Semnan University

Journal of Modeling in Engineering

Journal homepage: https://modelling.semnan.ac.ir/

ISSN: 2783-2538

Research Article

Modeling and Evaluation of Fire and Explosion Consequence of Mashad Biogas Power Plant

Mojtaba Komayestani [a] , Mehrab Fallahi Samberan [a,*]

[a] *Department of Chemical Engineering, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran*

PAPER INFO

Paper history:

Received: 2023-10-12
Revised: 2024-05-20
Accepted: 2024-09-09

Keywords:

Safety;
Consequence modeling;
Consequence assessment;
Biogas plant;
PHAST software.

ABSTRACT

The present study is designed with the aim of using a new and accurate method to model and evaluate possible scenarios of fire and explosion in the biogas power plant of Mashhad. In this research, the potential scenarios of leakage and rupture of the equipment were identified using the HAZID method and modeling of the possible consequences was done by considering all the influencing parameters using the PHAST software. In this study, three scenarios with leakage sizes of 5, 25 and 130 mm (complete rupture of pipes) were determined to model the consequences of the power plant. The results of modeling the consequences of the 5 mm leakage scenario showed that the radiation intensity of the explosive fire caused by the release of materials was insignificant (maximum 0.03 kW/m2) and the maximum will continue up to a distance of approximately 2 m. The amount of radiation of this fire in the 25 mm leakage scenario is nearly 2 kW/m2, and its radiation will continue up to a distance of 9 m from the accident site. While the pipeline rupture scenario (130 mm leak) leads to a significant fire eruption. The radiation of this fire in this scenario is close to 26 kW/m2 and its radiation will continue up to a distance of 30 m from the accident site. This amount of radiation is enough to cause serious damage to the people who are in this area

DOI: https://doi.org/10.22075/jme.2024.31924.2542

© 2025 Published by Semnan University Press.
This is an open access article under the CC-BY 4.0 license.(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

*** Corresponding author.**
E-mail address: Mehrab.Fallahi@aut.ac.ir

How to cite this article:
Komayestani, M. and Fallahi, M. (2025). Modeling and Evaluation of Fire and Explosion Consequence of Mashad Biogas Power Plant. Journal of Modeling in Engineering, 23(80), 175-196. doi: 10.22075/jme.2024.31924.2542

مقاله پژوهشی

مدلسازی و ارزیابی پیامد حریق و انفجار نیروگاه بیوگاز مشهد

مجتبی کمایستانی[۱]، محراب فلاحی سامبران[۱،*]

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۷/۲۰
بازنگری مقاله: ۱۴۰۳/۰۲/۳۱
پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۱۹

واژگان کلیدی:
ایمنی،
مدلسازی پیامد،
ارزیابی پیامد،
نیروگاه بیوگاز،
نرم افزار PHAST.

چکیده

مطالعه حاضر با هدف بکارگیری روشی نوین و دقیق جهت مدلسازی و ارزیابی سناریوهای محتمل حریق و انفجار در نیروگاه تولید برق بیوگاز شهر مشهد طراحی شده است. در این مطالعه ابتدا سناریوهای بالقوه نشتی و پارگی تجهیزات با استفاده از روش HAZID شناسایی و مدلسازی پیامدهای ممکن با در نظر گرفتن کلیه پارامترهای تاثیر گذار با استفاده از نرم افزارPHAST انجام شد. در این مطالعه سه سناریو با اندازه نشتی های ۵، ۲۵ و ۱۳۰میلی متر(پارگی کامل لوله ها) برای مدلسازی پیامد نیروگاه تعیین شد. نتایج مدلسازی پیامد سناریو نشتی ۵ میلی متر نشان داد که شدت تشعشع آتش فورانی ناشی از رهایش مواد ناچیز بوده (حداکثر ۰/۰۳ کیلووات بر مترمربع) و حداکثر تا فاصله تقریباً ۲ متر ادامه خواهد داشت. میزان تشعشع این حریق در سناریو نشتی ۲۵ میلی متر، نزدیک ۲ کیلوات بر مترمربع است و تشعشات آن تا فاصله ۹ متری از محل حادثه ادامه خواهد داشت. در حالیکه سناریو پارگی خطوط لوله (نشتی ۱۳۰ میلی متر) منجر به آتش فورانی قابل ملاحظه می گردد. تشعشع این حریق در این سناریو نزدیک به ۲۶ کیلوات بر مترمربع است و تشعشات آن تا فاصله ۳۰ متری از محل حادثه ادامه خواهد داشت. این میزان تشعشع برای ایجاد آسیب جدی و غیر قابل جبران افرادی که در این ناحیه قرار دارند کافی می باشد.

DOI: https://doi.org/10.22075/jme.2024.31924.2542

© 2025 Published by Semnan University Press.
This is an open access article under the CC-BY 4.0 license.(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

۱- مقدمه

امروزه استفاده از روش‌های جدید تولید انرژی که معایب روشهای کلاسیک را نداشته باشند، امری متداول و بسیار روبه رشد در سراسر جهان شده است. از جمله این روش‌ها، تولید انرژی از زیست توده می‌باشد. زیست توده یکی از منابع عمده در میان انواع منابع انرژی است. تعاریف متعدد و گوناگونی از این منابع شده است. تعریف اتحادیه اروپا از زیست توده که در راهنمایEC/2001/77 به تاریخ ۲۷ سپتامبر ۲۰۰۱ میلادی عنوان شده، عبارت است از: "زیست توده عبارت است از اجزا قابل تجزیه زیستی از محصولات، پسماندها و زائدات کشاورزی (شامل موادگیاهی و دامی)، جنگلها و صنایع وابسته و همچنین زائدات صنعتی و شهری قابل تجزیه" [۱, ۲]. زیست توده یک منبع انرژی تجدید پذیر است که از مواد زیستی به دست می‌آید. زیست توده بر پایه کربن است و از مخلوط مولکول‌های آلی، شامل هیدروژن، معمولاً اکسیژن و اغلب نیتروژن و مقدار کمی از دیگر اتمها مانند، فلزات قلیایی، فلزات قلیایی خاکی و فلزات سنگین است. منابع زیست توده شامل ترکیبات آلی با زنجیره بلند می‌باشند که در فرایند هضم به مولکول‌های ساده‌تر تبدیل می‌گردد. حاصل این فرایند گازی قابل اشتعال به نام بیوگاز می‌باشد. بیوگاز از روش تخمیر بی هوازی زیست توده حاصل می‌شود. منابع عمده برای

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: mehrab.fallahi@aut.ac.ir
۱. دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، اهر، ایران

استناد به این مقاله:
کمایستانی، مجتبی و فلاحی، محراب . (۱۴۰۴). مدلسازی و ارزیابی پیامد حریق و انفجار نیروگاه بیوگاز مشهد. مدل سازی در مهندسی، ۲۳(۸۰)، ۱۷۵-۱۹۶.
doi: 10.22075/jme.2024.31924.2542

تولید بیوگاز، فضولات دامی، فاضلاب‌های شهری و صنعتی، زباله و زائدات کشاورزی می‌باشند [۳-۵]. استفاده از بیوگاز به عنوان سوخت پاک و دوستدار محیط زیست، امروزه رو به رشد می باشد. نتایج پتانسیل‌سنجی تولید بیوگاز در ایران نشان می‌دهد که تنها از منابع فوق به طور میانگین، سالیانه ۱۶۱۴۶/۳۵ میلیون مترمکعب بیوگاز (۹۱۷۵ میلیون مترمکعب متان) قابل استحصال می‌باشد. با فرض ارزش حرارتی متان (MJ/m^3 ۳۶/۷) این حجم متان معادل۳/۳۶۷×۱۰۱۷ ژول انرژی خواهد بود. این مقدار نشان دهنده ارزش و پتانسیل قابل توجه این صنعت نوظهور و دوستدارمحیط زیست در تولید انرژی پاک در ایران می باشد [۶-۹]. ترکیب عمده بیوگاز (برجسب درصد) عبارت است از: متان(۵۰-۷۰) ، دی اکیسدکربن (۵۰-۲۵) و نیروژن (۱۰-۰) ، هیدروژن (۱۰-۰)، سولفید هیدروژن (۳-۰)، اکسیژن (۲-۰) [۱۰، ۱۱]. این موضوع پتانسیل بالای بیوگاز در ایجاد سناریوهای حریق، انفجار و مسمومیت ناشی از بیوگاز را نشان می دهد [۱۲-۱۴]. . به عنوان مثال در آلمان حوادث قابل توجهی از جمله حریق و انفجار در این واحدها گزارش شده است. ماهیت قابل اشتعال بالای گازهای تشکیل دهنده بیوگاز، خاصیت سمیت آنها و پتانسیل وقوع حوادث جبران ناپذیر، بهره برداری از این سیستم‌ها را منوط به سخت گیری‌های زیاد در اجرای اصول و استاندارهای ایمنی و بهداشت حرفه ای می نماید [۱۴]. امروزه شناسایی و ارزیابی مخاطرات و ریسک های نوظهور (حریق، انفجار و رهایش مواد سمی) واحدهای بیوگاز یکی از دغدغه اصلی نهادهای دولتی و خصوصی و ذینفعان مرتبط با این واحدهای می‌باشد. نگرانی‌های عمومی ناشی از آسیب‌ها و خسارات حاصل از وقایعی همچون انتشار گازهای سمی، انفجارها و آتش‌سوزی‌های بزرگ، موجب بهبودهایی در قوانین ایمنی ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی شده است. در طبقه‌بندی که جامعه اروپا برای مخاطراتی که در واحدهای صنعتی بیشتر رخ می‌دهد انجام داده است، مخاطرات حریق و انفجار را تحت عنوان "مخاطرات عمده واحدهای صنعتی" طبقه‌بندی نموده است که البته این قابلیت خطر آفرینی بستگی به عواملی چون مقدار و طبیعت شیمیایی مواد دارد.

مطالعه ای تحت عنوان عملیات ایمن واحدهای بیوگاز در ایتالیا در سال ۲۰۱۳ توسط Pietrangeli و همکاران انجام گرفت. در این مطالعه از روش مدل پایپونی و چک لیست ایمنی جهت تحلیل مخاطرات این واحدها استفاده شده است. نتایج مطالعه نشان داده که حریق و انفجار خطرات اصلی واحدهای بیوگاز را تشکیل میدهد. همچنین جهت پیشگیری از این حوادث بایستی اقدامات فنی و سازمانی جهت پیشگیری و کاهش پیامدهای آنها انجام گیرد. چک لیست طراحی شده توانایی کافی جهت استفاده اپراتورها در ارزیابی دورهای ایمنی این واحدها را دارد [۱۵].

مطالعه دیگری با هدف بررسی ریسک های بهداشتی و مواجهه بالقوه در واحدهای تولید برق از زیست توده توسط Rohr و همکاران در سال ۲۰۱۵ در آمریکا انجام شد. ارزیابی مواجهه بالقوه ایمنی و سلامت شغلی در واحدهای تولید برق از زیست توده هنوز به عنوان یکی از نگرانی های متخصصین باقی مانده است. در این مطالعه بعد از بررسی کامل متون علمی منتشر شده در این زمینه، نتایج نشان داد که مواجهه افراد در سه مرحله: قبل از احتراق، در حین احتراق و بعد از ممکن است ایجاد شود. نتایج نشان داده که غلظت گردوغبار (چوب و قابل استنشاق) در این واحدهای بسیار متغیر هست و در بعضی واجد های از حدود تماس شغلی خیلی بالاتر ممکن است افزایش داشته باشد، غلظت اسپور قارچ نیز به همین صورت. نتایج نشان داده در قبل از احتراق مواجهه با ارگانیک های بیوژنیک و بیوآئروسل ها بیشتر است درحالیکه در حین و قبل احتراق مواجهه شبیه آلایندهای سوخت فوسیلی می باشد [۱۶].

