

پیاده‌سازی و کاربرد روش بازرسی بر مبنای ریسک در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی

بهنام مرادی^۱، کارشناسی ارشد مدیریت HSE دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

چکیده

توسعه‌ی نگرش مدیریت مبتنی بر مولفه‌های ریسک در صنایع نفت و پتروشیمی بستر لازم جهت ارتقا و تدوین استراتژی‌های نوین بازرسی و نگهداشت تجهیزات را فراهم آورده است. هدف از این مطالعه، پیاده‌سازی و کاربرد روش بازرسی بر مبنای ریسک (RBI) در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی است. در این روش، ریسک بر اساس دو عامل مستقل تحت عنوان احتمال وقوع از کارافتادگی (POF) و پیامد وقوع از کارافتادگی (COF) تعیین می‌شود. در این مطالعه‌ی مروری کاربردی بدون محدودیت زمانی پژوهش‌های انجام شده در این زمینه جستجو و یافته‌های آنها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بررسی نتایج مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که به کارگیری این روش در صنایع فرآیندی، مزایای زیادی دارد و منجر به ایجاد یک سیستم یکپارچه به منظور مدیریت دارایی‌ها و ریسک‌های ناشی از مکانیزم‌های خرابی می‌شود. نتایج نشان داد که با پیاده‌سازی و اجرای این روش در صنایع ذکر شده، می‌توان با توجه به شرایط فرآیندی شکست‌ها و مکانیزم‌های خرابی تجهیزات و فرآیند را شناسایی و پس از ارائه‌ی برنامه‌های بازرسی با فواصل مشخص، در نهایت اقدامات کنترلی را به منظور پیشگیری از بروز حوادث فاجعه بار تدوین کرد.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۹/۰۲/۱۶

تاریخ ارسال به داور: ۹۹/۰۳/۱۹

تاریخ پذیرش داور: ۹۹/۰۶/۲۲

واژگان کلیدی:

بازرسی بر مبنای ریسک (RBI)، ریسک، احتمال وقوع از کارافتادگی، پیامد وقوع از کارافتادگی، صنایع فرآیندی.

مقدمه

فاکتورهایی که در از دست دادن سیال (نشستی) دخیل هستند شامل: از کارافتادگی مکانیکی ۴۱ درصد، خطای عملیاتی ۲۰ درصد، آشفستگی فرآیند ۸ درصد، خطای طراحی ۴ درصد، آتش‌سوزی و خرابکاری عمدی ۳ درصد، بلایای طبیعی ۶ درصد و موارد ناشناخته ۱۸ درصد است، به گونه‌ای که نشستی‌های صورت گرفته در این صنایع در سیستم خطوط لوله ۲۸ درصد، مخازن ۱۵ درصد، رآکتورها ۱۱ درصد، درام‌ها ۸ درصد، پمپ‌ها و کمپرسورها ۷ درصد، مبدل‌های حرارتی ۶ درصد، برج‌ها ۵ درصد، هیترها و بویلرها ۴ درصد و سایر موارد ۱۶ درصد بوده و خسارات ناشی از این نشستی‌ها در سه دهه بین ۱ تا ۴ میلیارد دلار تخمین زده شده است. [۵ و ۶] این موضوع سبب شده است که تمایل جدی برای استفاده از عامل ریسک به عنوان یک معیار برای برنامه‌ریزی اقدامات نگهداری و تعمیرات و همچنین بازرسی ایجاد شود. [۷]

بازرسی بر مبنای ریسک (RBI) یک روش نوین در مدیریت بازرسی است که توسط موسسه‌ی نفت آمریکا ارائه شده است (API^۲) و از ریسک به عنوان اساس اولویت‌بندی و مدیریت برنامه‌های بازرسی و ارزیابی ریسک به منظور برنامه‌ریزی، توجیه و تفسیر نتایج حاصل از بازرسی آزمایش و پایش استفاده می‌کند. [۸ و ۹]

صنایع فرآیندی همانند نفت، گاز و پتروشیمی اغلب با مواد شیمیایی پرخطر و واحدهای عملیاتی تحت شرایط دما و فشار بالا نظیر رآکتورها و مخازن ذخیره سروکار دارند، بنابراین احتمال وقوع حوادثی از قبیل انفجار، آتش‌سوزی و نشت مواد سمی در آنها وجود دارد. [۱] حوادث این صنایع به خاطر شرایط حاد فرآیندی، مقدار زیاد مواد قابل اشتعال و انفجار، تراکم بالای تجهیزات و افراد از منظر خسارت‌های جانی، اقتصادی، زیست‌محیطی و آسیب به شهرت و آوازه‌ی شرکت‌ها می‌تواند بسیار فاجعه‌آمیز و متفاوت‌تر از سایر صنایع باشد. [۲] به همین دلیل سازمان‌ها به دنبال روش‌هایی هستند که هزینه‌های عملیاتی، نگهداری و تعمیرات، بازرسی و همچنین هزینه‌های ناشی از بروز حوادث گوناگون را کاهش دهند. [۳] اخیراً توجه زیادی نسبت به مقوله‌ی ریسک و روش‌های مبتنی بر ریسک جهت تدوین استراتژی‌های بازرسی، نگهداری و تعمیرات و مدیریت در صنایع فرآیندی نفت، گاز، پتروشیمی و صنایع نیروگاهی سراسر جهان از جمله ایران شده است. در واقع به اجرای سیستم مدیریت بازرسی بر مبنای ریسک در واحدهای فرآیندی حساس مانند پتروشیمی‌ها و پالایشگاه‌ها توجه خاصی شده است. [۴] به طوری که مطالعات نشان می‌دهند که در این صنایع،

* نویسنده‌ی عهد‌دار مکاتبات (b.moradi@sbm.ac.ir)

و تعمیرات، کاهش ریسک، افزایش فاصله‌ی بازرسی‌های فنی و تعمیرات دوره‌ای اشاره کرد. [۱۷-۱۵] بنابراین با توجه به موارد ذکر شده، هدف از این مطالعه، پیاده‌سازی و کاربرد روش بازرسی بر مبنای ریسک در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی است.

معرفی بازرسی بر مبنای ریسک

هر واحدی دارای تعداد بسیاری از تجهیزاتی است که باید مورد بازرسی قرار گیرند و زمان بین این بازرسی‌ها نباید زیاد طولانی شود. این امر می‌تواند باعث ایجاد یک چالش بزرگ در صنایع شود. سودمندی این چالش می‌تواند منجر به ایجاد لیستی از اولویت‌بندی تجهیزاتی شود که باید مورد بازرسی قرار گیرند، شود. بازرسی بر مبنای ریسک برای انجام این کار مورد استفاده قرار می‌گیرد. تمرکز اصلی این فرآیند بر روی بازرسی^۵، مدیریت یکپارچه‌گی^۶، نگهداری و تعمیرات^۷ و همچنین کاهش پیامدهای ناشی از وقوع از کارافتادگی سیستم است. [۱۸] بر اساس استاندارد API، RBI-۵۸۰، با سه روش انجام می‌شود:

- ۱- کیفی^۸
- ۲- نیمه کمی^۹
- ۳- کمی^{۱۰}

روش کیفی

این روش نیازمند داده‌های ورودی بر اساس اطلاعات توصیفی و با استفاده از داوری و تجربه‌ی مهندسی به‌عنوان پایه‌ای برای آنالیز احتمال و پیامد از کارافتادگی است. ورودی‌ها غالباً به‌صورت محدوده‌هایی از اطلاعات به‌جای اعداد دقیق می‌باشند و نتایج غالباً به‌صورت کیفی ارائه می‌شوند (زیاد، متوسط و کم)، همچنین ممکن است اعداد نیز به این دسته‌ها اختصاص داده شود.

