ارزیابی و مدیریت ریسک‌های ایمنی، بهداشت و محیطزیست در واحد شیرین‌سازی (GTU 2) پالایشگاه گاز در حال ساخت فازهای ۲۲و۲٤ پارس جنوبی در سال ۱۳۹٦ به روش LOPA و PHA

حسین کیانی کلاموبی[۱]، نسترن ملازاده[۲*]

۱. گروه مدیریت محیط زیست– ایمنی، بهداشت و محیط زیست، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

۲*. گروه مدیریت محیط زیست– ایمنی، بهداشت و محیط زیست، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

ایمیل نویسنده مسئول: nastaran.mollazadeh@yahoo.com

چکیده

احداث پالایشگاه، دارای ریسک‌های ایمنی، بهداشت و محیطزیستی فراوانی است. در این تحقیق به ارزیابی و مدیریت ریسک‌های موجود در پالایشگاه گاز فازهای ۲۲ و ۲۴ پارس جنوبی به روش LOPA و PHA پرداخته شده است. بدین‌ترتیب پس از شناسایی فعالیت‌ها و خطرات و با توجه به شدت اثر، احتمال وقوع و پیامدهای احتمالی مواجه بر انسان، محیطزیست و تجهیزات، کار ارزیابی و طبقه‌بندی ریسک‌ها انجام شد. در ارزیابی ریسک‌های ایمنی و بهداشت به روش PHA، کمترین ریسک مربوط به بالا رفتن از پلکان مخازن با مقدار عددی ۴= RPN و بالاترین ریسک متعلق به تست فشار خط لوله با ۲۱= RPN است. در ریسک محیطزیستی، کمترین ریسک مربوط به زنگ‌زدایی با مقدار ۳۲- و بالاترین ریسک متعلق به فعالیت اداری با مقدار ۳۶۰- می‌باشد. در ارزیابی ریسک‌های ایمنی و بهداشت به روش LOPA بیشترین میزان ریسک‌های ایمنی و بهداشت مربوط به تصادف خودرو، سقوط از ارتفاع، با مقدار ۸ = RR بوده و کمترین میزان ریسک را نیز برق گرفتگی با مقدار ۵ =RR داراست. در بخش محیطزیستی بیشترین میزان ریسک مربوط به خاموش شدن مشعل با ۷= RR بوده و پایین‌ترین میزان ریسک متعلق به مصرف کاغذ، مصرف سوخت‌های فسیلی با مقدار عددی ۴= RR است.

کلمات کلیدی:

" بوشهر"،" ارزیابی ریسک"،" لایه‌های حفاظتی"،"آنالیز مقدماتی خطر"

HSE Risks Assessment and Managment by LOPA and PHA Method in Construction Period of One of the Gas Sweeting (GTU 2) , Phases 22 & 24 Gas Refinery, South Pars Gas Field

Hossein Kiani Kalamoei[۱] , Nastaran Mollazadeh[2*]

[1.] Department of Environmental Management_ Safety, Health and Environment, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

۲*. Department of Environmental Management_ Safety, Health and Environment, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

[*]Email Address: nastaran.mollazadeh@yahoo.com

Abstract

The construction of the refinery has many safety، health and environmental risks. In this research، the LOPA and PHA methods have been used to assess and manage the existing risks in the gas refineries of phases 22 and 24 of South Pars. Thus، after identifying activities and risks and taking into account the severity of the work، the probability of occurrence and possible consequences of exposure to humans، environment and equipment، risk assessment and risk classification was carried out. In assessing the safety and health risks by PHA، the minimum risk associated with rising stairs with a numerical value of 4 RPN and the highest risk of the pipeline pressure test is 21 RPN. In environmental risk، the lowest risk is related to 32-degree de-icing and the highest risk of administrative activity with a 360-value. In assessing the safety and health risks of the LOPA method، the highest safety and health risks associated with an automobile accident are dropping from a height of 8 RR and a low risk of electricity with RR 5. In the environmental sector، the most risk is the flare shutdown with RR 7، and the lowest risk associated with paper consumption is the use of fossil fuels with a numerical value of 4 RR.

Keywords:

"Bushehr","Risk Assessment", "Protective Layers", "Preliminary Risk Analysis"

۱- مقدمه

ارزیابی ریسک یک روش منطقی برای تعیین اندازه کمی و کیفی خطرات و بررسی پیامدهای بالقوه ناشی از حوادث احتمالی بر روی افراد، مواد، تجهیزات و محیطزیست است. در حقیقت از این طریق، میزان کارآمدی روش‌های کنترلی موجود مشخص شده و داده‌های با ارزشی برای تصمیم‌گیری در زمینه کاهش ریسک، خطرات، بهسازی سیستم‌های کنترلی و برنامه‌ریزی برای واکنش به آن‌ها، فراهم می‌شود. ارزیابی ریسک محیطزیستی، یک ابزار مهم در مدیریت محیطزیست به منظور کاهش مخاطرات پروژه‌ها و دستیابی به توسعه پایدار به شمار می‌رود که امروزه در برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های خطر و ضریب به فعل در آمدن ریسک‌های احتمالی موجود در پروژه و همچنین حساسیت یا آسیب‌پذیری محیط پیرامونی به کار می‌رود (Barens, 2001).

قادری و همکاران در تحقیقی ارزیابی خطرات بلقوه و تحلیل ایمنی واحد کنترل کیفیت شرکت پخش فراوردهای نفتی بوشهر را به روش FMEA با هدف ارزیابی و مدیریت ریسک های ایمنی، بهداشت و محیط زیست مورد مطالعه قرار دادند که پس از شناسایی فعالیت ها ، فرایندهای مختلف و عوامل بلقوه آسیب رسان با توجه به سه فاکتور شدت، احتمال و پیامد طبقه بندی صورت گرفت که بر اساس خط مشی زیست محیطی سازمان ۶ ریسک غیر قابل قبول که بیش ترین پیامد آتش سوزی را داشت و بایستی برنامه کنترلی مناسب اتخاذ گردد ۳۶ مورد ریسک غیر قابل قبول قابل تحمل بوده که باید اقدامات کنترلی در جهت قابل قبول بودن آنها اتخاذ گردد و باقی ریسک ها قابل قبول بوده اند (قادری و همکاران، ۱۳۹۵).

شوجیائو و همکاران روش لایه های حفاظتی LOPA را برای ارزیابی ریسک های فرایندی واحد تقطیر مورد استفاده قرار دادند و نتایج بدست آمده حاکی از این بوده که با به کارگیری لایه های محافظ، ضریب ایمنی به حد قابل قبول سازمان بوده است (شوجیائو، ۲۰۱۶)

حبیبی و همکاران تحلیل پیامد حوادث عمده و تعیین سطح یکپارچگی ایمنی فرآیند در واحد آب‌ترش پالایشگاه گازی با استفاده از روش آنالیز لایه‌های حفاظتی LOPA را در سال ۱۳۹۰ به انجام رساندند. بر اساس این مطالعه نقش لایه‌های حفاظتی موجود در کنترل خطرهای احتمالی تعیین و پیشنهادهای لازم در قالب لایه‌های حفاظتی بیشتر تا کاهش میزان خطر به حد قابل‌قبول ارایه شد. همچنین تعیین سطح ایمنی یکپارچه مورد نیاز برخی تجهیزات نیز در موارد لازم انجام شد (حبیبی و همکاران، ۱۳۹۰).

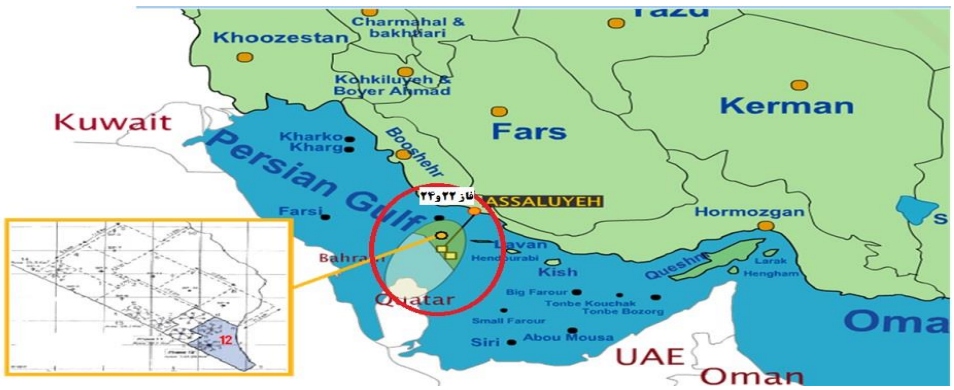
کاکایی و همکاران آنالیز مقدماتی خطر (PHA) در پالایشگاه کرمانشاه مورد بررسی قرار دادند که در مجموع ۴۴۷ خطر شناسایی شد. نتایج نشان داد که سطح ریسک غیر قابل قبول با ۶ درصد و سطح ریسک نامطلوب با ۴۹ درصد به ترتیب کمترین و بیشترین درصد ریسک را شامل شدند. بیشترین تعداد خطر مربوط به واحد پالایش با ۸۱ مورد و کمترین تعداد خطر مربوط به انبار تعمیرات برق با ۲ مورد بود و جهت کاهش سطح ریسک به کار گیری اقدامات کنترلی ضروری می باشد (کاکایی و همکاران، ۱۳۹۴).

