مجله کنترل
ISSN 2008-8345
جلد ۷، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۲، صفحه ۲۹-۱۹

طراحی و پیاده سازی برنامه‌ی نگهداری ریسک مبنا برای تعیین طول دوره بازدید تجهیزات ابزاردقیقی و نگهداری بهینه از آنها در پالایشگاه گاز سرخون

کریم سلحشور[۱]، فرزاد هورفر[۲]، رضا عباسی نژاد[۳]، سید سعید عطایی[۴]

[۱]استاد، دانشگاه صنعت نفت، salahshoor@put.ac.ir

[۲]دانشجوی دکتری مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تهران، farzad_hr@oexcite.com

[۳]مهندس ارشد بازرسی فنی ابزاردقیق شرکت پالایش گاز سرخون و قشم، abbasinejad@nigc-sqgc.ir

[۴]مسئول تهیه و تدوین تعمیرات پیشگیرانه‌ی شرکت پالایش گاز سرخون و قشم

(تاریخ دریافت مقاله ۱۳۹۲/۸/۱۵، تاریخ پذیرش مقاله ۱۳۹۲/۱۱/۱۲)

چکیده: بطور کلی هدف از انجام یک برنامه نگهداری افزایش سود و قابلیت اطمینان فرآیند تولید بدون کمترین اثرگذاری بر روی سطح ایمنی افراد و با نظر گرفتن مسائل زیست محیطی می باشد. در همین راستا، ارزیابی ریسک به عنوان ابزاری کلیدی جهت تصمیم گیری در مورد استراتژی نگهداری، چند سالی است که بسیار مورد توجه مجامع علمی و صنعتی دنیا قرار گرفته است. اصولا اینکه رویکرد نگهداری ریسک مبنا احتمال خطا و به تبع آن پیامد حاصل از وقوع خطا(پیامدهای مربوط مالی، ایمنی و زیست محیطی) را کاهش داده و در کنار آن به مدیریت مجموعه، در اتخاذ تصمیمات صحیح و کم هزینه کمک شایانی می نماید. مقاله حاضر به مطالعه و چگونگی ایجاد یک برنامه نگهداری ریسک مبنا در تعدادی از تجهیزات ابزاردقیق نصب شده در شرکت پالایش گاز سرخون و قشم می‌پردازد. در این مقاله با طراحی برنامه نگهداری پیشگیرانه تطبیقی به عنوان برنامه بازرسی و بدست آوردن مقدار بهینه دوره زمانی بازرسی، نسبت به کاهش ریسک تجهیزات اقدام می شود.

کلمات کلیدی: برنامه‌ی نگهداری ریسک مبنا، دوره‌ی بازدید و نگهداری بهینه، تجهیزات ابزاردقیق،تعمیرات پیشگیرانه، پالایشگاه گاز .

Design and Implementation of a Risk Based Maintenance Program for Determining Optimum Maintenance Intervals for Field Instruments in Sarkhun Gas Refinery

Abstract: The main goal of performing a maintenance program is increasing of the benefit and process reliability without any negative effect on personnel safety and environmental concerns. Risk based maintenance road map reduces fault occurrence probability and as a result reduces effects of equipment failure happening (economical, environmental effects). This type of risk based planning helps much in making right and economic decision making. This paper introduces risk based maintenance plan for selected instruments in Sarkhun and Qeshm gas threatening company. By designing of an adaptive preventive maintenance strategy as an inspection program and obtaining an optimum checking interval devices risk will be reduced.

Keywords: Risk Based Maintenance, Optimum maintenance interval, instrument devices, Preventive maintenance, Gas refinery.

[Downloaded from joc.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.20088345.1392.7.4.4.9]

۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر پیشرفت‌های زیادی در زمینه اتخاذ برنامه‌های تعمیر و نگهداری بوجود آمده است. روش‌های ابتدایی بصورت تعمیر پس از خرابی بوده است، بدین معنی که پس از توقف پروسه تولید بعلت وقوع یک عیب در تجهیز، اقدامات لازم صورت می گرفته است. حال آنکه امروزه با بکارگیری برنامه‌های نگهداری متنوع، سعی می گردد حتی الامکان از توقف پروسه تولید جلوگیری شود. اهمیت این مسئله در پروسه‌های حساس و استراتژیک نظیر صنایع نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاه‌ها بیشتر نمایان می شود (Bertolinia و همکاران،2009)

صنایع پتروشیمی و پالایشگاه‌ها با مقادیر زیادی از مواد قابل اشتعال، منفجره و مواد سمی سروکار داشته که اکثر این مواد در مجاورت دماها و فشارهای زیاد قرار دارند. بدیهیست که در این فرایندها ایجاد یک خرابی کوچک در یک تجهیز می تواند به یک پیامد غیر قابل تصور منجرشود. بنابراین نیاز به یک محیط ایمن با قابلیت اطمینان بالا در این صنایع ضروری می نماید.از طرفی ایجاد یک سطح ایمنی بالا و قابلیت اطمینان مناسب در این صنایع به داشتن یک برنامه تعمیر و نگهداری مناسب به شدت وابسته است (Aller و همکاران، 1995).

فعالیت های صورت گرفته در دو دهه اخیر در حوزه مباحث مربوط به تعمیر و نگهداری گواهی بر پیشرفت های وسیع و کارا در اتخاذ استراتژی های نوین نگهداری می باشد. پیشرفتهایی که در زمینه برنامه های نگهداری بوجود آمده است مرهون افزایش تعداد، پیچیدگی، اندازه و تنوع پروژه های صنعتی متفاوت بوده و ضمنا رشد آگاهی متخصصین امر نسبت به تاثیر فراوان برنامه نگهداری بهینه بر روی محیط زیست، ایمنی پرسنل و کیفیت محصولات، خود محرکی جهت بروزرسانی روزافزون این حوزه است.

بطور کلی خرابی های غیر منتظره معمولا تاثیرات مضری فراوانی بر روی محیط زیست، میزان سودهی و حتی سلامت و ایمنی افراد شاغل در هر واحد صنعتی می گذارند. تحقیقاتی که توسط Khan and Abbasi(1998) و Kumar(1998) انجام شده رابطه تنگاتنگ بین برنامه تعمیر و نگهداری و وقوع خرابی های ناگهانی را بوضوح نشان می دهند. همچنین قابلیت سود دهی رابطه ای مستقیم و نزدیک با قابلیت اطمینان و دسترس پذیری تجهیزات داشته و در کنار آن کیفیت محصولات تولیدی به شرایط سلامت تجهیز بسیار وابسته است. رقابت اصلی در نحوه مهندسی برنامه نگهداری، تدوین و بهره برداری از یک برنامه جامع بوده به نحوی که باعث افزایش دسترس پذیری و کارایی تجهیز گشته و در کنار آن به کنترل نرخ مکانیسم های خرابی بپردازدو ضمنا ایمنی و استانداردهای محیط زیستی را فراهم نموده و هزینه تولید را هم کاهش دهد. بدیهی است که دستیابی به تمامی این اهداف بطور همزمان تنها با بکارگیری یک رویکرد ساختار یافته در مطالعه ی خرابی تجهیزات و ایجاد یک برنامه بهینه بازرسی و نگهداری امکان پذیر است.