روش کمی

آنالیز کمی ریسک از مدل‌های منطقی برای ترسیم ترکیب رویدادهایی که می‌تواند منجر به بروز حوادث شدیدی شود و همچنین مدل‌های فیزیکی که پیشرفت حوادث و انتقال یک ماده‌ی خطرناک به محیط را ترسیم می‌کند استفاده می‌کند. نتایج حاصله از این روش عمدتاً به‌صورت اعداد ریسک بیان شده و این روش دقیق‌ترین و جزئی‌نگرترین سطح ارزیابی ریسک است.

بر اساس تعریف ارائه شده در استاندارد API-۵۸۰ و API RP-۵۸۱، ریسک یک مفهوم ریاضی است که از حاصل ضرب دو مولفه‌ی احتمال وقوع خرابی^۲ (POF) و پیامد وقوع خرابی^۴ (COF) در یک بازه‌ی زمانی مشخص به‌دست می‌آید. بنابراین مطالعه‌ی ریسک به‌منظور پیشگیری از زیان‌ها و نتایج نامطلوب وقایع انجام می‌شود. [۱۰]

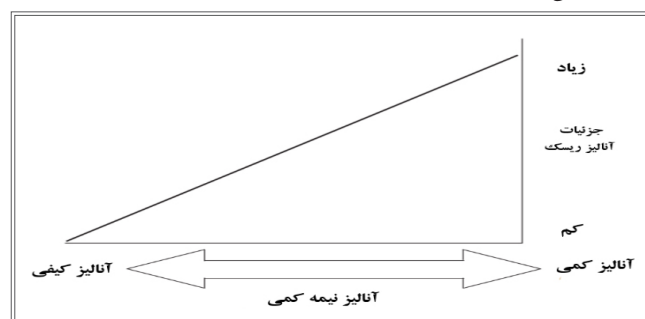
اگرچه ارزیابی ریسک مفهوم جدیدی نیست، اما به‌کارگیری ریسک جهت اولویت‌بندی بازرسی دستگاه‌ها و تجهیزات هنوز در ابتدای راه قرار دارد. [۱۱] در این روش بازرسی و منابع، بر دستگاه‌هایی با بالاترین احتمال ریسک و پیامدهای وقوع خرابی متمرکز می‌شود. در واقع عملی پیشگیرانه است که از وقوع خرابی‌ها و از کارافتادگی تجهیزات و فرآیند، ممانعت به‌عمل می‌آورد.

هدف از بازرسی بر مبنای ریسک تمرکز بر قطعات بحرانی است. منظور از قطعه‌ی بحرانی قطعه‌ای است که در معرض بیشترین ریسک قرار دارد. از لحاظ عملی، این تعریف بدین معنا است که اگر قطعه‌ای دارای پیامدهای شدید ناشی از بروز حادثه باشد، ولی احتمال وقوع چنین حادثه بسیار ناچیز باشد، لزوماً قطعه‌ی بحرانی نیست. [۱۲ و ۱۳] مهمترین مسئله در خصوص اثربخشی سیستم بازرسی بر مبنای ریسک هم‌راستا بودن بدنه‌ی مدیریتی و فنی سازمان با الزامات این سیستم و اعتقاد داشتن به اجرای واقعی و بازرسی بر مبنای ریسک است. اجرای صحیح این قبیل پروژه‌ها، حاصل مشارکت فعالانه‌ی پرسنل فنی کارفرما و ارتقا سطح دانش تئوری و عملی آنها در راستای بازرسی مبتنی بر ریسک و حمایت مدیران ارشد آنها از این فرآیند است. [۱۴]

یکی دیگر از اهداف روش RBI دستیابی به یک نقطه‌ی بهینه‌ی برآیند هزینه جهت به حداقل رسیدن آنها است. به‌عبارت دیگر پیدا کردن تکرار بازرسی که منجر به حصول حداقل هزینه جهت نگهداری یک سازمان می‌شود. در روند اجرای بازرسی‌ها دو حد افراطی مشهود است. یک روند نامطلوب بازرسی اجرای حداقل بازرسی ممکن همراه با جایگزینی تجهیزات به هنگام وقوع نشستی یا از کارافتادگی تجهیزات است. طی اعمال این‌گونه بازرسی‌ها، به‌علت خطرات جانی، محیط‌زیستی و هزینه‌های مالی که در پی دارد، غیرقابل پذیرش بودن این روش واضح است. از طرف دیگر، با روند بازرسی‌های مکرر با فراوانی زیاد، هزینه‌های بازرسی تا حد قابل توجهی افزایش می‌یابد. از مهمترین مزایای RBI می‌توان به افزایش ایمنی، افزایش قابلیت استفاده، کاهش هزینه‌های بازرسی فنی و خطر از کارافتادگی، برنامه‌ریزی دقیق بازرسی فنی

روش نیمه کمی

این روش حالتی بینابین دو روش قبل است و وقت گیرتر از روش کیفی می باشد، زیرا سوالات بیشتری در آن مطرح شده و با جزئیات بیشتری به مطلب می پردازد. در این روش برای احتمال و پیامد، مقادیر عددی تعیین می کنند که می تواند با توجه به تجربه و اطلاعات عمومی درباره ی از کارافتادگی ها و قضاوت های مهندسی با یک آنالیز عددی به دست آمده باشد. در شکل ۱ روش های مختلف (RBI) نشان داده شده است. [۱۵]



شکل ۱ | انواع طیف روش های RBI [۱۵]

هدف برنامه ی بازرسی بر مبنای ریسک

هدف از RBI، غربالگری^{۱۲} واحدهای فرآیندی جهت شناسایی نواحی با ریسک بالا، تخمین میزان ریسک، اولویت بندی تجهیزات براساس ریسک های شناسایی شده، ایجاد یک برنامه ی مناسب بازرسی و مدیریت سیستماتیک ریسک خرابی تجهیزات است. [۲۱]

عناصر کلیدی در برنامه ی بازرسی بر مبنای ریسک

عناصر کلیدی که باید در یک برنامه ی بازرسی بر مبنای ریسک وجود داشته باشند، شامل موارد زیر هستند:

- ۱- سیستم مدیریتی برای نگهداری اسناد
- ۲- صلاحیت پرسنل و نیازهای اطلاعاتی
- ۳- روش های مستند به منظور تعیین احتمال وقوع خرابی
- ۴- روش های مستند به منظور تعیین پیامد وقوع خرابی
- ۵- متدولوژی مستند برای مدیریت ریسک ها از طریق بازرسی و دیگر اقدامات کاهش [۲۱]

متدولوژی بازرسی بر مبنای ریسک

بازرسی بر مبنای ریسک (RBI) به عنوان روش یکپارچه ای تعریف می شود که از ریسک به عنوان پایه ای برای اولویت بندی و مدیریت برنامه های بازرسی تجهیزات از طریق ترکیب احتمال وقوع خرابی و پیامد وقوع خرابی استفاده می کند. [۱۸] این روش، اقدامات بازرسی را بر روی فعالیت های خاصی که یکپارچگی دارایی ها و ظرفیت تجهیزات فرآیند را تهدید می کنند، متمرکز می کند. RBI احتمال وقوع خرابی و پیامد وقوع خرابی را به صورت جداگانه محاسبه و از آنها برای تعیین ریسک از کارافتادگی استفاده می کند.

