

تحلیل علل ریشه‌ای از کارافتادگی تجهیزات در صنعت نفت

علی عرب زاده*، معاونت امور مهندسی وزارت نفت • خلیل عرب‌زاده، شرکت نفت فلات قاره منطقه بهرگان • ملیحه کریمی، دانشگاه خلیج فارس بوشهر |

چکیده

امروزه بخش عظیمی از حوادث و رخدادها مربوط به دستگاه‌ها و تجهیزات در صنایع مختلف تکرارپذیرند. دستیابی به علل ریشه‌ای یک مشکل و جلوگیری از تکرار مجدد آن یا سایر مسائل مشابه، تنها در قالب یک فرایند سیستماتیک میسر است که قابل آموزش و کنترل نیز باشد. آنالیز علل ریشه‌ای^۱ یکی از شناخته شده‌ترین روش‌های حل مسئله است. بهره‌گیری از این آنالیز بعد از وقوع حوادث و پیشامدهای ناگوار و نامطلوب یکی از راهکارهای معتبر جهت جلوگیری از بروز این مشکلات و مواجهه با آنهاست. در روش آنالیز علل ریشه‌ای، علل وقوع و روابط علت و معلولی حاکم بر مسئله به شکلی ساختار یافته، عمیق و سیستماتیک مشخص و سپس راه‌حل‌هایی جهت حذف، تغییر و یا کنترل علل ریشه‌ای حادثه با هدف جلوگیری از تکرار آن توسط کارگروه آنالیز پیشنهاد می‌شود. بعد از آن، راه‌حل‌های پیشنهاد شده بر اساس دو معیار اثربخشی و قابلیت اجرا مورد ارزیابی دقیقی قرار گرفته و پالایش می‌شوند. در آخر، سازمان با پیگیری و پیاده‌سازی راه‌حل‌های منتخب، از تکرار مجدد مسئله جلوگیری خواهد کرد. مجموعه‌های صنعتی و نظامی می‌توانند با بهره‌گیری از یک روش آنالیز علل ریشه‌ای متناسب با سازمان خود، به شیوه‌های مختلف از فواید و مزایای این آنالیز برای حل مشکلات سازمان بهره‌مند شوند.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۵/۰۵/۲۱
تاریخ ارسال به داور: ۹۵/۰۵/۲۱
تاریخ پذیرش داور: ۹۵/۰۸/۲۰

واژگان کلیدی:

تحلیل علل ریشه‌ای، رخدادها، روابط علت و معلولی، صنعت نفت

مقدمه

در صنایع گوناگونی چون صنایع هوا و فضا، هسته‌ای، نفت و گاز، تأسیسات، برق و مخابرات، صنایع معدنی و غیره شده و تصور کارکرد صنایع پیشرو بدون بهره‌گیری از تکنیک‌های RCA ممکن نیست.

آنالیز علل ریشه‌ای، فرآیندی ساختار یافته به منظور شناسایی روابط علت و معلولی^۲ وقوع خرابی یا حوادث ناخوشایند در سازمان با هدف جلوگیری از تکرار خرابی و یا کاهش پیامدهای مرتبط با آن است.

تمام سازمان‌های تجهیز محور با خرابی یا حوادثی روبه‌رو هستند که بعضاً منجر به توقفات تولید، افزایش هزینه‌های مرتبط با نگهداری و تعمیرات^۳ و دوباره کاری می‌شوند. اینگونه خرابی‌ها در بسیاری موارد در طول زمان در سازمان تکرار شده و اغلب ائتلاف منابع سازمان را در پی دارند. جلوگیری از تکرار اینگونه حوادث از اهمیت زیادی برای مدیران برخوردار است. [۲]

در تحلیل علل ریشه‌ای وقایع، با جمع‌آوری و بررسی شواهد موجود در زمینه عیب یا حادثه مورد نظر، نسبت به شناسایی و تحلیل علل ریشه‌ای وقوع عیب و تعیین، پیاده‌سازی و پیگیری راهکارهای اصلاحی مؤثر جهت جلوگیری از تکرار مجدد آن