واضح است که روشهای مدیریت برنامه های نگهداری بسته به شرایط فرآیندی متفاوت بوده و می تواند از بازدید های دوره ای تا برنامه های نگهداری پیشرفته نظیر نگهداری پیشگویانه و نگهداری شرایط مبنا و ... متغیر باشد.

بعنوان نمونه Chen and Toyoda(1990) به ارائه یک استرتژی زمان بندی برای برنامه نگهداری بر حسب مقدار افزایش ریسک پرداختند. همچنین برنامه نگهداری ریسک مبنا برای تجهیزات ثابت مکانیک توسط جامعه مهندسین مکانیک آمریکا (American Society of Mechanical Engineers) در سال ۱۹۹۱ ایجاد شد و این برنامه به عنوان پایه و اساس تحقیقات انستیتو نفت آمریکا (American Petroleum Institute) در مورد پروژه های بازرسی قرار گرفت(API1995).

بررسی مقالات و کتب منتشر شده نشان می دهد که امروزه تلاش های فراوانی‌در استفاده از آنالیز ریسک در طراحی برنامه های نگهداری در حال انجام است البته اکثر مقالات منتشر شده در این حوزه تنها بر روی یک تجهیز خاص تمرکز کرده اند در حالیکه به نظر میرسد نیاز به یک برنامه نگهداری جامع و فراگیر برای انواع مختلف تجهیزات و در نظرگرفتن ارتباطات موجود آنها با یکدیگر امری کتمان ناپذیر باشد. شایان ذکر است که در صنایع حساسی مانند انرژی اتمی و صنایع نفت و گاز نیاز به تدوین یک برنامه جامع و کامل بیشتر احساس می شود.

بر پایه توضیحات فوق، در مقاله حاضر سعی شده است به طراحی و پیاده سازی یک برنامه نگهداری ریسک مبنا برای ۶ عدد تجهیز ابزاردقیقی بکار گرفته شده در شرکت پالایش گاز سرخون و قشم پرداخته شود. این تجهیزات عبارتند از:

- دو عدد فلو ترنسمیتر
- یک عدد ترنسمیتر درجه حرارت
- دو عدد سوئیچ سطح
- یک عدد آنالایزر

در این مقاله با بررسی ریسک و تابع تجمعی خرابی تجهیزات، دوره زمانی بهینه شده (مدت زمانی که تجهیز بایستی قبل از اتمام آن مورد بازدید و نگهداری قرار بگیرد) برای برنامه نگهداری ریسک مبنا تعیین و محاسبه می‌گردد.

لذا به منظور دستیابی به این هدف در ابتدا برنامه نگهداری ریسک مبنا معرفی شده و قسمتهای مختلف آن شرح داده می شود و در قدم آتی الگوریتم توسعه-ایجاد یک برنامه تعمیر و نگهداری ریسک مبنای کارآمد

[Downloaded from joc.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20088345.1392.7.4.4.9]

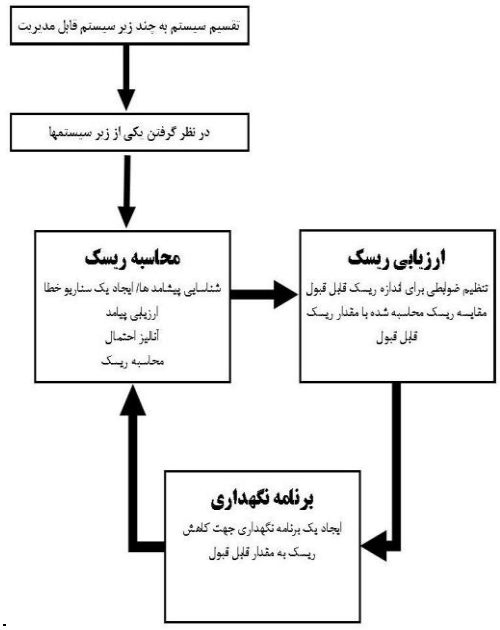
برای تعدادی از تجهیزات ابزار دقیقی نصب شده در پالایشگاه سرخون و قشم شرح داده شده و نتایج حاصل از پیاده سازی آن تشریح می گردد.

۲- روش ایجاد یک برنامه تعمیر و نگهداری ریسک مبنا

اصولا استراتژی تعمیر و نگهداری ریسک مبنا (RBM) یک نگرش کمی گونه است که با استفاده از آنالیز قابلیت اطمینان و برآورد ریسک به بیان یک رویه نگهداری تجهیزات با کمترین هزینه و بیشترین کارایی، می پردازد.

بطور کلی روش ایجاد این نوع برنامه تعمیر و نگهداری به ۴ بخش اصلی تشکیل می شود که در شکل ۱ نشان داده شده است.

- **شناسایی حوزه و وسعت سیستم:** در این بخش سیستم به زیر سیستم های قابل مدیریت تقسیم می شود که هر زیر سیستم دارای تجهیزاتی است که توزیع خرابی آنها مشخص است.
- **محاسبه ریسک:** این بخش متشکل است از شناسایی و محاسبه ریسک.
- **ارزیابی ریسک:** این قسمت به بررسی ریسکهای قابل قبول و غیر قابل قبول می پردازد.
- **نقشه نگهداری:** این قسمت به نحوه ایجاد یک برنامه تعمیر و نگهداری با در نظر گرفتن فاکتورهای ریسک می پردازد.



