پژوهش و فناوری محیط زیست، ۱۴۰۱ ۷(۱۲)، ۴۵-۶۳

پژوهش و فناوری محیط زیست

وبگاه نشریه: www.journal.eri.acecr.ir

پژوهشکده محیط زیست

شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۳۰۶۰

ارزیابی ریسک فردی و جمعی وقوع رخداد نشتی در پالایشگاه پارس جنوبی بر اساس تخمین تکرارپذیری اتصالات و مدل‌سازی نرم‌افزار PHAST

غلامرضا جعفرنژاد[۱]، سینا دوازده امامی[۱*]، محمد ولایت‌زاده[۲]

۱- گروه ایمنی صنعتی، موسسه آموزش عالی تابناک، لامرد، فارس، ایران

۲- گروه ایمنی صنعتی، موسسه آموزش عالی کاسپین، قزوین، ایران

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۰۷/۱۱

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۱/۱۱/۲۳

دسترسی آنلاین:
۱۴۰۱/۱۱/۳۰

کلید واژه‌ها:
نشت گاز،
ارزیابی ریسک فردی،
تکرارپذیری اتصالات،
مدل‌سازی **PHAST**،
پالایشگاه پارس جنوبی

چکیده

در این تحقیق، به‌منظور بررسی محدوده اثر دو نوع آتش Flash Fire و Jet Fire و تعیین ریسک فردی و جمعی مربوط به مخازن گاز پالایشگاه‌های پارس جنوبی، از روش ارزیابی کمی ریسک با استفاده از نرم‌افزار PHAST استفاده شد. برای به‌دست آوردن تکرارپذیری برای سناریوی نشتی فلنج شیر ورودی و خروجی، تمام اتصالات موجود در مسیر برای هر سناریو به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفته و تکرارپذیری آن‌ها محاسبه شدند. نتایج نشان داد که از میان نشتی‌ها، نشتی مربوط به فلنج شیر ورودی و فلنج شیر خروجی، با توجه به موقعیت مکانی آن‌ها از اهمیت بیشتری برخوردار است. نمودار کانتور ریسک فردی حاصل از ترکیب دو سناریو شیر ورودی و شیر خروجی است که نشان دهنده میزان مرگ‌ومیر در سال در محدوده‌های مشخص شده است نمودار ریسک جمعی از ترکیب تکرارپذیری و تعداد تلفات در سال تشکیل شده است که در محدوده حد بالا و حد متوسط قرار دارد و این بدین معناست که ریسک جمعی منطقه تحت بررسی بالا است. با توجه به شرایط در پالایشگاه پارس جنوبی از نظر شرایط آب و هوایی منطقه، سرعت و جهت وزش باد، جهت وزش باد غالب، جانمایی ساختمان‌های موجود در ایستگاه و توزیع جمعیتی آن، می‌توان نتیجه گرفت که در صورت وقوع رخداد نشتی، پیامد آن به‌صورت انتشار گاز قابل اشتعال و دو نوع آتش محتمل Jet Fire و Flash Fire است، که از محدوده معین موردنظر خارج بوده و این امر می‌تواند تبعات جبران‌ناپذیری جانی و مالی به همراه داشته باشد.

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: hse12de@gmail.com

Journal of Environmental Research and Technology

journal homepage: www.journal.eri.acecr.ir

Environmental Research institute

Online ISSN: 3060-2676

Individual and collective risk assessment of leakage in South Pars Refinery based on estimation of reproducibility of connections and PHAST software modeling

Gholamreza Jafarinejad[1], Sina Davazdah Emami[*1], Mohammad Velayatzadeh[2]

1- Department of Industrial Safety, Tabnak Institute of Higher Education, Lamerd, Fars, Iran
2- Department of Industrial Safety, Caspian Institute of Higher Education, Qazvin, Iran

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received:
03/10/2022
Accepted:
12/02/2023
Available online:
19/02/2023

Keywords:
Gas leakage,
Individual risk assessment,
Reproducibility of connections,
PHAST modeling,
South Pars Refinery

Abstract

In this research, in order to investigate the effect scope of two types of fire, Flash Fire and Jet Fire, and to determine the individual and collective risk related to the gas tanks of South Pars refineries, the quantitative risk assessment method was applied using PHAST software. To obtain reproducibility for the inlet and outlet valve flange leakage scenario, all connections in the path were examined separately for each scenario and their reproducibility was calculated. The results showed that among the leakages, the leakage related to the inlet and outlet valve flange, is more important according to their location. The individual risk contour diagram is the result of the combination of two scenarios, inlet valve and outlet valve, which shows the amount of deaths per year within the specified limits. The collective risk diagram is composed of the combination of reproducibility and the number of fatalities per year and this means that the collective risk of the studied area is high. Considering the conditions in the South Pars Refinery in terms of regional weather conditions, wind speed and direction, prevailing wind direction, the location of the buildings in the station and its population distribution, It can be concluded that the consequence of leakage incident is releasing the flammable gas and two possible types of fire, Jet Fire and Flash Fire.

* Corresponding author E-mail address: hse12de@gmail.com

مقدمه

اکثر حوادث خطرناکی که در صنعت نفت و گاز رخ می‌دهند، غالباً به سبب خروج یک ماده سمی یا قابل اشتعال از یک نشتی یا پارگی ایجاد شده در مخزن، خط لوله و یا اتصالات می‌باشند. برای مدل‌سازی تخلیه مواد در این‌گونه حوادث، عوامل مختلفی نظیر اندازه نشتی ایجاد شده، مدت زمان نشتی، ترکیب درصد مواد موجود در منبع و شرایط فرآیندی ماده تخلیه شده (دما، فشار و فاز) تأثیر دارند (کاشی و همکاران، ۱۳۹۱؛ جعفری و همکاران، ۱۴۰۱). با توجه به خطرات موجود در پالایشگاه‌های نفت و گاز، نیاز انسان به تعریف رعایت استانداردها در برخورد با فعالیت‌های مربوط به صنایع فرآیندی همواره در حال افزایش است (باکلی[۱] و همکاران، ۲۰۱۸). این استانداردها عموماً در جهت افزایش سطح ایمنی صنایع فرآیندی است. تعریف این استانداردها، از یک‌سو منجربه تغییر فرآیند، حجیم شدن واحدهای صنعتی و تغییر شرایط در خارج از مرزهای واحدهای صنعتی شده و از سوی دیگر سبب می‌شود که ریسک تولیدی، توسط واحدهای صنعتی تغییر کند (جو[۲] و همکاران، ۲۰۱۰). بسیاری از حوادث را می‌توان با پیامد شدید در نظر گرفت، اما در عمل احتمال روی دادن آن‌ها ناچیز باشد و بالعکس برخی حوادث ممکن است به دفعات اتفاق بیفتند ولی پیامد قابل‌توجهی نداشته باشند. به همین دلیل تعیین معیاری که هر دو عامل را در نظر بگیرد، در بررسی مخاطرات بسیار مفید است (ما[۳] و همکاران، ۲۰۱۳). تابعیت ریسک از تکرارپذیری و پیامد در اکثر موارد پیچیده بوده و با توجه به روش‌هایی که برای ارزیابی ریسک به‌کاربرده می‌شود، ترکیب‌های مختلفی از آن‌ها ارائه می‌گردد. اما در ساده‌ترین حالت، می‌توان ریسک را حاصل‌ضرب مقادیر کمی پیامد در تکرارپذیری دانست (سوگاوا و ساکای،[۴] ۱۹۹۵). حوادثی که در خطوط انتقال گاز و همچنین در تأسیسات تقویت فشار گاز در داخل و خارج از کشور رخ داده است و باعث ایجاد تلفات جسمی و مالی جبران‌ناپذیری به اشخاص و سیستم شده است، سبب گردیده که ارزیابی ریسک فرآیندی جایگاه ویژه‌ای در صنعت نفت و گاز کشور پیدا کند (شیرمردی و همکاران، ۱۳۹۸؛ ژانگ[۵] و همکاران، ۲۰۱۸).

ارزیابی ریسک برای تعیین اندازه کمی و کیفی خطرات و بررسی پیامدهای بالقوه ناشی از حوادث احتمالی بر روی افراد، مواد، تجهیزات و محیط است (قاسمی و همکاران، ۱۴۰۰). به‌عبارت دیگر با اجرای ارزیابی ریسک می‌توان سازمان، فرآیندها، تجهیزات، دستگاه‌ها را در خصوص خطرات محیط کار محافظت کرد (فریمن[۶]، ۱۹۹۰؛ رونزا[۷] و همکاران، ۲۰۰۶). معیارهای معتبر و مهم ارزیابی ریسک کمی شامل ریسک فردی و ریسک جمعی هستند. ریسک فردی به معنای احتمال صدمه دیدن یک شخص، در نزدیکی محل حادثه بوده و تابع عوامل مختلفی نظیر نوع صدمه ایجاد شده، احتمال اتفاق افتادن حادثه و شدت حادثه است. از آنجا که به غیر از مرگ برای سطح سایر صدمات تعریف یکسانی نمی‌توان ارائه کرد، لذا منظور از صدمه در این تعریف، صدمات جبران‌ناپذیر و در اکثر موارد مرگ است (میرزایی علی آبادی و همکاران، ۱۴۰۱). ریسک جمعی، معیاری از ریسک جمعیتی است که در نزدیکی محل خطر قرار گرفته‌اند. این معیار ریسک مانند ریسک فردی تابعی از احتمال رخ دادن حادثه و شدت پیامدهای آن است با این تفاوت که برای تعیین ریسک جمعی، توزیع جمعیت افراد در نزدیکی محل خطر نیز باید تعیین‌شده باشد. بنابراین امکان تعیین هرکدام از این معیارهای ریسک با در اختیار داشتن دیگری وجود ندارد و یا به عبارت ساده‌تر این‌که ریسک جمعی تابعی از توزیع جمعیت حاضر در محل حادثه است در حالی‌که ریسک فردی تابع توزیع جمعیت نیست (باقری و همکاران، ۱۳۹۲).

یکی از مهم‌ترین و مفیدترین مراجع برای محاسبات وقوع حوادث، مجموعه ARF[۸] است که توسط شرکت DNV[۹] جمع‌آوری شده است. در این مرجع بنا بر پایگاه اطلاعاتی که بر اساس حوادث اتفاق افتاده در واحدهای فرآیندی پایه‌گذاری شده‌اند، معادلاتی جهت محاسبه میزان تکرارپذیری نشتی از انواع تجهیزات، ارائه شده است که در ارزیابی ریسک بسیار مفید است (وریتاس[۱۰]، ۱۹۹۸). محاسبه تکرارپذیری با استفاده از داده‌های تجربی دارای مزایا و محدودیت‌هایی نیز است. مزیت خاص این روش سرعت بالا و هزینه پایین آن در مقایسه با سایر روش‌ها بوده که نیاز به محاسبات ریاضی بیشتری دارد. هم‌چنین امکان تعیین تکرارپذیری یک نشتی با اندازه‌های مختلف

1- Bucelli
2- Jo
3- Ma
4- Sugawa & Sakai
5- Zhang
6- Freeman
7- Ronza
8- Activity responsible function technical library
9- D Norske Veritas (Norway) and Germanischer Lloyd (Germany)
10- Veritas

نیز وجود دارد، در حالی‌که در سایر روش‌ها اندازه نشتی ایجاد شده تأثیری بر روی میزان تکرارپذیری آن نشتی ندارد. از جمله محدودیت‌های این نحوه محاسبه، این است که نتایج حاصل از این روش تنها در مواردی قابل استفاده است که از اعتبار لازم در آن زمینه خاص برخوردار باشد. محدودیت دیگر این‌که از آمار مربوط به حوادث اتفاق افتاده در گذشته برای تعیین تکرارپذیری حوادث در زمان حال استفاده می‌شود با این شرط که سایر شرایط عملیاتی بدون تغییر باقی بماند (بوون و استاوریدو[1]، ۱۹۹۳؛ خان و عباسی[2]، ۲۰۰۱).