پس از مقایسه و اولویت بندی ریسک، از آن برای برنامه ریزی بازرسی^{۱۳} در جهت کاهش ریسک موجود استفاده می کند. یک برنامه ی بازرسی شامل اولویت بندی سیستم ها و فرآیندهای یک عملیات بر اساس ریسک، تعیین مقدار ریسک مرتبط با تجهیزات درون یک سیستم یا فرآیند بر اساس روش های متداول، اولویت بندی تجهیزات بر اساس رتبه ی ریسک و ایجاد یک برنامه ی بازرسی مناسب برای رفع ریسک های کلیدی (یک روشی که به صورت سیستماتیک، ریسک های مربوط به تجهیزات عملیات یا فرآیند را مدیریت کند) می باشد. [۱۹] انستیتو نفت آمریکا با انتشار سند API-580 و API-581 به تشریح روش بازرسی بر مبنای ریسک پرداخت. فرآیند RBI نشان داده شده در شکل ۲ مراحل اجرایی برنامه ریزی بازرسی بر مبنای ریسک را مطابق استاندارد API-580 ترسیم می کند. [۱۵]

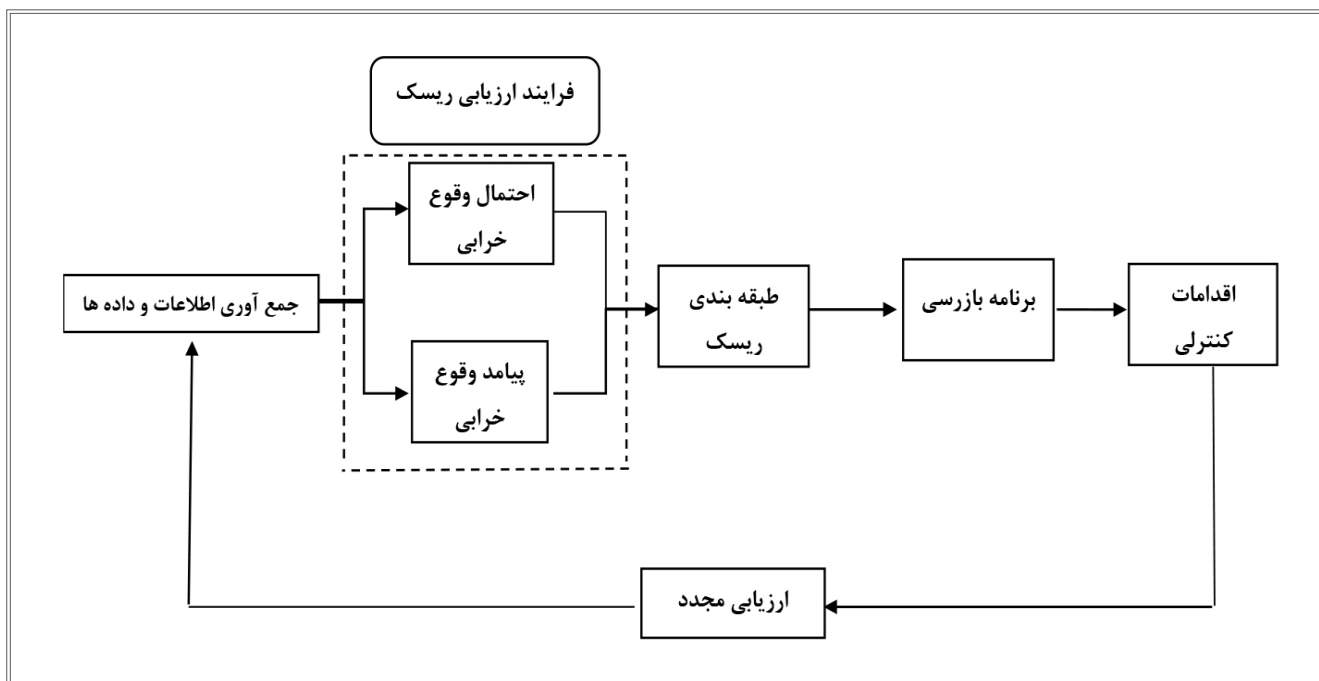
فاز اول: جمع آوری داده ها و اطلاعات

هدف از این مرحله ارائه ی یک مرور کلی از اطلاعاتی است که ممکن

تفاوت اصلی این روش ها در میزان جزئیات ورودی ها، محاسبات و خروجی ها است. در روش کیفی، قطعات باید در محدوده هایی طبقه بندی شوند و یا نسبت به یک نقطه ی مرجع طبقه بندی شوند. آنالیز کیفی نسبت به آنالیز کمی به یک حد بالاتری از مهارت ها، قدرت دآوری و درک شخص آنالیست احتیاج دارد. [۱۵]

دلایل ضرورت و پذیرش برنامه ی بازرسی بر مبنای ریسک

مهم ترین مسئله در پذیرش RBI بهینه سازی هزینه هایی است که بابت تعهد به مسائل بهداشتی، ایمنی و زیست محیطی^{۱۱} (HSE) باید توسط سازمان پرداخت شود. در صورت عدم تعهد به مسائل ذکر شده، حوادثی رخ خواهد داد که می توانند منجر به ایجاد جراحت و حتی مرگ برای نیروی انسانی، خسارت به تجهیزات و آسیب به محیط زیست شوند. [۱۱] بر اساس مطالعه ی انجام شده توسط کاپلان و همکاران، مشخص شد که بیشترین آسیب و خسارات، مربوط به از کارافتادگی مکانیکی است. بازرسی بر مبنای ریسک تاثیر بسزایی بر پیشگیری از این حوادث دارد. لازم به ذکر است که RBI بر خطای عملیاتی، آشفتگی ناقص فرآیند و خطرات طبیعی اثر کمتری دارد. با این حال می توان با استفاده از فرآیند ارزیابی ریسک، اپراتورها را از ریسک های مربوطه آگاه کرد و با استفاده از آموزش کارکنان واحد عملیاتی تاثیر مثبت بر خطاهای نام برده، گذاشته شود و از وقوع فجایع بزرگ جلوگیری کرد. [۲۰]



شکل ۲ | فرآیند برنامه‌ی بازرسی مبتنی بر ریسک (RBI) [۱۵]

و داده‌های مهندسی/فرآیند (داده‌های پایه از قبیل دما، فشار و ابعادی که توسط شاخه‌ی مهندسی و بهره‌برداری ارائه می‌شوند) می‌باشد. [۱۸] به‌طور کلی داده‌های موردنیاز برای آنالیز RBI در جدول ۱ نشان داده شده است.

