

## ارزیابی ریسک بهداشتی، ایمنی و محیط‌زیستی واحد هیدروکراکر

### شرکت پالایش نفت بندرعباس به روش EFMEA

معصومه بندرجا\*<sup>۱</sup>، سیدعلی جوزی<sup>۲</sup>

۱. کارشناس ارشد مدیریت محیط‌زیست دانشگاه آزاداسلامی واحد بندرعباس

۲. دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال

sajoz@yahoo.com

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۹/۱۹

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۱/۴/۳

#### چکیده

بخش واکنش واحد هیدروکراکر در واحدهای پالایشگاهی دارای بالاترین فشار عملیاتی است لذا بهره‌برداری در این فشار بسیار حساس است و ریسک نشتی را بالا می‌برد. هدف این تحقیق ارزیابی ریسک بهداشتی، ایمنی و محیط‌زیستی واحد هیدروکراکر شرکت پالایش نفت بندرعباس است. برای شناسایی جنبه‌های زیست‌محیطی و ایمنی و بهداشتی از روش EFMEA استفاده شده است. دو فرم داخل و خارج از کشور با هم تلفیق شده‌اند و فرم واحد هیدروکراکر طراحی شده است. جنبه‌ها در زمان عادی و تعمیرات اساسی از فعالیت‌های واحد شناسایی و ارزیابی می‌شوند. بدین منظور ۲۴ فعالیت در زمان عادی و ۶ فعالیت در زمان تعمیرات اساسی بررسی شده است. شناسایی و رتبه‌بندی جنبه‌ها بر اساس تجربیات قبلی از حوادث به وقوع پیوسته و مشاهدات عینی صورت پذیرفته است. ۲۹۱ جنبه در سه مرحله از چرخه حیات تولید، مصرف و دفع ضایعات شناسایی و ارزیابی شده‌اند که از این تعداد ۱۱۹ جنبه با عدد اولویت ریسک بالاتر از درجه مخاطره‌پذیری بوده‌اند. درجه مخاطره‌پذیری برابر با عدد ۱۱۳ و به روش توزیع فراوانی محاسبه شده است لذا، جنبه‌هایی که RPN بالاتر از درجه مخاطره‌پذیری داشته‌اند اولویت‌بندی و به‌منزله فعالیت‌های بحرانی در نظر گرفته شده‌اند. سپس، ۱۰ درصد از RPN‌های اولویت‌بندی‌شده به سه دسته ریسک‌های خیلی بالا، بالا و متوسط تقسیم‌بندی و تجزیه و تحلیل شدند و برای آن‌ها اقدامات اصلاحی تعریف شد. نتایج نشان داد، بالاترین جنبه را ریسک زیست‌محیطی در زمان تعمیرات اساسی با ۳۴۳ RPN و مربوط به مصرف به خود اختصاص داده است. بیشترین ریسک‌های واحد مربوط به ریسک ایمنی و بهداشتی با تعداد ۶۸ مورد نسبت به ریسک زیست‌محیطی برابر با ۵۴ مورد است لذا، نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد واحد هیدروکراکر از سیستم کنترل ایمنی، بهداشتی و محیط‌زیستی نسبتاً بالایی برخوردار است، اما به علت عملکرد این واحد در فشار و دمای بالا انجام اقدامات اصلاحی و کنترلی قوی‌تر برای ارتقای ایمنی امری ضروری به نظر می‌رسد.

#### کلیدواژه

ارزیابی ریسک، ایمنی بهداشتی، پالایشگاه بندرعباس، جنبه‌های زیست‌محیطی، ریسک، واحد هیدروکراکر.

#### ۱. سرآغاز

ادغام‌یافته 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 (فرشاد و همکاران، ۱۳۸۵). واحد هیدروکراکر شرکت پالایش نفت بندرعباس از جمله واحدهای مهم و باارزش در بین دیگر واحدهای پالایشگاه محسوب می‌شود. یکی از دلایل انتخاب واحد هیدروکراکر آن بود که در واحدهای

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<sup>۱</sup> ابزاری است برای کنترل و بهبود عملکرد بهداشت، ایمنی و محیط کار در کلیه برنامه‌های توسعه‌ای صنعتی و غیرصنعتی. در واقع سیستمی

نقص‌های احتمالی کلیه اجزای آن بررسی و تلاش می‌کند که آثار نقص‌های احتمالی را روی بقیه بخش‌های سیستم ارزیابی کند (محمدفام، ۱۳۸۲).

## ۱.۲. تاریخچه EFMEA

در اواسط سال ۱۹۹۰ روش تجزیه و تحلیل اثر زیست‌محیطی یا تجزیه و تحلیل حالت شکست و آثار آن در محیط‌زیست برای ارائه روشی به موقع و آسان برای ارزیابی پیامد زیست‌محیطی شکل گرفت (Jensen, et al., 2001) و ولوو یکی از شرکت‌های سوئدی در سال ۱۹۹۷ از این ابزار استفاده کرد. در آن زمان آن‌ها نام Environmental - FMEA یا E-FMEA را به کار می‌بردند که در واقع این روش به (EEA) or تغییر نام یافت، زیرا پیش از آن به علت الزامات قانونی نام FMEA را حفظ می‌کردند (Tingstrom, et al., 2006). EFMEA روشی کیفی است که به موقع و به بهترین شکل ممکن در فرایند توسعه تولید به کار می‌رود و هدفش شناسایی و اولویت‌بندی جنبه‌های زیست‌محیطی مهم است (Dahlstrom, 2006). در این تحقیق روش EFMEA و تلفیق دو فرم داخل و خارج کشور به کار رفته که ابتدا سابقه تحقیق در داخل و خارج کشور بررسی شده است.

## ۲.۲. سابقه تحقیق در ایران

تحقیقات نشان داد، تعمیم روش FMEA با دیدگاه فرایندی به‌منزله جایگزین HAZOP<sup>۴</sup> در فرایندهای پیچیده جایگزین توانایی برای HAZOP در تحلیل چنین سیستم‌هایی است (رشادی و همکاران، ۱۳۸۴). با اجرای گام به گام تکنیک FMEA در زمینه مدل کشف و بهبود علل خطاهای بحرانی در تولید لوله‌های گاز و اصول تفکر ناب نتایج تحقیقات نشان داد، این روش موجب جلوگیری از بروز بحرانی‌ترین خطاها می‌شود (نورمحمدی و همکاران، ۱۳۸۶). در زمینه ارزیابی و مدیریت ریسک و نقش آن در بهبود سیستم مدیریت HSE تحقیقات نشان داد استفاده از روش FMEA نقش مؤثری در شناسایی و

پالایشگاهی بخش واکنش این واحدها دارای بالاترین فشار عملیاتی است. به علت ماهیت فرایند هیدروکراکینگ، عمل شکست ترکیبات هیدروکربن در حضور هیدروژن نیازمند فشار بسیار بالا در حدود ۲۰۰ بار است بنابراین، بهره‌برداری در این فشار بسیار حساس است و ریسک نشی را بالا می‌برد و بهره‌برداری در این فشار در شرایط دمایی بسیار بالا و حضور هیدروژن حساسیت زیادی دارد و این واحد را از نظر ملاحظات بهره‌برداری و مطالعات ارزیابی ریسک در جایگاه خاصی قرار داده است. با توجه به نزدیک‌بودن واحد هیدروکراک به واحدهای فرایندی دیگر، اتاق کنترل و محیط‌زیست تحت تأثیر شعاع حوادث ناشی از آن ممکن است صدمات جدی به این مناطق وارد کند و حتی ریسک حوادث زنجیره‌ای را به وجود آورد. همچنین، با توجه به مصرف روزافزون سوخت در کشور و وابستگی به واردات، توقف این واحد ضررهای هنگفتی به کشور وارد می‌کند، در نتیجه قابلیت اطمینان بالا و دسترسی بالای این‌گونه واحدها از اهمیت ویژه‌ای در بین واحدهای دیگر برخوردار است (شرکت پالایش نفت بندرعباس، ۱۳۸۸). هدف این مطالعه ارزیابی ریسک بهداشتی، ایمنی و محیط‌زیستی واحد هیدروکراک به روش تجزیه و تحلیل حالت شکست و آثار آن در محیط‌زیست (EFMEA)<sup>۲</sup> و به حداقل رساندن این پیامدها، ارائه برنامه ارزیابی و مدیریت ریسک است.

## ۲. سابقه و ادبیات تحقیق (تاریخچه FMEA)

FMEA که امروزه از آشناترین تکنیک‌های تجزیه و تحلیل ایمنی سیستم‌هاست برای اولین بار در اواخر دهه ۱۹۵۰ میلادی از سوی مهندسان قابل اعتماد برای ارزیابی ایمنی سیستم‌های نظامی پایه‌گذاری شد و پس از آن استفاده از این روش به سرعت گسترش یافت. به دنبال حادثه تری‌مایلند کاربرد این تکنیک برای ارزیابی ایمنی صنایع هسته‌ای نیز توسعه یافت. این تکنیک که اساساً تجزیه و تحلیل کمی است، سیستم یا زیرسیستم را برای شناسایی

عادی و تعمیرات اساسی انجام و برای شناسایی و ارزیابی مصرف منابع نیز جداول وزنی و پرسش طراحی شده است.