همچنین پژوهش دیگری با هدف ارزیابی مخاطرات بالقوه بیوگاز توسط Naja و همکاران در اسلواکی در سال ۲۰۱۲ انجام شد. این مطالعه به تحلیل کیفی و بررسی علمی مخاطرات بالقوه این واحدهای پرداخته است. نتایج این مطالعه نشان که حریق و انفجار مخاطرات اصلی این واحدها هستند و علاوه برآن مخاطرات بهداشت حرفه ای، بیماریهای و آلایندهای زیست محیطی همگی جزء مخاطرات بالقوه ناشی از راه اندازی بیوگازهای میباشد. بنابراین بهره برداری ایمن این واحدهای مستلزم رعایت فواصل ایمن حریق و انفجار، حدود تماس شغلی با آلایندها و جلوگیری از آلودگی های زیست محیطی می‌باشد [۱۷].

در ایران آمار دقیقی از حوادث نیروگاه‌های بیوگاز در دسترس نیست. حادثه چند سال اخیر در واحد بیوگاز شیراز باعث بلعیدن آتش نشانان و مهندسان به اعماق زباله و متاسفانه مرگ چندین تن از زحمت کشان این شهر شد، که این حادثه نشان دهنده مخاطره آمیز بودن فعالیت های

بیوگاز در صورت نادیده گرفتن اصول بهداشت، ایمنی و محیط زیست می‌باشد. با این شرایط تحلیل ایمنی واحدهای بیوگاز به دلیل نداشتن دادهای کافی امکان استفاده از شاخص‌های گذشته نگر را فراهم نمی‌کند، لذا استفاده از شاخص‌های آینده نگر (پیشرو) یکی از ابزارهای مفید برای تحلیل ایمنی این واحدها می‌باشد. در بین شاخص‌های پیشرو، مسئله شناسایی مخاطرات، مدلسازی پیامد و تحلیل ریسک از اهمیت و کارآمدی بالای برای چنین واحدهای دارد [۱۸، ۱۹]. مطالعات مختلف نشان داده است که حریق و انفجار خطرات اصلی واحدهای بیوگاز را تشکیل می دهد [۲۰، ۲۱]. بنابراین انجام مطالعات دقیق مدلسازی و ارزیابی پیامد حریق و انفجار در نیروگاهای بیوگاز جهت طراحی تدابیر ایمنی و جلوگیری از وقوع حوادث فاجعه بار، امروزه امری ضروری بنظر می‌رسد. با پیشرفت تکنولوژی و عظیم‌تر شدن واحدهای فرآیندی مانند نیروگاه‌های بیوگاز، مخاطرات مربوط به این واحدها هم رشد کرده است. در نتیجه توجه جدی به مسائل ایمنی سیستم‌های بیوگاز امری بسیار مهم می باشد. یکی از مطالعات مفیدی در این زمینه مدلسازی رهایش مواد و ارزیابی پیامدهای رهایش آن بروری انسان و تجهیزات می‌باشد، تا اینکه یک برآورد واقعی از میزان خطرناک بودن آن حاصل گردد و براساس نتایج مطالعات مدلسازی پیامد بتوان حفاظهای ایمنی طراحی نمود تا بیشترین حفاظت در برابر تکرار حوادث و کاهش تلفات و خسارت‌های آن ایجاد گردد، یکی از مهمترین اقدامات ایمنی، جهت کاهش میزان تلفات و خسارت رهایش گاز، طرح واکنش در شرایط اضطراری در محیط‌های صنعتی می‌باشد که از نتایج مطالعات مدلسازی به راحتی می‌توان طرح آماده سازی واکنش در شرایط اضطراری طراحی و اجرا نمود. لذا این مطالعه با هدف مدلسازی رهایش گاز و پیامدهای محتمل حریق و انفجار در نیروگاه بیوگاز شهر مشهد طراحی شده است.

هر چند اهمیت، توجه و ضروت شناسایی و کنترل مخاطرات ایمنی(بخصوص حریق و انفجار)، بهداشتی (وجود عوامل زیان آور محیط کار) و زیست محیطی(آلودگی آب و خاک) نیروگاه های تولید برق بیوگاز و واحدهای بیوگاز در متون علمی زیاد اشاره شده است، اما مطالعات علمی محدودی در این زمینه انجام شده است. مطالعات صورت گرفت اغلب پژوهش های سطحی و بیشتر کیفی و بررسی متون علمی بوده و یک مطالعه دقیق با هدف تحلیل، ارزیابی و مدلسازی پیامد حریق، انفجار و رهایش مواد سمی در این واحدها در داخل و خارج مشاهده نشده است. در ایران نیز هیچ مطالعه در این زمینه در این واحدها صورت نگرفته است. بنظر می رسد بخاطر عدم وجود قوانین و استانداردهای ایمنی در این واحدها، و با توسعه روزافزون این واحدها در کشور ما، انجام چنین مطالعاتی میتواند نتایج بسیار ارزشمندی در اختیار نهادهای دولتی، خصوصی، کارفرمایان و متخصصین ایمنی و بهداشت قرار دهد.

در این مطالعه پیامدهای گوناگون ناشی از یک سناریو که می‌تواند سبب تلفات، صدمات جسمی به انسان و آسیب به تجهیزات و ساختمان‌های اطراف شود ارزیابی می‌گردد، هر سناریو به صورت واقعه‌ای مستقل در نظر گرفته شده است. هر سناریو (ایجاد نشتی یا پارگی در یک لوله یا مخازن حاوی ماده اشتعال پذیر) می‌تواند دارای چندین پیامد مشخص (آتش، انفجار، پخش مواد) باشد که این پیامدها نیز با توجه به شرایط مختلفی که سبب تغییر نوع آثار ناشی از آنها می‌شود، به چندین دسته پیامد نهایی آتش ناگهانی، آتش‌فورانی، آتش کروی، انفجار ابر بخار و رهایش مواد تقسیم بندی می‌شود. این شرایط مختلف می‌تواند شرایط آب و هوایی، تغییرات جهت وزش باد، توزیع جمعیت‌های گوناگون، منابع ایجاد جرقه و غیره باشند. برای انجام ارزیابی پیامد روش‌های متنوعی وجود دارد، که ساختار و خروجی های تقریباً مشابهی دارند. اما در جزئیات و تقسیم بندی مراحل، تفاوت‌هایی در آنها وجود دارد. به عنوان روشی مناسب برای ارزیابی پیامدهای ناشی از حوادث محتمل در یک واحد شیمیایی، یک الگوی پنج مرحله ای مناسب پیشنهاد شده است.

۲- مرحله نخست، شناسایی مخاطرات بالقوه فرآیندی

این مرحله که به منظور شناسایی مخاطرات موجود در یک واحد فرآیندی انجام می‌شود دارای اهمیت بسیار زیادی است زیرا هرگونه کوتاهی در این مرحله سبب شناسایی نشدن یک سری خطرات محتمل و در نتیجه ارزیابی نشدن پیامدهای آنها می‌شود، لذا نمی‌توان معیار مناسبی از ریسک موجود در واحد فرآیندی را ارائه کرد. روش هایی که به منظور شناسایی مخاطرات به کار می‌روند بسیار متنوع است.

در این مطالعه از روش شناسایی مخاطرات HAZID [1] استفاده شده است.
بعد از اینکه واحد مورد مطالعه بطور کامل شناسایی گردید و اطلاعات فرآیندی آن استخراج شد، با استفاده از برگه کار روش HAZID (جدول ۱) شناسایی مخاطرات نیروگاه مورد مطالعه با هدف مدلسازی پیامدهای محتمل آن انجام گرفت و کانونهای خطر واحد مورد مطالعه تعیین گردید.

جدول۱- برگه کار روش HAZID

خطر (سناریو)	علت	پیامد	اقدام کنترلی
۱-			
۲-			

۳- مرحله دوم: تعیین و انتخاب سناریوها

در این مرحله تمام اطلاعات مربوط به واحد فرآیندی مورد نظر که برای ارزیابی پیامد مورد نیاز است جمع آوری می گردد، این اطلاعات به طور کلی شامل مواردی نظیر موقعیت جغرافیایی واحد، اطلاعات مربوط به محیطی که واحد در آن قرار گرفته، شرایط آب و هوایی، نمودارهای جریان فرآیند[2] (PFDs) ، نمودارهای لوله‌کشی و تجهیزات[3] (P&Ids)، طرح جانمایی واحد، رویه های مورد استفاده در مرحله عملیاتی یا برقراری واحد، اسناد فنی، خواص مواد موجود در فرآیند و غیره می‌باشد. در این مرحله سناریوها یا حوادثی که عواقب آنها مورد توجه است، انتخاب می‌شوند. سناریو، حادثه یا ترکیبی از حوادث است که وقوع آن منجر به تولید مخاطرات فرآیندی چون آتش، انفجار یا رهایی مواد سمی می‌شود. کلیدی ترین مرحله در ارزیابی پیامد، همین گام نخست است. چرا که برگزیدن سناریوهای قابل اعتنا از بین تعداد بسیار زیادی گزینه، باعث کاهش زمان و حجم محاسبات می‌گردد. مقصود از سناریوی قابل اعتنا، حادثه یا ترکیبی از حوادث است که اولاً محتمل باشد، یعنی حوادث نادر بررسی نمی‌شوند. دوم اینکه عواقب حادثه مورد نظر باید دارای شدت و تأثیر کافی باشد. تعیین اعتبار سناریوها معمولاً به صورت کیفی و بنا بر تجربه، دانش و سابقه حوادث مشابه در گذشته، صورت می‌گیرد. برخی حوادث مانند نشت ماده شیمیایی از درزگیرها محتمل هستند اما چون حجم ماده رها شده در این حالت کم است، نمی‌توان آن را به عنوان یک سناریو قابل اعتنا قلمداد کرد. بنابراین از بین انبوهی گزینه که ممکن است به ذهن متبادر شود، چندین سناریو اساسی انتخاب شده در مراحل بعد مورد بررسی تفصیلی قرار می‌گیرند. در این مقاله برای انتخاب سناریوها علاوه بر مطالعه فرآیند و بازدید از سایت از دانش و تجربه کارکنان صنعتی نیز استفاده شده است. طی جلساتی که با حضور کارشناسان ایمنی نیروگاه، مهندسین فرآیند، ابزار دقیق، مدیر نیروگاه و تکنسین و اپراتور های نیروگاه برگزار گردید، مهمترین سناریوهای محتمل نیروگاه مورد مطالعه شناسایی و اولویت بندی می‌گردند، در نهایت برای تک تک سناریوهای تعیین شده مراحل زیر انجام می گردد. ۱- تعیین علل وقوع سناریو، ۲- تعیین کلیه پارامترهای مورد نیاز برای تعریف سناریوها، ۳- مدلسازی تخلیه تک تک سناریوها، ۴- مدلسازی انتشار تک تک سناریوها، ۵- مدلسازی پیامدهای (حریق، انفجار و رهایش مواد سمی) تک تک سناریوها، ۶- تعیین شدت پیامدهای نهایی سناریوها، ۷- ارزیابی پیامدهای نهایی سناریوها. مراحل فوق با استفاده از مشاهدات عینی، برگزاری جلسات با تیم طراحی شده از تخصص‌های مختلف، بکارگیری نرم افزار PHAST و محاسبات دستی انجام می‌گردد. در نهایت شدت پیامدهای مدلسازی شده با معیارهای پذیرش مربوطه مقایسه شده و در نهایت ارزیابی پیامد صورت می‌گیرد، همچنین در اخرین مرحله راهکارهای کنترلی جهت کاهش فراوانی وقوع حوادث و کاهش شدت پیامد آن ارائه می‌گردد. جهت مدلسازی پیامد از راهنمایی مدلسازی رهایش مواد سمی مرکز ایمنی فرآیند، انجمن مهندسی شیمی آمریکا استفاده می‌گردد [۲۲]. به طور کلی پیش بینی اثرات و عواقب حوادث نامطلوب در یک واحد صنعتی بوسیله مدل های ریاضی، ارزیابی پیامد نامیده می‌شود که اهداف کلی آن را در غالب موارد زیر می‌توان خلاصه کرد. الف- شبیه سازی تخلیه سناریوهای مختلف و بررسی امکان

[1] Hazard Identification (HAZID)
[2] Process Flow Diagram (PFD)
[3] Piping and Instrumentation Diagram (P&ID)

تشکیل مخلوط‌های قابل اشتعال، قابل انفجار و سمی، ب- شبیه سازی انتشار مواد در محیط با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه مورد مطالعه، ج- تعیین شار حرارتی ناشی از آتش، تأثیرات فشاری ناشی از انفجار و تأثیرات ناشی از انتشار مواد سمی در فواصل مکانی مختلف از محل حادثه، د- تعیین احتمال و میزان مرگبار بودن سناریوهای مختلف در اثر ایجاد پیامدهای گوناگون و ه- تعیین حریم ایمن هر کدام از سناریوها.