است برای ارزیابی مکانیسم‌های تخریب بالقوه، حالت‌های خرابی بالقوه، احتمالات و پیامدهای از کارافتادگی در جهت توسعه‌ی برنامه‌های RBI لازم است، می‌باشد. اصلی‌ترین گروه‌های اطلاعاتی موردنیاز برای انجام آنالیز RBI شامل، اطلاعات بازرسی (اطلاعاتی که انتظار می‌رود در نتیجه‌ی بازرسی ایجاد شوند)، داده‌های پیامد (معیارها باید به‌گونه‌ای تعیین شوند که انتظارات موردنظر را از آنالیز ریسک کمی نشان دهند)

جدول ۱ | اطلاعات موردنیاز برای آنالیز RBI [۲۲]

نرخ و شدت خرابی‌ها	✓	نوع تجهیز	✓
نوع سیالات	✓	مواد ساختاری	✓
تعداد پرسنل	✓	سوابق بازرسی	✓
داده‌های مربوط به پوشش و عایق	✓	تعمیر و جایگزینی	✓
هزینه‌های جایگزینی وسایل	✓	ترکیب سیالات فرآوری شرایط عملیاتی	✓
هزینه‌های مربوط به محیط زیست	✓	سیستم‌های ایمنی	✓
-	✓	سیستم‌های نشان‌دهنده‌ی مکانیزم	✓

۲ | مقیاس‌های احتمال وقوع از کارافتادگی [۱۸]



توصیف	احتمال شکست سالانه		طبقه	
	کیفی	کمی		
در یک جمعیت کوچک*، یک یا چند شکست در سال، مورد انتظار است. شکست در آن مکان چندین بار در سال رخ داده است.	۱	شکست مورد انتظار است	$> 10^{-2}$	۱
در یک جمعیت بزرگ**، یک یا چند شکست در سال، مورد انتظار است. شکست چند بار در سال در عملیات شرکت رخ داده است.	۱	بالا	$10^{-3} - 10^{-2}$	۲
چندین شکست ممکن است در طول عمر نصب و راه‌اندازی یک سیستم، شامل تعداد محدودی اجزا، رخ دهد. شکست در عملیات صنعت رخ داده است.	۱	متوسط	$10^{-4} - 10^{-3}$	۳
چندین شکست ممکن است در طول عمر نصب و راه‌اندازی یک سیستم، شامل تعداد زیادی اجزا، رخ دهد. شکست در عملیات صنعت رخ داده است.	۱	پایین	$10^{-4} - 10^{-5}$	۴
شکست مورد انتظار نیست. شکست در صنعت رخ نداده است.	۱	ناچیز	$< 10^{-5}$	۵
شکست در صنعت رخ نداده است.	۲			

یادداشت: * جمعیت کوچک = ۲۰ تا ۵۰ جز، ** جمعیت بزرگ = بیش از ۵۰ جز.

وقوع از کارافتادگی در جدول ۲ نشان داده شده است.

فاز دوم: فرآیند ارزیابی ریسک

این مرحله شامل دو بخش اساسی تعیین احتمال وقوع از کارافتادگی (POF) و تعیین پیامد وقوع از کارافتادگی (COF) است.

۲- پیامد وقوع از کارافتادگی

مطابق تعریف ارائه شده در سند API-581، پیامد وقوع خرابی، نتیجه‌ی یک رویداد از کارافتادگی که برای رتبه‌بندی نسبی تجهیزات مورد استفاده قرار می‌گیرد. از دست رفتن توانایی در مهار کردن سیالات خطرناک (نشستی) در تجهیزات فرآیندی تحت فشار ممکن است باعث خرابی تجهیزات اطراف آن، جراحت شدید به کارکنان، افت تولید و اثرات زیست‌محیطی نامطلوب شود. پیامد می‌تواند مرتبط با فاکتورهای ایمنی، زیست‌محیطی و اقتصادی بیان شود. [۲۳]

در API RBI، فرض می‌شود ارزیابی پیامد از کارافتادگی، $C(t)$ ، نسبت به زمان ثابت است. بنابراین معادله‌ی ۲ را می‌توان به صورت معادلات ۳ و ۴ بازنویسی کرد که بستگی به این دارد که آیا ریسک بر مبنای مساحت یا بر مبنای شرایط مالی بیان شده است. برای ریسک بر مبنای مساحت:

$$R(t) = P_f(t).CA \quad \text{معادله‌ی (۳)}$$

در این معادله، CA پیامد بر مبنای مساحت است که برحسب واحدهای مساحت بیان می‌شود. جدول ۳ مقادیر عددی مرتبط با احتمال و دسته‌بندی پیامد بر مبنای مساحت ارائه شده در سند API-581 را نشان می‌دهد.

۱- احتمال وقوع از کارافتادگی

مطابق تعریف ارائه شده در سند API-581، پیامد وقوع از کارافتادگی، احتمال وقوع یک از کارافتادگی در تجهیزات یا قطعات که به علت یک یا چند مکانیسم تخریب در شرایط عملیاتی خاص رخ می‌دهد. در API RBI محاسبه‌ی ریسک را می‌توان به عنوان تابعی از زمان با توجه به معادله‌ی ۱ تعیین کرد. این معادله، ترکیبی از احتمال وقوع خرابی و پیامد وقوع خرابی است که در ادامه شرح داده خواهند شد. معادله‌ی (۱):

$$R(t) = P_f(t).C(t)$$

توجه داشته باشید که احتمال وقوع از کارافتادگی، $P_f(t)$ ، تابعی از زمان است، چون فاکتور خرابی همان طور که در معادله‌ی ۲ نشان داده شده است در قطعه به علت کاهش ضخامت، ترک خوردگی یا دیگر مکانیسم‌های خرابی با گذشت زمان افزایش می‌یابد.

مطابق سند API RBI 581 احتمال وقوع از کارافتادگی از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$P_f(t) = gff.Df.MS \quad \text{معادله‌ی (۲)}$$

احتمال وقوع از کارافتادگی برابر است با حاصل ضرب فرکانس عمومی از کارافتادگی^۴ (gff) در یک فاکتور خرابی مشخص^۵ (Df) در فاکتور سیستم‌های مدیریت^۶ (FMS). [۲۳] مقیاس‌های احتمال

جدول ۳ | مقادیر عددی مرتبط با احتمال و دسته‌بندی پیامد بر مبنای مساحت در API RBI

دسته بندی پیامد (۲)		دسته بندی احتمال (۱)	
محدوده (ft ²)	دسته	محدوده	دسته
CA ≤ 100	A	D _{f-total} ≤ 2	۱
100 < CA ≤ 1000	B	2 < D _{f-total} ≤ 20	۲
1000 < CA ≤ 3000	C	20 < D _{f-total} ≤ 100	۳
3000 < CA ≤ 10000	D	100 < D _{f-total} ≤ 1000	۴
CA > 10000	E	D _{f-total} > 1000	۵

جدول ۴ | مقادیر عددی مرتبط با احتمال و دسته‌بندی پیامد بر مبنای مالی در API RBI [۳۹]

دسته بندی پیامد (۲)		دسته بندی احتمال (۱)	
محدوده (ft ²)	دسته	محدوده	دسته
FC ≤ 10,000	A	D _{f-total} ≤ 2	۱
10,000 < FC ≤ 100,000	B	2 < D _{f-total} ≤ 20	۲
100,000 < FC ≤ 1,000,000	C	20 < D _{f-total} ≤ 100	۳
1,000,000 < FC ≤ 10,000,000	D	100 < D _{f-total} ≤ 1000	۴
FC > 10,000,000	E	100 < D _{f-total} ≤ 1000	۵

تغییر می‌کند و تنها به این دلیل است که احتمال خرابی، تابعی از زمان است. [۲۴] چهار دسته‌ی اصلی پیامدهای از کارافتادگی تجهیزات که باید ارزیابی شوند، عبارتند از: پیامدهای بهداشتی، ایمنی، زیست‌محیطی و اقتصادی [۱۹].^{۱۷} در جدول ۵ طبقه‌بندی چهار سطحی پیامدهای ایمنی، بهداشتی و زیست‌محیطی و در جدول ۶ طبقه‌بندی شش سطحی پیامدهای اقتصادی مطابق با استاندارد API-580 نشان داده شده است.