### ۳. روش تحقیق

در این تحقیق سعی بر این بوده است برای شناسایی و ارزیابی جنبه‌ها در وضعیت‌های عادی، غیرعادی و اضطرابی فعالیت‌های واحد در زمان عادی و تعمیرات اساسی دو فرم داخل (رضازاده نیاورانی، ۱۳۸۳) و خارج کشور (Lindhal, 2000) با یکدیگر تلفیق شوند. برای حصول نتایج از روش EFMEA استفاده شده است.

دلیل استفاده از این روش این است که مطابق با تحقیقات رضایی و همکاران، روش FMEA در چارچوب به کارگیری گسترده از ابزارهای مدیریت و مهندسی کیفیت در کشورمان، کاربرد فراوانی داشته است. کاربرد FMEA در مباحث مدیریت محیط‌زیست برای وزن‌دهی جنبه‌ها و پیامدهای محیط‌زیستی، ارزیابی ریسک در موضوعات مدیریت ایمنی و بهداشت شغلی و تحلیل خطاها در صنایع خودرو و بر اساس الزامات استاندارد ISO/TS16949:2002 گونه‌هایی از این به کارگیری است (رضایی و همکاران، ۱۳۸۴). 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 فرایند<sup>۶</sup>، FMEA مربوط به طراحی<sup>۷</sup>، FMEA مربوط به سیستم<sup>۸</sup>، FMEA مربوط به ماشین‌آلات<sup>۹</sup> و FMEA مربوط به محیط‌زیست<sup>۱۰</sup> (رضازاده نیاورانی، ۱۳۸۳). 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 EFMEA (رضازاده نیاورانی، ۱۳۸۳) جدول ۱ رتبه‌بندی و وزن‌دهی شده‌اند.

اندازه‌گیری شاخص‌های عملکردی در سیستم‌های مدیریت HSE دارد (جوزی و همکاران، ۱۳۸۵). تحقیقاتی در زمینه کاربرد روش FMEA در شناسایی و ارزیابی جنبه‌های زیست‌محیطی نشان داد، استفاده از روش EFMEA علاوه بر شناسایی به موقع جنبه‌های بارز و حادثه‌ای باعث کاهش پیامدهای زیست‌محیطی مهم حاصل از این جنبه‌ها خواهد شد (رضازاده نیاورانی، ۱۳۸۳).

### ۳.۲. سابقه تحقیق در خارج از کشور

تحقیقاتی با هدف اصول و ساختار تجزیه و تحلیل اثر یا FMEA زیست‌محیطی انجام شد و نتایج نشان داد، هدف تجزیه و تحلیل اثر زیست‌محیطی فراهم آوردن ابزاری برای تسهیل کار شرکت‌هاست که توسعه تولید با ملاحظات زیست‌محیطی همراه شود (Jensen, et al., 2001). روش EFMEA بعد از استقرار کامل و بسیار مؤثر<sup>۵</sup> ISO9001 (کیفیت محصول) و سیستم تجزیه و تحلیل حالت شکست و آثار آن (FMEA) به‌منزله الگوی معرفی شده و روش شناسایی حالت‌های شکست بالقوه زیست‌محیطی و ارزیابی ریسک‌های مرتبط با این حالت‌های شکست است (Jennings, 2008).

Lindahl, Mattias تحقیقاتی با هدف تجزیه و تحلیل اثر زیست‌محیطی با نگرشی بر اساس طراحی برای محیط‌زیست انجام داد. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده این است که جنبه‌های زیست‌محیطی حاصل از فعالیت‌ها در ۳ مرحله از چرخه حیات تولید، مصرف و دفع ضایعات بررسی شده‌اند (Lindhal, 2000). اما تحقیق حاضر از چند جهت نسبت به مطالعات انجام‌شده دارای نوآوری است؛ در این تحقیق ریسک‌های ایمنی، بهداشتی و زیست‌محیطی با روش EFMEA و در ۳ شرایط عادی، غیرعادی و حادثه‌ای ارزیابی و وزن‌دهی شده‌اند. همچنین، شناسایی ریسک‌ها در ۳ مرحله از چرخه حیات و در ۲ عملکرد

جدول ۱. فرم EFMEA داخل کشور

نتایج اقدام		مسئول زمان اقدام		اقدامات پیشنهادی	RPN	D	کنترل های جاری	O	علل خرابی بالقوه	E	S	آثار بالقوه خرابی (پیدا)	حالت خرابی بالقوه (جنبه)	شرح عملیات	شماره عملیات
D	O	S	اقدام												
۷۰	۲	۵	۷	مشخص کردن ایستگاههای اطفای حریق روی نقشه سایت	۱۴۷	۳	روش مقابله با شرایط اضطراری	۷	شرایط نامناسب آتبارش و جابه جایی	E	۷	آلودگی هوا، زمین و آب	آتش	آتبارش عملیات قابل اشتعال	P1
۵۴	۲	۳	۹	لحاظ شدن در برنامه های سالیانه زیست محیطی	۱۲۶	۲	اتفاق عایق اطراف ماشین	۷	طراحی اولیه دستگاه	N	۹	سلامت شغلی	افزایش سطح سر و صدا (بالتر از ۸۵ دسی بل)	عملیات پرس کاری	P2
۲۴	۲	۲	۶	تعریف کنترل روزانه قبل از صدور مجوز حمل به پیمانکار	۱۵۰	۵	جمع آوری بازبافت از سوی پیمانکار	۵	دفع ضایعات عمومی در محل زباله	A	۶	محیط زیست آلوده (مثلاً زمین)	دفع کنترل نشده	دفع ظروف بسته بندی	P3

منبع: رضازاده نیاورانی، ۱۳۸۳

جدول ۲. فرم EFMEA خارج کشور

طراحی FMEA زیست محیطی														
شماره	مرحله چرخه حیات	فعالیت	جنبه‌های زیست محیطی	پیامدهای زیست محیطی	رتبه‌بندی			توصیه‌ها	وضعیت‌ها - اقدام	تصمیمات صورت گرفته	S I A	EPN/F	گروه / ثبت نام	
					S	I	A							
	مشتری	نام بخش	شماره طراحی	بخش	عرضه کننده کالا									
		جرقه												
	کارکرد	تاریخ	صدور توسط	پروژه	موضوع									
	ماشین شستشو	۱۹۹۶/۸/۹	کارشناس جنسن	PW111										
			ویژگی‌های زیست محیطی											
	تولید	جوشکاری از ۲۵ قطعه مختلف	گازهای خروجی به هوا از کارکرد درام	سمی	2	1	3	6/5	پلی پروپیلن تک عکسی قالب‌های درام					
	صرف	شستشو و پس ماند شوی	استفاده از منابع برق (kW/h۱۵۰)	منابع مصرف آب	1	2	1	۴/۵						
		پمپاژ و گرم کردن آب و نخ ریسی درام	استفاده از منابع برق (kW/h۱۵۰)	منابع مصرف انرژی ۵۰ درصد انرژی هسته‌ای	2	2	2	6/۴	توسعه سیستم کنترل الکترونیکی برای تنظیم مصرف انرژی					
	دفع	جداسازی قطعات از اجزای پلیمر	استفاده از مواد پلیمری (مشخص نشده)	کاهش منابع	2	1	1	۴/۴						
		جداسازی قطعات و تجهیزات الکترونیکی	آلودگی زمین برای مثال کادمیوم و غیره	سمی	3	2	2	۷/۸	آیا دوز قطعات پلاستیکی حاوی مواد سمی است؟					

(Lindhal, 2000) منبع:

منبع: (بندر جا، ۱۳۸۹)