با توجه به استفاده گسترده صنایع از مواد شیمیایی مختلف با قابلیت اشتعال بالا، پتانسیل ایجاد انفجار و خسارت ناشی از آن بیشتر شده است. مدل‌سازی با نرم‌افزار یک روش سریع و دقیق برای پیش‌بینی میزان گسترش دامنه انتشار مواد و شبیه‌سازی پیامدهای آن است. از آنجا که مدل‌های ریاضی موجود برای مدل‌سازی پیامد شامل محاسبات پیچیده و بسیار زمان‌بر هستند، به کارگیری نرم‌افزارهای شبیه‌سازی اهمیت خاصی پیدا می‌کند (عمادی و همکاران، ۱۴۰۰). ارزیابی پیامد حریق مخازن گاز متان در یک پالایشگاه گاز نشان داد که حریق مخزن گاز متان V-100 به‌عنوان بدترین سناریو در پالایشگاه انتخاب شد. درخت خطا سه عامل مکانیکی، انسانی و فرآیندی را در نشت گاز موثر نشان داد. با استفاده از مدل‌سازی پیامد، تشعشع حرارتی ناشی از حریق به‌عنوان پیامد اصلی وقوع حادثه در نظر گرفته شد. شرایط آب و هوایی و اندازه نشتی در فاصله تحت تاثیر تشعشع موثر بودند (شاهدی علی آبادی و همکاران، ۱۳۹۵). مدل‌سازی پیامد ناشی از انفجار مخزن گاز مایع در میدان نفتی یادآوران به کمک نرم‌افزار ALOHA نشان داد آتش ناگهانی و نشت گاز مایع از مخزن در فاصله بیش از ۱۰ یارد یعنی حدود ۱۲ متر خطر شکستن شیشه‌ها بر اثر موج انتشار و خطر انفجار وجود خواهد داشت به عبارت دیگر در مدل آتش فورانی در فاصله ۱۱ یارد یعنی حدود ۱۲ متر ناحیه انفجار در حدود ۶۰ ثانیه پس از سوراخ شدن و در همین فاصله احتمال آتش سوزی و آسیب بر اثر موج انتشار در مدت ۶۰ ثانیه و در مدل انتشار ابر متراکم، در فاصله ۱۲ یارد ناحیه شکستن شیشه‌ها بر اثر موج انتشار وجود داشت. ساختمان‌های مجاور در محدوده این دو سناریو هستند و این دو می‌توانند آسیب‌های جدی را وارد کنند (ولایت‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶). مدل‌سازی پیامد نشت بنزین از مخازن پالایشگاه تهران به روش ALOHA نشان داد سناریوهای میانگین و حداکثر دمای روزانه در انتشار منطقه تهدید مدنظر قرار گرفت. نتایج حاصل از مدل‌سازی پیامد حریق نشان داد که رابطه مستقیمی بین پایداری جو، حجم مواد شیمیایی موجود در مخزن و اندازه نشتی با افزایش مساحت منطقه تهدید در پالایشگاه وجود دارد. با توجه به نتایج به‌دست آمده در سناریوی اول، بیشترین خطر در منطقه اول تا فاصله ۹۴ متری شروع می‌شود و تا ۲۰۷ متر در منطقه سوم ادامه دارد که این فواصل بایستی در جانمایی تجهیزات و تعمیر و نگهداری تأسیسات توسط مدیران HSE مجموعه مورد توجه قرار گیرد (کریمی، ۱۴۰۰).

با توجه اینکه عمده فعالیت‌های انجام شده در زمینه ارزیابی ریسک در واحدهای ایمنی و عملیاتی نفت و گاز پارس جنوبی به ارزیابی ریسک محیط‌زیستی مربوط می‌شود و همچنین مطالعات ایمنی و شناسایی مخاطرات در این پالایشگاه با استفاده از روش‌هایی نظیر FMEA و HAZOP صورت گرفته است، لذا این تحقیق می‌تواند الگوی خوبی جهت ارائه ارزیابی ریسک ناشی از حوادث فرآیندی به روش ارزیابی ریسک کمی (QRA)[3] در یک پالایشگاه باشد. در این پژوهش هدف ارزیابی ریسک فردی و جمعی وقوع رخداد نشتی در مخازن گاز پالایشگاه‌های پارس جنوبی بود.

مواد و روش‌ها

معرفی پالایشگاه پارس جنوبی

پالایشگاه‌های گاز پارس جنوبی مجموعه‌ای از ۱۴ پالایشگاه گازی است که برای پالایش گاز طبیعی حاصل از میدان گازی پارس جنوبی به‌وجود آمده‌اند. این پالایشگاه‌ها در اطراف شهرهای عسلویه، کنگان و تنبک واقع شده‌اند. این مجموعه متشکل از ۲۴ فاز می‌باشند که با عنوان طرح توسعه پارس جنوبی از تاریخ مهر ماه سال ۱۳۷۶ با شروع به کار طرح توسعه فاز ۲ و ۳، فعالیت خود را آغاز کردند.

[1]- Bowen & Stavridou
[2]- Khan & Abbasi
[3]- Quantitative Assessment Risk

فرآیند پالایشگاه‌های پارس جنوبی

حالت عملیاتی مستقیم

در حالت عملیاتی مستقیم به ترتیب شیر کنارگذر قدیم بسته، شیر کنارگذر جدید باز، شیرهای ورودی و خروجی قدیم نیز باز و شیر خروجی جدید در حالت بسته قرار دارد و گاز توسط یک خط ۳۰ اینچ از مسیرهای مختلف و از طریق شیر ورودی ایستگاه وارد محدوده عملیاتی ایستگاه تقویت فشار گاز پالایشگاه‌های پارس جنوبی می‌شود. مواد زائد (دوده و مایعات) همراه گاز، از هدر ورودی ۳۰ اینچ توسط دو خط ۲۴ اینچ، وارد اسکرابرها شده و پس از گذر از اسکرابرها از آن جدا می‌شوند. به‌این‌ترتیب که یک دسته لوله عمودی در راستای ورودی گاز قرار گرفته و مواد زائد همراه گاز پس از برخورد با این لوله‌ها ریزش کرده و از قسمت تحتانی اسکرابرها خارج می‌شود. خروجی این اسکرابرها دارای دو سایز ۲۰ و ۲۴ اینچ می‌باشند که پس از خروج مجدداً به یک هدر ۳۰ اینچ وارد می‌شوند. یکی از اسکرابرها در سرویس و دیگری از سرویس خارج است و در مواقع مورد نیاز تعویض می‌شوند. البته گاهی هم ممکن است با توجه به حجم گاز ورودی به ایستگاه، به جهت فشار نیامدن به یک اسکرابر، هر دوی آن‌ها در سرویس قرار گیرند. وقتی مایعات و ناخالصی‌های اسکرابرها به حد مشخصی برسد، شیرهای کنترل کننده، سطح اسکرابر را تخلیه می‌کنند. البته این کار در حال حاضر به‌صورت دستی انجام می‌شود. گاز پس از فیلتر شدن از هدر میترینگ عبور کرده و وارد هدر ۳۰ اینچ ورودی به کمپرسورها می‌شود. هر واحد نیز دارای یک خط ورودی ۲۰ اینچ با تجهیزاتی نظیر شیر ورودی اصلی، شیر دستی بالانسینگ، شیر بالانسینگ اصلی، ونتوری برای اندازه‌گیری میزان جریان ورودی و استرینر جهت زدایش دوده موجود در گاز، یک خط خروجی ۲۰ اینچ با تجهیزاتی نظیر شیر چک، شیر اصلی خروجی، شیر ونت و شیر اطمینان و هم‌چنین یک خط رابط، یعنی مسیر برگشتی است. گاز از مسیر خط ورودی ۱۶ اینچ، وارد کمپرسور شده و پس از تقویت فشار از مسیر خط خروجی ۱۴ اینچ خارج می‌شود و به سمت هدر خروجی هدایت می‌گردد. پس از آن از شیر اصلی خروجی از ایستگاه خارج می‌شود.

حالت عملیاتی معکوس

در حالت عملیاتی معکوس ابتدا شیر خروجی قدیم بسته و شیر کنارگذر قدیم در حالت باز قرار داده می‌شود. پس از آن شیر خروجی جدید باز شده و شیر کنارگذر جدید به حالت بسته درمی‌آید. بقیه مراحل آن همانند فرآیند حالت مستقیم است. پس از استارت واحدها، با توجه به توضیحات بالا، گاز از میدان پالایشگاه‌های پارس جنوبی کلید شده و بعد از تقویت فشار از لاین خروجی جدید به سمت نور هدایت می‌شود. لازم به ذکر است که این ایستگاه مجهز به سیستم قطع جریان و تخلیه در شرایط اضطراری بوده که از طریق اپراتور فعال می‌گردد. علاوه بر این، ایستگاه‌های پالایشگاه‌های پارس جنوبی در بخش مربوط به ساختمان کمپرسورها، مجهز به سیستم‌های اعلام حضور گاز قابل اشتعال است و بر روی هر یک از کمپرسورها یک آشکارساز حضور گاز قابل اشتعال وجود دارد. ایستگاه پالایشگاه‌های پارس جنوبی علاوه بر تجهیزات فرآیندی مذکور، شامل بخش‌های یوتیلیتی نظیر سوخت گازی و کمپرسور هوا نیز است که از آن به‌منظور تأمین سوخت موردنیاز توربین‌های گازی برای کمپرسورها استفاده می‌شود.

مدل‌سازی سناریوها

در این مرحله پیامدهای گوناگون ناشی از یک حادثه که می‌تواند سبب تلفات یا صدمات جسمی و مالی شود، ارزیابی می‌ شود. هر سناریو (ایجاد نشتی یا پارگی در یک فلنج یا لوله و یا مخزن حاوی ماده اشتعال‌پذیر یا سمی) می‌تواند دارای چندین پیامد (پخش مواد سمی، آتش و انفجار) باشد. در این پروژه سناریوی مورد مطالعه، نشتی در فلنج شیر ورودی و خروجی ایستگاه است که پیامدهای ناشی از آن آتش Flash Fire و Jet Fire است که از طریق مدل‌های ارائه شده برای آتش در محیط تعیین می‌شود (بلوریان[1] و همکاران، ۲۰۱۶). آثار ناشی از آتش به‌صورت شدت تشعشع، در نقاط مختلف تعیین می‌شود و در ادامه تأثیر این پیامدها بر روی جمعیت، به‌صورت ریسک فردی و جمعی از طریق مدل‌های آسیب‌پذیری ارزیابی می‌شود.