۴- مرحله سوم، تحلیل شرایط

در این مرحله سعی می‌شود تمام شرایط فیزیکی تأثیر گذار بر حادثه شناسایی شود. یعنی برای هر یک از سناریوها به طور جداگانه، عواملی که بر چگونگی شکل گیری و پیشرفت آن مؤثرند، باید مشخص شوند. برای مثال اگر سناریو مورد مطالعه نشت ماده شیمیایی از سوراخ ایجاد شده در جداره یک مخزن نگهداری باشد، قبل از سعی در پیش بینی چگونگی رهایی و اثرات آن باید تمامی عوامل تأثیر گذار در این فرآیند بررسی شود. در این سناریو چگالی ماده رها شده نسبت به هوا، دمای انتشار، دمای محیط و نیز سرعت رهایش از جمله عوامل مؤثر هستند. کشف و در نظر گرفتن این عوامل، کمک به برگزیدن مدل مناسب برای شبیه سازی حادثه در مرحله بعد می‌کند. از جمله مهمترین عوامل تاثیر گذار بر روی پیامدهای ناشی از سناریوهای مختلف، شرایط آب و هوایی منطقه مورد نظر می‌باشد که در قالب پارامترهایی نظیر دمای هوا، درصد رطوبت نسبی، سرعت باد و پایداری جوی ارائه می‌شود. پایداری جوی در هنگام رها شدن مواد در محیط، عامل مهمی در مدلسازی پخش آنها می‌باشد. رفتار توده ابر تشکیل شده از پخش مواد به میزان پایداری جو بستگی دارد. پایداری جو نشان دهنده میزان اختلاط و اغتشاش لایه‌های جوی و معیاری از اختلاط مواد پخش شده در محیط در جهت عمود بر سطح زمین است. هر چه جو پایدارتر باشد این اختلاط کمتر و در صورت ناپایدار بودن جو، اختلاط لایه‌های جوی بیشتر می‌باشد و پخش مواد در جهت عمود بر سطح زمین را به حداکثر می‌رساند. یکی از پارامترهایی که در مدلسازی پخش مواد به کار می‌رود و کلاس پایداری جو بر آن تأثیر می‌گذارد، ضریب پخش مواد در محیط در سه جهت اصلی می‌باشد. به طور کلی پایداری جو را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد: جو ناپایدار، جو خنثی، جو پایدار. در مواردی که پخش مواد سمی در محیط ارزیابی می‌شود می‌توان گفت که هر چه پایداری جو کمتر باشد مواد در سه جهت اصلی بیشتر پخش خواهند شد و غـلظتی که به یک فاصله خاص خواهد رسید کمتر خواهد بود. به همین دلیل در ارزیابی مخاطرات احتمالی در یک واحد پایدارترین کلاس جوی به عنوان بدترین حالت برای پخش مواد در محیط در نظر گرفته می‌شود. یکی از معیارهای مشهور پایداری جو، تقسیم‌بندی پاسکوییل[1] می‌باشد. در این روش، پایداری به شش کلاس از A تا F تقسیم می‌گردد. در این تقسیم‌بندی، پایداری جو تابع سرعت باد، میزان ابری بودن آسمان و میزان تابش خورشید بر سطح زمین می‌باشد و در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول۲- عوامل تاثیر گذار در تعیین پایداری جوی

هوای کاملاً ابری	شب: درجه ابری بودن آسمان		روز: میزان تابش خورشید			سرعت باد (m/s)
در هر ساعتی از شبانه روز	کمتر از۰/۴	بین ۰/۴ و ۰/۸	زیاد	متوسط	کم	
D	F	F	A	A-B	B	۲<
D	E	F	A-B	B	C	۳-۲
D	D	E	B	B-C	C	۵-۳
D	D	D	C	C-D	D	۶-۵
D	D	D	C	D	D	۶>

از آنجا که تمامی سناریوهای تعیین شده در دو بازه زمانی شب و روز مورد بررسی قرار گرفته‌اند لذا شرایط آب و هوایی شهر مشهد در طول شب در مدلسازی پیامد نیروگاه بیوگاز مورد مطالعه قرار گرفت. به منظور مدلسازی هر حادثه،

[1] Pasquill Stability

اندازه‌های مختلف نشتی، از نشتی کوچک تا پارگی کامل لوله در نظرگرفته شد، ارتفاع رهایش مواد در تمام سناریوها ۱ متر در نظر گرفته شد، زیرا غالب لوله‌ها تا نزدیک سطح زمین می‌آیند و به همین دلیل کمترین ارتفاع که بیشترین خطر را دارد به منظور مدلسازی مد نظر قرار گرفته شد. اطلاعات هر سناریو در نرم افزار وارد و مدل سازی سناریو توسط نرم افزار انجام گرفت.

۵- مرحله چهارم، مدل سازی حادثه بخش نتیجه گیری

در مرحله سوم و پس از در نظر گرفتن تمامی عوامل مؤثر در حادثه، اقدام به شبیه سازی حادثه می‌شود. یعنی بوسیله مدل‌های ریاضی، توالی رخدادهای پس از وقوع یک سناریو پیش بینی می‌شوند. از نتایج حاصله در این مرحله در مرحله بعد می‌توان برای تخمین پیامدها و خسارات استفاده کرد. پس از انتخاب سناریوهای منطقی، مهمترین عامل در انجام صحیح ارزیابی پیامد، برگزیدن مدلی صحیح است که بتواند تا حد امکان، حادثه را نزدیک به حالتی که در واقعیت رخ می‌دهد شبیه سازی کند. اکثر سناریوها به صورت خروج یک ماده خطرناک از یک منبع در اثر ایجاد یک نشتی و یا پارگی در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین در ابتدا و با توجه به شرایط حاکم، مدلی برای پیش بینی چگونگی رهایش آن از منبع باید انتخاب شود. پس از رهایش، انتشار صورت می گیرد. برای شبیه سازی این مرحله نیز مدل‌های شناخته شده‌ای وجود دارد. در این مدل‌ها تأثیر عواملی چون پایداری جو و وزش باد، منظور می‌شوند. به وسیله این مدل ها توزیع غلظت ماده رها شده نسبت به مسافت از منبع انتشار محاسبه می‌شود. اکثر مدل‌های موجود پیچیده و شامل محاسباتی بسیار زمان بر هستند، لذا در این مرحله تمایل بسیاری نسبت به استفاده از نرم افزارهای موجود برای مدل سازی، وجود دارد. امروزه مدلسازی پیامد به دلیل پیچیدگی روابط مربوط به مدل سازی و زمانبر بودن حل آنها، توسط نرم‌افزارهای کامپیوتری انجام می‌گیرد. تعدادی از این نرم‌افزارها تنها قادر به مدل سازی پخش مواد می‌باشند و دیگر پیامدها را مدل سازی نمی‌کنند. بدیهی است نرم‌افزاری که قادر به مدل سازی تمامی پیامدهای محتمل باشد در ارزیابی پیامد بسیار مفید خواهد بود. تاکنون مدل‌های (نرم افزارهای) مختلفی برای مدلسازی پیامد سناریو (حوادث) فرآیندی ارائه شده است که از در بین آنها، PHAST یکی از قویترین و مشهورترین نرم‌افزارهای موجود است [۲۳]. این نرم‌افزار به عنوان یکی از ابزارهای تصمیم‌گیری شرکتها و دولتها در امر مخاطرات صنعتی و ایمنی عمومی شناخته شده و به صورت گسترده-ای مورد استفاده گرفته است. هم تئوری و هم توانایی این نرم‌افزار در پیش بینی حوادث بسیار کارا است. مدل PHAST طیف وسیعی از مواد خالص سبک و سنگین تر از هوا را در بر می گیرد و توانایی مدلسازی مخلوطی از مواد را نیز دارد. نتایج حاصل از خروجی نرم افزار می‌تواند معیاری جهت تدوین حداکثر مناطق متاثر از غلظتهای خطرناک ناشی از نشت مواد در نظر گرفته شود. بدین طریق امکان تدوین طرح واکنش در شرایط اضطراری میسر خواهد شد. در این مطالعه مدلسازی پیامد سناریوها با نرم افزار PHAST.7.11 انجام شد. تمامی روابط و مدل‌های مورد نیاز در نرم افزار تعریف شده است، به همین خاطر در اینجا از ذکر این روابط پیچیده که تعداد آنها نیز زیاد می-باشد خودداری شده است. در نرم افزار ابتدا مشخصات مربوط به سناریو مورد مطالعه از جمله، شرایط فرآیندی (دما، فشار)، مقدار ماده، نوع مواد و ترکیب آنها، اندازه نشتی، شرایط آب و هوایی محل مورد مطالعه (دمای هوا، سرعت باد، رطوبت نسبی، کلاس پایداری جو) تعریف شد، سپس ابتدا مدلسازی تخلیه، بعد مدلسازی انتشار و در نهایت مدلسازی اثرات (تعیین نوع پیامدهای حاصل از وقوع سناریو و مقدار آنها) انجام گرفت. تحلیل درخت رویداد[1] روشی بسیار موثر برای تعیین و نشان دادن پیامدهای مختلف ناشی از یک سناریو حادثه است. یکی از پارامترهای درخت رویداد موانع ایمنی در برابر رهایش مواد می باشد که منجر به وقوع پیامدهای مختلف می‌گردد که شامل منابع جرقه فوری، جرقه با تاخیر و وجود موانع محصور کنند می‌باشد. روش تحلیل درخت رویداد به منظور محاسبه تعیین پیامدهای متنوعی که در صورت وقوع یک واقعه ابتدایی ممکن است رخ دهد، مورد استفاده قرار گرفت. در هر مرحله از درخت رویداد با طرح پرسشهایی شاخه‌های درخت افزایش یافته و درنهایت لیستی از وقایع نهایی معین شد که احتمال آن با توجه به احتمال شاخه‌های درخت رویداد محاسبه می‌گردد. با فرض اتفاق افتادن این حادثه اولین

[1] Event Tree Analaysis

پرسشی که مطرح شد، این بود که آیا گاز بلافاصله پس از خروج به منبع جرقه دسترسی دارد یا خیر. در صورت مثبت بودن این پرسش پیامد نهایی جت آتش خواهد بود. در صورت منفی بودن، در مرحله بعدی احتمال ایجاد جرقه با تأخیر مطرح شد. در صورت مثبت بودن این سوال، پیامد نهایی انفجار گازهای پخش شده در محیط و یا ایجاد آتش ناگهانی است. جدول ۳ یک نمونه درخت رویداد رهایش یک ماده گازی را نشان می دهد.