جدول ۳. فرم EFMEA طراحی شده واحد هیدروکراکر بخش تهیه سوخت گاز و تزریق به کوره

EFMEA Form of Hydrocracker unit									
نام بخش: فشار بالا قسمت Fuel Gas Section - ۲ وظایف (کارکرد): فراهم کردن سوخت گاز و تزریق آن به کوره		۴- مسئول زیست محیطی: معصومه بندر جا		۵- اعضای گروه: ۹ نفر		۳- مسئول جلسه: مهديس چمشيدي		۶- ترتیب جلسه: یازدهم	
شماره فعالیت	فرآیند/فعالیت	حالت خرابی بالقوه (جنبه)	آثار خرابی بالقوه (پیامد)	۱- سوختگی کارکنان در اثر حرارت ایجاد شده (در اثر Back کردن کوره و مثبت شدن کوره (Positive) در حالت گاز از قسمت ظرف تفکیک (کاتو درام) به سمت کوره‌ها	۱- سوختگی کارکنان در اثر حرارت ایجاد شده (در اثر Back کردن کوره و مثبت شدن کوره (Positive) در حالت گاز از قسمت ظرف تفکیک (کاتو درام) به سمت کوره‌ها	۱- سوختگی کارکنان در اثر حرارت ایجاد شده (در اثر Back کردن کوره و مثبت شدن کوره (Positive) در حالت گاز از قسمت ظرف تفکیک (کاتو درام) به سمت کوره‌ها	۱- سوختگی کارکنان در اثر حرارت ایجاد شده (در اثر Back کردن کوره و مثبت شدن کوره (Positive) در حالت گاز از قسمت ظرف تفکیک (کاتو درام) به سمت کوره‌ها	۱- سوختگی کارکنان در اثر حرارت ایجاد شده (در اثر Back کردن کوره و مثبت شدن کوره (Positive) در حالت گاز از قسمت ظرف تفکیک (کاتو درام) به سمت کوره‌ها	۱- سوختگی کارکنان در اثر حرارت ایجاد شده (در اثر Back کردن کوره و مثبت شدن کوره (Positive) در حالت گاز از قسمت ظرف تفکیک (کاتو درام) به سمت کوره‌ها
۱۸۰	چرخه حیات مصرف	۱- مصرف منابع اولیه و انرژی؛ ۱- مصرف انرژی و استفاده از سوخت فسیلی (گاز طبیعی)	۱- افزایش مصرف سوخت و آلودگی گرمایی و کاهش سود حاصل از فرآیند و کاهش بهره‌وری	۱- افزایش مصرف سوخت و آلودگی گرمایی و کاهش سود حاصل از فرآیند و کاهش بهره‌وری	۱- افزایش مصرف سوخت و آلودگی گرمایی و کاهش سود حاصل از فرآیند و کاهش بهره‌وری	۱- افزایش مصرف سوخت و آلودگی گرمایی و کاهش سود حاصل از فرآیند و کاهش بهره‌وری	۱- افزایش مصرف سوخت و آلودگی گرمایی و کاهش سود حاصل از فرآیند و کاهش بهره‌وری	۱- افزایش مصرف سوخت و آلودگی گرمایی و کاهش سود حاصل از فرآیند و کاهش بهره‌وری	۱- افزایش مصرف سوخت و آلودگی گرمایی و کاهش سود حاصل از فرآیند و کاهش بهره‌وری
۲۱۶	چرخه حیات تولید	۱- سوخت‌های زیست‌محیطی: آلودگی محیط‌زیست ۱- نشت گاز در قسمت فلنج‌های مسیر سوخت کوره یا احتمال سوراخ‌شدن لاین گاز و احتمال آتش‌سوزی و انفجار	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب
۱۳۵	چرخه حیات تولید	۱- سوخت‌های زیست‌محیطی: آلودگی محیط‌زیست ۱- نشت گاز در قسمت فلنج‌های مسیر سوخت کوره یا احتمال سوراخ‌شدن لاین گاز و احتمال آتش‌سوزی و انفجار	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب
۲۱۶	چرخه حیات تولید	۱- سوخت‌های زیست‌محیطی: آلودگی محیط‌زیست ۱- نشت گاز در قسمت فلنج‌های مسیر سوخت کوره یا احتمال سوراخ‌شدن لاین گاز و احتمال آتش‌سوزی و انفجار	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب
۱۸۰	چرخه حیات مصرف	۱- مصرف منابع اولیه و انرژی؛ ۱- مصرف انرژی و استفاده از سوخت فسیلی (گاز طبیعی)	۱- افزایش مصرف سوخت و آلودگی گرمایی و کاهش سود حاصل از فرآیند و کاهش بهره‌وری	۱- افزایش مصرف سوخت و آلودگی گرمایی و کاهش سود حاصل از فرآیند و کاهش بهره‌وری	۱- افزایش مصرف سوخت و آلودگی گرمایی و کاهش سود حاصل از فرآیند و کاهش بهره‌وری	۱- افزایش مصرف سوخت و آلودگی گرمایی و کاهش سود حاصل از فرآیند و کاهش بهره‌وری	۱- افزایش مصرف سوخت و آلودگی گرمایی و کاهش سود حاصل از فرآیند و کاهش بهره‌وری	۱- افزایش مصرف سوخت و آلودگی گرمایی و کاهش سود حاصل از فرآیند و کاهش بهره‌وری	۱- افزایش مصرف سوخت و آلودگی گرمایی و کاهش سود حاصل از فرآیند و کاهش بهره‌وری
۵۰	چرخه حیات تولید	۱- سوخت‌های زیست‌محیطی: آلودگی محیط‌زیست ۱- نشت گاز در قسمت فلنج‌های مسیر سوخت کوره یا احتمال سوراخ‌شدن لاین گاز و احتمال آتش‌سوزی و انفجار	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب
۴۸	چرخه حیات تولید	۱- سوخت‌های زیست‌محیطی: آلودگی محیط‌زیست ۱- نشت گاز در قسمت فلنج‌های مسیر سوخت کوره یا احتمال سوراخ‌شدن لاین گاز و احتمال آتش‌سوزی و انفجار	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب	۱- آلودگی هوا، آلودگی زمین و آلودگی آب

سیستماتیک با رویکرد گروهی است که یک تیم چند تخصصی را دربر می‌گیرد (Tingstrom, et al., 2006). بنابراین، کل واحد به منزله جامعه آماری در نظر گرفته شده و طبقه‌بندی فرایندی فعالیت‌های واحد برای نمونه به کل واحد تعمیم داده شده است.

#### ۱.۴. شناسایی فرایندها

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

#### ۲.۴. حالت خرابی بالقوه (جنبه‌ها)

حالت خرابی بالقوه حالتی است که فرایند تشریح‌شده در ستون قبل، به طور بالقوه نیازمندی‌های مشخص‌شده (استانداردها، قوانین، مقررات و غیره) را برآورده نمی‌کند.

#### ۳.۴. آثار بالقوه خرابی (پیامدها)

آثار بالقوه خرابی به منزله آثار حالت خرابی روی مشتریان، کارکنان و سایر طرف‌های ذی‌نفع تعریف می‌شود.

#### ۴.۴. شدت<sup>۱۱</sup>

شدت ارزیابی از میزان جدی بودن 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 ۴ رتبه‌بندی می‌شود. برای تعیین رتبه شدت در واحد هیدروکراکر به موارد زیر توجه شده است.

##### ۱. محیط‌زیست

شدت اثر روی محیط‌زیست و قانون و الزامات زیست‌محیطی برای جلوگیری از آلودگی یا زیان ناشی از آن.

##### ۲. ایمنی و بهداشتی

شدت اثر روی فرد مورد نظر در خصوص کار مربوطه و با توجه به مدت قرارگرفتن فرد کنار دستگاه در نظر گرفته می‌شود (آلودگی صوتی و غیره). همچنین، مشخص می‌شود که شدت یا اثر زیان‌رسانی و آسیب وارد به شخص حاصل از این جنبه‌ها در گذشته چقدر بوده است (بندرجا، ۱۳۸۹).

زیرا در فرم (Lindhal, 2000) جدول ۲ فقط جنبه‌های زیست‌محیطی شناسایی و ارزیابی و به صورت کیفی رتبه‌بندی و وزن‌دهی شده و جنبه‌های حاصل از ریسک‌های ایمنی و بهداشتی شناسایی نشده‌اند. این در حالی است که در فرم رضازاده نیاورانی (۱۳۸۳) ریسک‌های ایمنی نیز به صورت کمی شناسایی و ارزیابی شده‌اند با این تفاوت که شناسایی جنبه‌های زیست‌محیطی و ایمنی به تفکیک صورت نگرفته است. لذا، در فرم EFMEA جدول ۳، که برای واحد هیدروکراکر طراحی شده است، جنبه‌های بهداشتی نیز به سایر جنبه‌ها اضافه شده و شناسایی جنبه‌ها به تفکیک صورت گرفته است. همچنین، طراحی فرم EFMEA واحد هیدروکراکر به صورت تلفیقی از دو فرم رضازاده نیاورانی، (۱۳۸۳) و Lindhal (۲۰۰۰) و مطابق با شرایط و خصوصیات واحد فرایندی هیدروکراکر بوده است. بنابراین، در فرم ارزیابی ریسک واحد هیدروکراکر شیوه‌ای ابتکاری و نو ابداع شد که با تفکیک جنبه‌های زیست‌محیطی و ایمنی و بهداشتی، توسعه و تکمیل فرم انجام شد. همچنین، جنبه‌های واحد بر اساس روش تحقیقی Lindhal (Lindhal, 2000) در ۳ مرحله از چرخه حیات شامل: مرحله تولید، مصرف و دفع ضایعات، شناسایی و تجزیه و تحلیل شده است. در واقع تفاوت بین FMEA و EFMEA تنها در هدفی است که هر یک دنبال می‌کنند. بدیهی است کلیت هدف که پیشگیری از خطاست در هر یک از حالات FMEA تفاوتی ندارد که این اهداف را می‌توان به سادگی با طرح پرسش تعریف کرد (رضایی و همکاران، ۱۳۸۴). در این تحقیق با طرح پرسش در زمینه فعالیت مورد نظر، ریسک‌های زیست‌محیطی و ایمنی و بهداشتی شناسایی شده‌اند.