پیشرفت دانش و تکنولوژی، اکثر فرآیندها و تجهیزات صنعتی را نسبت به گذشته پیچیده‌تر کرده است که این مسئله شناخت پارامترها و دلایل واقعی مؤثر بر نحوه عملکرد، عوامل خرابی و یا عوامل وقوع حوادث ناگوار و نامطلوب در صنایع را تبدیل به امری دشوار می‌نماید. وقوع حوادث غیرمترقبه‌ای مانند آنچه ناشی از خرابی‌های تصادفی و غیرتصادفی و یا اشتباهات فرآیندی است، پیامدهای ایمنی و عملیاتی مهمی را برای مجموعه‌های صنعتی به همراه دارد. جلوگیری از تکرار چنین حوادثی و افزایش قابلیت اطمینان تجهیزات و تأسیسات، از چالش‌های مهم پیش‌روی صنایع امروزی است. با توجه به عوامل متعدد اثرگذار، ماهیت پیچیده و ظرافت‌های خاص موجود در فرآیند کاری صنایع، چاره‌جویی برای جلوگیری از تکرار بسیاری از حوادث ناخوشایند، نیازمند انجام بررسی‌ای دقیق، فنی و کارشناسی، با بهره‌گیری از روشی استاندارد، کارا و تخصصی در این خصوص است. یکی از روش‌های استاندارد و معتبر در این زمینه، بهره‌گیری از روش تحلیل علل ریشه‌ای است. [۱]

امروزه روش‌های آنالیز علل ریشه‌ای تبدیل به جزئی جدایی‌ناپذیر

* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (a.arabzadeh@mop.ir)

سازمان ما در حال افزایش بهره‌وری و کارایی است. در حالی که ممکن است در عمل این‌گونه نباشد. بنابراین، در آنالیز علل ریشه‌ای خرابی سازمان، با بررسی و آنالیز علل ریشه‌ای یک مسئله، به صورت ساختار یافته‌ای، علت‌ها را ریشه‌یابی و راهکارهای مناسب جهت جلوگیری از وقوع مجدد آنها ارائه می‌کنند [۴].

۲-۲- گام‌های اصلی

فرایند تحلیل علل ریشه‌ای عیوب از چهار گام اصلی تشکیل شده که البته تمامی این گام‌ها دارای همپوشانی و حتی در صورت نیاز امکان بازگشت به عقب هستند:

۲-۱- گام اول: تدارک مقدمات و تعریف مسئله

در گام اول برخی مقدمات شامل دریافت گزارش عدم تطابق جهت تحلیل، بررسی و مقایسه آن با معیارها و اولویت‌ها، تشکیل تیم (و در صورت نیاز برگزاری آموزش) و همچنین جمع‌آوری اولیه برخی شواهد، اسناد و داده‌ها انجام و در اولین جلسه رسمی تحلیل، نسبت به تعریف مسئله اقدام می‌شود. به‌عنوان نمونه راهنما، کمیته RCA اولین باری که می‌خواهد به تعریف معیار آستانه‌ای بپردازد می‌تواند کلیه خرابی‌ها، حوادث یا عدم تطابق‌های یک یا چند سال گذشته را جمع‌آوری نموده و بر اساس ارزیابی پیامد و تخمین احتمال وقوع آنها، ریسک هر مورد را محاسبه نماید. سپس با استفاده از روش جدول پارتو^۱، معیار آستانه‌ای ریسک برای ۲۰ درصد عدم تطابق‌های پُریسک‌تر را محاسبه نموده و به‌عنوان معیاری برای تصمیم‌گیری نسبت به تأیید یا عدم‌تأیید عدم تطابق گزارش شده جهت تحلیل (رسمی) علل ریشه‌ای مورد استفاده قرار دهد. برای مطالعه عمیق‌تر در مورد ریسک و ارزیابی آن، مرجع شماره [۵] و فصل هفتم مرجع [۶] توصیه می‌شوند. استفاده از روش‌های دیگری مانند آنالیز هزینه-فایده^۲، ماتریس‌های تصمیم‌گیری چند بُعدی و نمودارهای Jack Knife نیز می‌تواند جهت اولویت‌بندی و تعریف معیارهای آستانه‌ای مفید باشند.

