

Risks management of Tube Bundle heat exchanger in the petrochemical industries using the Risk-Based Inspection approach

Behnam Moradi¹ , Reza Khani Jazani² , Hamzeh Gheisvandi³ , Ghazale Monazami Tehrani^{*4} 

1- Msc, Department of Health, Safety and Environment, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

2- Professor, Department of Health, Safety and Environment, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

3- Msc, Department of Ergonomic, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

4- Assistant Professor, Department of Health, Safety and Environment, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Abstract

Background and Aims: Identification of hazards and taking constructive measures for their management are a cause for concern in the fields of oil, gas and petrochemical industries. Tube bundle is one of the most important sub-equipments in heat exchangers, where any damage to it could lead to a disturbance in the performance of the heat exchanger stopping the process. The purpose of this study is to identify and manage the failure risks of tubular bundle EA-1101 by using Risk-Based Inspection (RBI).

Materials and Methods: Semi- quantitative analysis of risk - based inspection method was used to manage the risk of failure and optimize the inspection of tube bundle (TB) of heat exchange. Necessary information of EA-1101 was collected to carry out the RBI and finally the inspection program was determined using RBI software. All stages of this research were conducted ethically.

Results: The results of the RBI analysis showed that the tube bundle failure was occurred in the form of local thickness or uniform reduction. Also, general thinning (uniform) and cooling water corrosion were considered as failure mechanism. The risk level of this sub-equipment was medium (3C) and the effectiveness of inspection method was classified as Highly Effective (A) and Usually Effective (B), according to the API-581 standard.

Conclusion: The results showed that suggested method can identify failure mechanisms of these types of equipment with high reliability and high effectiveness inspection program with corrective action plans to manage the risks.

Keywords: Risk-Based Inspection, Semi-Quantitative Analysis, Tube Bundle (TB), Effectiveness.

Please Cite this article as: Moradi B, Khani Jazani R, Gheisvandi 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.

***Corresponding Author:** Department of Health, Safety and Environment, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

Email: ghazaleh.monazami@sbmu.ac.ir

DOI: <https://doi.org/10.22037/jhf.v7i1.24965>

Received: 5.Apr.2019

Accepted: 29.May.2019

مدیریت ریسک‌های تیوب بانددل مبدل حرارتی در صنعت پتروشیمی با رویکرد بازرسی بر مبنای ریسک

بهنام مرادی^۱ ID، رضا خانی جزینی^۲ ID، حمزه قیسوندی^۳ ID، غزاله منظمی تهرانی^۴ ID*

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مدیریت HSE، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
 ۲- استادیار، گروه مدیریت HSE، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
 ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه ارگونومی، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
 ۴- استادیار، گروه مدیریت HSE، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده

زمینه و اهداف: در حوزه نفت، گاز و پتروشیمی یکی از مهم‌ترین دغدغه‌ها، شناسایی مخاطرات و اتخاذ تدابیر سازنده در جهت مدیریت آن‌ها است. تیوب بانددل یکی از زیر تجهیزات مهم در مبدل‌های حرارتی می‌باشد که هرگونه آسیبی در آن منجر به اختلال در عملکرد مبدل حرارتی و در نهایت توقف فرآیند می‌گردد. این پژوهش با هدف شناسایی و مدیریت ریسک‌های خرابی زیر تجهیز تیوب بانددل با استفاده از روش بازرسی بر مبنای ریسک (Risk-Based Inspection: RBI) به انجام رسید.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش از روش آنالیز نیمه کمی بازرسی بر مبنای ریسک، در جهت مدیریت ریسک‌های خرابی و بهینه‌سازی برنامه‌های بازرسی تیوب بانددل (TB) مبدل حرارتی EA-1011 استفاده شد. اطلاعات پایه زیرتجهیز برای انجام RBI جمع‌آوری و پس از انجام عملیات نرم‌افزاری، خروجی‌ها تفسیر و در نهایت برنامه بازرسی ارائه گردید. تمام مراحل مطالعه حاضر طبق موازین اخلاقی اجرا گردید.

یافته‌ها: نتایج آنالیز RBI نشان داد که حالت خرابی تیوب بانددل، کاهش ضخامت موضعی یا یکنواخت و مکانیزم خرابی آن کاهش ضخامت عمومی (یکنواخت) و خوردگی آب‌خنک کننده می‌باشد. سطح ریسک آن متوسط (3C) و اثربخشی روش‌های بازرسی تعیین شده مطابق با طبقه‌بندی استاندارد API-581 در طبقه بسیار اثربخش (A) و معمولاً اثربخش (B) قرار دارد.