[1]- Boluirian

تخمین تکرارپذیری

برای به دست آوردن تکرارپذیری برای سناریوی نشتی فلنج شیر ورودی و خروجی، باید تمام اتصالات موجود در مسیر برای هر سناریو به‌طور جداگانه موردبررسی قرار گیرد و تکرارپذیری آن محاسبه گردد. روش کار به این ترتیب است که باید ابتدا تعداد شیرهای دستی، اتوماتیک، فلنج‌ها، مخازن و طول لوله‌های مسیر نشتی در سایزهای موجود در ایستگاه محاسبه و با توجه به جداول، فرمول‌ها و نمودارهای مراجع تکرارپذیری آن‌ها محاسبه شود. سپس برای محاسبه تکرارپذیری کل سناریو، باید همه تکرارپذیری‌ها با هم جمع شده و یک عدد به‌دست آید که با قرار دادن آن در قسمت Event Frequency از نرم‌افزار بخشی از اطلاعات مربوط به ارزیابی ریسک کامل می‌شود. در ضمن اگر اتصالی ما بین مسیر ورودی و خروجی قرارگرفته باشد که به هر دو مسیر مرتبط باشد، باید پس از محاسبه تکرارپذیری آن در محاسبات نهایی برای مسیر ورودی و خروجی به‌طور جداگانه نصف مقدار به‌دست‌آمده لحاظ شود.

محاسبه و ارزیابی ریسک

در این مرحله از ترکیب پیامد و تکرارپذیری سناریوها به‌منظور تعیین ریسک استفاده می‌شود. این ریسک ابتدا برای پیامدهای مختلف ناشی از هر سناریو تعیین شده و سپس از طریق جمع‌کردن آن‌ها یک ریسک کلی برای هر سناریو به‌دست می‌آید. شایان ذکر است که تمامی فرمول‌های مربوط به ارزیابی پیامد و ریسک در نرم‌افزار تعریف شده و دیگر نیاز به محاسبات دستی نیست و تنها با وارد کردن داده‌های خواسته شده نرم‌افزار می‌توان مدل‌سازی را انجام داد. پس از انجام عملیات محاسبه و ترسیم نمودار توسط نرم‌افزار آن را تحلیل و در صورت وجود نمودارهای مرجع، نمودار به‌دست‌آمده را با نمودار مرجع قیاس کرده تا بتوان به یک نتیجه واقعی رسید.

نرم‌افزار PHAST

مدل‌سازی پیامدهای ناشی از حوادث محتمل در یک واحد فرآیندی، از مهم‌ترین مراحل ارزیابی ریسک است. این مرحله شامل مدل‌سازی رهایش مواد در محیط و به‌دنبال آن مدل‌سازی پیامدهای ناشی از سمیت، اشتعال یا انفجار این مواد می‌باشد. امروزه این مرحله به‌دلیل پیچیدگی روابط مربوط به مدل‌سازی و زمان‌بر بودن حل آن‌ها، توسط نرم‌افزارهای کامپیوتری انجام می‌گیرد. نرم‌افزار PHAST یکی از قوی‌ترین و مشهورترین نرم‌افزارهای موجود است که به‌منظور مدل‌سازی پیامدهای محتمل در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است (جعفری و همکاران، ۱۴۰۱).

مدل‌سازی تخلیه مواد

به‌منظور درک رفتار سیال پس از رهایش و پیش‌بینی چگونگی توزیع سیال منتشر شده ضروری است تا فرآیند تخلیه مواد مدل‌سازی شود. برای آگاهی از پیامدهای انتشار یک سیال باید روند انتشار، غلظت مواد و رفتار ترمودینامیکی سیال قابل پیش‌بینی باشد. اکثر حوادث خطرناکی که در صنعت رخ می‌دهند، غالباً به سبب خروج یک ماده سمی یا قابل اشتعال از یک نشتی یا پارگی ایجاد شده در مخزن، خط لوله و یا اتصالات می‌باشند. برای مدل‌سازی تخلیه مواد در این‌گونه حوادث، عوامل مختلفی نظیر اندازه نشتی ایجاد شده، مدت زمان نشتی، ترکیب درصد مواد موجود در منبع و شرایط فرآیندی ماده تخلیه شده تاثیر دارند. در تحقیق حاضر، بررسی حوادث فرآیندی در اثر خروج گاز قابل اشتعال از نشتی اتصالات (فلنج‌ها) در مخازن گاز پالایشگاه پارس جنوبی، مدنظر است.

مدل‌سازی تخلیه گاز

در این بخش و به‌منظور محاسبه دبی جرمی تخلیه گاز پس از وقوع نشتی، از رابطه‌های ۲،۱ و ۳ استفاده شد:

رابطه ۱ (با فرض جریان مادون صوت):

$$\dot{m} = C_D.A.P_1\sqrt{\frac{2g_c}{R_g}.\frac{M}{T_1}.\frac{k}{k-1}((\frac{P_1}{P_2})^{\frac{2}{k}} - (\frac{P_1}{P_2})^{\frac{k-1}{k}})}$$

رابطه ۲ (با فرض جریان ما فوق صوت):

$$\dot{m}_{chocked} = C_D.A.P_1\sqrt{\frac{k.g_c}{R_g}.\frac{M}{T_1}.(\frac{2}{k+1})^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

رابطه ۳:

$$P_{choked} = P_1.(\frac{2}{k+1})^{\frac{k}{k-1}}$$

که در این رابطه‌ها m دبی مواد خروجی، P1, P2 فشار مواد قبل و بعد از خروج، T1, T2 دمای مواد قبل و بعد از خروج، A مساحت شکاف ایجاد شده، Rg ثابت گازها، gc ثابت گرانشی زمین، M جرم مولکولی گاز، k نسبت ظرفیت گرمایی ویژه فشار ثابت به حجم ثابت (بدون بعد)، CD ضریب تخلیه گاز که به‌صورت محافظه‌کارانه برابر ۱ فرض می‌شود. محاسبات مربوط به تخلیه گاز برای سناریوهای متفاوت از طریق نرم‌افزار PHAST انجام شد.

مدل‌سازی انتشار

هدف اصلی از مدل‌سازی انتشار مواد در محیط، تخمین غلظت ماده رها شده در محیط در یک مکان و زمان خاص است. این مرحله علاوه بر اینکه به‌صورت مستقل می‌تواند در جهت بررسی حادثه ناشی از انتشار گاز قابل اشتعال مورد استفاده قرار گیرد، به‌منظور مدل‌سازی آتش‌سوزی و انفجار نیز دارای اهمیت است. در تحقیق حاضر از مدل انتشار در قالب نرم‌افزار PHAST استفاده شده است. عوامل زیادی نظیر پایداری جوی، شرایط آب و هوایی (سرعت باد، جهت وزش باد، دمای محیط و رطوبت هوا) و نوع پوشش جغرافیایی منطقه تحت بررسی، وجود دارند که بر انتشار مواد در محیط موثر هستند و مدل نیز توانایی پیش‌بینی آثار ناشی از آن‌ها را دارد.

یافته‌های پژوهش

تخمین تکرارپذیری اتصالات

برای اطمینان از دقت و مناسب بودن وضعیت عوامل تأثیرگذار تصادفی و پراکندگی مناسب نتایج اندازه‌گیری‌های خود در طول زمان کاری و همچنین اختلاف قابل قبول نتایج حاصل از استفاده از روش‌ها، تجهیزات، نفرات، مکان‌ها و همچنین زمان‌های کاری مختلف نیاز به کنترل تکرارپذیری و تجدیدپذیری خود دارند. در جدولهای ۱ تا ۸ نتایج مربوط به تخمین تکرارپذیری نشان داده شده است. تخمین تکرارپذیری برای اتصالات موجود در مسیر سوخت، ورودی، خروجی، فلنج‌ها، شیرهای دستی و اتوماتیک، لوله‌ها، مخازن و همچنین میزان جرم تخلیه شده گاز ارائه شده است.

جدول ۱- تکرارپذیری فلنج‌ها در سایزهای موجود در پالایشگاه پارس جنوبی برحسب سایز نشتی

فلنج با سایز نشتی کوچک (۱۰-۱ mm)	سایز فلنج	۲ اینچ	۳ اینچ	۴ اینچ	۶ اینچ	۱۶ اینچ	۱۸ اینچ	۲۰ اینچ	۲۴ اینچ	۳۰ اینچ
	تکرارپذیری	$۶/۴\times۱۰^{-۶}$	$۶/۹۷۵\times۱۰^{-۶}$	$۷/۵۵\times۱۰^{-۶}$	$۸/۷\times۱۰^{-۶}$	$۴/۸\times۱۰^{-۵}$	$۲/۵\times۱۰^{-۵}$	$۲/۹۳۳\times۱۰^{-۵}$	$۳/۸\times۱۰^{-۵}$	$۵/۱\times۱۰^{-۵}$
فلنج با سایز نشتی متوسط (۵۰-۱۰ mm)	**سایز فلنج**	۲ اینچ	۳ اینچ	۴ اینچ	۶ اینچ	۱۶ اینچ	۱۸ اینچ	۲۰ اینچ	۲۴ اینچ	۳۰ اینچ
	تکرارپذیری	$۱/۹\times۱۰^{-۶}$	$۱/۹۷\times۱۰^{-۶}$	$۲/۰۵\times۱۰^{-۶}$	$۲/۲\times۱۰^{-۶}$	$۵/۲\times۱۰^{-۵}$	$۶/۵\times۱۰^{-۶}$	$۷/۴۵\times۱۰^{-۶}$	$۹/۸\times۱۰^{-۶}$	$۱۳/۱\times۱۰^{-۶}$
فلنج با سایز نشتی بزرگ (۱۵۰-۵۰ mm)	**سایز فلنج**	۲ اینچ	۳ اینچ	۴ اینچ	۶ اینچ	۱۶ اینچ	۱۸ اینچ	۲۰ اینچ	۲۴ اینچ	۳۰ اینچ
	تکرارپذیری	۰	$۰/۹\times۱۰^{-۷}$	$۱/۸\times۱۰^{-۷}$	$۳/۶\times۱۰^{-۷}$	$۶/۲۵\times۱۰^{-۷}$	$۷/۸\times۱۰^{-۷}$	$۹/۲\times۱۰^{-۷}$	$۱/۲\times۱۰^{-۶}$	$۱/۶۲\times۱۰^{-۶}$
فلنج با پارگی (۱۵۰< mm)	**سایز فلنج**	۲ اینچ	۳ اینچ	۴ اینچ	۶ اینچ	۱۶ اینچ	۱۸ اینچ	۲۰ اینچ	۲۴ اینچ	۳۰ اینچ
	تکرارپذیری	۰	۰	۰	۰	$۲/۲۵\times۱۰^{-۷}$	$۲/۸\times۱۰^{-۷}$	$۳/۲۶\times۱۰^{-۷}$	$۴/۲\times۱۰^{-۷}$	$۵/۶\times۱۰^{-۷}$

جدول ۲. تکرارپذیری شیرهای دستی در سایزهای موجود در پالایشگاه پارس جنوبی برحسب سایز نشتی