۲-۲- گام دوم: تحلیل علت و معلولی

در ادامه، اعضای تیم تحلیل نسبت به ایجاد و توسعه روابط علت و معلولی مسئله اقدام می‌نمایند. این مرحله عمدتاً به صورت طوفان فکری^۳ (با رعایت اصول مربوطه) است؛ سپس با جمع‌آوری و بررسی شواهد لازم، مسیرهای علت و معلولی قطعی و احتمالی، تعیین و اعتباردهی می‌شوند. در این

اقدام می‌گردد. با استفاده از این تحلیل لازم است تا راهکارهای اصلاحی یا پیشگیرانه اتخاذ گردد.

تحلیل علل ریشه‌ای خرابی‌ها و رخدادهای نامنتظر با هدف جلوگیری از تکرار چنین وقایعی، حلقه‌ای کلیدی در تکمیل چرخه بهبود مستمر است. چنانچه در استاندارد PAS ۵۵ نیز تشریح شده سازمان‌ها باید رویه (ها) و فرایند (ها)ی را برای بررسی و رسیدگی به خرابی‌ها، پیشامدهای حوادث و عدم تطابق‌های^۴ مرتبط با دارایی‌های فیزیکی^۵، سیستم‌ها و فرایند مدیریت دارایی‌ها ایجاد، اجرا و نگهداری کنند [۳]. این موضوع همیشه دغدغه‌ای جدی برای مدیران صنعت نفت بوده و البته در پیاده‌سازی، دشواری‌های خاص خود را به همراه داشته است. در صورتی که با عمق و تأثیرگذاری کافی به ریشه‌های خرابی‌ها، حوادث و سایر رخدادهای نامنتظر پرداخته نشود و در شلوغی فعالیت‌های روزمره فقط اقداماتی جهت رفع آثار این مشکلات صورت گیرد، شکی نیست که این مشکلات دوباره بازگشته و این بار شاید در نقطه‌ای حساس‌تر ضربه را وارد کنند. در صورتی که هوشمندانه این موضوع دیده نشود و چاره‌ای برای آن لحاظ نگردد، چنین چرخه معیوبی بارها تکرار خواهد شد. یک متدولوژی موثر برای آنالیز علل ریشه‌ای باید بتواند کار گروهی و مشارکت در جستجو و به اشتراک گذاشتن اطلاعات را تقویت و درکی بسیار روشن از روابط علت و معلولی در پس مشکل ایجاد نموده و توانایی کشف و به‌کارگیری موثرترین راهکارها را برای جلوگیری از تکرار هرچه بیشتر تقویت نماید.

۱- چرا تحلیل علل ریشه‌ای خرابی‌ها؟

سازمان‌ها اغلب با مسائل در قالب راه‌حل‌های کوتاه‌مدت (نه حل ریشه‌ای آن) برخورد می‌کنند. با این حال تکیه بر راه‌حل‌های سریع سبب می‌شود تا نیروهای کار در دسترس، یک کار مشخص را بارها و بارها به علت عدم ریشه‌یابی صحیح تکرار کنند. بدیهی است تمرکز بر راه‌حل‌های سریع ریشه‌یابی نشده برای سازمان نه تنها منفعت و سودآوری ایجاد نمی‌کند بلکه مانع رشد و شکوفایی سازمان می‌شود.

زمانی که افراد یک سازمان با مسائل و خرابی‌ها به صورت Fire fighting عمل می‌کنند، در واقع تعداد زیادی منابع انسانی به دلیل شمار زیاد فعالیت‌هایی که انجام می‌دهند، مشغولیت زیادی دارند و ممکن است همیشه تند و سریع عمل کنند در حالی که این دام و فریبی نهفته در دل آن صنعت است. با شتابزدگی و سریع‌تر عمل کردن این تصور القا می‌شود که

در شناسنامه شاخص اقدام نموده و در صورت نزولی بودن روند شاخص‌های مذکور، نسبت به تکمیل فرم گزارش عدم تطابق به‌همراه گزارش‌های مرتبط برای کمیته RCA مجتمع / منطقه اقدام می‌نمایند.

۳-۳- روش سوم: گزارش مستقیم عدم تطابق

کارشناسان و مسئولان واحدهای مختلف بهره‌برداری، مهندسی، خدمات فنی و تعمیرات مجتمع / منطقه، می‌توانند براساس احساس نیاز نسبت به تکمیل فرم "گزارش عدم تطابق جهت تحلیل علل ریشه‌ای" اقدام نمایند.