شکل ۱. شماتیک کلی نحوه اجرای برنامه نگهداری ریسک مبنا

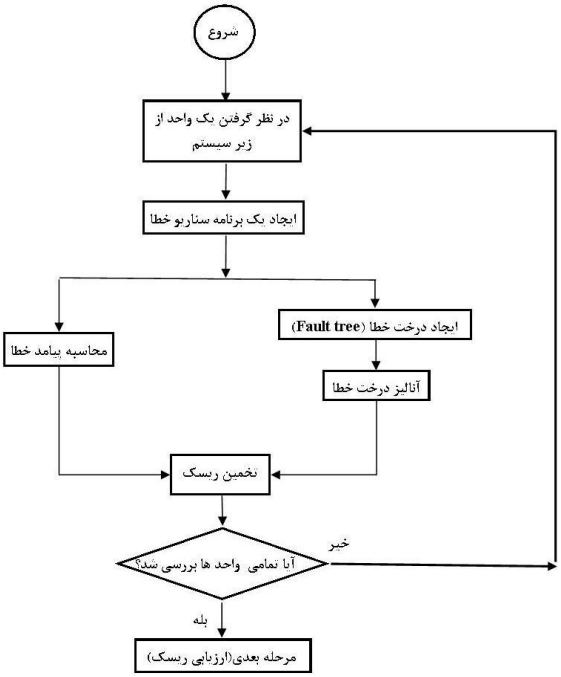
۲-۱- شناسایی حوزه و وسعت سیستم:

بطور کلی پالایشگاه ها و صنایع پتروشیمی از تعداد زیادی از تجهیزات نظیر مخازن تحت فشار، کمپرسورها، پمپ ها، خطوط لوله و ..... ساخته شده اند. با در نظر گرفتن کل پلنت به عنوان یک مجموعه ، می توان آن را با توجه به خصوصیات عملکردی هر بخش به چند زیرسیستم قابل مدیریت تقسیم نمود. اصولا این زیرسیستم ها به سه روش سری، موازی و ساختارهای کشیک یا همان Standby به هم متصل شده اند.

۲-۲- محاسبه ریسک:

ریسک جزئی جدایی ناپذیر در فعالیت های تولیدی پالایشگاه ها و صنایع پتروشیمی است. حذف کامل ریسک امری غیر ممکن بوده اما می‌توان با اعمال روشهایی مقدار ریسک را تا سطح قابل قبولی کاهش داد.

این بخش از عملیات از چند بخش تشکیل شده است که بطور منطقی به هم متصل بوده و در شکل۲ نشان داده شده است. جزئیات مربوط به هر بخش در ادامه آورده شده است:



شکل ۲. نمایش روند کلی نحوه تخمین ریسک

۲-۲-۱- تعیین احتمال وقوع خرابی:

احتمال خرابی برای هر جزء زیر سیستم، با روشهای آماری و اطلاعات کافی مربوط به اتفاقات گذشته ی پلنت قابل محاسبه است. از این اطلاعات برای یافتن توزیع های مختلف احتمالاتی استفاده می شود. یکی

[Downloaded from joc.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20088345.1392.7.4.4.9]

از پرکاربردترین توزیع ها برای مدلسازی احتمال خرابی تجهیز توزیع Weibull می باشد. از داده های ذخیره شده حاصل از خرابی های اتفاق افتاده پیشین برای شناسایی پارامترهای تابع تجمعی توزیع Weibull استفاده می شود. رابطه ۱ تابع توزیع تجمعی Weibull را نشان میدهد.

$$F(t) = 1 - e^{-(\frac{t}{\eta})^{\beta}} \qquad (۱)$$

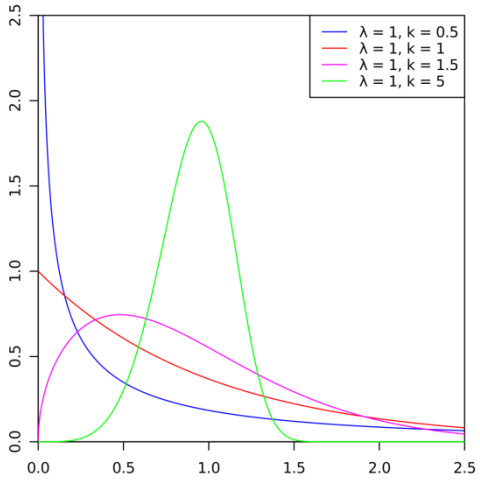
η و β پارامترهای تابع توزیع تجمعی Weibull هستند.

یکی از ویژگی های اصلی توزیع Weibull انعطاف پذیری و درجه آزادی نسبتا زیاد آن می باشد که این قابلیت را در آن ایجاد می نماید که با تغییر پارامترهای آن طیف گسترده ای از توزیع های آماری از گوسی تا نمایی را مدل سازی کند. رابطه کلی این توزیع بقرار زیر است:

(۲)

$$f(x;k,\lambda) = \frac{k}{\lambda}\left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-(x/\lambda)^k}$$

که با تغییر پارامترها می توان به منحنی نمایش داده شده در شکل ۳ دست یافت:



شکل۳. توزیع Weibull در λ ثابت و k متغیر

لذا در مواقعی که به هر علتی نظیر کم بودن تعداد داده ها برای استخراج تخمین درست توزیع آماری یک کمیت با ابهام وجود داشته باشد، استفاده از توزیع Weibull این امکان را ایجاد می نماید که بمرور زمان و با افزایش داده های آماری، نهایتا بتوان به جواب قابل قبولی دست یافت.

۲-۲-۲- ایجاد و بسط سناریوی خرابی

به توصیف مجموعه پیشامدهایی که سیستم را به سوی یک خرابی سوق می دهد سناریوی خرابی گفته می شود و ممکن است ناشی از یک و یا از چندین پیشامد مختلف باشد. انتظار وقوع یک سناریوی خرابی به معنی اتفاق حتمی آن نبوده بلکه به معنی وجود یک دلیل منطقی برای احتمال وقوع خرابی است. اصولا استخراج صحیح سناریوی خرابی پایه و اساس آنالیز ریسک است و در پایه بیانگر این است که چه پیشامدی ممکن است اتفاق بیافتد و برای جلوگیری از آن چه اعمالی می توان انجام داد.

۲-۲-۳ ارزیابی پیامد

با فرض وقوع یک سناریوی خرابی ارزیابی پیامد عبارت است از کمیت دهی به پیامد ناشی از اتفاق آن سناریو که معمولا آن پیامد در سه مقوله کلیدی جای می گیرد:

- زیانهای مالی
- خطرات انسانی
- مخاطرات زیست محیطی

زیان‌های مالی را مستقیما بر حسب میزان نقدینگی از دست رفته مستقیم قابل محاسبه است اما اختصاص هزینه برای پیامد خطرات انسانی و تهدیدات زیست محیطی امری حساس و پیچیده است. نکته قابل توجه اینست که هر تجهیز ممکن است دچار انواع مختلف خرابی گردد که در نتیجه پیامد های متفاوتی را به دنبال داشته و هر کدام از این پیامدها به روشی قابل محاسبه هستند. در ادامه نحوه محاسبه اجمالی این پیامدها آورده شده است.