نتیجه‌گیری: نتایج حاکی از آن است این روش می‌تواند مکانیزم‌های خرابی را با قابلیت اطمینان بالایی شناسایی نموده و برنامه‌های بازرسی اثربخش با برنامه‌های عملیاتی صحیح در راستای مدیریت ریسک این گونه تجهیزات ارائه دهد.

کلیدواژه‌ها: بازرسی بر مبنای ریسک (RBI)، آنالیز نیمه کمی، تیوب بانددل (TB)، اثربخشی

*نویسنده مسئول: ایران، تهران، اوین، میدان شهید شهریار، بلوار دانشجو، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دانشکده بهداشت و ایمنی.

مقدمه

صنعت پتروشیمی همگام با پیشرفت تکنولوژی، از دستگاه‌ها و تجهیزات به روز و پیچیده‌ای استفاده می‌کند که به منظور افزایش تولید و در نهایت افزایش بهره‌وری و توان رقابتی در این صنعت، ملزم به استفاده و ارائه برنامه بهینه بازرسی فنی می‌باشد [۱]. در این صنایع، ظروف تحت فشار، مخازن ذخیره، مبدل‌های حرارتی، سیستم‌های لوله‌کشی و سایر تجهیزات با گذشت زمان در معرض انواع گوناگونی از خرابی‌ها قرار گرفته و مستهلک می‌شوند. به منظور جلوگیری از وقوع حوادث ناگوار و به حداقل رسانیدن خطرات غیرمنتظره، بازرسی تجهیزات از لحاظ وجود یکپارچگی مکانیکی و سرویس‌دهی ایمن و مداوم تأسیسات امری حساس می‌باشد. شایان ذکر است که با گذشت زمان و با افزایش عمر یک واحد، الزامات نگهداری اهمیت می‌یابد و به منظور بهبود ایمنی و دستیابی به سازگاری بهینه، سرمایه‌گذاری در نگهداری ضروری به نظر می‌رسد [۲].

مبدل‌های حرارتی از جمله تجهیزاتی است که برای انتقال حرارت مؤثر بین دو سیال (گاز یا مایع) به دیگری استفاده می‌گردند. از انواع مبدل‌ها می‌توان به مواردی چون، مبدل‌های لوله‌ای (شامل U شکل، دو لوله‌ای ساده و دو لوله‌ای کوئل دار) مبدل‌های پوسته و لوله، مبدل‌های صفحه‌ای و مبدل‌های پره‌دار اشاره نمود [۳]. این تجهیزات برحسب نوع کاربرد، در معرض بسیاری از آسیب‌ها و انواع خوردگی قرار می‌گیرند. یکی از زیر تجهیزات مبدل‌های حرارتی، تیوب باندها می‌باشند که هرگونه خسارت در این زیر تجهیز موجب توقف یا اختلال در عملکرد مبدل گردد [۴].

از دست رفتن توانایی در مهار کردن سیالات خطرناک (نشتی) در تجهیزات فرآیندی تحت فشار ممکن است باعث خرابی تجهیزات اطراف آن، آسیب به کارکنان، افت تولید و اثرات زیست‌محیطی نامطلوب شود [۵]. مطالعه زوهار (۲۰۱۰) نشان داد که ارتباط نزدیک بین نگهداری و تعمیرات و بروز حوادث عمده و بزرگ وجود دارد [۶]. مطالعه انجام شده توسط اکو و همکاران (۲۰۱۴) نیز نشان داد که از ۱۸۳ حادثه بزرگ رخ داده در آمریکا و اروپا، ۸۰ مورد از حوادث (۴۴ درصد) با تعمیرات و نگهداری مرتبط بوده‌اند [۷]. این موضوع سبب شده است که تمایل جدی برای استفاده از عامل ریسک به‌عنوان یک معیار برای برنامه‌ریزی اقدامات نگهداری و تعمیرات و همچنین بازرسی ایجاد شود [۸].

