

بررسی ارزیابی ریسک‌های ایمنی، بهداشت و زیست محیطی پالایشگاه نفت ستاره بندرعباس با تکنیک EFMEA

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۹

کد مقاله: ۷۲۵۴۹

میثم نادریان^۱

چکیده

در این پژوهش ارزیابی ریسک‌های ایمنی، بهداشت و زیست محیطی پالایشگاه نفت ستاره بندرعباس با تکنیک EFMEA مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. روش EFMEA با ۳ پارامتر تمام آیت‌ها را بررسی کرده ($RPN=S \times O \times D$) روش پالایشگاه با ۵ پارامتر ($S=A^{20} \times B^{21} \times C^{22} \times D^{23} \times E^{24}$) روش EFMEA به صورت کمی و بر اساس جداول شدت، احتمال وقوع و کشف رتبه‌بندی و روش پالایشگاه به صورت کیفی رتبه‌بندی شده است. جنبه بهداشتی با عدد اولویت ریسک ۲۱۶ جزو دسته‌ی ریسک‌های بالا در اولویت‌بندی RPN محسوب می‌شود. نتایج تجزیه و تحلیل آثار و ارزیابی پیامد این جنبه بهداشتی نشان داد شدت اثر آلودگی صوتی که به عوارض شنوایی در کارکنان منجر می‌شود خیلی بالاست. علاوه بر این، احتمال اینکه فرد دچار عوارض شنوایی شود خیلی بالا ارزیابی شده است. جنبه زیست‌محیطی با عدد اولویت ریسک ۳۱۵ جزو دسته‌ی ریسک‌های خیلی بالا در اولویت‌بندی RPN محسوب می‌شود. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آثار و ارزیابی پیامد این جنبه‌ی زیست‌محیطی نشان داد شدت اثر پراکندگی ذرات آزبست که به آلودگی هوا در زمان تعمیرات اساسی منجر می‌شود بسیار خطرناک و با اخطار است و احتمال اینکه سبب آلودگی هوای محیط کار شود به میزان بالا ارزیابی شده است. احتمال وقوع ریسک‌های ایمنی و بهداشتی با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی بدست آمد در بین ریسک‌های مورد مطالعه فعالیت در شب با وزن ۰/۵۷۶ و بالا و پایین رفتن از پله ها با وزن ۰/۵۵۸ بیشترین وزن و لغزنده بودن محل کار با وزن ۰/۱۱۶ کمترین وزن را در بین ریسک‌ها به خود اختصاص دادند.

واژگان کلیدی: ارزیابی ریسک، ایمنی، بهداشت، زیست محیطی، تکنیک EFMEA

۱- گروه مهندسی شیمی، ایمنی، بهداشت و محیط زیست، واحد گچساران، دانشگاه آزاد اسلامی، گچساران، ایران
naderi.iau.ac@gmail.com

۱- مقدمه

امروزه سازمان‌ها تلاش می‌کنند مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست، سیستم مناسبی برای حفظ و ارتقای محیط کار سالم بدون هیچگونه حادثه، آسیب و آلودگی ایجاد کنند. سیستم مدیریت HSE ابزاری است برای کنترل و بهبود عملکرد بهداشت، ایمنی و محیط کار در کلیه برنامه‌های توسعه‌ای صنعتی و غیرصنعتی [۱]. در واقع سیستمی ادغام یافته و یکپارچه است که کلیه منابع انسانی، تجهیزاتی و مالی در حمایت از یکدیگر برای تأمین سلامت و محیطی عاری از هرگونه حادثه و آسیب به کار می‌گیرند [۲]. امروزه ایجاد محیطی ایمن که در آن تمامی عوامل آسیب‌رسان شناسایی، ارزیابی، حذف یا کنترل گردیده تا سلامت افراد و تأسیسات را تضمین نماید از اولویت‌های مدیریت‌های صنعتی می‌باشد [۳]. علم ایمنی نیز همانند نگرش سنتی به ایمنی عکس‌العملی بوده است یعنی تا هنگامی که حادثه رخ نمی‌داد مدیران به فکر یافتن اشکالات و رفع آن‌ها بر نمی‌آمدند [۴]. در دهه‌های اخیر ملاحظات وجدانی و اخلاقی صاحبان صنایع در کنار الزامات قانونی و تعهدات بیمه‌ای، توجه به علم ایمنی را در جایگاهی ویژه قرار داده است. در این میان از تأثیر زیاد ایمنی بر سودآوری و افزایش رقابت با همکاران نیز نباید غافل شد [۵]. بنابراین توجه به ایمنی با نگرش پیشگیرانه نسبت به حوادث به خصوص در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی که پتانسیل بالایی جهت ایجاد سوانح انسانی و زیست‌محیطی دارند، محور توجه قرار گرفته است. صنعت گاز در ایران به دلیل وجود ذخایر عظیم گازی در این کشور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۶]. بالایشگاه‌های یکی از مهم‌ترین قسمت‌های این صنعت به شمار می‌روند و لزوم افزایش ایمنی در این بخش‌ها از مهم‌ترین موارد مورد توجه همه می‌باشد زیرا کوچک‌ترین مشکلی در این صنعت علاوه بر فجایع عظیم زیست محیطی و انسانی ممکن است مسایل اقتصادی جبران‌ناپذیری را به کشور تحمیل نماید [۷].

۲- روش تحقیق

۲-۱- ارزیابی ریسک های ایمنی، بهداشت و زیست محیطی

برای حصول نتایج از روش EFMEA استفاده شده است. روش FMEA در چارچوب به کارگیری گسترده از ابزارهای مدیریت و مهندسی کیفیت در کشورمان، کاربرد فراوانی داشته است. روش FMEA دارای کاربردهای بسیاری است و متناسب با آن‌ها، FMEAهای مختلفی نیز وجود دارد که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- FMEA مربوط به فرآیند
- FMEA مربوط به طراحی
- FMEA مربوط به سیستم
- FMEA مربوط به ماشین‌آلات
- FMEA مربوط به محیط زیست

بنابراین، با توجه به شرایط عملیاتی ناشی از فشار و دمای بالا در واحد هیدروکراکر، جنبه‌های مربوط به ریسک‌های ایمنی و بهداشتی بیشتر از جنبه‌های زیست‌محیطی گزارش و با روش FMEA جدول (۱) رتبه‌بندی و وزن‌دهی شده‌اند.