۴- معیار آستانه‌ای

معیار آستانه‌ای تأیید نیاز به انجام تحلیل رسمی علل ریشه‌ای در هر سه روش فوق، پیامدهای وقوع عدم تطابق است. در صورتی که با وقوع آن، پیامدهای مشروحه زیر به‌وجود آمده باشد، عدم تطابق مذکور باید برای تحلیل و ریشه‌یابی انتخاب شود: - عدم تطابق منجر به هرگونه آسیب‌دیدگی (یا فوت) پرسنل شرکت که باعث عدم توانایی حضور در محل کار شود.

- عدم تطابق منجر به هرگونه نقض الزامات محیط زیستی
- عدم تطابق منجر به ایجاد هزینه بابت اتلاف انرژی، توقف غیرمجاز عملیات، تعمیرات، شکایت مشتری، تناوب بروز خرابی یا نقض هرگونه الزامات دیگر؛ که برای هر کدام از این موارد هزینه‌ای، انجام آنالیز تخمینی سود - هزینه (شامل اجرای خودتحلیل ریشه‌ای و راهکارهای خروجی‌اش) جهت تأیید شروع تحلیل لازم است.

همچنین انجام تحلیل علل ریشه‌ای برای موارد استثنائی دیگری که به‌هردلیلی شامل سه‌دسته پیامدهای ذکر شده در بالا نباشند، نیز با نظر موافق مدیر مربوطه و کمیته RCA به‌صورت موردی ممکن است. به‌عنوان مثال، ریسک قریب‌الوقوعی که هنوز منجر به وقوع عدم تطابق و پیامد منفی نشده است؛ و یا رویدادی که منجر به پیامدهای شدید نشده ولی در صورتی که مختصری شرایط متفاوت می‌بود می‌توانست پیامدهای جدی در پی داشته باشد. معیارهای آستانه‌ای مربوط به وقایعی که نیاز به انجام تحلیل علل ریشه‌ای دارند، در سازمان باید جهت اطلاع و استفاده با تمامی طرف‌های مربوطه مورد اطلاع‌رسانی و تبادل نظر قرار گرفته باشند. در صورت وجود تعداد عدم تطابق بیش از توان تحلیلی پرسنل مربوطه، تا زمان تامین منابع کافی، استفاده از روش‌های اولویت‌بندی بر اساس سود - هزینه، ریسک، پارتو و یا به‌صورت ترکیبی از این روش‌ها توسط کمیته RCA توصیه می‌شود [۱۱].

مرحله، حرکت از نقطه وقوع عدم تطابق رو به عقب انجام می‌شود. بدین ترتیب توانایی شناسایی روابط علت و معلولی و حل موثرتر مشکل افزایش می‌یابد [۷].

۲-۳- گام سوم: شناسایی و تعیین راهکار

در گام سوم و طی جلسات مبتنی بر طوفان فکری در کل سطوح علل شرایطی^{۱۱} و کششی^{۱۲} شناسایی و اعتباردهی شده، اقدام به پیشنهاد راهکار اصلاحی گردیده و سپس بر اساس معیارهای ارزیابی راه‌حل، بهترین و کارآمدترین راهکارها جهت پیاده‌سازی انتخاب می‌شوند.

۲-۴- گام چهارم: پیاده‌سازی، پیگیری و ارزیابی اثربخشی اجرای

RCA

در این گام راهکارهای اصلاحی تعیین شده بر اساس برنامه اجرایی مصوب، اجرا و پیاده‌سازی گردیده و پس از دوره‌های از قبل تعیین شده، مورد پیگیری قرار می‌گیرند. همچنین، به‌صورت سالانه نسبت به ارزیابی اثربخشی اقدامات انجام شده و تعیین میزان صرفه‌جویی حاصله اقدام می‌گردد.

۳- ورودی فرایند

ورودی فرایند، انتخاب عدم تطابق برای تحلیل و تکمیل فرم "گزارش عدم تطابق جهت تحلیل علل ریشه‌ای" است. انتخاب عیب برای تحلیل می‌تواند از سه طریق انجام پذیرد:

۳-۱- روش اول: بررسی دوره‌ای سوابق تعمیرات

در این حالت، سوابق تعمیر تجهیزات به‌صورت سالانه و براساس مکانیزم تصمیم‌گیری مرتبط با پیامدهای وقوع عیب، اولویت‌بندی شده و سوابق نیازمند تحلیل مشخص می‌شود. در این راستا می‌توان استفاده از شاخص Worst Actors (براساس توصیه استاندارد ISO14224) که در آن، تجهیزات با بیشترین خرابی و همچنین خرابی‌های با بیشترین تکرار در تجهیزات مذکور تعیین می‌شود، استفاده نمود [۸].