#### ۴. تشریح روش EFMEA (تشکیل گروه)

طی اجرای EFMEA انتظار می‌رود کلیه بخش‌های سازمان که به گونه‌ای در شناسایی و ارزیابی جنبه‌ها دخیل‌اند، حضور یابند. (رضازاده نیاورانی، ۱۳۸۳). EFMEA روش

جدول ۴. رتبه‌بندی شدت اثر روی محیط‌زیست و انسان (ایمنی و بهداشتی)

رتبه	معیار: شدت اثر	اثر
۱۰	نتایج به صورت زیان شدید به سلامت انسان یا محیط‌زیست 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 ماده شیمیایی) (استرس: شدت اثر وقوع آتش‌سوزی و انفجار یا زیان‌رسانی که به استرس منجر می‌شود) در مورد همه 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 محیط‌زیست و انسان	خیلی بالا
۷	تأثیر زیاد روی محیط‌زیست و انسان	بالا
۶	تأثیر متوسط روی محیط‌زیست و انسان	متوسط
۵	تأثیر کم روی محیط‌زیست و انسان	کم
۴	تأثیر جزئی	خیلی کم
۳	محدود و کنترل‌شده	ضعیف

(منبع: رضازاده نیاورانی، ۱۳۸۳)

#### ۵.۴. وضعیت

این ستون برای طبقه‌بندی جنبه‌های زیست‌محیطی و ایمنی - بهداشتی به کار می‌رود و می‌تواند به سه قسمت عادی<sup>۱۲</sup>، غیرعادی<sup>۱۳</sup> و اضطراری<sup>۱۴</sup> تقسیم‌بندی شود.

#### ۶.۴. علل بالقوه خرابی

چگونگی اتفاق افتادن خرابی است و بر حسب اینکه قابل اصلاح یا کنترل باشد، بیان می‌شود.

#### ۷.۴. وقوع<sup>۱۵</sup>

میزان تواتر به وقوع پیوستن علت خرابی (مشخص شده در ستون قبلی) است. رتبه احتمال وقوع با توجه به موارد زیر تعیین شد.

#### ۱.۷.۴. محیط‌زیست

- احتمال اینکه نشی از یکی از ادوات واحد اتفاق بیفتد و به آتش‌سوزی و آلودگی آب، هوا و خاک منجر شود چقدر است؟ آیا در گذشته اتفاق افتاده است؟

#### ۲.۷.۴. ایمنی و بهداشتی

برای تعیین رتبه 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، رتبه احتمال وقوع پایین می‌آید. احتمال وقوع نشی که به آتش‌سوزی، انفجار و سوختگی افراد منجر می‌شود چقدر است؟ و رتبه احتمال وقوع بر اساس تجربیات قبلی از حوادث به وقوع پیوسته و جدول ۵ تعیین شده است.

#### ۸.۴. کشف<sup>۱۶</sup>

تشخیص ارزیابی از احتمالی است که کنترل‌های جاری تعریف‌شده، عیب یا حالت خرابی بعدی را شناسایی کند. باید فرض شود خرابی اتفاق افتاده است سپس، قابلیت‌های کلیه کنترل‌های جاری، برای پیشگیری پیامد ارزیابی شوند. در تعیین رتبه 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 رتبه کشف پایین می‌آید (جدول ۶).



جدول ۵. 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 کنترل‌شده مرتبط با سایر فرایندهای مشابه (نادر)
۳	۱ از ۱۵۰۰۰	
۲	۱ از ۱۵۰۰۰۰	خیلی پایین: فقط خرابی‌های کنترل‌شده مرتبط با اغلب فرایندهای یکسان
۱	۱ از ۱۵۰۰۰۰۰	بعید: خرابی‌های غیرمعمول؛ هیچ‌گونه خرابی در خصوص فرایندهای یکسان وجود ندارد

(منبع: رضا زاده نیاورانی، ۱۳۸۳)

جدول ۶. 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 شناخته‌شده‌ای 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

(منبع: رضازاده نیاورانی، ۱۳۸۳)

#### ۹.۴. رتبه‌بندی مصرف منابع، مواد اولیه و انرژی

برای مصرف منابع، مواد اولیه و انرژی جدول رتبه‌بندی به صورت جدا طراحی شده است. مصرف منابع جزو جنبه‌های زیست‌محیطی محسوب می‌شود. در کل مصرف منابع از سه جهت بررسی و رتبه‌بندی نیز به میزان مصرف

- یا برداشت منابع نسبت داده شده است (بندرجا، ۱۳۸۹):
۱. مصرف منابع به تخلیه و کاهش منابع طبیعی منجر می‌شود.
  ۲. مصرف منابع به کاهش منابع و ایجاد آلودگی منجر می‌شود.
  ۳. مصرف منابع یا برداشت آن باعث اثر در اکوسیستم می‌شود.

منابع توجه شده است به این صورت که هر چه کنترل‌ها در زمینه 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 ۹) (بندرجا، ۱۳۸۹)..

#### ۱۲.۴. عدد اولویت ریسک

عدد اولویت ریسک، از حاصل ضرب شدت، احتمال وقوع و تشخیص حاصل می‌شود. در واقع برای ریسک‌های زیست‌محیطی، ایمنی و بهداشتی بر اساس روش توزیع فراوانی عدد استاندارد یا درجه مخاطره‌پذیری (درجه‌ای است که می‌توانیم خطر یا ریسک را بپذیریم) ۱۱۳ (جمشیدی، ۱۳۸۶) محاسبه شده است. RPN‌های بالاتر از این درجه به منزله RPN‌های بحرانی اند و اقدامات اصلاحی برای آن‌ها تعریف شده‌اند.

#### ۱۰.۴. رتبه‌بندی شدت اثر یا میزان مصرف منابع

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 رتبه شدت اثر نیز بالا می‌رود، زیرا مصرف زیاد به کاهش زیاد منابع منجر می‌شود که اثر بالایی در منابع طبیعی دارد (جدول ۷).

#### ۱۱.۴. رتبه‌بندی احتمال وقوع برای مصرف منابع

برای رتبه‌بندی احتمال وقوع به موارد زیر توجه شده است:  
۱. آیا از منابع به صورت مداوم و همیشگی استفاده می‌شود؟ در صورت مثبت بودن جواب رتبه احتمال وقوع بالا می‌رود.  
۲. آیا در این فرایند اتلاف منابع وجود دارد؟ (جدول ۸)

#### رتبه‌بندی احتمال کشف برای مصرف منابع

در این رتبه‌بندی نیز به کنترل‌های جاری درباره مصرف

جدول ۷. رتبه‌بندی شدت اثر یا میزان مصرف منابع، مواد اولیه و انرژی

رتبه	معیار: میزان مصرف	مصرف
۱۰	مصرف زیاد منابع (به میزان زیاد باعث کاهش منابع یا اتلاف آن، آلودگی محیط‌زیست یا به هم خوردن اکوسیستم دریا می‌شود)	میزان مصرف منابع زیاد (بدون در نظر گرفتن توصیه‌های قانونی)
۹	مصرف زیاد منابع با رعایت توصیه‌های قانونی (به میزان زیاد باعث کاهش منابع یا اتلاف آن، آلودگی محیط‌زیست 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 محیط‌زیست 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 محیط‌زیست 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 محیط‌زیست 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 محیط‌زیست 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 محیط‌زیست یا به هم خوردن اکوسیستم دریا می‌شود)	میزان مصرف ضعیف

(منبع: بندرجا، ۱۳۸۹).

## جدول ۸. 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	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
۸	۱ از ۸	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
۷	۱ از ۲۰	احتمال وقوع پایین: از منابع به میزان کم استفاده می‌شود (احتمال اتلاف و کاهش منابع در اثر استفاده کم 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
۶	۱ از ۸۰	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
۵	۱ از ۴۰۰	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 گونه‌ای استفاده می‌شود که احتمال زیان‌رسانی وجود ندارد.
۴	۱ از ۲۰۰۰	
۳	۱ از ۱۵۰۰۰	
۲	۱ از ۱۵۰۰۰۰	
۱	۱ از ۱۵۰۰۰۰۰	

(منبع: بندرجا، ۱۳۸۹).

## جدول ۹. احتمال کشف، مصرف منابع، مواد اولیه و انرژی

رتبه	معیار: احتمال اینکه پیامد به وجود آمده به وسیله کنترل‌های جاری، قبل از به وقوع پیوستن یک پیامد بارز زیست‌محیطی، کشف شود	کشف
۱۰	هیچ کنترل شناخته‌شده‌ای 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	خیلی بعید
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	خیلی پایین
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	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
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 کمی بالاست	کمی بالا
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	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
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 حتمی است	غالباً حتمی

(بندرجا، ۱۳۸۹)

**۱۳.۴. اقدامات پیشنهادی**

بعد از اولویت بندی حالات خرابی بر مبنای مقدار RPN، اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه باید ابتدا معطوف موارد دارای اولویت و بحرانی شوند. نیت هر اقدام پیشنهادی باید کاهش رتبه حداقل یکی از سه مورد شدت، وقوع و کشف باشد.

**۱۴.۴. مبنای شناسایی و رتبه بندی جنبه ها در واحد هیدروکراکر**

شناسایی و رتبه بندی جنبه های واحد هیدروکراکر با کمک متخصصان عملیات و بر اساس تجربیات قبلی از حوادث به وقوع پیوسته است و مشاهدات عینی صورت پذیرفت (بندرجا، ۱۳۸۹).

**۱۵.۴. داده های مورد استفاده در تحقیق**

داده های ورودی برای شناسایی و ارزیابی جنبه ها در این پژوهش، فعالیت های مهمی است که بر اساس طبقه بندی فرایندی در دو بخش فشار بالا و پایین انجام می گیرد. لذا، طی بررسی های شکل گرفته با مهندسی پالایش و بر اساس طبقه بندی فرایندی، کل واحد هیدروکراکر به ۲۴ نوع فرایند در زمان عادی و ۶ نوع فرایند مهم در زمان تعمیرات اساسی طبقه بندی شد و محور کار قرار گرفت. یکی از ویژگی های طبقه بندی فرایندی این است که این طبقه بندی بر اساس عملکرد دستگاه های مختلف و دید فرایندی برای بخش های مختلف واحد، فعالیت ها به صورت مجزا در نظر گرفته شده است. سعی بر این بوده است که از افراد متخصص با دانش تولید و زیست محیطی استفاده شوند.