امروزه در حوزه نفت، گاز و پتروشیمی، یکی از مهم‌ترین دغدغه‌ها، شناسایی مخاطرات و ارزیابی ریسک و همچنین اتخاذ تدابیر سازنده در جهت کنترل و کاهش آن‌ها در راستای پیشگیری از زیان‌ها و نتایج نامطلوب رویداد می‌باشد [۹، ۱۰]. اخیراً توجه زیادی نسبت به مقوله

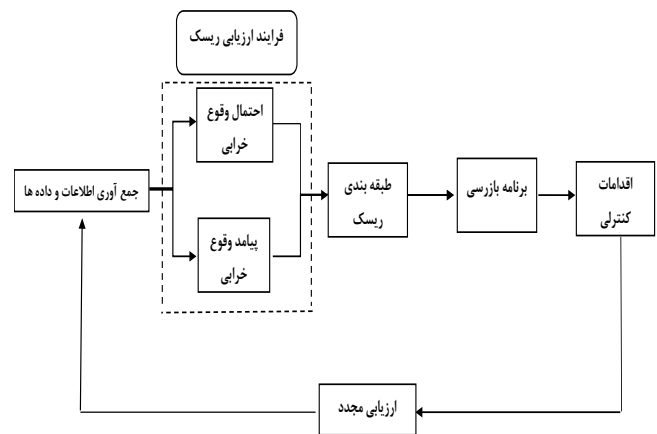
ریسک و روش‌های مبتنی بر ریسک جهت تدوین استراتژی‌های بازرسی، نگهداری و تعمیرات و مدیریت در صنایع فرآیندی نفت، گاز، پتروشیمی و صنایع نیروگاهی سراسر جهان از جمله ایران به وجود آمده است. در واقع به اجرای سیستم مدیریت بازرسی بر مبنای ریسک در واحدهای فرآیندی حساس مانند پتروشیمی‌ها و پالایشگاه‌ها توجه خاصی شده است [۱۱]. بطوریکه مطالعات نشان می‌دهند که در این صنایع، فاکتورهایی که در از دست دادن سیال (نشتی) دخیل هستند، شامل از کارافتادگی مکانیکی (۴۱٪)، خطا عملیاتی (۲۰٪)، آشفستگی فرایند (۸٪)، خطا طراحی (۴٪)، آتش‌سوزی و خرابکاری عمدی (۳٪)، بلایای طبیعی (۶٪) و موارد ناشناخته (۱۸٪) می‌باشد؛ به گونه‌ای که نشتی‌های صورت گرفته در این صنایع در سیستم خطوط لوله (۲۸٪)، مخازن (۱۵٪)، راکتورها (۱۱٪)، درام‌ها (۸٪)، پمپ‌ها و کمپرسورها (۷٪)، مبدل‌های حرارتی (۶٪)، برج‌ها (۵٪)، هیترها و بویلرها (۴٪) و سایر موارد (۱۶٪) بوده است و خسارات ناشی از این نشتی‌ها در سه دهه بین ۱ تا ۴ میلیارد دلار تخمین زده شده است [۱۲، ۱۳].

بسیاری از حوادث ناگوار به خاطر خوردگی و پوسیدگی اتصالات و تجهیزات رخ می‌دهد [۱۴]. بازرسی بر مبنای ریسک (RBI) تأثیر به‌سزایی بر پیشگیری از این حوادث و کاهش هزینه‌های مرتبط با آن دارد که در یک فرآیند مرحله‌ای، برای ارزیابی تجهیزات حساس مانند مخازن تحت فشار، مبدل‌های حرارتی، مخازن ذخیره، فیلترها و سیستم پایپینگ در مجموعه صنعتی در راستای بهره‌وری و قابلیت اطمینان به کار می‌رود [۱۵]. بنابراین با توجه به اهمیت این زیرتجهیز و بازرسی بهینه آن در راستای مدیریت خوردگی و کنترل ریسک‌های مرتبط با مکانیزم‌های خرابی آن و همچنین پیشگیری از بروز حوادث و نشتی سیال موجود در این تجهیز، در پژوهش حاضر، مدیریت ریسک‌های تیوب باندها مبدل حرارتی با رویکرد بازرسی بر مبنای ریسک مدنظر قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در سال ۱۳۹۷ در پتروشیمی بندر امام ایران انجام پذیرفت. روش انجام این پژوهش مطابق با استاندارد API-581 می‌باشد و از روش آنالیز نیمه کمی بازرسی بر مبنای ریسک استفاده شده است [۱۶]. در شکل ۱ مراحل اجرایی برنامه بازرسی بر مبنای ریسک ارائه شده است [۱۷].

