بسم الله الرحمن الرحیم

ب

ت

استاندارد تحلیل علل ریشه ای

Root Cause Analysis

اثر:

سازمان استاندارد بریتانیا (BSI)

ترجمه:

سعید رمضانی، فرزین فرضعلی پور

استاندارد تحلیل علل ریشه ای

سرشناسه:سعید رمضانی، فرزین فرضعلی پور
عنوان و نام پدیدآور:تحلیل علل ریشه ای،Root Cause Analysis، سازمان استاندارد بریتانیا، BSI، سعید رمضانی، فرزین فرضعلی پور
مشخصات نشر: گرگان، انتشارات نوروزی، ۱۳۹۵
مشخصات ظاهری: ۱۱۰ ص.:جدول
شابک: 978-964-468-458-6
وضعیت فهرست‌نویسی: فیپای مختصر
یادداشت: کتابنامه ۱۰۸-۱۱۰
شناسه افزوده: رمضانی، سعید، ۱۳۶۰
شناسه افزوده: فرضعلی پور، فرزین، ۱۳۷۰
شماره کتابشناسی ملی: ۳۸۲۲۹۶۷
نام کتاب: استاندارد تحلیل علل ریشه ای
ترجمه: سعید رمضانی، فرزین فرضعلی پور
صفحه‌آرایی: بهزاد مرادی
ویرایش: مسعود امیرزاده
طراح جلد: نسیم شکوری
چاپ اول: بهمن ۹۵
شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه
قیمت: ۱۴۰۰۰۰ریال
لیتوگرافی، چاپ و صحافی:
ناشر: انتشارات نوروزی
تمام حقوق ناشر و مترجمان محفوظ است.
نشانی: گلستان، گرگان، خیابان شهید بهشتی، بازار رضا (ع)، تلفن: ۰۱۷-۳۲۴۴۲۲۵۸
وب سایت: www.entesharate-noroozi.com
www.i-REAM.com

ب

ت

پیشگفتار مترجمین

در چند سال اخیر در کشور عزیزمان، شاهد حوادث صنعتی چند لایه بوده ایم و از آنجا که تحلیل علل ریشه ای با بهره برداری از روش های مختلف، حوادث را در لایه های مختلف بررسی می کند و سعی در جلوگیری از رخداد مجدد حوادث دارد، لذا می تواند در ریشه کن کردن حوادث بزرگ و کوچک در صنعت، سهم چشمگیری داشته باشد.

با توجه به اهمیت تحلیل علل ریشه ای، نیاز به استاندارد سازی آن با روش های مختلف، احساس می‌شود تا بتواند اثربخشی بیشتری را در حذف و یا کاهش خرابی ها ارائه کند.

کتاب پیش رو در سازمان استاندارد بریتانیا به رشته ی تحریر در آمده است. این کتاب، علاوه بر شرح تحلیل علل ریشه ای، در پیوست های مختلف به توضیح جامع روش های تحلیل علل ریشه ای می‌پردازد. این کتاب، علاوه بر شرح تحلیل علل ریشه ای، در ۵ پیوست، به توضیح جامع بیش از ۲۰ روش کاربردی در تحلیل علل ریشه ای می پردازد. این تشریح از روش ها شامل مرور کلی، فرآیند، نقاط قوت و محدودیت هاو در اکثر روش ها شامل مثال های کاربردی از آن ها نیز می شود.

در بخش اول، این استاندارد به معرفی تحلیل علل ریشه ای و فرآیند انجام آنکه شامل بخش های آغاز، تعیین حقایق،تحلیل، تایید و ارائه‌ی نتایج است، و تعاریف اصطلاحات تحلیل علل ریشه ای می پردازد. علاوه بر این، شامل معرفی بسیار مختصر از روش هایی که در بخش های بعدی می آیند نیز می شود.

پیوست اول این کتاب، لیستی از تکنیک های تحلیل علل ریشه ای مورد استفاده با شرحی مختصر است که یک لیست مرجع از معیارهایی که می توانند برای مقایسه ی تکنیک های مختلف استفاده شوند را فراهم می آورد. علاوه بر این، سعی شده است تا نمونه هایی نیز از انواع تکنیک ها ذکر شود.

در پیوست دوم این کتاب، رایج ترین مدل های تحلیل علل ریشه ای مورد استفاده، شرح داده می شوند که روش های مختلفی از تفکر در مورد رویداد را فراهم می آورند. این مدل های مختلف مبتنی بر فرضیه های قطعی با توجه به رویداد هستند. مدل هایی که در این پیوست آمده اند شامل تحلیل مانع، مدل دلیل، مدل های سیستم و مدل و فرآیند های پیشامد تئوریک سیستم ها می شوند.

در پیوست سوم این کتاب، طیف وسیعی از تکنیک های استفاده شده در طول یک تحلیل علل ریشه ای شرح داده می شوند. این لیست، نمونه هایی از انواع مختلف تکنیک های استفاده شده را پوشش می دهد. بسیاری از این تکنیک ها توسط نرم افزار ،پشتیبانی شده اند. بعضی از روش ها و نرم افزارها، دارای عناصری هستند که اختصاصی هستند و ممکن است بر هزینه ی اجرای تکنیک، تاثیر بگذارند.

پیوست چهارم از این کتاب، شامل ابزار ها و تکنیک هایی است که می توانند از اجرای تحلیل علل ریشه ای حمایت کنند و در پیوست پنجم نیز به توضیحات تکمیلی در مورد تحلیل علل ریشه ای پرداخته می‌شود.

با سپاس

سعید رمضانی

۰۹۱۲۲۰۰۲۴۰۶

Ramezani_sr@ind.iust.ac.ir

فرزین فرضعلی پور

آبان ماه ۱۳۹۵

ج

فهرست عناوین

استاندارد تحلیل علل ریشه ای (RCA) ۱
۱ دامنه (Scope) ۱
۲ مراجع الزامی (Normative Refrences) ۲
۳ عبارت ها، تعاریف و اختصارات (Terms, definitions and abbreviations) ۳
۳,۱ عبارات و تعاریف (Terms and definitions) ۳
۳,۲ اختصارات ۷
۴ تحلیل علل ریشه ای (RCA)-مرور کلی (overview) ۸
۵ فرآیند تحلیل علل ریشه ای (RCA) ۹
۵,۱ مرور کلی (Overview) ۹
۵,۲ آغاز (Initiation) ۱۱
۵,۳ تعیین حقایق (Establishing facts) ۱۴
۵,۴ تحلیل (Analysis) ۱۶
۵,۵ تایید (Validation) ۲۰
۵,۶ ارائه ی نتایج (Presentation of results) ۲۰
۶ انتخاب تکنیک هایی برای تحلیل علل ۲۲
(Selection of techniques for analyzing causes) ۲۲
۶,۱ عمومی (General) ۲۲
۶,۲ انتخاب روش های تحلیل (Selection of analysis techniques) ۲۲
۶,۳ ابزار مفید برای کمک به تحلیل علل ریشه ای ۲۳
(Useful tools to assist RCA) ۲۳
پیوست الف ۲۵

خ

خلاصه و معیارهایی که به طور معمول در تکنیک تحلیل علل ریشه ای (RCA) استفاده می شود ۲۵
الف.۱ عمومی (RCA) ۲۵
الف.۲ تکنیک های تحلیل علل ریشه ای (RCA Techniques) ۲۵
الف.۳ معیارها (Criteria) ۲۸
پیوست ب ۳۳
مدل های تحلیل علل ریشه ای (RCA) ۳۳
ب.۱ عمومی (General) ۳۳
ب.۲ تحلیل مانع (Barrier analysis) ۳۳
ب.۲-۱ مرور کلی (Overview) ۳۳
ب.۲-۲ نقاط قوت و محدودیت ها (Strength and limitations) ۳۶
ب.۳ مدل دلیل (مدل پنیر سوییسی(Swiss cheese model)) ۳۶
(Reason's model) ۳۶
ب.۳-۱ مرور کلی (Overview) ۳۶
ب.۳-۲ نقاط قوت و محدودیت ها (Strength and limitations) ۳۷
ب.۴ مدل های سیستم (Systems models) ۳۷
ب.۵ مدل و فرآیند های پیشامد تئوریک سیستم ها(STAMP) ۳۸
ب.۵-۱ مرور کلی ۳۸
ب.۵-۲ نقاط قوت و محدودیت ها (Strength and limitations) ۳۹
پیوست ج ۴۰
شرحی دقیق بر تکنیک های تحلیل علل ریشه ای (RCA) ۴۰
ج.۱ عمومی (Overview) ۴۰
ج.۲ نمودار عوامل علّی و رویداد ها (ECF) ۴۱

ج.۲-۱ مرور کلی ۴۱
ج.۲-۲ فرآیند (Process) ۴۲
ج.۲-۳ نقاط قوت و محدودیت ها (Strength and limitations) ۴۲
ج.۳ توالی رویداد های چند خطی (MES) و طرح ریزی رویداد های متوالی زمان بندی شده (STEP) ۴۳
ج.۳-۱ مرور کلی (Overview) ۴۳
ج.۳-۲ فرآیند ۴۴
ج.۳-۳ نقاط قوت و محدودیت ها (Strength and limitation) ۴۵
ج.۴ روش چرا-چرا (The why method) ۴۶
ج.۴-۱ مرور کلی (Overview) ۴۶
ج.۴-۲ فرآیند ۴۷
ج.۴-۳ نقاط قوت و محدودیت ها ۴۸
ج.۵ روش درخت علل (CTM) ۴۹
ج.۵-۱ مرور کلی (Overview) ۴۹
ج.۵-۲ فرآیند (Process) ۵۱
ج.۵-۳ نقاط قوت و محدودیت ها (Strength and limitations) ۵۲
ج.۶ تحلیل چرا-زیرا (WBA) ۵۳
ج.۶-۱ مرور کلی (Overview) ۵۳
ج.۶-۲ فرآیند (Process) ۵۵
ج.۶-۳ نقاط قوت و محدودیت ها (Strength and limitations) ۵۶
ج.۷ روش درخت عیب و درخت موفقیت (FTA) ۵۷
ج.۷-۱ مرور کلی (Overview) ۵۷
ج.۷-۲ فرآیند (Process) ۵۸

ذ

ج.۷-۳ نقاط قوت و محدودیت ها (Strength and limitations) ۵۹
ج.۸ دیاگرام ایشیکاوا یا استخوان ماهی ۵۹
ج.۸-۱ مرور کلی (Overview) ۵۹
ج.۸-۲ فرآیند (Process) ۶۰
ج.۸.-۳ نقاط قوت و محدودیت ها (Strength and limitations) ۶۱
ج.۹ ایمنی از طریق یادگیری سازمانی (SOL) ۶۲
ج.۹-۱ مرور کلی (Overview) ۶۲
ج.۹-۲ فرآیند (Process) ۶۲
ج.۹-۳ نقاط قوت و محدودیت ها (Strength and limitations) ۶۳
ج.۱۰ نظارت مدیریت و درخت ریسک (MORT) ۶۴
ج.۱۰-۱ مرور کلی (Overview) ۶۴
ج.۱۰-۲ فرآیند (Process) ۶۵
ج.۱۰-۳ نقاط قوت و محدودیت ها (Strength and limitations) ۶۶
ج.۱۱ نقشه ی پیشامد (Accimaps) ۶۶
ج.۱۱-۱ مرور کلی (Overview) ۶۶
ج.۱۱-۲ فرآیند (Process) ۶۷
ج.۱۱-۳ نقاط قوت و محدودیت ها (Strength and limitations) ۶۹
ج.۱۲ Tripod beta ۶۹
ج.۱۲-۱ مرور کلی (Overview) ۶۹
ج.۱۲.-۲ فرآیند (Process) ۷۱
ج.۱۲-۳ نقاط قوت و محدودیت ها (Strength and limitations) ۷۲
ج.۱۳ تحلیل علّی با استفاده از STAMP (CAST) ۷۲
چ.۱۳.-۱ مرور کلی (Overview) ۷۲

ج.۱۳-۲ فرآیند (Process) ۷۷
ج.۱۳-۳ نقاط قوت و محدودیت ها (Strength and limitations) ۷۸
ضمیمه ی د ۷۹
ابزارهای مفید برای کمک به تحلیل علل ریشه ای ۷۹
د-۱ عمومی (General) ۷۹
د.۲-۱ مرور کلی (Overview) ۷۹
د.۲-۲ مثال ۱ ..... ۸۰
د.۲-۳ مثال ۲ ..... ۸۱
د.۲-۴ مثال ۳ ..... ۸۱
ضمیمهی ه ۸۲
تحلیل عملکرد افراد ۸۲
ه.۱ عمومی (General) ۸۲
ه.۲ تحلیل خرابی های ناشی از خطای انسانی (Analysis of human failure) ۸۲
ه.۳ تکنیکی برای تحلیل پیش نگر و پیش بینی کننده ی خطاهای شناختی(تحقیقی) .. ۸۴
Techniques for retrospective and predictive analysis ofcognitive)
errors (TRACEr) ۸۴
ه.۳-۱ مرور کلی (Overview) ۸۴
ه.۳-۲ فرآیند (Process) ۸۶
ه.۴ تحلیل عوامل انسانی و طرح طبقه بندی (HFACS) ۸۹
ه.۴-۱ مرور کلی (Overview) ۸۹
ه.۴-۲ فرآیند (Process) ۸۹

فهرست منابع

ز

استاندارد تحلیل علل ریشه ای (RCA)[1]

تحلیل علل ریشه ای (RCA)، فرآیندی سیستماتیک است که به شناسایی عواملی که در وقوع رویداد مورد نظر مشارکت دارند، می پردازد. هدف از تحلیل علل ریشه ای، آن است که، علل ریشه ای به گونه ای آشکار شوند که احتمال رخداد آنها یا اثر آنها در صورت وقوع، کاهش یابد.

تمایز تحلیل علل ریشه ای، در تحلیل رویداد گذشته(پسین) است. با این حال، آگاهی از علل ریشه ای حوادث گذشته، می تواند باعث بهبود وضعیت آینده شود.

این استاندارد بین المللی، به انعکاس رویه های مناسب در اجرای تحلیل علل ریشه ای (RCA) می پردازد. ماهیت این استاندارد، عمومی می باشد. بنابراین می تواند به عنوان دستورالعملی برای بسیاری از صنایع و سازمان ها استفاده شود. ممکن است استاندارد هایی برای صنایع خاصی وجود داشته باشند، اگر این استاندارد های خاص، با این ویرایش[2] هماهنگ باشند، استاندارد های صنعتی به طور کلی کفایت می کند.

این استاندارد یک استاندارد عمومی است و به طور صریح، به ایمنی یا بررسی رویداد نمی پردازد. اگر چه روش هایی که در این استاندارد، شرح داده می شوند؛ برای این هدف استفاده شوند.

۱ دامنه (Scope)

این استاندارد بین المللی، اصول اساسی تحلیل علل ریشه ای (RCA) را شرح می-دهد و مراحل تحلیل علل ریشه ای (RCA) را مشخص می کند. این استاندارد، ویژگی هایی را برای تکنیک های تحلیل علل ریشه ای (RCA) در راستای کمک به انتخاب روش مناسب، معرفی می کند. این استاندارد، تکنیک های تحلیل علل ریشه ای (RCA) و نقاط قوت و ضعف مربوط به آن ها را شرح می دهد.

---

[1] Root Cause Analysis
[2] Publication

۲ استاندارد تحلیل علل ریشه ای (RCA)

تحلیل علل ریشه ای (RCA)، به منظور تحلیل علل ریشه ای حوادث با پیامد های مثبت و منفی استفاده می شود اما غالبا برای تحلیل خرابی ها و وقایع نیز به کار می-رود. علت ها برای چنین حوادثی می توانند مختلف باشند، از جمله: فرآیند های طراحی و تکنیک ها، مشخصه های سازمانی، جنبه های انسانی و حوادث خارجی.

علاوه بر تحلیل خرابی، تحلیل علل ریشه ای (RCA) می تواند برای بررسی علت عدم انطباق ها[1]در سیستم های مدیریت کیفیت به طور مثال در تست تجهیزات یا نگهداشت، استفاده شود.

تحلیل علل ریشه ای (RCA)، برای تحلیل حوادث و رخدادها، استفاده می شود. بنابراین، این استاندارد، تنها تحلیل های گذشته[2]را پوشش می دهد. مشخص شده است که بعضی از تکنیک‌های تحلیل علل ریشه ای (RCA)، با سازگاری[3]می توانند به طور کارا[4]در طراحی و توسعه‌ی آیتم ها و برای تحلیل های علّی در طول ارزیابی ریسک استفاده شوند. با این حال، این استاندارد بر تحلیل حوادثی که رخ داده اند تمرکز دارد.

هدف از این استاندارد، شرح فرآیندی برای اجرای تحلیل علل ریشه ای (RCA) و شرح تکنیک هایی برای شناسایی علل ریشه ای است. این تکنیک ها برای تعیین مسئولیت طراحی نشده اند، زیرا این بخش، خارج از محدوده‌ی این استاندارد است.

۲ مراجع الزامی (Normative Refrences)

اسناد پیش رو، به طور کلی یا به طور جزئی، الزاما در این سند اشاره شده اند و برای کاربرد استاندارد، ضروری هستند. برای مراجع دارای تاریخ، تنها ویرایش[5]ذکر شود. برای مراجع بدون تاریخ، آخرین ویرایش سند اشاره شده (با در نظر گرفتن اصلاحات) ذکر شود.

IEC 60050 (تمام بخش ها)، واژگان الکترونیکی بین المللی[6]

---

[1]Non-conformances
[2]Posteriori analyses
[3]Adaptation
[4]Proactively
[5]Edition
[6]International Electrotechnical Vocabulary

۳ عبارت ها، تعاریف و اختصارات (Terms, definitions and abbreviations)

در ایـن اسـتاندارد، عـلاوه بـر مـوارد زیـر، تعـاریفی کـه در IEC60050-192 داده شـده است نیز اعمال می شود.

۳,۱ عبارات و تعاریف (Terms and definitions)

۳,۱,۱

علت (Cause)

شرایط یا مجموعه ای از شرایط که منجر به خرابی یا موفقیت می شوند.

یادداشت۱: یک علت، ممکـن اسـت در طـول دوره‌ی تشـخیص، طراحـی، سـاخت، نصـب، عملیـات یا نگهداشت، ایجاد شود.

۳,۱,۲

عامل علّی (Casual Factor)

وضعیت، فعالیت، رویداد یـا حالـت کـه بـرای وقـوع رویـداد مـورد نظـر، ضـروری اسـت یـا در رخداد آن مشارکت دارد.

۳,۱,۳

عامل همکار (Contributory Factor)

وضعیت، فعالیـت، رویـداد یـا حـالتی کـه در ارتبـاط بـا وقوعرویـداد مـورد نظـر، عامـل ثانویـه در نظر گرفته می شود.

۳,۱,۴

رویداد (Event)

رخداد یا تغییر مجموعه ای خاص از شرایط

یادداشت۱: یـک رویـداد، مـی توانـد یـک رخـداد یـا رخـداد هـای بیشـتری باشـد و علـت هـای متعددی داشته باشد.

یادداشت۲:یک رویداد، می تواند شامل آیتم هایی شود که رخ ندهند.

یادداشت۳: یک رویـداد، مـی توانـد گـاهی اوقـات بـه عنـوان یـک حادثـه[1] یـا پیشـامد[2] در نظـر گرفته شود.

[1] Incident
[2] Accident

٤ استاندارد تحلیل علل ریشه ای (RCA)

۳,۱,۵

خرابی <یک آیتم> (Failure)

فقدان توانایی برای اجرا، طبق آن چیزی که خواسته شده است.

یادداشت۱: خرابی یک آیتم، رویدادی است که از خطای آن آیتم، حاصل می شود.

یادداشت۲: صفت هایی از قبیل فاجعه بار[1] بحرانی[2] اصلی[3] فرعی[4] اندک[5] و چشمگیر[6] ممکن است برای دسته بندی خرابی ها بر اساس شدت[7] پیامد ها استفاده شوند. انتخاب و تعاریف معیار های شدت به نوع کاربرد[8] بستگی دارد.

یادداشت۳: صفت هایی از قبیل استفاده‌ی نادرست[9] کنترل نادرست[10] و نقطه‌ی ضعف، ممکن است برای دسته بندی خرابی ها بر اساس علت خرابی، استفاده شوند.

۳,۱,۶

ساز و کار خرابی (Failure Mechanism)

فرآیندی که منجر به خرابی می شود.

یادداشت۱: فرآیند، ممکن است فیزیکی، شیمیایی، منطقی، روانشناسی یا ترکیبی از آن ها باشد.

۳,۱,۷

رویداد مورد نظر (Focus Event)

رویدادی که در نظر گرفته شده است تا به طور علّی توضیح داده شود.

۳,۱,۸

عامل علّی فوری (Immediate Casual Factor)

---

[1] Catastrophic
[2] Critical
[3] Major
[4] Minor
[5] Marginal
[6] Significant
[7] Severity
[8] Field of application
[9] Misuse
[10] Mishandling

وضعیت، فعالیت، رویداد یا حالتی[1] که هیچ عامل علّی دیگری بین این عامل علّی و رویداد مورد نظر، وجود ندارد.

یادداشت۱: ممکن است بیش از یک عامل علّی فوری، وجود داشته باشد.

۳,۱,۹

عامل علّی ضروری (یک رویداد یا حالت) (Immediate casual factor)

وضعیت، فعالیت، رویداد یا حالتی[2] که در رویداد حاصل می شود، بدون اینکه رویداد، رخ داده باشد.

۳,۱,۱۰

خطای انسانی (Human error)

اختلاف[3] بین فعالیت انسانی اتخاذ شده یا حذف شده[4] آن چیزی که مطلوب است.

یادداشت۱: اولین ویرایش از IEC 60050-191:1990، "اشتباه[5]" را به عنوان یک علامت برای خطای انسانی شناسایی کرد اما اشتباه یک نوع خطای انسانی است.

یادداشت۲: عبارت خطای انسانی، شامل هر موقعیتی می شود که نتیجه مورد نظر حاصل نشود، چه قصد فرد، درست باشد، چه نادرست.

۳,۱,۱۱

آیتم (Item)

موضوع یا چیزی که در نظر گرفته شده است.

یادداشت۱: آیتم، ممکن است یک بخش، جز، وسیله، واحد عملی[6]، تجهیز، زیر سیستم یا سیستم باشد.

یادداشت۲: آیتم، ممکن است شامل سخت افزار، نرم افزار، افراد یا ترکیبی از آن ها باشد.

---

[1] State
[2] State
[3] Discrepancy
[4] Omitted
[5] Mistake
[6] Functional unit

یادداشت۳: آیتم، اغلب شامل عناصری است که ممکن است به طور انحصاری در نظر گرفته شوند.

۳,۱,۱۲

علت ریشه ای (Root Cause)

عامل علّی، بدون هیچ سابقه ای[1] که مرتبط با هدف تحلیل باشد.

یادداشت۱: یک رویداد، معمولا بیش از یک علّت ریشه ای دارد.

یادداشت۲: در بعضی زبان ها، عبارت علت ریشه ای، اشاره به ترکیب عوامل علّی دارد که هیچ سابقه‌ی علّی [2](یک مجموعه از عوامل علّی)[3] ندارند.

۳,۱,۱۳

تحلیل علل ریشه ای (RCA)

فرآیندی سیستماتیک برای شناسایی علت های رویداد.

یادداشت۱: IEC 60050-192:2014، تعریف 192-12-05 تعریف محدودتری را فراهم می-آورد "فرآیند سیستماتیک برای شناسایی یک عیب، خرابی یا رویداد نامطلوب به گونه ای که می تواند به وسیله‌ی تغییرات روش، فرآیند یا طراحی، حذف شود." این استاندارد از یک تعریف گسترده، استفاده می کند تا قابلیت اجرای بیشتری در فرآیند ها ارائه دهد.

یادداشت۲: این نکته تنها برای زبان فرانسوی، اعمال می شود.

۳,۱,۱۴

ذی نفعان (Stakeholder)

فرد یا سازمانی که می تواند اثرگذار باشد یا تحت تاثیر قرار گیرد یا توسط یک تصمیم یا فعالیت، تحت تاثیر قرار گیرد.

۳,۱,۱۵

قانون توقف (Stopping Rule)

معانی منطقی و صریح تعیین اینکه چه زمانی یک عامل علّی به عنوان یک علت ریشه ای، تعریف می شود.

---

[1] Predecessor
[2] Casual predecessor
[3] A cut set of casual factors

۳,۲ اختصارات

Casual analysis using STAMP	تحلیل علّی با استفاده از STAMP	**CAST**
Casual completeness test	تست کامل بودن تحلیل علّی	**CCT**
Counterfactual test	تست	**CT**
Causes tree method	روش درخت علل	**CTM**
Events and casual factors	رویداد ها و عوامل علّی	**ECF**
External error mode	حالت خطای خارجی	**EEM**
Fualt tree analysis	تحلیل درخت خطا	**FTA**
Generic error modelling system	سیستم مدلسازی خطای کلی	**GEMS**
Human factor analysis and classification scheme	تحلیل عامل انسانی و طرح طبقه بندی	**HFACS**
Internal error mode	حالت خطای داخلی	**IEM**
Multilinear events sequencing	توالی رویداد های چندخطی	**MES**
Management oversight and risk tree	درخت ریسک و اشتباهات سهوی مدیریت	**MORT**
Psychological error mechanism	مکانیزم خطای ذهنی (روانی)	**PEM**
Performance shaping factors	عوامل تشکیل عملکرد	**PSF**
Root cause analysis	تحلیل علل ریشه ای	**RCA**
Safety through organizational learning	ایمنی از طریق آموزش سازمانی	**SOL**
Systems theoretic accident model and processes	فرآیند ها و مدل پیشامد تئوری سیستم ها	**STAMP**
Sequentially timed events plotting	ترسیم رویداد های زمان بندی شده‌ی متوالی	**STEP**
Technique for retrospective and predictive analysis of cognitive errors	تکنیک برای تحلیل گذشته نگر و پیش گویانه‌ی خطا های شناختی	**TRACEr**
Why-because analysis	تحلیل چرا-زیرا	**WBA**

۴ تحلیل علل ریشه ای (RCA)-مرور کلی (overview)

تحلیل علل ریشه ای (RCA)، به فرآیند سیستماتیکی اشاره دارد که علت یا علت هایی را که در رخداد رویداد مشارکت دارند شناسایی می کند. علت فوری یا آشکار رویداد مورد نظر، اغلب نشانه‌ای از علت های اساسی است و ممکن است به درستی، علت یا علل ریشه ای را که باید شناسایی شوند مشخص نکند. تحلیل علل ریشه ای (RCA)، درکی بهتر درباره‌ی اینکه چرا رویداد ها رخ می دهند را فراهم می آورد.
تحلیل علل ریشه ای (RCA) می تواند موارد زیر را شناسایی کند:

الف) یک علت ریشه ای

ب) چندین علت ریشه ای که حذف هر علت، باعث پیشگیری از وقوع رویداد می‌شود.

ج) آن دسته از علل ریشه ای که عوامل همکار هستند، حذف آن ها باعث کاهش در احتمال وقوع رویداد خواهد شد اما ممکن است مستقیما از آن پیشگیری نکند.