- زیان‌های مالی

عموما زیان‌های مالی با توجه به نوع پیشامد(انفجار، آتش سوزی، آزاد شدن مواد سمی و ...) از رابطه های متفاوتی بدست می آیند. زیانهای مالی ناشی از وقوع یک سناریوی خرابی خاص عبارت است از مجموع هزینه های تعمیرات و نگهداری(Maintenance Cost) و زیانهای تولید(Production Loss). در صنایع پالایشگاهی هزینه تعمیر و نگهداری معمولا متشکل است از هزینه های ثابت (C_f($)) شامل هزینه مواد خام و مصرفی، هزینه آزمایشات و هزینه تعویض قطعات) و هزینه های متغیر (C_v($)) (نظیر هزینه نیروی انسانی و هزینه کرایه تجهیزات و ابزارهای مورد نیاز). نتیجه اینکه هزینه نگهداری و تلفات تولید توسط رابطه های زیر بیان می شوند:

$$MC = C_f + DT \times C_v \qquad (۳)$$

$$PL = DT \times PLPH \qquad (۴)$$

[Downloaded from joc.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20088345.1392.7.4.4.9]

در روابط بالا DT مدت زمان توقف پروسه تولید بر حسب ساعت h است. PLPH مقدار تلفات تولید در زمان است (Production Loss Per Hour) و برحسب $/h می باشد.

- خطرات انسانی و تهدیدات زیست محیطی

وقوع یک سناریوی خطا همچنین باعث بروز خطراتی برای نیروهای انسانی و افراد شاغل در محل می شود و از طرف دیگر بدیهیست که وقوع پیشامدهایی نظیر انتشار مواد سمی و یا آتش سوزی نمی تواند روی محیط زیست بی تاثیر باشد. برای اینکه بتوان درک منطقی و قابل محاسبه ای از این نوع پیامدها داشت معمولا جداولی بر پایه نظر کارشناسان و متخصصین امر تهیه و تدوین می شود. این افراد خبره بر مبنای تجربه و در نظر گرفتن میزان خسارات به بار آمده، کمیتی مناسب را برای این پیامد ها در نظر می گیرند (جدول ۱).

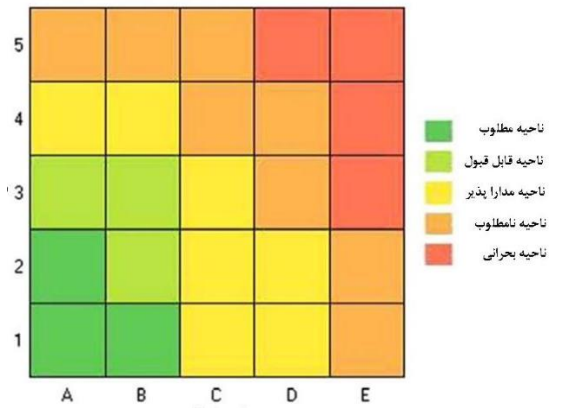
پیامد	سطح	اندازه	توضیحات
خطرات انسانی	جزیی	۰ – ۲	بدون تاثیر یا کم اثر
	کم	۳ – ۴	مصدومیت جزیی و یا بیماری
	متوسط	۵ – ۶	مصدومیت متوسط و بیماری(قابل درمان)
	زیاد	۷ – ۸	جراحاتی که باعث از کار افتادگی و بیماری های طولانی مدت می شود
	خیلی زیاد	۹ – ۱۰	مرگ
تهدیدات زیست محیطی	جزیی	۰ – ۲	بدون اثر یا کم اثر
	کم	۳ – ۴	آلودگی جزیی
	متوسط	۵ – ۶	آلودگی متوسط که توسط بخش محلی قابل پاکسازی می باشد
	زیاد	۷ – ۸	آلودگی عمده ای که نیاز به توجه بخش های منطقه ای دارد.
	خیلی زیاد	۹ – ۱۰	آلودگی بحرانی که توجهات ملی را مطلبد.

جدول۱. پیامد تهدیدات زیست محیطی و خطرات انسانی

در این مرحله و با توجه به توضیحات ارایه شده می توان اندازه ریسک هر تجهیز را توسط رابطه ۵ بر طبق استاندارد API580 تعیین نمود.

$$Risk = failure\ probability \times failure\ concequence$$

لازم به توضیح است که بر طبق استاندارد API580 برنامه تعمیر و نگهداری ریسک مبنا می تواند بصورت کمی، کیفی و یا نیمه کیفی انجام پذیرد. نتیجه این روش‌ها تقریبا یکی بوده اما با روش کیفی سریعتر می توان به نتیجه رسید. روش کمی معمولا با جزئیات بیشتر و در نتیجه با دقت بیشتری همراه است. بهر حال در همه این روش‌ها نیاز به تعیین احتمال وقوع خرابی و پیامدهای آن برای رسم ماتریس ریسک وجود دارد. بعد از محاسبه احتمال و پیامد، ریسک هر تجهیز به ماتریس ریسک اصلی تناظر داده می شود تا بتوان به یک دید کلی از ریسک تجهیزات رسید. در شکل ۴ ساختار یک ماتریس ریسک تهی نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می گردد محور افقی به نحوی بیان کننده پیامد خرابی بوده که از A تا E شدت آن افزایش می یابد و و محور عمودی نیز احتمال خرابی را بصورت کیفی نمایش می دهد.

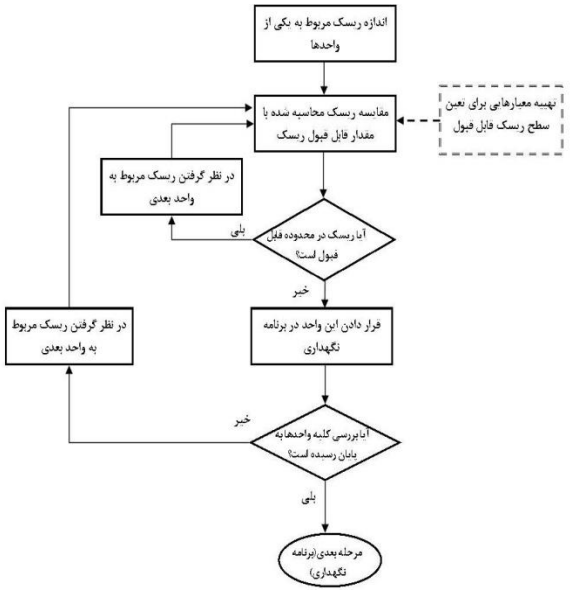


شکل ۴- ماتریس ریسک

۲-۳- ارزیابی ریسک

هدف از ارزیابی ریسک، مشخص کردن سطح ریسک‌های قابل قبول و مقایسه ریسک‌های محاسبه شده سیستم‌ها و تجهیزات با این مقادیر می باشد. در این مقایسه اگر سطح ریسک تجهیز از مقدار ریسک قابل قبول بیشتر باشد جهت کاهش ریسک سیستم نیاز است تمهیداتی نظیر بازنگری برنامه تعمیر و نگهداری در پیش گرفته شود. در شکل (۵) الگوریتم کلی نحوه انجام ارزیابی ریسک نشان داده شده است.