۳-۲- روش دوم: ارزیابی شاخص‌های کلیدی عملکرد^{۱۳}

در این روش واحدهای برنامه‌ریزی در هر مجتمع / منطقه نسبت به ارزیابی روند تغییر در شاخص‌های کلیدی عملکرد مانند MTBF^{۱۴} (میانگین فاصله زمانی بین خرابی تجهیزات)، Availability (قابلیت دسترسی تجهیزات) و سایر شاخص‌های عملکردی که در سازمان جهت اطمینان از عملکرد تجهیزات در راستای اهداف استراتژیک تعریف شده‌اند، بر اساس فواصل زمانی مقرر شده

۵- جزئیات مهارتی متدلوژی تحلیل علل ریشه‌ای

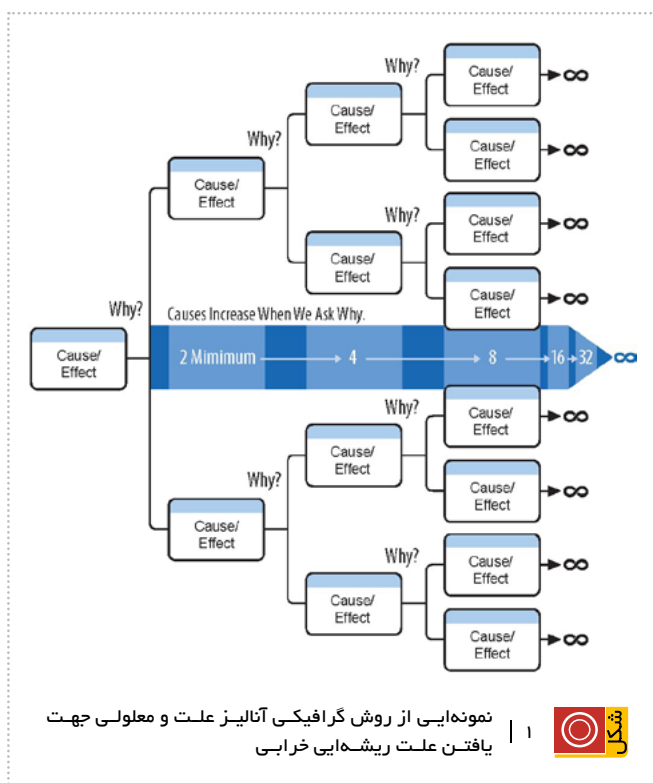
روند کلی تحلیل از طریق تعریف دقیق و مورد توافق تمامی اعضای هیات، سپس آنالیز علت معلولی و نمایش گرافیکی آن و همچنین اضافه کردن شواهد و راه‌حل‌ها به این نمودار علت و معلولی انجام می‌شود. نمونه‌ای از روش گرافیکی آنالیز علت و معلولی جهت یافتن علت ریشه‌ای خرابی‌ها که به روش آنالیز علل ریشه‌ای ایپولو^{۱۴} معروف است در شکل ۱- نشان داده شده است [۱۲]. امروزه حرکت به سوی چنین رویکرد جامع و روانی در بسیاری از سازمان‌های معتبر کلاس جهانی دیده می‌شود. از پرچم‌داران چنین رویکردی می‌توان به موسسات RealityCharting، ApolloRCA، و Think-Reliability اشاره نموده که آموزش مهارت‌ها و پیاده‌سازی را در سازمان‌ها و شرکت‌های پیشرو زیادی در پنج قاره دنیا با موفقیت انجام داده‌اند.

باتوجه به نکات ریز و تکنیکی فراوان در تحلیل آنالیز علل ریشه‌ای، جزئیات مهارتی بیشتر در "راهنمای آنالیز علل ریشه‌ای" مرجع شماره [۱۱] تشریح شده و تبحر کامل اعضای کمیته‌ها و تسهیل‌گران RCA بر این مفاهیم و جزئیات الزامی است. همچنین کتاب RealityCharting [۹] نیز به‌عنوان مرجع کمکی مناسبی جهت افزایش مهارت‌های تحلیل علل ریشه‌ای قابل استفاده است.