جدول (۱): نمونه‌ای از کاربرد روش روش FMEA

		P1	P2	P3
شماره‌ی عملیات		انبارش عملیات قابل اشتعال	عملیات یرس کاری	دفع ظروف بستنی
شرح عملیات		آتش	افزایش سطح سر و صدا (بالتر از ۸۵ دسی‌بل)	دفع کنترل نشده
حالت خرابی یا قوه (جنبه)				محیط زیست آلوده (مثلاً زمین)
آثار یا قوه‌ی خرابی (پیامد)		آلودگی هوا، زمین و آب	سلامت شغلی	۶
شدت (S)		۷	۹	۵
وضعیت		E	N	A
عمل خرابی یا قوه		شرایط نامناسب انبارش و جله‌جایی	طراحی اولیه‌ی دستگاه	دفع ضایعات عمومی در محل نهال
وقوع (O)		۷	۷	۵
جمع‌آوری یا یافتن از سوی پیمانکار		روش مقابله یا شرایط اضطراری	اتاقک عایق اطراف ماشین	جمع‌آوری یا یافتن از سوی پیمانکار
کنترل‌های جاری				
تشخیص (D)		۳	۲	۵
PRN		۱۴۷	۱۳۶	۱۵۰
اقدامات پیشنهادی		تعریف سیستم‌های اطفای حریق	کنترل ماهیانه‌ی شدت صدا	کنترل و جداسازی روزانه‌ی ضایعات
زمان مستلزم	مستلزم	مستلزم زیست محیطی	مستلزم زیست محیطی	مستلزم زیست محیطی
	زمان	۸۲/۶/۳	مداوم	مداوم
نتایج اقدام	اقدام انجام نشده	مشخص کردن ایستگاه‌های اطفای حریق روی نقشه‌سیایت	لحاظ شدن در برنامه‌های سالیانه زیست‌محیطی	تعریف کنترل روزانه قبل از صدور مجوز حمل به پیمانکار
	S	۷	۹	۶
	O	۵	۳	۲
	D	۲	۲	۲
	RPN	۷۰	۵۴	۲۴

جدول (۲) جنبه‌های زیست‌محیطی شناسایی و ارزیابی و به صورت کیفی رتبه‌بندی و وزن‌دهی شده و جنبه‌های حاصل از ریسک‌های ایمنی و بهداشتی شناسایی نشده‌اند.

جدول (۲): جنبه‌های زیست‌محیطی شناسایی و ارزیابی و به صورت کیفی رتبه‌بندی و وزن‌دهی شده

مرحله‌ی چرخه‌ی حیات					
	Production (تولید)			USE (مصرف)	Disposal (ضایعات)
شماره فعالیت	V6017, H6001, H6002 چرخه حیات تولید	چرخه حیات تولید	چرخه حیات تولید	چرخه حیات مصرف	چرخه حیات تولید و دفع ضایعات
فرایند/فعالیت	Fuel Gas Section فرام کردن سوخت گاز و تزریق آن به کوره				
حالت خرابی بالقوه (جنبه)	جنبه‌های زیست‌محیطی؛ آلودگی محیط زیست ۱- نشت گاز در قسمت فلنج‌های مسیر سوخت کوره یا احتمال سوراخ شدن لاین گاز و احتمال آتش‌سوزی و انفجار	جنبه‌های مربوط به ریسک‌های امنیتی؛ ۱- احتمال آتش‌سوزی در اثر نشستی از فلنج‌ها لایبی سوراخ شده روی مسیر گاز از قسمت ظرف تفکیک (کانو درام) به سمت کوره‌ها	ریسک‌های بهداشتی: ۱- سر و صدای زیاد حاصل از سوختن گاز در کوره ۲- نشت گاز از فلنج و احتمال آتش‌سوزی و انفجار و تولید ترس	۱- مصرف منابع و واد اولیه و انرژی ۲- مصرف انرژی و استفاده از سوخت فسیلی (گاز طبیعی)	ضایعات: ۱- ضایعات انرژی و مصرف سوخت ۲- ضایعات مواد نفتی
آثار خرابی بالقوه (پیامد)	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب	۱- سوختگی کارکنان در اثر حرارت ایجاد شده (در اثر Back زدن کوره و مثبت شدن کوره (Positive) در حالت عادی شعله‌ی درون کوره می‌سوزد در حالت مثبت شدن شعله به بیرون حرکت می‌کند.	۱- افت شنوایی ۲- تولید استرس شغلی	۱- کاهش منابع طبیعی در اثر استفاده از گاز طبیعی	۱- افزایش مصرف سوخت و آلودگی گرمایی و کاهش سود حاصل از فرایند و کاهش بهروری ۲- اثر زیست محیطی ندارد
شدت (S)	۹	۹	۸ ۹	۶	۵ ۴
وضعیت جنبه	۱- اضطراری - مستقیم	۱- اضطراری - مستقیم	۱- عادی - مستقیم ۲- اضطراری	۱- عادی - مستقیم	۱- عادی - غیرعادی، مستقیم ۲- غیرعادی بودن
علل بالقوه خرابی	۱- خرابی گسکی، خرابی گلند کنترل ولو، سوراخ شدن مسیرها (لوله‌ها)	۱- نشستی از ولو، گسست و سوراخ شدن مسیر	۱- سروصدای بالاتر از ۸۵ دسی‌بل حاصل طراحی اولیه دستگاه و صدای ناشی از کارکرد ادوات	۱- برای گرم کردن مخلوط خوراک واحد و گاز هیدروژن	۱- تنظیم نبودن شرایط کارکرد کوره- عایق‌کاری نکردن مناسب مسیرها ۲- نشت از گسکت
وقوع (O)	۳	۳	۹ ۳	۱۰	۵ ۴
کنترل‌های جاری	۱- استفاده از Gas detector در نزدیک کوره چک کردن مداوم کوره به وسیله افراد عملیات - تعویق گسکت معیوب و در نهایت بستن واحد در حالت اضطراری	۱- کوره چک کردن مداوم کوره به وسیله افراد عملیات - تعویق گسکت معیوب و در نهایت بستن واحد در حالت اضطراری	۱- استفاده از گوشی ۲- از طریق آموزش	۱- تنظیم هوای کوره یا اکسیژن کوره و تنظیم در افت (مکش کوره) - تنظیم برترها (مشعل کوره)	۱- بازدید و تنظیم شرایط کارکرد کوره‌ها و عایق‌کاری مناسب مسیرها ۲- بازدید و در صورت نشستی زیاد از سرویس خارج کردن
کشف (D)	۳	۳	۳ ۵	۳	۳ ۳
RPN	۸۱	۸۱	۲۱۶ ۱۳۵	۱۸۰	۵۰ ۴۸

۲-۲- تشریح روش EFMEA (تشکیل گروه)

طی اجرای EFMEA انتظار می‌رود کلیه بخش‌های سازمان که به گونه‌ای در شناسایی و ارزیابی جنبه‌ها دخیل‌اند، حضور یابند. EFMEA روش سیستماتیک با رویکرد گروهی است که یک تیم چند تخصصی را دربر می‌گیرد. بنابراین، کل واحد به منزله‌ی جامعه‌ی آماری در نظر گرفته شده و طبقه‌بندی فرآیندی فعالیت‌های واحد برای نمونه به کل واحد تعمیم داده شده است.