در این پژوهش در گام اول با توجه به پیشنهاد گروه خبرگان که متشکل از مهندسان بازرسی فنی، مهندسان مواد و خوردگی، فلزات، مهندسان تعمیر و نگهداری سیستم‌ها، مهندسان فرآیند، مهندسان ایمنی، مهندسان بهره‌برداری، کارشناسان محیط‌زیست و سرپرست گروه (دارای تخصص در RBI) بود، یک مبدل حرارتی از واحد تفکیک مایعات گازی انتخاب و سپس زیرتجهیز تیوب باندل (EA-1101-TB) جهت آنالیز تعیین گردید. در گام دوم اطلاعات موردنیاز فرآیند RBI براساس استاندارد API-580 و API-581 که شامل بررسی اسناد طراحی و شرایط عملیاتی، بررسی سوابق بازرسی و بررسی شرایط فرآیندی و غیره می‌باشد، جمع‌آوری گردید. جدول ۱ اطلاعات پایه زیرتجهیز تیوب باندل را نشان می‌دهد که به‌منظور انجام RBI از این اطلاعات استفاده شده است.



شکل ۱- فرآیند برنامه بازرسی مبتنی بر ریسک مطابق API-581 [۱۷]
Figure 1- The process of the Risk-based inspection program according to API-580 [17]

جدول ۱- اطلاعات پایه زیر تجهیز (EA-1101-TB)
Table 1- Basic data sub-equipment TB (EA-1101-TB)

کارخانه/واحد	گروه تجهیز	کلاس تجهیز	تجهیز	زیر تجهیز	توصیف	سیستم	شماره جریان	محتوا
۱NF	مکانیکی	مبدل حرارتی	EA-1101	TB	*میعان ساز برج پروپان‌زا	-	۳۰۲	آب برج
سرویس	فاز	فشار عملیاتی (بار)	دمای عملیاتی ورودی (°C)	دمای عملیاتی خروجی (°C)	فشار طراحی (بار)	طبقه متریا	مشخصات متریا	محل فعالیت
CWS	مایع	۵/۵	۳۵	۴۵	۹۵	CS	۱۷۹A	NF-100

* Depropanizer reflux condenser

یک فاکتور خرابی مشخص (Damage Factor: Df) در فاکتور سیستم‌های مدیریت (Management System Factor: F_{MS}).

$$P_f(t) = gff \cdot Df \cdot F_{MS} \quad \text{معادله (۲)}$$

پیامد می‌تواند مرتبط با فاکتورهای ایمنی، زیست‌محیطی و اقتصادی بیان شود [۱۸]. تجزیه و تحلیل پیامد وقوع خرابی ناشی از نشی سیال در روش RBI نیمه کمی شامل دو بخش: پیامدهای ناشی از سیال قابل احتراق و پیامدهای انتشار ماده سمی می‌باشد [۱۹]. به‌منظور تحلیل پیامدهای ناشی از خرابی‌های مشخص شده برای زیر تجهیز TB از جدول طبقه‌بندی ۴ سطحی پیامدهای بهداشتی، ایمنی و زیست‌محیطی مطابق جدول ۲ استفاده شده است.

در گام سوم اقدامات مهندسی و محاسبات ریسک که شامل شناسایی مخاطرات و مکانیزم‌های خرابی، انجام محاسبات احتمال وقوع خرابی و پیامدهای آن می‌باشد، انجام گرفت. در API-RBI محاسبه ریسک را می‌توان به‌عنوان تابعی از زمان با توجه به معادله (۱) تعیین نمود که ترکیبی از احتمال وقوع خرابی (Probability of Failure: POF) و پیامد وقوع خرابی (Consequence of Failure: COF) می‌باشد.

$$R(t) = Pf(t) \cdot C(t) \quad \text{معادله (۱)}$$

احتمال وقوع خرابی $P_f(t)$ تابعی از زمان بوده و مطابق با سند API RBI-581 (معادله ۲) علت کاهش ضخامت، ترک خوردگی یا دیگر مکانیزم‌های خرابی باگذشت زمان افزایش می‌یابد. بنابراین احتمال وقوع از کارافتادگی برابر است با حاصلضرب فرکانس عمومی از کارافتادگی (Generic Failure Frequency: gff) در

جدول ۲- طبقه‌بندی چهار سطحی پیامدهای ایمنی، بهداشت و زیست‌محیطی [۲۰]
Table 2- Four Level Safety, Health, and Environmental Consequence Categories [20]

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

احتمال وقوع خرابی	1	(M)	(MH)	(H)	بالا (H)
	2	(L)	(M)	(MH)	متوسط رو به بالا (MH)
	3	(L)	(L)	(M)*	متوسط (M)
		A	B	C	پایین (L)
		پیامد وقوع خرابی			

