر |
| SA1 | اختلال در عملکرد سفتی ولو | OD8 | راه اندازی ادورایزر |
| SA2 | خرابی های منجر به عمل نکردن سفتی ولو | L1 | اختلال در عملکرد ایستگاه به دلیل وجود نشتی در تجهیزات |
| SA3 | خرابی های منجر به عمل کردن سفتی ولو | L2 | رفع نشت |
| SA4 | رفع جام پیستون-رفع چسبندگی دیسک به نشیمنگاه و ... | L3 | راه اندازی تجهیز |




شکل شماره (۱۲)- مدل تحلیل ریشه ای خرابی ها با استفاده از تکنیک GERT)

جدول (۴). شرح علل ریشه ای خرابی (عوامل اصلی- سطح یک)

| ردیف | علل ریشه ای خرابی | درصد احتمال (p) |
|---|---|---|
| ۱ | اختلال در عملکرد کنتور | 5.8 |
| ۲ | اختلال در عملکرد فیلتر | 52 |
| ۳ | اختلال در عملکرد رگولاتور | 20.2 |
| ۴ | اختلال در عملکرد سفتی ولو ها | 3 |
| ۵ | اختلال در عملکرد شات آف ولو | 2.9 |
| ۶ | اختلال در عملکرد ادرایزر | 9.2 |
| ۷ | اختلال در عملکرد ایستگاه به دلیل نشتی | 6.9 |
| | جمع | 100 |

جدول (۵). شرح علل ریشه ای خرابی (بدون تاثیر پذیری از سایر تجهیزات-سطح دو)

| ردیف | علل ریشه ای خرابی | درصد احتمال (p) |
|---|---|---|
| ۱ | کاهش فشار خروجی در اثر اختلال عملکرد رگولاتور | 4.6 |
| ۲ | افزایش فشار خروجی در اثر اختلال عملکرد رگولاتور | 15.6 |
| ۳ | اختلال عملکرد سفتی ولو منجر به عمل نکردن آن | 1.8 |
| ۴ | اختلال عملکرد سفتی ولو منجر به عمل کردن آن | 1.1 |
| ۵ | اختلال عملکرد شات آف ولو منجر به عمل نکردن آن | 1.6 |
| ۶ | اختلال عملکرد شات آف ولو منجر به عمل کردن آن | 1.2 |
| ۷ | اختلال در عملکرد ایستگاه به علت کمبود مایع در مخزن | 4.7 |
| ۸ | اختلال در عملکرد ایستگاه به دلیل توزیع نا مناسب مایع | 4.2 |
| ۹ | اختلال در عملکرد ایستگاه به دلیل خرابی متعلقات | 0.3 |

توضیح شماره دو : جمع احتمالات رخدادهای مستقل از هم می تواند ۱۰۰ درصد نباشد که در جدول (۵) قابل مشاهده است.

جدول (۶). شرح علل ریشه ای خرابی (متاثر از هم)

| ردیف | علل ریشه ای خرابی (متاثر از هم) | درصد احتمال (p) |
|---|---|---|
| ۱ | آسیب به کنتور در اثر گرفتگی / پارگی المنت فیلتر | 14 |
| ۲ | آسیب به رگولاتور بر اثر گرفتگی /پارگی المنت فیلتر | 32 |
| ۳ | احتمال آسیب ندیدن تجهیزات در صورت اختلال درعملکرد فیلتر ها | 54 |
| ۴ | کاهش فشار خروجی در اثر عملکرد نادرست فیلتر ها | 3.8 |
| ۵ | افزایش فشار خروجی در اثر عملکرد نادرست فیلتر ها | 12.8 |
| ۶ | خرابی منجر به عملکرد سفتی ولو در نتیجه اختلال در عملکرد رگولاتور | 4.7 |
| ۷ | خرابی منجر به عملکرد سفتی ولو در نتیجه اختلال در عملکرد فیلتر | 0.9 |
| ۸ | خرابی منجر به عملکردن شات آف ولو در نتیجه اختلال درعملکرد سفتی ولو | 11.3 |
| ۹ | خرابی منجر به عملکردن شات آف ولو در نتیجه اختلال در عملکرد رگولاتور | 0.5 |
| ۱۰ | خرابی منجر به عملکردن شات آف ولو در اثر خرابی فیلتر | 0.4 |

توضیح شماره سه: جمع احتمالات رخدادهای مستقل از هم می تواند ۱۰۰ درصد نباشد که در جدول (۶) قابل مشاهده است.