[Downloaded from joc.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20088345.1392.7.4.4.9]



شکل ۵. شمای کلی نحوه ارزیابی ریسک

۲-۴- تدوین برنامه نگهداری

همانطور که در بخش قبل به آن اشاره شد، برای کاهش ریسک سیستم‌ها و تجهیزاتی که ریسک آنها بالاتر از مقدار قابل قبول ریسک است از یک برنامه تعمیر و نگهداری مناسب استفاده می شود. شایان ذکر است که در این راستا، نوع برنامه نگهداری و دوره زمانی آن نیز بایستی تعیین گردد. بطور کلی برنامه‌های تعمیر و نگهداری پرکاربرد در صنایع نفت و گاز عبارتند از:

- نگهداری پیشگیرانه (Preventive Maintenance)
- نگهداری شرایط مبنا(Condition based maintenance)
- نگهداری اصلاح کننده(Corrective maintenance)
- برنامه نگهداری با مرکزیت قابلیت اطمینان(Reliable centered maintenance)

با توجه به گزینه های فوق، برای اینکه بتوان به یک نقشه جامع وکاربردی‌در انتخاب موثرترین برنامه تعمیر و نگهداری دست یافت در تحقیق حاضر از آنالیز(AHP)Analytical Hierarchy Process استفاده شده است.

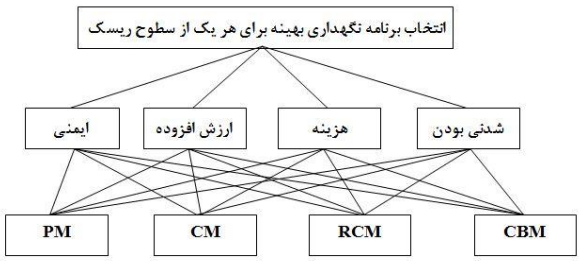
آنالیز AHP یک روش ساختاری برای اتخاذ تصمیمات مناسب در برنامه ریزی های پیچیده است. این آنالیز به برنامه ریزان کمک می کند تا بهترین تصمیم را با توجه به شناخت آنها از مسئله، اتخاذ نمایند. این روش که بر پایه علم ریاضیات و علم روانشناسی بوده و اولین بار توسط Thomas L.Saaty در سال ۱۹۷۰ مطرح گردید و تا زمان حاضر نیز پژوهشگران نسبت به گسترش و بهبود الگوریتم آن کوشیده اند (Bevilacqua و Braglia ،۲۰۰۰). AHP به ارائه یک چهارچوب مستدل و فراگیر برای ساختار بندی مسئله تصمیم گیری، کیمیت دهی به عناصر مسئله، بیان وابستگی این عناصر به هدف مسئله و تعیین جایگزین های مناسب می پردازد. از این آنالیز در سرتاسر جهان در زمینه‌های مختلفی از جمله تصمیمات دولتی، تجارت، صنعت، سلامت و آموزش استفاده می شود. AHP از سه سطح اصلی تشکیل شده است. سطح نخست هدف مسئله تصمیم گیری را بیان می کند که در این پژوهش عبارت است از تعیین نوع برنامه نگهداری بهینه برای هر سطح از ریسک تجهیزات، مرحله دوم شامل فرض‌ها و قضایا می باشد و مرحله سوم تعیین گزینه‌های تصمیم گیری و یا همان انواع برنامه‌های نگهداری است که باید بهترین آنها برای هر یک از سطوح ریسک انتخاب شوند. هر کدام از گزینه‌ها بصورت جفتی در یک ماتریس مقایسه می شوند. مقادیر عددی که برای مقایسه استفاده می شوند طبق پیشنهاد Saaty در جدول۲ آمده است (Satty، ۱۹۸۸). ماتریس مقایسه با روش Saaty نرمالیزه می شود تا بتوان اولویت های هر انتخاب را مشخص نمود. در آخر برای هر شاخه وزنی لحاظ می شود و هر شاخه‌ای که دارای عدد بزرگتری است انتخاب می شود.

قضاوت	بطور مساوی	معتدلانه	بطور زیاد	بطور خیلی زیاد	به شدت
ارزش عددی	۱	۳و۲	۵و۴	۷و۶	۹و۸

جدول ۲- روش قضاوت در AHP

شکل ۶ مدل ارائه شده برای انتخاب برنامه تعمیر و نگهداری مناسب را نشان می دهد. همانطور که قبلا بیان شده است مرحله اول آنالیز AHP تعیین هدف بوده که در اینجا انتخاب برنامه نگهداری بهینه برای هر یک از سطوح ریسک می باشد. مرحله دوم در نظر گرفتن معیارها خواهد بود. اصولا افرادی که این معیارها را انتخاب می کنند باید خود را در معرض قضاوت متخصصین مختلف با دیدگاه‌های متفاوت قرار دهند و معیارهای آنهارا نیز در نظر بگیرند.

[Downloaded from joc.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20088345.1392.7.4.4.9]



شکل۶- مدل ارائه شده برای آنالیز AHP

نهایتا اینکه بر اساس اطلاعات جمع آوری شده از کارشناسان و متخصصین پالایشگاه و نیز آنالیز انجام گرفته (Dey، ۲۰۰۴) نوع برنامه بازرسی که برای هر یک از سطوح ریسک بدست آمده به شرح جدول۳ می باشد:

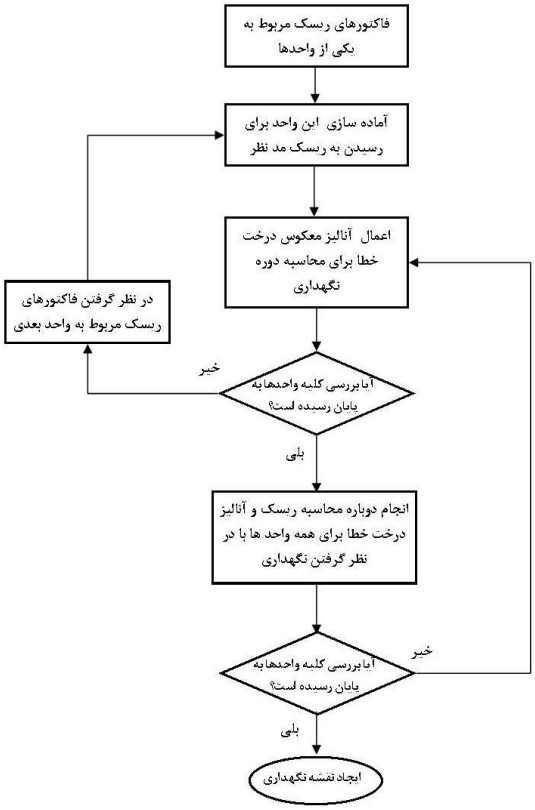
	ناحیه بحرانی	ناحیه نامطلوب	ناحیه مدارا پذیر	ناحیه مطلوب و قابل قبول
PM	۰,۲۹۶۵	۰,۲۲۶۸	۰,۱۵۸۷	۰,۲۱۲۲
CBM	۰,۱۵۳۱	۰,۲۶۷۱	۰,۲۶۵۴	۰,۱۹۸۷
CM	۰,۲۷۴۰	۰,۲۵۴۲	۰,۳۵۲۹	۰,۳۴۰۵
RCM	۰,۲۸۴۱	۰,۲۹۸۱	۰,۲۶۹۷	۰,۳۲۵۸

جدول ۳- رتبه بندی نهایی در انتخاب برنامه نگهداری

همانطور که از جدول ۳ بر می آید برای ناحیه ریسک بحرانی استراتژی PM، ناحیه نامطلوب RCM، ناحیه مدارا پذیر CM و برای نواحی مطلوب و قابل قبول CM پیشنهاد می شود.