بخش فشار بالا شامل: ۱. فیلتراسیون خوراک؛ ۲. پمپ خوراک؛ ۳. مبدل های پیش گرمایش و کوره خوراک؛ ۴. واکنش کراکینگ؛ ۵. تفکیک فاز مایع و گاز؛ ۶. کمپرسور گاز گردش؛ ۷. تزریق آب شستشو؛ ۸. کمپرسورهای بوستر؛ ۹. تولید بخار فشار بالا؛ ۱۰. تزریق ماده شیمیایی تری فسفات سدیم به مبدل های تولیدکننده بخار؛ ۱۱. تزریق سوخت گاز به کوره است.

بخش فشار پایین شامل: ۱. جدا کردن گازهای سبک تر از بوتان؛ ۲. تزریق ماده شیمیایی؛ ۳. بخش جذب؛ ۴. جدا کردن محصولات؛ ۵. خالص کردن محصول دیزل؛ ۶. خالص کردن نفت سفید سنگین؛ ۷. خالص کردن نفت سفید سبک؛ ۸. خالص کردن نفتای سنگین؛ ۹. خالص کردن نفتای سبک؛ ۱۰. تولید بخار فشار متوسط MS؛ ۱۱. تزریق ماده شیمیایی تری فسفات سدیم به بخش تولید؛ ۱۲. تخلیه آب قسمت های تولیدکننده بخار به زمین؛ ۱۳. حوضچه تخلیه آروماتیک ها مهم ترین فعالیت های واحد در زمان تعمیرات اساسی شامل: ۱. بازکردن عایق مسیرها برای بازدید؛ ۲. احیای کاتالیست، ۳. خنثی کردن تجهیزات؛ ۴. تخلیه ظروف و مسیرها؛ ۵. ورود افراد به ظروف و راکتورها؛ ۶. عملیات سولفور کردن کاتالیست بعد از احیا. لازم به یادآوری است شناسایی جنبه ها از سوی افراد متخصص، افراد عملیات در واحد تحت بررسی که از اعضای گروه EFMEA بوده اند و از طریق مصاحبه، بحث و مذاکره با آنها و تکمیل فرم EFMEA انجام شده است.

**۵. تشریح فرم طراحی شده واحد هیدروکراکر**

فرم EFMEA واحد هیدروکراکر متشکل از مرحله چرخه حیات تولید، مصرف و دفع ضایعات است که در مرحله چرخه حیات تولید، جنبه های زیست محیطی و حاصل از ریسک های ایمنی و بهداشتی شناسایی شده است. علاوه بر این، قسمت مصرف در مرحله چرخه حیات به شناسایی جنبه های حاصل از مصرف منابع، مواد اولیه و انرژی می پردازد و در قسمت دفع ضایعات، جنبه های حاصل از تولید ضایعات شناسایی شده است. در واقع جنبه های هر قسمت به تفکیک شناسایی، رتبه بندی و ارزیابی شده اند. لازم به یادآوری است، شناسایی جنبه ها در واحد هیدروکراکر بر اساس تجربیات قبلی از حوادث به وقوع پیوسته و مشاهدات عینی، بر اساس ماهیت آنها و در سه وضعیت عادی، غیرعادی و اضطراری شکل گرفته که در زیر شرح داده شده است. بر اساس تحقیقات آرش حق شنو

سوختگی، برق‌گرفتگی، انفجار، سقوط از ارتفاع، بریدگی، زمین‌خوردن، تصادف، انبارش مواد خطرناک یا آتش‌زا شناسایی شده‌اند.

### ۳.۶. جنبه‌های بهداشتی

جنبه‌های بهداشتی حاصل از فرایندهای واحد هیدروکراکر نیز بر اساس ۳ عامل فیزیکی؛ شیمیایی و ارگونومیک و روانی شناسایی شده‌اند که در زیر آمده‌اند.

۱. عوامل فیزیکی (سر و صدا، ارتعاش، درجه حرارت (زیاد و کم)، پرتوها (یونیزان و غیریونیزان)، فشار زیاد و کم و نور؛
۲. عوامل شیمیایی (گرد و غبار و ذرات، گازها، بخارات، دود و دمه)؛
۳. عوامل ارگونومیک و روانی (استرس، خطر بروز حرارت، کار به تنهایی، بلندکردن اجسام سنگین و وارد آمدن آسیب جسمی و حرکتی). (نوری، ۱۳۸۸).

### ۴. شیوه تحلیل داده‌ها

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

### ۱.۷. روش محاسبه تعیین RPN شاخص یا درجه

#### 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

(۱۳۸۸) و با توجه به اینکه ماهیت برخی از جنبه‌ها با هم متفاوت است، کلیه جنبه‌ها به دو گروه اصلی تقسیم شده است: گروه اول جنبه‌های زیست‌محیطی: الف: آلاینده‌های زیست‌محیطی ب: مصرف منابع طبیعی؛ گروه دوم: جنبه‌های مربوط به ریسک‌های ایمنی و بهداشتی.

### ۶. شناسایی جنبه‌های زیست‌محیطی و ایمنی و

#### بهداشتی

#### ۱.۶. وضعیت موجود

شرکت پالایش نفت بندرعباس در استقرار نظام‌های مدیریتی (سیستم مدیریت کیفیت، مدیریت زیست‌محیطی و مدیریت ایمنی و بهداشت حرفه‌ای) از جمله شرکت‌های پیشرو نفتی کشور است که گواهی‌نامه‌های مدیریتی را به صورت یکپارچه IMS دریافت کرده است. در واحد هیدروکراکر آلودگی هوا به گازهای SOX و NOX و از طرفی ترکیباتی مثل H<sub>2</sub>S یا سولفید هیدروژن، که عامل بسیار مهمی از تلفات در واحدهای پالایشگاهی است، به افزایش ریسک خطرهای ایمنی - بهداشتی و زیست‌محیطی منجر شده است. از آنجا که آب‌های آلوده به واحد بازیافت منتقل می‌شوند آلودگی آب در واحد وجود ندارد و به علت آسفالت‌بودن کف واحد خاک نیز آلوده نخواهد شد، اما به علت نشت مایعات سبک از مسیرهای زیرزمینی از پمپ تا لوله‌ها احتمال آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی اطراف وجود دارد. علاوه بر این، جنبه‌های زیست‌محیطی از فعالیت بر اساس ۳ عامل شناسایی شده‌اند که شامل موارد زیرند:

۱. انتشار آلودگی در (آب، هوا و خاک)؛
۲. مصرف منابع، مواد اولیه و انرژی (مصرف آب، انرژی الکتریکی، سوخت فسیلی و گاز طبیعی)؛
۳. تولید ضایعات (جامد، مایع و گاز) و اینکه ضایعات دفن یا بازیافت می‌شوند (نوری، ۱۳۸۸).

### ۲.۶. جنبه‌های ایمنی

جنبه‌های ایمنی حاصل از فرایندها بر اساس عوامل

بنابراین، درجه مخاطره‌پذیری برابر با ۱۱۳ است و اعداد اولویت ریسک جنبه‌هایی که بالاتر از درجه مخاطره‌پذیری قرار گرفته‌اند به منزله اعداد اولویت ریسک بحرانی شناخته می‌شوند که به اقدامات اصلاحی و کنترلی نیاز دارند (بندرجا، ۱۳۸۹).

جدول ۱۱. تعیین بیشترین فراوانی رده برای محاسبه درجه مخاطره‌پذیری

رده	حدود رده	فراوانی رده	فراوانی نسبی	فراوانی تجمعی
۱	۲۴-۵۹	۵۶	$\frac{۵۶}{۲۹۱}$	۵۶
۲	۶۰-۹۵	۶۳	$\frac{۶۳}{۲۹۱}$	۱۱۹
۳	۹۶-۱۳۱	۷۴	$\frac{۷۴}{۲۹۱}$	۱۹۳
۴	۱۳۲-۱۶۷	۵۰	$\frac{۵۰}{۲۹۱}$	۲۴۳
۵	۱۶۸-۲۰۳	۳۵	$\frac{۳۵}{۲۹۱}$	۲۷۸
۶	۲۰۴-۲۳۹	۵	$\frac{۵}{۲۹۱}$	۲۸۳
۷	۲۴۰-۲۷۵	۲	$\frac{۲}{۲۹۱}$	۲۸۵
۸	۲۷۶-۳۱۱	۱	$\frac{۱}{۲۹۱}$	۲۸۶
۹	۳۱۲-۳۴۷	۵	$\frac{۵}{۲۹۱}$	۲۹۱
جمع		۲۹۱	۱	

### ۸. یافته‌ها

مدل تحقیق حاضر دو سری جدول و نمودار را با نتایج مجزا از هر فرایند ارائه می‌دهد. بعد از شناسایی و رتبه‌بندی 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.