شکل ۲- ماتریس ریسک زیر تجهیز TB
Figure 2- Risk matrix sub-equipment TB

در گام چهارم به منظور سهولت در تعیین سطح ریسک از ماتریس ریسک در سطوح ریسک پایین، متوسط، متوسط رو به بالا و بالا استفاده شد. همچنین به منظور تعیین سطح اثربخشی بازرسی‌ها که توانایی فعالیت بازرسی برای کاهش عدم اطمینان حالت خرابی تجهیزات یا اجزاء را نشان می‌دهد از ارزیابی کیفی یکی از ۵ گروه طبقه‌بندی توصیفی شامل بسیار اثربخش (A)، معمولاً اثربخش (B)، نسبتاً اثربخش (C)، اثربخشی پایین (D) و عدم اثربخشی (E) استفاده شد [۱۸]. در گام بعدی برنامه بازرسی با توجه به داده‌های تحلیل‌شده و محاسبات انجام‌شده تدوین و نهایتاً برنامه بازرسی تجهیز انتخاب‌شده ارائه می‌گردد.

یافته‌ها

ماتریس ریسک

یکی از خروجی‌های روش بازرسی بر مبنای ریسک، ماتریس ریسک می‌باشد. سطح ریسک تجهیزات را می‌توان در ماتریس ریسک مشاهده کرد. در واقع ماتریس ریسک یک‌راه مؤثر برای نشان دادن توزیع ریسک برای اجزاء مختلف در یک واحد فرآیندی بدون مقادیر عددی است. هدف از این ماتریس تعیین نواحی بحرانی است که نیازمند توجه بیشتری در بازرسی است [۲۱]. در شکل ۲ نتایج ماتریس ریسک برای تیوب باندل (EA-1101-TB) ارائه شده است.

با توجه به اینکه محور عمودی نشان‌دهنده احتمال وقوع خرابی و محور افقی نشان‌دهنده پیامد وقوع خرابی می‌باشد، ماتریس ریسک این زیرتجهیز بیانگر خوردگی داخلی با سطح ریسک متوسط (M)* و عدد ریسک (3C) می‌باشد.

برنامه بازرسی

نتایج برنامه بازرسی داخلی (کاهش ضخامت عمومی) زیر تجهیز TB در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- برنامه بازرسی داخلی (کاهش ضخامت عمومی) زیر تجهیز TB
Table 3- Internal inspection program (General Thinning) sub-equipment TB

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

این مکانیزم‌های خرابی با حرف C نشان‌دهنده امکان ایجاد پیامدهای نامطلوب به واسطه خوردگی داخلی می‌باشد که مطابق جدول (۲)، پیامدهای بهداشتی، ایمنی و زیست‌محیطی این زیر تجهیز به ترتیب شامل اثرات بهداشتی کوتاه‌مدت با بهبودی کامل، زمان از دست‌رفته مورد انتظار ناشی از جراحت با بازتوانی کامل و پیامد جزئی زیست‌محیطی در خارج از سایت و پاسخ شدید در محل می‌باشد. بنابراین با توجه به شدت پیامد در داخل سایت ناشی از وقوع خرابی در این زیر تجهیز پیشنهاد می‌گردد، برنامه بازرسی متناسب با فواصل زمانی مشخص برای این زیر تجهیز تعیین شود. مطالعه پارایوگر و همکاران (۲۰۱۶) بر روی مولد بخار با توان بازیافت حرارت (HRSG) با استفاده از روش RBI نیمه کمی، نشان داد که این گونه تجهیزات در معرض سطح ریسک متوسط بوده و مکانیزم خوردگی از نوع کاهش ضخامت عمومی می‌باشد [۲۴]. از طرفی برای کاهش ضخامت عمومی بر اساس جدول طبقه‌بندی اثربخشی بازرسی ارائه شده توسط استاندارد API-581 [۱۶]، می‌توان دریافت که اثربخشی بازرسی‌های تعیین‌شده در طبقه B یا معمولاً اثربخش قرار می‌گیرند، به گونه‌ای که روش‌های بازرسی تعیین‌شده اغلب به درستی حالت واقعی خرابی را در هر مورد با قابلیت اطمینان ۶۰ الی ۸۰ درصد نشان می‌دهند و برای خوردگی آب‌خنک کننده طبقه اثربخشی بازرسی از نوع A یا طبقه بسیار اثربخش می‌باشد و بدین معناست که روش‌های بازرسی مشخص‌شده تقریباً حالت واقعی خرابی را در هر مورد با قابلیت اطمینان ۸۰ تا ۱۰۰ درصد شناسایی می‌کنند. روش‌های بازرسی در نظر گرفته شده متناسب با نوع مکانیزم‌های خرابی این زیر تجهیز به ترتیب بازرسی چشمی داخلی و اندازه‌گیری ضخامت نقطه‌ای می‌باشد که مطابق با جدول طبقه‌بندی اثربخشی بازرسی برای مکانیزم کاهش ضخامت عمومی ارائه‌شده توسط استاندارد API-581، با توجه به استراتژی‌های موجود در سازمان در صورت انتخاب بازرسی نفوذی یا داخلی (Intrusive Inspection) برای کل ناحیه سطح انتخابی باید بیش از ۲۵ درصد بازرسی چشمی همراه با بیش از ۲۵ درصد اندازه‌گیری ضخامت نقطه‌ای و در صورت انتخاب بازرسی غیرنفوذی یا خارجی (Non-Intrusive Inspection) برای کل ناحیه سطح بیش از ۷۵ درصد تست التراسونیک و رادیوگرافی از مکان‌های پایش وضعیت (Condition Monitoring locations: CML) و یا برای نواحی انتخاب‌شده بیش از ۵ درصد اسکن التراسونیک (اتوماتیک یا دستی) یا بیش از ۵ درصد تست رادیوگرافی انجام گیرد [۱۶]. همچنین پیشنهاد می‌گردد که فواصل بازرسی این گونه تجهیزات متناسب با نوع بازرسی که داخلی است به صورت سالانه انجام شود؛ بنابراین به فاصله ۲ سال نسبت به اولین بازرسی باید بازرسی جدید انجام گیرد. مطالعه‌ای توسط رشتچیان و همکاران (۱۳۸۴) در صنایع شیمیایی