۲-۳- شناسایی فرآیندها

عملیات یا فرآیندهای مورد تجزیه و تحلیل که در سازمان وجود دارد، شناسایی و همراه شماره‌ی آن ثبت می‌شود.

۲-۴- حالت خرابی بالقوه (جنبه‌ها)

حالت خرابی بالقوه حالتی است که فرآیند تشریح شده در ستون قبل، به طور بالقوه نیازمندی‌های مشخص شده (استانداردها، قوانین، مقررات و غیره) را برآورده نمی‌کند.

۲-۵- آثار بالقوه‌ی خرابی

(پیامدها) آثار بالقوه‌ی خرابی به منزله‌ی آثار حالت خرابی روی مشتریان، کارکنان و سایر طرف‌های ذی‌نفع تعریف می‌شود. شدت ارزیابی از میزان جدی‌بودن پیامد و نقاط شکست بالقوه (محیط‌زیست و انسان) است. شدت، صرفاً در مورد اثر به کار می‌رود و با تخصیص عددی بین ۱ تا ۱۰ مطابق جدول (۳) رتبه‌بندی می‌شود. برای تعیین رتبه‌ی شدت به موارد زیر توجه شده است.

جدول (۳): رتبه‌بندی شدت اثر روی محیط زیست و انسان (ایمنی و بهداشتی)

رتبه	معیار: شدت اثر	اثر
۱۰	نتایج به صورت زیان شدید به سلامت انسان یا محیط زیست بدون هیچگونه اخطار یا هشدار، محتمل است (ایمنی و بهداشتی: شدت اثر و زیان‌رسانی روی انسان با توجه به مدت قرارگیری افراد کنار دستگاه یا تماس با ماده‌ی شیمیایی) (استرس: شدت اثر وقوع آتش‌سوزی و انفجار یا زیان‌رسانی که به استرس منجر می‌شود) در مورد همه‌ی پارامترها به همین ترتیب است.	خطرناک بدون اخطار
۹	نتایج به صورت زیان شدید به سلامت انسان، محیط‌زیست همراه با اخطار یا هشدار، محتمل است	خطرناک با اخطار
۸	تأثیر قابل توجه روی محیط زیست و انسان	خیلی بالا
۷	تأثیر زیاد روی محیط زیست و انسان	بالا
۶	تأثیر متوسط روی محیط زیست و انسان	متوسط
۵	تأثیر کم روی محیط‌زیست و انسان	کم
۴	تأثیر جزئی	خیلی کم
۳	محدود و کنترل‌شده	ضعیف

میزان تواتر به وقوع پیوستن علت خرابی (مشخص شده در ستون قبلی) است. رتبه‌ی احتمال وقوع با توجه به موارد زیر تعیین شد. برای تعیین رتبه‌ی احتمال وقوع باید مدت قرارگرفتن افراد کنار ادوات را در نظر گرفت. ممکن است احتمال وقوع آلودگی صوتی همیشگی، اما مدتی که فرد کنار دستگاه قرار می‌گیرد کوتاه باشد بنابراین، رتبه‌ی احتمال وقوع پایین می‌آید. احتمال وقوع نشستی که به آتش، سوزی انفجار و سوختگی افراد منجر می‌شود چقدر است؟ احتمال وقوع بر اساس تجربیات قبلی از حوادث به وقوع پیوسته و جدول (۴) تعیین شده است.

تشخیص ارزیابی از احتمالی است که کنترل‌های جاری تعریف شده، عیب یا حالت خرابی بعدی را شناسایی کند. باید فرض شود خرابی اتفاق افتاده است سپس، قابلیت‌های کلیه‌ی کنترل‌های جاری، برای پیشگیری پیامد ارزیابی شوند. در تعیین رتبه‌ی کشف به موارد زیر توجه شده است: عدد کشف به کنترل‌های جاری بستگی دارد، به هر میزان کنترل‌های جاری بالا و کارساز باشد و از خرابی‌های بعدی جلوگیری کند رتبه‌ی کشف پایین می‌آید (جدول (۵)).

جدول (۴): رتبه‌بندی احتمال وقوع

رتبه	نرخ خرابی	احتمال خرابی
۱۰	بیشتر از ۱ در ۲	خیلی بالا: خرابی اصولاً اجتناب‌ناپذیر است
۹	۱ از ۳	
۸	۱ از ۸	بالا: معمولاً مرتبط با فرایندهایی است که دارای خرابی مشابه با فرایندهای دیگرند (تکراری)
۷	۱ از ۲۰	
۶	۱ از ۸۰	متوسط: معمولاً مرتبط با فرایندهایی است که مشابه فرایندهای دیگر از آن‌ها انتظار خرابی‌های موردی می‌رود، اما تعداد آن‌ها زیاد نیست (موردی)
۵	۱ از ۴۰۰	
۴	۱ از ۲۰۰۰	پایین: خرابی‌های کنترل شده مرتبط با سایر فرایندهای مشابه (نادر)
۳	۱ از ۱۵۰۰۰	
۲	۱ از ۱۵۰۰۰	خیلی پایین: فقط خرابی‌های کنترل‌شده مرتبط با اغلب فرایندهای یکسان
۱	۱ از ۱۵۰۰۰۰	خرابی‌های غیرمعمول؛ هیچگونه خرابی در خصوص فرایندهای یکسان وجود ندارد