دسته اول: ریسک‌های خیلی بالا با عدد اولویت ریسک ۳۰۰ به بالا (خیلی بالاتر از درجه مخاطره‌پذیری)؛

پایین‌ترین عدد اولویت ریسک ۲۴ مرتب و درجه مخاطره‌پذیری با استفاده از روش توزیع فراوانی محاسبه شده که برای محاسبه این روش به دو مؤلفه تعداد رده و طول رده نیاز است (جمشیدی، ۱۳۸۶).

### ۲.۲. روش محاسبه تعداد رده

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

$$n=291 \quad K=1+3/3\text{Log}291=9$$

کوچک‌ترین مقدار - بزرگ‌ترین مقدار = طول رده  
تعداد رده

$$\frac{۳۴۳-۲۴}{۹} = ۳۶$$

### جدول ۱۰. محاسبه حدود رده

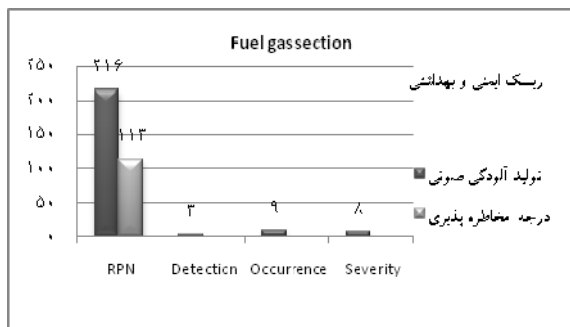
محاسبه حدود رده	
$۲۴+۳۶=۶۰$	$L1=۲۴-۵۹$
$۶۰+۳۶=۹۶$	$L2=۶۰-۹۵$
$۹۶+۳۶=۱۳۲$	$L3=۹۶-۱۳۱$
$۱۳۲+۳۶=۱۶۸$	$L4=۱۳۲-۱۶۷$
$۱۶۸+۳۶=۲۰۴$	$L5=۱۶۸-۲۰۳$
$۲۰۴+۳۶=۲۴۰$	$L6=۲۰۴-۲۳۹$
$۲۴۰+۳۶=۲۷۶$	$L7=۲۴۰-۲۷۵$
$۲۷۶+۳۶=۳۱۲$	$L8=۲۷۶-۳۱۱$
$۳۱۲+۳۶=۳۴۸$	$L9=۳۱۲-۳۴۷$

نتایج حاصل از محاسبات تعیین درجه مخاطره‌پذیری به روش توزیع فراوانی نشان داد که بیشترین یا ۷۴ مورد از اعداد اولویت ریسک در حدود رده ۹۶-۱۳۱ با فراوانی نسبی  $\frac{۷۴}{۲۹۱}$  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 درجه مخاطره‌پذیری محاسبه شد.

$$\text{درجه مخاطره‌پذیری} = \frac{۹۶+۱۳۱}{۲} = ۱۱۳$$

### جدول ۱۲. ریسک ایمنی و بهداشتی حاصل فعالیت فراهم کردن سوخت گاز و تزریق آن به کوره

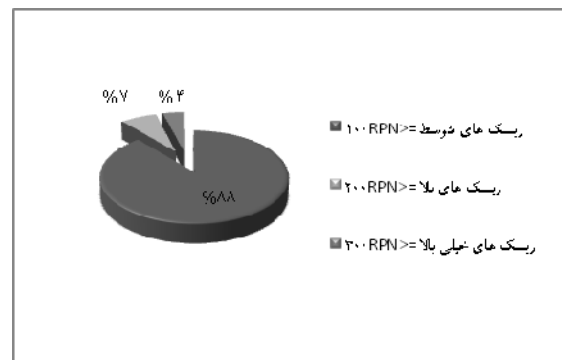
ریسک ایمنی و بهداشتی (درجه مخاطره‌پذیری ۱۱۳)		
RPN	علل بالقوه خرابی	حالت خرابی بالقوه (جنبه بهداشتی) و پیامد حاصل از آن
۲۱۶ > ۱۱۳	سر و صدای زیاد حاصل کارکرد ادوات مکانیکی	سر و صدای زیاد حاصل از سوختن گاز در کوره (تولید عوارض شنوایی)



### نمودار ۱. ریسک ایمنی و بهداشتی حاصل از فراهم کردن سوخت گاز و تزریق آن به کوره

با توجه به جدول ۱۲ و نمودار ۱ مشاهده می‌شود که جنبه بهداشتی با عدد اولویت ریسک ۲۱۶ جزو دسته 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. 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. کنترل‌های جاری که درباره این جنبه صورت می‌گیرد، استفاده از گوشی از سوی کارکنان است، اما با توجه به عدد اولویت ریسک ۲۱۶، از درجه 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 (بندرجا، ۱۳۸۹).

دسته دوم: ریسک‌های بالا با عدد اولویت ریسک ۲۰۰ به بالا (بالاتر از درجه مخاطره‌پذیری)؛  
دسته سوم: ریسک‌های متوسط با عدد اولویت ریسک ۱۰۰ به بالا (کمی بالاتر از درجه مخاطره‌پذیری).



شکل ۱. دسته بندی ریسک‌های 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.

### ۹. اولویت‌بندی 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 اولویت‌بندی شده‌اند. سپس، ۱۰ درصد یا ۳۰ مورد از بالاترین ریسک‌ها که بالاترین عدد اولویت ریسک را به خود اختصاص داده‌اند به صورت جدول و ارائه نمودار برای مقایسه RPN با درجه مخاطره‌پذیری تجزیه و تحلیل و برای آن‌ها اقدامات اصلاحی ارائه شده‌اند. اقدامات اصلاحی به منزله نتیجه اجرای پروژه FMEA از اهمیت بسزایی برخوردارند (فرخی، ۱۳۸۸).

جدول ۱۳. ریسک ایمنی و بهداشتی حاصل فرایند سولفایدینگ<sup>۱۳</sup> برای شستن اتم گوگرد در زمان تعمیرات اساسی

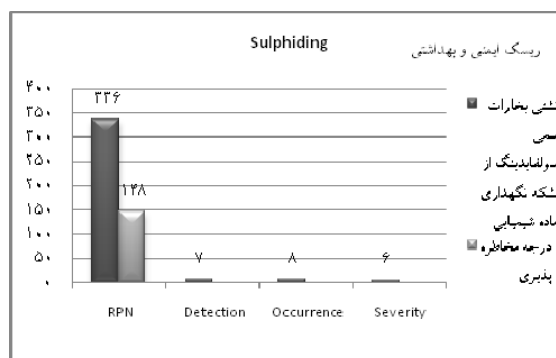
ریسک ایمنی و بهداشتی (درجه مخاطره پذیری ۱۱۳)		
RPN	علل بالقوه زیان‌رسانی	حالت خرابی بالقوه (جنبه بهداشتی و پیامد حاصل از آن)
۳۳۶ > ۱۱۳	خرابی گسکت‌ها، شل شدن پیچ و مهره، پارگی شیلنگ‌ها و خرابی ادوات (تلمبه) و در صورت استفاده نکردن از لباس و ماسک (با توجه به شرایط کار استفاده از وسایل کار مشکل است)	نشست بخارهای سمی سولفایدینگ از بشکه (تولید عوارض تنفسی و اختلالات ریوی و در صورت تماس با پوست بدن ایجاد عوارض پوستی و چشمی)

می‌توان از ماسک هوای تازه استفاده کرد، اما به علت سنگین بودن کاربرد آن مشکل است. در این خصوص برای جلوگیری از پیشرفت بیماری تمهیدات گردش کار در افراد توصیه می‌شود. اقدامات اصلاحی دوم: جایگزینی مواد، یکی از اساسی‌ترین اصول پیشگیری است و منظور، استفاده نکردن از مواد و وسایل بیماری‌زا و جایگزینی آن‌ها با مواد غیربیماری‌زا یا با قدرت بیماری‌زایی کمتر است که همان خواص صنعتی یا کارایی را داشته باشد. لذا، چون در ساختمان سولفایدینگ یا دی متیل دی سولفات سولفور به کار رفته که عامل اصلی بوی نامطبوع و سمیت است، می‌توان به جای سولفور از ماده شیمیایی استفاده کرد که بوی کمتر و خاصیت سمیت کمتری داشته باشد و سلامت کارکنان را تهدید نکند (بندرجا، ۱۳۸۹).