مطابق جدول، نوع بازرسی بر اساس نوع مکانیزم خرابی (کاهش ضخامت عمومی) داخلی بوده و روش‌های بازرسی شامل بازرسی چشمی، اندازه‌گیری ضخامت نقطه‌ای و فاصله بازرسی ۲ سال می‌باشد. همچنین اثربخشی بازرسی‌های تعیین‌شده در طبقه B (معمولاً اثربخش) قرار دارد. برنامه بازرسی داخلی (خوردگی آب‌خنک کننده) زیر تجهیز TB در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- برنامه بازرسی داخلی (خوردگی آب‌خنک کننده) زیر تجهیز TB
Table 4- Internal inspection program (Cooling water corrosion) sub-equipment TB

نوع بازرسی	داخلی
مکانیزم خرابی	خوردگی آب‌خنک کننده
اثربخشی بازرسی	A
روش‌های بازرسی	۱- بازرسی چشمی ۲- اندازه‌گیری ضخامت نقطه‌ای
فواصل بازرسی (سال)	۲

نتایج این بازرسی نیز نشان داد که نوع بازرسی بر اساس نوع مکانیزم خرابی که خوردگی آب‌خنک کننده است، داخلی و روش‌های بازرسی شامل بازرسی چشمی، اندازه‌گیری ضخامت نقطه‌ای و فاصله بازرسی ۲ سال می‌باشد. همچنین اثربخشی بازرسی‌های تعیین‌شده در طبقه A (بسیار اثربخش) قرار دارد.

بحث

هدف از این مطالعه ایجاد یک استراتژی یکپارچه به منظور شناسایی مکانیزم‌های خرابی و ارائه روش‌های بازرسی متناسب با آن‌ها به منظور مدیریت ریسک‌های مربوطه است. بنابراین در این پژوهش به منظور ارتقای سطح ایمنی، یکپارچگی دارائی‌ها و قابلیت اطمینان تجهیزات، از روش نوین RBI با هدف توسعه و اجرا یک برنامه سیستماتیک در جهت بهینه‌سازی هزینه‌های تعمیرات و نگهداری، بازرسی و همچنین کاهش ریسک‌های موجود در مدت زمان عمر تجهیزات به کار گرفته شده است [۲۳، ۲۲]. با توجه به خروجی‌های این روش حالت خرابی زیر تجهیز TB، کاهش ضخامت موضعی یا یکنواخت با مکانیزم خرابی کاهش ضخامت عمومی و خوردگی آب‌خنک کننده می‌باشد. همچنین با توجه به ماتریس ریسک این زیر تجهیز می‌توان دریافت که نرخ خوردگی داخلی در پایین‌ترین حد ممکن قرار دارد و خوردگی خارجی در این زیر تجهیز وجود ندارد؛ به عبارتی احتمال وقوع خرابی عدد ۳ (سطح ریسک متوسط) را به خود اختصاص داده است. از طرفی پیامد وقوع خرابی حاصل از