کانت و همکاران تجزیه و تحلیل HAZOP بر اساس رویکرد خطر تجزیه و تحلیل عملکرد بر اساس ارزیابی حساسیت برای اطمینان از ایمنی تولید در کارخانه شیمیایی در مقیاس بزرگ را ارایه دادند در این روش ارزیابی حساسیت به تجزیه و تحلیل انحراف HAZOP برای اندازه گیری درجه اثر ناشی از هر علت در انحراف مربوطه معرفی شد که در آن درجه از خروج مدت زمان برای رسیدن به حداکثر انحراف بر اساس شبیه سازی فرایند پویا انجام شد که علل انحراف ها متعدد بوده که به انحراف مطابقت بر اساس شاخص حساسیت رسیده در نتیجه شناسایی اثر قابل توجهی باعث بر انحراف از علل متعدد می گردد که این شناسایی به کارکنان مدیریت ایمنی برای نظارت تشخیص عیب کمک می کند (کانک، ۲۰۱۶).

۲- مواد و روش ها

- **موقعیت مکانی پروژه فازهای ۲۲ و ۲٤ پارس جنوبی (منطقه مورد مطالعه)**

میدان گازی پارس جنوبی بزرگترین منبع مستقل گازی جهان بوده که در خلیج فارس در فاصله ۱۰۰ کیلومتری ساحل جنوبی ایران قرار دارد پروژه پالایشگاه فازهای ۲۲ و ۲۴ پارس جنوبی در فاصله ۳۰ کیلومتری بندر کنگان قرار دارد هدف از این واحد، جداسازی H_2S و قسمتی از CO_2، تنظیم نقطه شبنم، حذف گوگرد، استخراج متان برای صادرات، بازیابی اتان و جداسازی سایر ترکیبات گوگردی سنگین (پروپان، بوتان و مرکاپتان) از گاز ورودی به واحد می‌باشد. این واحد در زمینی به وسعت تقریباً ۵ هکتار واقع شده است (حامدنی و همکاران، ۱۳۸۶) شکل (۱) موقعیت پرژه در استان بوشهر را نشان می‌دهد.



شکل (۱) موقعیت پروژه در استان بوشهر – کنگان.

مطالعات ارزیابی ریسک مشتمل بر سه محور اصلی شناخت مخاطرات و پیامدهای حاصل از آن‌ها (ارزیابی اولیه)، تخمین و برآورد ریسک‌های شناسایی شده (ارزیابی تفصیلی) و ارایه روش‌های کنترل و کاهش ریسک (مدیریت ریسک) می‌باشد. (جهانگیری، ۱۳۹۴)

۳- مراحل انجام پروژه

- **گام اول: شناسایی ریسک**

۱. استفاده از نظر کارشناسان ۲. شناسایی و تعیین ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه ۳. بررسی حوادث و نتایج آنالیز آلاینده‌ها ۴. بررسی‌های میدانی، کتابخانه‌ای و شناخت فعالیت‌ها و فرایندهای احداث پروژه

- **گام دوم: ارزیابی ریسک**

۱. آنالیز مقدماتی ریسک به روش PHA که شامل: الف. تعیین احتمال وقوع ب. تعیین شدت خطر پ. تعیین تکرارپذیری ت. تعیین شدت ث. تعیین گستردگی

۲ ارزیابی و تجزیه تحلیل ریسک به روش LOPA که شامل: الف. به دست آوردن فعالیت‌های بحرانی و بارز ب. تهیه سناریو پ. تعیین لایه‌های حفاظتی

گام سوم: مدیریت ریسک که شامل پیشنهادها و ارایه راهکارها برای کنترل و کاهش ریسک‌های اصلی پروژه

اعداد RPN به‌دست آمده بر اساس روش اجرایی شناسایی خطرها و ارزیابی ریسک‌های ایمنی و بهداشت و همچنین روش شناسایی و ارزیابی جنبه‌های محیطزیستی جاری در مدیریت مهندسی و ساختمان (مناطق نفت خیز جنوب) استخراج شده است. شایان ذکر است که روش‌های اجرایی فوق‌الذکر اقتباس شده از روش FMEA می‌باشد (لاری بقال، ۱۳۹۱).

عدد اولویت رسیک در در رویداد های ایمنی و بهداشت و محیط زیست به روش زیر محاسبه می شود

احتمال × شدت = عدد اولویت ریسک ایمنی و بهداشت

تکرار پذیری × گستردگی × شدت = عدد اولویت ریسک زیست محیطی

- **آنالیز مقدماتی خطر (PHA)**

آنالیز مقدماتی خطر[1] یک روش تجزیه و تحلیل ایمنی سیستم است که برای ارزیابی و مستندسازی ریسک خطرات سیستم‌های جدید و یا تغییر یافته به کار می‌رود و عبارت است از تجزیه و تحلیل و ارزیابی گروه مخاطرات عمومی در سیستم و ارایه توصیه و پیشنهادهایی در جهت کنترل آن‌ها. تجزیه و تحلیل مقدماتی خطر معمولاً اولین تلاش در فرآیند آنالیز ایمنی سیستم به منظور شناسایی و طبقه‌بندی مخاطرات بالقوه مرتبط با فعالیت یک سیستم، فرآیند یا روش کار است هرچند ممکن است در تعدادی از کتاب‌ها تهیه لیست مقدماتی خطر[2] قدم بر PHA باشد. (نوذری و همکاران، ۱۳۹۱) لیست مقدماتی خطر یک روش مقدماتی شناسایی خطرات موجود یا بالقوه مرتبط با طراحی سیستم است (جدول ۱). شناسایی خطرات با استفاده از آن می‌تواند از طریق روش‌های مختلف مانند چک لیست‌ها، ماتریس خطر، توصیف و تشریح تجهیزات، گزارش حوادث و رویدادها، بررسی سوابق مشاغل مشابه و مرور سایر گزارش‌های قبلی صورت گیرد(کاکایی و همکاران، ۱۳۹۴).

[1] Preliminary Hazard Analysis(PHA)
[2] List(PHL)Preliminary Hazard

جدول (۱): آنالیز مقدماتی خطر PHA

آنالیز مقدماتی خطر برنامه: مهندس: تاریخ: صفحه:						
ردیف	وضعیت مخاطره‌آمیز	علت	اثرات	سطح ریسک	ارزیابی	پیشنهادات
شماره	گروه مخاطرات معمول	دلیل مشکل چیست؟	اثرات حادثه چیست؟	سطح مخاطره	احتمال وقوع، تماس و شدت	پیشنهادهای لازم برای حذف یا کنترل خطر (پیشنهادات بر اساس اهمیت رده‌بندی شوند.)

- **فرآیند اجرای PHA**

شاید اجرای PHA یکی از مهم‌ترین تجزیه و تحلیل‌ها در جریان ارزیابی ایمنی سیستم‌ها باشد. زیرا، PHA معمولاً اولین تلاش جدی برای تشخیص و تعیین خطرات یک سیستم جدید و در بعضی موارد سیستم‌های تغییر یافته است که می‌تواند پایه‌ای برای کنترل مخاطرات باشد. این امر مستلزم انجام مطالعات کامل‌تر با استفاده از تکنیک‌های دقیق‌تر مانند تکنیک تجزیه و تحلیل زیرسیستم و تجزیه و تحلیل سیستم می‌باشد. (علیزاده، ۱۳۹۴)

اجرای PHA را می‌توان با استفاده از ماتریس مقدماتی خطر که گروه خطرات معمول را ارایه می‌کند تسهیل کرد. نمونه‌هایی از خطرات معمول در فعالیت های مرحله ساخت پالایشگاههای گازی بر اساس تجارب گذشته در جدول (۲) ارایه شده است.