د)علل ریشه ای موفقیت ها[1]

با یافتن علل ریشه ای، این امکان وجود خواهد داشت که اتخاذ تصمیمات مربوط به راهکارها، نتایج بهتری را حاصل خواهند کرد. اعمال راهکارهای مبتنی بر تحلیل علل ریشه‌ای (RCA) در پیشگیری از همان رویداد ها یا رویداد های مشابه با پیامد های منفی یا افزایش احتمال تکرار موفقیت ها، اثربخشی بیشتری دارند، البته این موضوع، زمانی که تنها با یافتن علائم آشکار فوری مقایسه شوند، مورد تایید خواهند بود.
تحلیل علل ریشه ای (RCA) می تواند بر هر نوع از رویدادها چه موفقیت، یا خرابی اعمال شود برای مثال:

۱) تحقیق رویدادهای فناوری، پزشکی و شغلی
۲) تحلیل خرابی سیستم های فناوری به منظور تعیین علت اینکه چرا یک آیتم، موفق به انجام آنچه که از آن خواسته شده است نمی شود.
۳) تحلیل کنترل کیفیت و فرآیند های کسب و کار
۴) تحلیل نتایج موفقیت

[1] Root causes of success

inestitute of reliability engineering and asset management www.i-REAM.com

تحلیل علل ریشه‌ای (RCA) می تواند در سطوح مختلف تجزیه[1] برای مثال از سیستم به سطح جزئی یا با انتخاب کردن رویداد ها یا نتایج مختلف به عنوان نقطه‌ی شروع انجام شود. سطح مناسب برای انجام تحلیل، به رویداد مورد نظر، بستگی دارد.

تحلیل علل ریشه‌ای (RCA) به منظور تحلیل رویداد هایی که واقعا رخ داده اند و بعد از آن در طول تست قابل اجرا هستند و فازهای عملیاتی چرخه عمر یک پروژه یا محصول، استفاده می شوند. تحلیل علل ریشه‌ای (RCA) می تواند مشکلات فرآیند را اعم از طراحی، کنترل کیفیت، مدیریت وابستگی و مدیریت پروژه را شناسایی کند.

فواید اجرای تحلیل علل ریشه ای (RCA) شامل موارد زیر می شود:

- درکی بهتر از رویدادی که رخ داده است.
- یافتن منبع مشکلات به گونه ای که اقدامات اصلاحی بتواند از رویداد های آتی پیشگیری کند.
- شناسایی علل رویداد با نتایج سودمند به گونه ای که بتوانند تکرار شوند
- شناسایی اقدامات موثرتر برای یافتن علل رویداد
- دستیابی به اهداف بررسی های رویداد به طور موثر
- پشتیبانی از قابلیت ردیابی نتایج و شواهد بررسی رویداد
- افزایش سازگاری بین بررسی رویداد های مشابه
- افزایش واقعیت در تحلیل رویداد

۵ فرآیند تحلیل علل ریشه ای (RCA)

۵,۱ مرور کلی (Overview)

به منظور موثر بودن، تحلیل علل ریشه ای (RCA) باید با علل ریشه ای و نتایج جمع آوری شده توسط شواهد مستند به طور سیستماتیک، به عنوان یک بررسی، اعمال شود. به منظور دستیابی به این هدف، تحلیل علل ریشه ای (RCA) باید دارای پنج مرحله نشان داده شده در جدول ۱ و شکل ۱ باشد.

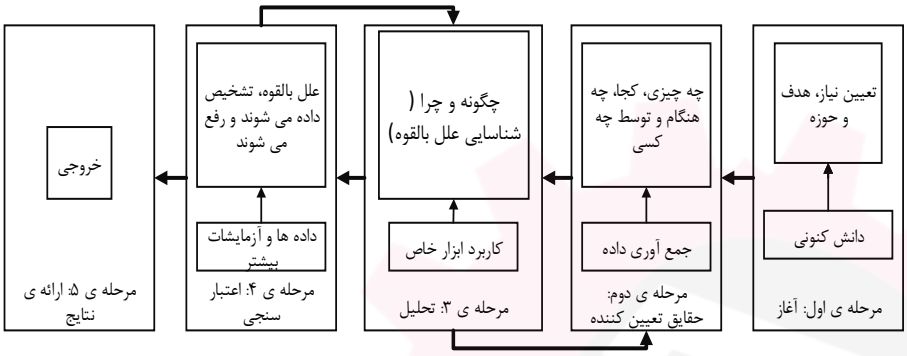
[1] Decomposition

جدول ۱-مراحل تحلیل علل ریشه ای (RCA)

مرحله	مفاهیم و وظایفی که باید انجام شود
آغاز[1]	مبتنی بر دانش در دسترس از رویداد مورد نظر، نیاز به انجام تحلیل علل ریشه ای (RCA) را تعیین کنید و هدف و محدوده‌ی آن را تعریف کنید
تعیین حقایق[2]	داده ها را جمع آوری کنید و حقایق اینکه چه چیزی در کجا و چه زمانی و توسط چه کسی رخ داده را تعیین کنید
تحلیل[3]	از ابزار و تکنیک های تحلیل علل ریشه ای (RCA) برای حصول اطمینان از چگونگی و چرایی رخ دادن رویداد مورد نظر، استفاده کنید
تایید[4]	امکانات مختلف را در مورد اینکه چگونه و چرا رویداد مورد نظر، رخ داد را تشخیص دهید و تعیین کنید
ارائه‌ی نتایج[5]	نتایج تحلیل رویداد مورد نظر را ارائه کنید.

تحلیل علل ریشه ای (RCA)، ماهیتی تکراری دارد، به خصوص در جمع آوری و تحلیل داده ها، در تحلیل علل ریشه ای، داده های مرتبط با اینکه چه رویدادی رخ داده، سپس به منظور تعیین اینکه چه داده های دیگری برای جمع آوری نیاز است، مورد تحلیل قرار می گیرد. زمانی که داده ها جمع آوری شدند، تحلیل بعدی انجام می شود و هر گونه شکاف اطلاعاتی، شناسایی می شود که برای داده های دیگری جمع آوری می شود. این فرآیند تا زمانی که اهداف تحلیل، محقق شود و علل ریشه ای شناسایی شوند تکرار می شود. خروجی های تحلیل علل ریشه ای (RCA)، به دامنه و هدف آن وابسته است.

[1] Initiation
[2] Establishing facts
[3] Analysis
[4] Validation
[5] Presentation of results



شکل۱- فرآیند تحلیل علل ریشه ای (RCA)

۵,۲ آغاز (Initiation)

اولین مرحله، تحلیل علل ریشه ای (RCA) را با تعیین نیاز انجام تحلیل علل ریشه ای (RCA) آغاز می کند. این مرحله دامنه و هدف تحلیل را با توجه به رویداد مورد نظر تعریف می کند و یک تیم و منابعی را برای انجام تحلیل علل ریشه ای (RCA) تعیین می کند.

معمولا از معیارهایی برای تعیین اینکه چه زمانی تحلیل علل ریشه ای (RCA) مورد نیاز است استفاده می شود که می تواند شامل موارد زیر باشد:

- هر گونه رویدادی با اثری بزرگ
- چندین رویداد نامطلوب مشابه
- یک پارامتر که از سطح محدوده‌ی تعریف شده، خارج می شود.
- خرابی ها یا موفقیت هایی که شامل آیتم های مهم تجهیزات یا اقدامات می‌شود.

هنگام تعریف رویدادهای نیازمند به اجرای تحلیل علل ریشه ای، این موضوع حائز اهمیت است که رویدادی با اثری بزرگ، ممکن است، علت هایی با اثر کمتر داشته باشد. یافتن و تحلیل علل ریشه ای برای رویدادهایی با اثرات کمتر، ممکن است، از وقوع رویدادی با اثرات بزرگ، پیشگیری کند. در ادامه، نمونه رویدادهایی که تحلیل علل ریشه ای برای آن ها لازم است، ذکر می شود: تکمیل یک پروژه (موفقیت ها یا

خرابی ها)، خرابی هایی که منجر به هزینه های پنهان[1] آسیب و تلفات می شوند، عملکرد غیر قابل قبول یا تاخیرات ،پیامدهای بزرگ قراردادی و خرابی تجهیزات.

اگر تحلیل علل ریشه ای، لازم باشد ،رویداد(هایی) که باید تحلیل شود، توضیح داده می شود و یک تیم مناسب برای تحلیل، مشخص می شود. این توضیح باید شامل زمینه و محتوایی باشد که رویداد(های) مورد نظر در آن رخ می دهد . تعریفی مناسب از رویداد مورد نظر این است که کوتاه، ساده و آسان برای درک باشد و نباید بر پایه‌ی یک راه حل خاص باشد. این توضیح برای شناسایی اعضای مناسب تیم تحلیل و تعیین نقطه‌ی آغاز جمع آوری داده، استفاده می شود.

هدف و دامنه‌ی تحلیل علل ریشه ای باید با توجه به دانش موجود[2] از سیستم ها، کارکرد، رابط ها[3] و غیره تعیین شود. در بعضی موارد، هدف از تحلیل، شناسایی علل رویداد مورد نظر می باشد. به عبارت دیگر، ممکن است هدف، وسیع تر باشد. برای مثال: شناسایی مسائل بیرونی که به رویدادهای موردنظر، منجر می شوند.

در واقع دو نوع متفاوت از تحلیل علل ریشه ای وجود دارد که اهداف مختلفی دارند و نباید با هم ترکیب شوند .این دو نوع می توانند به صورت زیر، شرح داده شوند:

۱) تحلیل رویداد با استفاده از اطلاعات واقعی معتبر؛

۲) تحلیل رویداد برای فراهم کردن فرضیه های توالی رویدادها و علت.

تحلیل اول، تنها روی واقعیات مشاهده شده، تمرکز می کند. این تحلیل، ممکن است "به خودی خود"[4] تحلیلی بر اساس هدف مطالعه باشد و هیچ فرضیه ای درباره-ی وقوع رویداد برای این تحلیل، قابل قبول نیست. دومین تحلیل، می تواند زمانی اجرا شود که اطلاعات واقعی کافی در دسترس نیست و فرضیه های بالقوه برای هدف تحلیل، قابل قبول هستند.

نتایج مورد نیاز تحلیل علل ریشه ای باید شناسایی شوند. مانند مثال های زیر:

- فراهم کردن توضیحی از هر علت ریشه ای در کنار اطلاعات کافی برای شناسایی اقدامات؛
- توصیه اقداماتی که با هم در نظر گرفته شوند تا از وقوع رویداد های مشابه بعدی با پیامد های نامطلوب، جلوگیری کنند و احتمال موفقیت را افزایش دهند؛
- شناسایی، اجرا و بررسی فعالیت ها برای یافتن علل ریشه ای.

---

[1] Unaccepfigure
[2] Account knowledge
[3] Interfaces
[4] Per se

تحلیل علل ریشه ای، می تواند شامل تحلیل سیستم هایی باشد که در آن، مرزها به طور مستمر در حال تکامل هستند و با محیط در تعامل هستند. این تعامل می تواند به شکل اطلاعات، انرژی و یا انتقال مواد باشد. بنابراین، دامنه باید مرز تجزیه و تحلیل را مشخص کند. (شامل چه چیز هایی می شود یا نمی شود).

محدوده‌ی تحلیل باید تا جایی که ممکن است شامل یک تعریف از " قانون توقف" باشد، نقطه ای که در آن، فعالیت می تواند تعریف شود یا مدارکی اضافی از علت برای تحلیل، لازم نیست. برای مثال، آخرین نقطه ای که اقدامات اصلاحی می توانند شناسایی شوند قبل از عواملی است که نمی توانند تحت تاثیر قرار بگیرند. مانند آب وهوا. با این حال، به نظر می رسد تعیین "قانون توقف" در نقاطی که نیاز به تحلیل بیشتری دارند، مناسب باشد.

تحلیل علل ریشه ای می تواند توسط یک نفر که در مورد تکنیک تحلیل علّی، با تجربه وکارشناس حوزه باشد (یا دسترسی فوری به کارشناسان حوزه دارد) و دسترسی به کل داده های خواسته شده را دارد، موثر انجام شود. با این حال، انجام تحلیل علل ریشه ای به صورت تیمی، بیشتر رایج است. اعضای تیم، برای تحلیل، باید مبتنی بر مهارت های خاص مورد نیاز برای تحلیل رویداد مورد نظر، انتخاب شوند. این تیم باید شامل:

- فرد یا افرادی در میان آن ها که بتواند یک دید کلی کامل از سیستم ها و آگاهی از برنامه یا پروژه و رویداد مورد نظر فراهم کند؛
- یک تسهیل کننده ماهر در تکنیک تحلیل علّی که به نحو مطلوب، آموزش دیده یا در تسهیل روش تجزیه و تحلیل علّی با تجربه است.

اعضای تیم می توانند بسته به نوع فعالیتی که انجام می دهند، تغییر کنند، برای مثال، اعضای تیم مسئول جمع آوری اطلاعات، حتما لازم نیست همان کسانی باشند که تحلیل را انجام می دهند. اعضای تیم می توانند شامل مهندسان، تکنسین ها، اپراتور ها، نمایندگان فروش و مدیران باشند. استفاده از بخش های خارجی باید جهت ارائه‌ی دیدگاهی مستقل در نظر گرفته شود و از نقاط کوری که ممکن است در سازمان وجود داشته باشند، اجتناب کنند. اعضای اضافی تیم باید برای فعالیت های خاص در طول تحقیقات به ایجاد تخصص در تیم یا افزایش تاثیر تیم، در نظر گرفته شوند. نقش این اعضای اضافی تیم، برای حمایت از تحقیقات می باشد به گونه ای که به دلایل فنی یا مرز سازمانی، متوقف نشود. این کار برای افرادی که ممکن است

نقشی در وقوع رویداد مورد نظر داشته باشند مناسب نباشد. اطلاعات آنها باید در طول دو مرحله‌ی اول، جمع آوری شود.

۵,۳ تعیین حقایق (Establishing facts)

این مرحله، شامل تمام اقدامات لازم برای آماده سازی تحلیل می باشد. تشخیص حقایق، معمولا بزرگترین بخش تحلیل علل ریشه ای است. حقایق باید بر مبنای اینکه " چه " اتفاقی "کجا" ، " چه زمانی" و "توسط چه کسی" رخ داده است تعیین شوند. اطلاعات باید قبل از آنکه از دست برود جمع آوری شوند (به عنوان مثال: قبل از آنکه مدارک دچار نقص یا حذف شوند و یا از حافظه ها پاک شوند). به طور کلی، جمع آوری داده ها شامل:

a) زمینه ای که در آن، رویداد مورد نظر رخ می دهد؛
b) شرایط قبل، در طول و بعد از رویداد مورد نظر؛
c) مشارکت پرسنل، از جمله: اقدامات صورت گرفته (یا صورت نگرفته) و تصمیم گیری ها؛
d) داده هایی در مورد محیط اطراف از جمله: داده های زیست محیطی؛
e) چگونگی عملکرد سازمان از جمله: نمودار سازمانی، فرایند ها و مراحل آموزش و مهارت؛
f) داده های تاریخی مرتبط با رویداد ها یا پیش ساز[1]های موردنظر؛
g) انحراف از آن چیزی که مورد انتظار است؛
h) تعاملات با دیگر آیتم ها و پرسنل؛
i) تجهیزات مشارکت کننده، حالت راه اندازی آن ها و انطباق آن با احتیاجات.

لیست نمونه هایی از داده ها که ممکن است مرتبط باشند[2]به شرح زیر است:

۱) بازرسی از شواهد فیزیکی مانند قطعات معیوب و گزارش های نامطلوب. به طور کلی، تجربه تعیین خواهد کرد که چه شواهد فیزیکی مورد نیاز است. اگر تردیدی وجود داشته باشد؛ شواهد باید حفظ شوند. همچنین نگهداری شواهد، مهم می-باشد.
۲) عکس و فیلم هایی که توسط دوربین های نظارت گرفته می شود. عکاسی از چندین منظره‌ی ناحیه‌ی وقوع، در مرحله‌ی تحلیل مفید، خواهد بود.

[1] precursors

inestitute of reliability engineering and asset management www.i-REAM.com

۳) داده های عملیاتی توسط سیستم های نظارت، سیستم های کنترل، ثبت کنندگان هشدار[1] و رویداد ها و غیره ثبت می شوند. گزارش های اپراتور می تواند برای درک شرایط عملیاتی در زمان شکست ضروری باشد و از آن جا که معمولا تا زمانی که تاریخ گذاری شوند، برای ایجاد یک جدول زمانی از رویدادها ایده آل می‌باشند.

۴) گواهی فردی با انجام مصاحبه ها، جمع آوری می شود. مصاحبه ها باید بر جمع آوری داده ها تمرکز کند، برای مثال: ساختن یک جدول زمانی سازگار و غیره هر بحثی زود تر از موعد[2] درباره‌ی علل خرابی، ممکن است تاثیر نامطلوبی بر فرایند مصاحبه بگذارد. سوالات باید قبل از مصاحبه برای اطمینان از اینکه کل اطلاعات لازم بدست آید، آماده باشند. مصاحبه ها باید با افرادی انجام شود که به رویداد های مورد نظر، آشناتر هستند. اگر چه، باید به مصاحبه کردن با دیگر پرسنل که این کار را در گذشته انجام می دادند نیز توجه شود . همه‌ی مصاحبه ها باید بایگانی شوند.

۵) شواهد مستند از رویه های مرتبط، عملیات محیطی و تنظیم محیطی.

این مرحله می تواند شامل تحلیل خرابی باشد که به بررسی اجزای معیوب با استفاده از طیفی وسیع از روش ها مانند میکروسکوپی، طیف سنجی و آزمایش های غیر-مخرب[3] یا مدل های توسعه‌ی خرابی از جمله مدل سازی آتش سوزی یا مدل سازی تصادف، می پردازد.

هنگامی که تمام اطلاعات مرتبط با رویداد مورد نظر، جمع آوری شده است، داده ها باید به منظور صحت و تناسب بررسی شوند. داده های از دست رفته، باید یافت شوند و هرگونه تناقض برای اطمینان رفع شود تا یک تصویر روشن و سازگار از رویداد مورد نظر، تعیین شود.

حاصل این مرحله اطلاعات و درک موضوع است که توسط شواهد فیزیکی و بیانیه های شاهدین پشتیبانی شده است و مربوط به موارد زیر است:

- آنچه رخ داده است، شامل شرایطی که منجر به رویداد مورد نظر می شود،
- توالی زمان رویدادهایی که منجر به رویداد مورد نظر می شوند،
- مکان رویداد مورد نظر،

[1] Alarm loggers
[2] premature
[3] Non-destructive testing

- اقدامات افراد در ارتباط با رویداد مورد نظر،
- هر گونه شرایط لازم برای رویداد مورد نظر،
- عواقب ناشی از رویداد مورد نظر.

۵,۴ تحلیل (Analysis)

۵,۴,۱ شرح تحلیل (Describtion)

پس از تعیین اینکه "چه چیزی" ، "کجا"، " چه موقع"، و توسط "چه کسی" اتفاق افتاده است، این مرحله چگونگی و چرایی وقوع رویداد مورد نظر را مشخص می کند. هدف از این مرحله، درک رویداد مورد نظر و علل آن می باشد که با ساختار دهی داده ها که در یک فرم که اجازه می دهند تا علل ریشه ای به طور سیستماتیک به دست آیند، جمع آوری شده اند.

تحلیل علل ریشه ای، به طور معمول، واقعیات را به منظور شناسایی دلایلی که برای وقوع رویداد مورد نظر لازم هستند بررسی می کند که به عنوان عوامل علّی لازم، ارجاع داده می شود. با این حال، در برخی موارد، برای مثال جایی که حقایق کافی در دسترس نباشد، تحلیل ممکن است یک یا چند فرضیه برای علت پیشنهاد کند و همچنین ممکن است عوامل موثر و شرایط حاکم را که احتمالا با رویداد مورد نظر همراه است شناسایی کند اما نمی تواند به عنوان عوامل علّی ضروری، در نظر گرفته شوند.

تحلیل، شامل موارد زیر است:

- سازماندهی شواهد فیزیکی و اظهارات شاهد در مورد اقدامات، حوادث، شرایط و نتایج ؛
- جستجوی چگونگی و چرایی وقوع رویدادهای مورد نظر با استفاده از اطلاعات جمع آوری شده، به منظور قضاوت نتایج؛ مدل های علّیت، تست های آزمایشگاهی، چک لیست ها[1]و طبقه بندی ها[2]یا تحلیل آماری داده‌ها، ممکن است برای کمک به این روند مورد استفاده قرار گیرند؛
- نگاهی فراتر به عوامل علّی فوری برای یافتن دلیل رخداد آن ها. هدف، یافتن تمام عوامل علّی است که به رخ دادن رویداد کمک کرده اند، نه فقط علل آشکار؛

[1]Check lists
[2]taxonomies

inestitute of reliability engineering and asset management www.i-REAM.com

- این روند تا زمانی ادامه دارد که قاعده‌ی توقف، فراخوانده شود و علل ریشه‌ای، شناخته شود. ممکن است علل ریشه‌ای چندگانه که می توانند مستقل یا وابسته باشند وجود داشته باشد.

به طور کلی، عوامل علّی ممکن است شامل مسائل فنی، جنبه های انسانی و عوامل مرتبط با محیط فیزیکی و یا روانی-اجتماعی باشد که در آن رویداد مورد نظر، رخ داده است. تمام این ها باید در جستجوی علل ریشه ای در نظر گرفته شوند. افراد متخصص در این ناحیه باید در تحلیل، نقش داشته باشند.

عوامل علّی باید به وضوح و روشنی تعریف شوند. یک اقدام انسانی، غفلت یا تصمیم-گیری به عنوان عامل علّی شناسایی می شود، ماهیت عمل یا تصمیم گیری باید مشخص شود، به عنوان مثال "اپراتور برای خاموش کردن کلید اشتباره را فشار داد" و تنها نوشته نشود "خطای انسانی".

تحلیل علل را (بسته به هدف و دامنه‌ی تحلیل) می توان به صورت زیر در نظر گرفت:

- چگونگی وقوع رویداد های مورد نظر برای مثال، فرایند های فیزیکی، شیمیایی، روانی یا منطقی که مشارکت داشته اند.
- رویداد ها و شرایط سابق که برای وقوع رویداد مورد نظر لازم بودند؛
- روابط بین عوامل علّی از جمله چگونگی ترکیب با علت رویداد مورد نظر و این که چگونه یک علت ریشه ای به رویداد مورد نظر، منجر می شود؛
- تاثیرات سازمانی و مدیریتی و عوامل انسانی که در رویداد مورد نظر مشارکت داشته اند یا در حوادث و شرایط منجر به آن می شوند.
- شرایط حاکم که ممکن است به وقوع رویداد کمک کند اما برای عوامل علّی لازم نباشد؛
- مسائل نگران کننده که می تواند به رویدادهای مورد نظر دیگر منجر شود (این مسائل لزوما عوامل علّی نیستند اما ممکن است یک نتیجه تحلیل باشند).

روش تحلیل ساختار یافته، باید برای اجرای تحلیل مورد استفاده قرار گیرد. چندین تکنیک رسمی وجود دارد اعم از آنهایی که براساس چک لیستی[1] از علت ها برای روش هایی که تحلیلگر را از طریق علل و ارائه‌ی نتایج، هدایت می کنند. تکنیک ها از ساده تا پیچیده وجود دارند و به تسهیلگران حرفه ای جهت اجرای تحلیل، نیاز دارند. بعضی تکنیک ها، مبتنی بر مدل هایی از چگونگی وقوع رویداد مورد نظر هستند و از این رو، تاکیدی ویژه بر نتایج دارد. مدل ها، مبتنی بر فرضیه های مختلف با توجه به

[1] Check list

علّیت می باشند. بنابراین، تحلیلگران، تمایل به هدایت کردن بازرس به سمت شناسایی عوامل همکار مختلف دارند.

در برخی موارد، استفاده‌ی بیش از یک روش یا بررسی کردن بیش از یک مدل، برای شناسایی کل علل ریشه‌ای، مناسب است.

مدل های علّی در ضمیمه‌ی "ب" و روش های تجزیه و تحلیل در ضمیمه‌ی "ج" شرح داده شدند. مناسب ترین روش به رویداد مورد نظر و هدف و محدوده‌ی تحلیل، بستگی خواهد داشت (بند ۶ را ببینید) .

تحلیل، ممکن است نشان دهد که داده‌ی بیشتر، مورد نیاز است. درخواست ها باید برای حل تناقضات و یا پر کردن شکاف ها، منتظر بمانند تا در طول تحلیل، رخ دهند. تجزیه و تحلیل باید تا زمانی که قانون توقف لازم باشد، ادامه پیدا کند.

۵,۴,۲ تیم تحلیل (The analysis team)

ارشد تیم، باید برای مرحله‌ی تحلیل، منصوب شود. کسی که مسئول آماده سازی کارهای زیر باشد:

a) اخذ نسخه هایی از نقش موافقت شده و مسئولیت های تیم و هدف و محدوده‌ی تحلیل؛

b) اخذ نسخه هایی از شرح رویداد موردنظر و حقایق اثبات شده؛

c) تصمیم گیری در مورد روش های تحلیلی که باید مورد استفاده قرار بگیرد؛

d) تبدیل شرح رویداد مورد نظر و حقایق اثبات شده به یک قالب مناسب جهت استفاده در روش های تحلیلی که انتخاب شده اند؛

e) توسعه‌ی یک طرح تحلیل؛

f) تشکیل تیم تحلیل؛

g) تسهیل یا تنظیم آموزش اعضای تیم در روش تحلیل انتخاب شده؛

h) انتخاب ابزار نرم افزار یا دیگر قالب ها برای استفاده در طول تحلیل؛

i) تنظیم جستجویی برای ساخت پایگاه داده، رسانه ها، اقدامات قانونی و غیره. جهت شناسایی رویدادهایی از یک ماهیت مشابه یا رویدادی که ممکن است با روش های مشابه یا همان فناوری ها، رخ داده باشد.

ارشد تیم، باید اطلاعات موجود را برای تعیین روش(های) تحلیل که باید اجرا شوند و مهارت هایی که مورد نیاز است بررسی کند. ممکن است در زمینه‌ی تحلیل علل ریشه ای به مشاوره‌ی متخصص با توجه به انتخاب تکنیک تحلیل، نیاز باشد. رهبر، همچنین ممکن است به یک متخصص تسهیل کننده‌ی تحلیل علل ریشه ای، جهت

inestitute of reliability engineering and asset management www.i-REAM.com

کل یا بخشی از تحلیل، بسته به پیچیدگی رویداد مورد نظر، پیچیدگی یا حجم مدارک و داده ها و یا روش های تحلیل انتخاب شده، مورد نیاز باشد.

تحلیل، معمولا توسط یک تیم به اجرا در می آید که هر یک از اعضای تیم، با توجه به تجربه و مهارت آن ها انتخاب می شوند. تیم تحلیل، مطابق با روش های مربوطه و مهارت های فنی و تجربه باید تا جای ممکن، کوچک باشد. زمانی که ورودی ها از بخش ها، ذی نفعان یا نهاد های چندگانه، خواسته شود، تیم تحلیل باید شامل نمایندگانی از هر کدام باشد. این، مسئولیت ارشد تیم، جهت اطمینان از ذی نفعان مربوطه و آگاه است، بنابراین نمایندگان کافی از ذی نفعان در طول تحلیل، در دسترس خواهد بود.

نقش و مسئولیت اعضای تیم تحلیل، باید تعیین شود و نقاط عطف، در ابتدای تحلیل، ایجاد شود. یک برنامه از جلسات که اهداف و نقاط عطف ارائه شده توسط تیم تحلیل را منعکس می کند باید توسعه یابد. در نهایت، این کار، هر گونه توصیه ای را به اجرا شدن در روشی زمان بندی شده، قادر می سازد.