جدول (۵): رتبه‌بندی احتمال کشف

رتبه	معیار: احتمال اینکه پیامد به وجود آمده به وسیله کنترل‌های جاری، قبل از به وقوع پیوستن یک پیامد بارز زیست‌محیطی کشف شود	احتمال کشف
۱۰	هیچ کنترل شناخته شده‌ای برای کشف حالات خرابی شناسایی نشده است	غالباً غیرممکن
۹	احتمال کشف حالات خرابی از طریق کنترل‌های جاری خیلی بعید است	خیلی بعید
۸	احتمال کشف حالات خرابی از طریق کنترل‌های جاری بعید است	بعید
۷	احتمال کشف حالات خرابی از طریق کنترل‌های جاری خیلی پایین است	خیلی پایین
۶	احتمال کشف حالات خرابی از طریق کنترل‌های جاری پایین است	پایین
۵	احتمال کشف حالات خرابی از طریق کنترل‌های جاری متوسط است	متوسط
۴	احتمال کشف حالات خرابی از طریق کنترل‌های جاری کمی بالاست	کمی بالا
۳	احتمال کشف حالات خرابی از طریق کنترل‌های جاری بالاست	بالا
۲	احتمال کشف حالات خرابی از طریق کنترل‌های جاری خیلی بالاست	خیلی بالا
۱	کنترل‌های جاری غالباً به طور حتم حالات خرابی را کشف می‌کنند. در فرایندهای مشابه، کنترل‌های آشکارکننده قابل اطمینانی وجود دارد	غالباً حتمی

جدول (۶): رتبه‌بندی شدت اثر یا میزان مصرف منابع، مواد اولیه و انرژی

رتبه	معیار: میزان مصرف	مصرف
۱۰	صرف زیاد منابع (به میزان زیاد باعث کاهش منابع یا اتلاف آن، آلودگی محیط‌زیست یا به هم خوردن اکوسیستم دریا می‌شود)	میزان مصرف زیاد منابع (بدون در نظر گرفتن توصیه‌های قانونی)
۹	مصرف زیاد منابع با رعایت توصیه‌های قانونی (به میزان زیاد باعث کاهش منابع یا اتلاف آن، آلودگی محیط زیست یا به هم خوردن اکوسیستم دریا می‌شود)	مصرف زیاد منابع (با در نظر گرفتن توصیه‌های قانونی)
۸	مصرف خیلی بالای منابع (به میزان خیلی بالا باعث کاهش منابع یا اتلاف آن، آلودگی محیط زیست یا به هم خوردن اکوسیستم دریا می‌شود)	میزان مصرف منابع خیلی بالا
۷	مصرف بالای منابع (به میزان بالا باعث کاهش منابع یا اتلاف آن، آلودگی محیط زیست یا به هم خوردن اکوسیستم دریا می‌شود)	میزان مصرف منابع بالاست
۶	مصرف متوسط منابع (به میزان متوسط باعث کاهش منابع یا اتلاف آن، آلودگی محیط زیست یا به هم خوردن اکوسیستم دریا می‌شود)	میزان مصرف منابع متوسط
۵	مصرف کم منابع (به میزان کم باعث کاهش منابع یا اتلاف آن، آلودگی محیط زیست یا به هم خوردن اکوسیستم دریا می‌شود)	میزان مصرف کم
۴	مصرف خیلی کم منابع (خیلی کم باعث کاهش منابع یا اتلاف آن، آلودگی محیط‌زیست یا به هم خوردن اکوسیستم دریا می‌شود)	میزان مصرف خیلی کم
۳	مصرف ضعیف منابع (به میزان ضعیف باعث کاهش منابع یا اتلاف آن، آلودگی محیط زیست یا به هم خوردن اکوسیستم دریا می‌شود)	میزان مصرف ضعیف

منظور از شدت اثر در خصوص مصرف منابع میزان آن است که برای رتبه‌بندی شدت یا استفاده از منابع به موارد زیر توجه شده است. هر قدر میزان مصرف منابع بالا باشد رتبه‌ی شدت اثر نیز بالا می‌رود، زیرا مصرف زیاد به کاهش زیاد منابع منجر می‌شود که اثر بالایی در منابع طبیعی دارد (جدول (۶)).

برای رتبه‌بندی احتمال وقوع به موارد زیر توجه شده است:

آیا از منابع به صورت مداوم و همیشگی استفاده می‌شود؟ در صورت مثبت بودن جواب رتبه‌ی احتمال وقوع بالا می‌رود.

آیا در این فرایند اتلاف منابع وجود دارد؟ (جدول (۷)).

جدول (۷): احتمال وقوع مصرف منابع، مواد اولیه انرژی

رتبه	میزان مصرف (کاهش منابع، تولید آلودگی و اثر در اکوسیستم دریا)	احتمال وقوع (کاهش یا اتلاف منابع، ایجاد آلودگی یا به هم خوردن اکوسیستم دریا در اثر میزان مصرف یا برداشت منابع)
۱۰	بیشتر از ۱ در ۲	احتمال وقوع خیلی بالا: همیشه از منابع استفاده می‌شود، تکرارپذیر است (احتمال اتلاف و کاهش منابع در اثر استفاده خیلی بالاست) در مورد مصرف آب دریا: میزان برداشت آب دریا خیلی بالاست، همیشه از آن برداشت می‌شود و اثر خیلی بالایی در به هم خوردن اکوسیستم دریا یا آلودگی حرارتی حاصل از آن دارد.
۹	۱ از ۳	
۸	۱ از ۸	احتمال وقوع بالا: همیشه از منابع استفاده می‌شود، (احتمال اتلاف و کاهش منابع در اثر استفاده بالاست) در مورد مصرف آب دریا: میزان برداشت آب دریا بالاست، همیشه از آن برداشت می‌شود و اثر بالایی در به هم خوردن اکوسیستم دریا یا آلودگی حرارتی حاصل از آن دارد.
۷	۱ از ۲۰	
۶	۱ از ۸۰	احتمال وقوع متوسط: از منابع به میزان متوسط استفاده میشود (احتمال اتلاف و کاهش منابع در اثر استفاده موردی یا متوسط است) در مورد مصرف آب دریا: میزان برداشت آب دریا متوسط است و اثر متوسطی در به هم خوردن اکوسیستم دریا یا آلودگی حرارتی حاصل از آن دارد.
۵	۱ از ۴۰۰	
۴	۱ از ۲۰۰۰	احتمال وقوع پایین: از منابع به میزان کم استفاده می‌شود (احتمال اتلاف و کاهش منابع در اثر استفاده پایین است) در مورد مصرف آب دریا: میزان برداشت آب دریا کم است و اثر کمی در به هم خوردن اکوسیستم دریا یا آلودگی حرارتی حاصل از آن دارد.
۳	۱ از ۱۵۰۰۰	
۲	۱ از ۱۵۰۰۰	احتمال وقوع خیلی پایین: از منابع خیلی کم و کنترل شده استفاده می‌شود (احتمال اتلاف و کاهش منابع در اثر استفاده خیلی پایین است) در مورد مصرف آب دریا: میزان برداشت آب دریا خیلی کم است و اثر خیلی کمی در به هم خوردن اکوسیستم دریا یا آلودگی حرارتی حاصل از آن دارد.
۱	۱ از ۱۵۰۰۰۰۰	احتمال وقوع بعید است: هیچگونه کاهش یا اتلاف منابع، ایجاد آلودگی یا به هم خوردن اکوسیستم دریا در اثر مصرف منابع با برداشت منابع وجود ندارد، از منابع به گونه‌های استفاده می‌شود که احتمال زیان‌رسانی وجود ندارد.