جدول (۲): معرفی خطرات معمول

گروه خطرات معمول
تصادف / آسیب مکانیکی
آلودگی
خوردگی
برق‌گرفتگی
آتش‌سوزی / انفجار
فقدان هوای تنفسی
پاتولوژیکی / روانی
دمای بیش خیلی زیاد
تشعشع

- **تعیین عدد اولویت جنبه‌های زیست‌محیطی**

در روش شناسایی و ارزیابی جنبه‌های زیست محیطی امتیاز نهایی عبارت است از حاصل ضرب میزان و شدت اثر جنبه، گستردگی و دامنه، تعداد تکرارپذیری جنبه در جدول شماره ۳ طبقه‌بندی جنبه زیست‌محیطی نشان داده شده است.

تکرارپذیری جنبه. گستردگی آلاینده‌ها. شدت تأثیرات = امتیاز نهایی

جدول (۳): طبقه‌بندی جنبه زیست‌محیطی

	امتیاز				اقدامات
	D	C	B	A	
جنبه بارز	۱۰۰۰~۲۰۰	۱۰۰۰~۱۵۰	۱۰۰۰~۷۵	۱۰۰~۵۰	با تعریف اهداف، تدوین دستورالعمل‌ها و یا انجام آموزش‌های مرتبط سعی در کاهش تکرارپذیری، گستردگی و در صورت امکان شدت جنبه می‌شود و انجام مستمر اقدامات کنترلی به‌وسیله چک‌لیست پایش الزامات زیست‌محیطی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. همچنین ۶ماه پس از انجام اقدامات، ارزیابی مجدد به‌منظور مشخص نمودن اثربخشی اقدامات و اهداف صورت می‌گیرد.
جنبه غیر بارز	۹۹~۱	۴۹~۱	۷۴~۵۰	۴۹~۱	اقدامات کنترلی که نیاز به هزینه کمتری دارد تعریف و در دستور کار قرار می‌گیرد و انجام اقدامات کنترلی به‌وسیله چک‌لیست پایش الزامات زیست‌محیطی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.
جنبه مثبت	۰-۱۰۰				-

تبصره ۱: درصورتی‌که امتیاز پارامتر شدت ۱۰- باشد، بدون در نظر گرفتن امتیاز، جنبه بارز تلقی می‌گردد.
تبصره ۲: درصورتی‌که امتیاز پارامتر گستردگی ۱۰- باشد، بدون در نظر گرفتن امتیاز، جنبه بارز تلقی می‌گردد.
تبصره ۳: درصورتی‌که امتیاز پارامتر تکرارپذیری ۱۰- باشد، بدون در نظر گرفتن امتیاز، جنبه بارز تلقی می‌گردد.
تبصره ۴: درصورتی‌که امتیاز پارامتر گستردگی و یا تکرارپذیری ۱۰ باشد، ولی پارامتر شدت ۱+ باشد، جنبه بارز تلقی نخواهد شد.
تبصره ۵: امتیازات طبقه‌بندی جنبه‌ها، می‌تواند با بررسی و تصویب نماینده مدیریت تغییر نماید.

- **آنالیز لایه‌های محافظ چیست؟**

آنالیز لایه‌های محافظ[1] ، یک روش نیمه کمی آنالیز ریسک است که در ادامه شناسایی کیفی مخاطرات، برای مثال HAZOP و PHA انجام می‌شود.(Qureshi. 2013) به این علت آنالیز لایه‌های محافظ را یک روش نیمه عددی می‌گویند. چرا که در این روش از اعداد استفاده و یک پیش‌بینی عددی از مخاطرات تولید می‌شود.

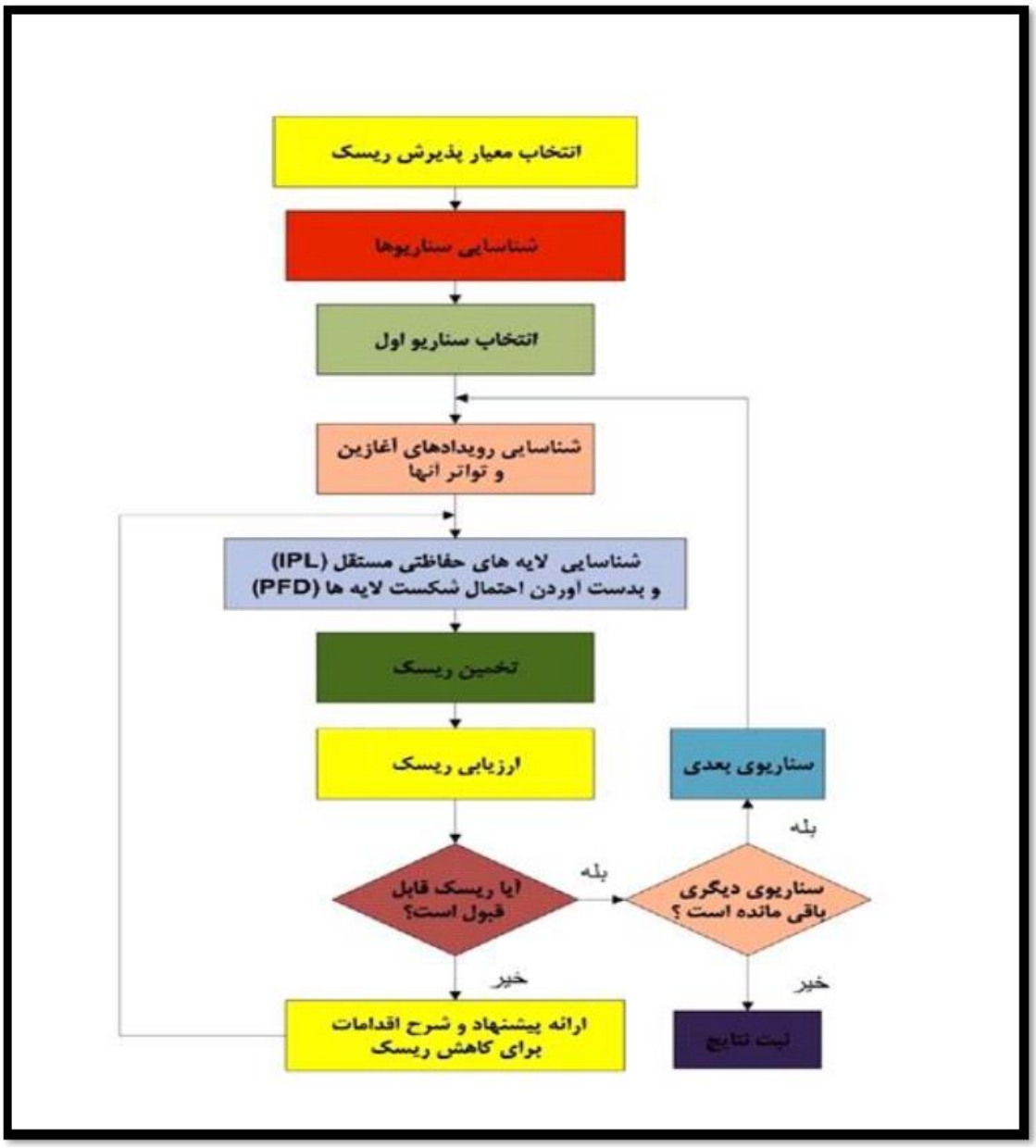
جدول آنالیز لایه‌های محافظ (LOPA) در جدول (۴) نشان داده شده است.

جدول (۴): استاندارد مستندسازی LOPA

سناریوی خطرناک	نتیجه		رویداد آغازین		شرایط یا رویداد تشدیدکننده		تعدیل‌کننده شرطی		رویداد کاسته نشده (کامل)			لایه‌های حفاظتی مستقل		رویداد کاهش‌یافته			پیشنهادات
	شرح	شدت	شرح	فرکانس	شرح	فرکانس	شرح	فرکانس	فراوانی	L	ریسک	شرح	فرکانس	فراوانی	L	ریسک	

آنالیز لایه‌های محافظ در هر لحظه بر روی یک سناریو تمرکز می‌کند و احتمال وقوع رویدادهای اولیه پیش‌بینی می‌شود. نمودار (۱) مراحل انجام تحلیل لایه‌های محافظ را نشان می‌دهد (اصفهانی، ۱۳۸۸).