لازم به توضیح است که با توجه به رویکرد مقاله حاضر در زمینه تمرکز بر بروی ناحیه ریسک بحرانی و نظر به نتایج بدست آمده از آنالیز AHP، ادامه مطالعات با فرض بکارگیری تعمیرات پیشگیرانه تکمیل شده است. همچنین لازم است به این نکته نیز اشاره گردد که در حال حاضر رویکرد اصلی تعمیر و نگهداری مورد استفاده در پالایشگاه گاز سرخون، رویکرد تعمیرات پیشگیرانه بوده و اکثرا تجهیزات حساس پالایشگاه تحت پوشش این برنامه تعمیراتی قرار دارند لذا خود این امر نیز موید انجام ادامه مطالعات با فرض بکارگیری این رویکرد تعمیر و نگهداری می باشد.

شکل ۷ نحوه ایجاد یک برنامه تعمیر و نگهداری را بصورت یک فلوچارت نمایش می دهد. همانگونه که در فلوچارت مربوطه مشاهده می گردد، از آنالیز معکوس درخت خرابی برای محاسبه دوره نگهداری بهینه استفاده می گردد. بدین ترتیب که با دانستن سطح ریسک قابل قبول برای تجهیز مورد نظر می توان حداکثر احتمال وقوع خرابی قابل قبول را برای این تجهیز محاسبه نموده و سپس دوره نگهداری بهینه را مشخص نمود.



شکل ۷. نمایش نحوه تدوین یک برنامه نگهداری

۳- مطالعه موردی: تدوین استراتژی تعمیر و نگهداری برای تجهیزات ابزاردقیقی پالایشگاه

طی بررسی های انجام شده این نکته بدست آمد که تا بدین لحظه، این نوع استراتژی تعمیر و نگهداری از طرف بخش های مختلف اصولاً در مورد تجهیزات مکانیکی بکار گرفته می شود و می توان ادعا نمود که تحقیق حاضر به نوعی به عنوان امکان‌سنجی استفاده از این روش در مورد تجهیزات ابزاردقیق بوده و که جز اولین قدمهای برداشته شده در سطح ملی و یا حتی بین المللی می باشد که به این موضوع پرداخته است.

با توجه به اینکه سیستم کنترل و ابزاردقیق پالایشگاه ها و مراکز صنعتی را می توان به سیستم مغز و اعصاب بدن آدمی تشبیه نمود، صحت عملکرد این سیستم، جز مهم ترین مواردی است که نیاز است بمنظور اطمینان از بهره برداری مناسب کل مجموعه پالایشگاهی و نیز افزایش قابلیت اطمینان همواره در نظر گرفته شود.

[Downloaded from joc.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20088345.1392.7.4.4.9]

یکی از مراحل اصلی جهت اجرایی سازی روش تعمیر و نگهداری ریسک-مبنا ، انتخاب ابزاردقیق های هدف بمنظور می باشد. بدیهیست که در این انتخاب نیاز است تجهیزاتی منتخب گردند که دارای بیشترین اطلاعات آماری ثبت شده موجود چه در بخش تاریخچه تعمیرات و چه در بخش اسناد باشند.

همچنین در گام بعدی نیاز است که به بررسی عوامل تاثیرگذار داخلی و خارجی نظیر میزان رطوبت، دما، کیفیت سیال و... بر روی تجهیزات ابزاردقیقی پرداخته شده و نحوه اثرگذاری هر پارامتر و راهکارهای مناسب جهت کاهش قدرت تخریب بررسی گردند.

.

شایان ذکر است که در ادبیات بحث تعمیر و نگهداری، مفهوم "قابلیت اطمینان" بصورت احتمال این امر که یک تجهیز عملکرد صحیحش را تحت شرایط مشخص و در یک بازه زمانی خاص داشته باشد، تعریف می گردد. انجام پیشبینی طول عمر مفید با درجه‌ای از اطمینان کاملا به تعریف صحیح پارامترهای مورد استفاده وابسته است. برای مثال انتخاب مناسب توزیع آماری که رفتار داده ها را بخوبی مدل نماید از درجه بالای اهمیت برخوردار است. بدیهیست که اگر توزیع مناسبی انتخاب نگردد، نتایج بدست آمده قابل اطمینان نخواهد بود. این اطمینان که بر موضوعاتی نظیر اندازه داده ها وابسته است، باید به اندازه کافی بزرگ بوده تا بتوان تصمیمات غالبا صحیح را بر پایه آن اتخاذ نمود. تعیین نرخ خرابی هر تجهیز نیز باید بر پایه یک جمعیت آماری نسبتا بزرگ صورت پذیرد.

بطور کلی به منظور مدلسازی کارا برای قابلیت اطمینان تجهیز، باید مدلی انتخاب شود که برای مجموعه داده‌ها و محیطی که داده از آن جمع آوری می شود، مناسب‌تر باشد. جمع آوری داده ها و بررسی آنها، در انتخاب مدل و اعتبارسنجی آن، دارای اهمیت بسیاری می باشد. با توجه به شرایط موجود و کمبود اطلاعات مدون در رابطه با تجهیزات تحت بررسی توزیع Weibull بعنوان بهترین گزینه می‌تواند انتخاب گردد. یکی از ویژگی‌های اصلی توزیع Weibull انعطاف پذیری و درجه آزادی نسبتا زیاد آن می باشد که این قابلیت را در آن ایجاد می نماید که با تغییر پارامترهای آن طیف گسترده ای از توزیع های آماری از گوسی تا نمایی را مدل سازی کند.

با توجه به توضیحات فوق، نیاز است که مراحل زیر به‌منظور توسعه استراتژی تعمیر و نگهداری ریسک-مبنا جهت کاربری در پالایشگاه گاز و بمنظور کاربری بر روی تجهیزات ابزار دقیق صورت پذیرد.