ارشد تیم، باید برنامه‌ی تحلیلی را توسعه دهد که شامل موارد زیر می باشد:

۱) شرح رویداد موردنظر؛

۲) نقش ها و مسئولیت های مورد توافق تیم و هدف و محدوده‌ی تحلیل ها؛

۳) لیستی از اعضای تیم و ذی نفعان برای نمایش؛

۴) زمان، تاریخ و مکان جلسات تحلیل؛

۵) خلاصه ای از داده های موجود؛

۶) روش(های) تحلیل که مورد استفاده قرار می گیرد؛

۷) تدابیری برای آموزش تیم تحلیل در روش تحلیل انتخاب شده (در صورت لزوم)؛

۸) شکل ثبت تحلیل و نتایج تحلیل، از جمله اشاره به هرگونه قالب یا ابزارهای نرم افزار، جهت استفاده؛

تاسیسات کافی، اتاقی با امداد های بصری و ثبت باید توسط ارشد تیم برای اداره‌ی کارآمد جلسات تحلیل، مرتب شوند. یک بسته جلسه[1]متشکل از برنامه‌ی تحلیل و هرگونه خواندن پِیش جلسه ضروری [2]یا مراجع، باید به اعضای تیم تحلیل، قبل از اولین جلسه فرستاده شود و به آنها اجازه می دهد تا خودشان با اطلاعات موجود و روش تحلیل انتخاب شده آشنا شوند.

---

[1]Briefing package
[2]reading
[3]essential

ارشد تیم، باید اطمینان حاصل کند که یک سیستم ارتباطی مناسب در محل، برای اطلاع رسانی و انتقال نتایج حاصل از تحلیل، برای کسانی که مسئول گام بعدی فرآیند تحلیل علل ریشه ای هستند، فراهم است (به ۵,۵ نگاه کنید).

۵,۵ تائید (Validation)

تعدادی از فعالیت های بررسی شده در سراسر فرایند تحلیل علل ریشه ای، اجرا شده اند تا تعیین کنند آیا داده های جمع آوری شده مرتبط اند و تحلیل، نمایشگر داده های جمع آوری شده است؟ این مرحله می آزماید که آیا علل شناسایی شده در تحلیل می تواند اثبات شود و ممکن است با تحلیل در درون هم قرار بگیرند یا به عنوان یک فعالیت جداگانه انجام شود؟

یک بررسی مستقل می تواند به منظور ارزیابی اینکه آیا تحلیل کامل و صحیح است یا برای تعیین اینکه آیا هدف تحلیل ها انجام شده است یا خیر به اجرا در آید. روش بررسی به روش تحلیل استفاده و رویداد موردنظر وابسته خواهد بود. در برخی موارد آزمایشات می تواند برای تکرار وقوع رویداد مورد نظر، انجام شود که روش های آماری، باید برای ارزیابی میزان تایید فرضیه‌ی علت، استفاده شود. اگر علت ها با کمک شبیه سازی، تایید شوند؛ باید به منظور اطمینان از اینکه شبیه سازی نمایشگر علت است دقت شود.

در طول تحلیل، ممکن است چندین فرضیه دیگر درمورد اینکه چگونه این رویداد می‌تواند رخ بدهد وجود داشته باشد. اگر هدف ایجاد یک گزارش واقعی از علل باشد؛ بنابراین در تکمیل تحلیل علل، باید تائید شوند و تنها یک نتیجه گیری باقی بماند.

این مرحله، ممکن است به جمع آوری اطلاعات دیگری در جستجوی شواهد مستقیم به منظور پشتیبانی یا رد علل شناخته شده، نیاز داشته باشد. شواهد، ممکن است همیشه به طور کامل برای تائید تمام علل بالقوه، در دسترس نباشند.

۵,۶ ارائه‌ی نتایج (Presentation of results)

نتایج تحلیل، به هدف تحلیل، بستگی خواهد داشت. برای مثال، اگر هدف تحلیل، شناسایی اقداماتی باشد که به هم پیوسته اند تا از رخداد رویدادهای مشابه بعدی یا دیگر پیشگیری کنند؛ نتایج تحلیل باید آن دسته از اقدامات اصلاحی را شناسایی کند

inestitute of reliability engineering and asset management www.i-REAM.com

که شبکه‌ی علّی را می شکنند و از رخداد مجدد رویداد مورد نظر پیشگیری می کنند. اگر هدف تحلیل، تکرار موفقیت است بنابراین باید اقداماتی که احتمال یا پیامد های رویداد مورد نظر را افزایش می دهند پیشنهاد داده شوند. اثر بخشی نتایج تحلیل به کیفیت تحلیل، بستگی دارد.

یک قالب مورد توافق برای ارائه‌ی نتایج تحلیل علل ریشه ای باید ایجاد شود که تحلیل و اخذ نتایج خواسته شده از تحلیل را خلاصه کند. به عنوان مثال: اقدامات توصیه شده. اگر نتایج مورد انتظار از تحلیل علل ریشه ای به منظور ایجاد اقدامات، توصیه شده باشد، به طور خلاصه، باید حداقل شامل موارد زیر باشد:

a) یک توصیف کلی از هر علت که به اقدام نیاز دارد با اطلاعات و جزئیات کافی، به منظور اطمینان از نیاز به اینکه رسیدگی به هر علت درک شده است و اقدامات اتخاذ شده می توانند شناسایی شوند؛

b) مجموعه ای از جایگزین ها برای اقدامات رفتاری و خلاصه ای از مزایا و هزینه های هر کدام در صورت امکان در محدوده‌ی دامنه

c) اقدامات توصیه شده برای رسیدگی به هر یک از علل شناخته شده؛

اقدامات اصلاحی توصیه شده باید از منظر اثر بخشی و واقع گرایی، بررسی شوند. به طور کلی، هدف اقدامات اصلاحی، برای دستیابی به موارد زیر می باشد:

- تغییر احتمال رویداد مورد نظر و/یا پیامد های آن (به عنوان مثال: کاهش احتمال یا پیامد رویداد های نامطلوب یا افزایش احتمال یا پیامد رویدادهای مطلوب)؛
- معرفی نکردن ریسک های غیر قابل قبول جدید، به عنوان مثال: ایمنی سیستم های دیگر، نباید توسط اقدامات اصلاحی ارائه شده، تخریب شود.

زمانی که اقدامات شناسایی می شوند، قبل از پیاده سازی باید به منظور تعیین اینکه، آنها نه تنها به علل ریشه ای نپرداخته اند بلکه عواقب جدید غیر منتظره نیز معرفی نشدند مورد بررسی قرار بگیرند و بنابراین اقدامات در نظر گرفته خواهند شد. همچنین وقوع همان رویداد و یا رویداد مشابه باید به منظور ارزیابی اثربخشی اقدامات صورت گرفته نظارت شود.

۶ انتخاب تکنیک هایی برای تحلیل علل

(Selection of techniques for analyzing causes)

۶,۱ عمومی (General)

تکنیک های رسمی به منظور کمک به تحلیلگران در شناسایی عوامل علّی و در نهایت علل ریشه ای، طراحی شده اند. تکنیک های تحلیل، ممکن است با استفاده از یک یا چند اقدام زیر، به اجرا در بیایند:

- سازماندهی داده ها و ارایه‌ی ساختاری برای تحلیل و شناسایی در شرایطی که شواهد بیشتری مورد نیاز است؛
- ارائه‌ی نمایش بصری از شواهد مربوط به رویداد مورد نظر، برای مثال: توالی زمان رویدادها یا زنجیره های علّی
- انجام تحلیل آماری داده، خصوصا از رویدادهای چندگانه مشابه، برای شناسایی عوامل علّی رایج؛
- ارائه‌ی دستور العملی برای شناسایی عوامل علّی ممکن، برای بررسی بیشتر و مقایسه با داده ها (این روش ها شامل چک لیست ها و روش های مبتنی بر نمونه های سببی هستند)؛
- هدایت تحلیلگران از طریق زنجیره‌ی علّی به مجموعه ای از علل ریشه ای.

۶,۲ انتخاب روش های تحلیل (Selection of analysis techniques)

عمق تحلیل علل ریشه ای، اندازه های متفاوتی دارد و ممکن است از یک یا چندین روش مختلف تحلیل، از ساده به پیچیده استفاده شود. عمق تحلیل ها و تکنیک های استفاده شده، باید ویژگی های زیر را دارا باشند:

- برای رویداد تحت تحلیل، محدوده و هدف تحلیل، مناسب و قابل توجیه باشد؛
- ارائه‌ی نتایجی به منظور افزایش درک علل ریشه ای رویداد؛
- توانایی استفاده از شیوه ای که قابل ردیابی، تکرارپذیر و قابل تائید باشد.

تکنیک های تحلیلی که مورد استفاده قرار می گیرند بر اساس عوامل قابل اجرا، انتخاب می شوند مانند:

- ویژگی های روش تحلیل،

inestitute of reliability engineering and asset management www.i-REAM.com

- ویژگی های رویداد، به عنوان مثال: شدت یا شدت بالقوه یا پیچیدگی،
- ویژگی های سازمان، به عنوان مثال: روش های ثابت شده در صنعت یا ارزیابی سود و هزینه،
- هدف تحلیل، به عنوان مثال خروجی خواسته شده یا انتظارات ذینفعان،
- مدل یا مدل های علّیت مناسب تر برای اهداف تحلیل.

ویژگی های تکنیک های تحلیلی که بیشتر مورد استفاده هستند در ضمیمه‌ی "الف" توصیف می شوند. معیار های استفاده شده برای شرح روش ها که در ضمیمه‌ی "الف" توصیف شده اند، به شرح زیر می باشند:

- تخصص مورد نیاز (expertise required)
- پشتیبانی از ابزار (tool support)
- مقیاس پذیری[1] (scalability)
- نمایش گرافیکی (graphical representation)
- پیمانه؛ (modularity)
- تکثیر پذیری[2](reproducibility)
- عقلانی[3](plausibility)
- دقت فکری (intellectual rigour)
- توالی زمان (time sequence)
- ویژگی (specefity)

شرح مفصلی از تحلیل علل ریشه ای در ضمیمه‌ی "ج" آمده است، که شامل روش ها و فرآیندهای استفاده شده برای هر روش، همراه با نقاط قوت و ضعف آنها می باشد.

۶,۳ ابزار مفید برای کمک به تحلیل علل ریشه ای (Useful tools to assist RCA)

تکنیک های داده کاوی مدرن، جستجویی را برای ویژگی ها و شرایط خاص، ارائه می‌کند. خوشه بندی تحلیل، داده هایی را انتخاب می کند که ارتباط نزدیکی با هم دارند و در نتیجه، داده های انحرافی را شناسایی می کند. تحلیل مدرن خوشه[4] می-تواند داده هایی را که ارتباط نزدیکی در یک، دو یا ابعاد بیشتر دارند شناسایی کند و

[1] scalability
[2] Reproduceability
[3] plausibility
[4] Modern cluster analysis

در نتیجه، محصولات یا فرآیندهایی را کـه ارتبـاط نزدیکـی بـا هـم دارنـد را تحلیـل مـی‌کنـد کـه نقـاط انحـراف داده شناسـایی کننـد. یـک نمـای کلـی از ایـن روش هـا، در پیوسـت "د" ارائه می شود.

بسـیاری از رویـدادها و روش هـای تحلیـل شـامل عوامـل انسـانی و چنـدین رده بنـدی بـرای کمـک بـه یافـت علـل ریشـه ای کـه رفتـار انسـانی در آن هـا مشـارکت دارنـد توسـعه یافتـه است. دو نمونه در پیوست "ه" داده می شود.

پیوست الف

معیارهای قابل استفاده در تکنیک تحلیل عل ریشه ای (RCA)

الف.۱ عمومی (RCA)

پیوست "الف"، لیستی از تکنیک های تحلیل علل ریشه ای مورد استفاده، با شرحی مختصر است که یک لیست مرجع رااز معیارهایی که می توانند برای مقایسه‌ی تکنیک های مختلف استفاده شوند فراهم می آورد. این فهرست، جامع نیست اما مثال ها و نمونه هایی از انواع مختلف تکنیک های استفاده شده را در بر می گیرد.

الف.۲ تکنیک های تحلیل علل ریشه ای (RCA Techniques)

جدول الف.۱، فهرست و شرحی کوتاه از تکنیک های مختلف مورد استفاده در تحلیل علل ریشه ای است.

جدول الف.۱ – شرحی کوتاه از تکنیک های تحلیل علل ریشه ای

تکنیک	شرح
نمودار رویداد ها و عوامل علّی(ECF)	تحلیل ECF، توالی زمان یک سری از وظایف و/یا اقدامات و شرایط پیرامون را، که منجر به رویداد مورد مطالعه می شود را شناسایی می کند. این ها در یک دیاگرام علّی و معلولی، نشان داده می شوند.
توالی رویداد های چندخطی (MES) و طرح رویداد های زمان بندی شده متوالی(STEP)	MES و STEP، روش هایی از جمع آوری داده ها و پیگیری جهت تحلیل رویداد های پیچیده هستند. نتایج به عنوان یک ماتریس زمانی از رویداد ها نشان داده می شوند.
روش چرا-چرا	روش چرا-چرا، تحلیل را از طریق زنجیره علّی با چندین بار پرسش "چرا" انجام می دهد.

روش درخت علت (CTM)	CTM، یک تکنیک سیستماتیک برای تحلیل و به تصویر کشیدن گرافیکی رویداد ها و شرایطی است که مربوط به رویداد مورد نظر است. CTM، به طور مفهومی شبیه به روش چرا-چرا است اما درخت پیچیده تری دارد و به طور واضح به علت های تکنیکی، سازمانی، انسانی و محیطی می پردازد.
تحلیل چرا-زیرا (WBA)	WBA، شبکه ای از عوامل علّی مسئول برای رویداد است که با استفاده از مقایسه‌ی دو عاملی، آزمون خلاف[1] ایجاد می کند. شبکه‌ی عوامل در یک گراف چرا-زیرا نمایش داده می شود.
روش درخت خطا و درخت موفقیت	درخت خطا یا موفقیت، یک نمایش گرافیکی از اطلاعات، برای کمک به کاربر در اجرای یک تحلیل استقرایی برای تعیین مسیرهای مهم جهت موفقیت یا خرابی است که به صورت گرافیکی، در یک دیاگرام درخت منطقی، نمایش داده می شوند.
دیاگرام ایشیکاوا یا استخوان ماهی	دیاگرام استخوان ماهی یا ایشیکاوا، یک تکنیک است که به شناسایی، تحلیل و ارائه‌ی علت های ممکن رویداد کمک می کند. این تکنیک رابطه‌ی بین رویداد و تمام عواملی را که ممکن است بر آن، اثر داشته باشند نشان می دهد.
ایمنی از طریق یادگیری سازمانی (SOL)	SOL، یک ابزار تحلیل با محوریت چک لیست است که برای رویداد های مورد نظر در ایستگاه های انرژی هسته ای به کار می رود. نتایج، به شکل دیاگرام با محوریت زمان هستند که از روش MES/STEP به دست می آیند.
مدیریت نظارت و درخت ریسک (MORT)	نمودار MORT یک درخت عیب از پیش تعیین شده از رویداد هاست که معمولا عیب ها یا اشتباهات به صورت کلی در آن بیان می شوند. درخت MORT، شامل دو شاخه‌ی اصلی و تعداد

[1] Counterfactual test

inestitute of reliability engineering and asset management www.i-REAM.com

	زیادی زیر شاخه است که سطح بالایی از جزییات را در اختیار می گذارند. یک شاخه‌ی اصلی، حدودا ۱۳۰ عامل ویژه‌ی کنترل را شناسایی می کند در حالی که شاخه‌ی اصلی دیگر، بیش از ۱۰۰ عامل سیستم مدیریت را شناسایی می کند. همچنین این نمودار، ۳۰ عامل سیستم اطلاعاتی دیگر را شناسایی می کند که برای هر دو شاخه‌ی درخت، مرسوم است.
نقشه های استاندارد[1]	نقشه های استاندارد، در اصل، یک تکنیک برای نمایش نتایج تحلیل علّی است و نیازمند یک مدل سازمانی برای تفکیک عوامل به لایه ها و استخراج عوامل از لایه ها است؛ یک نوع از آزمون خلاف[2] (WBA مشاهده شود) را برای تعیین روابط علّی بین عوامل، اجرا می کند.
بتا سه رکنی[3]	بتا سه رکنی، ارائه‌ی یک دیاگرام درختی از شبکه‌ی علّی با تمرکز بر عوامل انسانی است و در جستجوی خرابی هایی در سازمان است که می توانند منجر به خطای انسانی شوند.
تحلیل علّی برای مدل و فرآیندسیستم های نظری پیشامد (CAST) (STAMP)	CAST، تکنیکی است که تمام فرآیند اجتماعی-فنی[4] درگیر در رویداد را مورد آزمون قرار می دهد. CAST، فرآیند داینامیک منجر به رویداد را مستند می سازد که شامل ساختار کنترل اجتماعی-فنی، علاوه بر محدودیت هایی که در هر سطح از ساختار کنترلی تشدید شده اند، می باشد.

[1] Accimaps
[2] Counterfactual test
[3] Tripod beta
[4] Socio-technical

الف.۳ معیارها (Criteria)

جدول الف.۲، فهرستی را فراهم می آورد و معیار های استفاده شده برای توصیف تکنیک های تحلیل علل ریشه ای ارائه شده در جدول الف.۱ را شرح می دهد. هر معیار، سه سطح دارد که با (+)، (0) یا (-) نشان داده می شود و سطوح مختلف محدوده را نشان می دهند.

ویژگی ها برای هر تکنیک تحلیل علل ریشه ای که از معیار های جدول الف.۲ استفاده می کنند در جدول الف.۳ نشان داده شده اند.

جدول الف.۲- خلاصه‌ی معیارهای تکنیک تحلیل علل ریشه ای

معیار	توضیح	سطح
مهارت های مورد نیاز	آیا روش برای کاربر حرفه ای، هدف گذاری شده است (آیا نیاز به استفاده از تکنیک هایی از قبیل فراهم کردن برهانی که نیازمند به مهارت ویژه ای است، دارد)؟	- مبتنی بر فهم، نیاز به آموزش کم (+) - آموزش محدودی مورد نیاز است به طور مثال یک روزه (0) - نیاز به آموزش بسیاری دارد برای مثال یک هفته (-)
پشتیبانی ابزار	آیا پشتیبانی ابزار، ضروری است؟	- می تواند بدون اختصاص پشتیبانی برای ابزار، به خوبی اجرا شود (+) - پشتیبانی ابزار، نیاز نیست اما معمولا برای اجرای موثر، لازم است (0) - پشتیبانی ابزار، ضروری است و تنها می تواند با اختصاص پشتیبانی ابزارف انجام شود (-)
مقیاس پذیری (Scalability)	آیا روش، مقیاس پذیر است؟ آیا روش می تواند به صورت مقرون به صرفه برای رویداد های پیچیده علاوه بر رویداد های ساده استفاده	- با پیچیدگی، تناسب دارد[1] (+) - مقیاس پذیری روش، محدود است، بالاسری[2] قابل ملاحظه ای برای هر اجرا دارد (0)

[1]Scales well with complexity
[2]Overhead

inestitute of reliability engineering and asset management www.i-REAM.com

	شود؟ آیا زیر مجموعه ای، از روش می تواند برای رویداد کوچک یا رویداد کم اهمیت، استفاده شود و توانایی کامل را برای رویداد های بزرگ یا دارای اهمیت اجرا کند؟ بنابراین، پرسش مقیاس پذیری، در پی آن است که آیا پیچیدگی تحلیل که روش از آن بهره می برد با پیچیدگی رویداد مورد نظر ارتباط دارد؟	- مقیاس پذیر نیست و روش، به طور کلی با تمام توانایی باید اجرا شود (-)
نمایش گرافیکی	ماهیت نمایش گرافیکی روش چیست؟ اصل اساسی این است که یک تصویرف بهتر از هزاران کلمه است. اغلب، نشان دادن نتایج روش تحلیل به صورت تصویری یا گراف یا شکل های دیگر نمایش، نسبت به متن نوشتاری، بیشتر قابل درک است. ویژگی های مورد نیاز برای یک نمایش گرافیکی عبارتند از: - نمایش واضح معانی[1] علّی (شامل تفکیک و تشخیص عوامل علّی و رده بندی عوامل) - نسبتا، ارزیابی توسط یک فرد، آسان باشد - به طور کامل، همچنین یک نمایش گرافیکی می تواند تاریخچه‌ی تحلیل را نمایش دهد.	- نمایش گرافیکی، با معانی، تعریف شده است و به آسانی، قابل درک و فهم (+) - نمایش گرافیکی اما بدون معانی (0) - هیچ گونه نمایش گرافیکی، تعریف نشده است (-)

[1] Semantics

قابلیت تکثیر (Reproducability)	آیا نتایج به دست آمده از روش، قابل تکثیر هستند؟ آیا تحلیل گران مختلف، نتیجه مشابهی را برای یک رویداد، به دست می-آورند؟	- نتایج می تواند تکثیر شود، تفاوت ها تنها در نمایش نتایج یا لغات است (+) - مقدار چشمگیری از نتایج، می-توانند تکثیر شوند اما بعضی تفاوت ها، مشاهده خواهد شد (0) - نتایج، بستگی به مهارت های تحلیل گر دارند (-)
بررسی منطقی (Plausibility Check)	آیا بررسی های منطقی بر نتایج به دست آمده که از ابزار مستقل هستند وجود دارد؟ چه راه هایی برای بررسی درستی نتیجه، وجود دارد؟ یک مثال می تواند چک-لیست ها باشند.	- بررسی های منطقی تقریبا برای تمام جوانب وجود دارد (+) - بررسی های منطقی به طور مثال: چک لیست ها، وجود دارند اما لزوما تمام جوانب را پوشش نمی-دهند (0) - تنها بررسی های محدودی برای منطق پذیری نتایج، وجود دارد (-)
دقت فکری (Intellectual Rigour)	آیا روش مورد نظر، دقت فکری دارد؟ دقت، دو جنبه مرتبط دارد: - آیا روش مورد نظر، معنای دقیق، معناشناسی رسمی[1] برای هر مفهوم کلیدی از عامل علّی و علت ریشه ای را دارد؟ - آیا نتایج به دست از آمده از روش مورد نظر، تابع[2] تایید رسمی هستند؟ تا چه مقداری اجرای روش مورد نظر انعطاف پذیر[3] است؟	- به صورت رسمی تعریف می شود و می تواند به صورت رسمی تائید شود (+) - تعریف نیمه رسمی (0) - تعریف غیر رسمی (-)

[1] Formal semantics
[2] Amenable
[3] Amenable

توالی زمان	آیا روش مورد نظر نمایشی از توالی زمان رویداد ها را داراست؟	- بله (+) - تنها به صورت غیر مستقیم (0) - خیر (–)
ویژگی (Specificity)	میزانی که روش مورد نظر، تحلیل را به عوامل علّی ضروری رویداد مورد نظر، محدود می کند تا اینکه محدوده ای از مشکلات کلی سیستم که در زمان رویداد وجود داشتند و ممکن است مشارکت داشته باشند را بیابد.	- روش مورد نظر، تنها عوامل علّی لازم از رویداد را تحلیل می کند (+) - روش مورد نظر، می‌تواند برای تحلیل عوامل همکار در رویداد مورد نظر، علاوه بر عوامل علّی لازم استفاده شود (0) - روش مورد نظر در جست و جوی مشکلات کلی است و اینکه این ها عوامل علّی لازم هستند یا خیر، تفاوتی ایجاد نمی کند (–)

	تخصص لازم	پشتیبانی ابزار	مقیاس پذیری	ارائه ی گرافیکی	قابلیت تکثیر	بررسی منطقی	دقت فکری	توالی زمان	ویژگی
ECF	0	0	0	+	0	0	0	+	+
MES and STEP	-	0	0	+	+	0	0	+	+
روش چرا – چرا	+	+	–	•	–	–	–	–	+
CTM	•	•	+	+	•	•	•	–	+
WBA	•	+	•	+	+	+	+	•	+
روش درخت خطا و درخت موفقیت	•	•	•	+	•	•	•	–	•
دیاگرام ایشیکاوا یا استخوان ماهی	+	+	–	•	–	•	–	–	•
SOL	•	–	+	•	+	+	•	+	•
MORT	+	–	–	•	+	•	•	–	–
AcciMaps	•	•	•	+	–	•	–	–	•
Tripod Beta	–	+	•	+	•	•	•	•	•
CAST	+	+	+	•	•	•	•	+	+

یادآوری: معیار های مربوط به هر ویژگی در جدول الف.۲ آمده است

جدول الف.۳ ویژگی های تکنیک های عمومی تحلیل علل ریشه‌ای

پیوست ب

مدل های تحلیل علل ریشه‌ای (RCA)

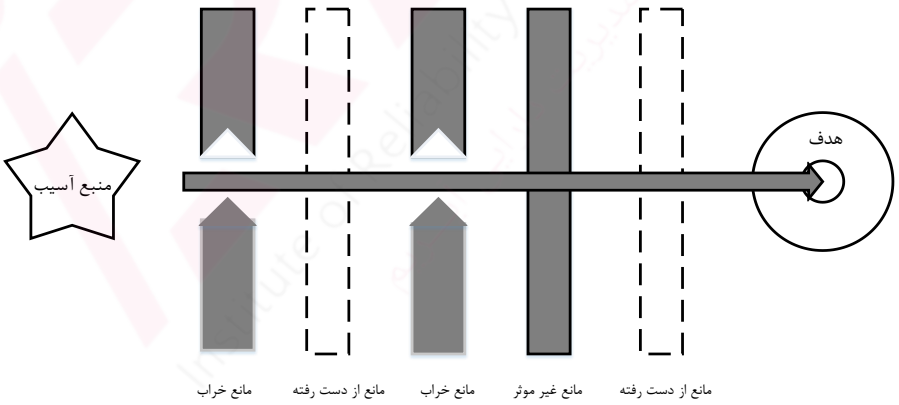
ب.۱ عمومی (General)

این پیوست، رایج ترین مدل های تحلیل علل ریشه ای مورد استفاده را شرح می دهد که روش های مختلفی از تفکر در مورد رویداد را فراهم می آورند. این مدل های مختلف، مبتنی بر فرضیه های قطعی با توجه به رویداد هستند به طور مثال، تحلیل مانع فرض می کند که رویداد مورد نظر به عنوان نتیجه ای از موانع غیر موثر، خراب شده یا از دست رفته، رخ داده اند. بنابراین، مدل های مختلف، تمایل دارند تا محقق را به سمت شناسایی عوامل علّی مختلف، هدایت کنند. مدل ها برای تفکر مستقیم،در ارتباط با تکنیک های پیوست ج یا برای شناسایی مجموعه ای از عوامل علّی استفاده می شوند.