جدول ۱۴. ریسک زیست‌محیطی حاصل فعالیت بازکردن عایق برای بازدید مسیرها در زمان تعمیرات اساسی

ریسک زیست‌محیطی (درجه مخاطره پذیری ۱۱۳)		
RPN	علل بالقوه خرابی	حالت خرابی بالقوه (جنبه زیست‌محیطی)
۳۱۵ > ۱۱۳	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)

با توجه به جدول ۱۴ و نمودار ۳، مشاهده می‌شود جنبه زیست‌محیطی با عدد اولویت ریسک ۳۱۵ جزو دسته ریسک‌های خیلی بالا در اولویت‌بندی RPN محسوب



نمودار ۲. ریسک ایمنی و بهداشتی حاصل فرایند سولفایدینگ برای شستن اتم گوگرد

با توجه به جدول ۱۳ و نمودار ۲ مشاهده می‌شود جنبه بهداشتی با عدد اولویت ریسک ۳۳۶ جزو دسته ریسک‌های خیلی بالا در اولویت‌بندی RPN است. نتایج در خصوص این جنبه بهداشتی نشان داد، شدت اثر بخارهای سولفایدینگ ناشی از نشست ماده شیمیایی سولفایدینگ روی کارکنان زیاد بالا نیست و به میزان متوسط ارزیابی شده، اما با توجه به مدت استفاده از این ماده احتمال اینکه نشستی اتفاق بیفتد و سلامتی کارکنان را تهدید کند به میزان بالا تعیین شده است. با توجه به عدد کشف این جنبه، گویای این است که کنترل‌های خیلی پایین و زیاد مؤثر نیست بنابراین، ارزیابی پیامد جنبه حاکی از آن است که این آثار با توجه به احتمال وقوع بالا می‌تواند در طولانی مدت به اختلالات تنفسی و ریوی در کارکنان منجر شوند. کنترل‌های جاری در خصوص این جنبه بهداشتی در واحد هیدروکراکر، استفاده از وسایل استحضاطی است. اقدامات اصلاحی اول: اگر بو در محوطه پخش شود ماسک کاغذی نمی‌تواند جوابگو شود بنابراین،

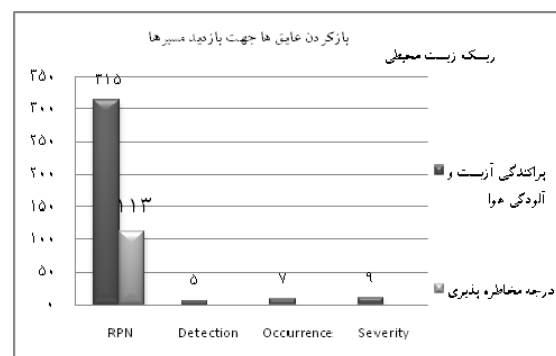


فایبرگلاس، که آلودگی کمتری دارد، یا تغییر روش بازرسی فنی برای اندازه‌گیری ضخامت مسیره‌هاست. همچنین، توصیه می‌شود از سوی عایق‌کاران دریچه‌ای مستطیل‌مانند، روی زانو‌ها نصب شود که احتیاج به عایق‌کاری مجدد، آلودگی هوا و موجب به خطر افتادن سلامت شغلی کارکنان نشود.

### ۱۰. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این تحقیق طراحی فرم EFMEA واحد هیدروکراکر به صورت ترکیبی از فرم رضازاده نیاورانی (۱۳۸۳) و Lindahl (۲۰۰۰) صورت پذیرفت با این تفاوت که در فرم رضازاده نیاورانی (۱۳۸۳) فقط شناسایی جنبه‌های زیست‌محیطی از فعالیت‌ها بررسی شده و جنبه‌های زیست‌محیطی از مصرف منابع، مواد اولیه و انرژی، همچنین ریسک‌های ایمنی و بهداشتی بررسی نشده است. ریسک‌ها در سه مرحله از چرخه حیات شناسایی نشده‌اند، به علاوه فرم در ۳ مرحله از چرخه حیات تولید، مصرف و تولید ضایعات بر اساس فرم (Lindahl, 2000) طراحی شده با این تفاوت که در این فرم فقط جنبه‌های زیست‌محیطی شناسایی شده و رتبه‌بندی جنبه‌ها به صورت کیفی و با پارامترهای کنترل مستندات؛ تصور عمومی و پیامد زیست‌محیطی صورت گرفته است. لذا، نوآوری این تحقیق در این است که در فرم EFMEA، که برای واحد هیدروکراکر طراحی شده است، علاوه بر جنبه‌های زیست‌محیطی جنبه‌های حاصل از ریسک‌های ایمنی و بهداشتی نیز در ۳ مرحله از چرخه حیات شناسایی و ارزیابی شده‌اند. بنابراین، رتبه‌بندی یا وزن‌دهی جنبه‌های واحد هیدروکراکر به صورت کمی بر اساس فرم رضازاده نیاورانی (۱۳۸۳) و شناسایی جنبه‌ها در ۳ مرحله از چرخه حیات بر اساس فرم Lindahl (۲۰۰۰) صورت پذیرفته که سبب توسعه فرم و پیشرفت کار شد، زیرا فرم طراحی شده مورد نظر برای واحد هیدروکراکر کامل‌تر از ۲ فرم قبلی نیازهای تحقیق را برای شناسایی و ارزیابی جنبه‌ها محقق کرده است.

می‌شود. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آثار و ارزیابی پیامد این جنبه زیست‌محیطی نشان داد شدت اثر پراکندگی ذرات آزبست که به آلودگی هوا در زمان تعمیرات اساسی منجر می‌شود بسیار خطرناک و با احتمال 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 کنترل‌ها متوسط عمل می‌کنند لذا، ارزیابی پیامد جنبه مورد نظر حاکی از آن است که این آثار می‌توانند موجب آلودگی هوا به ذرات آزبست شوند. کنترل‌های جاری که در این زمینه در واحد صورت می‌گیرد: رعایت نکات ایمنی گزارش شده است لذا، با توجه به عدد اولویت ریسک این جنبه مشاهده می‌شود که از درجه مخاطره‌پذیری بالاتر است و با توجه به رتبه کشف ۵ (متوسط) یعنی کنترل‌های جاری نسبت به این جنبه متوسط است و به اقدامات اصلاحی و کنترلی قوی‌تری نیاز دارد. اقدامات اصلاحی برای این جنبه به دلیل اینکه ذرات آزبست نسبتاً در محیط زیست پایداری دارند، در هوا تبخیر نمی‌شوند و به وسیله هوا جابه‌جا می‌شوند مهم‌ترین ریسک بهداشتی را برای انسان به وجود می‌آورند (Stettler, 2003).



### نمودار ۳. ریسک زیست‌محیطی حاصل فعالیت بازکردن عایق برای بازدید مسیره‌ها 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 غیرآزبستی، مانند

### ۱۱. تفاوت فرم واحد هیدروکراکر با دیگر فرم‌ها

دلایل این تفاوت این است که واحد هیدروکراکر در دما و فشار بالا فعالیت می‌کند و به تبع ریسک‌های ایمنی و بهداشتی ریسک بیشتری به مراتب بیشتر است، در صورتی که فرم رضازاده نیاورانی (۱۳۸۳) برای کارخانه طراحی و در آن فقط جنبه‌های زیست‌محیطی ارزیابی شده است. فرم Lindahl (۲۰۰۰) نیز برای کارخانه طراحی شده که این دو فرم به دلایل ذکر شده نمی‌توانند برای شناسایی جنبه‌های واحد ایده‌آل و کامل باشند و در این فرم شناسایی جنبه‌ها در ۳ وضعیت عادی، غیرعادی و اضطراری صورت پذیرفته بود. این در حالی است که هیدروکراکر واحدی فرایندی است که ریسک‌ها در این ۳ وضعیت به وقوع می‌پیوندند و در فرم واحد هیدروکراکر شناسایی جنبه‌ها در زمان عادی و تعمیرات اساسی و ۳ وضعیت عادی، غیرعادی و حادثه‌ای صورت پذیرفت. از دیگر نوآوری‌های این تحقیق تفاوت روش EFMEA واحد هیدروکراکر با روش پالایشگاه نفت بندرعباس است که در زیر آمده است:

روش EFMEA با ۳ پارامتر تمام آیت‌ها را بررسی کرده  $(RPN=S \times O \times D)^{18}$ ، روش پالایشگاه با ۵ پارامتر  $(S = A^{20} \times B^{21} \times C^{22} \times D^{23} \times E^{24})^{19}$ ، 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. روش EFMEA در ۳ مرحله از چرخه حیات (تولید، مصرف و ضایعات) شناسایی شده و در زمان تعمیرات اساسی نیز جنبه‌ها را شناسایی و اولویت‌بندی کرده است. خاطر نشان می‌شود در این تحقیق ۲۹۱ جنبه شناسایی و ارزیابی شد که از این تعداد ۱۱۹ مورد با اعداد اولویت ریسک بالاتر از درجه مخاطره‌پذیری

قرار داشته‌اند. نتایج بررسی‌ها نشان داد بیشترین ریسک‌ها در واحد، مربوط به ریسک ایمنی و بهداشتی با تعداد ۶۸ مورد نسبت به ریسک زیست‌محیطی با تعداد ۵۴ مورد است. لذا، در تقسیم‌بندی RPNها، ۱۰ درصد از بالاترین اعداد اولویت ریسک بررسی شد و ریسک‌های حاصل از اولویت‌بندی به ۳ دسته ریسک‌های خیلی بالا با عدد اولویت ریسک ۳۰۰ به بالا، ریسک‌های بالا با عدد اولویت ریسک ۲۰۰ به بالا و ریسک‌های متوسط با عدد اولویت ریسک ۱۰۰ به بالا دسته‌بندی شدند. بررسی‌ها نشان داد از ۱۰ درصد اعداد اولویت ریسک مورد بررسی که اقدامات اصلاحی برای آن‌ها تعریف شده است ۸۸ درصد در دسته سوم یعنی ریسک‌های متوسط و کمی بالاتر از درجه مخاطره‌پذیری، ۷ درصد در دسته ریسک‌های بالا (بالاتر از درجه مخاطره‌پذیری) و ۴ درصد در دسته ریسک‌های خیلی بالا (خیلی بالاتر از درجه مخاطره‌پذیری) قرار گرفته‌اند. عدد ۱۱۳ یا درجه مخاطره‌پذیری RPN‌هایی که بالاتر از این عدد قرار گرفته‌اند به منزله RPN‌های بحرانی معرفی شدند و برای آن‌ها اقدامات اصلاحی و کنترلی تعریف شد.