برای ریسک بر مبنای مالی: معادله‌ی (۴):
 $R(t) = P_f(t).FC$
 در این معادله، FC پیامد مالی است که در شرایط اقتصادی بیان می‌شود. جدول ۴ مقادیر عددی مرتبط با احتمال و دسته‌بندی پیامدها بر مبنای مالی ارائه شده در سند API-581 را نشان می‌دهد. توجه داشته باشید که در معادلات ۳ و ۴، ریسک با گذشت زمان

جدول ۵ | طبقه‌بندی چهار سطحی پیامدهای ایمنی، سلامت و محیط‌زیست [۱۹]

پیامد زیست‌محیطی	پیامد بهداشتی	پیامد ایمنی	دسته
پاسخ شدید خارج از سایت و تلاش برای پاک‌سازی	اثرات بهداشتی بلندمدت با احتمال مرگ	مرگ یا معلولیت دائم بیش از یک نفر	بالا
پاسخ شدید خارج از سایت، بدون امکان کاهش	اثرات بهداشتی بلندمدت	مرگ یا معلولیت دائم یک نفر	متوسط رو به بالا
پاسخ جزئی خارج از سایت، اما ممکن است پاسخ شدید در محل داشته باشد	اثرات بهداشتی کوتاه‌مدت با بهبودی کامل مورد انتظار است	زمان از دست‌رفته مورد انتظار ناشی از جراحی با بازتوانی کامل	متوسط
پاسخ جزئی در محل	حداقل اثرات بهداشتی	تنها آسیب جزئی و بازرایی با کمک‌های اولیه انتظار می‌رود	پایین

۶ طبقه‌بندی شش سطحی پیامدهای اقتصادی [۱۹]

طبقه	شرح/توصیف	میزان خسارت اقتصادی (دلار)
۱	فاجعه‌بار	$> \$ 100,000,000$
۲	شدید	$> \$ 10,000,000 < \$ 100,000,000$
۳	جدی	$> \$ 1,000,000 < \$ 10,000,000$
۴	مهم/ قابل توجه	$> \$ 100,000 < \$ 1,000,000$
۵	کوچک	$> \$ 10,000 < \$ 100,000$
۶	جزئی	$< \$ 10,000$

۷ نمونه‌ی ماتریس ریسک ارائه شده توسط DNV^{۱۹} [۱۸]

COF	A	B	C	D	E
۵	ریسک متوسط	ریسک زیاد	ریسک زیاد	ریسک زیاد	ریسک زیاد
۴	ریسک متوسط	ریسک متوسط	ریسک زیاد	ریسک زیاد	ریسک زیاد
۳	ریسک کم	ریسک متوسط	ریسک متوسط	ریسک زیاد	ریسک زیاد
۲	ریسک کم	ریسک کم	ریسک متوسط	ریسک متوسط	ریسک زیاد
۱	ریسک کم	ریسک کم	ریسک کم	ریسک متوسط	ریسک متوسط

فاز سوم: طبقه‌بندی ریسک

شامل تمیز کاری، بازرسی‌های چشمی عمومی (GVI^{۲۱}) به‌منظور تایید اینکه هیچ‌گونه تغییری در شرایط تجهیز به‌وجود نیامده است. زرد: ریسک متوسط^{۲۲} - سطح ریسک قابل قبول است. اقداماتی از قبیل تست غیرمخرب (NDT^{۲۳})، تست‌های عملکردی و سایر فعالیت‌های پایش وضعیت برای اندازه‌گیری میزان تخریب انجام شود تا اقدامات کنترلی موردنیاز برای پیشگیری از ورود سطح ریسک به ناحیه‌ی قرمز جلوگیری شود.

قرمز: ریسک زیاد^{۲۴} - سطح ریسک قابل قبول نیست. باید اقدامات لازم برای کاهش احتمال، پیامد یا هر دو انجام شود تا ریسک در ناحیه‌ی قابل قبول باشد. [۱۸]

فاز چهارم: برنامه‌ی بازرسی بر اساس ریسک

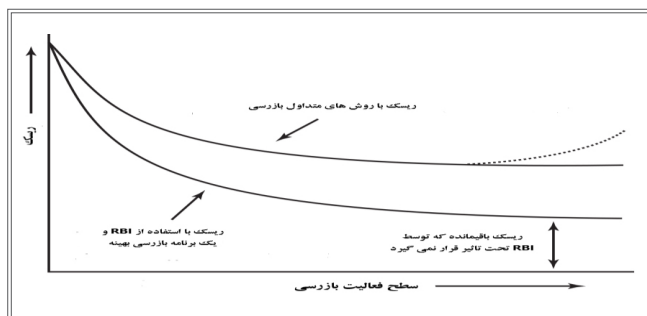
مبحث برنامه‌ریزی با استفاده از API RBI بر این واقعیت استوار است که در برخی مواقع، ریسکی که در معادلات ۱ و ۳ تعریف شده است به سطح مشخصی از ریسک می‌رسد.

یکی از خروجی‌های روش بازرسی بر مبنای ریسک، ماتریس ریسک^{۱۸} است. سطح ریسک تجهیزات را می‌توان در ماتریس ریسک مشاهده کرد. در واقع ماتریس ریسک یک راه موثر برای نشان دادن توزیع ریسک برای اجزا مختلف در یک واحد فرآیندی بدون مقادیر عددی است. هدف از این ماتریس تعیین نواحی بحرانی است که نیازمند توجه بیشتری در بازرسی است. [۲۵] یک نمونه ماتریس ریسک (محور عمودی احتمال وقوع از کارافتادگی و محور افقی پیامد وقوع از کارافتادگی) در جدول ۷ نشان داده شده است. خانه‌های هم‌رنگ ماتریس نشان‌دهنده‌ی ریسک یکسانی هستند. البته تصمیم‌گیری جهت مدیریت ریسک تجهیزاتی که در خانه‌های هم‌رنگ قرار گرفته‌اند به مولفه‌ی غالب ریسک نیز بستگی خواهد داشت. [۲۶]

همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، ماتریس ریسک، سه سطح ریسک را نشان می‌دهد که شامل:

سبز: ریسک کم^{۲۰} - سطح ریسک قابل قبول است. عموماً، اقداماتی نیاز است که سطح ریسک در همین ناحیه باقی بماند. معمولاً این اقدامات