۶- مرحله پنجم، ارزیابی خسارات

اساس نتایج خروجی از مدل و سنجیدن آنها با معیارهای موجود، شدت آسیب رسانی حادثه مورد بررسی مشخص می‌شود. برای مثال فشار ایجاد شده در اثر انفجار یا میزان تشعشع حرارتی رسیده در اثر آتش، برای نقاط با فواصل مختلف از مبداء حادثه، که از مدل سازی نتیجه می‌شود، با مقادیر مجاز یا قابل تحمل که در مراجع وجود دارد، مقایسه می‌شود. همچنین در صورتی که سناریو مورد بررسی انتشار یک ماده سمی در محیط باشد، توزیع غلظت ماده منتشر شده در فواصل مختلف، با آستانه سمیت آن ماده مقایسه شده و محدوده خطر مشخص می‌شود. بعد از تعیین نوع پیامد وقوع سناریو (انواع آتش و انفجار) نوبت به ارزیابی این پیامدها می‌رسد. با توجه به اهداف هر کدام از سه مطالعه موردی معیارهای ارزیابی پیامد مناسب انتخاب گردید. جدول ۴ معیارهای ارزیابی پیامد مورد استفاده را نشان می دهد. مدلسازی اثرات سناریوها، نوع پیامد (آتش و انفجار) و مقدار آن را نشان می‌دهد. برای تخمین میزان مرگ و میر ناشی از مواجهه با مقادیر مختلف تشعشع ناشی از انواع آتش و موج انفجار ناشی از انفجار از معادلات پرابیت استفاده گردید.

۷- پیامدهای ناشی از تشعشع آتش فورانی

پیامدهای ناشی از تشعشع، تابع شدت تشعشع و زمان مواجهه با تشعشع می‌باشد. همانند بررسی پیامدهای ناشی از سمیت مواد، به منظور ارزیابی پیامدهای ناشی از تشعشع نیز معادله پروبیت [۲۴] تعریف گردیده است.

$$Y = -14.9 + 2.56 Ln(\frac{t.I^{4/3}}{10^4}) \qquad (۱)$$

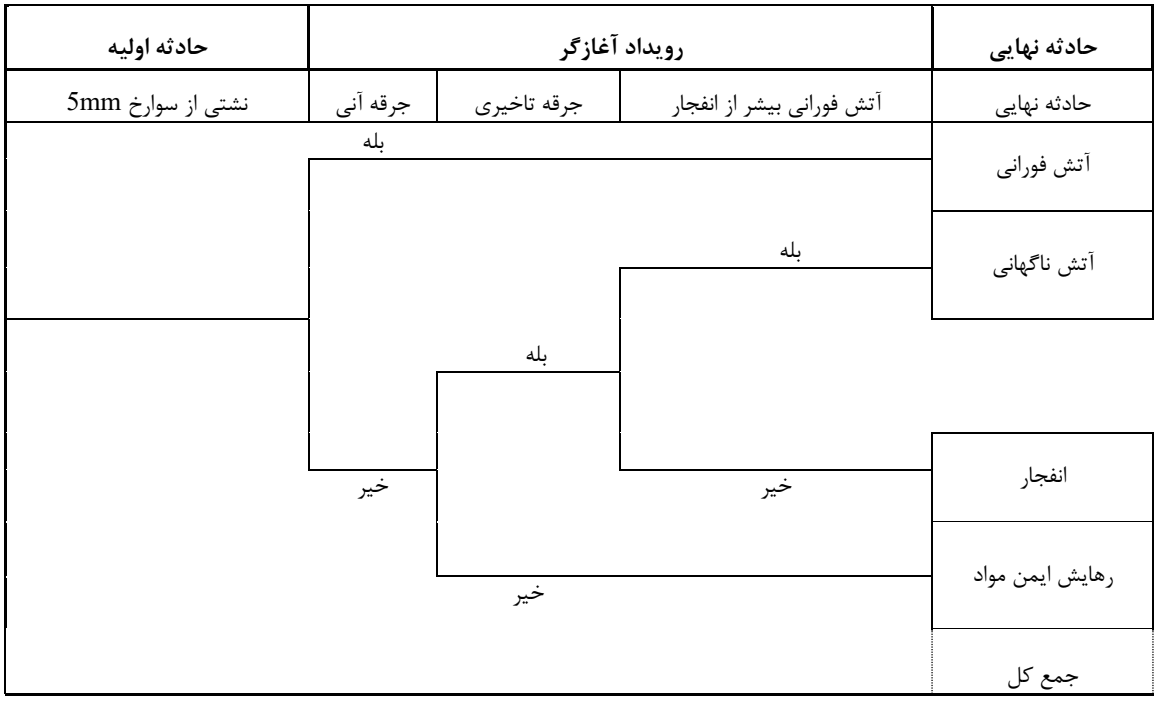
Y= مقدار probit

I= شدت تشعشع (وات بر مترمربع)

t= مدت زمان مواجهه با شعله (ثانیه)

در ارزیابی کمی ریسک معمولا زمان در معرض قرار گرفتن با تشعشع ناشی از جت آتش، ۲۰ ثانیه در نظر گرفته می شود.

جدول ۳- درخت رویداد مربوط به سناریو نشتی ۵ میلی متر



جدول ۴- معیارهای ارزیابی پیامد مورد استفاده در مطالعه حاضر

پیامد نهایی	معیار	آسیب وارده	احتمال مرگ و میر
آتش ناگهانی	LFL	مرگ آنی	۱۰۰٪
	½ LFL	مشکلات استنشاقی و عدم مرگ	۰٪
آتش (کیلووات بر مترمربع)	۴	آستانه درد افراد	۰٪
	۱۲/۵	ایجاد سوختگی درجه دوم، ذوب شدن پلاستیک و ...	۰۱٪.۰
	۳۷/۵	آسیب کافی به تجهیزات و مرگ آنی	۱۰۰٪
انفجار ابر بخار (بار)	۰/۰۱	حریم ایمن	۰٪
	۰/۰۲	آسیب جزئی	۰٪
	۰/۱۳	تخریب دیوارهای بتنی یا بلوکه‌های سیمانی و تقویت نشده	۰٪/۰۱
	۰/۱۷	آسیب متوسط	۳٪
	۰/۲۰	تخزیب ساختمانهای با اسکلت فولادی و کنده شدن از فوندانسیون	۶٪
	۰/۸۳	تخریب کامل تجهیزات و ساختمانها و مرگ آنی افراد	۹۲٪

جدول ۵- متغیرهای مورد بررسی

ردیف	نام متغیر	نوع متغیر	نقش متغیر	تعریف عملی متغیر	واحد و نحوه اندازه‌گیری
۱	دما	کمی	مستقل	متوسط تغییرات دمای متوسط هوا به طور روزانه در بازه های اول و دوم سال	سانتی گراد/ دماسنج معمولی
۲	فشار	کمی	مستقل	میزان فشار فرآیندی منبع ماده پرمخاطره	Psig یا bar/ فشار سنج
۳	فاز ماده	کیفی	وابسته	فاز ماده خروجی(گاز، مایع، دوفازی) پس از تخلیه مواد	نرم افزار
۴	اندازه نشتی	کمی	مستقل	ابعاد شکاف ایجاد شده	میلی‌متر/ جداول استاندارد
۵	زبری سطح	کمی	مستقل	معیاری برای تخمین متوسط عوارض محلی	میلی‌متر/ جداول
۷	مدت زمان نشتی	کمی	وابسته	مدت زمانی که مواد نشتی خواهند داشت	دقیقه/ جداول استاندارد
۸	سرعت نشتی	کمی	وابسته	میزان سرعت نشتی مواد برحسب زمان	متر بر ساعت/ نرم افزار
۹	میزان ماده خروجی	کمی	وابسته	مقدار ماده خروجی پس از حادثه	کیلوگرم/ نرم افزار
۱۰	پایداری جوی	کیفی	وابسته	میزان اختلاط و اغتشاش لایه های جوی	جداول استاندارد
۱۱	مقدارماده ذخیره شده	کمی	مستقل	مقدار مواد ذخیره در مخازن و تجهیزات مورد نظر	کیلوگرم/ متخصص فرآیند
۱۲	ارتفاع محل خروج ماده	کمی	مستقل	ارتفاع محل خروج ماده از سطح مرجع	متر
۱۳	رطوبت هوا	کمی	مستقل	متوسط تغییرات رطوبت متوسط هوا به طور روزانه در بازه‌های اول و دوم سال	درصد/ هواشناسی منطقه
۱۴	سرعت باد	کمی	مستقل	متوسط تغییرات سرعت باد هوا به طور روزانه در بازهای اول و دوم سال	متر بر ساعت/ هواشناسی منطقه
۱۵	جهت وزش باد	کیفی	مستقل	جهت غالب باد در بازه های اول و دوم سال براساس نمودارهای گلباد	نمودار گلباد
۱۶	زمان (شب یا روز)	کیفی	مستقل	--------	-
۱۷	شدت پیامدها	کمی	وابسته	شدت آسیب های وارد شده در اثر وقوع حوادث	میزان مرگ و میر افراد نرم افزار

جدول ۶- نتایج شناسایی مخاطرات به روش HAZID

خطر	علت	پیامد	اقدام کنترلی
پارگی و نشتی لوله ها و اتصالات در چاه بیوگاز	سرقت شیرآلات و اتصالات	انتشار گاز در محیط	- پایش مستمر ترکیب گاز از طریق دستگاه آنالایزر و پیگیری توسط اپراتور
	برخورد ماشین آلات عمرانی و خودروهای سنگین با علمک گاز	پارگی لوله و نشت گاز در محیط	پایش مستمر ترکیب گاز از طریق دستگاه آنالایزر تعیین حریم ایمن برای خطوط انتقال گاز
	از مدار خارج شدن موتور ها	عدم مکش و جمع آوری گاز چاه های بیوگاز – بالا رفتن فشار گاز چاه – ترک برداشتن محل دفن – خروج گاز	سوزاندن گاز های ورودی در آتشدان (فلر)
پارگی و نشتی لوله ها و اتصالات در لوله های انتقال بیوگاز	نشست زمین محل دفن	ایجاد شکاف در زمین - پارگی لوله انتقال و نشت گاز	- رعایت اصول مهندسی سلول های دفن بهداشتی - تعیین حریم ایمن برای خطوط - پایش مستمر ترکیب گاز از طریق دستگاه آنالایزر - پیگیری توسط اپراتور
	نشست زمین محل دفن	ایجاد شکاف در زمین - خارج شدن اتصالات از آب بند و نشت گاز	- رعایت اصول مهندسی سلول های دفن بهداشتی - تعیین حریم ایمن برای خطوط - پایش مستمر ترکیب گاز از طریق دستگاه آنالایزر - پیگیری توسط اپراتور
	برخورد ماشین آلات خاک برداری و عمرانی	پارگی لوله و نشت گاز در محیط	- تعیین حریم ایمن برای خطوط - پایش مستمر ترکیب گاز از طریق دستگاه آنالایزر - پیگیری توسط اپراتور
	آتش سوزی گسترده در محل دفن	ذوب شدن لوله های پلی اتیلن انتقال گاز و نشت گاز	- پایش مستمر ترکیب گاز از طریق دستگاه آنالایزر
پارگی و نشتی لوله ها و اتصالات در ایستگاه بیوگاز	بالا بودن فشار تخلیه آب دمیستر و جایگزینی هوا	خاموش شدن موتور ها – تراکم بالای گاز در محیط – انفجار	- پایش مستمر ترکیب گاز از طریق دستگاه آنالایزر - پیگیری توسط اپراتور
پارگی و نشتی لوله ها و اتصالات در سیستم چیلر بیوگاز	از مدار خارج شدن چیلر	بالا رفتن دما و رطوبت گاز – خوردگی در بدنه سیلندر ها بوش ها و خروجی اگزوز با توجه به افزایش غلظت سولفید هیدروژن – نشت گاز	کنترل اتوماتیک دما و آلارم دما در صورت افزایش دمای گاز

۸- پیامد ناشی از تشعشع آتش ناگهانی

مراجع مدت زمان این نوع آتش کوتاه و در حد چند دهم ثانیه است ولی شدت تشعشع ناشی از آن زیاد (بیشتر از $۱۰۰ kW/m^2$) می‌باشد. در ارزیابی پیامدهای ناشی از آتش ناگهانی فرض شده که افرادی که در محدوده این آتش یعنی فاصله بین غلظتهای LFL[1] (کمترین غلظت قابل اشتعال)

[1] Lower flammability limit (LFL)

و UFL[1] (بالاترین غلظت قابل اشتعال) ماده اشتعال‌پذیر و به عبارتی در تماس مستقیم با شعله قرار می‌گیرند به احتمال بسیار زیاد کشته می‌شوند و مشاهدات نشان داده است که احتمال مرگ افراد بیرون از این محدوده خیلی کم می‌باشد. بنابراین در تحلیل پیامد بیشتر ناحیه‌ای که بین غلظت‌های ذکر شده قرار گرفته، مهم خواهد بود تا میزان تشعشع در نقاط مختلف.