[1] Layers of Protection Analysis



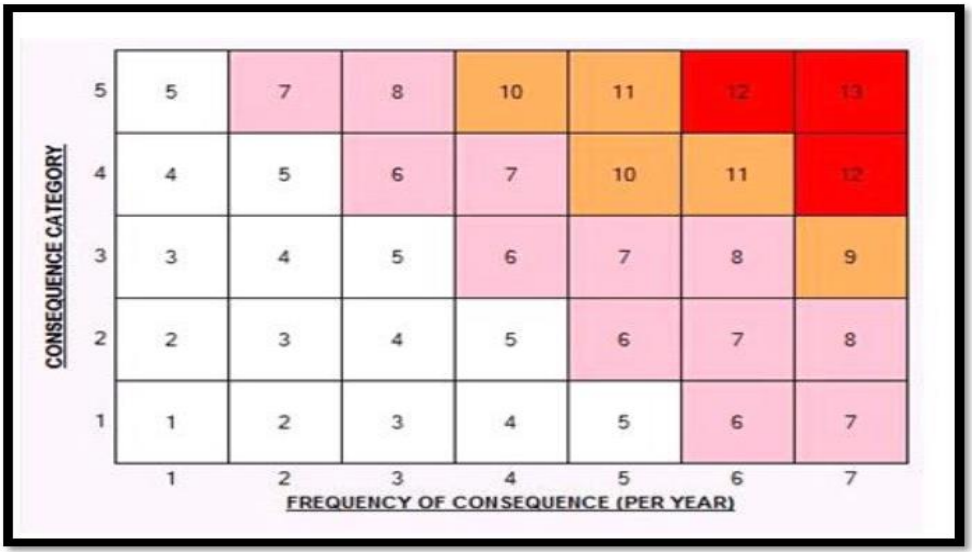
نمودار (۱): مراحل انجام مطالعات LOPA (هیات و نایجل، ۲۰۰۳)

- **انتخاب معیار پذیرش ریسک**

این مرحله به صورت پیش‌فرض در تمامی روش‌های ارزیابی ریسک وجود دارد. قبل از انجام هر برنامه برای کاهش ریسک، بایستی معیار و خطمشی قابل قبول بودن ریسک، مشخص شود تا بتوان ریسک‌ها را غربال نمود.

به‌طور معمول در حوزه HSE، منطقه پذیرش ریسک از نظر انسانی، محیطزیست، مالی و اعتبار، با استفاده از ماتریس ریسک مشخص می‌شود این ماتریس، به پیشنهاد مرکز ایمنی فرآیندهای شیمیایی (CCPS)[1] تهیه شده و برای انجام مطالعات LOPA مناسب می‌باشد (شکل ۲).

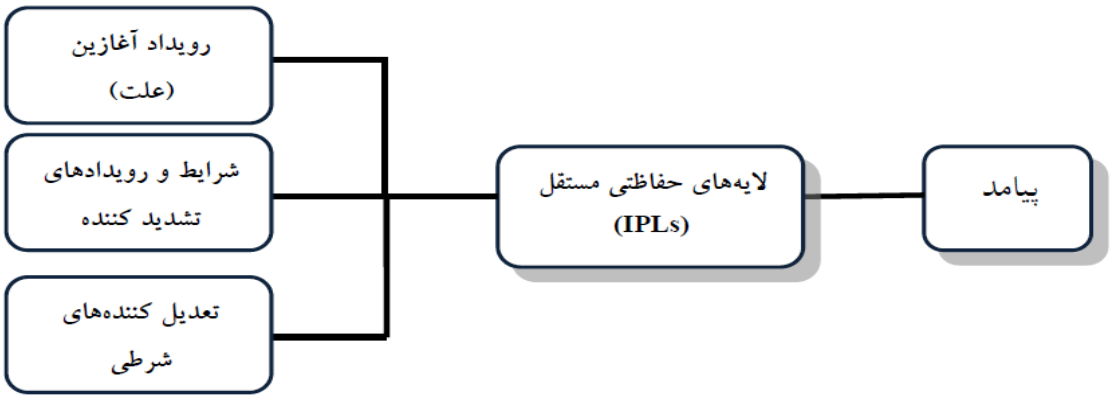
[1] Center for Chemical Process Safety



شکل (۲): ماتریس ریسک مورد استفاده در ارزیابی ریسک LOPA (CCPS، ۲۰۰۱)

- **شناسایی سناریو**

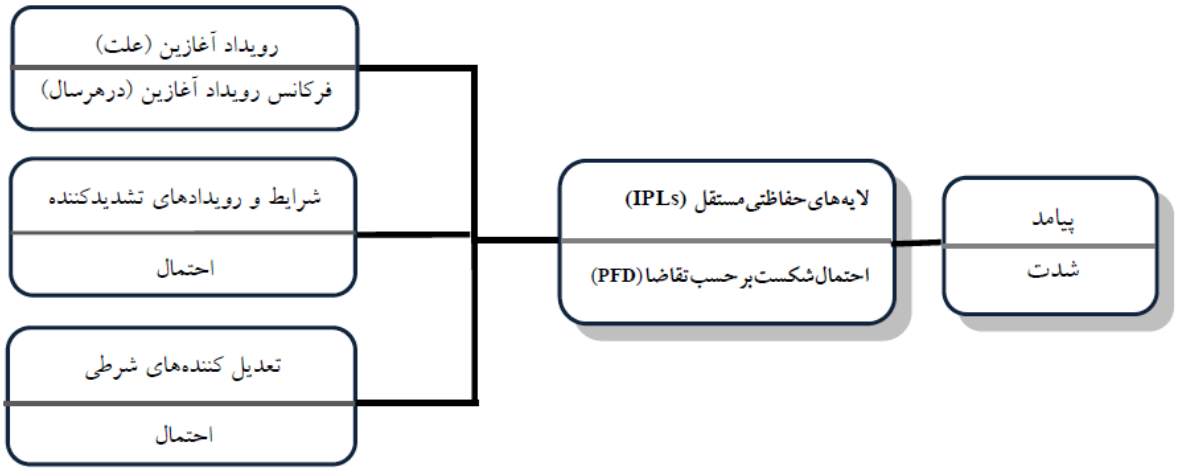
سناریوهای مخاطره آمیز در سیستم شناسایی شدند. برای این منظور، نتایج مطالعات گذشته در زمینه شناسایی خطرات، ارزیابی ریسک و همچنین سوابق و تجربیات موجود در سیستم، مدنظر قرار گرفتند. شناسایی سناریوها به‌طور کامل و بدون نقص، کاملاً مرتبط با شناخت مناسب از سیستم تحت مطالعه می‌باشد. نمودار (۲) مؤلفه‌های یک سناریو را نشان می‌دهد.



نمودار (۲): مؤلفه‌های یک سناریوی LOPA (هیات و نایجل، ۲۰۰۳)

رویداد آغازین در واقع علت اصلی سناریو است که منجر به پیامد خاص می‌شود. در برخی موارد، در صورتی که رویداد آغازین به‌تنهایی نتواند منجر به پیامد خاص شود، ممکن است نیاز به این باشد که شرایط و رویدادهای دیگری صورت گیرد. اگر دسته‌بندی شدت پیامد شامل تلفات یا مرگ‌ومیر، خسارت‌های کاری و تجاری یا محیط‌زیستی باشد، تعدیل‌کننده‌های شرطی را می‌توان برای تصحیح پیامد سناریو استفاده نمود.

نمودار (۳) نشان می‌دهد، که چه مقادیر عددی برای مولفه‌های سناریو مورد نیاز است. برای ارزیابی کافی بودن اقدام‌های کاهش ریسک، تعیین معیار پذیرش ریسک ضروری است. مشخص کردن این معیارها، بر اساس مقادیر مبنای حاصل از داده‌های صنعتی، تاریخچه سازمان و یا داده‌های آماری صورت پذیرفت (Dowell, 1997).



نمودار (۳): مؤلفه‌های یک سناریوی LOPA و ورودی‌های عددی مورد نیاز (هیات و نایجل، ۲۰۰۳)

برای سناریوهایی که در آن فرکانس رویداد آغازین کمتر از دو برابر فرکانس تست برای یک IPL بود، یعنی (حالت تقاضای کم)، فرکانس (احتمال)[1] برای پیامد نامطلوب از طریق معادله زیر محاسبه شد (Wiley, 2011):

$$f_i^c = f_i^I \times PFD_{i1} \times PFD_{i2} \times \dots\dots \times PFD_{ij} \quad (۱)$$

f_i^c = فرکانس پیامد C برای رویداد آغازین I (در هرسال) - f_i^I = فرکانس رویداد آغازین برای رویداد آغازین I (در هرسال)

PFD_{ij} = احتمال شکست برحسب تقاضای i امین IPL، که رویداد آغازین I را در برابر پیامد C محافظت می‌کند.