شیرهای دستی با سایز نشتی کوچک (۱۰ - ۱ mm)	سایز شیر دستی	۱ اینچ	۲ اینچ	۳ اینچ	۴ اینچ	۶ اینچ	۲۰ اینچ	۲۴ اینچ
	تکرارپذیری	$۱/۱۲۵\times۱۰^{-۶}$	$۲/۹\times۱۰^{-۶}$	$۳/۸\times۱۰^{-۶}$	$۴/۷\times۱۰^{-۶}$	۱×۱۰^{-۵}	$۵/۵\times۱۰^{-۵}$	$۷/۱\times۱۰^{-۵}$
شیرهای دستی با سایز نشتی متوسط (۵۰ - ۱۰ mm)	**سایز شیر دستی**	۱ اینچ	۲ اینچ	۳ اینچ	۴ اینچ	۶ اینچ	۲۰ اینچ	۲۴ اینچ
	تکرارپذیری	$۵/۱۲۵\times۱۰^{-۷}$	$۹/۵\times۱۰^{-۷}$	$۱/۵\times۱۰^{-۶}$	$۱/۹۳\times۱۰^{-۶}$	$۲/۷\times۱۰^{-۶}$	$۱/۵۳\times۱۰^{-۵}$	۲×۱۰^{-۵}
شیرهای دستی با سایز نشتی بزرگ (۱۵۰ - ۵۰ mm)	**سایز شیر دستی**	۱ اینچ	۲ اینچ	۳ اینچ	۴ اینچ	۶ اینچ	۲۰ اینچ	۲۴ اینچ
	تکرارپذیری	۰	۰	$۲/۷\times۱۰^{-۷}$	$۳/۴۳\times۱۰^{-۷}$	$۴/۹\times۱۰^{-۷}$	$۱/۹۷\times۱۰^{-۶}$	$۲/۵\times۱۰^{-۵}$
شیرهای دستی با پارگی (۱۵۰< mm)	**سایز شیر دستی**	۱ اینچ	۲ اینچ	۳ اینچ	۴ اینچ	۶ اینچ	۲۰ اینچ	۲۴ اینچ
	تکرارپذیری	۰	۰	۰	۰	۰	$۷/۵\times۱۰^{-۷}$	$۹/۷\times۱۰^{-۷}$

جدول ۳- تکرارپذیری شیرهای اتوماتیک در سایزهای موجود در پالایشگاه پارس جنوبی برحسب سایز نشتی

شیرهای اتوماتیک با سایز نشتی کوچک (۱ – ۱۰ mm)	سایز شیر اتوماتیک	۲ اینچ	۶ اینچ	۱۶ اینچ	۲۰ اینچ	۳۰ اینچ
	تکرارپذیری	$۳/۴۲\times۱۰^{-۵}$	$۳/۴۲\times۱۰^{-۵}$	$۵/۱\times۱۰^{-۵}$	$۵/۱\times۱۰^{-۵}$	$۵/۱\times۱۰^{-۵}$
شیرهای اتوماتیک با سایز نشتی متوسط (۱۰ – ۵۰ mm)	سایز شیر اتوماتیک	۲ اینچ	۶ اینچ	۱۶ اینچ	۲۰ اینچ	۳۰ اینچ
	تکرارپذیری	$۴/۵\times۱۰^{-۶}$	$۴/۵\times۱۰^{-۶}$	$۱/۲\times۱۰^{-۵}$	$۱/۲\times۱۰^{-۵}$	$۱/۲\times۱۰^{-۵}$
شیرهای اتوماتیک با سایز نشتی بزرگ (۵۰ – ۱۵۰ mm)	سایز شیر اتوماتیک	۲ اینچ	۶ اینچ	۱۶ اینچ	۲۰ اینچ	۳۰ اینچ
	تکرارپذیری	$۷/۸۵\times۱۰^{-۷}$	$۷/۸۵\times۱۰^{-۷}$	$۱/۴\times۱۰^{-۶}$	$۱/۴\times۱۰^{-۶}$	$۱/۴\times۱۰^{-۶}$
شیرهای اتوماتیک با پارگی (>۱۵۰mm)	سایز شیر اتوماتیک	۲ اینچ	۶ اینچ	۱۶ اینچ	۲۰ اینچ	۳۰ اینچ
	تکرارپذیری	$۳/۲۸\times۱۰^{-۷}$	$۳/۲۸\times۱۰^{-۷}$	$۴/۷\times۱۰^{-۷}$	$۴/۷\times۱۰^{-۷}$	$۴/۷\times۱۰^{-۷}$

جدول ۴. تکرارپذیری لوله‌ها در سایزهای موجود در پالایشگاه پارس جنوبی برحسب سایز نشتی

لوله با سایز نشتی کوچک (۱ – ۱۰ mm)	سایز لوله	۲ اینچ	۳ اینچ	۶ اینچ	۱۰ اینچ	۲۰ اینچ	۲۴ اینچ	۳۰ اینچ
	تکرارپذیری	$۹/۹\times۱۰^{-۶}$	$۶/۶۵\times۱۰^{-۶}$	$۳/۴\times۱۰^{-۶}$	$۲/۶\times۱۰^{-۶}$	$۱/۸۳\times۱۰^{-۶}$	$۱/۷\times۱۰^{-۶}$	$۱/۵\times۱۰^{-۶}$
لوله با سایز نشتی متوسط (۱۰ – ۵۰ mm)	سایز لوله	۲ اینچ	۳ اینچ	۶ اینچ	۱۰ اینچ	۲۰ اینچ	۲۴ اینچ	۳۰ اینچ
	تکرارپذیری	$۲/۲\times۱۰^{-۶}$	$۱/۴۴\times۱۰^{-۶}$	$۶/۸\times۱۰^{-۷}$	$۵/۲\times۱۰^{-۷}$	$۳/۶\times۱۰^{-۷}$	$۳/۴\times۱۰^{-۷}$	$۳/۱\times۱۰^{-۷}$
لوله با سایز نشتی بزرگ (۵۰ – ۱۵۰ mm)	سایز لوله	۲ اینچ	۳ اینچ	۶ اینچ	۱۰ اینچ	۲۰ اینچ	۲۴ اینچ	۳۰ اینچ
	تکرارپذیری	۰	$۳/۸۵\times۱۰^{-۸}$	$۷/۷\times۱۰^{-۸}$	$۵/۱۶\times۱۰^{-۷}$	$۳/۲\times۱۰^{-۸}$	۳×۱۰^{-۸}	$۲/۷\times۱۰^{-۸}$
لوله با پارگی (>۱۵۰mm)	سایز لوله	۲ اینچ	۳ اینچ	۶ اینچ	۱۰ اینچ	۲۰ اینچ	۲۴ اینچ	۳۰ اینچ
	تکرارپذیری	۰	۰	۰	$۰/۶۶\times۱۰^{-۷}$	$۸/۶\times۱۰^{-۹}$	$۸/۱\times۱۰^{-۹}$	$۶/۷\times۱۰^{-۹}$

جدول ۵. تکرارپذیری اتصالات مسیر ورودی و خروجی برحسب سایز نشتی

مسیر	سایز نشتی	شیرهای دستی	شیرهای اتوماتیک	فلنج	لوله	مخزن
ورودی	(۱ – ۱۰ mm)	۶/۹۲ ×۱۰ $^{-۳}$	۵/۱۱۲ ×۱۰ $^{-۴}$	۲/۷۳۱ ×۱۰ $^{-۲}$	۴/۴۲ ×۱۰ $^{-۴}$	۲/۹ ×۱۰ $^{-۵}$
	(۱۰ – ۵۰ mm)	۲/۴۷۵ ×۱۰ $^{-۱}$	۲/۷۷ ×۱۰ $^{-۳}$	۲/۴۶۲ ×۱۰ $^{-۲}$	۹/۱۲ ×۱۰ $^{-۵}$	۱/۹ ×۱۰ $^{-۴}$
	(۵۰ – ۱۵۰ mm)	۸/۹ ×۱۰ $^{-۴}$	۴/۷۹ ×۱۰ $^{-۴}$	۱/۲۵۴ ×۱۰ $^{-۳}$	۸/۱ ×۱۰ $^{-۶}$	۷/۸ ×۱۰ $^{-۵}$
	(> ۱۵۰mm)	۶/۹ ×۱۰ $^{-۶}$	۴/۷۹ ×۱۰ $^{-۶}$	۱/۰۱۷ ×۱۰ $^{-۵}$	۲ ×۱۰ $^{-۶}$	۱/۴۸ ×۱۰ $^{-۴}$
خروجی	(۱ – ۱۰ mm)	۲/۸ ×۱۰ $^{-۵}$	۷/۶۶ ×۱۰ $^{-۴}$	۱/۲۹۶ ×۱۰ $^{-۲}$	۴ ×۱۰ $^{-۴}$	۰
	(۱۰ – ۵۰ mm)	۱/۱۶ ×۱۰ $^{-۵}$	۲/۸۳ ×۱۰ $^{-۳}$	۱/۰۳۴ ×۱۰ $^{-۲}$	۸/۱۶ ×۱۰ $^{-۵}$	۰
	(۵۰ – ۱۵۰ mm)	۰	۴/۸۶ ×۱۰ $^{-۴}$	۹/۸ ×۱۰ $^{-۴}$	۷/۲۲ ×۱۰ $^{-۶}$	۰
	(> ۱۵۰mm)	۰	۷/۱۴ ×۱۰ $^{-۶}$	۱/۰۵ ×۱۰ $^{-۵}$	۱/۷۴ ×۱۰ $^{-۶}$	۰

جدول ۶. تکرارپذیری کل برای اتصالات مسیر سوخت برحسب سایز نشتی

سایز نشتی	تکرارپذیری کل مسیر سوخت	تکرارپذیری کل مسیر ورودی	تکرارپذیری کل مسیر خروجی	تکرارپذیری کل مربوط به سناریو شماره یک	تکرارپذیری کل مربوط به سناریو شماره دو
(۱ – ۱۰ mm)	۲/۹۴۵ ×۱۰ $^{-۳}$	۳/۵۲ ×۱۰ $^{-۲}$	۱/۴۱۵ ×۱۰ $^{-۲}$	۳/۶۶۷۲۵ ×۱۰ $^{-۲}$	۱/۵۹۷۲۵ ×۱۰ $^{-۲}$
(۱۰ – ۵۰ mm)	۱/۲۷۳ ×۱۰ $^{-۳}$	۲/۷۵۲ ×۱۰ $^{-۱}$	۱/۳۲۶ ×۱۰ $^{-۲}$	۲۷/۵۸۳۶۵ ×۱۰ $^{-۲}$	۱/۳۸۹۶۵ ×۱۰ $^{-۲}$
(۵۰ – ۱۵۰ mm)	۴/۲۵۶ ×۱۰ $^{-۴}$	۲/۷۱ ×۱۰ $^{-۳}$	۷/۳۷ ×۱۰ $^{-۲}$	۲/۹۲۲۸ ×۱۰ $^{-۳}$	۷/۳۹۱۲۸ ×۱۰ $^{-۲}$
(> ۱۵۰mm)	۷/۴ ×۱۰ $^{-۵}$	۱/۷۲ ×۱۰ $^{-۴}$	۱/۹۴ ×۱۰ $^{-۵}$	۲/۰۹ ×۱۰ $^{-۴}$	۵/۶۴ ×۱۰ $^{-۵}$

جدول ۷-تکرارپذیری اتصالات مسیر سوخت برحسب سایز نشتی

سایز نشتی	شیرهای دستی	فلنج	لوله	مخزن
(۱ – ۱۰ mm)	۸/۲۶۶ ×۱۰ $^{-۵}$	۳/۴۶۹ ×۱۰ $^{-۴}$	۲/۵۰۱۲ ×۱۰ $^{-۳}$	۱/۴۵ ×۱۰ $^{-۵}$
سایز نشتی	شیرهای دستی	فلنج	لوله	مخزن
(۱۰ – ۵۰ mm)	۴/۱۴۷۳ ×۱۰ $^{-۴}$	۹/۸۷ ×۱۰ $^{-۵}$	۶/۶۴۸ ×۱۰ $^{-۴}$	۹/۵ ×۱۰ $^{-۵}$
سایز نشتی	شیرهای دستی	فلنج	لوله	مخزن
(۵۰ – ۱۵۰ mm)	۴/۸۸۳ ×۱۰ $^{-۶}$	۳/۶۱۰۸ ×۱۰ $^{-۴}$	۲/۰۶ ×۱۰ $^{-۵}$	۳/۹ ×۱۰ $^{-۵}$
سایز نشتی	شیرهای دستی	فلنج	لوله	مخزن
(> ۱۵۰mm)	۰	۰	۰	۷/۴ ×۱۰ $^{-۵}$