ب.۲ تحلیل مانع (Barrier analysis)

ب.۲-۱ مرور کلی (Overview)

تحلیل مانع بر این فرضیه استوار است که رویداد مورد نظر به عنوان نتیجه ای از فعل و انفعال منبع آسیب زننده بر روی یک هدف، رخ می دهد و این می تواند به وسیله‌ی استفاده از موانع، پیشگیری شود. یک رویداد نامطلوب، زمانی رخ می دهد که موانع از دست بروند، خراب شوند یا ناموثر واقع شوند. (شکل ب.۱ را ببینید)



شکل ب.۱- موانع شکسته، غیر موثر و از دست رفته که باعث رخداد رویداد می شوند

هادن، رویداد ها را جایی در نظر می گیرد که منبع آسیب زننده، انرژی فیزیکی است و موانع با این موضوع که انرژی چگونه می تواند تغییر یابد یا باعث پیشگیری از صدمه به نقطه‌ی هدف بشوند ارتباط دارند. مدل، از راه های مختلفی، گسترش یافته است، برای مثال، موانع، اغلب به دو دسته‌ی موانع فیزیکی و موانع اجرایی[1]تقسیم می‌شوند (جدول ب.۱ را جهت مطالعه ی چند مثال ببینید). موانع، همچنین ممکن است به صورت پیشگیری، محافظت و شناسایی در نظر گرفته شوند (برای مثال در متن جایی که رویداد مورد نظر، آتش است، از مواد غیر قابل اشتعال، فراهم کردن آتش نشانان و نصب آژیر های مختص دود می توان استفاده کرد).

نتیجه‌ی تحلیل، به طور کلی، شامل یک برگه‌ی تحلیل مانع است (جدول ب.۲ را ببینید)، که موانعی را شناسایی می کند که در طول رویداد، در دسترس هستند اما موثر یا در دسترس، نیستند.

جدول ب.۱- نمونه هایی از موانع

موانع فیزیکی یا انرژی	موانع اجرایی
ویژگی های مهندسی شده‌ی ایمنی	عملیات دستگاه و روش های نگهداشت
وسایل ایمنی و امداد	قوانین، خط مشی ها و روش ها
مجوز های طراحی سنتی[2]	آموزش
ابزار اضافی[3]	محافظت کاری
شیر ها و درهای قفل شده	مجوز کار[4]
وسایل محافظت از عیب زمینی[5]	افراد حرفه ای
نگهبان ها و سپر[6]	روش های ارتباطات (ارتباط به سه روش)

[1]Administrative
[2]Conservative design allowances
[3]Redundant
[4]Work permits
[5]Ground fault protection devices
[6]Shielding and guards

inestitute of reliability engineering and asset management www.i-REAM.com

هشدارها	روش های نظارتی[1]
سیستم های اتوماتیک آلودگی آتش[2]	

جدول ب.۲- نمونه ای از برگه‌ی تحلیل مانع

نتیجه‌ی نامطلوب (چه اتفاقی رخ داده است؟) یکی را در لیست، وارد کنید که نیاز نیست در ترتیب توالی باشد	**منبع آسیب زننده**	**موانعی که باید از رویداد های نامطلوب جلوگیری به عمل آورند** تمام موانع فیزیکی و اجرایی را برای هر نتیجه‌ی نامطلوب در لیست، وارد کنید	**ساز و کار خرابی مانع (چگونگی خرابی مانع)**	**ارزیابی موانع (چرا موانع خراب شدند)** مشخص کنید که مانع، از دست رفته است، ضعیف است یا ناموثر است و چرا این گونه شده است.
کارکنان نگهداشت، مهره های فلنج خط لوله را که تحت فشار بود، شل کردند.	مایع تحت فشار	روشی برای اینکه پمپ را خاموش کرده و قبل از شروع کار، فشار، آزاد شود.	فشار روی سیستم، اشتباه، آزاد شد.	طبقه بندی نامشخص[3]

[1] Supervisory practices
[2] Automatic fire containment systems
[3] Unclear labelling

ب.۲-۲ نقاط قوت و محدودیت ها (Strength and limitations)

نقاط قوت تحلیل مانع، شامل موارد زیر می شود:

- شناسایی آن دسته از اقدامات اصلاحی که به منظور حصول اطمینان از اینکه موانع مناسب هستند (تعداد و اثر بخشی) مورد نیاز است.

محدودیت های تحلیل مانع عبارتند از:

- ممکن است تمام موانع از دست رفته یا خراب شده را شناسایی نکند یا اثر تناوب را بر اینکه چه موانعی دچار مشکل شده اند مشخص نکند.
- عوامل علّی فوری را می یابد تا اینکه علل ریشه ای را کشف کند برای مثال: تحلیل مانع در جست و جوی این است که چه مانعی خراب شده است و چگونه این اتفاق افتاده است اما چرایی این مسئله را در هیچ سطحی، بررسی نمی کند.

ب.۳ مدل دلیل (مدل پنیر سوییسی(Swiss cheese model)) (Reason's model)

ب.۳-۱ مرور کلی (Overview)

مدل دلیل، مبتنی بر این فرض منطقی است که عناصر اساسی مورد نیاز سیستم بهره‌ور، شامل موارد زیر است:

- تصمیمات مناسب مدیریت شرکت و کارخانه
- اقدامات خطی مدیریت[1] آموزش عملیات نگهداشت و غیره
- قابلیت اطمینان و تناسب برای استفاده از ابزار
- نیروی کار با انگیزه
- یکپارچگی عناصر مکانیکی و انسانی
- تدابیر امنیتی در برابر ریسک های قابل پیش بینی

به گونه ای اجتناب ناپذیر، نقاط ضعفی در این عناصر وجود دارند که می توانند به عنوان خرابی های پنهان در نظر گرفته شوند. اگر این نقاط ضعف، در کنار هم قرار بگیرند تا رویدادی شکل گیرد که ممکن است در شرایط دیگری حائز اهمیت نباشد، این مسئله، باعث خرابی می شود.

[1] Line management activities

inestitute of reliability engineering and asset management www.i-REAM.com

نقاط ضعف در عناصر سیستم بهره‌ور، به عنوان حفره هایی از تکه های پنیر سوییسی به تصویر کشیده می شوند. یک رویداد، زمانی حاصل می شود که تمام نقاط ضعف در یک مسیر قرار بگیرند. مدل دلیل، دقیقا یک مدل مانع نیست همان طور که لایه ها، سیستم های عملیاتی معمول با نقاط ضعف هستند تا اینکه موانع، خراب شوند.

طبقه بندی خطاهای انسانی مبتنی بر مدل دلیل، برای تعدادی صنایع مختلف، توسعه داده شده است.

ب.۳-۲ نقاط قوت و محدودیت ها (Strength and limitations)

نقاط قوت مدل دلیل به شرح زیر هستند:

- تحلیل گر را حمایت می کند تا عوامل علّی خطای اپراتور را کشف کند و از این رو آن را کاهش می دهد.

محدودیت های مدل دلیل به شرح زیر هستند:

- تحلیل سطحی از عوامل علّی محیطی یا فنی، که جوانب فنی را تنها به عنوان موانع از دست رفته[1] در نظر می گیرد.
- فرض می کند که مشکل اصلی، خطای انسانی است (خطا هایی در سطوح دیگر و خرابی های سازمانی در اصل به این صورت که چگونه آن ها بر خطای انسانی اثر می گذارند مورد بررسی قرار می گیرند).
- طبقه بندی ای را برای کمک به شناسایی انگیزه ها و اهداف روانی خطای انسانی یا شناسایی خرابی های پنهان، فراهم نمی کند و از این رو به مهارت هایی در روان شناسی فردی و سازمانی نیاز است تا به صورت مناسب، استفاده شود.

ب.۴ مدل های سیستم (Systems models)

تئوری سیستم در دهه های ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ برای کنترل افزایش پیچیدگی در سیستم ها بعد از جنگ جهانی دوم و برای در نظر گرفتن جوانب فنی و اجتماعی سیستم ها به طور موازی، به عنوان یک مجموعه مطرح شد.

در مدل سیستم ها، فرض شده است که تعامل انسان با فناوری در ساختار های پیچیده‌ی اجتماعی، تحت تاثیر اهداف، خط مشی، فرهنگ سازمان، اقتصاد داخلی و

[1] Missing barriers

خارجی، عناصر قانونی، سیاسی و محیطی است. این سیستم با سرعت زیاد تغییرات فناوری یک محیط که به صورت افزایشی و رقابتی است و عواملی از قبیل روش های قاعده مند تغییرات و فشار اجتماع، مورد تنش واقع شده است. در این استاندارد، رویداد ها به دلیل عوامل مختلفی اتفاق می افتند و معمولا "در انتظار کشف شدن هستند" و تنها یک عامل یا اقدام، رویداد ها را ایجاد نکرده است.

خرابی ها به دلیل تعامل پیچیده بین اجزا سیستم که ممکن است منجر به تخریب عملکرد سیستم شوند رخ می دهند. دو یا چند رویداد مجزا در عناصر سیستم، می-توانند از راه های مختلفی تعامل داشته باشند که طراحان نتوانسته اند آن ها را پیش بینی کنند و اپراتور ها نمی توانند بدون مدل سازی کامل یا تست آن، آن ها را درک یا کنترل کنند. عوامل همکار رویداد، ممکن است شامل اثراتی از تصمیماتی باشند که در شرایطی که آن ها در آن ساخته می شوند، معمول و درست باشند اما نتیجه ای ناخواسته را ایجاد کنند.

روش های مبتنی بر مدل سیستم ها، در جست و جوی یک زنجیره علّی یا خطای فردی یا خرابی های فنی نیست، بلکه سیستم را به طور کلی با تعاملات و نقاط ضعف آن در نظر می گیرد. یک خطای انسان یا خرابی سخت افزاری، ممکن است شناسایی شود اما تمرکز روی تعاملات و مسائل سیستمی است.

ب.۵ مدل و فرآیند های پیشامد تئوریک سیستم‌ها(STAMP)

ب.۵-۱ مرور کلی

روش STAMP، یک مدل با رویکرد علّی مبتنی بر تئوری سیستم ها است که مدل سنتی را گسترش داده است (زنجیره هایی از رویدادهایی که مستقیما با هم در ارتباط اند) تا عوامل همکاراجتماعی و فنی در رویداد ها و ارتباطات آن ها را شناسایی کند. این روش همچنین تعاملات کمک کننده بین اجزا و فرآیند های سیستم های سالم، ساز و کار های علّی سیستمی و غیر مستقیم، تصمیم گیری های پیچیده‌ی مدیریتی و اپراتور، فناوری های پیشرفته از قبیل سیستم های دیجیتال و نرم افزار و نقص های طراحی سیستم رادر رویداد ها جستجو می کنند..

روش STAMP فرض می کند که وقایع، از تعاملات بین انسان ها، دستگاه ها و محیط به وجود می آید. این روش، سیستم را مانند مشکلات داینامیک کنترل در نظر می گیرد که در آن هدف از کنترل ها، مدیریت تعاملات بین اجزای سیستم و محیط

inestitute of reliability engineering and asset management www.i-REAM.com

آن است. هدف راهبردی کنترل، تقویت محدودیت ها روی رفتار اجزا سیستم است برای مثال، هواپیما در یک سیستم کنترل ترافیک هوایی باید همیشه یک حداقل فاصله را حفظ کند. رویداد ها از کنترل نامناسب یا تقویت محدودیت ها در برابر توسعه، طراحی و عملیات سیستم حاصل می شوند. در حادثه‌ی شاتل فضایی "چلنجر"[1]، برای مثال O-ringها، انتشار سوخت گاز[2]را از طریق زمینه‌ی مشترک شاتل فضایی، کنترل نکردند. در روش STAMP، علت رویداد مورد نظر، یک ساختار معیوب کنترل است.

روش STAMP، همچنین شامل این مفهوم است که وقایع اغلب از یک حرکت آهسته در تمام سیستم به وضعیتی با ریسک بالا ناشی می شوند به گونه ای که فشارهای مالی و فشارهای دیگر که منجر به تغییر رفتار در طول زمان می شوند، می-توانند در فرآیند تحلیل علّی، در نظر گرفته شوند.

ب.۵-۲ نقاط قوت و محدودیت ها (Strength and limitations)

نقاط قوت روش STAMP عبارتست از:

- نقش کل سیستم فنی و انسانی را در علّیت در نظر می گیرد.
- عوامل سیستمی و غیر مستقیم را در تفسیر علّی در نظر می گیرد.
- مدلی را برای توضیح پیشامد ها در سیستم های پیچیده فراهم می کند.
- علت هایی را که به فرآیند بر می گردند و یک سیستم با آن ها توسعه یافته است، را شناسایی می کند.

محدودیت های این روش عبارتند از:

- نیاز به رویداد هایی برای تحلیل به روشی که اغلب، برای مهندسین، ناآشنا است دارد، بنابراین، ممکن است زمان بیشتری برای یادگیری چگونگی تحلیل رویداد، با استفاده از فرآیند های تحلیل علّی مبتنی بر روش STAMP، نیاز باشد.

[1]Challenger
[2]Propellant gas

پیوست ج

شرحی دقیق بر تکنیک های تحلیل علل ریشه ای (RCA)

ج.۱ عمومی (Overview)

پیوست "ج" طیف وسیعی از تکنیک های استفاده شده در طول یک تحلیل علل ریشه ای را شرح می دهد. این فهرست، جامع و فراگیر نیست اما نمونه های از انواع مختلف تکنیک های استفاده شده را پوشش می دهد. بسیاری از این تکنیک ها، توسط نرم افزار، پشتیبانی شده اند. بعضی از روش ها و نرم افزارها، دارای عناصری هستند که اختصاصی هستند و ممکن است بر هزینه‌ی اجرایی تکنیک، تاثیر بگذارند.

بعضی از تکنیک ها، برای شناسایی عوامل علّی، هدف گذاری شده اند که اگر رویداد، رخ بدهد، می توانند ضروری در نظر گرفته شوند. دیگر روش ها در جست و جوی نقاط ضعف کلی سیستم به صورت کلی هستند که شاید در وقوع رویداد، همکاری داشته باشند اما باید توجه داشت که رویداد، می تواند در غیاب این ها هم رخ داده باشد. در برخی اصطلاحات، یک "عامل علّی" نمی تواند توصیف شود مگر اینکه برای وقوع رویداد، ضروری باشد. در این پیوست چنین عوامل علّی ای به عنوان "عوامل علّی ضروری" بیان می شوند. نقاط ضعف شناسایی شده‌ای که ممکن است نقشی را در وقوع رویداد ایفا کنند در حالی که برای رخداد آن ضروری نیستند، به عنوان "عوامل همکار" بیان می شوند.

به طور کلی، شناسایی عوامل علّی ضروری قابل تکرار و مبتنی بر شواهد خواهد بود. ممکن است سطح بالاتری از ذهنیت[1] در شناسایی عوامل همکار وجود داشته باشد و تکنیک های مختلف تحلیل با یک تمرکز متفاوت ممکن است عوامل مختلف را شناسایی کند.

[1] Subjectivity

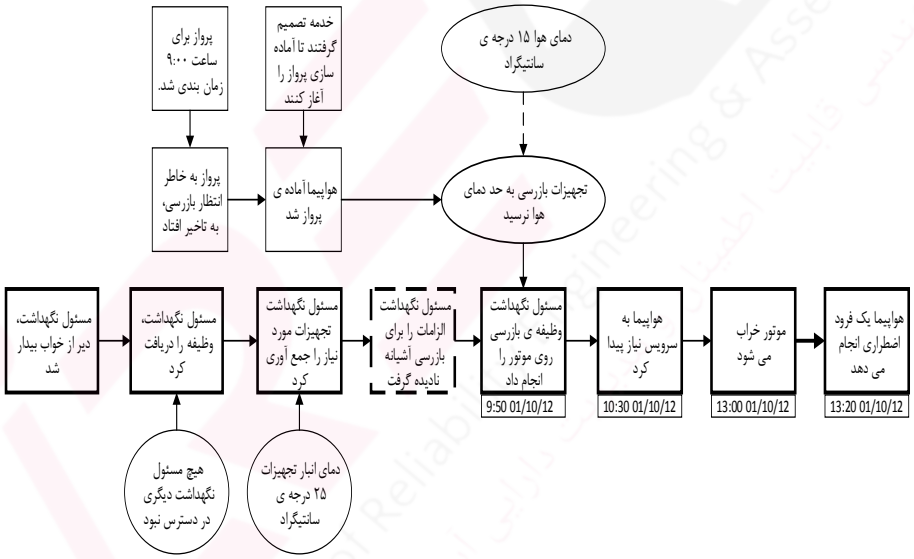
inestitute of reliability engineering and asset management www.i-REAM.com

ج.۲ نمودار عوامل علّی و رویداد ها (ECF)

ج.۲-۱ مرور کلی

نمودار ECF، رویداد ها را در ترتیب زمانی از چپ به راست در مستطیلی با رویداد های مشخص شده توسط فاعل های واحد[1] و افعال فعلی[2] ثبت می کند. هر رویداد، دقیقا از رویداد قبلی ناشی می شود. شرایط لازم برای رویدادها، در دایره های بالا و زیر توالی رویداد ها نشان داده می شوند (شرایط، وضعیت هستند تا اینکه اتفاق باشند). رویداد ها توسط خطوط و شرایط با خطوط تیره به هم متصل می شوند. رویداد ها و شرایط مبتنی بر شواهد، یک طرح جامد[3] دارند. در حالی که آن هایی که فرضی هستند دارای یک طرح خط[4] هستند.

شکل ج.۱، یک نمونه از نمودار ECF را نشان می دهد که در آن، یک فعالیت نگهداشت به دلیل اینکه مسئول نگهداشت، آن را دیر آغاز به کار کرد به نادرستی انجام شده است که باعث فرود اضطراری هواپیما شد.



شکل ج.۱- نمونه ای از نمودار ECF

[1] Single subjects
[2] Active verbs
[3] Solid outline
[4] Dashed outline

ج.۲-۲ فرآیند (Process)

متن زیر، فرآیند ایجاد یک نمودار ECF را شرح می دهد:

الف) شناسایی رویداد و ثبت آن در یک باکس در طرف راست.

ب) ثبت زنجیره‌ی اصلی رویداد هایی که منجر به رویداد مورد نظر شد زمانی که هر رویداد در زنجیره برای رخداد رویداد سمت راست، لازم و ضروری است. بنابراین، پیامد در طرف راست هر رویداد ثبت می شود (عامل علّی). همچنین، پیامد رویداد قبلی ممکن است عامل علّی رویداد بعدی باشد. رویداد ها در مستطیل هایی نمایش داده می شوند که توسط پیکان هایی به سمت راست رویداد مورد نظر، متصل میشوند.

ج) تعیین اینکه چه شرایطی منجر به این رویداد ها شده است. هر کدام از آن ها را در دایره ای بالای رویداد مرتبط، بیان کنید.

د) هر گونه زنجیره‌ی ثانویه ای از رویداد ها که ممکن است به رویداد مورد نظر مرتبط باشند و شرایط آن ها را اضافه کنید.

ه) اعتبار عوامل علّی را با به دست آوردن شواهدی که تعیین می کند که آیا شرایط و رویداد ها حقیقی هستند، بررسی کنید.

و) ECF را تا زمانی که رویداد در آغاز توالی، شناسایی می شود توسعه دهید و تمام شرایطی را که می تواند توسط شواهد تایید شود اضافه کنید.

به طور کلی، توالی زمانی دقیق رویداد ها در آغاز بررسی، مشخص نیست اما با پیشرفت بررسی ها، شفاف تر می شود. بنابراین، روشی باید استفاده شود که به بررسی کنندگان اجازه دهد تا به راحتی، توالی رویداد ها و شرایط را با افزایش اطلاعات به دست آمده تغییر دهند.

ج.۲-۳ نقاط قوت و محدودیت ها (Strength and limitations)

نقاط قوت ECF عبارتست از:

- به تائید زنجیره های علّی و توالی های رویداد، کمک می کند.
- ساختاری را برای جمع آوری، سازماندهی و یکپارچه سازی شواهد فراهم می کند.

inestitute of reliability engineering and asset management www.i-REAM.com

- شکاف های اطلاعاتی را شناسایی می کند.
- با فراهم کردن دید کمکی موثر که اطلاعات کلیدی را با توجه به رویداد مورد نظر و علت های آن خلاصه می کند به ارتباطات، کمک می کند.

محدودیت های ECF عبارتست از:

- شناسایی بعضی عوامل علّی، اما ممکن است لزوما علل ریشه ای را تعیین نکند.
- می تواند برای مشکلات ساده، خیلی پیچیده باشد.

ج.۳ توالی رویداد های چند خطی (MES) و طرح ریزی رویداد های متوالی زمان بندی شده (STEP)

ج.۳-۱ مرور کلی (Overview)

MES وSTEP، روش هایی هستند که به منظور تحلیل رویداد در سیستم های پیچیده، ایجاد شده اند جایی که STEP به عنوان جانشین MES، عمل می کند.

مانند نمودار ECF، MES/STEP، رویداد را ناشی از توالی به هم پیوسته ای از رویداد ها با رویداد های مشخص شده توسط یک فاعل واحد[1]یا فعلی فعال[2]می داند. در روش MES و STEP، فاعل[3]یک بازیگر[4]نامیده می شود (که ممکن است یک انسان، یک دستگاه یا حتی یک ویژگی باشد).

رویداد ها به عنوان بلوک های ساخت رویداد (BBs) نشان داده می شوند که شامل داده های ثبت شده (جزئی یا کلی) می شود. همانطور که در شکل "ج.۲" شرح داده شد. این ها در طول تحلیل در یک ماتریس زمان-بازیگر[5]قرار می گیرند که بخش عمودی، عامل های مختلف را نشان می دهد و بخش افقی، زمان نشان می دهد.

ماتریس زمان-عامل همچنین شامل موارد زیر می شود:

- شرایط لازم برای قادر ساختن رخداد یک رویداد همراه با رویداد های پیشرو[6]
- حاشیه نویسی ها[7]برای وظایف بعدی در تحقیق از قبیل یادداشتی که کمبود اطلاعات یا توضیحی ناقص از یک رویداد را نشان دهد.

---

[1]Single subject
[2] Active verb
[3]Subject
[4] Actor
[5]Time-actor matrix
[6]Precursor events
[7]Annotations

بخشی از ارائه‌ی رویداد نگهداشت مخزن را که در شکل ج.۳ ارائه شده است را نشان می دهد.

شکل ج.۲- داده ها در یک بلوک ساختمان رویداد

ج.۳-۲ فرآیند

روش های MES/STEP، دارای مراحل زیر هستند:

الف) جمع آوری اطلاعات برای سری های آغازین از بلوک های سخت و شناسایی و ردیابی اطلاعات از دست رفته.

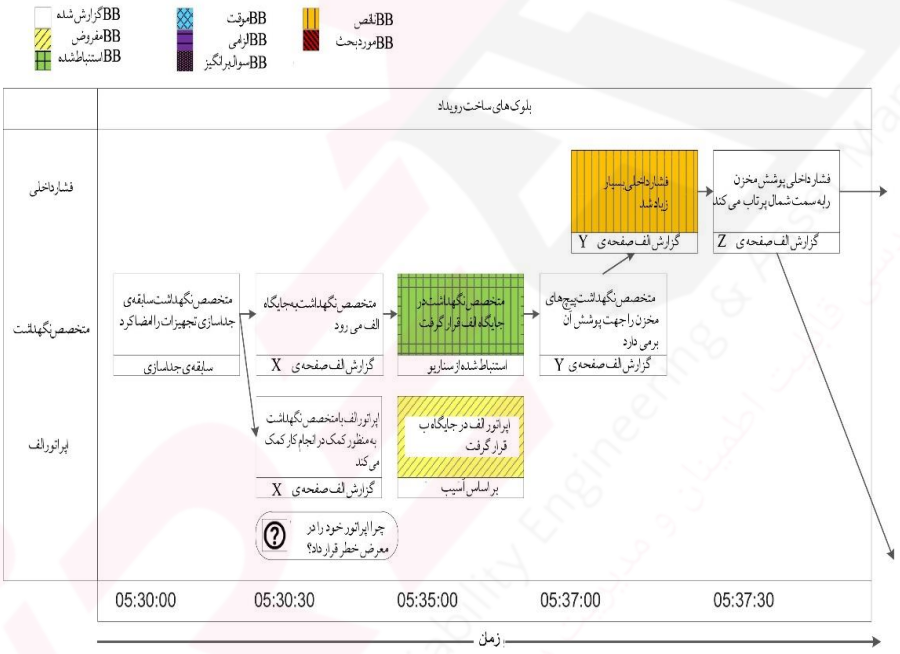
ب) قرار دادن بلوک های ساخت در ماتریس زمان-عامل اولیه

ج) شناسایی و ایجاد فرضیه هایی به منظور پر کردن شکاف ها توسط رویداد ها (در قالب بلوک های ساخت بعدی)

د) به پایان رساندن فرآیند، زمانی که تحلیل گر به این نتیجه برسد که اطلاعات کافی در ماتریکس زمان-بازیگر در دسترس است.

ج.۳-۳ نقاط قوت و محدودیت ها (Strength and limitation)

MES/STEP، همان نقاط قوت و محدودیت های نمودار ECF را دارد. قالب داده ها نسبتا دقیق تر است و ساز و کارهای شفافی برای تعیین و ردیابی داده های از دست رفته و تلاش هایی برای تعیین آن داده ها وجود دارد. بعضی، چنین ساز و کارهای "ساماندهی"[1] برای تحقیقات پیچیده‌ی مدیریتی با محققان متعدد، لازم می‌دانند. همچنین ماتریس زمان-عامل، توجهی خاص به ثبت وضعیت یک تحقیق مستمر با کسب اطلاعات و اجرای وظایف تفسیری دارد.این به این معنی است که یک ارائه‌ی بصری جامع از وضعیت تحقیق، در تمام مراحل یک تحقیق، در دسترس است.



شکل ج.۳- نمونه ای از ماتریس عامل-زمان

[1] Bookkeeping

ج.۴ روش چرا-چرا (The why method)

ج.۴-۱ مرور کلی (Overview)

روش "چـرا-چـرا"، از یـک فرآینـد پرسـش مسـتقیم بـرای رسـیدن بـه علـل ریشـه ای استفاده می کند.

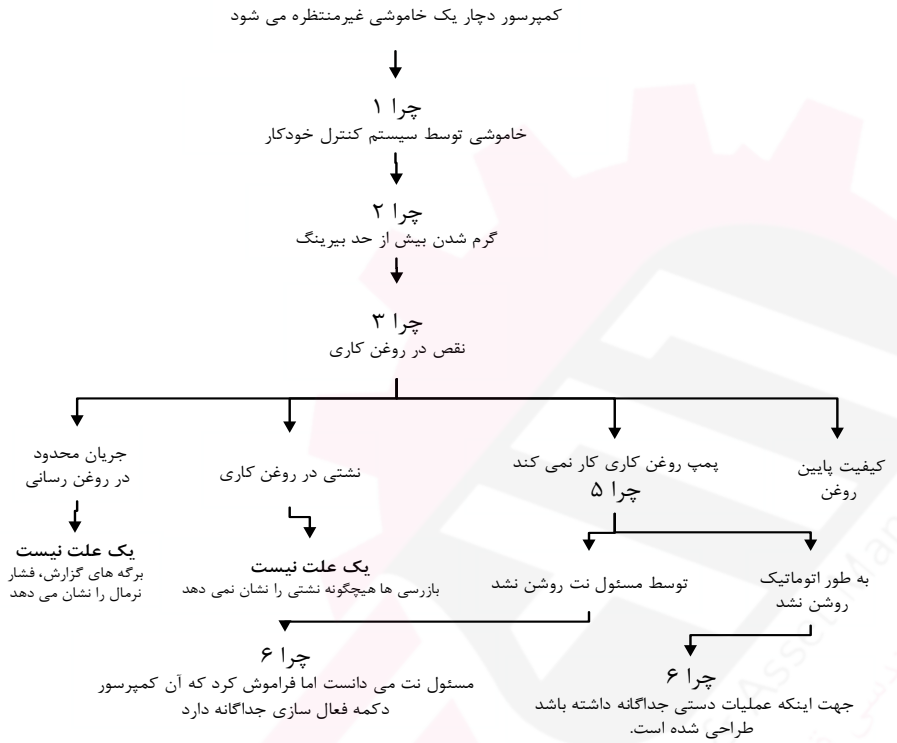
پرسش بـا سـوال از مـورد موقعیـت، آغـاز مـی شـود و پرسـیدن "چـرا" رخ مـی دهـد. پاسـخ این سوال، تبـدیل بـه پرسـش چـرای دوم مـی شـود و پاسـخ دوم، منجـر بـه پرسـش چـرای سوم می شـود. پرسـش، زمـانی متوقـف مـی شـود کـه قـانون توقـف، حاصـل شـود. بـه طـور کلـی، ایـن روش تقریبـا بـه ۵ سـطح از پرسـش نیـاز دارد. از ایـن رو، روش را گـاهی اوقـات به عنوان روش "۵چرا" می شناسند.