برای سناریوهای (حالت تقاضای زیاد)، یعنی فرکانس چالش برای یک IPL بیشتر از دو برابر فرکانس تست برای IPL بود، برای مثال IPL یک‌بار در سال تست شده و بیش از دو تقاضا در هرسال وجود داشت، معادله زیر برای محاسبه فرکانس پیامد نامطلوب به کار گرفته شد (Wiley، 2011):

(۲)

$$f_i^c = ۲ \times (IPL_{i1} test\ frequency, per\ year) \times PFD_{i1} \times PFD_{i2} \times \dots\dots \times PFD_{ij}$$

ازاین‌رو در معادله اول، جملات برای فرکانس رویداد آغازین f_i^I و اولین IPL PFD، PFD_{Ii} به‌وسیله جمله زیر جایگزین شد.

(۳)

$$۲ \times (IPL_{i1} test\ frequency, per\ year) \times PFD_{i1} \times PFD_{i2} \times \dots\dots \times PFD_{ij}$$

این روش، نتایج فرکانس واقع‌گرایانه‌تری را فراهم ساخت در مواردی که شرایط و رویدادهای تشدیدکننده و یا تعدیل‌کننده‌های شرطی وجود داشت، معادلات فوق به‌صورت زیر تغییر یافت:

- برای حالت تقاضای کم:

(۴)

$$f_i^c = f_i^I \times PFD_{i1} \times PFD_{i2} \times \dots\dots \times PFD_{ij} \times P_{condition\ modifer} \times P_{Enabling\ event}$$

$P_{Enabling\ event}$ = احتمال رخداد رویداد تشدیدکننده $P_{condition\ modifer}$ = احتمال خروجی فاکتورهای تعدیل‌کننده

- برای حالت تقاضای زیاد :

(۵)

$$f_i^c = ۲ \times (IPL_{i1} test\ frequency, per\ year) \times PFD_{i1} \times PFD_{i2} \times \dots\dots \times PFD_{ij} \times P_{condition\ modifer} \times P_{Enabling\ event}$$

هر IPL، فرکانس پیامدها را کاهش می‌دهد. فرکانس هر رویداد آغازین شناسایی شده برای سناریو، یعنی علت سناریو، معمولاً با

[1] Likelihood

توجه به داده‌های نرخ شکست یا توجه به یک جدول جستجو تخمین زده شد.
شناسایی رویدادهای آغازین و فرکانس آن‌ها، در این مرحله برای سناریوی انتخاب شده، رویداد آغازین و شروع کننده تعیین شد. در قدم بعدی معلوم شد که رویداد آغازین، چه نرخ شکستی دارد. یعنی در یک فاصله زمانی معین (مثلاً ۱ سال) چند بار اتفاق می‌افتد. این نرخ شکست، به‌نوعی فرکانس وقوع رویداد آغازین بود که با بهره‌گیری از سوابق و تجربه موجود در سازمان مشخص شد.

- **شناسایی رویدادهای آغازین و فرکانس آن‌ها**

در این مرحله برای سناریوی انتخاب شده، رویداد آغازین و شروع کننده تعیین گردید. در قدم بعدی معلوم شد که رویداد آغازین، چه نرخ شکستی دارد. یعنی در یک فاصله زمانی معین (مثلاً ۱سال) چند بار اتفاق می‌افتد. این نرخ شکست، به‌نوعی فرکانس وقوع رویداد آغازین بود که با بهره‌گیری از سوابق و تجربه موجود در سازمان مشخص گردید.

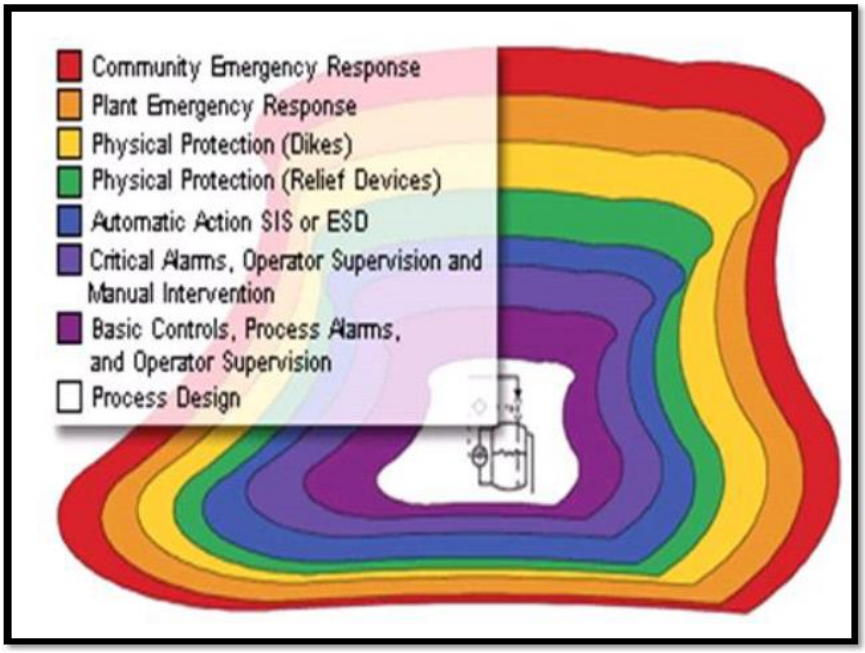
به دست آوردن تخمین‌های معتبری از فرکانس‌های رویداد آغازین، حائز اهمیت می‌باشد. معمولاً این تخمین‌ها از یک یا چند منبع مختلف به دست می‌آید. مهم‌تر آنکه مرتبه بزرگی فرکانس، هنگام مقایسه منابع مختلف، بایستی یکسان یا مشابه باشد. داده‌های نرخ نقص مربوط به این مطالعه، از منابع داده‌های صنعتی (برای نقایص مؤلفه‌های سناریو یا داده‌های نرخ خطاهای انسانی)، تجربه و سوابق سازمان و داده‌های مربوط به فروش و غیره به دست آمد. فرکانس‌های رویدادهای آغازین به‌طور نمونه، در در جدول (۵) ارائه‌شده است (Wiley, 2011).

جدول (۵): نمونه مقادیر فرکانس در نظر گرفته شده برای رویداد آغازین

رویداد آغازین	محدوده فرکانس (در هرسال)
رسوب‌گذاری در مخزن فشار	$۱۰^{-۵}$ تا $۱۰^{-۷}$
رسوب‌گذاری در لوله‌ها (m۱۰۰)	$۱۰^{-۵}$ تا $۱۰^{-۶}$
نشتی از لوله‌ها	$۱۰^{-۳}$ تا $۱۰^{-۴}$
نقص مخزن هوا	$۱۰^{-۳}$ تا $۱۰^{-۵}$
ترکیدن پوشش / لایی	$۱۰^{-۲}$ تا $۱۰^{-۶}$
سرعت بالای موتور دیزلی توربین با محفظه روکش‌دار	$۱۰^{-۳}$ تا $۱۰^{-۴}$
مداخله‌های خارجی (ضربه خارجی به‌وسیله کج‌بیل، وسیله نقلیه و غیره)	$۱۰^{-۲}$ تا $۱۰^{-۴}$
سقوط بار جرثقیل	$۱۰^{-۳}$ تا $۱۰^{-۴}$ در هر بالابری
صاعقه	$۱۰^{-۳}$ تا $۱۰^{-۴}$
باز بودن شیر ایمنی به‌صورت نادرست	$۱۰^{-۲}$ تا $۱۰^{-۴}$
نقص آب خنک‌کننده	۱ تا $۱۰^{-۲}$
نقص درزگیر پمپ	$۱۰^{-۱}$ تا $۱۰^{-۲}$
نقص شلنگ بارگیری و تخلیه	۱ تا $۱۰^{-۲}$
نقص حلقه ابزار دقیق BPCS	۱ تا $۱۰^{-۲}$
نقص تعدیل‌کننده (رگولاتور)	۱ تا $۱۰^{-۱}$
حریق خارجی جزیی (علل به‌هم‌پیوسته)	$۱۰^{-۱}$ تا $۱۰^{-۳}$
حریق خارجی گسترده (علل به‌هم‌پیوسته)	$۱۰^{-۲}$ تا $۱۰^{-۳}$
نقص دستورالعمل‌های قفل‌گذاری و برچسب‌گذاری	$۱۰^{-۳}$ تا $۱۰^{-۴}$
خطای اپراتور (با اجرا کردن روش‌های اجرایی روتین، تعهد کردن به الزامات، بدون استرس و بدون خستگی)	$۱۰^{-۱}$ تا $۱۰^{-۳}$

- **شناسایی لایه‌های حفاظتی موجود و نرخ شکست آن‌ها**

در این مرحله، لایه‌های حفاظتی با توجه به ویژگی‌های مورد نیاز شناسایی شدند. بعد از شناسایی لایه‌ها، احتمال شکست آن‌ها برحسب تقاضا تعیین شد (شکل ۳).