علت است که بازرسی‌های اضافی به‌کار برده شده در حالت‌های خاص می‌تواند باعث زوال بیشتر شود. به‌عنوان مثال رطوبت وارده به‌همراه اسیدپلی‌تیونیک به درون تجهیز و یا صدمه به پوشش‌های محافظ یا ظروف استر شده با شیشه در اثر بازرسی‌های اضافی را می‌توان نام برد. این وضعیت به‌وسیله‌ی خط‌چین نشان داده شده و در پایان منحنی بالایی مشخص شده است. منحنی پایینی، روند کاهشی ریسک را با استفاده از RBI نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل ۳ نشان داده شده است، ریسک نمی‌تواند به‌تنهایی با فعالیت‌های بازرسی به صفر برسد. از دلایل عمده‌ی آن می‌توان به موارد خطای انسانی^{۲۶}، حوادث خارجی، مانند برخورد یا افتادن اشیاء، اثرات ثانویه ناشی از واحدهای مجاور، اثرات ناشی از وسایل دیگر در همان واحد، محدودیت‌های پایه‌ی روش بازرسی، خطاهای طراحی، مکانیزم‌های ناشناخته‌ی خرابی، بلایای طبیعی و دیگر موارد اشاره کرد. هدف نهایی در تعیین فاصله‌ی زمانی بازرسی، ایمنی و سازگاری تجهیزات در حین بهره‌برداری است. در بازرسی بر مبنای ریسک با متمرکز شدن بر روی تجهیزاتی با بالاترین ریسک، ارتباط بهتری بین مکانیزم خرابی^{۲۷} و تاثیرگذار بودن روش بازرسی بر روی مکانیزم مربوطه، برقرار می‌شود. [۲۷ و ۲۹]



۳ مدیریت ریسک با استفاده از RBI [۲۷]

فاز ششم: ارزیابی مجدد ریسک^{۲۸}

بعد از انجام بازرسی‌ها گروه بازرسی باید یک ارزیابی مجدد بر اساس نتایج به‌دست آمده از این قسمت انجام دهند. در واقع در این مرحله باید به‌دنبال این بود که آیا اقدامات اصلاحی را که بر اساس نتایج حاصل از بازرسی‌ها و ارزیابی ریسک انجام شده، موثر واقع شده‌اند یا خیر. با در دسترس قرار گرفتن داده‌های جدید (مانند نتایج بازرسی) و یا هنگامی که تغییر فرآیندی و یا عملیاتی انجام می‌شود، می‌توان با ارزیابی مجدد برنامه‌ی RBI دید جدیدی نسبت به ریسک‌ها پیدا کرد. سپس باید طرح‌های مدیریت ریسک به‌طور مناسب تنظیم شوند. [۳۰]

قبل یا هنگامی که ریسک به این سطح می‌رسد، یک بازرسی از تجهیزات توصیه می‌شود که بر اساس رتبه‌بندی مکانیزم‌های خرابی قطعه یا جزئی می‌باشد که دارای بالاترین فاکتور خرابی محاسبه شده، باشد. در بازرسی‌های برنامه‌ریزی شده با استفاده از API RBI یک تاریخ برنامه‌ریزی شده به‌طور معمول به اندازه‌ی کافی دور انتخاب می‌شود که شامل یک دوره‌ی زمانی و یک یا چند نگهداری و تعمیرات در آینده باشد. اگرچه بازرسی از یک قطعه لزوماً ریسک ذاتی همراه با آن قطعه را کاهش نمی‌دهد، اما بازرسی، حالت خرابی ظروف را مشخص کرده و باعث کاهش عدم قطعیت می‌شود. [۲۷] در جدول ۸ نمونه‌ی برنامه‌ی بازرسی ارائه شده توسط روش بازرسی نیمه‌کمی ارائه شده است. [۲۸]

نمونه‌ی برنامه‌ی بازرسی	
داخلی	نوع بازرسی
کاهش ضخامت عمومی	مکانیزم خرابی
B	اثربخشی بازرسی
۱- بازرسی چشمی	روش‌های بازرسی
۲- اندازه‌گیری ضخامت نقطه‌ای	فواصل بازرسی (سال)
۲	

فاز پنجم: مدیریت ریسک‌ها^{۲۵} با استفاده از برنامه‌ی بازرسی بر مبنای ریسک

در بیشتر مواقع، پس از شناسایی ریسک‌ها، فرصت‌های جایگزینی دیگری در دسترس هستند تا آنها را کاهش دهند. با این حال، تقریباً تمام زیان‌های تجاری در نتیجه‌ی عدم درک یا عدم مدیریت ریسک هستند. API RBI، اولین گام به‌سوی یک برنامه‌ی مدیریت ریسک یکپارچه است. در گذشته، ارزیابی ریسک بیشتر به مسائل مربوط به ایمنی در سایت متمرکز بوده است. همچنین این روش می‌تواند با تمرکز دادن فعالیت‌های بازرسی به‌سوی تجهیزات فرآیندی با بالاترین ریسک، برای مدیریت ریسک کلی در یک کارخانه مورد استفاده قرار گیرد. شکل ۳ نشان‌دهنده‌ی منحنی‌هایی است که کاهش ریسک قابل‌انتظار را با افزایش درجه و تعداد بازرسی و همچنین مدیریت ریسک با استفاده از برنامه‌ی RBI را نشان می‌دهد. [۲۷]

منحنی بالایی یک برنامه‌ی متداول بازرسی را نشان می‌دهد. با یک سرمایه‌گذاری اولیه در فعالیت‌های بازرسی، ریسک با شیب تندی افت می‌کند. وقتی که فعالیت بازرسی بیشتری انجام می‌شود، شیب کاهش ریسک کند می‌شود. اگر بازرسی اضافه به‌کار برده شود، حتی ممکن است سطح ریسک بالا رود، این مسئله به این

فاز هفتم: گزارش نهایی بازرسی بر مبنای ریسک

بازرسی، تعمیرات و نیروی انسانی) بر روی ۱۰ الی ۲۰ درصد تجهیزاتی که دارای سطح ریسک بالایی هستند، می‌توان تعداد تعمیرات اساسی را کاهش و زمان آن را از سال ۲۰۱۳ به سال ۲۰۱۵ به تعویق انداخت. این امر موجب صرفه‌جویی ۶۹ میلیون دلار در هزینه‌ی توقف تولید ۲۰ روزه‌ی واحد در هر سال و ۱٫۵ میلیون دلار به‌طور تقریبی جهت انجام تعمیرات اساسی و بازرسی خواهد شد. [۴] مطالعه‌ی انجام شده توسط وانگ و همکاران ۲۰۱۱ با عنوان بازرسی بر مبنای ریسک بر روی تجهیزات واحد پلی‌اتیلن سبک، نشان داد که حدود ۸ درصد از تجهیزات و لاین‌های تحت فشار، ۹۰ درصد ریسک تجهیزات تحت فشار پلی‌اتیلن را در بر می‌گیرند. [۳۴]

روش بازرسی بر مبنای ریسک (RBI) مزایای زیر را در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی منجر می‌شود:

۱. درک بهتر از احتمال و پیامد وقوع خرابی که منجر به توانایی بهتر برای کنترل و نظارت می‌شود. همچنین منجر به پیش‌بینی حوادث و خرابی‌ها که باعث ایمنی دسترسی قابلیت اطمینان و سطح اعتماد بیشتر در واحد مربوطه می‌شود.

۲. کاربرد این روش باعث می‌شود که موارد با ریسک کمتر در بازه‌های زمانی طولانی‌تری بازرسی شوند.