زمانی که پرسش "چـرا"، عوامـل علّـی متعـددی را فـراهم مـی آورد، هـر کـدام بررسـی مـی-شوند و روش، یک درخت چرا تولید می کند.

روش "چـرا" تنهـا بـرای موقعیـت هـای سـاده بـه کـار مـی رود امـا در روش هـای درختـی پیچیـده تـر از قبیـل روش درخـت علـل (CTM) نیـز وجـود دارد. ایـن روش، مـی توانـد بـرای اسـتخراج اطلاعـات از شـاهدین در مـورد اینکـه چگونـه و چـرا یـک رویـداد، رخ داد، مفید باشد زیرا پرسش سادهی "چرا" در مورد علت، مفروضاتی ایجاد نمی کند.

شکل "ج."۴ یک نمونـه از یـک کمپرسـور را کـه یـک خاموشـی برنامـه ریـزی نشـده تجربـه کرده است را نشان می دهـد. در ایـن نمونـه، چهـارمین چـرا، تعـدادی از عوامـل علّـی بـالقوه را بـرای کمبـود روغـن کـاری نشـان مـی دهـد و شـواهد بـرای تعریـف اینکـه در واقـع، کـدامیک از آن هـا اتفـاق افتـاده اسـت، جسـت و جـو مـی شـوند. اگـر چـه خطـای انسـانی وجود داشته که یک فرد، شـیوه هـای آمـاده بـه کـار را بـه درسـتی دنبـال نکـرده اسـت، امـا توصـیه مـی شـود کـه طراحـی، بهبـود یابـد تـا کمپرسـور و موتـور پمـپ هـا بـا هـم ارتبـاط داشته باشند. تحلیل بعدی از اینکه چرا خطا رخ داد، در این نمونه، مفید نیست.

inestitute of reliability engineering and asset management
www.i-REAM.com



شکل ج.۴- نمونه ای از درخت چرا-چرا

ج.۴-۲ فرآیند

روش "چرا-چرا" دارای مراحل زیر است:

- شناسایی و ثبت رویداد مورد نظر به عنوان آغاز یک دیاگرام چرا
- پرسش چرایی رویداد مورد نظر و جست وجو، تنها برای عوامل علّی فوری.
- پرسش "چرا" به صورت متوالی با توجه به پاسخ چرای قبلی. در هر مورد، پاسخ به پرسش چرا باید یک عامل علّی فوری از پاسخ قبلی باشد.

پرسش چرا، بارها با توجه به مقداری که نیاز است پرسیده می شود تا به یک علت ریشه ای برسد که معمولا پنج پرسش "چرا" کافی است اما این، تنها یک

دستورالعمل است. هر بار که چرا پرسیده می شود، ممکن است پاسخ های متعددی وجود داشته باشد و بعضی تحلیل ها برای حذف این پاسخ های احتمالی که انجام پذیر نیستند نیاز خواهدبود. شاید پرسیدن اینکه "چرا فرآیند شکست خورد؟" موثرتر باشد تا اینکه فقط پرسیده شود "چرا؟".

در نظر گرفتن مجموعه ای از گروه های علت از قبیل روش ایشیکاوا و در بر داشتن یک تیم، می تواند مفید واقع شود. این کار می تواند به حصول اطمینان از اینکه تمام نواحی مرتبط، توسط محققان، در نظر گرفته می شود، کمک کند.

ج.۴-۳ نقاط قوت و محدودیت ها

نقاط قوت روش "چرا-چرا" به شرح زیر است:

- برای اجرا شدن توسط کسانی که در مشکل مشارکت دارند، ساده است.
- برای درک توسط دیگران، راحت تر است.
- پاسخ های سریع برای به دست آوردن نتایج برای مشکلات ساده
- نیاز به دانش گسترده کسی که سوال می کند وجود ندارد.
- نیاز به آموزش زیاد به کسی که سوال می کند وجود ندارد.

محدودیت های این روش عبارتست از:

- تنها برای موقعیت های ساده، مناسب است.
- به شدت به دانش و مهارت افرادی که پرسش ها را پاسخ می دهند وابسته است، مهارت هم در حالت های خرابی فنی و هم در خطای انسانی برای رسیدن به علل ریشه ای مورد نیاز است.
- اگر اساس دانش خارج[1] از علل ریشه ای گنجانده شود، ممکن است علل ریشه‌ای از دست بروند.
- عدم قطعیت احتمالی در مورد اینکه چه زمانی، علل ریشه ای مناسب شناسایی شده اند، وجود دارد.
- می تواند به سطحی که دلایل، برای اقدامات افراد، در نظر گرفته می شوند توسعه یابد، که شواهد اغلب در دسترس نیستند و نتایج هم بنابراین همیشه قابل تکرار نخواهند بود.

[1] Outside the knowledge base

inestitute of reliability engineering and asset management www.i-REAM.com

ج.۵ روش درخت علل (CTM)

ج.۵-۱ مرور کلی (Overview)

روش CTM، یک تکنیک سیستماتیک برای تحلیل و نمایش گرافیکی رویداد ها و شرایطی است که در وقوع رویداد، همکاری دارند.

این روش، تمام اجزا سیستم مرتبط با رویداد را مورد آزمون قرار می دهد. تحقیق با ایجاد واقعیات محسوس[1]ومواظبت، در این مرحله ، نه به منظور تفسیر آن ها یا بیان یک ایده در مورد آن ها، آغاز می شود.

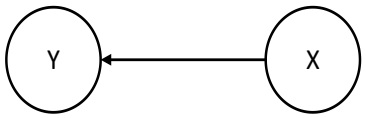
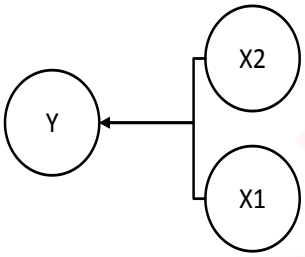
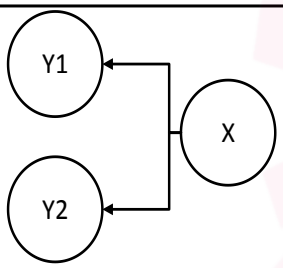
روش CTM در مفهوم، مشابه روش "چرا-چرا" است اما درختی پیچیده تر، ایجاد می کند و عوامل علّی از قبیل فنی،سازمانی، انسانی و محیطی را در نظر می گیرد. در این روش، هر عامل علّی شناسایی شده به منظور بررسی اینکه آیا عامل علّی فوری و لازم برای مورد قبلی است یا خیر، مورد آزمون قرار می گیرد. در حالی که روش چرا، دارای سخت گیری کمتری است. بنابراین، روش CTM برای موقعیت های پیچیده مناسب است.

روش CTM، همچنین مشابه درخت عیب است اما از آنجایی که یک درخت خطا از پیش برای یک رویداد به منظور بررسی تمام عوامل علّی ممکن، به کار می رود و ارتباطات منطقی دقیق بین عیوب مشخص می شوند، درخت علت، تنها شامل آن دسته از عوامل علّی می شود که برای رویدادی خاص به کار می روند که اخیرا اتفاق افتاده است و ارتباطات منطقی را به صورت جزئی و دقیق، ایجاد نمی کند.

یک درخت علت، ممکن است به منظور بررسی موفقیت ها، علاوه بر خرابی ها نیز به کار رود.

درخت علت، یک شبکه از علت ها را شکل می دهد که به صورت مستقیم یا غیر مستقیم باعث وقوع رویداد با استفاده از ۳ ارتباط منطقی می شوند که در شکل "ج.۵" نشان داده شده است.

[1] Tangible

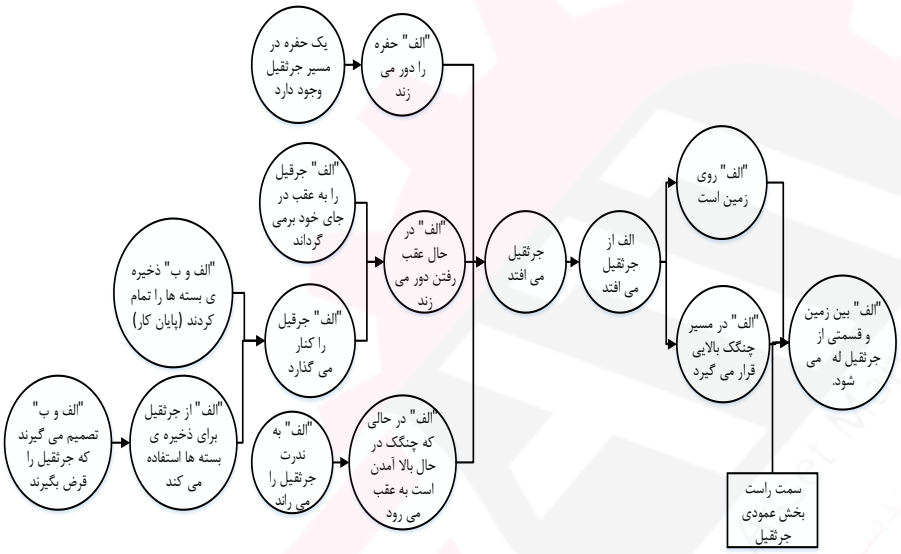
	توالی: یک علت Y دارای یک منشا مستقیم X است برای مثال، X لازم و کافی بود تا Y رخ دهد.
	پیوستگی: یک علت Y دارای منشا های مستقیم بسیاری است X1 و X2. این به آن معنی است که هر کدام از X1 و X2 برای رخ دادن Y لازم بودند.
	انفصال یا جدایی: دو دلیل یا دلایل بیشتر Y1,Y2,... دارای یک منشا مستقیم و یکسان می باشند. این به آن معنی است که X برای هر دو علت Y1,Y2,.... مزلا ، بود.

شکل ج.۵- علامت ها و ارتباطات مورد استفاده در CTM

شکل "ج.۶" یک نمونه درخت را نشان می دهد که در آن آقای الف (قربانی[1]) و آقای ب به طور استثنا در حال کار در شب هستند، تا موجودی اضافه را ذخیره کنند. بر اساس کتاب راهنما، آقای الف و ب به منظور پرکردن[2] فشارنده[3] با پودر[4] که بعدا بسته بندی و ذخیره می شوند مورد نیاز هستند. معمولا این فعالیت تحت مسئولیت ارشد تیم است که حضورش در شب توسط مدیریت، ضروری در نظر گرفته نشد. با ابتکاری که آقای الف به منظور صرفه جویی در زمان به کار برد، یک جرثقیل چنگک دار[5](کلید آتش[6] طبق معمول روی داشبورد باقی مانده بود) را به منظور ذخیره‌ی بسته ها به کار گرفت. در پایان کار، آقای الف، در حال برگرداندن جرثقیل بود. آقای الف یک دور تند در جهت عکس زد، چنگک جرثقیل، بالا آمد، و در حالی که سعی

[1]Victim
[2]Load
[3] Crusher
[4] Flour
[5]Forklift truck
[6] Ignition key

می کرد تا به درون حفره روی زمین نیفتد، ناگهان جرثقیل افتاد. آقای الف بین زمین و قسمت راست ایمن[1]جرثقیل، جان داد.



شکل ج.۶- نمونه ای از درخت علت

ج.۵-۲ فرآیند (Process)

روش CTM، دارای مراحل زیر است:

الف) شناسایی رویداد مورد نظر به منظور تحلیل و ثبت آن به عنوان نقطه‌ی شروع برای درخت

ب)جمع آوری و ثبت تمام داده های مرتبط شامل افراد، اقدامات آن ها و فعالیت های آن ها، مواد و ابزار و عوامل مرتبط با محیط روانی و فیزیکی

ج) ساخت فهرستی از عوامل علّی برای رویداد مورد نظر. این ها باید توسط شواهد، پشتیبانی شوند و تا جای ممکن، با دقت بیان شوند. ایده ها و قضاوت های ذهنی در فهرست، وارد نمی شوند. عوامل علّی، آن هایی که غیر معمول هستند یا جریان

[1]Right safety upright

معمول[1]رویداد ها را تغییر می دهند و آن هایی که معمولی هستند اما نقش مهمی را در رخداد رویداد ایفا می کنند، شامل می شود.

د) با پرسیدن سوالات زیر، به طور سیستماتیک برای هر سابقه[2]ای که جمع آوری شده است به طور عقب گرد برای یافتن علل ریشه‌ای، عمل کنید:

۱- چه سابقه‌ی از X باعث شده است تا سابقه‌ی Y به وجود آید؟

۲- آیا X، به خودی خود، برای حاصل شدن Y، لازم است؟

۳- اگرنه، سابقه های دیگر (X1,X2,....) چه هستند که به طور مساوی به منظور حاصل شدن مستقیم برای Y لازم است؟

ه) نشان دادن این عوامل علّی ضروری در یک باکس مرتبط به رویداد مورد نظر. درخت ممکن است افقی یا عمودی کشیده شود اما معمولا افقی کشیده می شود و از سمت راست شروع می شود بنابراین چپ بهراست نشان دهنده‌ی توالی زمانی رویداد ها است.

و) ادامه دادن به پرسیدن همان پرسش ها با توجه به هر عامل علّی ضروری که تا زمانی که تیم موافقت می کند که هیچ مقدار دیگری وجود ندارد یافت شود.

ز) بررسی اعتبار درخت با به دست آوردن شواهد دیگر که تعیین می کند آیا واقعی است یا خیر.

ج.۵-۳ نقاط قوت و محدودیت ها (Strength and limitations)

نقاط قوت CTM عبارتند از:

- فراهم کردن روشی برای ساختار دهی تحقیق در مورد رویداد های پیچیده
- تسهیل سازی آسان به منظور خوانا بودن قالب
- توانایی در تقویت مشارکت گروه
- شناسایی ناحیه هایی برای جمع آوری داده ها زمانی که تحقیق انجام می‌شود.
- می تواند برای تحلیل رویداد های موفقیت یا خرابی به کار رود.
- می تواند برای رویداد های فنی و غیر فنی به کار رود.

[1]Normal course
[2]Antecedent

inestitute of reliability engineering and asset management www.i-REAM.com

محدودیت های CTM عبارتند از:

- بسیاری از عوامل سازمانی یا انسانی، ممکن است در وقوع رویداد، مشارکت داشته باشند و اغلب مشخص کردن اینکه در یک مثال خاص، کدامیک عامل علّی ضروری است دشوار به نظر می رسد.
- دستورالعملی در مورد اینکه چگونه عوامل علّی را بتوان جستجو کرد وجود ندارد. بنابراین مهارت ها در خطای انسانی و سیستم های سازمانی، زمانی نیاز است که درخت خرابی های سازمانی یا انسانی را نیز شامل شود که به دست آوردن شواهد، دشوار است.
- زمانی که یک رویداد به عنوان نتیجه ای در تغییر کیفیت در چندین ناحیه رخ می دهد انجام این روش مشکل است زیرا هیچ عامل علّی واحدی، عامل علّی ضروری نیست.

ج.۶ تحلیل چرا-زیرا (Why-Because Analysis)

ج.۶-۱ مرور کلی (Overview)

WBA، یک تکنیک علّی -تحلیلی برای تشخیص این است که کدامیک از مجموعه رویداد ها و موقعیت های داده شده، عوامل علّی ضروری هستند. دو رویداد یا موقعیت داده شده، "الف و ب" گویای این هستند که شرایطی که آزمون خلاف (CT) نامیده می شود برای تشخیص اینکه آیا "الف" ضروری است یا ب، استفاده می شود. فرض کنید دو رویداد "الف و ب" مشاهده شده اند. CT، می پرسد اگر الف رخ نداده بود، ب نیز رخ نداده بود. (از آنجایی که "الف" رخ داد، فرضیه ای که می گوید "الف" رخ نداده بود خلاف واقع است از این رو کلمه‌ی "خلاف" وجود دارد) در پرسش این سوال، تمام شرایط دیگر فرض می شود که به همان صورت باقی بمانند. اگر پاسخ، بله باشد: ب نمی تواند رخ داده باشد بنابراین، "الف" یک عامل علّی ضروری ب است. اگر پاسخ خیر باشد: ب به هر حال می تواند رخ داده باشد حتی اگر الف رخ نداده باشد (CT اشتباه کرد) سپس نتیجه گرفته می شود، "الف" یک عامل علّی ضروری برای "ب" نیست.

شبکه‌ی عوامل علّی به عنوان یک گراف "چرا-زیرا" نمایش داده می شود. مجموعه‌ای از گره ها، باکس ها و اشکال دیگر، شامل یک شرح مختصر از واقعیت که با لبه ها یا

[1]Counterfactual

پیکان ها متصل شده اند کـه گرهـی در دم پیکـان، عامـل علّـی ضـروری گـره در سـر پیکـان است همان طور که در CT تعیین شد.

یـک WBA، غیـر مـدور[1]اسـت (بـدون حلقـه و چرخـه اسـت)، بنـابراین معمـولا بـا پیکـان هـایی کشـیده مـی شـود کـه عمومـا بـه سـمت بـالا اشـاره دارد همـانطور کـه در شـکل ج.۷ نشان داده شده است یا به صورت افقی بـا پیکـان هـایی بـه طـور کلـی از چـپ بـه راسـت یـا از راست به چپ، اشاره دارد.

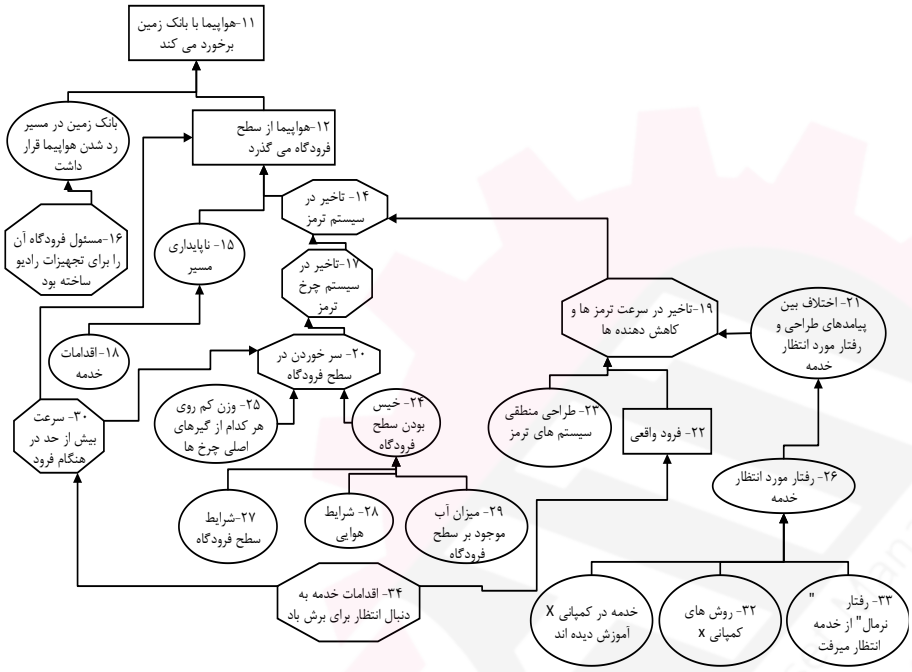
به منظور تعیین اینکـه آیـا عوامـل علّـی کـافی در مجموعـه ای از رویـدادها و موقعیـت هـای ارائـه شـده، حضـور دارنـد، آزمـون تکامـل علّـی (CCT)[2] اسـتفاده مـی شـود. CCT بـه منظور اجـرا بـه روی رویـداد یـا موقعیـت داده شـده و مجموعـه ای از عوامـل علّـی ضـروری، همـانطور کـه بـا CTتعیـین شـد اسـت. اگـر CCT پذیرفتـه نشـود، بنـابراین مجموعـه رویداد ها و موقعیـت هـا، بایـد بـا عـواملی دیگـر گسـتر ش داده شـوند تـا زمـانی کـه CCT، پذیرفته شـود. فـرض کنیـد A1,A2,…An تعیـین شـده انـد کـه عوامـل علّـی ضـروری B توسـط CT باشـند. سـپس تصـور مـی شـودCCT نیزپذیرفتـه شـود اگـر B، رخ نـداده بـود؛ یکی از A1,A2,…..An هـم رخ نـداده انـد (بـه صـورت رسـمی، غیـر B یـک عامـل علّـی ضروری از غیر (A1,A2,….An) است همانطور که در CT تعیین شد).

هنگـامی کـه یـک WBG سـاخته شـده باشـد و CCT بـرای تمـام رویـداد هـا و موقعیـت هـای آن پذیرفتـه مـی شـود، سـپس WBG کامـل اسـت و بـه نظـر مـی رسـد کـه توضـیح علّی کافی از رویداد مورد نظر را ارائه بدهد.

شـکل "ج.۷ یـک نمونـه از یـک WBG را بـرای پیشـامدی در بازرگـانی حمـل و نقـل هوایی فرودگاه نشان می دهد.

[1]Acyclic
[2]Casual completeness test
[3]Not-B

inestitute of reliability engineering and asset management www.i-REAM.com



شکل ج.۷- نمونه ای از WBG

ج.۶-۲ فرآیند (Process)

WBA دارای مراحل زیر است:

الف) تعیین مجموعه ای از واقعیات مرتبط و تحت دستورالعمل قانون توقف.

ب) انتخاب رویداد مورد نظر (در WBA رویداد پیشامدی[1] نامیده می شود).

ج) تعیین مستقیم عوامل علّی ضروری رویداد مورد نظر از بین مجموعه‌ی C؛ بررسی استفاده از CT. نمایش نتایج به صورت بصری به عنوان WBG جزئی.

د) با آزمون هر واقعیت در C در مقابل عواملی که در حال حاضر در WBG هستند به منظور تکمیل تحلیل (گسترش WBG)

ه) CCT به منظور تعیین اینکه آیا WBG ناقص است یا عواملی در C از دست رفته اند اجرا شود

[1] Accident event

و) C را اگر لازم است؛ گسترش دهید. واقعیات جدید را در WBG با استفاده از CT ترکیب کنید. اگر شواهد در دسترس کافی نباشد، مفروضات لازم برای تست کامل بودن تحلیل باید در نظر گرفته شود، اما این مفروضات باید بطور شفاف بیان شود.
ز) زمانی که CCT، عوامل علّی کافی را برای هر واقعیت در انطباق با قانون توقف نشان می دهد کار پایان می یابد. اگر واقعیات کافی نیست؛ مفروضاتی باید به منظور اجازه دادن به CCT برای موفقیت، در نظر گرفته شود اما باید طبقه بندی شوند.

ج.۶-۳ نقاط قوت و محدودیت ها (Strength and limitations)

نقاط قوت WBA به شرح زیر است:

- ممکن است با کمترین آموزش ممکن، انجام شود (با استفاده از ابزار مناسب که به استخراج واقعیات از توصیفات کمک می کند، یک تحلیلگر بی تجربه می تواند معمولا پذیرش اولیه‌ی WBA[1] را در حدود دو ساعت انجام دهد).
- نتایج تحلیل به سادگی می تواند توسط اشخاص ثالث درک شود.
- زمینه‌ی مفهومی مورد نیاز برای اعمال یک WBA محدود است (یک تحلیلگر باید قادر به اعمال CT و سپس CCT باشد)
- هر گونه شبکه از پدیده های علّی مرتبط، ممکن است با یک WBA تحلیل شوند.
- استدلال یک WBA ممکن است به صورت رسمی با استفاده‌ی از یک منطق رسمی بررسی شود.
- این روش، می تواند با روش های دیگر هم به کار رود مثلا آن روش هایی که ساختار بیشتری برای مجموعه واقعیات فراهم می کنند.

محدودیت ها WBA به شرح زیر است:

- این روش هیچ دستورالعملی برای جمع اوری واقعیات ارائه نمی دهد که آزمون ها برای آن ها اجرا شوند به طور مثال هیچ گونه ساختاری برای دسته بندی واقعیات از قبیل فنی، رویه ای[2]، عوامل انسانی، سازمانی و قانونی وجود ندارد.
- به علت اینکه واقعیات، ساختار دهی نشده اند، WBA دستورالعمل ناقصی را برای اقدامات اصلاحی در مورد پیشگیری از وقوع مجدد رویداد، ارائه می دهد.

---

[1] Fist pass
[2] Procedural

inestitute of reliability engineering and asset management www.i-REAM.com

ج.۷ روش درخت خطا و درخت موفقیت (FTA)

ج.۷-۱ مرور کلی (Overview)

یک درخت خطا، عوامل علّی ضروری فوری رویداد مورد نظر، پیشینه های علّی و ارتباطات منطقی بین آن ها را نشان می دهد. تحلیل درخت، معمولا به عنوان روش اولیه شناسایی و تحلیل حالت های بالقوه خرابی به ویژه برای ابزار استفاده می شود. دیاگرام درخت خطا می تواند در RCA با ساخت یک درخت که همان منطق را دنبال می کند، استفاده شود اما تنها رویداد هایی در درخت وارد می شوند که در حقیقت، رخ داده اند.

گیت هایOR ممکن است در طول تحلیل، به منظور تشریح عوامل علّی دیگر که برای ارزیابی مورد نیاز است استفاده شوند اما زمانی که تمام واقعیات به طور واضح مشخص می شوند تنها گیت های AND باید باقی بماند مگر اینکه هدف از تحقیق، پیشگیری رویدادهای مرتبط دیگر باشد. بنابراین، زمانی که تحقیق در حال پیشروی است، عوامل علّی بالقوه که به شواهد ارتباطی ندارند به تدریج، رد می شوند و از درخت، حذف می شوند. با بستن هر شاخه از درخت، عوامل علّی رویداد ظاهر می شوند.