شکل (۳): نمایش لایه‌های حفاظتی در تکنیک LOPA (CCPS،2011)

در این مرحله تخمین ریسک هر سناریو با توجه به اطلاعات کسب شده، از فرمول کلی شدت پیامد ضربدر احتمال وقوع آن، تخمین زده شد. دقت این بخش، بستگی زیادی به‌دقت داده‌های حاصل شده در مراحل قبل داشت.

٤- یافته‌ها

با توجه به اطلاعات به دست آمده ۴۰ فعالیت که منجر به ایجاد ریسک‌های ایمنی و بهداشت حرفه‌ای و همین‌طور تعداد ۲۰ فعالیت که منجر به بروز جنبه‌های محیط‌زیستی می‌شود، شناسایی و در نظر گرفته شده است. این فعالیت‌ها در غربالگری‌های انجام شده به همراه گروه کارشناسان اجرایی دخیل در مرحله ساخت پروژه به‌دست آمده است.

- **نتایج آنالیز ریسک‌های ایمنی، بهداشت حرفه‌ای و محیط‌زیستی به روش PHA**

نمونه‌های از آنالیز مقدماتی خطر (PHA) در زیر نشان داده شده است (جدول ۶).

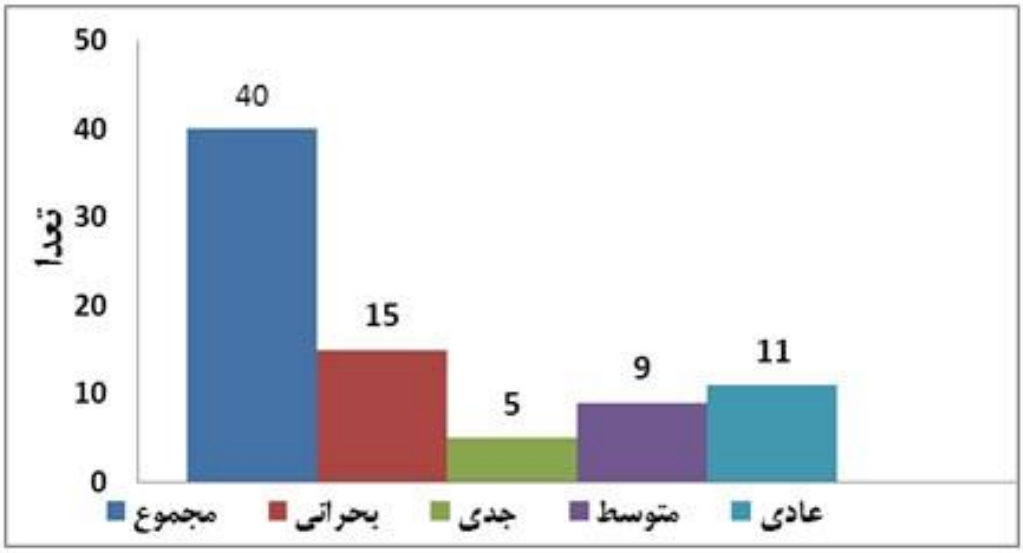
جدول (۶): آنالیز مقدماتی خطر

ریسک‌های محیط‌زیستی								
ردیف	وضعیت مخاطره‌آمیز	جنبه محیط‌زیستی	شرح پیامد/ اثر	شدت	گستردگی	تکرار پذیری	سطح ریسک	وضعیت
۱	فعالیت اداری	مصرف کاغذ	تخریب جنگل	-۶	۱۰	۶	-۳۶۰	بارز
۲	فعالیت اداری	مصرف برق	مصرف منابع انرژی	-۶	۱۰	۶	-۳۶۰	بارز
۳	خرابی وسایل و تجهیزات برودتی حاوی گاز CFC	گاز CFC	تخریب لایه ازن	-۱۰	۱۰	۲	-۲۰۰	بارز
۴	خاموش شدن فلر در اثر وزش باد	انتشار گاز	آلودگی هوا	-۸	۱۰	۴	-۳۲۰	بارز
۵	نشت نفت و گاز از لوله‌های انتقال	انتشار گاز و نفت در محیط	آلودگی هوا	-۸	۱۰	۲	-۱۶۰	بارز

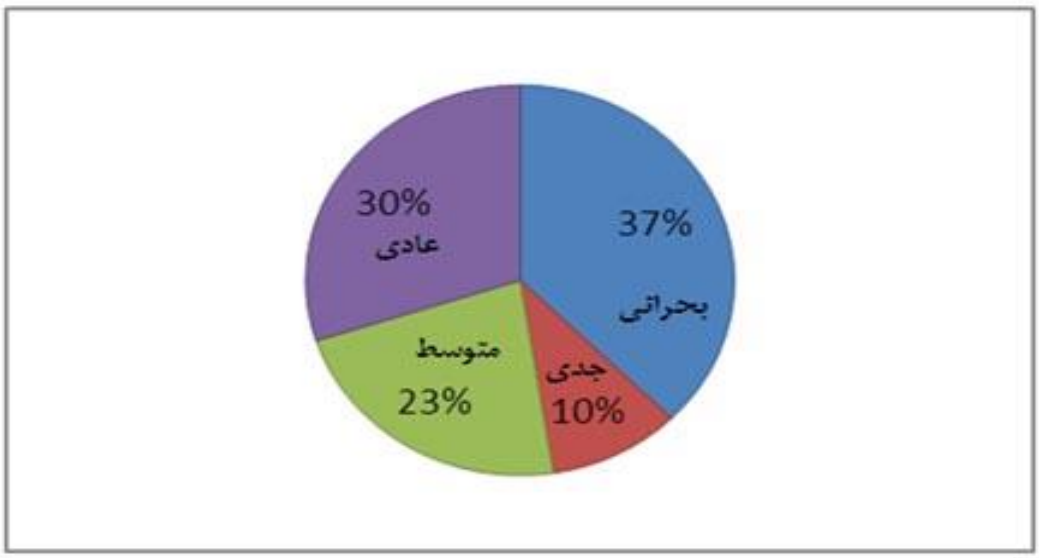
ریسک های ایمنی و بهداشت						
ردیف	وضعیت مخاطره‌آمیز	خطر	رویداد/ حادثه	آسیب	RPN	کنترل‌های عملیاتی
۱	تست فشار خطوط لوله	سیال تحت‌فشار	ترکیدن لوله و برخورد با افراد	جراحات و شکستگی شدید/مرگ	۲۱	حفظ فاصله ایمن/ وجود بازرس حین انجام تست فشار/ نصب تابلوهای هشداردهنده (خط لوله تحت‌فشار می‌باشد).
۲	انتقال کارکنان به محل پروژه	بی‌احتیاطی وسیله نقلیه دیگر	عدم توانایی در کنترل وسیله نقلیه	جراحت / مرگ	۱۴	انتخاب رانندگان ماهر/ آموزش دوره رانندگی تدافعی
۳	انتقال کارکنان به محل پروژه	سرعت غیرمجاز	عدم توانایی در کنترل وسیله نقلیه	جراحت / مرگ	۱۴	انتخاب رانندگان ماهر/ آموزش دوره رانندگی تدافعی
۴	گاز/ برق	عدم نصب تابلوهای هشداردهنده استاندارد	برق‌گرفتگی / آتش‌سوزی / انفجار	برق‌گرفتگی/ خفگی/ سوختگی/ مرگ	۱۴	نصب تابلوهای هشداردهنده در مکان‌های لازم

• **تعیین سطح ریسک در بخش ایمنی، بهداشت حرفه‌ای به روش PHA**

در آنالیز جداول مقدماتی خطر نتایج حاصل بدین صورت بوده که تعداد ۴۰ ریسک شناسایی و از این تعداد ۱۵ مورد در سطح بحرانی با ۳۷ درصد فراوانی، ۵ مورد جدی با ۱۰ درصد فراوانی، ۹ مورد متوسط با ۲۳ درصد و ۱۱ مورد در سطح عادی با ۳۰ درصد فراوانی بوده است. (نمودار ۴ و ۵).