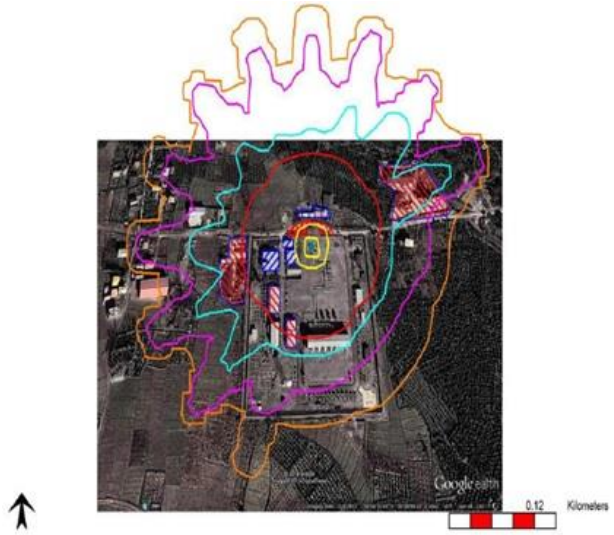
جدول ۸- تکرارپذیری مخازن با قطر بزرگ‌تر از ۱۵۰ میلی‌متر در پالایشگاه پارس جنوبی برحسب سایز نشتی

مخازن (اسکرابرها) با قطر mm ۱۵۰<	سایز نشتی	کوچک (۱ – ۱۰ mm)
	تکرارپذیری	۱/۴۵ ×۱۰ $^{-۴}$
	سایز نشتی	متوسط (۱۰ – ۵۰ mm)
	تکرارپذیری	۹/۵ ×۱۰ $^{-۵}$
	سایز نشتی	بزرگ (۵۰ – ۱۵۰ mm)
	تکرارپذیری	۳/۹ ×۱۰ $^{-۵}$
	سایز نشتی	پارگی (> ۱۵۰mm)
	تکرارپذیری	۷/۴ ×۱۰ $^{-۵}$

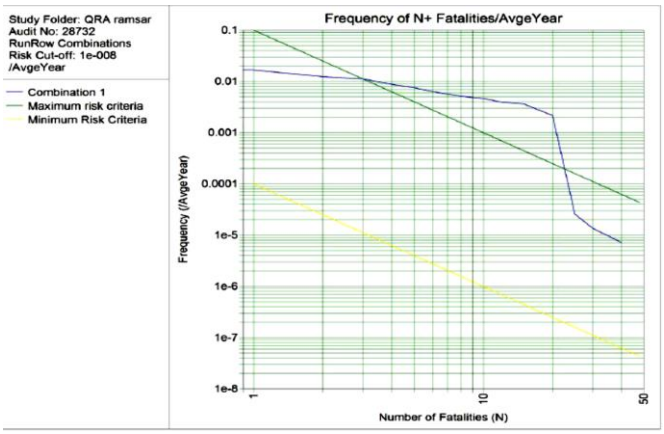
مدل‌سازی نرم‌افزار PHAST

منظور از شرایط آب و هوایی ۱ و ۲ و ۳ در اشکال مربوط به نتایج حاصل از مدل‌سازی به‌وسیله نرم‌افزار شرایط آب و هوایی ۱ و ۲ و ۳ مربوط است به آنچه‌که در نرم‌افزار تعریف شده است و جهت ارزیابی کمی ریسک مورد استفاده قرار می‌گیرد و تفاوت آن‌ها در حالت پایداری پاسکویل، سرعت باد و ... است. منظور از حالت پایداری B، D، C در اشکال مربوط به نتایج حاصل از مدل‌سازی به‌وسیله نرم‌افزار است. نمودار کانتور ریسک فردی حاصل از ترکیب دو سناریو شیر ورودی و شیر خروجی است که نشان‌دهنده میزان مرگ‌ومیر در سال در محدوده‌های مشخص‌شده است. باید این نکته را یادآور شد که تمامی نقاطی که روی هر یک از خطوط رنگی (هم ریسک) قرار گرفته‌اند دارای عدد ریسک یکسانی می‌باشند. نمودار ریسک جمعی از ترکیب تکرارپذیری و تعداد تلفات در سال تشکیل شده است. خط سبز رنگ موجود در نمودار، نشان دهنده حد بالای ریسک (HIGH RISK) و خط زرد رنگ موجود در نمودار، حد پایین ریسک (LOW RISK) را نشان می‌دهد و ما بین این دو خط، منطقه متوسط (ALARP) نامیده می‌شود. خط آبی رنگ که ریسک جمعی پالایشگاه پارس جنوبی را نشان می‌دهد و توسط نرم‌افزار محاسبه شده، در محدوده حد بالا و حد متوسط قرار دارد و این بدین معناست که ریسک جمعی منطقه تحت بررسی بالا است. ریسک جمعی در این تحقیق با داده‌های ریسک جمعی کشور انگلستان قیاس شده است. محدوده پوشش داده شده با آتش ناگهانی در انواع شرایط آب و هوایی (۱ و ۲ و ۳) و انواع حالات پایداری (B، D، C)، در این اشکال خطوط دایره‌ای شکل، نشان دهنده محدوده پوشش داده شده با آتش ناگهانی در جهت وزش باد و در خلاف جهت وزش باد می‌باشند. شایان ذکر است در ترسیم این خطوط میزان غلظت به‌صورت حداقل و حداکثر در سایزهای نشتی مورد بررسی، لحاظ شده است. نمودار میزان تشعشع برحسب فاصله برای آتش فورانی، در انواع شرایط آب و هوایی (۱ و ۲ و ۳) و انواع حالات پایداری (B، D، C)، در این نمودار هر یک از خطوط رنگی، سایزهای نشتی مختلف را نشان می‌دهد که میزان تشعشع ناشی از آتش فورانی را در فواصل معین نمایش می‌دهد. محدوده آتش ناگهانی، در انواع شرایط آب و هوایی (۱ و ۲ و ۳) و انواع حالات پایداری (B، D، C)، خطوط رنگی دایره‌ای شکل، نشان‌دهنده محدوده اثرگذاری آتش ناگهانی در انواع سایزهای نشتی و غلظت‌های ناشی از آن است. محدوده آتش فورانی، در انواع شرایط آب و هوایی (۱ و ۲ و ۳) و انواع

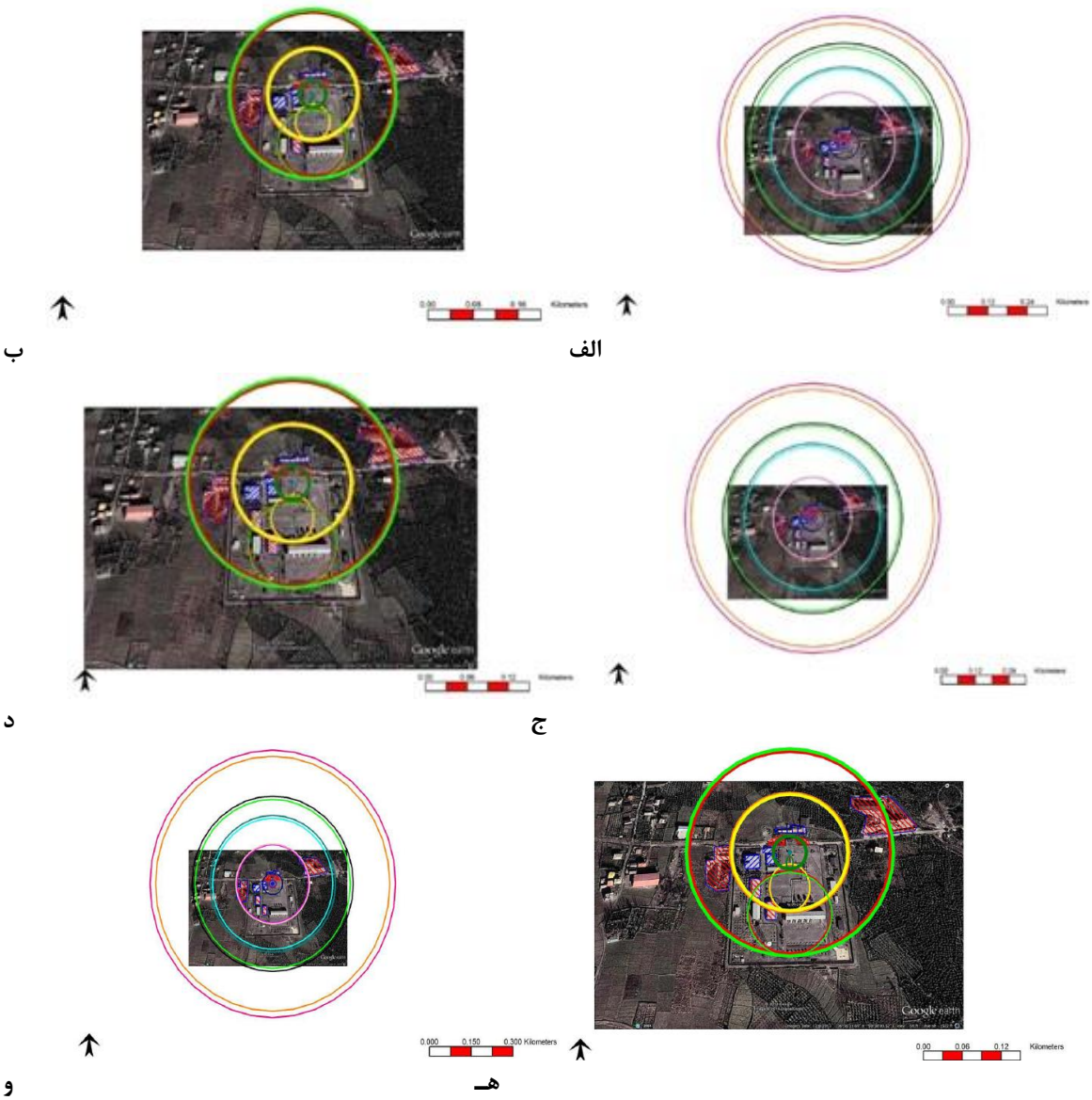
حالات پایداری (B، C، D)، خطوط رنگی دایره‌ای شکل، نشان‌دهنده محدوده اثرگذاری آتش فورانی با توجه به میزان تشعشع می‌باشد. نتایج مربوط به مخازن گاز پالایشگاه‌های پارس جنوبی نشان داد که از میان نشتی‌ها، نشتی مربوط به فلنج شیر ورودی و فلنج شیر خروجی، با توجه به موقعیت مکانی آن‌ها (نزدیکی به پارکینگ ماشین‌ها و جاده تردد وسایل نقلیه و همچنین مسیر تردد افراد و ساختمان‌های اطراف آن) از اهمیت بیشتری برخوردار است، به‌طوری‌که نشتی مربوط به فلنج ورودی و خروجی جدید ایستگاه در صورتی‌که منجربه آتش‌سوزی شود، در صورت بزرگ بودن سایز نشتی می‌تواند محدوده زیادی را تحت تأثیر قرار دهد. به این ترتیب از بین سناریوهای بررسی شده دو سناریوی مربوط به نشتی فلنج شیر اصلی ورودی و فلنج شیر خروجی جدید محتمل‌تر بوده و مورد نظر است. در سناریوی یک، فشار ورودی گاز ۴۰ بار و دمای آن ۱۹ درجه سانتی‌گراد است و اندازه اتصال ۳۰ اینچ است. در سناریوی دو، فشار خروجی گاز ۴۵ بار و دمای آن ۳۵ درجه سانتی‌گراد است و اندازه اتصال ۳۰ اینچ است. در ادامه نمودارهای مربوط به هر دو سناریو در سه شرایط آب و هوایی مورد بیان‌شده است. شکل‌های ۱، ۲ و ۳ سناریوهای شیر ورودی و خروجی اصلی ایستگاه در سه شرایط آب و هوایی مربوط به ایزوله‌سازی مسیر در ۴۰ ثانیه را نشان می‌دهد. سناریوهای شیر ورودی و خروجی اصلی ایستگاه در سه شرایط آب و هوایی مربوط به ایزوله‌سازی مسیر در ۲۰ دقیقه نیز در شکل‌های ۴، ۵، ۶ ارائه شده است.