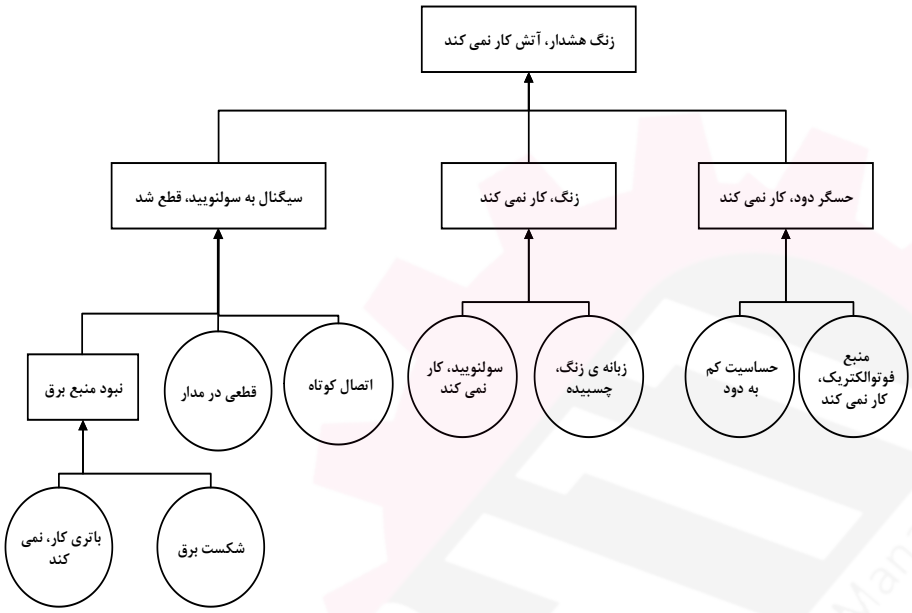
به طور دقیق یک درخت خطا، رویداد های باینری[2]را نمایش می دهد که یک بیان درست یا غلط است، برای مثال، یکی از اجزا خراب می شود یا کار می کند. در RCA، ساختار درخت خطا، اغلب برای درخت عوامل علّی اجرا می شوند که قوانین منطقی به طور دقیق پیروی نمی شوند و تغییرات در کیفیت علاوه بر رویداد ها، اضافه نمی شوند.

یک منطق مشابه می تواند جایی که رویداد مورد نظر یک موفقیت است انجام شود. در این مورد، درخت، اشاره به درخت موفقیت دارد.

شکل "ج.۸" یک نمونه از درخت خطا را نشان می دهد.

---

[1]Gates
[2]Binary



شکل ج.۸- نمونه ای از درخت خطا در طول تحلیل

ج.۷-۲ فرآیند (Process)

الف) تعریف رویداد به منظور تحلیل و ثبت آن به عنوان نقطه‌ی آغاز برای درخت.

ب) مشخص کردن عوامل علّی ضروری و فوری رویداد و نمایش آن ها در یک باکس متصل شده توسط یک پیکان به رویداد

ج) برقراری ارتباطات منطقی بین عوامل علّی با استفاده از گیت های OR و AND. رویداد ها در ورودی های گیت AND باید هم ضروری و هم کافی باشند تا منجر به رویداد بالایی شوند. گیت های OR ممکن است در طول تحلیل به منظور تشریح عوامل بالقوه‌ی علّی که به تحقیق نیاز دارند، استفاده شوند.

د) آزمودن هر عامل علّی جهت تصمیم گیری اینکه آیا این عامل علّی، یک علت ریشه ای است یا نتیجه‌ی عوامل اساسی علّی.

ه) اعتبار سنجی عوامل بالقوه علّی و متعاقبا به روز رسانی درخت.

و) ادامه حرکت به سمت پایین درخت تا زمانی که به قانون توقف برسد.

زمانی که درخت ایجاد شد، به احتمال عوامل علّی مربوط به افراد، ابزار و محیط برای هر عامل علّی در هر سطحی، پرداخته می شود. این ها نباید در قسمت بالایی درخت، حذف شوند.

inestitute of reliability engineering and asset management www.i-REAM.com

ج.۷-۳ نقاط قوت و محدودیت ها (Strength and limitations)

نقاط قوت روش درخت خطا/موفقیت عبارتند از:

- روشی را برای تقسیم کردن تحلیل برای رویداد های پیچیده ارائه می دهد.
- توسط بسیاری از بسته های نرم افزاری تجاری که در توسعه‌ی ساختار درخت خطا کمک کردند، پشتیبانی می شود.
- مشارکت و همکاری گروهی را تقویت می کند.
- از یک ساختار منظم و آسان برای خواندن، استفاده می کند.
- نواحی را برای جمع آوری داده ها مشخص می کند.

محدودیت های روش درخت عیب/موفقیت عبارتند از:

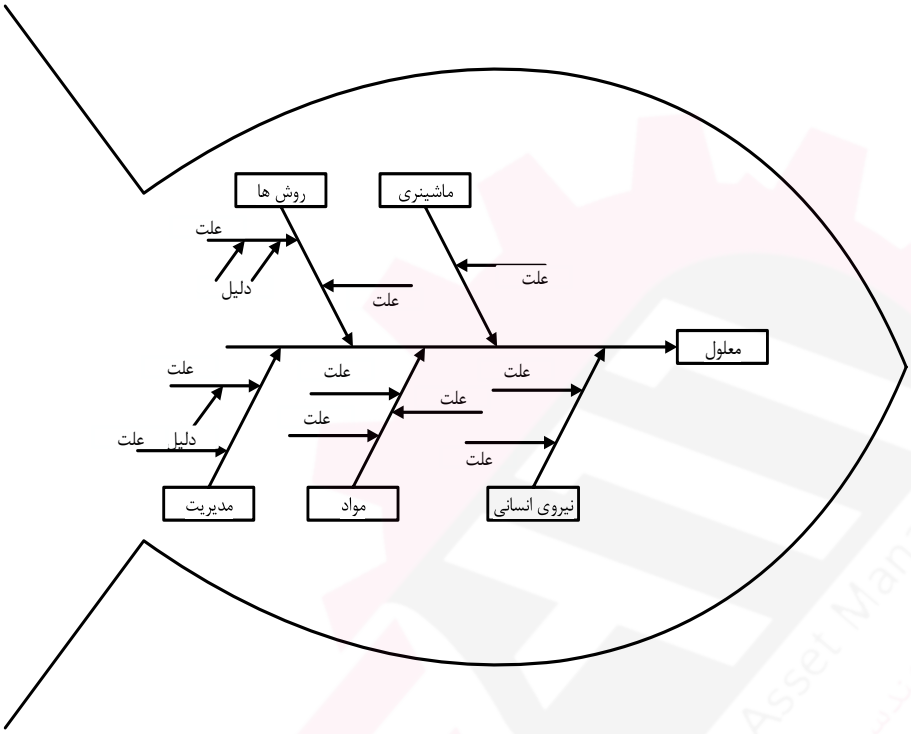
- نیاز به یک نیروی باتجربه دارد.
- هیچ گونه مدل اساسی از علّیت ندارد و هیچ دستورالعملی در مورد چگونگی جستجوی عوامل علّی، ارائه نمی دهد.
- به سادگی، موقعیت هایی که یک رویداد را به عنوان نتیجه ای از یک تغییر کیفیت کلی رخ می دهد نشان نمی دهد که برای مثال بر روش ها یا تحمل اجزای فیزیکی، تاثیر می گذارد.

ج.۸ دیاگرام ایشیکاوا یا استخوان ماهی

ج.۸-۱ مرور کلی (Overview)

دیاگرام ایشیکاوا یا استخوان ماهی، تکنیکی است که به شناسایی، تحلیل و ارائه‌ی علّی رویداد، کمک می کند. این تکنیک، ممکن است برای ساختار دهی جلسه‌ی ایده پردازی و ارائه‌ی پیشنهاد ها استفاده شود، جایی که احتمالا شواهد بعدی، جستجو شوند. این تکنیک، توسط کارو ایشیکاوا اختراع شد و به تدریج، ارتباطات بین رویداد و تمام عواملی که بر آن اثر می گذارند را نشان می دهد. این تکنیک، همچنین به علت ظاهرش به عنوان یک دیاگرام استخوان ماهی شناخته می شود.

شکل "ج.۹" یک نمونه از دیاگرام استخوان ماهی یا ایشیکاوا را نشان می دهد.



شکل ج.۹- نمونه ای از دیاگرام استخوان ماهی

ج.۸-۲ فرآیند (Process)

فرآیند ایجاد یک دیاگرام استخوان ماهی یا ایشیکاوا، دارای مراحل زیر است:

الف) شناسایی رویداد مورد نظر و ثبت آن روی طرف راست و کشیدن یک خط افقی از آن. این کار، سر و ستون فقرات ماهی را شکل می دهد.

ب) ایجاد دسته بندی های اصلی علت ها برای اینکه در نظر گرفته شوند و کشیدن خط هایی از استخوان ماهی به بیرون برای نمایش هر دسته. دسته ها معمولا شامل موارد زیر هستند:

۱) 5Ms: روش ها، ماشین آلات، مدیریت، مواد، نیروی انسانی[1]

[1]Methods,machinery, management, materials, manpower

inestitute of reliability engineering and asset management www.i-REAM.com

۲) 4Ps: مکان، روند ها، افراد، خط مشی ها[1]

۳) 4Ss: محیط اطراف، تامین کننده ها، سیستم ها، مهارت ها[2]

ج) شناسایی عوامل علّی ممکن رویداد مورد نظر برای هر دسته

این ها به عنوان خطوط کوچکتر که از استخوان ها می آیند نمایش داده می شوند. سطوح دقیق تری از عوامل علّی به طور فزاینده می تواند به عنوان زیر شاخه هایی که از هر خط ناشی می شوند نشان داده شوند. اگر یک شاخه، زیر شاخه های زیادی داشته باشد، ممکن است دیاگرام به دیاگرام های کوچکتر تبدیل شود.

د) تحلیل دیاگرام: اکنون دیاگرام، تمام عوامل علّی ممکن رویداد مورد نظر را نشان می دهد. مرحله‌ی پایانی تحقیق، محتمل ترین عوامل علّی است که می آزمایند آیا تحلیل درست است. تحلیل شامل موارد زیر است:

۱) بررسی توازن دیاگرام، بررسی سطوح قابل مقایسه از جزییات به منظور شناسایی نیاز برای شناخت بیشتر از عوامل علّی.

۲) شناسایی عوامل علّی ای که به تناوب ظاهر می شوند و این عوامل، خود ممکن است علل ریشه ای را نمایش دهند.

۳) ارزیابی اینکه چه چیزی می تواند در هر علت به منظور تعیین اثرات تغییراتی که ایجاد شده است صورت پذیرد.

۴) برجسته کردن عوامل علّی که اقدامات مربوط به آن ها انجام گرفته است.

ج.۸.-۳ نقاط قوت و محدودیت ها (Strength and limitations)

نقاط قوت دیاگرام استخوان ماهی یا ایشیکاوا به شرح زیر است:

- تقویت مشارکت گروهی برای شناخت برداشت افراد از عوامل علّی
- جستجوی عوامل علّی تحت مجموعه ای از دسته ها، بنابراین محدوده ای از عوامل علّی مربوط به عوامل انسانی و سازمانی، علاوه بر عوامل سخت افزاری و رویه ای[3] شناسایی می شوند.
- از یک فرمت خوانا و منظم استفاده می کند.
- عوامل مختلف علّی ممکن را نشان می دهد.

[1] Place, procedures, people,policies
[2] Surroundings, suppliers, systems, skills
[3] Procedural

- می تواند برای تحقیقات ساده یا به عنوان بخشی از تحقیقات پیچیده تر، استفاده شود.

محدودیت های دیاگرام استخوان ماهی یا ایشیکاوا به شرح زیر است:

- هیچ گونه مدل یا نظریه علّیت اساسی وجود ندارد، بنابراین، عوامل علّی مبتنی بر برداشت های اعضای تیم، شناسایی می شوند.

ج.۹ ایمنی از طریق یادگیری سازمانی[1](SOL)

ج.۹-۱ مرور کلی (Overview)

SOL یک تکنیک تحلیل رویداد است که در جستجوی سیستم پیچیده‌ی اجتماعی-فنی است که در آن رویداد، رخ می دهد. هدف SOL فراهم آوردن مدلی از سیستم و شناسایی نقاط ضعف آن است تا بتواند بهبود یابد و از وقوع مجدد رویداد پیشگیری کند. در این تکنیک تاکید بر یادگیری سازمانی است.

ج.۹-۲ فرآیند (Process)

SOL دارای مراحل زیر است:

۱) شرح موقعیتی که از ماتریس زمان-بازیگر که توسط روش MES/STEP تولید شده است استفاده می کند (بند ج.۳ را ببینید)

۲) شناسایی عوامل علّی که ممکن است مستقیم یا غیر مستقیم باشند (جدول ج.۱ را ببینید) برای هر رویداد در ماتریس زمان-بازیگر که توسط چک لیست هایی از پرسش، تجربه و تحقیق نویسندگان SOL هدایت می شوند. عوامل علّی مستقیم، آن دسته از عوامل هستند که به سرعت در رویداد مورد نظر، ایجاد می شوند. عوامل علّی غیر مستقیم، بعدا در زنجیره‌ی علّی نمایان می شوند اما ممکن است همان مسائل را در بر گیرند.

۳) طبقه بندی عوامل علّی به گروه هایی مانند فناوری، فردی، کار گروهی، سازمانی و محیط سازمانی.

[1]Safety through organizational learning (SOL)

inestitute of reliability engineering and asset management www.i-REAM.com

جدول ج.۱- عوامل مستقیم و غیر مستقیم

عوامل علّی مستقیم	عوامل علّی غیر مستقیم
اطلاعات (information)	اطلاعات
ارتباطات (communication)	ارتباطات
شرایط کاری (working condition)	شرایط کاری
عملکرد فردی (personal performance)	عملکرد فردی
تخلفات (violations)	تخلفات
اجزای فنی (technical components)	زمان بندی
	مسئولیت
	کنترل و سرپرستی
	اثر گروهی
	قوانین، رویه ها و اسناد
	صلاحیت[1]
	آموزش
	سازمان و مدیریت
	اصول ایمنی
	مدیریت کیفیت
	نگهداشت
	نهاد های نظارتی و مشاوره[2]
	تاثیرات زیست محیطی

ج.۹-۳ نقاط قوت و محدودیت ها (Strength and limitations)

نقاط قوت SOL عبارتند از:

- فرمت چک لیست به کاربرانی که در بخش سیستم های سازمانی یا روان‌شناسی سازمانی متخصص نیستند، اجازه می دهد تا تحلیل های مفیدی را انجام دهند.
- تاکید بیشتر بر عوامل علّی به جای عوامل علّی ضروری، اجازه می دهد تا عوامل بیشتری در نظر گرفته شوند تا اینکه تنها تحلیل علّی بر عوامل علّی ضروری، انجام

[1] Qualifications
[2] Regulatory and consulting bodies

شود و در نتیجه شانس بیشتری جهت شناسایی بهبود های احتمالی وجود خواهد داشت.

- ساختار بلوک های ساخت رویداد، محدوده‌ی کمتری را برای قضاوت تحلیل گران در اختیار می گذارد و به یکنواختی تحلیل های SOL کمک می کند.
- قانون توقف با پرسش های چک لیست به صورت غیر مستقیم تعریف می شوند. زمانی که این پرسش ها پاسخ داده شوند، اطلاعات، کافی محسوب می شوند.

محدودیت های SOL عبارتند از:

- اینجا هیچ مفهوم خاصی از اینکه عامل علی غیر از آنچه که به صورت ضمنی در پرسش چک لیست، وجود داشته است، نیست.
- سطح جزییات، توسط چک لیستی که از پیش با پرسش ها تعیین شده است مشخص می شود و توسط نیاز ها این کار انجام نمی شود.[1]
- چک لیست پرسش ها از تحقیقات در زمینه‌ی انرژی هسته ای به دست آمده اند و ممکن است برای صنایع دیگر، کمتر مناسب باشند.

ج.۱۰ نظارت مدیریت و درخت ریسک[2] (MORT)

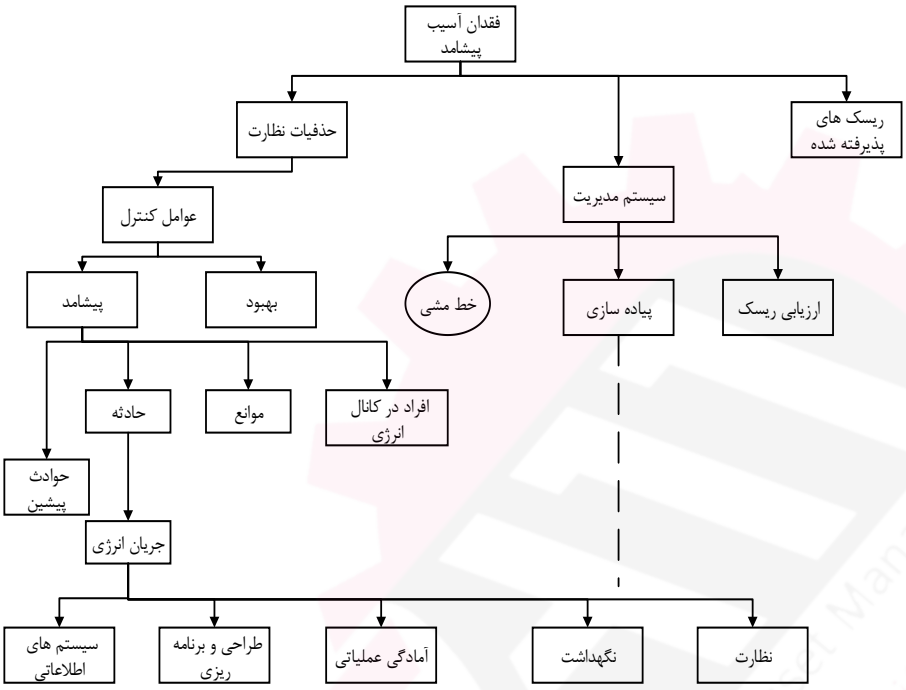
ج.۱۰-۱ مرور کلی (Overview)

MORT، نخستین بار جهت تحلیل علل ریشه ای و عوامل علّی برای حوادثی در انرژی هسته ای و صنایع هوایی در آمریکا ایجاد شد اما اکنون در بسیاری از صنایع، اجرا می شود.

MORT یک درخت از پیش مشخص شده، مبتنی بر مدلی از سیستم مدیریت سازمان است که به طور موثر، چک لیستی دقیق برای تشخیص اینکه کدام بخش ها از مدیریت و سیستم های کنترل، زمانی که رویداد مورد نظر رخ داده است، کافی نبوده اند را فراهم می کند. ساختار اساسی درخت در شکل "ج.۱۰" نشان داده شده است.

[1] The level of detail is driven by the predetermined checklist of questions rather than the perceived need

[2] Management oversight and risk tree (MORT)



شکل ج.۱۰- نمونه ای از دیاگرام MORT

MORT، فرض می کند که یک خرابی به عنوان نتیجه ای از اشتباهات یا حذفیات در سیستم های مدیریت یا عوامل ویژه‌ی کنترل، رخ می دهد که باید از وقوع رویداد مورد نظر، پیشگیری کنند.

در نهایت، خرابی ها در هر شاخه از درخت رخ می دهد زیرا چیزی در سیستم های کلی مدیریت (سیستم های اطلاعاتی، طراحی و برنامه ریزی، آمادگی عملیاتی، نگهداشت یا نظارت) کافی نبوده است.هر باکس در شکل ج.۱۰ به یک ساختار دقیق درختی تبدیل می شود که عواملی که کافی نبوده اند را نشان می دهد.

ج.۱۰-۲ فرآیند (Process)

با رویداد مورد نظر شروع شود و سپس با یک روش منطقی پرسش و پاسخ به سوال ها در دستورالعمل MORT به درخت MORT پرداخته شود. نشانه های روی نمودار MORT، توسط رنگ علامت گذاری شده اند تا موارد زیر را نشان دهند:

- هیچ مشکلی در مورد عناصر، وجود ندارد (کافی)

- عناصر، موجب پیدایش مشکلی شده اند (کافی نیست)
- به تحقیقات بیشتری نیاز است.

ج.۱۰-۳ نقاط قوت و محدودیت ها (Strength and limitations)

- دستورالعملی جامع را برای جستجوی تمام جوانب احتمالی سیستم که در زمان وقوع رویداد کافی نبوده اند فراهم می آورد.
- در بعضی تکنینک‌ها، مهارت های کمتری از متخصص نیاز است زیرا دستورالعمل دقیق برای عوامل علّی احتمالی، تهیه شده است.
- شناسایی نقاط ضعف در سیستمی که ممکن است در طیف گسترده ای از سناریوی خرابی اجرا شود.

محدودیت های MORT عبارتند از:

- به طور کلی، این روش، نقاط ضعفی را در سیستم بررسی می کند که ممکن است نقشی را در رویداد مورد نظر، ایفا کرده باشند و به جستجوی عوامل علّی ضروری، نمی پردازد.
- پرسش های زیادی (حدودا ۱۵۰۰) پرسیده می شوند. بنابراین، روشی وقت گیر خواهد بود و از این رو بیشتر برای رویداد های مهم، مناسب است.
- اگر سازمانی که این روش در آن اعمال می شود، دارای قابلیت اطمینان بالایی باشد، نقاط ضعف بسیاری که اعمال تغییرات را مشکل می سازند نمایان می شود.
- زمانی که برای اولین بار آموزش داده می شود یا اعمال می شود، خسته کننده خواهد بود.

ج.۱۱ نقشه ی پیشامد (Accimaps)

ج.۱۱-۱ مرور کلی (Overview)

Accimaps، مبتنی بر ایده های علّیت منتشر شده توسط راسموسن و اسودانگ[1] و مدل سیستم های سازمانی است.

Accimaps، یک نمایش گرافیکی است که برای ساختاردهی تحلیل رویداد و شناسایی تعاملات در سیستم فنی-اجتماعی استفاده شده است که در آن رویداد، رخ می دهد. این روش، جهت آشکار سازی خرابی ها، تصمیمات و اقدامات گسترده‌ی

[1] Rusmussen and Svedang

inestitute of reliability engineering and asset management www.i-REAM.com

سیستم، که در رویداد مشارکت دارند طراحی شده است. این ها در لایه هایی که سطوح مختلف موجود در سیستم فنی-اجتماعی را از حکومت به سمت پایین، به ابزاری که مشارکت داشته اند سازماندهی شده اند. این روش، همچنین به بازیگران فردی[1] در هر سطح و روال تصمیم گیری و شایستگی آن ها توجه دارد.

یک مثال از Accimaps، برای انفجار گاز که سطوح معمول سیستم را نشان می دهد، در شکل ج.۱۱ ارائه شده است. سطح زیرین، سازماندهی فیزیکی صحنه‌ی رویداد مورد نظر را نمایش می دهد (ساختمان ها، ابزار، محیط اطراف و غیره). سطح بعدی در بالا، توالی رویداد هایی است که منجر به رویداد مورد نظر می شوند و شامل خرابی ها، اقدامات و تصمیمات (از قبیل اقدامات و تصمیمات معمولی) است که نقشی را ایفا کردند. سطوح بالاتر، تصمیمات و اقداماتی را در هر سطح که تحت تاثیر قرار گرفته یا می توانند بر توالی رویداد ها در سطوح پایین تر اثر بگذارند نشان می دهند.

ج.۱۱-۲ فرآیند (Process)

Accimaps، دارای مراحل زیر است:

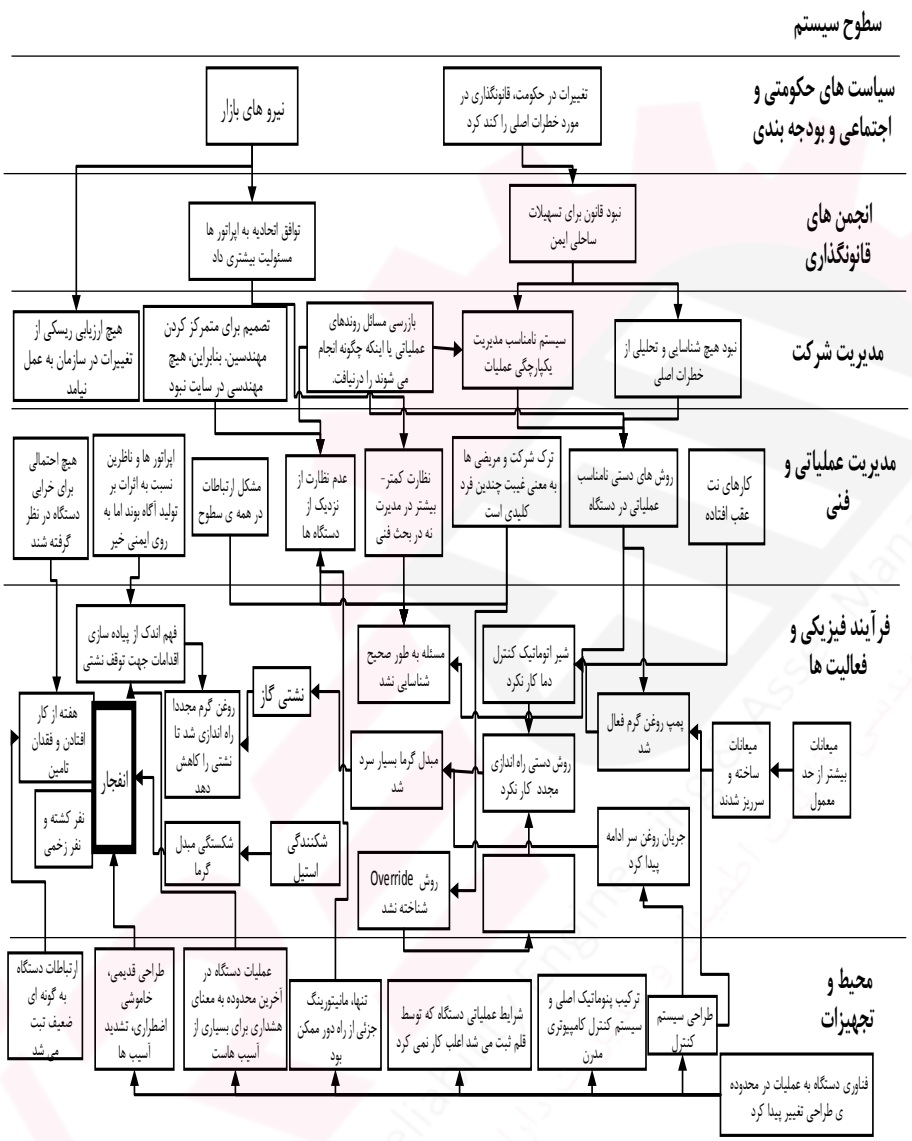
الف) تعریف مدلی از سیستم با سطوح مختلف سازمانی

ب) جمع آوری سطوح (با استفاده از باکس ها (گره ها)) با تصمیمات و اقدامات مرتبط با رویداد، شرایطی که منجر به رویداد و پیامد های آن می شود.

ج) رسم پیکان هایی که تمام ارتباطات و تاثیرات را نشان دهد.

د) فرآیندی مانند WBA ممکن است اضافه شود تا مشخص شود که کدامیک از مسائل شناسایی شده، عوامل علّی ضروری رویداد بوده اند.

[1] Individual actors



شکل ج.۱۱- نمونه ای از یک نقشه ی حادثه

inestitute of reliability engineering and asset management www.i-REAM.com

ج.۱۱-۳ نقاط قوت و محدودیت ها (Strength and limitations)

نقاط قوت Accimaps عبارتند از:

- از آنجا که هیچ طبقه بندی یا دستورالعملی وجود ندارد، Accimaps، پتانسیل آن را دارد که در شناسایی عوامل علّی در تمام سطوح سیستم جامع باشد.
- ارتباطات درونی و بین سطوح کمک می کند تا از اینکه خرابی ها در درون عواملی در نظر گرفته شوند که بر آن ها اثر می گذارند اطمینان حاصل شود.
- خطای انسانی، تمرکزی برابر بر ابزار و سطوح بالاتر عوامل سازمانی دارد.
- عوامل فردی که بر تصمیمات به ویژه در سطوح پایین تر اثر می گذارند در نظر گرفته نمی شوند.