لازم به ذکر است که متدهای RCA طی سال‌های اخیر تحولات زیادی پیدا کرده به‌گونه‌ای که متدهای آینده را باید متدهای متکی بر روابط علی و معلولی مستقیم نامید و این موضوع در استانداردهای قدیمی و نحوه تکامل آنها در دو دهه اخیر نمایان است. به‌طور مثال در سند قدیمی (۱۹۹۲) راهنمای وزارت انرژی ایالات متحده آمریکا برای تحلیل علل ریشه‌ای [۱۰] روش کار پیشنهادی چنین بوده که تعدادی از روش‌های مختلف آنالیز معرفی شده (مانند ECF^{۱۵}، آنالیز Change و آنالیز Barrier) و هیأت تحلیل‌کننده‌ی مشکل باید بر حسب برداشت آنها از طبیعت مشکل، یکی را انتخاب می‌نمود. این در حالی است که بسیاری از این روش‌ها با هم همپوشانی داشته و البته هر کدام به‌تنهایی دارای نواقصی بوده و دستیابی به راهکارهای بهینه را تضمین نمی‌کنند. برای مثال، امروزه روش‌های آنالیز Change و Barrier به‌عنوان روش‌های غیر کارآمد تحلیل‌عیوب ریشه‌ای از مثال‌های رایج بسیاری از مدرسان و مشاوران هستند؛ چراکه عدم توانایی در شناسایی تمامی علل تأثیرگذار و ایجاد درکی صحیح بین روابط آنها، عدم بررسی شواهد و میزان اعتبار آنها برای علل مختلف، عدم نفوذ به لایه‌های عمیق‌تر علل و از

همه مهم‌تر انتخاب راهکارها به‌صورت غیرساختار یافته و امکان پنهان ماندن راه‌حل‌های موثر از مشکلات بارز این روش‌ها هستند. در مورد ECF نیز باید گفت که این روش عملاً بر پایه نمایش گرافیکی علت و معلولی استوار است و تفاوت ساختاری معناداری با سایر روش‌های دیگری مانند Reality Charting، Logic Tree، Cause Mapping و یا Fault Tree نداشته و عملاً فقط نوع نگاه و سطح و روش استفاده از برخی جزئیات در این روش‌ها، آنها را از هم متفاوت می‌کند؛ مثلاً در Logic Tree گیت‌های منطقی and و or اضافه شده و در Reality Charting جزئیات معناداری مانند شواهد و راه‌حل‌ها نیز در همان نمایش گرافیکی جای می‌گیرد و برخی افقی و بعضی دیگر نمایش عمودی همان اطلاعات هستند که در این بین ECF کمتر از بقیه توسعه یافته است؛ حتی اگر علل خرابی از نمایش گرافیکی به درون جداول انتقال داده شود، حاصل، چیزی جز FMEA^{۱۶} نخواهد بود.

گذاشتن این ابزارها به‌عنوان روش‌های مختلف و مجزای آنالیز بر روی میز می‌تواند احتمال حل ناکارآمد مسئله را افزایش دهد؛ اگرچه در صفحه ۱۱ سند راهنمای فوق‌الذکر که در سال ۱۹۹۲ توسط وزارت انرژی ایالات متحده منتشر شده به صراحت در جدولی به مزایا و معایب روش‌هایی مانند آنالیز Change، Barrier و ECF برای استفاده به‌صورت جداگانه پرداخته شده است؛ در رویکردی محافظه‌کارانه اما



با شناسایی دلیل ریشه‌ای این حوادث می‌توان از وقوع آنها جلوگیری کرد، استفاده از روش‌های مختلف تحلیل ریشه‌ای علل خرابی‌ها و رخدادها می‌تواند در پیش‌گیری از این حوادث بسیار موثر باشد. چنانچه روش‌های تحلیل ریشه‌ای علل وقایع در شرکت‌ها نهادینه شود، باعث ایجاد دستورالعمل‌های پیش‌گیری از وقایع شده و این دستورالعمل‌ها می‌تواند بین سازمان‌های مختلف به اشتراک گذاشته شود تا از تکرار حوادث مشابه جلوگیری گردد.