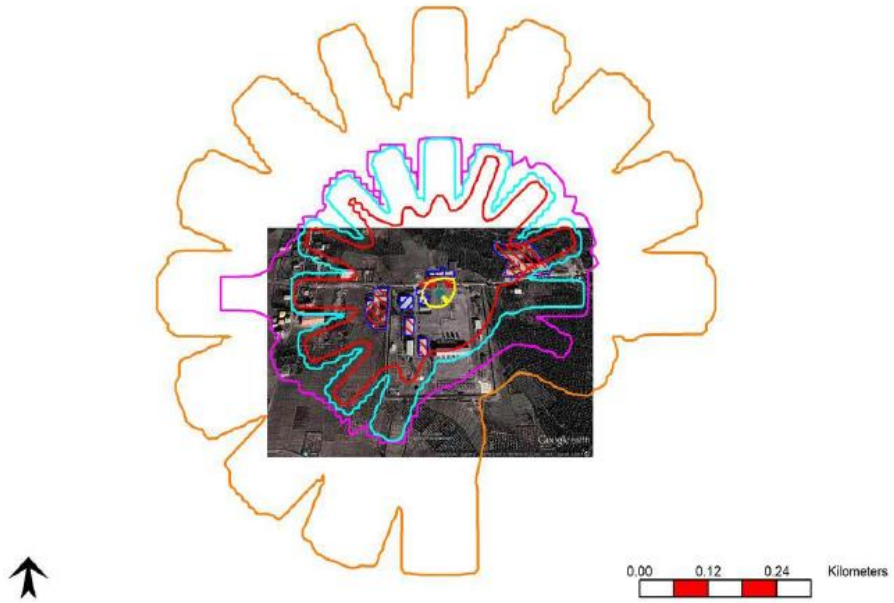
شکل ۱- نمودار کانتور ریسک فردی سناریوهای شیر ورودی و خروجی اصلی ایستگاه در سه شرایط آب و هوایی مربوط به ایزوله‌سازی مسیر در ۴۰ ثانیه



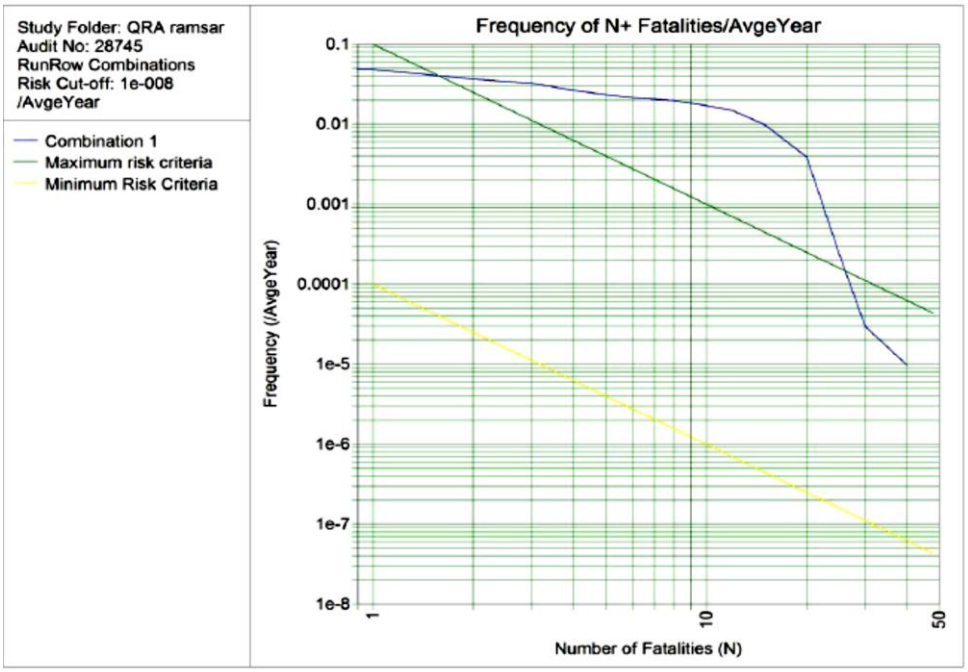
شکل ۲- نمودار ریسک جمعی سناریوهای شیر ورودی و خروجی اصلی ایستگاه در سه شرایط آب و هوایی مربوط به ایزوله‌سازی مسیر در ۴۰ ثانیه



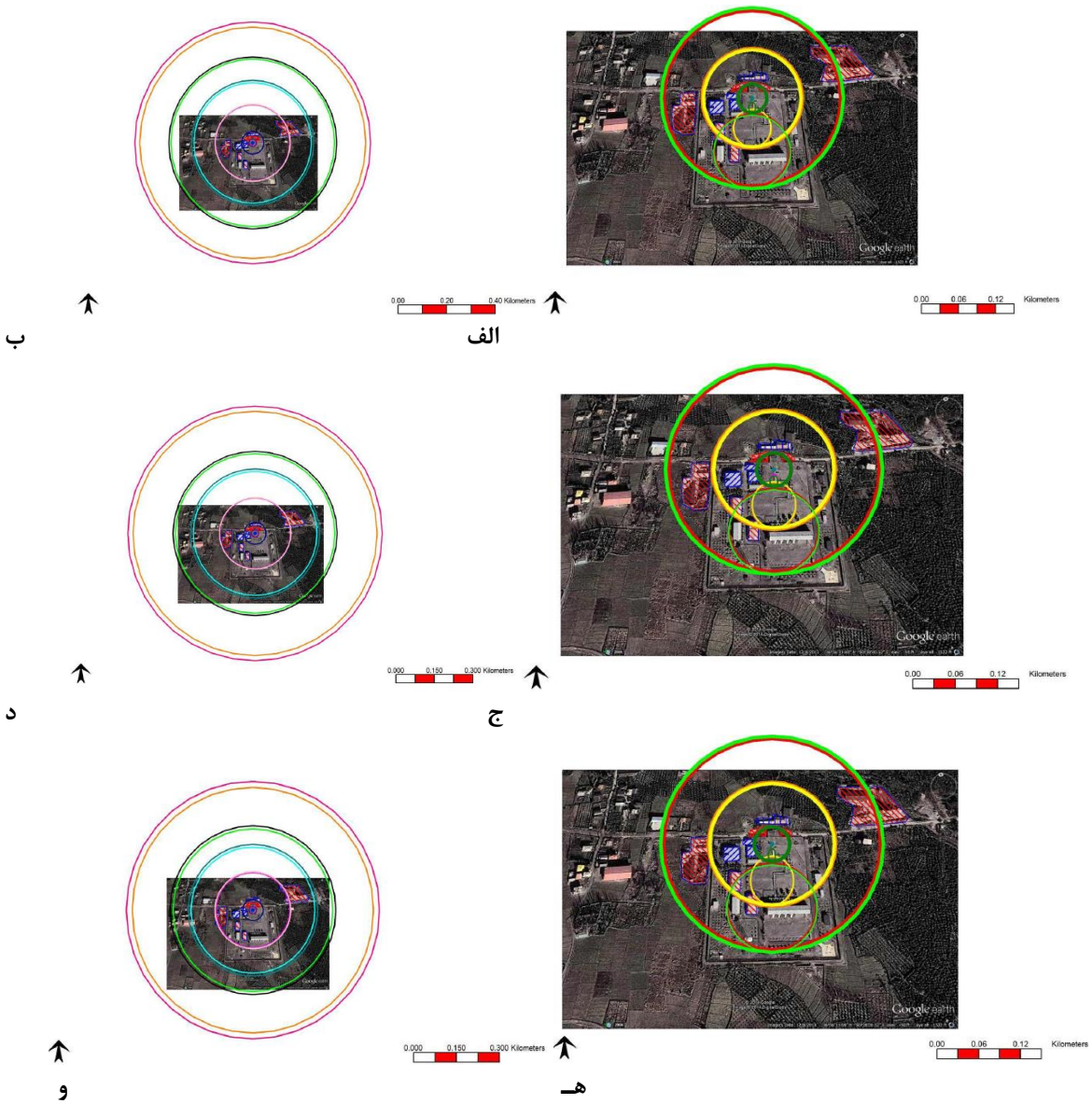
شکل ۳- الف. محدوده آتش ناگهانی در شرایط آب و هوایی ۱ حالت پایداری B ، ب. محدوده آتش فورانی در شرایط آب و هوایی ۱ حالت پایداری B، ج. محدوده آتش ناگهانی در شرایط آب و هوایی ۲ حالت پایداری D، د. محدوده آتش فورانی در شرایط آب و هوایی ۲ حالت پایداری D، هـ. محدوده آتش ناگهانی در شرایط آب و هوایی ۳ حالت پایداری C، و. محدوده آتش فورانی در شرایط آب و هوایی ۳ حالت پایداری C



شکل ۴- نمودار کانتور ریسک فردی سناریوهای شیر ورودی و خروجی اصلی ایستگاه در سه شرایط آب و هوایی مربوط به ایزوله‌سازی مسیر در ۲۰ دقیقه



شکل ۵- نمودار ریسک جمعی سناریوهای شیر ورودی و خروجی اصلی ایستگاه در سه شرایط آب و هوایی مربوط به ایزوله‌سازی مسیر در ۲۰ دقیقه