۹- متغیرهای مورد بررسی

متغیرهای مورد بررسی در این مقاله طبق جدول ۵ می‌باشد.

۱۰- نتایج

در این فصل نتایج مطالعه با توجه به اهداف آن ارائه شده است. بدین منظور ابتدا داده‌های فرآیندی و شرایط آب و هوایی منطقه مورد مطالعه استخراج شده و سناریوهای محتمل نیروگاه مورد مطالعه و نهایتا پیامدهای مختلف حریق و انفجار ناشی از این سناریوها با نرم افزار PHAST 7.1 مدلسازی شده و نتایج آن در ادامه بطور کامل نشان داده شده است. همچنین درخت رویداد نیز برای نشان داده چگونگی تعیین پیامد نهایی ناشی از وقوع سناریو نشتی یا پارگی تجهیزات ارائه شده است.

۱۰-۱- نتایج شناسایی مخاطرات

جدول ۶ نتایج اجرای روش به منظور شناسایی مخاطرات فرآیندی نیروگاه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

۱۰-۲- نتایج داده‌های فرآیندی و هواشناسی سناریوهای محل مطالعه

جدول ۷ داده‌های (شرایط) فرآیندی نیروگاه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. این داده‌ها بعد از برگزاری جلسات متعدد با کارشناسان و اپراتورهای نیروگاه و مطالعه دستورالعمل و گزارشات نیروگاه بدست آمده است. براین اساس با توجه به اهداف مطالعه، نیروگاه به سه بخش یا واحد اصلی تقسیم گردید و اطلاعات فرآیندی این چهار بخش در جدول ۷ نشان داده شده است.

یکی از داده های تاثیر گذار و مهم در مدلسازی پیامد سناریو حوادث فرآیندی، داده های هواشناسی محل مورد مطالعه می باشد. در این تحقیق برای بدست آوردن داده های هواشناسی مورد نیاز که شامل میانگین دمای هوا، سرعت باد و رطوبت نسبی منطقه مورد مطالعه است از ایستگاه هواشناسی فرودگاه شهید هاشمی نژاد که به محل مطالعه بسیار نزدیک است استفاده گردید. این داده ها در جدول ۸ نشان داده شده است. در مدلسازی انتشار مواد، کلاس پایداری جو، فاکتور تاثیر گذار است، در این مطالعه از کلاس پایداری F (نشان دهنده جو پایدار است) مقیاس پاسکوبیل استفاده شده است.

جدول ۷- بخش و داده‌های ورودی مدلسازی پیامد نیروگاه

واحد/بخش	قطر لوله ها (mm)	دما (°C)	فشار (mbar)	دبی مواد (m^3/h)	ترکیب مواد غالب	درصد حجمی (%)
چاه بیوگاز	۲۰۰	۳۰-۴۰	۳۰-۶۰	۴۰۰	CH_4 , CO_2 , H_2S	CH_4 = 50-60 CO_2 = 30-40 H_2S = 0 – 500 ppm
خط لوله انتقال	۱۲۵	۳۰-۴۰	۳۰-۶۰	۴۰۰	CH_4 , CO_2 , H_2S	
ایستگاه گاز (نیروگاه)	۱۳۰	۳۰-۴۰	۳۰-۶۰	۴۰۰	CH_4 , CO_2 , H_2S	

جدول ۸- میانگین داده‌های آب و هوایی سالیانه محل مورد مطالعه*

دما(°C)	سرعت باد (m/s)	رطوبت نسبی (٪)	کلاس پایداری جو
۱۴/۵	۳	۵۳	F (پایدار)

*داده ها مربوط به نزدیکترین ایستگاه هواشناسی (فرودگاه شهید هاشمی نژاد مشهد) است

[1] Upper flammability limit (UFL)

بعد از تعیین فاکتورهای فرآیندی و شرایط محیطی، نوبت به تعیین سناریوهای محتمل در نیروگاه مورد مطالعه می باشد (جدول ۹). در مدلسازی پیامد سناریوهای حوادث، نوع سناریو بصورت نشتی از تجهیزات مانند لوله ها، فلنج‌ها، ابزار دقیق و غیره یا پارگی کامل تجهیزات مانند لوله‌ها و مخازن در نظر گرفته می‌شود. برای این منظور، ابتدا اندازه قطر لوله و تجهیزات بطور دقیق تعیین شد و سپس طیف اندازه نشتی مشخص است و در نهایت اندازه نشتی نماینده که در مدلسازی پیامد در نظر گرفته می‌شود مشخص شد. برای این منظور از راهنمایی مدلسازی پیامد سناریو حوادث، انجمن تولید کنندگان نفت و گاز استفاده شد.

جدول ۹- سناریوهای مورد مطالعه نیروگاه

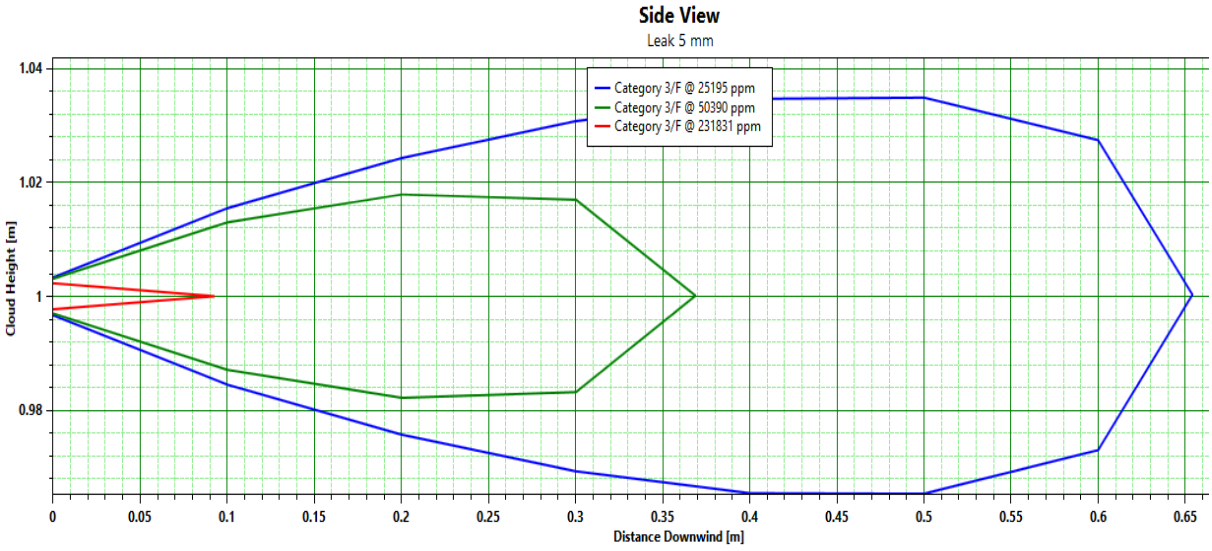
طیف نشتی (mm)	اندازه نشتی نماینده (mm)	محلهای محتمل نشتی
۱۰-۰	۵	فلنج ها و ابزار دقیق خطوط لوله و ایستگاه گاز
۵۰-۱۰	۲۵	فلنج ها و ابزار دقیق خطوط لوله و ایستگاه گاز
۵۰< (پارگی کامل تجهیز)	۱۳۰	پارگی خطوط لوله و لوله های ایستگاه گاز

۱۰-۳- نتایج مدلسازی پیامد

در این مطالعه سه سناریو با اندازه نشتی های ۵، ۲۵ و ۱۳۰میلی متر(پارگی کامل لوله ها) برای مدلسازی پیامد نیروگاه تعیین شد. در ادامه به تفکیک نتایج مدلسازی پیامد هر کدام سناریوها آمده است.

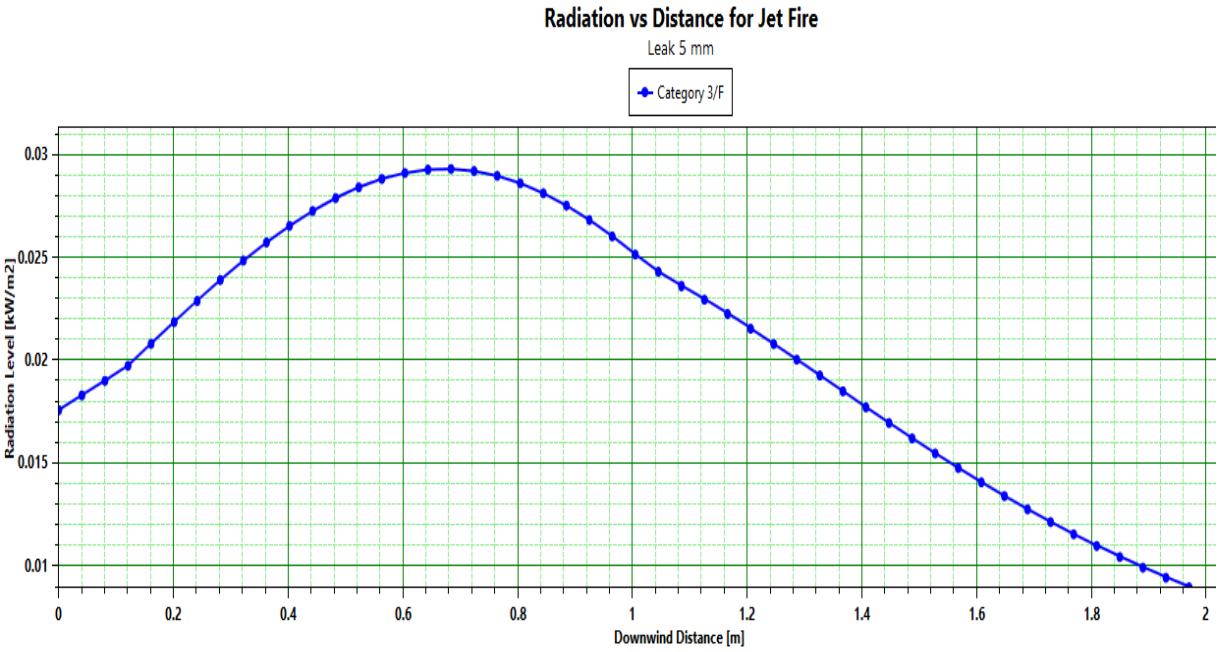
۱۰-۳-۱- نتایج سناریو ۵ میلی متر

شکل (۱) نمای جانبی غلظت انتشار مواد برحسب فاصله از محل نشتی برای سناریو اندازه نشتی ۵ میلی متر نشان می دهد. سه کانتور از سمت چپ به ترتیب مربوط معیار، بالاترین غلظت قابل اشتعال مواد (UFL)، کمترین غلظت قابل اشتعال (LFL) و نصف کمترین غلظت قابل اشتعال می باشد.