## ۵-خلاصه و نتیجه

ریشه یابی علل خرابی و مشخص کردن سهم هر خرابی در ایستگاههای تقلیل فشار گاز، همیشه بعنوان بک چالش برای بهره برداران مد نظر بوده است.در این مقاله علل ریشه ای خرابی در ایستگاه تقلیل فشار گاز شهید صدوقی شرکت گاز استان خوزستان به کمک تکنیک (GERT) بررسی و تحلیل گردید و احتمالات هر خطا در سه دسته شامل کلیه اختلالات، تجهیزات اصلی بدون تاثیر پذیری و خرابی تجهیزات با تاثیر گذاری بر همدیگر مورد بررسی قرار گرفت و فرضیات تحقیق را به شرح ذیل به اثبات می رساند.با توجه به اینکه تمام احتمالات خطاهای منجر به ایجاد اختلال در عملکرد ایستگاه تقلیل فشار گاز شهید صدوقی محاسبه گردیده و در جداول (۴)،(۵) و (۶) ارائه گردیده بنابراین فرضیه یک اثبات شده است. طبق مدل ارائه شده، ۵۲ درصد از کلیه خرابی های ایستگاه ناشی از اختلال در عملکرد بخش فیلتراسیون است. بنابراین بیشترین تاثیر را در خرابی های ایستگاه به خود اختصاص داده است.(جدول (۴)).

با توجه به اینکه دو رخداد قطع کلی جریان گاز و همچنین تزریق شدن گاز با فشار بیش از حد استاندارد بسیار حساس و خطرناک می باشند و بعنوان رخداد بحرانی در نظر گرفته شده اند، بنابراین برای اثبات فرضیه شماره (۳) تمام احتمالات منجر به این دو رخداد بصورت جداگانه محاسبه شده و نتایج آن به شرح ذیل می باشند که احتمال عمل کردن شات آف ولو و قطع جریان گاز ۲.۳ درصد و احتمال تزریق گاز با فشار بیش تر از حد استاندارد ۳.۲ درصد محاسبه گردیده است.

الف ) محاسبه احتمال عمل کردن شات آف ولو و قطع جریان گاز :

$P= \sum_i^n pi$

$P_i=p_5 \times p_{20}=0.029\times0.42=0.012$

$p_{i1=}P_4\times p_{16}\times p_{18}\times p_{20} =0.029\times0.39\times0.27\times0.42 =0.00128$

$p_{i2=} P_3 \times p_{12}\times p_{14}\times p_{16}\times p_{18}\times p_{20}=0.202\times0.77\times 0.78\times0.39\times0.27\times0.42=0.00536$

$p_{i3=}P_2\times p_{10}\times p_{12}\times p_{14}\times p_{16}\times p_{18}\times p_{20}=0.520\times0.32\times0.77\times 0.78\times0.39\times0.27\times0.42=0.00442$

ب ) محاسبه احتمال عمل نکردن شات آف ولو و تزریق گاز با فشار بالا در شبکه شهری:

$P= \sum_i^n pi$

$P_i=p_5 \times p_{19}=0.029\times0.58=0.01682$

$p_{i1=}P_4\times p_{16}\times p_{18}\times p_{19} =0.029\times0.39\times0.27\times0.58$

$=0.00177$

$p_{i2=}P_3\times p_{12}\times p_{14}\times p_{16}\times p_{18}\times p_{19}=0.202\times0.77\times0.78\times 0.39\times0.27\times0.58=0.00741$

$p_{i3=}P_2\times p_{10}\times p_{12}\times p_{14}\times p_{16}\times p_{18}\times p_{19}=0.520\times0.32\times0.77\times$

## فهرست منابع

عرب زاده، ع. عرب زاده، خ. کرمی، خ. (۱۳۹۵).تحلیل علل ریشه ای از کار افتادگی تجهیزات در صنعت نفت. ماهنامه علمی ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز.شماره ۱۳۹.صفحه ۲۲ تا ۲۶.

حاج شیر محمدی، علی (۱۳۷۸)، مدیریت کنترل پروژه، ارکان دانش.

بیگی و همکاران،(۱۳۹۳)، بررسی علل مرگ و میر مادران با استفاده از تجزیه و تحلیل علل ریشه ای در اصفهان،پرستاران ایران، شماره ۳ ، صفحه ۲۱

خسروی راد، ف. زارعی، ا. ایرج، م ف. اسماعیل، ش.(۱۳۹۳ ). تجزیه و تحلیل علل ریشه ای حوادث فرایندی ایستگاههای تقلیل فشار گاز شهری با استفاده از تکنیک های تحلیل خطرات عملکردی و تحلیل پاپیونی. مجله مهندسی بهداشت حرفه ای ، شماره ۳، صفحه ۱۹-۲۸

نادری، م. (۱۴۰۱). تحلیل علل ریشه ای خرابی ها (RCA) راه حال موثری جهت کاهش خرابی تحهیزات https://pamco.ir/rca، ۱۴۰۱/۱۰/۲۹

سر ابادانی، ف. (۱۳۹۹). تحلیل علل ریشه ای و ۵ روش و تکنیک آنhttps://www.pegaheaftab.com

خانه مهندسی صنایع.(۱۳۹۶). آموزش شبکه های GERT ، https://iehouse.org/freelearning-gert/#

Van vliet v.root cause analysis (rca).2014,available from: https://www.toolshero.com/problem-solving/root-cause-analysis-rca/

Molan, G. Molan, M. (2020). theoretical model for accident prevention based on root cause analysis with graph theory. Safety And Health at Work,42-50.