۳. استفاده از روش‌های بازرسی برنامه‌ریزی شده و Line-On به جای روش‌های سنتی Line-Off باعث کاهش موثر، توقف رایج دستگاه‌ها در حین بازرسی، هزینه‌های بازرسی (هزینه‌های مستقیم)، هزینه‌های کاهش تولید (هزینه‌های غیرمستقیم) و کاهش نیروی انسانی موردنیاز برای بازرسی می‌شود. [۳۵ و ۳۶]

از طرفی با استفاده از این روش می‌توان ارزیابی ریسک دقیقی از تجهیزات داشت به‌گونه‌ای که در مطالعه‌ی انجام شده توسط ناگروهو و همکاران ۲۰۱۶ با عنوان بازرسی بر مبنای ریسک بر روی تانک ذخیره‌ی اتمسفری از روش نیمه کمی بازرسی مبتنی بر ریسک مطابق با API-۵۸۱ استفاده شد. مطابق با نتایج آنالیز ریسک RBI، مشخص شد که سطح ریسک تانک ذخیره‌ی اتمسفری در طبقه‌ی ریسک متوسط قرار دارد. [۳۷] این روش همچنین با اطمینان بالایی مکانیزم‌های خرابی را شناسایی و برنامه‌ی بازرسی بهینه‌ای مطابق با آن ارائه می‌دهد.

مطالعه‌ی انجام شده توسط نابنام و همکاران ۲۰۱۶ تحت‌عنوان تجزیه و تحلیل ریسک مخزن تحت‌فشار دارای خوردگی خارجی با استفاده از روش RBI بر اساس API-۵۸۱، از روش آنالیز نیمه کمی بازرسی بر مبنای ریسک در جهت کاهش سطح ریسک

گزارش نهایی RBI نه تنها باید شامل رتبه‌بندی ریسک بر اساس تقدم و تاخر قسمت‌های مختلف تجهیزات بوده بلکه شامل یک لیست مجزا برای بررسی تقدم در احتمال شکست و نیز یک لیست در جهت بررسی تقدم در پیامد حاصل باشد. این دسته‌بندی به‌صورت مجزا این امکان را خواهد داد که بر مطالبی که باعث بالا بردن ریسک کلی می‌شوند، تمرکز شود و ملاحظه شود که ریسک کلی بیشتر در اثر کدام یک از احتمال پیامد می‌باشد. فهم این مطلب برای کسی که می‌خواهد تصمیماتی برای کاهش ریسک بگیرد الزامی است. [۳۱]

بحث و نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف پیاده‌سازی و کاربرد روش بازرسی بر مبنای ریسک در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی انجام شد. امروزه در دنیا در شرکت‌های بزرگ نفتی از روش‌های کیفی بازرسی بر مبنای ریسک (مطابق با استاندارد API ۵۸۰) برای ارزیابی اولیه‌ی ریسک و شناسایی تجهیزات با ریسک بالا استفاده کرده و سپس به کمک روش‌های بازرسی بر مبنای ریسک کمی (مطابق با استاندارد API ۵۸۱)، تجهیزات شناسایی شده با ریسک بالا را مورد ارزیابی قرار می‌دهند. [۱۳] ایمنی، استمرار تولید و کاهش هزینه‌های نگهداری و بازرسی، مهمترین دستاوردهای حاصل از اجرای یک استراتژی نگهداری و بازرسی بر مبنای ریسک بوده است. علت اصلی دسترسی به این مزایا، رسیدن به کمترین میزان پیشروی عیوب و وقوع از کارافتادگی، یعنی تعویق از کارافتادگی و در نتیجه ایمنی بیشتر است. [۲۶]

در اکثر واحدهای صنعتی بیش از ۸۰ درصد ریسک کل واحد، مربوط به تنها ۲۰ درصد تجهیزات است، یعنی از لحاظ عملی با تمرکز منابع بر روی تنها ۱۰ الی ۲۰ درصد قطعات، بیشتر ریسک واحد حذف خواهد شد. بنابراین به‌کارگیری رویکردی که در آن اولویت‌بندی برنامه‌های بازرسی و تعمیر و نگهداری تجهیزات بر اساس ریسک هر یک از آنها باشد، تا حدود زیادی به ما در مدیریت هزینه‌های بازرسی، تعمیرات و نگهداری کمک خواهد کرد و نه تنها منجر به کاهش تعداد از کارافتادگی‌ها و توقف‌های عملیاتی واحد خواهد شد، بلکه در منابع مورد استفاده نیز تا حد زیادی صرفه‌جویی خواهد شد [۳۲] به‌گونه‌ای که در یکی از مطالعات انجام شده نشان داده شد که با تمرکز منابع (هزینه‌های

به درستی اجرا شود، می‌تواند به‌عنوان یک ابزار قدرتمندی منجر به افزایش ایمنی و کاهش هزینه‌های بازرسی و نگهداری تجهیزات فرآیند شود. همچنین این روش اجازه می‌دهد تا کاهش بسامد انتشار را با یک سیاست مدیریت ریسک مناسب ارزیابی کند و کمک می‌کند تا ارزیابی خطر با بهترین شیوه‌های مورد استفاده در صنایع نفت و پتروشیمی مطابقت داشته باشد. در نهایت پیشنهاد می‌شود مدیران و متخصصان صنایع نفت، گاز و پتروشیمی بر اجرا و پیاده‌سازی این روش متمرکز شوند و برای اطمینان و تسهیل در راستای اجرایی شدن موثر بازرسی بر مبنای ریسک، باید فاکتورهای موفقیت بحرانی (CSF) مربوطه شناسایی و توسط مدیران و سهامداران مورد توجه قرار گیرند. ■

خرابی و بهینه‌سازی برنامه‌های بازرسی استفاده شد. نتایج آنالیز RBI نشان داد که مخزن تحت فشار دارای سطح ریسک متوسط رو به بالا در بخش بالایی (Head) و سطح ریسک متوسط در بدنه (Shell) است. کاربرد RBI برای مخزن تحت فشار در نیروگاه به‌طور واضح نشان داد که این تجهیز دارای حالت متداولی از خرابی تجهیزات از نوع کاهش ضخامت عمومی است. [۳۸] در کل، بیشتر استفاده‌های صنعتی RBI مربوط به سیستم‌های فرآیندی و پالایشگاهی و بخش‌های پتروشیمی بوده است که به‌وضوح به تهدیدات مرگ و جراحت افراد، خسارت به محیط و زیان‌های مالی اشاره می‌کند تا سرمایه را حفظ کند. [۳۹] در نهایت با توجه به تحلیل مطالعات نتایج نشان داد در صورتی که روش بازرسی مبتنی بر ریسک

پانویس‌ها

1. Risk Based Inspection	8. Qualitative	15. Damage Factor	22. High Risk
2. American Petroleum Institute	9. Semi-quantitative	16. Management System Factor	23. General Visual Inspection
3. Probability of Failure	10. Quantitative	17. Business	24. Nondestructive Testing
4. Consequence of Failure	11. Health, Safety & Environment	18. Risk Matrix	25. Risks Management
5. Inspection	12. Screening	19. Det Norske Veritas	26. Human Error
6. Asset Integrity	13. Inspection Plan	20. Low Risk	27. Damage Mechanism
7. Maintenance	14. Generic Failure Frequency	21. Medium Risk	