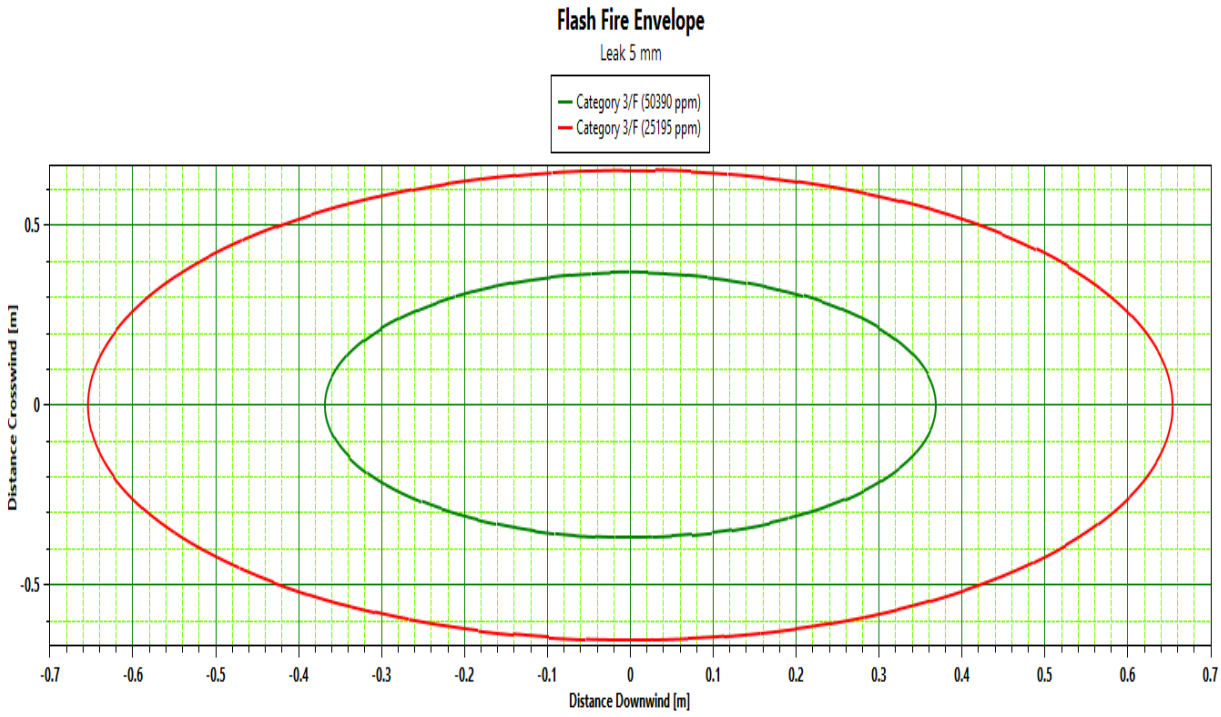
شکل ۱- نمای جانبی غلظت انتشار مواد (ppm) برحسب فاصله از محل حادثه

در صورتیکه پس از رهایش مواد در محیط جرقه آنی وجود داشته باشد، یکی از پیامدهای محتمل، آتش فورانی می باشد. شکل (۲) میزان تشعشع ناشی از حریق فورانی برحسب فاصله از محل حادثه نشان می دهد. همانطور که نشان داده شده است میزان تشعشع این حریق ناچیز بوده و حداکثر تا فاصله تقریباً ۲ متر ادامه خواهد داشت.



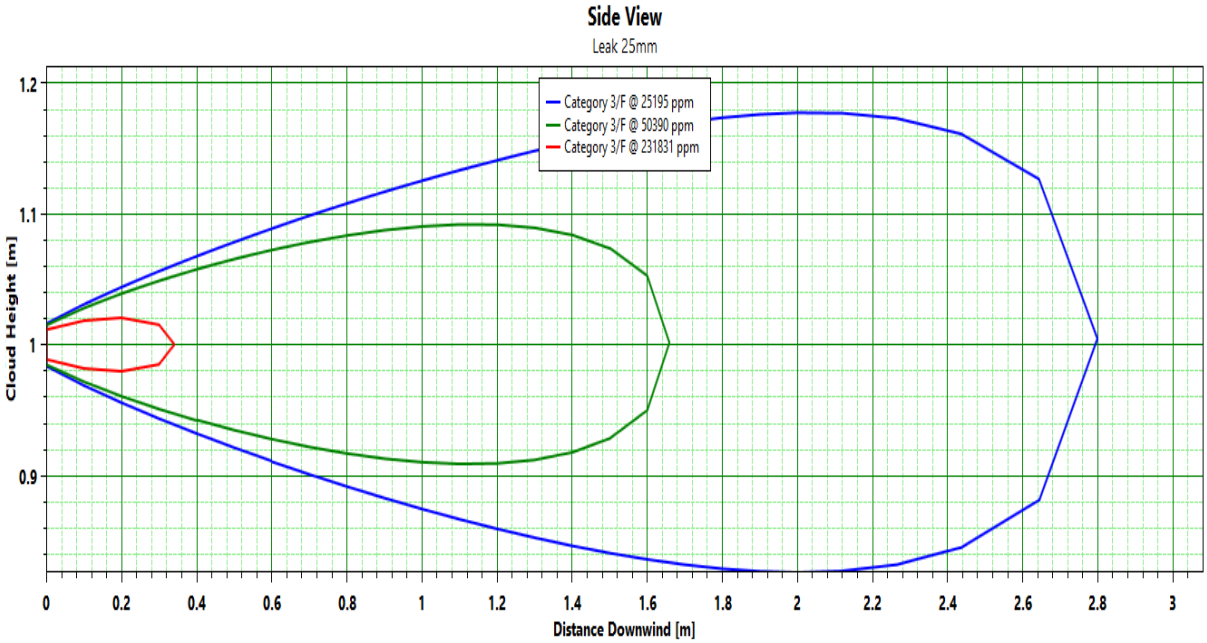
شکل ۲- میزان تشعشع (Kw/m^2) ناشی از حریق فورانی برحسب فاصله از محل حادثه

در صورتیکه بعد از رهایش مواد قابل اشتعال در محیط جرقه تاخیری وجود داشته باشد و در مسیر مواد رهایش یافته موانع و تجهیزات وجود نداشته باشد و توزیع گاز در محیط بصورت یکنواخت یا نزدیک به یکنواخت باشد، وقوع آتش ناگهانی بسیار محتمل می‌باشد. شکل (۳) فواصل تحت تاثیر آتش ناگهانی ناشی از سناریو نشتی ۵ میلی متر را نشان می دهد. کانتور داخلی فواصل تحت تاثیر معیار LFL و کانتور بیرونی فواصل تحت تاثیر معیار نصف LFL را نشان می‌دهد.



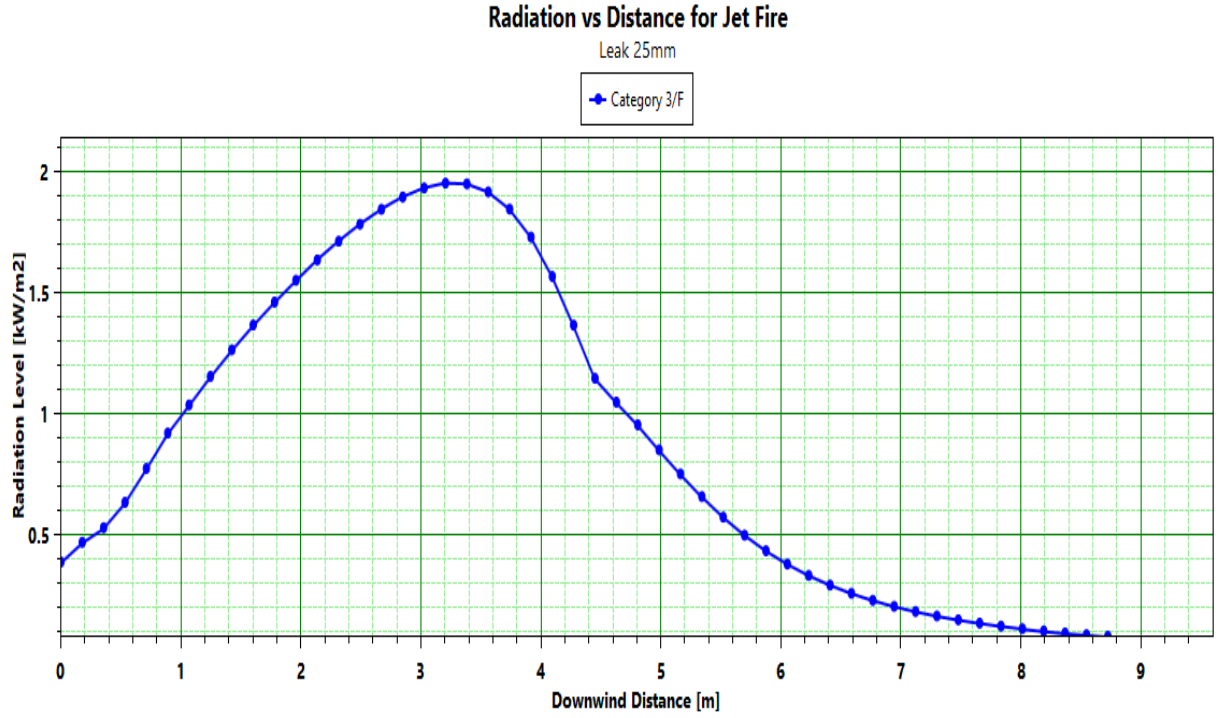
شکل ۳- فواصل تحت تاثیر آتش ناگهانی ناشی از اندازه نشتی ۵ میلی متر

شکل (۴) نمای جانبی غلظت مواد رهایش یافته در سناریو ۲۵ میلی متر برحسب فاصله از محل حادثه را نشان می‌دهد. سه کانتور از سمت چپ به ترتیب مربوط معیار، بالاترین غلظت قابل اشتعال مواد (UFL)، کمترین غلظت قابل اشتعال (LFL) و نصف کمترین غلظت قابل اشتعال می باشد.



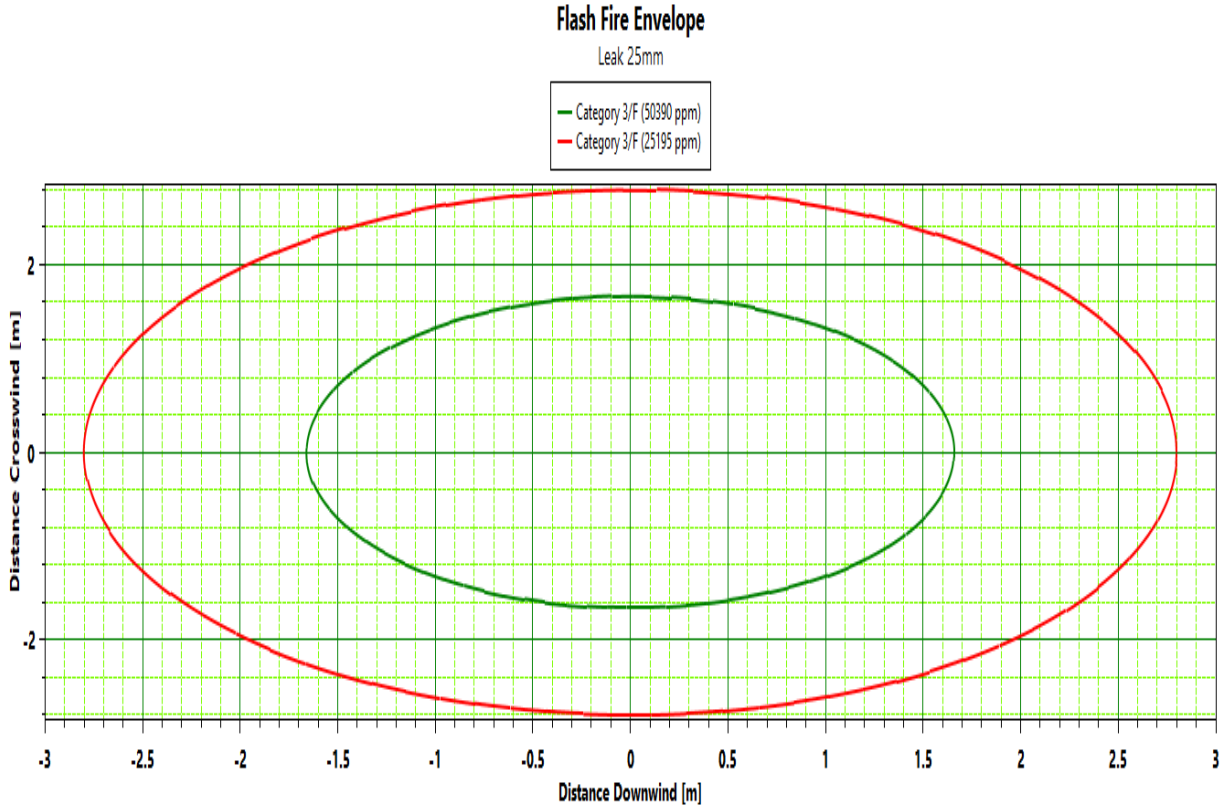
شکل ۴- نمای جانبی غلظت انتشار مواد (ppm) برحسب فاصله (m) از محل حادثه

شکل (۵) میزان تشعشع ناشی از حریق فورانی ناشی از اندازه نشتی ۲۵ میلی متر برحسب فاصله از محل حادثه نشان می‌دهد. همانطوریکه قابل مشاهده است، میزان تشعشع این حریق نزدیک ۲ کیلوات بر مترمربع است و تشعشات آن تا فاصله ۹ متری از محل حادثه ادامه خواهد داشت.