نتایج در زمینه ارزیابی جنبه‌ها، آلودگی محیط‌زیست و زیان ناشی از آن نشان داد، ریسک‌های زیست‌محیطی که عدد اولویت ریسک خیلی بالایی دارند شامل جنبه‌های زیست‌محیطی فرایند تخلیه ظروف و مسیرها و مصرف آب دریا در زمان تعمیرات اساسی با عدد اولویت ریسک ۳۴۳ بالاتر از درجه مخاطره‌پذیری‌اند و جزو ریسک‌های خیلی بالا محسوب می‌شوند. ارزیابی پیامد این جنبه حاکی از آن است که این آثار به آلودگی حرارتی و نامناسب شدن محیط‌زیست آبریزان و مرگ آن‌ها منجر خواهند شد. اقدامات اصلاحی در این زمینه بعد از شستشوی ادوات آب آلوده حتماً به واحد بازیافت انتقال می‌یابد و با حجم کم وارد آب دریا می‌شود تا با آلودگی حرارتی کم، اثر کمتری نیز در محیط‌زیست آبریزان داشته باشد. جنبه زیست‌محیطی مربوط به فعالیت بازکردن عایق مسیرها برای بازدید و

انجام شده است لذا، نویسندگان مقاله از همکاری مدیر عملیات، پرسنل محترم واحد هیدروکراکر و بخش HSE شرکت سپاسگزاری می‌کنند.

### یادداشت‌ها

1. Health Safety Environment (HSE)
2. Environment- Failure mood and Effect Analysis (EFMEA)
3. Environmental Effect Analysis (EEA)
4. HAZOP

۵. کیفیت محصول

6. Process FMEA (PFMEA)
7. Design FMEA (DFMEA)
8. System FMEA (SFMEA)
9. Machine FMEA (MFMEA)
10. Environmental FMEA (EFMEA)
11. Severity (S)
12. Normal (N)
13. Abnormal (A)
14. Emergency (E)
15. Occurrence (O)
16. Detection (D)
17. Sulphiding or DMDS
18.  $RPN = S \times O \times D$
19. امتیاز = S
20. مقدار = A
21. احتمال وقوع = B
22. شناسایی = C
23. قوانین و مقررات = D
24. تأثیرات = E

بازرسی فنی و آلودگی هوا به ذرات آربست در زمان تعمیرات اساسی با عدد اولویت ریسک ۳۱۵ جزو ریسک‌های خیلی بالا محسوب می‌شود. ارزیابی پیامد این جنبه حاکی از آن است که این آثار پیامد آلودگی هوا به ذرات آربست را موجب می‌شوند بنابراین، اقدامات اصلاحی برای این جنبه جایگزین کردن عایق‌های غیرآربستی است که اثر کمتری در محیط‌زیست و هوای محیط‌زیست صنعتی داشته باشد همچنین، نشت مایعات سبک از مسیرهای زیرزمینی از پمپ تا لوله‌ها و احتمال آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی با عدد الویت ریسک متوسط ۱۷۵ است. ارزیابی پیامد حاصل از آثار این جنبه حاکی از آن است که با توجه به اینکه کنترل خاصی در مورد این جنبه شکل نمی‌گیرد و احتمال وقوع ناشی متوسط است، در طولانی‌مدت می‌تواند به آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی منجر شود. لذا، اقدامات اصلاحی در این زمینه این است که مسیر لوله‌ها در یک کانال قرار گیرد و در خاک مدفون نشود تا قابل بازدید و رویت باشد همچنین، یک چاهک اطراف چاه‌های نفت حفر شود تا اگر نفت در آب‌های زیرزمینی نفوذ و آب را آلوده کرد قابل دیدن باشد.

### تقدیر و تشکر

این تحقیق با همکاری شرکت پالایش نفت بندرعباس

### منابع

- بندرجا، م، (۱۳۸۹). «ارزیابی ریسک زیست‌محیطی به روش تجزیه و تحلیل حالت شکست و آثار آن (FMEA-EFMEA) در واحد هیدروکراکر شرکت پالایش نفت بندرعباس»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس.
- جوزی، س.ع؛ پادش، ا، (۱۳۸۵). «ارزیابی و مدیریت ریسک و نقش آن در بهبود سیستم مدیریت HSE»، اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت و برنامه‌ریزی انرژی، مؤسسه پژوهش در مدیریت و برنامه‌ریزی انرژی و گروه مهندسی صنایع پردیس دانشکده فنی دانشگاه تهران، ۳۰-۳۱ خرداد ۱۳۸۵.
- جمشیدی، خ، (۱۳۸۶). *آمار و کاربرد آن در مدیریت*، چاپ نوزدهم، قسمت اول فصل ۲ آمار توصیفی، صفحات ۱۱-۱۵، انتشارات دانشگاه پیام‌نور، تهران.
- حق‌شنو، آ، (۱۳۸۸). *شناسایی و ارزیابی جنبه‌های زیست‌محیطی*، کارگاه آموزشی آنالیز حالات شکست FMEA، شرکت بهره‌وران نگهداری و تعمیرات گیلان، [www.gbpm.ir](http://www.gbpm.ir).

- رضازاده نیاورانی، م، (۱۳۸۳). «کاربرد روش FMEA در شناسایی و ارزیابی جنبه‌های زیست‌محیطی و معرفی EFMEA»، ماهنامه روش، سال چهاردهم، شماره ۸۸، صفحات ۲۰-۲۲.
- رشادی، ن؛ نورایی، ف، (۱۳۸۴). «تعمیم روش FMEA با دیدگاه فرایندی به عنوان جایگزین HAZOP در فرایندهای پیچیده، سیویلیکا»، اولین همایش ملی مهندسی ایمنی و مدیریت HSE.
- رضایی، ک؛ سیدی، م؛ نوری، ب، (۱۳۸۴). «تجزیه و تحلیل حالات خطا و آثار ناشی از آن FMEA»، چاپ دوم، شرکت مشارکتی ار-و-توف ایران (RWTUV IRAN) با همکاری نشر آتنا، تهران.
- شرکت پالایش نفت بندرعباس، (۱۳۸۸). مستندات شرکت، اداره بهداشت ایمنی و محیط‌زیست.
- فرشاد، ع؛ خسروی، ی؛ علیزاده، س. ش، (۱۳۸۵). «نقش سیستم مدیریت HSE در بهبود عملکرد بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست سازمان‌ها و توسعه پایدار (مطالعه موردی)»، فصلنامه سلامت کار/ایران، دوره ۳، شماره ۳ و ۴.
- فرخی، پ، (۱۳۸۸). «مدیریت ریسک زیست‌محیطی شرکت فولاد کاویان اهواز به روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و آثار آن در محیط‌زیست»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات خوزستان.
- محمدفام، ا، (۱۳۸۲). مهندسی ایمنی، چاپ دوم، انتشارات فن‌آوران، تهران.
- نورمحمدی، ف و همکاران، (۱۳۸۶). «مدل کشف و بهبود علل خطاهای بحرانی در تولید لوله‌های گاز بر پایه تکنیک FMEA و اصول تفکر ناب»، سیویلیکا، پنجمین کنفرانس ملی مهندسی صنایع.
- نوری، ک، (۱۳۸۸). «سیستم مدیریت بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست (HSE-MS) و جایگاه مدیریت HSE در مدیریت کلان سازمان‌ها»، کارگاه آموزشی HSE-MS، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس.
- Dahlstrom, J.N. 2006. Design for the Environment in context of environmental Demands and business opportunities, Department of Energy and Environment Division of Environmental Systems Analysis Chalmers University of Technology, , Sweden, pp.16.
- Jensen, C.N., et al .2001. Environmental Effect Analysis (EEA) – Principles and structure, HRM/Ritline AB, Eriksbergstorget 11, SE-417 64 Gothenburg, pp.2
- Jennings, b. 2008. Radford Army Ammunition Plant's Environmental Failure Mode and Effects Analysis (EFMEA) process has been developed to provide for the systematic identification, Tracking and communication of environmental risks at the "task level". Us rmy/Radford army ammunition plant.
- Lindhahl, M.S. 2000. Environmental Effect Analysis (EEA) an Approach to Design for Environmental , licentiate thesis Department of comical engineering and Technology royal institute of Kalmar Stockholm, A new tool – environmental Failure mod and effects analysis E-FMEA (PP.90-92).
- Stettler J. 2003. W hat is Asbestos? Regulatory Assistance Officers Fact Sheet: C alifornia Environmental Protection Agency (EPA), pp. 1, Available from, www.dtsc.ca.gov/HazardousWaste/upload/ OAD\_ FS\_ Asbestos.pdf (Fact Sheet July 2003).
- Tingstrom, J.N., R.E., Karlsson. 2006. The relationship between environmental analyses and the dialogue process in product development, Department of Technology, KTH/Machine Design, University of Kalmar, 100 44 Stockholm, Sweden, Journal of Cleaner Production 14 , pp. 1414.