در این رتبه‌بندی نیز به کنترل‌های جاری درباره‌ی مصرف منابع توجه شده است به این صورت که هر چه کنترل‌ها در زمینه‌ی مصرف قوی‌تر باشند، رتبه کشف پایین‌تر و هر چه کنترل‌های جاری ضعیف عمل کنند به همان نسبت، عدد کشف رتبه بالاتری را به خود اختصاص می‌دهد (جدول (۸)).

جدول (۸): احتمال کشف، مصرف منابع، مواد اولیه و انرژی

رتبه	معیار: احتمال اینکه پیامد به‌وجود آمده به وسیله کنترل‌های جاری، قبل از به وقوع پیوستن یک پیامد بارز زیست‌محیطی، کشف شود	کشف
۱۰	هیچ کنترل شناخته شده‌ای برای کنترل مصرف یا برداشت منابع که به پیشگیری از اتلاف یا کاهش منابع، تولید آلودگی یا به هم خوردن اکوسیستم دریا و آلودگی حرارتی منجر میشود شناسایی نشده است.	غالباً غیرممکن
۹		احتمال کنترل میزان مصرف یا برداشت منابع که به پیشگیری از اتلاف یا کاهش منابع، تولید آلودگی یا به هم خوردن اکوسیستم دریا و آلودگی حرارتی منجر می‌شود از طریق کنترل‌های جاری خیلی بعید است.
۸	احتمال کنترل میزان مصرف یا برداشت منابع که به پیشگیری از اتلاف یا کاهش منابع، تولید آلودگی یا به هم خوردن اکوسیستم دریا و آلودگی حرارتی منجر می‌شود از طریق کنترل‌های جاری بعید است	بعید
۷		احتمال کنترل میزان مصرف یا برداشت منابع که به پیشگیری از اتلاف یا کاهش منابع، تولید آلودگی یا به هم خوردن اکوسیستم دریا و آلودگی حرارتی منجر میشود از طریق کنترل‌های جاری خیلی پایین است

رتبه	معیار: احتمال اینکه پیامد به وجود آمده به وسیله کنترل‌های جاری، قبل از به وقوع پیوستن یک پیامد بارز زیست‌محیطی، کشف شود	کشف
۶	احتمال کنترل میزان مصرف یا برداشت منابع که به پیشگیری از اتلاف یا کاهش منابع، تولید آلودگی یا به هم خوردن اکوسیستم دریا و آلودگی حرارتی منجر میشود از طریق کنترل‌های جاری پایین است	پایین
۵ ۴	احتمال کنترل میزان مصرف یا برداشت منابع که به پیشگیری از اتلاف یا کاهش منابع، تولید آلودگی یا به هم خوردن اکوسیستم دریا و آلودگی حرارتی منجر میشود از طریق کنترل‌های جاری متوسط است	متوسط
۳	احتمال کنترل میزان مصرف یا برداشت منابع که به پیشگیری از اتلاف یا کاهش منابع، تولید آلودگی یا به هم خوردن اکوسیستم دریا و آلودگی حرارتی منجر می‌شود از طریق کنترل‌های جاری بالاست	بالا
۲ ۱	احتمال کنترل میزان مصرف یا برداشت منابع که به پیشگیری از اتلاف یا کاهش منابع، تولید آلودگی یا به هم خوردن اکوسیستم دریا و آلودگی حرارتی منجر می‌شود از طریق کنترل‌های جاری خیلی بالاست	خیلی بالا

۲-۶- شیوهی تحلیل داده‌ها

ابتدا جنبه‌های زیست محیطی در فرم EFMEA وارد شدند و RPN بر اساس رتبه‌ی شدت، احتمال وقوع و کشف محاسبه شد. به این صورت که ابتدا درجه‌ی مخاطره‌پذیری محاسبه شد و جنبه‌ها بر اساس عدد اولویت ریسک RPN بالاتر از درجه مخاطره‌پذیری اولویت‌بندی و به منزله‌ی فعالیت‌های بحرانی که نیازمند اقدامات اصلاحی است در نظر گرفته شدند. پردازش داده‌ها نیز برای جنبه‌های بالاتر از درجه‌ی مخاطره‌پذیری با استفاده از نرم‌افزار Excel و خروجی نمودار تجزیه و تحلیل و برای RPN‌های بالاتر از درجه‌ی مخاطره‌پذیری اقدامات اصلاحی پیشنهاد شده است.

۲-۷- روش محاسبه‌ی تعیین RPN شاخص یا درجه‌ی مخاطره‌پذیری با استفاده از روش توزیع فراوانی

حالات خرابی بالقوه (جنبه) بر مبنای مقدار RPN به صورت نزولی از بالاترین عدد اولویت ریسک ۳۴۳ به پایین‌ترین عدد اولویت ریسک ۲۴ مرتب و درجه‌ی مخاطره‌پذیری با استفاده از روش توزیع فراوانی محاسبه شده که برای محاسبه‌ی این روش به دو مؤلفه‌ی تعداد رده و طول رده نیاز است.

۲-۸- روش محاسبه‌ی تعداد رده

جدول (۸): محاسبه‌ی حدود رده

محاسبه حدود رده	
24+36=60	L1=24-59
60+36=96	L2=60-95
96+36=132	L3=96-131
132+36=168	L4=132-167
168+36=204	L5=168-203
204+36=240	L6=204-239
240+36=276	L7=240-275
276+36=312	L8=276-311
312+36=348	L9=312-347

$$K = 1 + 3/3 \text{Log}n$$

$$n = 291$$

$$K = 1 + 3/3 \text{Log}n$$

$$= \frac{\text{کوچک ترین مقدار} - \text{بزرگ ترین مقدار}}{\text{تعداد رده}}$$

$$\frac{343-24}{9} = 36$$

نتایج حاصل از محاسبات تعیین درجه‌ی مخاطره‌پذیری به روش توزیع فراوانی نشان داد که بیشترین یا ۷۴ مورد از اعداد اولویت ریسک در حدود رده ۹۶ - ۱۳۱ با فراوانی نسبی $\frac{74}{391}$ قرار گرفته است به عبارت دیگر، از ۲۹۱ عدد اولویت ریسک ۷۴ مورد در این محدوده قرار گرفته است که از میانگین اعداد ۹۶ و ۱۳۱ یا حد پایین و بالای این رده درجه‌ی مخاطره‌پذیری محاسبه شد.