محدودیت های Accimaps، عبارتند از:

- فقدان یک طبقه بندی به این معنی است که عوامل، مبتنی بر برداشت اعضای تیم شناسایی می شوند.
- مدل سازمانی، خارج از تحلیل می آید و هیچ معیاری برای حصول اطمینان از اینکه این مدل کافی و مناسب است وجود ندارد.
- نتیجه‌ی تحلیل Accimaps تا حدودی محدود می شود بنابراین به دست آمدن Accimaps متفاوت برای همان رویداد مورد نظر، ممکن است.
- بدون طبقه بندی خاص، جمع آوری تحلیل های متعدد جهت یافتن عوامل مشترک، دشوار است.
- کلیت عوامل در گره ها، اغلب سطح بالایی دارد و می تواند صریح و واضح باشد. این کار، به دست آوردن اقدامات دقیق را دشوار می سازد.
- این روش، یک رویکرد ضعیف تحلیلی برای خرابی های فیزیکی و ابزار دارد.
- این روش، نتایج تحلیل علّی را نمایش نمی دهد.

ج.۱۲ Tripod beta

ج.۱۲-۱ مرور کلی (Overview)

این روش، یک روش تحلیل و بررسی حادثه است که ایده هایی از مدل دلیل[1](بند ب.۳ را ببینید) و تحلیل مانع[2]را همراه با سیستم کلی مدلسازی خطا (GEMS) و

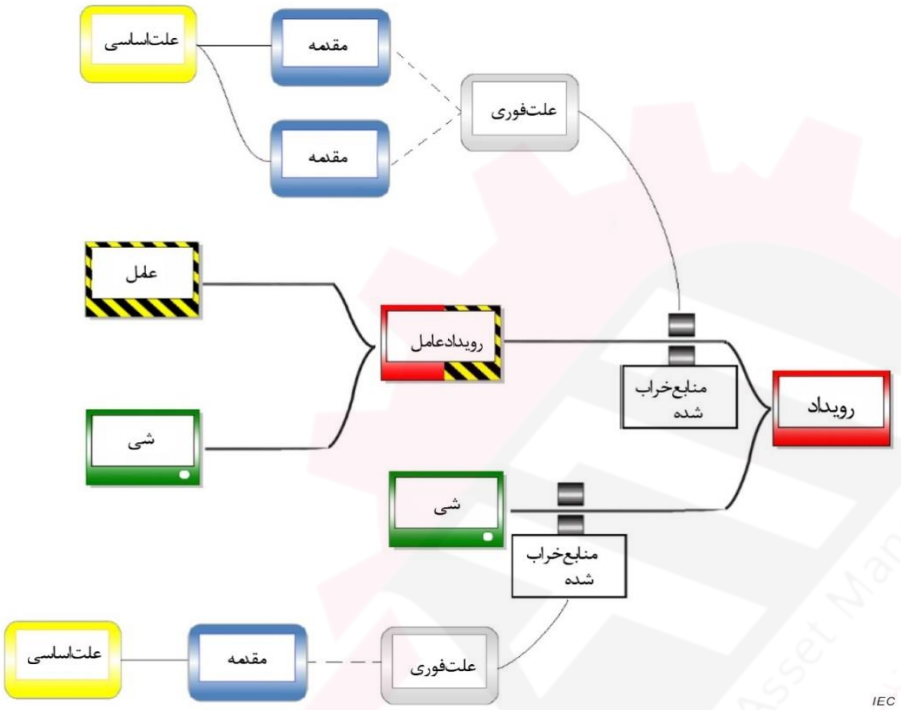
[1]Reason model
[2]Barrier analysis

مسیر سه گانه علّیت[1]واگنر (Wagenaar) ترکیب می کند. این روش، حوادث را به صورت اهدافی مانند افراد، ابزار و غیره توصیف می کند که توسط عوامل تغییر، تغییر یافته اند، به عنوان مثال: هر چیزی که دارای پتانسیل برای تغییر یک هدف است. این روش، همچنین، موانع را مدلسازی می کند و آن ها را برای مثال: خراب یا ناکافی نشان می دهد.

این روش، یک فرمت و قوانینی برای مدلسازی رویداد ها و مرتبط ساختن هر عنصر با دیگری را فراهم می آورد و رو به عقب کار می کند تا در نهایت به علت های اساسی برسد. بسته های نرم افزاری، مبتنی بر این قوانین ایجاد شده اند اما این روش می‌تواند بدون نرم افزار نیز به کار رود. تکنیک های مبتنی بر نرم افزار، شامل چک لیست هایی می شود که از مدل ها و تحلیل رویداد های گذشته مخصوصا در صنعت نفت فراساحلی[2]به دست می آید.

هسته‌ی اصلی تحلیل سه گانه، یک نمایش دیاگرام درختی از شبکه‌ی علّی (شکل ج.۱۲ را ببینید) است که رویداد را به عنوان شبکه ای از رویداد ها و ارتباطات آن ها توصیف می کند.

[1]Tripod causation path
[2]Offshore



شکل ج.۱۲- نمونه ای از دیاگرام درختی Tripod Beta

ج.۱۲.-۲ فرآیند (Process)

فرآیند ایجاد دیاگرام درختی در این روش، شناسایی موارد زیر است:

الف) عاملی که (مخاطره یا مخاطرات) منجر به رویداد می شود و هدفی که آسیب دیده است.

ب) موانعی که از دست رفته اند یا خراب شده اند در حالی که می توانستند از وقوع رویداد پیشگیری کنند یا از هدف، محافظت کنند.

ج) علل فوری (عمل انسانی که از خرابی موانع حاصل می شود). این ها خرابی ها یا خطا هایی هستند که اثر فوری دارند و در نقطه‌ی تماس بین انسان و سیستم رخ می‌دهند (به عنوان مثال: فشار دکمه‌ی اشتباه، نادیده گرفتن چراغ هشدار).

د) پیش شرط ها (مقدمه های روانی و مکانی به عنوان مثال: نوع خطای انسانی (لغزش، تخلف و غیره)).

ه) علت های اساسی (خرابی های پنهان) در سازمان به عنوان مثال: نارسایی ها در سیستم مدیریت، فرهنگ و غیره. این ها می توانند در عوامل ریسک اساسی، دسته بندی شوند که از ایده سازی و تحقیق در نتایج بررسی و تحقیقات پیشامد در صنعت نفت فراساحلی به دست می آیند.

ج.۱۲-۳ نقاط قوت و محدودیت ها (Strength and limitations)

نقاط قوت این روش عبارتند از:

- نقشه ای را برای رویداد و عوامل علّی آن فراهم می کنند.
- می تواند به هدایت تحقیقات و تعریف دامنه‌ی آن کمک کند.
- موانع را در سیستم تعریف می کند.
- مبتنی بر بررسی های علمی از قبیل مدلی از رفتار انسان برای آشکار ساختن آنچه که در پس رفتار مشاهده می شود است.
- بازرس را به سمت در نظر گرفتن دلایلی که از خطای انسانی و علت های فوری پشتیبانی می کنند هدایت می کند.
- نرم افزار با محوریت فهرست انتخاب[1] در دسترس است.

محدودیت های این روش عبارتند از:

- می تواند منبع تشدید باشد.[2]
- منجر به علت های اساسی سطحی سیستم می شود که یک سازمان ممکن است قادر به پذیرش آن نباشد.
- استفاده از عوامل ریسک پایه برای دسته بندی علت های اساسی که می تواند بسیار کلی و ساده باشد.
- نتیجه گیری ها منجر به اقدامات ساده‌ی اصلاحی نمی شود.
- به طور کلی، آموزش گسترده ای مورد نیاز است.

ج.۱۳ تحلیل علّی با استفاده از STAMP (CAST)

ج.۱۳.-۱ مرور کلی (Overview)

CAST، تکنیکی است که تمام فرآیند فنی-اجتماعی موجود در رویداد مورد نظر را بررسی می کند. CAST، مبتنی بر STAMP است (بند ب.۵ را ببینید) که برای

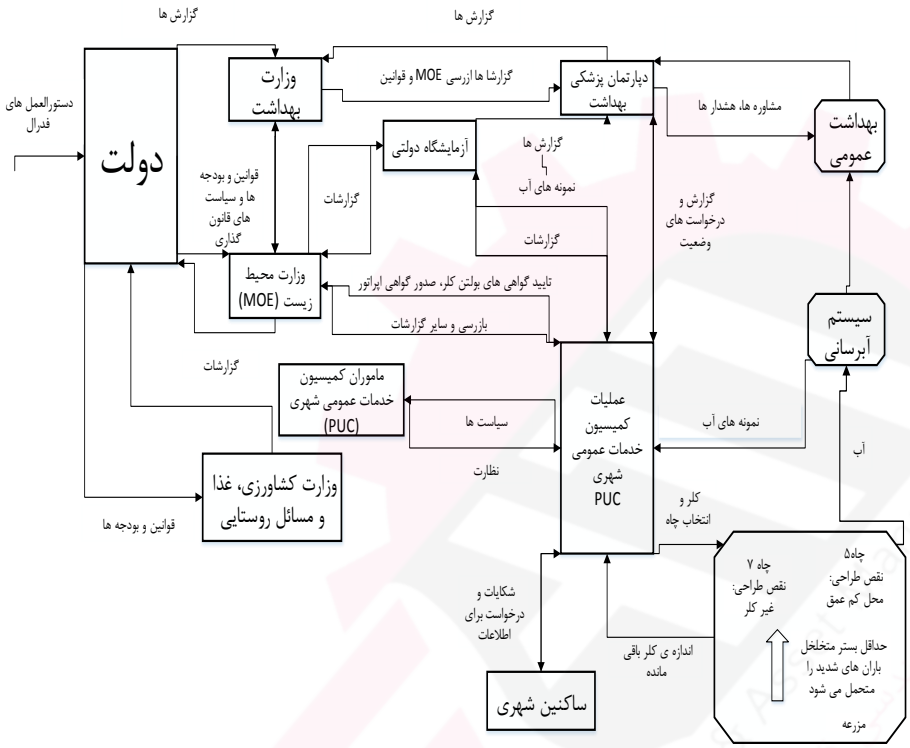
[1] Menu
[2] Can be resource intensive

inestitute of reliability engineering and asset management www.i-REAM.com

هدایت تحلیل علّی استفاده می شود. CAST، فرآیند دینامیکی که منجر به رویداد مورد نظر می شود را از قبیل ساختار های کنترل فنی-اجتماعی علاوه بر محدودیت هایی که در هر مرحله از ساختار کنترل و چرایی آنکه نقض شده اند، ثبت می کند. نتایج تحلیل در چندین دیدگاه از رویداد به جنبه و سطحی که از رویداد مشاهده می‌شود بستگی دارد.

جهت نشان دادن CAST، رویدادی را در نظر بگیرید که شامل آلودگی تامین آب عمومی با E.coil در یک شهر کوچک در کانادا است. شکل "ج.۱۳" ساختار کنترل ایمنی برای تامین آب شهر را نشان می دهد. سه سیستم فیزیکی وجود دارند که کنترل می شوند: سیستم چاه، تامین آب و سلامت عمومی. هر بخش در این ساختار، فرآیند هایی که دارای مسئولیت های مرتبط با ایمنی ویژه هستند، کنترل می کند. برای مثال: وزارت منابع طبیعی، نظارت و کنترل بر سیستم های آب محلی را فراهم می کند. هر بخش از ساختار کنترل، بازخوردی در مورد وضعیت فرآیندی که تحت کنترل، دارد را دریافت می کند. یک علت رایج این است که کنترل کننده، بازخورد نادرستی را دریافت می کند و می پندارد که وضعیت فرآیند تحت کنترل متفاوت از آنچه است که باید باشد. برای مثال، بودجه قطع می شود و وزارت کشور، تعداد بازرسی ها و بازرس ها را کاهش می دهد.

شکل "ج.۱۴" تحلیل نقش دپارتمان سلامت عمومی را از قبیل نقش ها و مسئولیت ها، اقدامات ناایمن کنترل، زمینه ای که در آن اقدامات ناامن کنترل، شکل گرفت و نقص هایی را که در مدل (ذهنی) فرآیند به رفتار انسانی کمک کرد در رویداد مورد نظر نشان می دهد. شکل "ج.۱۵"، همان مسئله را برای بخش دیگری از ساختار کنترل، مدیریت عملیات سیستم آب نشان می دهد.



شکل ج.۱۳- ساختار کنترل برای تامین آب در یک شهر کوچک در کانادا[1]

[1] MOE=Ministry of the Environment
PUC=Public Utilities Commissions

دپارتمان پزشکی

سلامت

محدودیت ها و الزامات ایمنی:

- نظارت بر کیفیت آب آشامیدنی
- پیگیری گزارش های کیفیت نامطلوب آب آشامیدنی
- مسئله ی آب جوشانده و دیگر مشاوره های عمومی اگر سلامت جامعه در خطر است.

محتوایی که بر اساس آن تصمیم گرفته می-شود:

- اغلب گزارش های کیفیت آب در دو سال گذشته
- بیماری هایی که بیرون از شهر وجود دارد
- باکتری E. coli اغلب از راه گوشت سرایت پیدا می کند

اقدامات کنترلی ناکافی:

- تاخیر در مشاوره
- مشاوره می بایست در سطح وسیع تری انتشار می یافت
- بازرس سلامت عمومی، گزارش بازرسی سال ۱۹۹۹ را پیگیری نکرد.

نقص های فکری مدل

- تفکری مخالف با گزارش های کیفیت آب دریافت شد
- عدم آگاهی از گزارش های ارتباط باکتری E. coli با آب تصفیه شده
- فکر آقای k حقیقت را تقویت می کرد

هماهنگی:

- فرض وزارت محیط زیست بر حصول اطمینان از رفع شدن مشکلات گزارش بازرسی بود.

شکل ج.۱۴- نمونه ای از تحلیل علّی CAST برای دپارتمان محلی بهداشت

مدیریت عملیات PUC

شهر

محدودیت ها و الزامات ایمنی:

- نظارت بر عملیات جهت حصول اطمینان از انجام شدن نمونه گیری و گزارش نویسی
- حفظ سوابق دقیق
- به روز کردن دانش تا اندازه ی لازم

محتوایی که بر اساس آن تصمیم گرفته می-شود:

- شکایات شهروندان از طعم کلر موجود در آب آشامیدنی
- اقدامات نامناسب که ۲۰ سال ایجاد شده بودند
- فقدان مهارت و آموزش کافی

اقدامات کنترلی ناکافی:

- نظارت ناکافی بر عملیات
- نتایج نامطلوب آزمایشات به هنگام درخواست، گزارش نشدند
- مشکلات یافت شده در طول بازرسی ها، اصلاح نشد
- پاسخ ناکافی بعد از ظهور علائم در جامعه
- از سوابق عملیات یا آموزش، نگهداشت مناسب به عمل نیامد

نقص های فکری مدل

- منابع مورد اعتماد برای سیستم آبرسانی عموما ایمن بودند
- تصور اینکه آب تصفیه نشده به منظور نوشیدن ایمن است
- عدم درک نسبت به خطرات بهداشتی ناشی از آب تصفیه نشده
- عدم درک نسبت به خطرات محتویات باکتریال مانند باکتری E. coli
- عدم اعتماد به اینکه دستور العمل ها دارای اولویت بالایی بودند

شکل ج.۱۵- نمونه ای از تحلیل علّی CAST برای مدیریا عملیات خدمات عمومی محلی

در تحلیل کامل، هر بخش از ساختار کنترل با توجه به همکاری آن ها در وقوع رویداد در نظر گرفته خواهد شد. در اغلب رویداد ها، کمک ها می توانند از هر بخش ساختار کنترل یافت شود.

inestitute of reliability engineering and asset management www.i-REAM.com

ویژگی های دیگر تحلیل (نشان داده نشده اند)شامل آزمودن تغییرات دینامیک در طول زمان در سیستم می شود که به رویداد مورد نظر و نقش ارتباط و همکاری ناقص، کمک می کردند.

ج.۱۳-۲ فرآیند (Process)

CAST، دارای مراحل زیر است:

الف) شناسایی سیستم هایی که در رویداد مورد نظر، دخالت داشتند.

ب) شناسایی محدودیت های سیستم مرتبط با رویداد.

ج) ثبت ساختار کنترل در محل. این ساختار، شامل نقش ها و مسئولیت های هر بخش در ساختار، علاوه بر کنترل های فراهم شده یا به وجود آمده برای اجرای مسئولیت های آن ها و بازخورد مربوطه‌ی تهیه شده برای کمک به آن ها برای انجام این عمل می شود.

د) تعیین رویداد های تقریبی منجر به رویداد.

ه) تحلیل رویداد مورد نظر در سطح سیستم فیزیکی. شناسایی سهم هر یک از مواردی که ذکر می شود در رویدادها: کنترل های فیزیکی و عملیاتی، خرابی های فیزیکی، تعاملات ناکارآمد، نقص های همکاری و ارتباط و اختلالات کنترل نشده. تعیین چرایی تاثیر کنترل های فیزیکی در محل.

و) بالا بردن سطوح ساختار کنترل، همانطور که اشاره خواهد شد، تعیین اینکه چگونه و چرا هر سطح بالاتری (به ترتیب توالی) برای کنترل در سطح فعلی، همکاری دارد.

۱) جهت اینکه مسئولیت افراد و واحد ها، اجرا شود و ساختارهای کنترلی، بیش از حد ایجاد نشود، لازم است در بخش های زیرین هر واحد، مسئولیت اجتماعی اطمینان آور تخصیص داده شود.

۲) شناسایی تصمیمات ناایمن یا اقدامات کنترلی از قبیل اقداماتی که توسط نرم افزار، اپراتورها، مدیران، تنظیم کننده ها[1] و غیره فراهم می شود.

۳) هر تصمیم انسانی یا اقدامات ناقص کنترلی باید به صورت اطلاعات در دسترس برای تصمیم گیرنده علاوه بر هر اطلاعاتی که در دسترس نبود، رفتاری که ساز و کار ها را شکل می دهد (زمینه و تاثیراتی بر فرآیند تصمیم گیری)، ساختار های اساسی

[1] Regulators

ارزش در تصمیم و هر نقصی در مدل های فرآیند (مدل های ذهنی) آن هایی که تصمیم می گیرند و اینکه چرا آن نقص ها وجود دارند به خوبی دریافت و درک شوند.
ز) آزمودن هماهنگی و ارتباط کلی(از قبیل بازخورد از دست رفته) که به وقوع رویداد کمک کردند. اگرچه فرآیند به صورت مراحل شرح داده می شود؛ اما فرآیند، به خطی بودن یا به انجام مرحله ای بعد از تکمیل مرحله‌ی قبل، نیاز ندارد.

ج.۱۳-۳ نقاط قوت و محدودیت ها (Strength and limitations)

نقاط قوت CAST به شرح زیر است:

- از لحاظ زمانی به منظور تعیین اینکه چگونه وضعیت سیستم به ریسک بالایی رسیده، به گذشته توجه دارد.
- شناسایی عوامل مدیریتی و اجتماعی علاوه بر عملیات انسانی و خرابی های فنی سیستم.
- هیچ گونه نظریه‌ی اجتماعی خاصی را بر تحلیل تحمیل نمی کند. هر مدلی از رفتار اجتماعی می تواند برای ایجاد نتایج تحلیل، استفاده شود.

محدودیت های CAST نیز به شرح زیر می باشد:

- نمایش گرافیکی تحلیل به علت وجود ارتباطات غیر مستقیم بین عوامل علّی، غیر ممکن است و به این معنی است که دایره ها و پیکان ها (که ارتباطات مستقیم را نشان می دهند) برای شرح تمام عوامل علّی کافی، نیستند.
- ممکن است به منابع و زمان بیشتری برای فهم کامل رویداد نسبت به دیگر روش ها با تمرکز محدودتر، نیاز داشته باشد.

inestitute of reliability engineering and asset management www.i-REAM.com

ضمیمه‌ی د

ابزارهای مفید برای کمک به تحلیل علل ریشه ای

د-۱ عمومی (General)

ضمیمه‌ی "د"، ابزار ها و تکنیک هایی هستند که می توانند از اجرای تحلیل علل ریشه‌ای، حمایت کند.

تکنیک های استخراج و خوشه بندی داده ها (Data mining and clustering techniques)

د.۲-۱ مرور کلی (Overview)

تکنیک های داده کاوی مدرن، جستجویی را برای ویژگی ها و شرایط خاص فعال می‌کند. خوشه بندی تحلیل، داده هایی را انتخاب می کند که ارتباط نزدیکی با هم دارند و در نتیجه داده های انحرافی را شناسایی می کند. تحلیل مدرن خوشه می-تواند داده هایی را که ارتباط نزدیکی در یک، دو یا ابعاد بیشتر دارند، را شناسایی کند و در نتیجه محصولات یا فرآیندهایی را که ارتباط نزدیکی با هم دارند تحلیل کند تا نقاط انحراف داده شناسایی شوند.

در تحلیل علل ریشه‌ای، داده کاوی و خوشه بندی تحلیل ها می تواند سرنخ های ارزشمندی را در اختیار بگذارد و به رد کردن یا تائید علل ریشه ای بالقوه، کمک کند. در برخی موارد، به عنوان مثال، تجهیزات پزشکی و هوافضا که به منظور نگهداری شماره‌ی دسته‌ی[1]محصولات تمام شده، اجزای مرتبط و مواد اولیه لازم است. این اطلاعات می تواند ساختاری مفید را برای شناسایی روابطی که به روابط علت و معلولی ممکن اشاره دارد، فراهم آورد.

[1]Batch number

د.۲-۲ مثال ۱

یک شرکت ، ۱۲٪ از خرابی اقلام ذخیره شده را مشاهده می کند. تحلیل ها نشان می‌دهند که بخش پلاستیکی، شکسته می شود. شروع الگوی خرابی ۱۲٪، به عنوان شماره‌ی دسته و یا تاریخ تولید شناسایی می شود. این تاریخ با دسته های تحویل داده شده قطعات پلاستیکی، در ارتباط است. هیچ ارتباطی وجود ندارد. هیچ ارتباط دیگری با دسته های مواد اولیه پلاستیکی وجود ندارد. با این حال یک رابطه با دسته های منبعی که قطعات پلاستیکی را بارگیری می کند وجود دارد. مشکل، ۳ روز پس از اینکه یک دسته‌ی جدید از منبع دریافت شد آغاز می شود. تغییراتی که بین دو دسته از منابع ایجاد شد، مورد بررسی قرار گرفت. تفاوت در رفتار سطحی با خوردگی است. فرآیند درمان سطحی[1] بررسی شده است و شامل نکته ای است که این درمان ممکن است با مواد پلاستیکی خاصی مواجه شود. تحلیل های بیشتر، نشان می دهد که حفاظت در برابر خوردگی، انتشار ترک در پلاستیک را شتاب می بخشد. تحلیل صفحه‌ی داده ها برای مواد اولیه پلاستیکی، هشداری در برابر بار اضافه را که ممکن است علت ترک ها باشد نشان می دهد. بنابراین نتیجه گیری می شود که یک فرضیه‌ی علّی می تواند فرمول بندی شود که یک قطعه‌ی پلاستیکی، به طور مداوم، متحمل بار اضافه می شود و تحت شکستگی قرار می گیرد و شکستگی ها به سرعت توسط رفتار ضد خوردگی جدید از منابع، بیشتر می شوند. سپس این ترک ها با سرعت به علت درمان جدید ضد خوردگی از چشمه ها، تکثیر می شوند. قبلا تحلیل خرابی، الگویی در سطح شکستگی را که متشکل از منشا خطوط انتشار ترک در نقاط تماس با منابع و سطحی شکننده از شکستگی نهایی است نشان داده است. فرضیه‌ی علّی –تفسیری، ممکن است در سطحی ارائه شده از اطمینان توسط آزمایش تایید شود: راه اندازی تعدادی قطعات پلاستیکی با رفتار جدید یا بدون آن. اگر مشاهده شود که قطعات پلاستیکی با رفتار جدید، عمدتا شکست می خورند، می توان نتیجه گرفت که فرضیه‌ی علّی برای درجه‌ی مناسبی از اطمینان با استفاده از روش های استاندارد استنباط آماری[2] تایید می شود.

[1] Surface treatment process
[2] Methods of statistical inference

inestitute of reliability engineering and asset management www.i-REAM.com

د.۲-۳ مثال ۲

تعدادی از خرابی های لحیم کاری در زمینه، مشاهده می شود. تعداد هفته های تولید برای محصولات خراب شده در تاریخ تقویم وارد شده است. مشاهده شده است که تاریخ تولید محصولات با خرابی لحیم کاری در هفته های خاصی، قرار گرفته اند.فرضیه علّی، ممکن است بر اساس مشاهدات اولیه فرمول بندی شود که سپس برای درجه‌ی ارائه شده از اطمینان با استفاده از استاندارد استنباط آماری بر داده های کنترل فرآیند به دست آمده از تولید تائید می شود که نشان می دهد فرآیند لحیم کاری، احتمالا در این هفته ها، تحت کنترل مناسبی انجام نشده است. نتیجه گیری ای که می توان به عمل آورد این است که برای سطح اطمینان بالا، یک علت ریشه ای از خرابی لحیم کاری، کنترل ناکافی فرآیند در فرآیند لحیم کاری است.

د.۲-۴ مثال ۳

یکی از اجزا روی یک تخته‌ی آزمایش با پیچاندن تخته، تست شده است. تعدادی از پیچش ها در خرابی روی طرح وایبول رسم شده است ({22}IEC 61649 را ببینید). تحلیل، یک جمعیت ضعیف و یک جمعیت قوی را شناسایی می کند (IEC {23}61163-1 انتخابات را ببینید). مولفه ای از جمعیت ضعیف و جمعیت قوی توسط برش متقاطع از آرایه‌ی شبکه‌ی توپ ریز[1]مورد تحلیل قرار می گیرند. لازم به ذکر است که جزئی از جمعیت ضعیف، تعداد زیادی از حفره های بزرگ در توپ های لحیم کاری دارد، در حالی که توپ لحیم کاری از جمعیت قوی، هیچ حفره ای ندارد یا تنها چند حفره‌ی کوچک دارد. از این رو به این نتیجه رسیدند که فرضیه‌ی علل ریشه‌ای، فرموله شده است که حفره ها در توپ های لحیم کاری از آرایه‌ی شبکه ای توپ ریز یک علل ریشه ای برای رویدادهای حادثه ای هستند. فرضیه‌ی علّی –ریشه-ای توسط جمع آوری داده ها در استفاده‌ی عملیاتی و مشاهده از طریق تحلیل داده ها تایید می شوند که کاهش حفره های مرتبط با استفاده‌ی موفقیت آمیز از مولفه است.

[1]Micro ball grid array solder balls

ضمیمه‌ی ه

تحلیل عملکرد افراد

ه.۱ عمومی (General)

افراد در هر سطح از سازمان، تصمیم گیری می کنند یا اقداماتی را اجرا یا حذف می-کنند که ممکن است نقشی را در رویداد ها ایفا کند که به رویداد مورد نظر، منجر شود. عملکرد انسانی، ممکن است بیشتر یا کمتر از حد انتظارات باشد و اثر آن ممکن است مثبت یا منفی باشد. تصمیمات می توانند در شرایطی[1] که گرفته می شوند درست باشند اما نتایج ناخواسته ای را در بر داشته باشند.