منابع

- [1]. Jafari MJ, Askarian AR, Omid L, Lavasani MRM, Taghavi L, Ashori AR. The assessment of independent layers of protection in gas sweetening towers of two gas refineries. *Safety promotion and injury prevention* (Tehran). 2014;2(2):103-12.
- [2]. Khan FI, Abbasi SA. Techniques and methodologies for risk analysis in chemical process industries. *J Loss Prev Process Ind.* 1998; 11(4):261-77.
- [3]. Narimisa MR, Narimisa M. Technical Inspection Engineering and Risk Based Inspection as index of efficient industrial management system. *International journal of advanced biotechnology and research*, 2017,8(2); 472-476.
- [4]. Ismaeili A, Derlik F, Havashi Nejadian S :Domestication, codification and implementation of RBI strategy in the deethanizer section in the olefin unit of Arya Sasol petrochemical company. *Proceedings of the 2nd International Conference on Oil, Gas and Petrochemicals* 2014 Dec. 27; Tehran, Iran.
- [5]. ASME. *Inspection Planning Using Risk Based Methods*. New York: American Society of Mechanical Engineers;2007. Report No.: ASME PCC-3,2007.
- [6]. Selvik JT, Scarf P, Aven T. An extended methodology for risk based inspection planning. *Reliability: Theory & Applications* 2011; 6(1):115-26.
- [7]. Azadeh A, Mohammad Fam I. A framework for development of integrated intelligent human engineering environment. *Information Technology Journal* 2006; 5(2):290-99.
- [8]. Rashtchian D, Baghmayesh Gh, Moradzadeh M. Risk Inspection, A Powerful Tool in Risk Management. *The First National Conference on Engineering Safety and HSE Management*, Tehran, March 9-11, 2005 p: 100-112.
- [9]. Aven T, K Pörn. "Expressing and interpreting the results of quantitative risk analyses. Review and discussion." *Reliability Engineering & System Safety*. 1998;61(1-2): 3-10.
- [10]. Chang M-K, Chang R-R, Shu C-M, Lin K-N. Application of risk based inspection in refinery and processing piping. *J Loss Prev Process Ind* 2005;18(4-6):397-402.
- [11]. PourJalal M, Mehrab M. Investigation of the Risk-based Inspection System RBI and its Application in Piping. *Second National Conference on Safety Engineering and HSE Management: 2007 March .4; Sharif University of Technology, Tehran.p: 1210-1225.*
- [12]. Bier, V. M. "Challenges to the Acceptance of Probabilistic Risk Analysis." *Risk Analysis* 1999;19(4): 703-710.
- [13]. Arabzadeh A, Golchinpour M. Risk-Based Inspection Technique in the oil industry. *Scientific Monthly - Promoting the Exploration and Production of Oil and Gas*, 2015 p: 230-250.
- [14]. Sufizadeh Alireza. An Analysis of the Risk-Based Inspection (RBI) Status in the Oil, Gas and Petrochemical Industries. *Journal of the Association of Technical Inspection and Non-Destructive Testing Companies*, Year 3, S 20, 19, 18 (Spring 1394).
- [15]. API-580, A. "Publication Risk-Based Inspection Base Resource Document." American Petroleum Institute,2002.
- [16]. Ebrahimi Avardklo F, Valizadeh R, Hosseinpour M, Mansouri Serasht, Neqavi C, Ghaemi A. Risk-Based Inspection (RBI) on oil rigs. *The first international conference on maintenance and repair in the oil, gas and petrochemical industries, oil company training center, Mahmoud Abad, September 19 and 20, 2013 p: 290-303.*

- [17]. Bragatto P, Delle Site C, Faragnoli A. Opportunities and Threats of Risk Based Inspections: the new Italian Legislation on Pressure Equipment Inspection. *Chemical Engineering*, VOL. 26, 2012.
- [18]. DNV. Recommended Practice DNV-RP-G101: Risk Based Inspection of Offshore Topsides Static Mechanical Equipment. 2010.
- [19]. API-580. Recommended Practice Risk-based Inspection. American Petroleum Institute, Third Edition, February 2016.
- [20]. Kaplan S, J.H. Lambert, and Y.Y. Haimes, Risk filtering, ranking, and management framework using hierarchical holographic modeling, *Risk Anal* 22(2) (2002), 383–397.
- [21]. Doo Zagreb, M. Risk Based Inspection. <https://hrcak.srce.hr/file/219023>.
- [22]. Rahmati S, Haghighi A. Software Design Applications Risk Based Inspection. First International Conference on Technical Inspection and Non-Destructive Testing, November 1 & 2, 2007 p: 130-150.
- [23]. Risk Based Inspection Technology, API RBI-581. Translation by Saeed Ramezani, Mahmoud Shahrabi, Saeed Hashempour, First Edition, Section 1, Bazargan Publishing, 2016 p: 260-275.
- [24]. American Petroleum Institute, Risk-based Inspection Base Resource Document, API Publication 581, Second Edition, September 2008.
- [25]. Mediansyah, G D Haryadi, R Ismail, S J Kim. Risk Analysis of Central Java Gas Transmission Pipeline by Risk-Based Inspection Method. Proceedings of the The 4th International Conference on Advanced Materials Science and Technology 2016 Sep. 27-28; Malang, Indonesia.
- [26]. Hashemi S, Javadpour S, Nazarnejad M, Hashempour S, Amiri Yektaa, Moghordian A. Results of Implementing Risk-Based Inspection in Atmospheric Distillation Unit CDU 100 in Abadan Refinery. The Second International Conference on Non-Destructive and Technical Inspection and Testing, Tehran, Oct. 30, 2008 p: 220-245.
- [27]. API RP-581. Risk-Based Inspection Methodology. American Petroleum Institute, Washington DC, USA; 2016.
- [28]. Moradi B, Khani Jazani R, Gheivandi H, Monazami Tehrani Gh. Risks management of Tube Bundle heat exchanger in the petrochemical industries using the Risk-Based Inspection approach *Journal of Health in the Field*. 2019; 7(1):36-43.
- [29]. Tischuk j.l. Economic of Risk Based Inspection and maintenance, *ERTC Reliability*, 2000.
- [30]. Ghaffari Mehrjardi A. Modification of inspection programs of Yazd Gas Station by using Risk Based Inspection (RBI). Faculty of Materials Science and Metallurgy: Yazd University, 2016. p.49-50-73-75.
- [31]. Javadpour S, Nazar Nejad M, Hashemi J. Risk- Based Inspection. Young Editions, May 31, 2008 p: 96-110.
- [32]. Bier, V. M. "Challenges to the Acceptance of Probabilistic Risk Analysis." *Risk Analysis* 1999;19(4): 703-710.
- [33]. Wang G, et al. "Risk Based Inspection on the equipment of low density polyethylene." *Procedia Engineering* 15: 2011; 11-45.
- [34]. Izadpanah S, Salimim M, Zafardoago M. Use of risk-based inspection as part of the management system of a single industrial unit and its effective parameters. First International Conference on Non-Destructive Testing and Testing, Tehran, November 1 and 2, 2007 p: 230-250.
- [35]. Vianello C, Milazzo MF, Guerrini L, Mura A, Maschio G. A risk-based tool to support the inspection management in chemical plants. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2016;41:154-68.
- [36]. Nugroho A, Haryadi GD, Ismail R, Kim SJ, editors. Risk based inspection for atmospheric storage tank. *AIP Conference Proceedings*; 2016: AIP Publishing.
- [37]. Naubnome V, Haryadi GD, Ismail R, Kim SJ, editors. Risk analysis for pressure vessel with external corrosion using RBI method based on API 581. *AIP Conference Proceedings*; 2016: AIP Publishing.
- [38]. Chang M-K, Chang R-R, Shu C-M, Lin K-N. Application of risk based inspection in refinery and processing piping. *J Loss Prev Process Ind* 2005; 18(4-6):397-402.