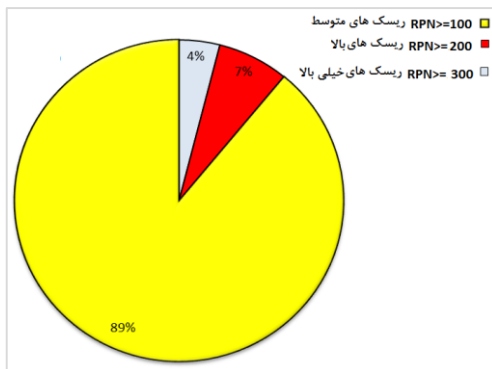
$$\text{درجه‌ی مخاطره‌پذیری} = \frac{96+131}{2} = 113$$

بنابراین، درجه‌ی مخاطره‌پذیری برابر با ۱۱۳ است و اعداد اولویت ریسک جنبه‌هایی که بالاتر از درجه‌ی مخاطره‌پذیری قرار گرفته‌اند به منزله‌ی اعداد اولویت ریسک بحرانی شناخته می‌شوند که به اقدامات اصلاحی و کنترلی نیاز دارند.

جدول (۹): تعیین بیشترین فراوانی رده برای محاسبه درجه مخاطره پذیری

رده	حدود رده	فراوانی رده	فراوانی نسبی	فراوانی تجمعی
1	24-59	56	$\frac{56}{291}$	56
2	60-95	63	$\frac{63}{291}$	119
3	96-131	74	$\frac{74}{291}$	193
4	132-167	50	$\frac{50}{291}$	243
5	168-203	35	$\frac{35}{291}$	278
6	204-239	5	$\frac{5}{291}$	283
7	240-215	2	$\frac{2}{291}$	285

۳- نتایج و بحث



شکل (۱): دسته بندی ریسک های بالاتر از درجه مخاطره پذیری

در پژوهش حاضر دو سری جدول و شکل را با نتایج مجزا از هر فرآیند ارائه می‌دهد. بعد از شناسایی و رتبه بندی جنبه‌ها، ریسک‌هایی که بالاتر از درجه مخاطره‌پذیری قرار گرفته‌اند به صورت نزولی از بزرگترین RPN برابر با عدد ۳۴۳ به کوچکترین RPN برابر با عدد ۲۴ مرتب و با توجه به شکل (۱)، به ۳ دسته تقسیم شده‌اند.

- ۱) ریسک‌های خیلی بالا با عدد اولویت ریسک (۳۰۰) به بالا خیلی بالاتر از درجه مخاطره‌پذیری).
- ۲) ریسک‌های بالا با عدد اولویت ریسک ۲۰۰ به بالا (بالاتر از درجه مخاطره‌پذیری).
- ۳) ریسک‌های متوسط با عدد اولویت ریسک (۱۰۰) به بالا کمی بالاتر از درجه مخاطره‌پذیری)

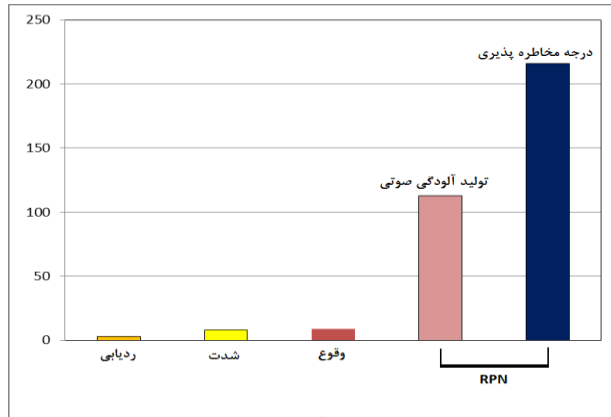
بنابراین، عدد ۱۱۳ یا درجه مخاطره‌پذیری RPN‌هایی که بالاتر از این عددند، به منزله RPN‌های بحرانی معرفی شده‌اند و به اقدامات اصلاحی و کنترلی قوی‌تری نیاز دارند و جنبه‌هایی نیز که عدد اولویت ریسک آن‌ها بالاتر از درجه مخاطره‌پذیری است به صورت دو جدول مجزا شامل جدول مربوط به ریسک زیست‌محیطی و ریسک ایمنی و بهداشتی تجزیه و تحلیل شده‌اند.

۳-۱- اولویت بندی RPN، تجزیه و تحلیل اثر و ارزیابی پیامد جنبه‌های بالاتر از درجه مخاطره‌پذیری و ارائه اقدامات اصلاحی و کنترلی

حالات خرابی بالقوه (جنبه) بر مبنای مقدار RPN بر اساس بزرگترین عدد اولویت ریسک به کوچکترین عدد اولویت ریسک در محاسبات توزیع فراوانی RPN اولویت بندی شده‌اند. سپس، ۱۰ درصد یا ۳۰ مورد از بالاترین ریسک‌ها که بالاترین عدد اولویت ریسک را به خود اختصاص داده‌اند به صورت جدول و ارائه‌ی شکل برای مقایسه‌ی RPN با درجه مخاطره‌پذیری تجزیه و تحلیل و برای آن‌ها اقدامات اصلاحی ارائه شده‌اند. اقدامات اصلاحی به منزله‌ی نتیجه‌ی اجرای پروژه FMEA از اهمیت بسزایی برخوردارند.

جدول (۱۰): ریسک ایمنی و بهداشتی حاصل فعالیت فراهم کردن سوخت گاز و تزریق آن به کوره

ریسک ایمنی و بهداشتی (درجه مخاطره پذیری ۱۱۳)		
RPN	علل بالقوه خرابی	حالت خرابی بالقوه (جنبه بهداشتی) و پیامد حاصل از آن
216 > 113	سر و صدای زیاد حاصل کارکرد ادوات مکانیکی	سر و صدای زیاد حاصل از سوختن گاز در کوره (تولید عوارض شنوایی)



شکل (۲): ریسک ایمنی و بهداشتی حاصل از فراهم کردن سوخت گاز و تزریق آن به کوره

با توجه به جدول بالا و شکل (۲) مشاهده می شود که جنبه بهداشتی با عدد اولویت ریسک ۲۱۶ جزو دسته ریسک های بالا در اولویت بندی RPN محسوب می شود. نتایج تجزیه و تحلیل آثار و ارزیابی پیامد این جنبه بهداشتی نشان داد شدت اثر آلودگی صوتی که به عوارض شنوایی در کارکنان منجر می شود خیلی بالاست. علاوه بر این، احتمال اینکه فرد دچار عوارض شنوایی شود خیلی بالا ارزیابی شده است. البته هر چند کنترل های جاری نسبتاً بالاست، اما ارزیابی پیامد این جنبه حاکی از آن است که چون مدتی که فرد کنار دستگاه حضور دارد زیاد است در طولانی مدت می تواند به افت شنوایی در کارکنان منجر شود.