۳-۱- شناسایی حوزه و وسعت سیستم:

در زمینه حوزه و وسعت سیستم برای هر یک از تجهیزات ابزاردقیق مورد مطالعه باید به این امر توجه داشت که آن تجهیز بر روی چه فرآیندی نصب شده‌است و ضمنا دقیقا چه نوع مسوولیتی از قبیل مسوولیت کنترل و یا مانیتورینگ را بر عهده دارد که در صورت وقوع خرابی آن چه بخش‌هایی از کل پلنت تحت الشعاع قرار می گیرند. با این نگاه می توان حوزه کلی سیستم مربوط به هر تجهیز ابزاردقیقی را مشخص نمود.

۳-۲- محاسبه‌ی ریسک:

- تعیین احتمال خطا:

با توجه به اطلاعات ثبت شده در واحد تعمیر و نگهداری تجهیزات پالایشگاه، می توان تابع خرابی مربوط به هر تجهیز را مشخص نمود جدول ۴پارامترهای مربوط به تابع تجمعی خرابی هر تجهیز محاسبه شده با استفاده از تکنیک فرایند برازش منحنی را نمایش می دهد.

نام تجهیز	پارامتر شکل β	پارامتر مقیاس η (بر حسب ماه)	تابع توزیع تجمعی (در طول یکسال)
فلو ترنسمیتر	۲,۱۷	۲۰,۷۷	۰,۲۶
ترنسمیتردرجه حرارت	۱,۸۲	۱۷,۵۴	۰,۳۹
سوئیچ سطح	۲,۰۵	۲۰,۱۴	۰,۲۹
آنالایزر	۳,۲۶	۱۷,۵۴	۰,۲۵

جدول ۴. اطلاعات مربوط به تابع احتمال تجمعی خرابی

- ایجاد و بسط سناریوی خطا

در این مرحله برای هر تجهیز محتمل‌ترین سناریوی خرابی از لیست کلیه خرابی های قابل وقوع در نظر گرفته می شود که هر کدام از این سناریو ها منجر به وقوع پیامد مخصوص به خود خواهند شد.

کلیه سناریوهای ممکن تعمیر و نگهداری مربوط به خرابی های محتمل که در این تحلیل در نظر گرفته شده اند عبارتند از:

- کالیبراسیون دوره‌ای.
- بازرسی دوره‌ای ارتباطات الکتریکی که در آن باید سفت بودن آنها بررسی شده و اثری از خوردگی هم در آنها دیده نشود.

[Downloaded from joc.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20088345.1392.7.4.4.9]

- بازرسی دوره‌ای سیم کشی‌های الکتریکی که در آن علاوه بر بازرسی اتصالات بمنظور رصد کردن خوردگی در آنها، عایق آنها نیز باید جهت مشاهده اثرات زوال بررسی گردند.
- بازرسی دوره ای محفظه که باید تایید شود که محافظت‌های لازم در زمینه رطوبت و seal های مربوط به مدار کنترل کافی بوده و هیچ اثری از ورود رطوبت به محفظه وجود ندارد.
- بازرسی دوره‌ای اینکه تمام seal های مربوط به ارتباطات فرآیندی به خوبی عملکرده و هیچ نشتی رخ نمی دهد.
- بازرسی دوره‌ای المان اندازه گیری به منظور اطمینان از عدم آلودگی، وجود خوردگی ، زنگ زدگی و ... در آن

و سناریوی خرابی انتخابی برای هر تجهیز با توجه به محتمل‌ترین خطادر جدول ۵ نشان داده شده است.

نام تجهیز	سناریوی خطا
فلو ترنسمیتر	سیم بندی تجهیز دچار خطا شده است
ترنسمیتر درجه حرارت	سیم بندی تجهیز دچار خطا شده است.
سوئیچ سطح	تجهیز در تشخیص سطح دچار خطا شده است.
آنالایزر	تجهیز بطور مطلوب کارایی ندارد.

جدول ۵. تجهیزات شرکت پالایش گاز سرخون و قشم و سناریوی خرابی هر تجهیز(از ذکر تجهیزات مشابه خود داری شده است)

- آنالیز پیامد

آنالیز پیامد برای هر کدام از سناریو های هر تجهیز انجام شده است. در این مورد نظر کارشناسان برای کمیت دهی به این پیامدها مد نظر قرار گرفته شده است. بدین صورت که اثر از دسترس خارج شدن هر تجهیز، صرفا از جنبه زیان مالی و توقف قسمتهایی از کل پلنت که به آن تجهیز وابسته اند، بررسی می گردند. در همین راستا میزان تولید پالایشگاه محاسبه شده و به تبع آن میزان خسارت ناشی از توقف قسمت های مختلف پالایشگاه بدست آمده و با مشخص شدن پیامد توقف هر تجهیز به همراه تابع احتمال خرابی آن، ریسک مورد نظر مطابق جدول ۶ محاسبه خواهد شد.

مجدد ذکر می گردد که در این پژوهش تنها پیامد زیانهای مالی مد نظر قرار گرفته شده است.

نام تجهیز	پیامد زیانهای مالی($)	مقدار ریسک (در طول یک سال)
فلو ترنسمیتر	۱۶۷۵	۴۳۸
ترنسمیتر درجه حرارت	۱۷۲۳	۶۷۸
سوئیچ سطح	۱۶۸۳	۴۹۱
آنالایزر	۱۴۰۸	۳۵۴

جدول ۶. پیامد زیانهای مالی و ریسک هر تجهیز

۳-۳- ارزیابی ریسک:

بعد از محاسبه ریسک برای هر تجهیز نوبت به ارزیابی ریسک با توجه به ریسک‌های بدست آمده می رسد.بدیهیست جهت ورود به این امر ابتدا می‌بایست سطح قابل قبول ریسک برای هر کدام از تجهیزات تعیین شود.

با توجه به تجربیات جمع آوری شده از کارشناسان تعمیر و نگهداری و کمی سازی این تجارب در زمینه تامین ریسک قابل قبول(با توجه به میزان پیامد قابل تحمل خرابی و نیز تابع احتمال خرابی) مقدار قابل ریسک برای هر تجهیز در جدول ۷ خلاصه شده است.

نام تجهیز	مقدار قابل قبول ریسک (در طول یک سال)
فلو ترنسمیتر	۳۲۰
ترنسمیتر درجه حرارت	۶۵۰
سوئیچ سطح	۴۰۸
آنالایزر	۳۱۲

جدول ۷. مقدار قابل قبول ریسک برای هر تجهیز

۳-۴- تدوین برنامه نگهداری

در این مرحله با مشخص شدن میزان ریسک فعلی و نیز مقدار ریسک قابل قبول برای هر کدام از تجهیزات، نیاز است که طول دوره تعمیرات پیشگونه بهینه مجدد تعیین گردد. در همین راستا ابتدا با توجه به مقدار ریسک قابل قبول هر تجهیز بزرگترین مقدار احتمالی که منجر به بوجود آمدن این ریسک می‌شود محاسبه می شود و سپس فرکانس دوره نگهداری متناظر با آن تعیین می گردد. در جدول ۸ برای هر کدام از تجهیزات روند گفته شده انجام شده است.