پیاده‌سازی آنالیز علل ریشه‌ای شامل چهار مرحله اصلی است:

- تدارک اولیه و تعریف مسئله
- ایجاد شبکه علت و معلولی حاکم بر مسئله
- شناسایی راه‌حل‌های ممکن و انتخاب راه‌حل‌های موثر به منظور حذف / تغییر / کنترل علل ریشه‌ای
- به‌کارگیری بهترین راه‌حل‌ها و پیگیری‌های مربوطه
- برخی از مهمترین فواید به‌کارگیری روش آنالیز علل ریشه‌ای عبارتند از:
- الف) حل مشکلات واقعی مجموعه به‌صورت ریشه‌ای
- ب) افزایش قابلیت اطمینان و ایجاد محیط کاری ایمن‌تر
- ج) کاهش هزینه‌ها

متفاوت می‌توان ملاحظه کرد وزارت انرژی آمریکا در سندی که در سال ۲۰۱۲ منتشر نمود، یک روش مبتنی بر روابط علی و معلولی را ستون فقرات آنالیزهای RCA اش معرفی کرده و استفاده از سایر روش‌ها را به‌ترتیب فقط پس از تشکیل نمودار علت و معلولی لازم دانسته و کلاً چیزی به‌عنوان استفاده مجزا از این روش‌ها بر حسب نوع مسئله و سلیقه مهندس دیگر مطرح نیست. همانطور که گفته شد حرکت جهانی رو به مسیر مشخصی است که بر مبنای اصول ساختار یافته علت و معلولی شناخته شده و آزموده شده استوار است.

یکی از پیش‌روترین روش‌ها در این زمینه روش Apollo RCA است که در بسیاری از بخش‌های صنعتی متریکی جای پای محکمی برای خود باز کرده است. در این روش از یک نمایش گرافیکی علت و معلولی قوی استفاده و در مراحل مختلف و بر حسب نیاز مسئله از سایر ابزارها نیز کمک گرفته می‌شود. متدولوژی تشریح شده در این روش اجرایی نیز بر پایه‌های مستحکمی از روش ذکر شده در بالا بنا شده است. [۱۱]

نتیجه‌گیری

با توجه به حوادث و رخدادها تکراری در صنعت نفت و اینکه

پانویس‌ها

- | | | |
|---------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| 1- Root Cause Analysis (RCA) | 7- Pareto chart | 13- Mean Time Between Failure |
| 2- Cause and effect relationship | 8- Cost - Benefit Analysis | 14- Apollo Root Cause Analysis |
| 3- Maintenance | 9- Brainstorming | 15- Event and Causal Factor Analysis |
| 4- Nonconformity | 10- Conditional | 16- Failure Mode and Effects Analysis |
| 5- Physical Assets | 11- Action | |
| 6- Root Cause Failure Analysis (RCFA) | 12- Key Performance Indicators | |

منابع

- [1] www.pamco.ir
- [2] http://www.itcen.ir
- [3] British Standard Institution, Asset Management (PASS 55-1:2008).
- [4] Institute of reliability engineering & asset management) i-ream.ir
- [5] RAUSAND, M., RISK ASSESSMENT: Theory, Methods, and Applications 2011, WILEY: USA.
- [6] Campbell, J.D., A.K.S. Jardine, and J. McGlynn, ASSET MANAGEMENT EXCELLENCE: Optimizing Equipment Life-Cycle Decisions. 2nd ed. 2011, USA: Taylor & Francis.
- [7] DOE HANDBOOK - Accident and Operational Safety Analysis - Volume I: Accident Analysis Techniques. 2012, U.S. Department of Energy (DOE): USA, Washington.
- [8] ISO 14224: Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment 2006, ISO.
- [9] Gano, D.L., Reality Charting: Seven Steps to Effective Problem-Solving and Strategies for Personal Success. 2011, Apollonian Publication: Washington, USA.p.195.
- [10] DOE GUIDELINE: ROOT CAUSE ANALYSIS GUIDANCE DOCUMENT. 1992, DOE: Washington, D.C.
- [۱۱] سید عماد حسینی، علیرضا اصل عربی، (۱۳۹۳) روش اجرایی تحلیل علل ریشه‌ای وقایع (خرابی‌ها و رخدادهای نامنتظر)، شماره سند DEA-DSM-RCA-01
- [12] https://www.epsrc.com/about-apollo-rca-3/