کنترل های جاری که درباره این جنبه صورت می گیرد، استفاده از گوشی از سوی کارکنان است، اما با توجه به عدد اولویت ریسک ۲۱۶، از درجه مخاطره پذیری بالاتر و نیازمند اقدامات اصلاحی است. از جمله اقدامات اصلاحی توصیه شده می توان به محصور کردن ادوات پر سر و صدا یا استفاده از ادواتی با تکنولوژی برتر در طراحی که برنرهای کم سر و صدا در آن طراحی شده باشد و سوختن شعله با صدای کمتر صورت گیرد اشاره کرد.

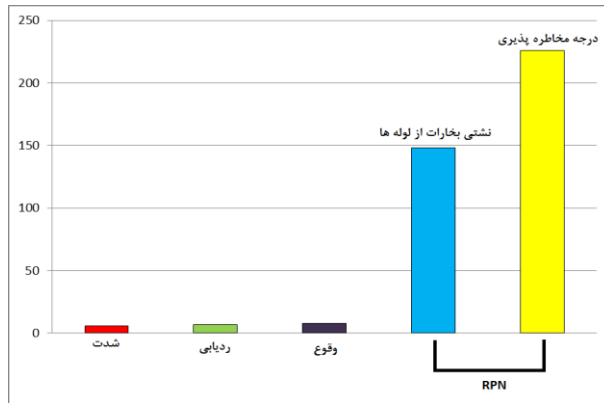
جدول (۱۱): ریسک ایمنی و بهداشتی حاصل فرایند سولفایدینگ برای شستن اتم گوگرد در زمان تعمیرات اساسی

ریسک ایمنی و بهداشتی (درجه مخاطره پذیری ۱۱۳)		
RPN	علل بالقوه زیان رسانی	حالت خرابی بالقوه (جنبه بهداشتی و پیامد حاصل از آن)
336 > 113	خرابی گسکت ها، شلشدن پیچ و مهره، پارگی شیلنگ ها و خرابی ادوات (تلمبه) و در صورت استفاده نکردن از لباس و ماسک (با توجه به شرایط کار استفاده از وسایل کار مشکل است)	نشست بخارهای سمی سولفایدینگ از بشکه (تولید عوارض تنفسی و اختلالات ریوی و در صورت تماس با پوست بدن ایجاد عوارض پوستی و چشمی)

با توجه به جدول (۱۲) و شکل (۳)، مشاهده می شود جنبه زیست محیطی با عدد اولویت ریسک ۳۱۵ جزو دسته ریسک های خیلی بالا در اولویت بندی RPN محسوب می شود. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آثار و ارزیابی پیامد این جنبه زیست محیطی نشان داد شدت اثر پراکندگی ذرات آزیست که به آلودگی هوا در زمان تعمیرات اساسی منجر می شود بسیار خطرناک و با اخطار است و احتمال اینکه سبب آلودگی هوای محیط کار شود به میزان بالا ارزیابی شده است. علاوه بر این، با توجه به عدد کشف، این جنبه گویای این است که کنترل ها متوسط عمل می کنند لذا، ارزیابی پیامد جنبه مورد نظر حاکی از آن است که این آثار می توانند موجب آلودگی هوا به ذرات آزیست شوند. کنترل های جاری که در این زمینه در واحد صورت می گیرد: رعایت نکات ایمنی گزارش شده است لذا، با توجه به عدد اولویت ریسک این جنبه مشاهده می شود که از درجه مخاطره پذیری بالاتر است و با توجه به رتبه کشف ۵ (متوسط) یعنی کنترل های جاری نسبت به این جنبه متوسط است و به اقدامات اصلاحی و کنترلی قوی تری نیاز دارد. اقدامات اصلاحی برای این جنبه به دلیل اینکه ذرات آزیست نسبتاً در محیط زیست پایدارند، در هوا تبخیر نمی شوند و به وسیله هوا جابه جا می شوند مهم ترین ریسک بهداشتی را برای انسان به وجود می آورند.

جدول (۱۲): ریسک زیست‌محیطی برای بازدید مسی‌رها در زمان تعمیرات اساسی

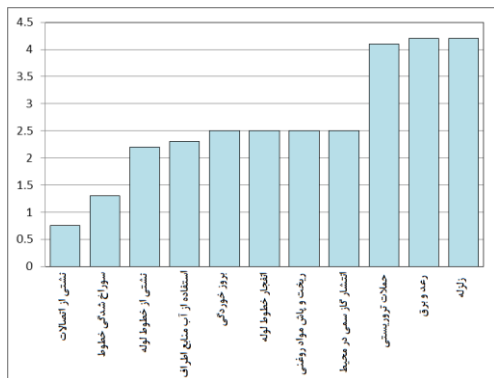
ریسک زیست محیطی (درجه مخاطره‌پذیری ۱۱۳)		
RPN	علل بالقوه خرابی	حالت خرابی بالقوه (جنبه زیست محیطی)
315 > 113	بازدید مسی‌رها از سوی بازرس فنی و تعویض آزیست، ذرات معلق آزیست در محیط پراکنده می‌شود	پراکندگی ذرات آزیست در محیط (آلودگی هوا در اثر ذرات آزیست در هوا)



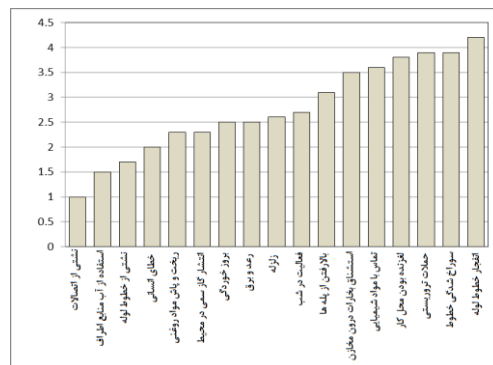
شکل (۳): ریسک زیست‌محیطی برای بازدید مسی‌رها در زمان تعمیرات اساسی

از این رو، این آثار در طولانی مدت می‌توانند به ایجاد عوارض تنفسی و اختلالات ریوی در افراد و در نهایت سرطان ریه منجر شوند. در این زمینه اقدامات اصلاحی و کنترلی ارائه شده، استفاده از عایق‌های غیرآزیستی، مانند فایبرگلاس، که آلودگی کمتری دارد، یا تغییر روش بازرسی فنی برای اندازه‌گیری ضخامت مسی‌رهاست. همچنین، توصیه می‌شود از سوی عایق‌کاران دریچه‌ای مستطیل مانند روی زانوها نصب شود که احتیاج به عایق‌کاری مجدد، آلودگی هوا و موجب به خطر افتادن سلامت شغلی کارکنان نشود.