تشکر و قدردانی

این پژوهش بخشی از پایان نامه کارشناسی ارشد مدیریت HSE دانشکده بهداشت و ایمنی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران است. از تمامی مدیران و مسئولین مجتمع پتروشیمی بندر امام به خصوص جناب آقایان مهندس سید محمدصادق فاضل، مهندس علیرضا مهدوی زاده و مهندس نیما تاجیک به منظور همکاری‌ها و حمایت‌های بی‌دریغشان، تشکر و قدردانی می‌شود.

نشان داد که با استفاده از روش RBI، روش بازرسی مناسب با حداقل هزینه شناسایی خواهد شد و بازرسی بر روی نقاط غیر مهم کنار گذاشته شده و یا پیرو زمان آن افزایش خواهد یافت. همچنین بازرسی به صورت کاملاً اختصاصی در نقاط مختلف فرآیند مشخص خواهد شد [۲۵]. همچنین مطالعه انجام شده توسط پریانتا و همکاران (۲۰۱۷) با عنوان بازرسی بر مبنای ریسک بر روی مبدل حرارتی خنک‌کننده گاز نشان داد که با توجه به سطح ریسک به دست آمده به وسیله روش نیمه کمی RBI می‌توان زمان مناسب انجام بازرسی تیوب و Header Box تعیین کرد و همچنین با کمک این روش می‌توان سطح ریسک این دو تجهیز را از ۴/۵۳۷ مترمربع در سال ($m^2/year$) به ۰/۴۵۳ برای تیوب و ۴/۵۲۸ به ۰/۵۶۳ مترمربع در سال ($m^2/year$) برای Header Box کاهش داد [۲۶]. موراریو و همکاران (۲۰۱۳) با مطالعه مبدل حرارتی یک کارخانه شیمیایی تولیدکننده آب‌سنگین نشان دادند که نتایج به دست آمده از اجراء یکپارچه سیستم مدیریت ریسک منجر به درک بهتر از پیامد ریسک، طبقه‌بندی دقیق اجزاء در یک ماتریس احتمال - پیامد می‌شود. همچنین به‌طور پیش‌فرض از طریق افزایش ایمنی عملیات منجر به افزایش بهره‌وری کسب‌وکار، بازگشت سرمایه، کاهش هزینه‌های بازرسی‌های غیرضروری اجزاء با ریسک پایین، کاهش خسارات ناشی از توقف و کاهش هزینه‌های ناشی از خرابی و توسعه یک برنامه بازرسی به‌منظور کاهش ریسک اجزاء بحرانی بر اساس نتایج حاصل از ارزیابی ریسک می‌شود [۲۷].

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش حاکی از آن است که با استفاده از روش بازرسی بر مبنای ریسک می‌توان مکانیزم‌های خرابی را با قابلیت اطمینان بالا در هر مورد شناسایی نمود و برنامه‌های بازرسی اثربخش با فواصل زمانی مشخص به‌منظور شناسایی مکانیزم‌های خرابی ارائه داد و در نهایت راهکارهای کنترلی به منظور مدیریت ریسک‌های ناشی از این مکانیزم‌های خرابی را پیشنهاد نمود. از طرفی RBI همگام با اجرای صحیح دستورالعمل‌ها می‌تواند یک روش بسیار مؤثر در ارزیابی ریسک موارد بحرانی باشد. همچنین با انجام این روش امکان پیاده‌سازی سیاست‌های مربوط به افزایش بهره‌وری تولید، کاهش حوادث منجر به آسیب‌های جانی، مالی و زیست‌محیطی فراهم می‌گردد. بنابراین به دلیل اینکه RBI اولین گام به‌منظور دستیابی به یک برنامه مدیریت ریسک یکپارچه می‌باشد، ارتقای سطح دانش و مهارت صنایع ایران در خصوص این روش ضروری به نظر می‌رسد.