[Downloaded from joc.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20088345.1392.7.4.4.9]

نام تجهیز	بزرگترین مقدار قابل قبول تابع احتمال خطا	تناوب دوره نگهداری (بر حسب ماه)
فلو ترنسمیتر	۰,۲۶۹۷	۸,۳
ترنسمیتر درجه حرارت	۰,۱۷۵۲	۴,۵
سوئیچ سطح	۰,۱۷۵۷	۶
آنالایزر	۰,۲۷۸۶	۹,۶

جدول ۸. دستور العمل تعمیر و نگهداری پیشگیرانه

۴- نتیجه گیری:

در این تحقیق نحوه طراحی و پیاده سازی برنامه‌ی تعمیر و نگهداری ریسک مبنا برای تعدادی از تجهیزات ابزار دقیقی شرکت پالایش گاز سرخون و قشم انجام شد. بر این اساس بعد از معرفی برنامه‌ی نگهداری ریسک مبنا نسبت به بکار گیری این روش در شرکت پالایش گاز سرخون و قشم برای افزایش طول عمر تجهیزات هدف و کاهش هزینه و جلوگیری از اتفاقات ناگوار اقدام گردید.

در قسمتی از این مقاله برای این‌که بتوان برنامه‌ی نگهداری مناسب را برای هر یک از این تجهیزات که در نواحی مختلف ریسک قرار دارند انتخاب کرد از آنالیز AHP استفاده شد. این آنالیز نشان داد که با در نظر گرفتن معیارهای تعیین شده توسط کارشناس پالایشگاه می توان برای سطح ریسک بحرانی از PM، سطح ریسک نامطلوب RCM، سطح ریسک مدارا پذیر CM و برای سطوح ریسک مطلوب و قابل قبول از CM استفاده کرد. با توجه به تمرکز تحقیق حاضر بر روی نواحی ریسک بحرانی، ادامه قدم‌ها با فرض بکارگیری استراتژی PM برداشته شد.

بعد از محاسبه‌ی احتمال هر تجهیز و سپس با در نظر گرفتن پیامد ناشی از وقوع سناریوی خرابی که برای این تجهیزات و بر طبق نظر کارشناسان نگهداری معین شده بود، مقدار ریسک هر تجهیز محاسبه گردید. از آنجایی‌که ریسک محاسبه شده‌ی هر تجهیز بیشتر از مقدار مجاز ریسک برای آن تجهیزات است لذا می بایست برای هر تجهیز قبل از اینکه تجهیز دچار خرابی شود، طول دوره‌ی نگهداری پیشگیرانه معین شود تا مسئولان نگهداری قبل از اتمام دوره نگهداری نسبت به بازدید و بازرسی تجهیزات اقدام نمایند.

نهایتا اینکه در ادبیات موضوع، بحث تعمیر و نگهداری ریسک مبنا بر روی تجهیزات گران قیمت و حساس مکانیکی که به‌کارگرفته می‌شود و استفاده از این روش بر روی تجهیزات ابزاردقیق چندان دارای توجیه اقتصادی نبوده است. با این وجود به دلیل اهمیتی که یک ابزاردقیق(سنسور و یا عملگر) می تواند در یک حلقه کنترلی داشته باشد و خرابی غیر مترقبه آن می تواند باعث از سرویس خارج شدن کل واحد و توقف تولید گردد، لذا در این مقاله برای اولین بار درکشور، بکارگیری تعمیر و نگهداری ریسک مبنا بر روی این ادوات حساس ابزاردقیقی مورد بررسی قرار گرفته و طی مطالعات و بررسی های صورت گرفته، استفاده از این استراتژی کاملا توجیه پذیر بوده است. ضمنا یکی از دستاوردهای تحقیق حاضر، تدوین استراتژی بدست آوردن توزیع آماری خرابی ها و در اصل استخراج تابعی است که به بهترین شکل ممکن بتواند خرابی‌های رخداده بر روی تجهیزات ابزاردقیقی را از لحاظ آماری مدلسازی نماید. البته همانگونه که پیشتر نیز ذکر گردید، اولین پیشنیاز برای انجام هرگونه مدلسازی آماری، در اختیار داشتن اطلاعات کافی و در اصل داده های ثبت شده و معتبر از خرابی ها و سرویس های صورت گرفته بر روی هر تجهیز می باشد که با توجه به میزان غنای اطلاعات می توان به مدل‌های با دقت بالاتر دست یافت.

تقدیر و تشکر

این طرح با حمایت مالی شرکت پالایش گاز سرخون و قشم طی پروژه‌ی شماره‌ی ۲۶۵۹۶۳ اجرا شده است.

مراجع

[1] Aller, J.E., Horow itz, N.C., Reynolds, J.T., Weber, B.J., Risk-based inspection for the petrochemical industry. In: Risk and Safety Assessments, Where is the Balance? Proc of ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference, vol.296, New York, 1995.

[2] American Petroleum Institute, Risk-based Inspection, first ed. API Recommended Practice 580, 2002.

[3] Bertolinia, M., Bevilacquab, M., Ciarapicab, F.E., Giacchettab, G., Development of risk-based inspection and maintenance procedures for an oil refinery. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 22 (2), 244–253, 2009.

[Downloaded from joc.kntu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.20088345.1392.7.4.4.9]

[4] Bevilacqua, M., Braglia, M., The analytical hierarchy process applied to maintenance strategy selection. Reliability Engineering & System Safety 70, 71–83, 2000.

[5] Chen, L. N., & Toyoda, J., Maintenance scheduling based on two level hierarchical structure to equalize incremental risk. IEEE Truncations on Power Systems, 5(4), 1510–1561, 1990.

[6] Dey, P.K., Decision support system for inspection and maintenance of cross- country petroleum pipeline. IEEE Transactions on Engineering Management 51, 47–56, 2004.

[7] Khan, F.I. and Haddara, M.M., Risk-based maintenance (RBM): a quantitative approach for aintenance/inspection scheduling and planning, J Loss Prev Process Ind, 16: 561–573, 2003.

[8] Khan, F. I., & Abbasi, S. A., Risk assessment in chemical process industries: Advance echniques. New Delhi: Discovery Publishing House, 1998.

[9] Kumar, U., Maintenance strategies for mechanized and automated mining systems; a reliability and risk analysis based approach. Journal of Mines, Metals and Fuels, Annual Review , 343–347, 1998.

[10] Saaty, T.L., Multicriteria Decision-making: the Analytic Hierarchy Process (University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA), 1988.

[Downloaded from joc.kntu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.20088345.1392.7.4.4.9]