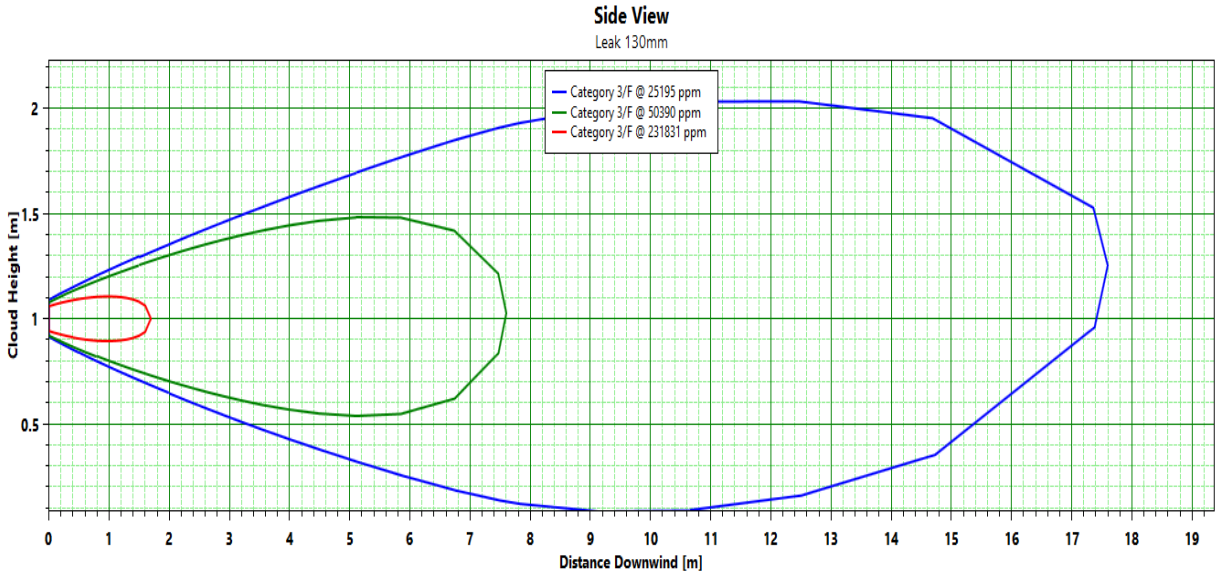
شکل ۵- میزان تشعشع (Kw/m^2) ناشی از حریق فورانی برحسب فاصله از محل حادثه

شکل (۶) فواصل تحت تاثیر آتش ناگهانی ناشی از سناریو نشتی ۲۵میلی متر را نشان می‌دهد. کانتور داخلی فواصل تحت تاثیر معیار LFL و کانتور بیرونی فواصل تحت تاثیر معیار نصف LFL را نشان می‌دهد. افرادی که در داخل فواصل تحت تاثیر معیار LFL قرار دارند در تماس مستقیم تا شعله این حریق می‌باشند.



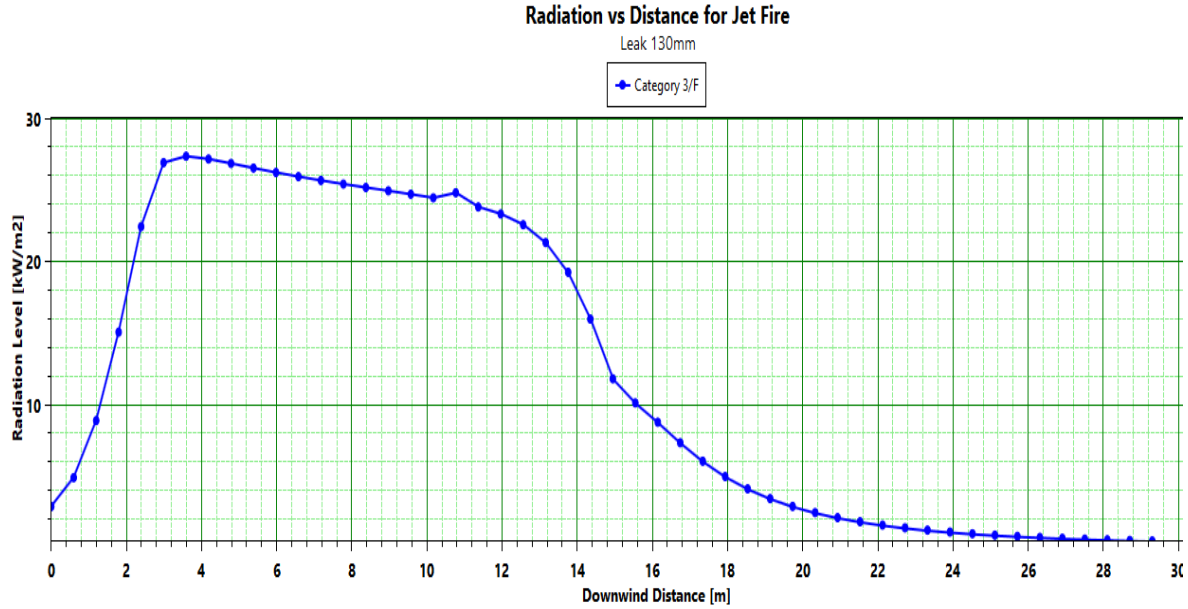
شکل ۶- فواصل تحت تاثیر آتش ناگهانی ناشی از اندازه نشتی ۲۵ میلی متر

شکل ۷ نمای جانبی غلظت مواد رهایش یافته در سناریو ۱۳۰ میلی متر برحسب فاصله از محل حادثه را نشان می‌دهد. سه کانتور از سمت چپ به ترتیب مربوط معیار، بالاترین غلظت قابل اشتعال مواد (UFL=231831 ppm)، کمترین غلظت قابل اشتعال (LFL=50390 ppm) و نصف کمترین غلظت قابل اشتعال (25193ppm) می‌باشد.

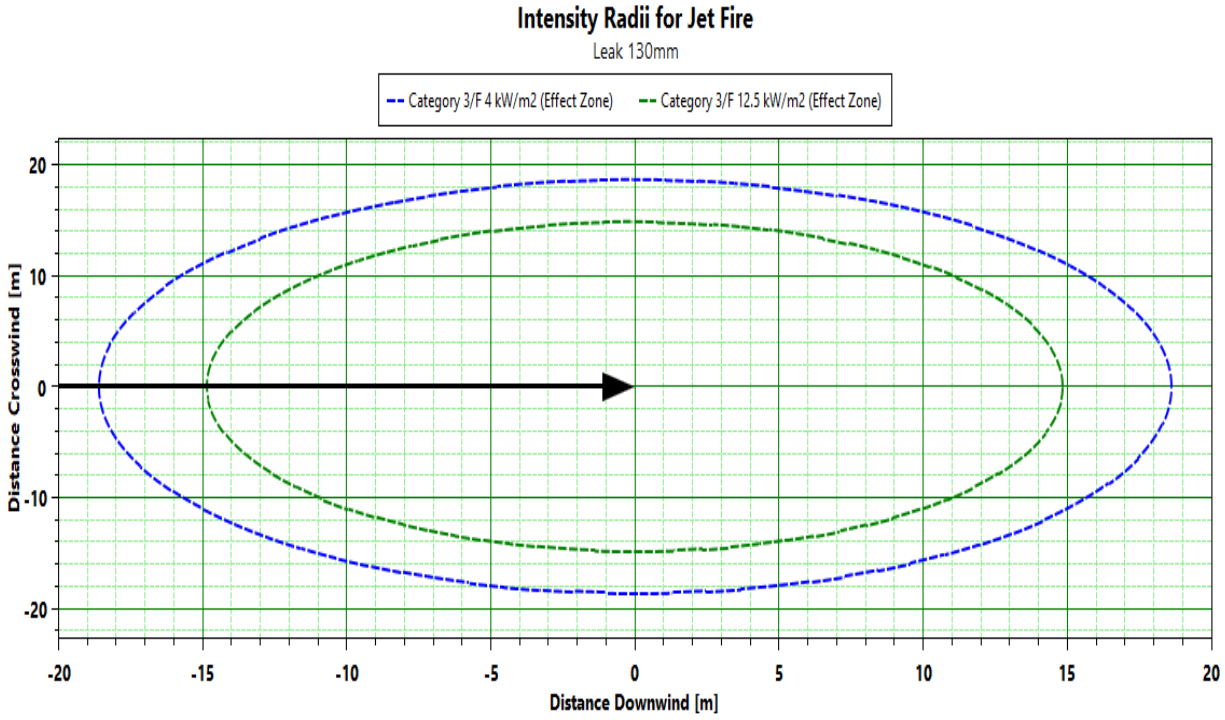


شکل ۷- نمای جانبی غلظت انتشار مواد (ppm) برحسب فاصله (m) از محل حادثه

شکل (۸) میزان تشعشع ناشی از حریق فورانی ناشی از اندازه نشتی ۱۳۰ میلی متر برحسب فاصله از محل حادثه را نشان می‌دهد. همانطوریکه قابل مشاهده است، میزان تشعشع این حریق نزدیک ۲۶ کیلوات بر مترمربع است و تشعشات آن تا فاصله ۳۰ متری از محل حادثه ادامه خواهد داشت. شکل (۹) کانتورهای مربوط به مقادیر تشعشع ۱۲/۵ کیلووات بر مترمربع (نمودار داخلی) و ۴ کیلووات بر مترمربع (نمودار بیرونی) ناشی از وقوع آتش فورانی را برحسب فاصله (متر) از محل حادثه نشان می‌دهد. حداکثر مقدار تشعشع ناشی از این حریق برابر ۱۲/۵ کیلووات بر مترمربع است و این حریق منجر به تشعشع بیشتر نخواهد شد.