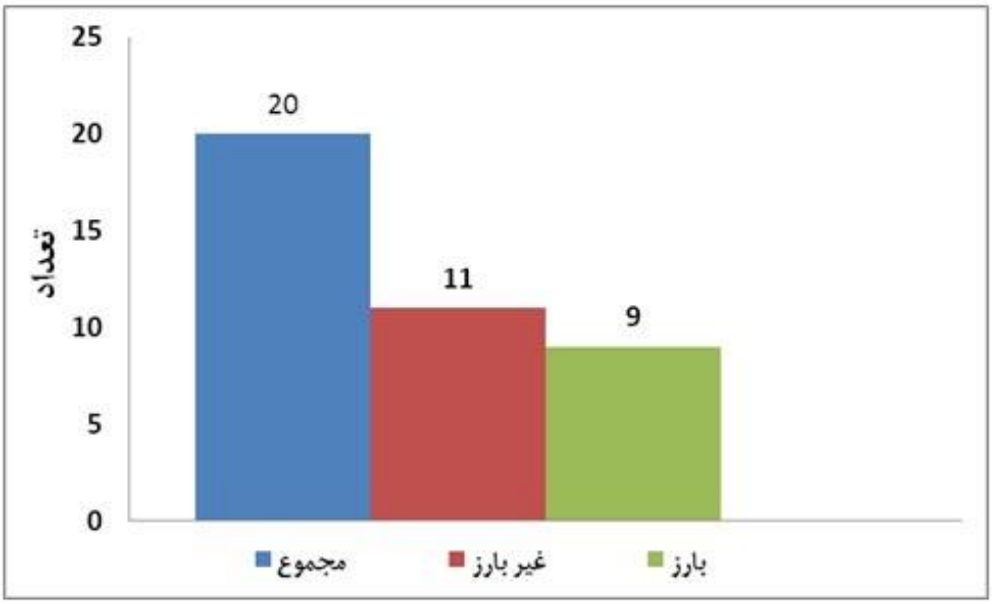
نمودار (۴): ریسک‌های ایمنی و بهداشت حرفه‌ای به روش PHA



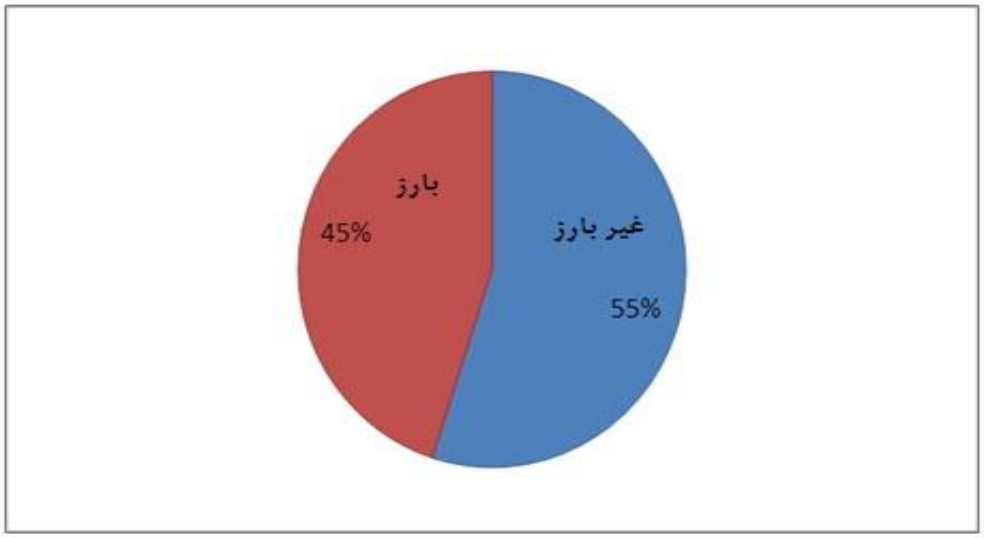
نمودار (۵): درصد فراوانی ریسک‌های ایمنی و بهداشت حرفه‌ای به روش PHA

- **تعیین سطح ریسک در بخش محیط‌زیستی به روش PHA**

در آنالیز جداول مقدماتی خطر نتایج حاصل بدین صورت بوده که تعداد ۲۰ ریسک شناسایی و از این تعداد ۱۱ مورد در سطح غیر بارز با ۵۵ درصد فراوانی، ۹ مورد در سطح بارز با ۴۵ درصد فراوانی بوده است (نمودار ۶ و ۷).



نمودار (۶): ریسک‌های محیطزیستی به روش PHA



نمودار (۷): درصد فراوانی ریسک‌های محیطزیستی به روش PHA

- **جدول‌های آنالیز لایه‌های حفاظتی (LOPA) (ریسک‌های ایمنی، بهداشت حرفه‌ای)**

نمونه‌های از ریسک‌های ایمنی و بهداشت حرفه‌ای در جدول‌های (۷ و ۸) به شرح زیر نشان داده شده است:

جدول (۷): آنالیز لایه‌های حفاظتی (*LOPA*) ریسک‌های ایمنی، بهداشت حرفه‌ای

ریسک‌های ایمنی، بهداشت حرفه‌ای														
Critical Hazardous Seenario	Consequence		Initiating Event		Enaibling Event Conditionor		Conditional Modifiers		Unmitigated Event			Independent Protection Layers		mitigated Event			Actions Required
	Description	S	Description	Freq	Description	Prob	Description	Prob	UMEF	L	RR	Description	PFD	UMEF	L	RR	
۱- در هنگام تست فشار درون لوله‌ها به علت عدم حفظ فاصله ایمن تا خط فشار و همچنین عدم استفاده از تابلوها و علائم هشداردهنده ایمنی، در زمان انجام تست، یکی از شیلنگ‌های تحت‌فشار پاره شده و کارگرانی که نزدیک آن محل قرار دارند دچار جراحت می‌گردند.	انفجار خط لوله	۵	عدم حضور بازرسی و عدم چک کردن لوله‌ها و شیلنگ‌های تحت‌فشار	۱ – E ۲ *	عدم حفظ فاصله مناسب و ایمن	۱ – E ۱ *	نیروی انسانی و خطوط لوله تحت‌فشار	۱ – E ۱ *	۲ – E ۲ *	۵	۱۱	۱.حضور بازرسی و انجام بازرسی قبل از کار	۲ – E ۱ *	۶ – E ۱ *	۲	۷	۱.استفاده از وسایل حفاظت فردی ۲.رعایت دستورالعمل تشت فشار خطوط لوله‌های تحت‌فشار
												۲.حفظ فاصله ایمن در حین کار	۲ – E ۱ *				
												۳. به‌کارگیری تابلوها و علائم هشداردهنده ایمنی	۲ – E ۱ *				

جدول (۸): آنالیز لایه‌های حفاظتی (*LOPA*) ریسک‌های محیط‌زیستی

ریسک‌های محیط‌زیستی													
Critical Hazardous Seenario	Consequence		Initiating Event		Enaibling Event Conditionor		Conditional Modifiers		Unmitigated Event			Independent Protection Layers		mitigated Event			Actions Required
	Description	S	Description	Freq	Description	Prob	Description	Prob	UMEF	L	RR	Description	PFD	UMEF	L	RR	
۱- به علت ازدیاد مصرف کاغذ در سطح کلان، نیاز به تخریب جنگل‌ها و مصرف منابع طبیعی پیش می‌آید.	تخریب جنگل‌ها سبب فرسایش خاک، از بین رفتن زیستگاه‌ها و خوراک حیات‌وحش و انسان و درنتیجه تخریب گسترده محیط‌زیست در بخش‌های مختلف می‌شود.	۴	مصرف بیش‌ازحد و غیرضروری کاغذ	۱ * E-۱	عدم وجود فرهنگ صرفه‌جویی در مصرف کاغذ و صیانت از منابع طبیعی	۲ * E – ۱	محیط‌زیست در بخش‌های مختلف مانند: پوشش گیاهی/ خاک / حیات‌وحش	۱ * E – ۱	۳ * E – ۲	۵	۱۰	۱. استفاده از ارتباطات و نامه‌نگاری الکترونیکی و راه‌اندازی سیستم‌های ارتباطات جمعی	۱ * E – ۲	۱ * E – ۶	۱	۴	۱- تدوین روش‌ها و موارد جدید جهت وضع قوانین جدید و ارتقاء قوانین قدیمی و کم بازده که در آن ضمانت اجرایی از سوی سازمان‌ها و ارگان‌های ذی‌ربط در نظر گرفته شده باشد.
												۲. اجرای سیستم جمع‌آوری جهت بازیافت کاغذهای باطله	۱ * E – ۲				
												۳. ارتقاء سطح فرهنگ عمومی در خصوص صرفه‌جویی در مصرف منابع	۱ * E – ۲				