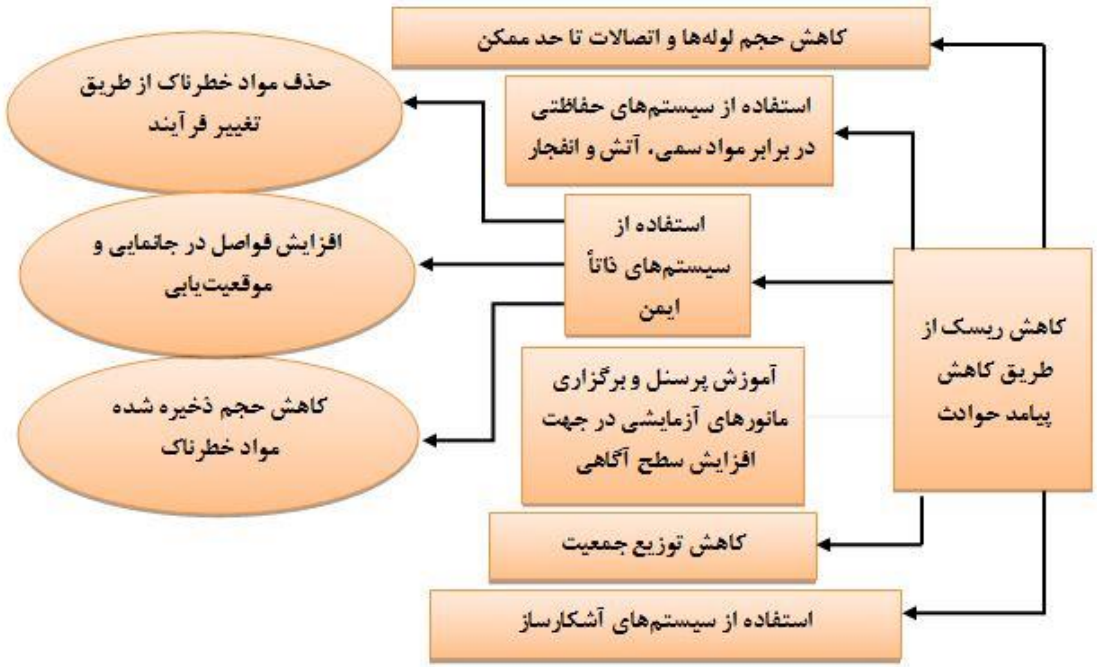
شکل ۶- الف. محدوده آتش ناگهانی در شرایط آب‌وهوایی ۱ حالت پایداری B، ب. محدوده آتش فورانی در شرایط آب‌وهوایی ۱ حالت پایداری B، ج. محدوده آتش ناگهانی در شرایط آب‌وهوایی ۲ حالت پایداری D، د. محدوده آتش فورانی در شرایط آب‌وهوایی ۲ حالت پایداری D، هـ. محدوده آتش ناگهانی در شرایط آب و هوایی ۳ حالت پایداری C، و. محدوده آتش فورانی در شرایط آب و هوایی ۳ حالت پایداری C

بحث

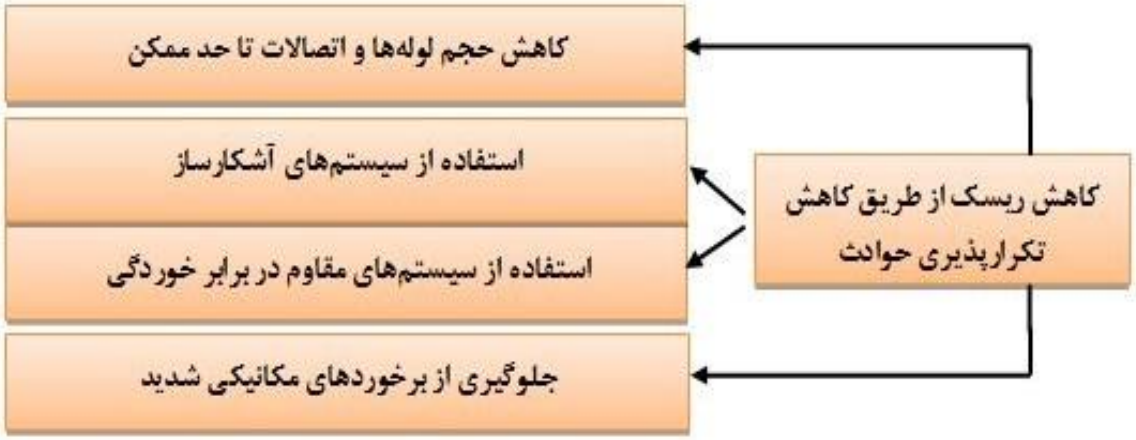
در این تحقیق، به‌منظور پیاده‌سازی محدوده اثر دو نوع آتش Flash Fire و Jet Fire و تعیین ریسک فردی و جمعی مربوط به مخازن گاز پالایشگاه‌های پارس جنوبی، از روش ارزیابی کمی ریسک با استفاده از نرم‌افزار PHAST استفاده شد. در مرحله محاسبه و ارزیابی ریسک از ترکیب پیامد و تکرارپذیری سناریوها به‌منظور تعیین ریسک استفاده می‌شود. این ریسک ابتدا برای پیامدهای مختلف ناشی از هر سناریو تعیین شده و سپس از طریق جمع‌کردن آن‌ها یک ریسک کلی برای هر سناریو به‌دست می‌آید. بیشتر تحقیقات و مطالعات انجام گرفته در زمینه ارزیابی کمی ریسک خطوط لوله شبکه گاز طبیعی شهری با استفاده از اطلاعات جغرافیایی سیستم بوده و یا اگر مطالعه‌ای بر روی یک ایستگاه تقویت صورت گرفته باشد با روشی غیر از QRA صورت پذیرفته است، یا بیشتر به بحث محیط‌زیستی آن

توجه شده است. در این تحقیق سعی شده که تا آنجا که امکان دارد با تکیه‌بر اطلاعات کامل و دقیق از جمله محاسبه تعداد اتصالات موجود در مسیر سناریوهای تعیین‌شده مانند تعداد شیرها (دستی و اتوماتیک)، فلنج‌ها، لوله‌ها و مخازن که ممکن است در سایزهای مختلف وجود داشته باشند و همچنین محاسبه تکرارپذیری این اتصالات از مراجع و منابع معتبر دنیا، بررسی شرایط آب و هوایی از قبیل دمای محیط، رطوبت نسبی محیط، سرعت و جهت وزش باد، جهت وزش باد غالب، میزان تشعشع خورشید، بررسی شرایط فرآیندی از قبیل دما، فشار، فاز و ترکیب درصد ماده موجود در فرآیند، طرح جانمایی ساختمان‌های ایستگاه، توزیع جمعیت در ایستگاه، نوع سناریو (نشتی)، محل وقوع سناریو، اندازه نشتی، ارتفاع نشتی، جهت نشتی، مقدار کل جرم تخلیه شده در اثر نشتی برحسب کیلوگرم، محل وقوع جرقه، احتمال وقوع جرقه و اطلاعاتی از این دست که در مدل توسط نرم‌افزار مورد نیاز است، روند ارزیابی ریسک فردی و جمعی در صورت وقوع رخداد نشتی در پالایشگاه پارس جنوبی در جهت کاهش یا حذف خطرات مربوط به آن مشخص گردد. در این تحقیق با توجه به کاربردهای اصلی که مدنظر است، یعنی تعیین محدوده اثر آتش‌های محتمل، انتشار گاز قابل اشتعال و نیز نمودار ریسک فردی و جمعی، نتایج حاصل شده در غالب نمودارهای مختلف بیان می‌گردد. همچنین سوابق موجود در واحد فرآیندی و واحدهای مشابه آن، می‌توانند منبع اطلاعاتی بسیار مفیدی در محاسبه تکرارپذیری یک حادثه باشد و مورد کاربرد واقع شود. در این روش همه حوادث و اتفاقات در یک واحد فرآیندی و واحدهای مشابه جمع‌آوری شده و با تقسیم تعداد هر حادثه مشخص، مثل پارگی یک لوله بر بازه زمانی که این حوادث در آن رخ داده‌اند، میزان تکرارپذیری آن محاسبه می‌گردد. هر چه تعداد واحدهای مورد بررسی بیشتر باشد اعداد به‌دست آمده دقیق‌تر و به واقعیت نزدیک‌تر و کاربردی‌تر خواهند بود. در این تحقیق، مراحل مختلف روش ارزیابی کمی ریسک بر روی در پالایشگاه پارس جنوبی پیاده‌سازی شده است. با توجه به موضوع بحث یکی از راهکارهای مناسب در جهت کنترل و کاهش، کنترل و کاهش از طریق کاهش پیامد و تکرارپذیری حوادثی از این دست است. در شکل‌های ۹ و ۱۰ راه‌های کنترل و کاهش ریسک به‌صورت کلی بیان‌شده است.

با توجه به طراحی ایستگاه، شرایط آب و هوایی، شرایط فرآیندی و شناخت مخاطرات، در جهت کنترل و کاهش ریسک از طریق روش کاهش پیامد که در این تحقیق بیشتر مدنظر است، به ترتیب ذیل به بیان مشکلات و راه‌حل‌های مربوطه پرداخته می‌شود. به دلیل وجود گروه‌های مختلف از نظر رسته کاری در پالایشگاه پارس جنوبی و آشنا نبودن برخی از آن‌ها با محیط‌های فنی و خطرات بالقوه موجود در این محیط‌ها و پیامدهای ناگوار ناشی از بی‌اعتنایی به این مخاطرات، این امر می‌تواند به‌نوعی یک خطر بالقوه برای نیروی انسانی شاغل در آن محیط صنعتی محسوب شود و می‌توان با برگزاری دوره‌های آموزشی و آشنایی مقدماتی با محیط‌های فنی و خطرات بالقوه موجود در این محیط‌ها و پیامدهای ناگوار ناشی از بی‌اعتنایی به این مخاطرات، برای کارکنان غیر فنی در پالایشگاه پارس جنوبی ریسک این خطرات را کاهش داد. وجود نشتی در فلنج ولو ورودی و خروجی گاز که مخاطره‌ای جدی است و برطرف کردن آن مستلزم صرف زمان، استفاده از نیروی انسانی و تحمل ریسک بالای محیط کار است. بنابراین، نصب Insulating Joint در مسیر ورودی و خروجی گاز توصیه می‌شود. این امر می‌تواند باعث حذف فلنج‌ها به‌کار رفته در این مسیر گردد که این کار خود مسئله مهمی در جهت کم کردن اتصالات جهت جلوگیری از افزایش ریسک از طریق کاهش تکرارپذیری حوادث است. از طرفی به‌دلیل گستردگی محدوده اثر ناشی از آتش‌سوزی و احتمال انفجار در زمان وقوع نشتی‌هایی با قطر بزرگ و تحت تأثیر قرار گرفتن محل‌های صنعتی و روستایی اطراف ایستگاه که دارای جمعیت انسانی هستند، باید حریم و فاصله مناسب از محل ایستگاه حفظ و همچنین تمهیدات لازم جهت جلوگیری از شدت اثر انفجار و آتش‌سوزی احتمالی با به کار بردن تجهیزات مناسب ساختمانی از جمله درب و شیشه‌های ضد انفجار و آتش اجرا گردد و همچنین محلی ایمن جهت تجمع افراد در زمان وقوع حادثه در نظر گرفته شود.