افراد، ممکن است خطا کنند، گمراه شوند، انگیزه‌ی مناسب را نداشته باشند، سعی در انجام کار درست داشته باشند یا ممکن است آگاهانه، قوانین را نقض کنند. تحلیل جنبه های انسانی از علّیت، پیچیده است و به طور کلی، نیاز به دانش متخصص دارد و اگر به شناسایی اینکه چه چیزی و به دنبال آن چرا رخ داده است، پرداخته شود؛ به این علت است که توصیه هایی لازم است.

ه.۲ تحلیل خرابی های ناشی از خطای انسانی (Analysis of human failure)

تحلیل خرابی های ناشی از خطای انسانی، با شناسایی حالت خطا آغاز می شود. این، نمود خارجی از خطا می باشد، به عنوان مثال، آنچه که انجام شده است (یا انجام نشده است) مشاهده می شود. نمونه هایی از حالت خطا به شرح زیر است:

- ✓ مورد غفلت واقع شده است؛ (omitted)
- ✓ خیلی زود؛ (too early)
- ✓ خیلی دیر؛ (too late)
- ✓ خیلی زیاد؛ (too much)
- ✓ خیلی کوچک؛ (too little)
- ✓ مسیر اشتباه؛ (wrong direction)
- ✓ شی اشتباه؛ (wrong object)
- ✓ اقدام اشتباه؛ (wrong action)

[1] circumstances

inestitute of reliability engineering and asset management www.i-REAM.com

✓ توالی اشتباه. (wrong sequence)

تعـدادی از طبقـه بنـدی هـای مختلـف بـرای دسـته بنـدی و تجزیـه و تحلیـل علـل ایـن خطاها وجود دارد. آنها در تعـداد و نـوع طبقـه بنـدی ای کـه در نظـر مـی گیرنـد و در مـدل هـایی از رفتـار انسـانی کـه طبقـه بنـدی هـا بـر اسـاس آن شـکل مـی گیـرد و جـایی کـه بیشترین تاکید بـر آن اسـت بـا هـم تفـاوت دارنـد. بـه طـور کلـی، بـه صـورت زیـر، در نظـر گرفته می شوند:

a) حالـت خطـای داخلـی و سـاز و کـار خطـا. ایـن دلیـل خطـا بـه اصـطلاح روان شـناختی معنادار است. به عنوان مثـال، بـرای یـک حالـت خطـا از " اشـتباه پیچیـدن بـا خـودرو"، حالت ساز و کار داخلی خطا ممکن است بنا بر عادت، تصمیمی نادرست باشد.

b) مشـکلات ذاتـی کـار، بـه عنـوان مثـال، اهـداف متنـاقض، مشـکلات برنامـه ریـزی، محدودیت، نیاز های شناختی و غیره.

c) عوامل عملکرد بـرش(PSF). ایـن عوامـل شـرایط فنـی یـا محـیط سـازمانی و یـا داخلـی برای افراد هستند که بر اینکه چگونه کارها به خوبی انجام شود تاثیر می گذارند.

برخـی از مـدل هـا هـم شـامل یـک تحلیـل جریـان اطلاعـات و بـازخورد مـی باشـند کـه بـدون قضاوت صحیح، بعید است انجـام شـوند. اهمیـت ایـن روش ایـن اسـت کـه ابتـدا سـاز وکـار روان-شناختی خطا را قبل از شناسایی اینکـه چـرا خطـا صـورت گرفتـه اسـت شناسـایی مـی کنـد. بـه عنوان مثال اگر ساز و کار خطـا بـه علـت فقـدان دانـش و مهـارت نباشـد، بنـابراین آمـوزش هـای بیشتر بعید است مفیـد واقـع شـود. اگـر تصـمیم هـایی بـرای نقـض یـک روش گرفتـه شـوند، بـه جای فرض افزایش نظـارت بـه عنـوان یـک راه حـل، بایـد دلایـل ایـن کـه چـرا ایـن اتفـاق افتـاد بررسی شود.

دو نمونـه از روش هـایی کـه مـی تواننـد بـرای تحلیـل علـل خرابـی هـای ناشـی از خطـای انسانی مورد استفاده قرار گیرند و این اصول را نشان بدهند عبارتند از:

- تکنیکـی بـرای تحلیـل گذشـته نگـر [2]و پـیش بینـی کننـده‌ی خطاهـای شـناختی (تحقیقی)؛
- تحلیل عوامل انسانی و طرح طبقه بندی(HFACS).

[1]Performance shaping factors
[2]Retrospective

ه.۳ تکنیکی برای تحلیل پیش نگر و پیش بینی کننده‌ی خطاهای شناختی(تحقیقی)

Techniques for retrospective and predictive analysis of cognitive errors) (TRACEr)

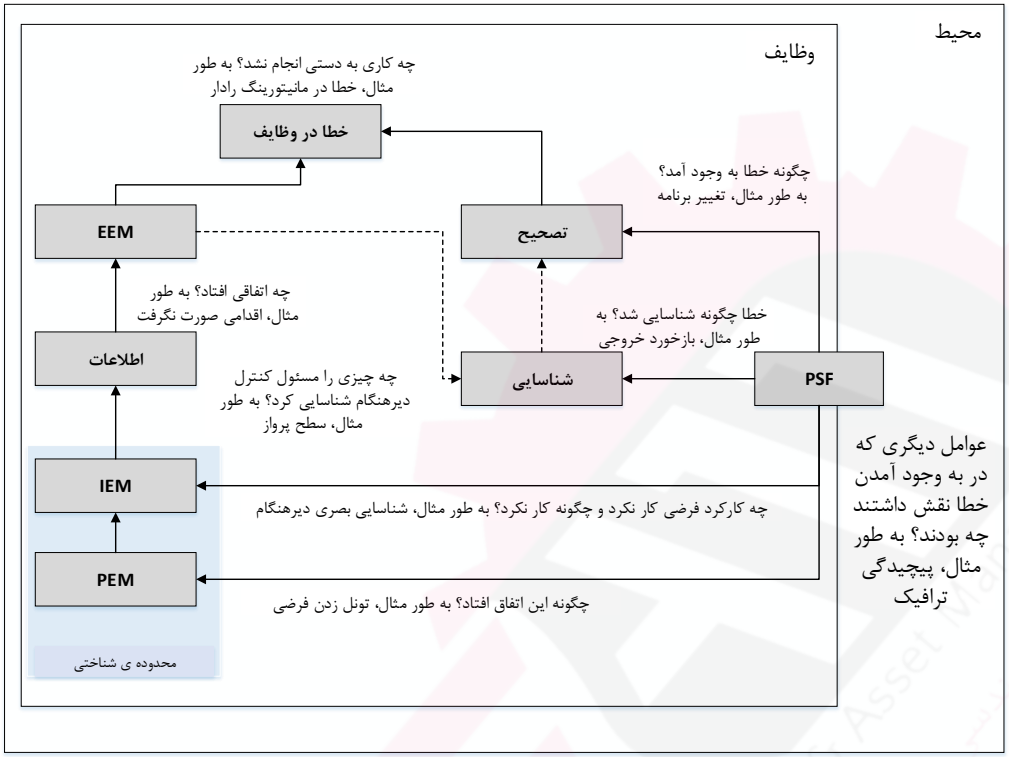
ه.۳-۱ مرور کلی (Overview)

TRACEr برای کنترل ترافیک هوایی، ایجاد شد. TRACEr دارای هشت ماژول به صورت نشان داده شده در شکل E.1 است که می تواند به سه دسته‌ی زیر تقسیم شود:

- زمینه ای که در آن اشتباه رخ داد به عنوان مثال: ماهیت کار،محیط زیست و PSFs؛
- تولید خطا، مانند حالت خارجی خطا(EEM)، حالت داخلی خطا(IEM)، ساز و کار روانی خطا(PEM) و اطلاعاتی که افراد بر اساس آن اقدام می کنند؛
- تشخیص و تصحیح خطا.

ماژول های تولید خطا، بر اساس فرآیندهای شناختی مشارکت می کنند، زمانی که انسان، چیزی را که باید انجام شود درمی یابد یا اقدامی انجام می دهد، به عنوان مثال: ادراک، حافظه، تصمیم گیری و عمل(شکل "ه.۲" را ببینید).

[1]The external error modes
[2] Internal error modes
[3] The psychological error mechanisms



شکل ه.۱– نمونه ای از مدل TRACEr

نمونه ی IEM	کلید واژه های مرتبط	کارکرد شناختی	محدوده ی شناختی
تشخیص دیرهنگام	نبود، دیر هنگام، ناصحیح	تشخیص	ادراک: دید
عدم شناسایی	نبود، دیر هنگام، ناصحیح	شناسایی	ادراک: دید
خطا در شنیدن	نبود، دیر هنگام، ناصحیح	شناخت	ادراک: شنیداری
فراموش کردن اطلاعات موقت	نبود، ناصحیح	به یاد آوردن اطلاعات ادراکی	حافظه
فراموش کردن اقدام قبلی	نبود، ناصحیح	اقدام قبلی	حافظه
فراموش کردن انجام اقدام لازم	نبود، ناصحیح	اقدام کنونی/فوری	حافظه
حافظه ی پسین کار نکرد	نبود، ناصحیح	حافظه ی پسین	حافظه
به یاد نیاوردن اطلاعات ذخیره شده	نبود، ناصحیح	اطلاعات ذخیره شده (دانش فرآیند)	حافظه
قضاوت نادرست	ناصحیح	قضاوت	قضاوت، برنامه ریزی و تصمیم گیری
برنامه ریزی نادرست	نبود، خیلی کم، ناصحیح	برنامه ریزی	قضاوت، برنامه ریزی و تصمیم گیری
تصمیم نادرست	نبود، دیر، ناصحیح	تصمیم گیری	قضاوت، برنامه ریزی و تصمیم گیری
اقدام زود هنگام	زود، دیر، طولانی، کوتاه	زمان بندی	اجرای اقدام
خطا در جای گذاری	خیلی زیاد، خیلی کم، ناصحیح، مسیر اشتباه	جای گذاری	اجرای اقدام
خطای نوشتاری	ناصحیح	انتخاب	اجرای اقدام
اشتباه تایپی	نبود، عدم شفافیت، ناصحیح	ارتباطات	اجرای اقدام

شکل ه.۲- حالت های خطای داخلی

ه.۳-۲ فرآیند (Process)

یک مدل TRACEr، طبق مراحل زیر به وجود می آید:

الف) تحلیل کاری که باید انجام شود و شناسایی هر گونه عامل موقعیتی یا محیطی که ممکن است بر عملکرد انسانی اثر بگذارد که شامل پیچیدگی کار، دانش و تجربه‌ی فرد، محیط پیرامون و غیره می باشد.

ب) شناسایی EEMها که بر اساس انتخاب و کیفیت، زمانی و توالی و ارتباطات، طبقه بندی می شوند (جدول ه.۱ را ببینید)

ج) شناسایی IEMها و اینکه چه عملیات شناختی از کار افتاده و از چه روشی برای طبقه بندی نشان داده شده در شکل ه.۲ استفاده شده است.

د) شناسایی اطلاعاتی که با IEM مرتبط اند به طور مثال: چه اطلاعاتی فراموش شده، برداشت اشتباهی از آن شده، درست قضاوت نشده اند یا با آن ها ارتباط برقرار نشده است.

inestitute of reliability engineering and asset management www.i-REAM.com

ه) شناسایی PEMها که موانع شناختی شناخته شده برای اثر بر عملکرد درون هر حوزه‌ی شناختی هستند (جدول "۲.ه" را ببینید)

و) بررسی فرآیند شناسایی خطا که چگونگی آگاهی فرد از خطا، اینکه چه ابزاری آن ها را نسبت به خطا آگاه می سازد و اینکه چه عوامل خارجی، شناسایی را بهبود یا کاهش می دهند، است.

ز) در نظر گرفتن تصحیح، به طور مثال: چه اقدامی برای تصحیح خطا صورت گرفت، آیا دیگر عوامل چه خارجی یا داخلی، تصحیح خطا را بهبود یا کاهش دادند؟

جدول ۱.ه حالت های خارجی خطا

انتخاب و کیفیت	زمان بندی و توالی	ارتباط
حذف	اقدام بسیار طولانی	اطلاعات منتقل شده‌ی غیرشفاف
اقدام بسیار کم	اقدام بسیار کوتاه	اطلاعات دریافت شده‌ی غیر شفاف
اقدام بسیار زیاد	اقدام زودهنگام	اطلاعات، دریافت نشد
اقدام در مسیر نادرست	اقدام دیرهنگام	اطلاعات، انتقال نیافت
اقدام درست بر شی نادرست	اقدام دوباره	اطلاعات، ثبت نشد
اقدام نادرست بر شی درست	اشتباه در صدور دستور	اطلاعات منتقل شده‌ی ناقص
اقدام نادرست بر شی نادرست		اطلاعات دریافت شده‌ی ناقص
اقدام اضافی		اطلاعات ثبت شده‌ی ناقص
		اطلاعات ثبت شده‌ی ناصحیح

ادراک	حافظه	تصمیم گیری	اقدام
تعصب به انتظار[1]	تداخل شباهت[8]	دانش نادرست	تنوع دستی[16]
سردرگمی مکانی[2]	بارگذاری بیش از حد ظرفیت حافظه	فقدان دانش	سردرگمی مکانی
سردرگمی ادراکی[3]	انتقال منفی[9]	عدم در نظر گرفتن اثرات جانبی	نفوذ عادت[17]
شکست ادراکی تبعیض[4]	اشتباه در یادگیری	شکست یکپارچگی[12]	سردرگمی ادراکی
تونل زنی ادراکی[5]	یادگیری ناکافی	عدم درک	اشتباه بیانی[18]
تحریک بیش از حد[6]	مشکل عدم تکرار (شکست حافظه ای به	تثبیت شناختی[13]	نفوذ محیطی[19]
عدم هوشیاری	علت اینکه حافظه به	فرض غلط	دیگر لغزش ها
حواس پرتی[7]	اندازه ی کافی به طور	شکست اولویت بندی	اشتغال
	متناوب استفاده نشد)	نفی خطر یا تحمل[14]	ذهنی/حواس
	انسداد حافظه[10]	شکست در شناخت	پرتی
	حواس پرتی/ اشتغال	خطر	
	ذهنی[11]	تصمیم یخی[15]	

[1] Expectation bias
[2] Spatial confusion
[3] Perceptual confusion
[4] Perceptual discrimination failure
[5] Perceptual tunnelling
[6] Stimulus overload
[7] Distraction
[8] Similarity interference
[9] Negative transfer
[10] Memory block
[11] Preoccupation
[12] Integration failure
[13] Cognitive fixation
[14] Tolerance
[15] Decision freeze
[16] Manual variability
[17] Habit intrusion
[18] Mis-articulation
[19] Environmental intrusion

ه.۴ تحلیل عوامل انسانی و طرح طبقه بندی (HFACS)

ه.۴-۱ مرور کلی (Overview)

HFACS توسط دانشمندان اخلاق در نیروی دریایی ایالات متحده توسعه داده شد و علت های خطا ی انسانی را مبتنی بر مدل دلیل، مورد تحلیل قرار داد (بند ب.۳ را ببینید) چهار سطح مبتنی بر تکه های پنیر سوییسی مدل دلیل وجود دارد:

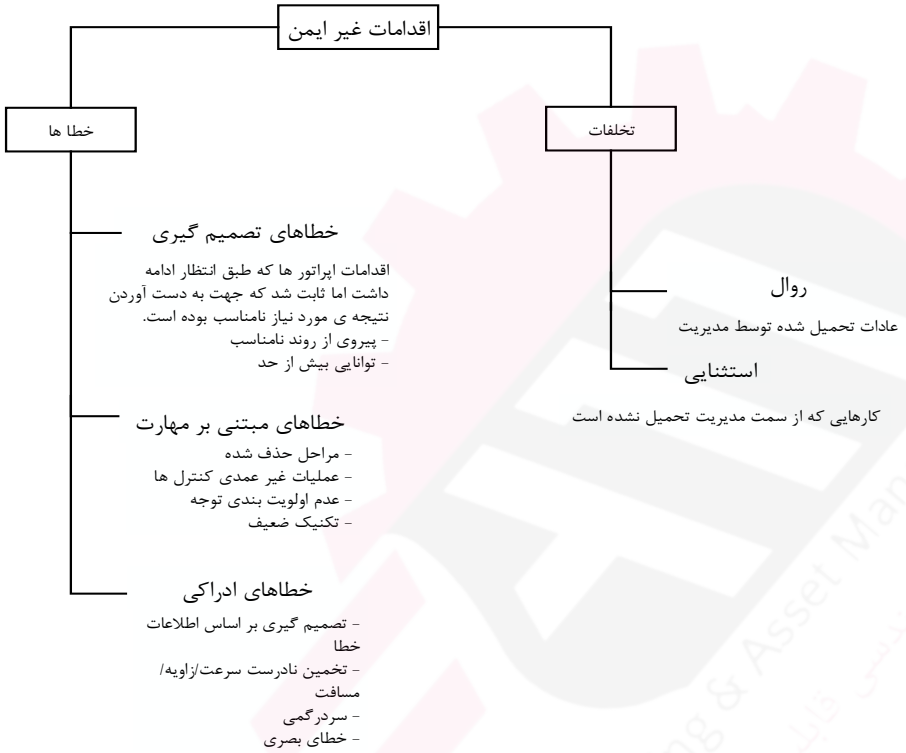
- تاثیرات سازمانی
- سرپرستی
- پیش زمینه ها برای اقدامات ناایمن
- اقدامات ناایمن

بعضی یک سطح را به عنوان سطح پنجم بالاتر از تاثیرات سازمانی اضافه می کنند که مرتبط با قانون گذاری و حکومت هست.

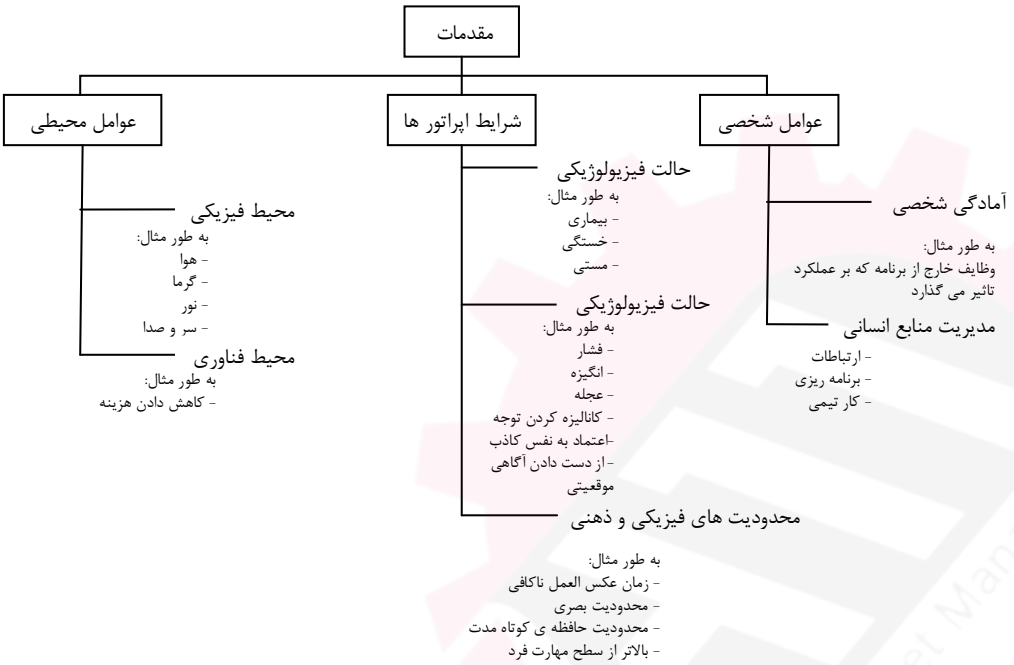
ه.۴-۲ فرآیند (Process)

هر سطح به گروه های تقسیم می شود. نمونه هایی از عوامل علّی در گروه، داده شده است. در کاربرد های مختلف، از گروه های یکسان استفاده می شود (در جعبه های زیر نشان داده شده است) اما ممکن است نمونه های مختلفی با توجه به صنعت داشته باشند و ممکن است نمونه های اندک یا چک لیست های دقیق بیشتری را فراهم کنند. نمونه هایی از چهار سطح در شکل های ه.۳ تا ه.۶ نشان داده شده اند.

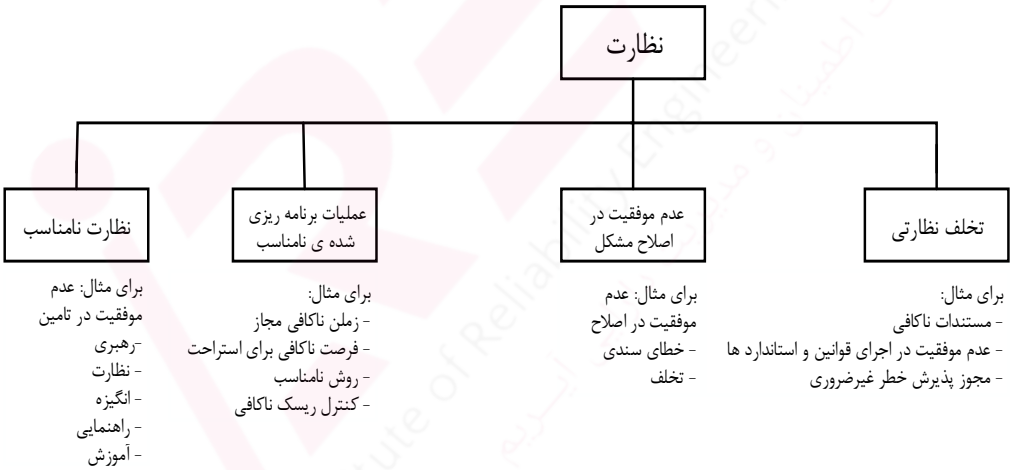
در نظر گرفتن علت ها با سطح ۱ شروع می شود به گونه ای که مقدمات برای اقدامات در پرسش بر نوع خطای موجود، تمرکز می کنند و سپس از طریق سطوح جست و جوی نقاط ضعفی که به وقوع رویداد کمک کردند، ادامه می یابد.



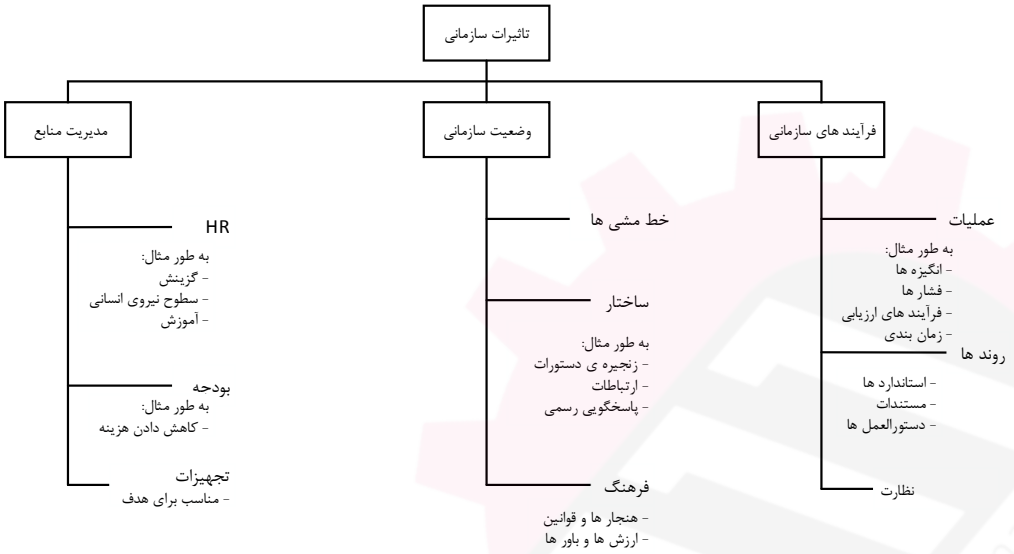
شکل ه.۳- سطح ۱: اقدامات ناایمن



شکل ۴.۵- سطح۲: مقدمات



شکل ۵.۵- سطح۳: مسائل نظارتی



شکل ه.۶- سطح۴: مسائل سازمانی

inestitute of reliability engineering and asset management www.i-REAM.com

فهرست منابع

[1] ISO Guide 73: 2009, *Risk management – Vocabulary*

[2] IEC 60300-1, *Dependability management – Part 1: Guidance for management and application*

[3] HADDON, W Jr., *Energy Damage and the Ten Counter-Measure Strategies*, The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 1973

[4] HOLLNAGEL, E., *Barriers and Accident Prevention*, Ashgate Publishing Limited, 2004

[5] REASON, J., *Human Error*, Cambridge University Press, 1990

[6] CHECKLAND, P., *Systems Thinking, Systems Practice: Includes A 30-Year Retrospective*, Wiley Pages: 416, 1999

[7] LEVESON, N., *Engineering a Safer World*, MIT Press, 2012

[8] RASMUSSEN, J., *Risk Management in a Dynamic Society: A Modelling Problem*, Safety Science Volume 27, Issue 2-3, Pages: 183-213, 1997

[9] Technical Research and Analysis Center: Events and Causal Factors Analysis, SCIEDOE- 01-TRAC-14-95, 1995

[10] BENNER, L. Jr., *Accident Investigations: Multilinear Event Sequencing Methods*, Journal of Safety Research 7, 67-73, 1975

[11] HENDRICK, K. and BENNER, L. Jr., *Investigating Accidents with STEP*, Marcel Dekker Inc, 1986

[12] MONTEAU, M., *Analysis and reporting: accident investigation*, Encyclopaedia of Occupational Health and Safety, 57-22:26, ISBN 1:92-2-1-103290-6, 1982

[13] SANDERS, J., *Introduction to Why-Because Analysis*, 2012

[14] US Nuclear Regulatory Commission: NUREG 0492, Fault Tree Handbook, January, 1981

[15] IEC 61025, *Fault tree analysis (FTA)*

[16] ISHIKAWA, K., *Guide to Quality Control,* Asia Productivity Organization, 1986
[17] FAHLBRUCH, B. and SCHÖBEL, M., SOL – *Safety through organizational learning: A method for event analysis.* Safety Science, Volume 49, Pages 27–31, 2011

[18] JOHNSON, W. and DEKKER, M.,:*MORT Safety Assurance Systems*, 1980

[19] SVEDUNG, J. and RASMUSSEN, J.,:*Graphic representation of Accident Scenarios:vMapping System Structure and the Causation of Accidents*, Safety Science, Volumev40, Pages 397-417, 2002

[20] SVEDUNG, J. and RASMUSSEN, J., *Risk Management in a Dynamic Society: AvModelling Problem*, Safety Science, Volume 27, Pages 183-213, 1997

[21] Energy Institute, *Tripod Beta: Guidance on the use of Tripod Beta in the investigation and analysis of incidents, accidents and business losses*, 2013 http:www.tripodfoundation.com

[22] IEC 61649, *Weibull analysis*

[23] IEC 61163-1, *Reliability stress screening – Part 1: Repairable assemblies manufactured in lots*

[24] IEC 62508:2010, *Guidance on human aspects of dependability*

[25] SHORROCK, S. and KIRWAN, B., *Development and application of a human error identification tool for air traffic control*, Applied Ergonomics, Volume 33, Pages 319–336, 2002

[26] SHAPPELL, S. and WIEGMANN, D., *Applying Reason: The Human Factors Analysis and Classification System (HFACS), Human Factors and Aerospace Safety*, Volume 1, Pages 59-86 , 2001

[27] ISO/IEC 31010:2009, *Risk management – Risk assessment techniques*

[28] ISO 31000: 2009, *Risk management – Principles and guidelines*