۵- بحث و نتیجه‌گیری

در تحلیل ریسک‌های به‌دست آمده از روش PHA، در بخش محیطزیستی ۲۰ ریسک شناسایی شده که ۱۱ مورد در سطح غیر بارز و ۹ مورد در سطح بارز وجود دارد. کمترین میزان ریسک در این قسمت مربوط به فعالیت زنگ‌زدایی (عملیات سند بلاست) با مقدار عددی ۳۲، بالاترین میزان ریسک نیز متعلق به فعالیت اداری با مقدار عددی ۳۶۰ می‌باشد.

در بخش ایمنی و بهداشت ۴۰ ریسک شناسایی شده که ۱۵ ریسک در سطح بحرانی، ۴ ریسک در سطح جدی، ۹ ریسک در سطح متوسط، تعداد ۱۲ ریسک در سطح عادی بودند که کمترین میزان ریسک در این قسمت بالا رفتن از پلکان مخازن با مقدار عددی RPN، ۴ است. همچنین بالاترین میزان ریسک نیز متعلق به تست فشار خط لوله با RPN، ۲۱ می‌باشد.

در تحلیل ریسک‌های به‌دست آمده از روش LOPA در بخش محیطزیستی، ۹ ریسک دارای جنبه پس از به کارگیری الزامات مورد نیاز و همچنین لایه‌های حفاظتی مستقل مربوطه، ۶ ریسک قابل قبول (هیچ اقدامی مورد نیاز نیست)، ۳ ریسک انتخابی و تعداد ریسک‌ها در سطوح نامطلوب و غیرقابل قبول صفر بوده و بیشترین میزان ریسک محیطزیستی مربوط به خاموش شدن فلر با RR، ۷ می‌باشد. پایین‌ترین میزان ریسک محیطزیستی نیز متعلق به مصرف کاغذ، مصرف سوخت‌های فسیلی، آلودگی خاک ناشی از پاشش مواد شیمیایی و آلودگی خاک ناشی از پاشش مواد سوختی با مقدار عددی RR، ۴ می‌باشد.

در بخش ایمنی و بهداشت، ۱۵ ریسک دارای جنبه بارز محیطزیستی با در نظر گرفتن الزامات مورد نیاز و همچنین لایه‌های حفاظتی مستقل مربوطه، ۲ ریسک قابل قبول (هیچ اقدامی مورد نیاز نیست)، ۱۳ ریسک انتخابی ، تعداد ریسک‌ها در سطوح نامطلوب و غیرقابل قبول صفر بوده، بیشترین میزان ریسک‌های ایمنی و بهداشتی مربوط به تصادفات خودرو، سقوط از روی داربست، انفجار مخزن سوخت، بروز صاعقه و سقوط از روی سقف مخازن با مقدار عددی RR، ۸ می‌باشد. کمترین میزان ریسک ایمنی و بهداشتی را نیز برق‌گرفتگی اپراتور برق با مقدار عددی RR، ۵ دارا بود.

٦- پیشنهادها

- برگزاری ادواری دوره‌های ایمنی به کارشناسان و پرسنل شاغل در دیسیپلین مختلف پروژه.
- برنامه واکنش در شرایط اضطراری، طرح‌های مقابله با حوادث.
- برگزاری مانورهای ادواری مانند مانور کار در ارتفاع، آتش‌سوزی، صاعقه و ... .
- ارایه خدمات کارشناسی و مهندسی در زمینه تاسیسات موجود و در حال ساخت، و نظارت عالیه بر انجام کارها در قالب صدور پروانه کار
- آموزش تخصصی به کارشناسان بخش ایمنی و فراهم نمودن زمینه حضور کارشناسان در سمینارهای تخصصی برای تدوین استاندارد، آیین‌نامه و دستورالعمل‌های تخصصی مورد نیاز.

منابع

- قادری، ع. رنجبر، ع. ۱۳۹۵. ارزیابی خطرات بلقوه و تحلیل ایمنی واحد کنترل کیفیت شرکت پخش فراورده های نفتی بوشهر بر اساس روش FMEA ، کنفرانس بین المللی یافته های نوین پژوهشی در شیمی، دانشگاه جامع علمی کاربردی تهران.
- حبیبی، ا. کشاورزی، م. و یوسفی، ح. ۱۳۹۰. بررسی پیامد حوادث عمده و تعیین سطح یکپارچگی ایمنی فرآیند در واحد آب ترش پالایشگاه گازی با استفاده از روش LOPA، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی تهران.
- کاکایی، ح. جعفری، ر. ۱۳۹۴. شناسایی و رده بندی خطرات و رویدادهای بلقوه به روش آنالیز مقدماتی خطر در پالایشگاه نفت ، مجله مهندسی بهداشت و محیط گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی، ایلام.
- حامدنی، ن. ساداتیه، ر. ۱۳۸۶. شرح واحدهای فرایندی و تاسیساتی پالایشگاههای گازی پارس جنوبی، سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی.تهران.
- جهانگیری، م. ۱۳۹۴. مدیریت و ارزیابی ریسک (ارزیابی کیفی ریسک). جلد اول، تهران: انتشارات فن‌آوران.
- لاری بقال، م. ۱۳۹۱. ارزیابی ریسک محیطزیستی لایروبی اسکله‌های بندر امام خمینی با روش دلفی، تحلیل سلسله مراتبی (AHP) حالات شکست و تجزیه و تحلیل اثرات آن (FMEA)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و محیطزیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات کهگلویه و بوراحمد.

- نوذری، ا.؛ یوسفی، ح. و جعفر زاده، ن. ۱۳۹۱. کاربرد روش PHA در ارزیابی ریسک عملیات حفاری (مطالعه موردی میدان نفتی کنگان)، اولین همایش ملی حفاظت و برنامه‌ریزی محیط‌زیست، همدان: دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان.
- علیزاده، ع. ۱۳۹۴. ارزیابی مخاطرات با استفاده از روش تلفیقی JSA و PHA، اولین همایش بین المللی HSE در پروژه‌های عمرانی، معدن، نفت و گاز، تهران، NCCMPGP01_032، ۱۴ صفحه.
- اصفهانی، ح. ۱۳۸۸. تحلیل لایه های حفاظتی (LOPA)، سومین همایش ملی مهندسی ایمنی و مدیریت HSE، تهران، دانشگاه صنعتی شریف،

- Barens, W. 2001. Occupational health & safety risk management in Miching Steel Manufacturing by William fine method، Fuzzy Risk Assessment journal, Vol: 3. Pp: 17- 29.
- ShuJiao,T . ZongZhi, W.2016. Research and Application of an Advanced LOPA Method for Risk Assessment of Chemical Process، State Administration of Work Safety, Beijing 100713, China
- Jianxin Kang, Lijie Guo. 2016. HAZOP analysis based on sensitivity evaluation. Safety ScienceVolume 88, Pages 26–32.
- Qureshi, M. A. and Shakeel, S. 2013. Risk Assessment and HAZOP Study of Oil and Gas Sector. American Journal of Environment, Energy and Power Research Vol. 1، No. 7, PP: 151- 158.
- Hyatt, Nigel. 2003. Guidelines for Process Hazards Analysis (PHA, HAZOP), Hazards Identification & Risk Analysis. DYADEM press, Chapter, 45-49.
- Wiley. 2001. Center for Chemical Safety (CCPS). Layer of Protection Anal-ysis: Simplified Process Risk Assessment.
- Dowell, A. 1997. Layer of Protection Analysis: A New PHA Tool، After HAZOP، Before Fault Tree Analysis, Presented at Center for Chemical Process Safety International Conference and Workshop on Risk Analysis in Process Safety، Atlanta.