شکل ۹- روش‌های کنترل کاهش ریسک از طریق کاهش پیامد حوادث



شکل ۱۰- روش‌های کنترل کاهش ریسک از طریق کاهش تکرارپذیری حوادث

در تحقیقی بر روی پالایشگاه ستاره خلیج فارس بر اساس مدل‌سازی نرم‌افزار PHAST، در jet fire لاین خروجی کوره ۱۰۱ حداقل فاصله از محل حادثه باید ۱۲۰ متر در نظر گرفته شود که با توجه به استانداردهای مربوط به شار حرارتی تا فاصله ۶۶ متری احتمال مرگ افراد ۱۰۰٪ خواهد بود. در ضمن با توجه به موج فشاری ایجاد شده ناشی از انفجار محدوده گسترده مستعد flash fire در پارگی لاین خروجی کوره ۱۰۱ که ایستگاه آتش‌نشانی را نیز تحت تاثیر قرار داده که نتایج این تحقیق را تایید می‌کند (جعفری و همکاران، ۱۴۰۱). در تحقیقی به‌منظور تعیین حداکثر ریسک محتمل در شرایط ذخیره‌ی پروپان پالایشگاه هفتم پارس جنوبی در مخزنی با حجم ۴۵۰۰۰ متر مکعب، دمای ۴۶- درجه‌ی سانتی‌گراد و فشار ۱/۰۱ بار دو پدیده‌ی گسست مخزن و تخلیه‌ی کل موجودی مخزن در یک زمان معین بررسی شد. در اثر گسست مخزن پدیده‌های انتشار ابر ناشی از غلظت پروپان، آتش استخری تأخیر یافته، آتش ناگهانی و تبخیر حاصل از استخر ایجاد شده و در اثر تخلیه‌ی کل موجودی مخزن در یک زمان معین پدیده‌های انتشار ابر ناشی از غلظت پروپان، آتش استخری

تأخیر یافته و سریع، انفجار، آتش ناگهانی و تبخیر حاصل از استخر ایجاد شده رخ خواهد داد (نعمتی و همکاران، ۱۳۹۸). نتایج شبیه‌سازی نشت بنزن در واحد کک‌سازی کارخانه ذوب‌آهن اصفهان به کمک نرم افزار ALOHA نشان داد که جدی‌ترین خطر تهدید کننده کارکنان غلظت بنزن وارده به محیط هست و با توجه به‌قرار داشتن اتاق کنترل در ۷۲ متری از مخزن مربوطه، تا حدود ۱۶۹ متر اطراف مخزن غلظت بخارات بنزن به ۸۰۰ قسمت در میلیون می‌رسید. ازاین‌رو افرادی که در این محدوده بودند در هنگام رخداد حادثهٔ فرضی توان فرار نداشتند. همچنین خطوط تراز گرمای تابشی مربوط به شبیه‌سازی آتش استخری حاصل از انتشار بنزن نشان داد که در سناریوهای نشتی با قطر ۵ میلی‌متر، ۲۵ میلی‌متر و ۱۰۰ میلی‌متر به ترتیب تا شعاع کمتر از ۱۰، ۱۴ و ۵۱ متر تحت تأثیر آتش قرار می‌گیرند. باوجود خطا در نتایج حاصل از مدل‌سازی ریاضی و تبیین سناریوهای محتمل، شبیه‌سازی نشت بنزن و پیامدهای حاصل از آن، انجام شده می‌تواند در تدوین استراتژی‌های پیشگیرانه و طرح‌ریزی شرایط اضطراری مورد استفاده قرار گیرد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۸).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این مدل‌سازی نشان داد که وضعیت فعلی در پالایشگاه پارس جنوبی از جنبه‌های مختلف ایمنی چگونه است. با توجه به کاربردهای اصلی که در این پروژه مدنظر بود یعنی تعیین محدوده اثر آتش‌های محتمل، انتشار گاز قابل اشتعال و نیز نمودار ریسک فردی و جمعی، نتایج حاصل‌شده در غالب نمودارهای مختلف بیان گردیده است. با توجه به شرایط در پالایشگاه پارس جنوبی ازنظر شرایط آب و هوایی منطقه، سرعت و جهت وزش باد، جهت وزش باد غالب، جانمایی ساختمان‌های موجود در ایستگاه و توزیع جمعیتی آن، می‌توان نتیجه گرفت که در صورت وقوع رخداد نشتی، پیامد آن به‌صورت انتشار گاز قابل اشتعال و دو نوع آتش محتمل Jet Fire وFlash Fire است، از محدوده معین موردنظر خارج بوده و این امر می‌تواند تبعات جبران‌ناپذیری جانی و مالی به همراه داشته باشد. لذا باید با بررسی‌های دقیق و کارشناسی شده نسبت به کنترل و کاهش ریسک ناشی از این حوادث اقدامات جدی صورت پذیرد. به علت گستردگی مخاطرات مربوط به دستگاه‌های موجود در فرآیند انتقال گاز و همچنین بحث مهم جانمایی ساختمان‌های موجود در پالایشگاه پارس جنوبی، در این پروژه تنها به برخی از محتمل‌ترین حوادث اشاره شد و هنوز قسمت‌های بسیاری در پالایشگاه پارس جنوبی وجود دارند که می‌توان در آن خطرات بالقوه دیگری را در نظر گرفت و روی شدت پیامدهای آن مطالعه نمود و نیز روش‌های متنوعی به‌غیراز روش پیاده شده در این پروژه وجود دارد که می‌توان با آن‌ها به ارزیابی ریسک ناشی از حوادث فرآیندی در پالایشگاه پرداخت. برای مثال دانشجویانی که علاقه‌مند به انجام کار تحقیقاتی در زمینه ارزیابی ریسک هستند، می‌توانند بر روی تعیین فواصل مناسب بین مناطق آتش واحدهای مستقل فرآیندی (کمپرسورها)، تعیین موقعیت مناسب آشکارسازهای گاز قابل اشتعال، طرح جانمایی ساختمان‌های در پالایشگاه با استانداردهای روز دنیا و مسائلی ازاین‌دست به‌عنوان پروژه پایانی تحقیق نمایند.

منابع

- باقری، مجتبی. بدری، ناصر. رشتچیان، داود و اقبالیان، هوشنگ. (۱۳۹۲). تعیین حریم ایمن خطوط لوله انتقال گاز ترش به روش ارزیابی کمی ریسک. نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، ۳۲ (۲): ۷۱-۵۶.
- جعفری، مهدی، دوازده امامی، سینا، ولایت زاده، محمد. (۱۴۰۱). پیامدهای حریق و انفجار در واحد تقطیر پالایشگاه میعانات گازی ستاره خلیج فارس با استفاده از نرم افزار PHAST. فصلنامه بهداشت کار و ارتقاء سلامت، ۶ (۱): ۲۸-۱۳.
- شاهدی علی آبادی، س.، عصاری، م.ج.، کلات پور، ا.، زارعی، ا. و محمدفام، ا. (۱۳۹۵). ارزیابی پیامد حریق مخازن گاز متان در یک پالایشگاه گاز. مجله مهندسی بهداشت حرفه ای، ۳ (۱): ۵۹-۵۱.
- شیرمردی ابراهیم، دوازده امامی سینا، سلطان زاده احمد، ولایت زاده محمد. (۱۳۹۸). بررسی علل خطای انسانی در واحدهای فرآیندی؛مطالعه ی موردی: فاز- ۱۳ پارس جنوبی. ماهنامه علمی اکتشاف و تولید نفت و گاز، ۱۳۹۸ (۱۶۸): ۶۰-۵۵.
- عمادی، جواد؛ امین‌صالحی، فرناز؛ قربانی‌نیا، زهرا؛ نوروز، عارف (۱۴۰۰). مدل‌سازی پیامد نشت H_2S در یکی از درام‌های واحد شیرین‌سازی گاز ترش در پالایشگاه توسط نرم‌افزار PHAST (مطالعه موردی: فاز ۱۳ پارس جنوبی). چهارمین همایش بین‌المللی توسعه فناوری در نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی، تهران. ۱۳ صفحه.
- قاسمی فخرالدین، کردستانی محمد، محمدفام ایرج. (۱۴۰۰). ارزیابی ریسک مخازن پالایشگاه گاز ایلام با استفاده از شاخص خطر وزن شده ایمنی و ارائه راهکارهای کنترلی موردنیاز. نشریه سلامت کار ایران، ۱۸ (۱): ۳۰۱-۲۸۵.

- کاشی، اسلام. بهمن پور، هومن و حبیب پور، سلطانعلی. (۱۳۹۱). ارزیابی ریسک حوادث فرآیندی در پالایشگاه گاز LGN ۱۲۰۰ گچساران، چهاردهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران، تهران، ۵ صفحه.
- کریمی، سیدرضا. (۱۴۰۰). مدل‌سازی پیامد نشت بنزین از مخازن پالایشگاه با رویکرد مدیریت بحران. فصلنامه مدیریت بحران و وضعیت‌های اضطراری، ۱۳ (۴): ۱۷۳-۱۴۹.
- محمدی، غلامحسین. عظیمی، یوسف. سرخیل، حمید و بداق جمالی، جواد. (۱۳۹۸). مدل‌سازی و ارزیابی پیامد حاصل از نشت بنزن در واحد کک سازی شرکت ذوب‌آهن اصفهان. مجله ارتقای ایمنی و پیشگیری از مصدومیت‌ها، ۷ (۱): ۱۹-۱۰.
- میرزایی علی آبادی مصطفی، رمضانی حسین، کلات پور امید. (۱۴۰۱). ارزیابی کمی ریسک مخازن ذخیره‌سازی میعانات گازی با در نظر گرفتن اثر دومینو. نشریه بهداشت و ایمنی کار، ۱۲ (۱): ۲۲۱-۲۰۴.
- نعمتی علی، دوازده امامی سینا، سلطان‌زاده احمد، ولایت‌زاده محمد. (۱۳۹۸). آنالیز پیامد نشت گاز از مخزن پروپان در یک پالایشگاه گازی به کمک نرم‌افزار PHAST مطالعه ی موردی: پالایشگاه هفتم پارس جنوبی. ماهنامه علمی اکتشاف و تولید نفت و گاز، ۱۳۹۸ (۱۶۸): ۵۴-۴۵.
- ولایت‌زاده، محمد. همدانی، مهدی و دوازده امامی، سینا. (۱۳۹۶). مدل‌سازی پیامد ناشی از انفجار مخزن گاز مایع به کمک نرم‌افزار ALOHA. کنفرانس بین‌المللی کارشناسان صنایع نفت، گاز، پتروشیمی، فولاد و سیمان و پروژه‌های عمرانی، شیراز. ۸ صفحه.
- Boluirian, A., Givehchi, S., & Nasrabadi, M. (2016) A study to design the emergency reaction plan for LPG tanks in 5th refinery, south pars gas-condensate by using phast software. Journal of Fundamental and Applied Sciences, 8(3), 332-344.
- Bucelli, M., Landucci, G., Haugen, S., Paltrinieri, N., & Cozzani, V. (2018) Assessment of safety barriers for the prevention of cascading events in oil and gas offshore installations operating in harsh environment. Ocean Engineering, 158: 171-185.
- Freeman, R. A. (1990) CCPS guidelines for chemical process quantitative risk analysis. Plant/Operations Progress, 9(4), 231-235.
- Jo, Y. D., Park, K. S., Kim, H. S., Kim, J. J., Kim, J. Y., & Ko, J. W. (2010) A quantitative risk analysis method for the natural gas pipeline network. WIT Transactions on Information and Communication Technologies, 43, 195-203.
- Khan, F. I., & Abbasi, S. A. (2001) Risk analysis of a typical chemical industry using ORA procedure. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 14(1), 43-59.
- Ma, L., Cheng, L., & Li, M. (2013) Quantitative risk analysis of urban natural gas pipeline networks using geographical information systems. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 26(6), 1183-1192.
- Ronza, A., Muñoz, M., Carol, S., & Casal, J. (2006) Consequences of major accidents: Assessing the number of injured people. Journal of hazardous materials, 133(1-3), 46-52.
- Sugawa, O., & Sakai, K. (1995) Flame length and width produced by ejected propane gas fuel from a pipe. Fire Safety Science, 2, 411-421.
- Veritas DN. (1998) ARF-activity responsible function. DNV Proprietary Documentation.
- Zhang, L., Wu, S., Zheng, W., & Fan, J. (2018) A dynamic and quantitative risk assessment method with uncertainties for offshore managed pressure drilling phases. Safety science, 104, 39-54.