References

- 1- Moemeni M, Hoseinpour M, Heidari R, Abdali A. The feasibility study of TPM system implementation in Khouzestan Petrochemical Co. *Journal Of Industrial Management* 2010; 5(12):1 17-(In Persian).
- 2- Pour Jalal M, Mehrab M. Investigation of the Risk-based Inspection System RBI and its Application in Piping. *Proceedings of the 2nd National Conference on Safety Engineering and HSE Management* 2008 Mar. 4; Tehran, Iran. P: 1210-25 (In Persian).
- 3- Razmi R, Taghizadeh K, Boyeh K. Application of heat exchangers in gas and petrochemical industries. *Proceedings of the National Conference on Chemical Sciences and Engineering* 2015 Feb. 25; Babol, Iran (In Persian).
- 4- Herro HM, Port RD, Company NC. *The Nalco Guide to Cooling Water Systems Failure Analysis*. New York: McGraw-Hill Education; 1993.
- 5- API. *Risk Based Inspection Technology*. API Recommended Practice 581. 2nd ed. Washington: American Petroleum Institute; 2008. Report No.: API RP 581.
- 6- Zohar D. Thirty years of safety climate research: Reflections and future directions. *Accident Analysis & Prevention* 2010; 42(5):1517-22.
- 7- Okoh P, Haugen S. A study of maintenance-related major accident cases in the 21st century. *Process Safety and Environmental Protection* 2014; 92(4):346-56.
- 8- Azadeh A, Mohammad Fam I. A framework for development of integrated intelligent human engineering environment. *Information Technology Journal* 2006; 5(2):290-99.
- 9- Dey P. A risk-based model for inspection and maintenance of cross-country petroleum pipeline. *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 2001; 7(1):25-43.
- 10- Halvani GH. *Safety and Health for Engineers (Safety in the Industry)*. Tehran: Sobhan Publishing; 2012 (in Persian).
- 11- 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 (In Persian).
- 12- ASME. *Inspection Planning Using Risk Based Methods*. New York: American Society of Mechanical Engineers; 2007. Report No.: ASME PCC-3,2007.
- 13- Selvik JT, Scarf P, Aven T. An extended methodology for risk based inspection planning. *Reliability: Theory & Applications* 2011; 6(1):115-26.
- 14- Pourbabaki R, Karimi A, Yazdanirad S. Modeling the consequences and analyzing the dangers of carbon disulfide emissions using ALOHA software in an oil refinery. *Journal of Health in the Field* 2019; 6(3):1-9 (in Persian).
- 15- El-Reedy MA. Risk-based inspection technique. In: El-Reedy MA, editors. *Offshore Structures: Design,*

Construction and Maintenance. Oxford: Gulf Professional Publishing; 2012.

16- API. Risk-Based Inspection Technology. 3rd ed. Washington: American Petroleum Institute; 2016. Report No.: API RP 581.

17- API. Risk based inspection. 2nd ed. Washington: American Petroleum Institute; 2009. Report No.: API RP 580.

18- Ramezani S, Shahrabi M, Hashempour S. Risk Based Inspection Technology. Tehran: Bazargani Publishing; 2016 (in Persian).

19- Tan Z, Li J, Wu Z, Zheng J, He W. An evaluation of maintenance strategy using risk based inspection. Safety Science 2011; 49(6):852-60.

20- API. Risk based inspection. 3rd ed. Washington: American Petroleum Institute; 2016. Report No.: API RP 580.

21- 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.

22- Mohamed R, Che Hassan CR, Hamid MD. Implementing risk-based inspection approach: Is it beneficial for pressure equipment in Malaysia industries? Process Safety Progress 2018; 37(2):194-204.

23- Massaeli A. A program for developing of Risk-Based Inspection (RBI) and maintenance procedures modification for a gas treating plants of NIGC. Proceedings of the 2015 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM) 2015 Apr. 27; Dubai, United Arab Emirates.

24- Prayogo GS, Haryadi GD, Ismail R, Kim SJ. Risk analysis of heat recovery steam generator with semi quantitative risk based inspection API 581. Proceedings of the AIP Conference Proceedings; 2016,1725(1).

25- Rashtchian D, Baghmayesh Gh, Moradzadeh M. Risk Inspection, A Powerful Tool in Risk Management. Proceedings of the First National Conference on Engineering Safety and HSE Management 2011 Oct. 20; Mahshahr, Iran (In Persian).

26- Priyanta D, Siswanto N, Megawan AM. Risk based inspection of gas-cooling heat exchanger. International Journal of Marine Engineering Innovation and Research 2017; 1(4):317-29.

27- Murariu A, Paşca N. Application of Risk Based Inspection to heat exchangers of a chemical plant for heavy water production. Welding & Material Testing 2013; 22:9-12.