شکل (۴) شدت اثر ریسک‌های زیست‌محیطی، ایمنی و بهداشتی واحد تصفیه هیدروژنی نفتا پالایشگاه را نشان می‌دهد. احتمال وقوع ریسک‌های ایمنی و بهداشتی با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی بدست آمد در بین ریسک‌های مورد مطالعه فعالیت در شب با وزن ۰/۵۷۶ و بالا و پایین رفتن از پله‌ها با وزن ۰/۵۵۸ بیشترین وزن و لغزنده بودن محل کار با وزن ۰/۱۱۶ کمترین وزن را در بین ریسک‌ها به خود اختصاص دادند.



شکل (۵): گستره آلودگی ریسک‌های زیست‌محیطی واحد تصفیه هیدروژنی نفتا



شکل (۴): شدت اثر ریسک‌های زیست‌محیطی، ایمنی و بهداشتی واحد تصفیه هیدروژنی نفتا

احتمال کشف ریسک‌های ایمنی و بهداشتی واحد تصفیه هیدروژنی نفتا نشان داد که استنشاق بخارات درون مخازن بیشترین احتمال کشف و تماس با مواد شیمیایی کمترین احتمال کشف را در بین ریسک‌های مورد مطالعه داشته‌اند. شکل (۵) گستره آلودگی ریسک‌های زیست‌محیطی واحد تصفیه هیدروژنی نفتا را نشان می‌دهد.

۴- نتیجه‌گیری

۱) روش EFMEA با ۳ پارامتر تمام آیت‌ها را بررسی کرده $(RPN = S \times O \times D)$ روش پالایشگاه با ۵ پارامتر $(S = A^{20} \times B^{21} \times C^{22} \times D^{23} \times E^{24})$ روش EFMEA به صورت کمی و بر اساس جداول شدت، احتمال وقوع و کشف رتبه‌بندی و روش پالایشگاه به صورت کیفی رتبه‌بندی شده است در روش EFMEA مصرف منابع، مواد اولیه و انرژی نیز

رتبه‌بندی و برای آن‌ها جداول شدت، احتمال وقوع و کشف طراحی شده که در روش پالایشگاه مصرف منابع بر اساس جداول شناسایی و رتبه‌بندی نشده است.

(۲) جنبه بهداشتی با عدد اولویت ریسک ۲۱۶ جزو دسته‌ی ریسک‌های بالا در اولویت‌بندی RPN محسوب می‌شود.

(۳) نتایج تجزیه و تحلیل آثار و ارزیابی پیامد این جنبه بهداشتی نشان داد شدت اثر آلودگی صوتی که به عوارض شنوایی در کارکنان منجر می‌شود خیلی بالاست. علاوه بر این، احتمال اینکه فرد دچار عوارض شنوایی شود خیلی بالا ارزیابی شده است. البته هر چند کنترل‌های جاری نسبتاً بالاست، اما ارزیابی پیامد این جنبه حاکی از آن است که چون مدتی که فرد کنار دستگاه حضور دارد زیاد است در طولانی مدت می‌تواند به افت شنوایی در کارکنان منجر شود.

(۴) کنترل‌های جاری که درباره این جنبه صورت می‌گیرد، استفاده از گوشی از سوی کارکنان است، اما با توجه به عدد اولویت ریسک ۲۱۶، از درجه‌ی مخاطره‌پذیری بالاتر و نیازمند اقدامات اصلاحی است. از جمله اقدامات اصلاحی توصیه شده می‌توان به محصورکردن ادوات پر سر و صدا یا استفاده از ادواتی با تکنولوژی برتر در طراحی که برنرهای کم سر و صدا در آن طراحی شده باشد و سوختن شعله با صدای کمتر صورت گیرد اشاره کرد.

(۵) جنبه زیست‌محیطی با عدد اولویت ریسک ۳۱۵ جزو دسته‌ی ریسک‌های خیلی بالا در اولویت‌بندی RPN محسوب می‌شود. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آثار و ارزیابی پیامد این جنبه‌ی زیست‌محیطی نشان داد شدت اثر پراکندگی ذرات آزرست که به آلودگی هوا در زمان تعمیرات اساسی منجر می‌شود بسیار خطرناک و با اخطار است و احتمال اینکه سبب آلودگی هوای محیط کار شود به میزان بالا ارزیابی شده است.

(۶) احتمال وقوع ریسک‌های ایمنی و بهداشتی با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی بدست آمد در بین ریسک‌های مورد مطالعه فعالیت در شب با وزن ۰/۵۷۶ و بالا و پایین رفتن از پله‌ها با وزن ۰/۵۵۸ بیشترین وزن و لغزنده بودن محل کار با وزن ۰/۱۱۶ کمترین وزن را در بین ریسک‌ها به خود اختصاص دادند.

منابع

- [۱] کاظمی ب، ایمنی و بهداشت کار (حفاظت صنعتی)، چاپ دوم، پشوتن ۱۳۸۲.
- [۲] سپانلو ک، نگرش نوین به ایمنی، بخش تحقیقات و توسعه ایمنی هسته‌ای، اولین همایش ملی مهندسی ایمنی و مدیریت HSE، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، اسفند ۱۳۸۴.
- [۳] گوهررخی م، ارزیابی کیفی و کمی ریسک در واحدهای فرآیندی، روش‌های بررسی حوادث و شبیه سازی شبکه فلر با نرم‌افزار Aspen flare net، انتشارات دانشگران صنعت پژوه، ۱۳۸۸.
- [۴] گوگل م، شناسایی مخاطرات و آنالیز کیفی ریسک در صنایع فرآیندی توسط نرم‌افزار PHA-pro، انتشارات دانشگران صنعت پژوه، ۱۳۸۴.
- [5] Kletz, T., Learning from Accidents, Third ed., Gulf Professional Publishing, Oxford, 2001.
- [6] Arendt, J. S. and Lorenzo, D. K., Evaluating Process Safety in the Chemical Industry, American Institute of Chemical Engineers, New York, 2000.
- [7] Drs. P. L. B. A Van Geel, Guidelines for Quantitative Risk Assessment, 2005.