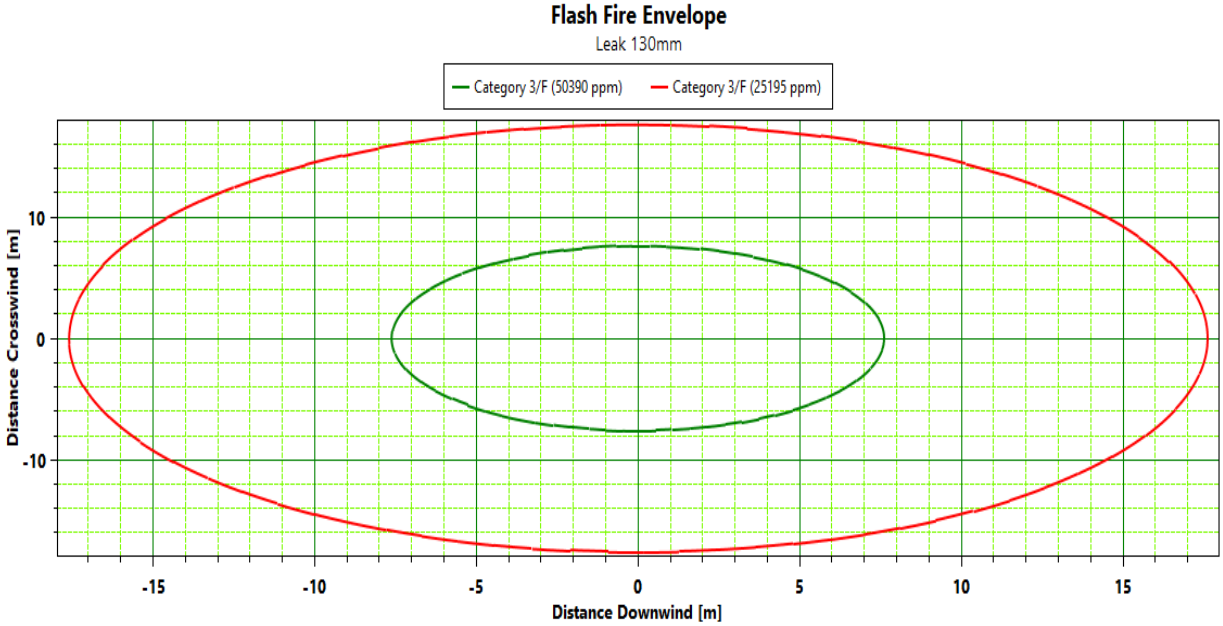


شکل ۸- میزان تشعشع (Kw/m^2) ناشی از حریق فورانی برحسب فاصله از محل حادثه



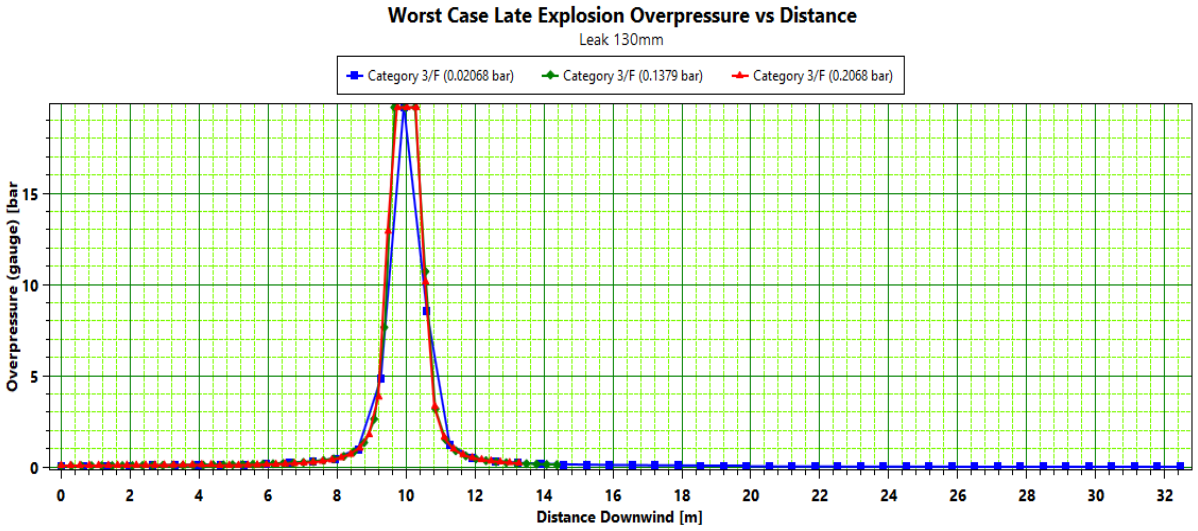
شکل ۹- کانتورهای میزان تشعشع آتش فورانی برحسب فاصله از محل حادثه

شکل (۱۰) فواصل تحت تاثیر آتش ناگهانی ناشی از سناریو نشتی ۱۳۰ میلی متر را نشان می‌دهد. کانتور داخلی فواصل تحت تاثیر معیار LFL و کانتور بیرونی فواصل تحت تاثیر معیار نصف LFL را نشان می‌دهد. افرادی که در داخل فواصل تحت تاثیر معیار LFL قرار دارند در تماس مستقیم تا شعله این حریق می باشند.



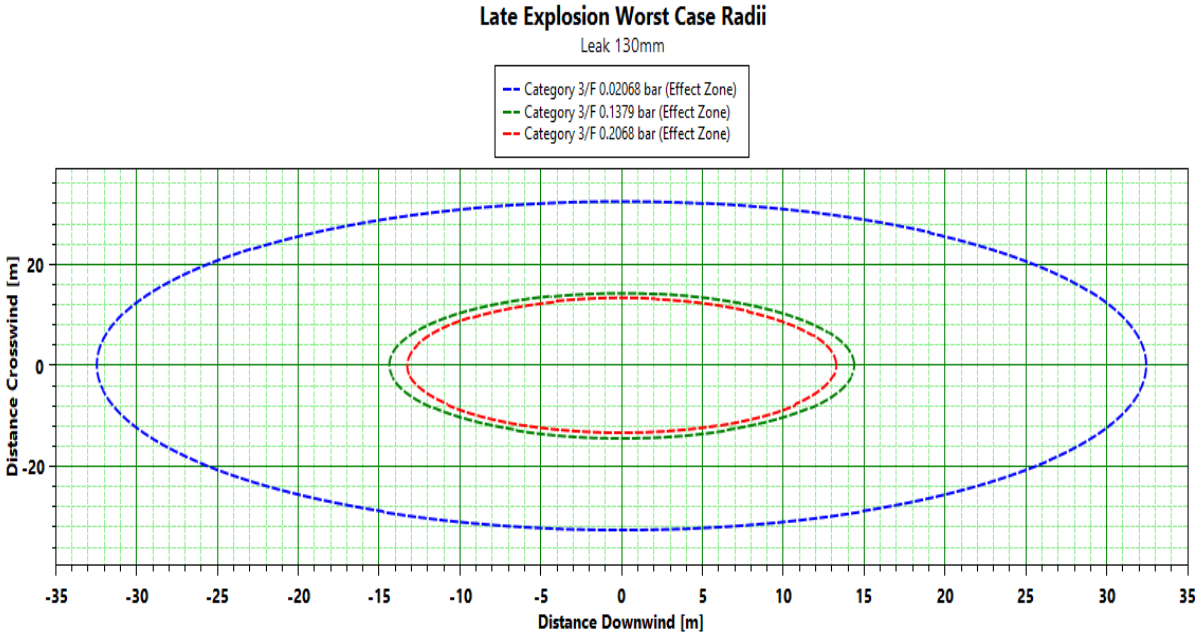
شکل ۱۰- فواصل تحت تاثیر آتش ناگهانی ناشی از اندازه نشتی ۱۳۰ میلی متر

انفجار ایجاد شده در اثر رهایش مواد قابل اشتعال، منجر به ایجاد موج انفجار در هوای اطراف خود می‌گردد . شکل (۱۱) حداکثر میزان قدرت موج انفجار برای معیارهای مختلف ارزیابی پیامد موج انفجار (۰/۰۲، ۰/۱۳ و ۰/۲۰ بار) برحسب فاصله از محل حادثه نشان می‌دهد. همانطوریکه قابل مشاهد است در فاصله حدود ۱۰ متری از محل وقوع سناریو ۱۳۰ میلی متر بیشترین قدرت موج انفجار که برابر ۲۰ بار است ایجاد شده است.



شکل ۱۱- میزان موج انفجار (بار) ناشی از وقوع سناریو ۱۳۰ میلی متر برحسب فاصله از محل وقوع حادثه

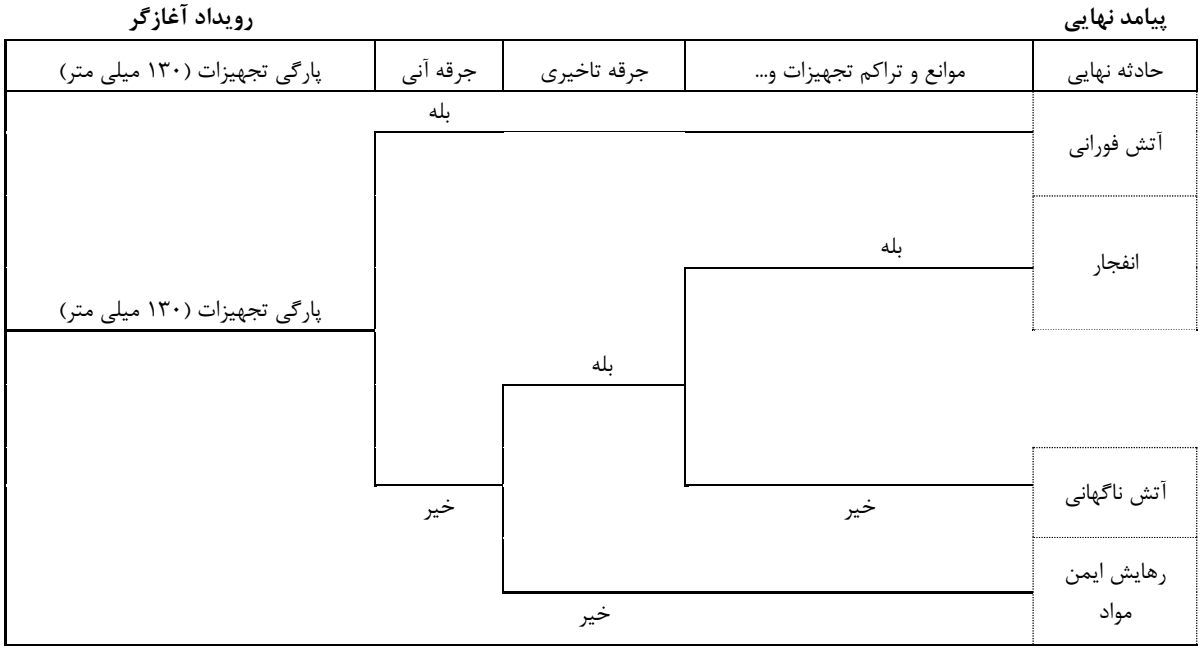
شکل (۱۲) نواحی تحت تاثیر مقادیر مختلف موج انفجار (۰/۰۲، ۰/۱۳ و ۰/۲۰ بار) برحسب فاصله از محل وقوع سناریو حادثه برای اندازه نشتی ۱۳۰ میلی متر (پارگی خطوط لوله و تجهیزات) را نشان می‌دهد. این نواحی به ترتیب از داخل به بیرون مربوط به مقادیر موج انفجار ۰/۲۰، ۰/۱۳ و ۰/۰۲ بار می‌باشد.



شکل ۱۲- کانتورهای موج انفجار (بار) ایجاد شده ناشی از سناریو اندازه نشتی ۱۳۰ میلی متر از محل حادثه

برای تعیین نوع پیامد ناشی از وقوع یک سناریو اغلب از درخت رویداد استفاده می گردد. درخت رویداد پیامدهای نهایی ناشی از وقوع سناریو را برحسب شکست یا عمل کردن موانع ایمنی نشان می دهد. بطوریکه در صورتیکه در محیط انتشار مواد بلافاصله یک منبع جرقه آنی وجود داشته باشد، پیامد نهایی این سناریو آتش فورانی خواهد بود. در صورتیکه جرقه تاخیری وجود داشته باشد، نوع پیامد نهایی بستگی به وجود موانع و تراکم در محیط است که در این صورت پیامد نهایی انفجار خواهد بود و در صورت عدم وجود موانع پیامد نهایی آتش ناگهانی خواهد. در صورتیکه عامل جرقه آنی و تاخیری در نواحی رهایش مواد وجود نداشته باشد، پیامد نهایی، رهایش مواد خواهد بود. شکل جدول ۱۰ یک نمونه ساده از درخت رویداد سناریو پارگی کامل تجهیزات (نشتی ۱۳۰ میلی متر) در نیروگاه بیوگاز نشان می‌دهد.

جدول ۱۰- درخت رویداد سناریو پارگی تجهیزات نیروگاه (نشتی ۱۳۰ میلی متر)



۱۱- بحث و تحلیل نتایج

نتایج مطالعه نشان داد که مخاطرات اصلی نیروگاه بیوگاز مورد مطالعه، آتش فورانی، آتش ناگهانی و انفجار می باشد. بخاطر اینکه مواد قابل اشتعال موجود در نیروگاه مایع نیست لذا امکان وقوع آتش استخری و انفجار بخار منبسط شده مایع در حال جوشان وجود ندارد. وقوع این پیامدها یعد از نشتی مواد، بخاطر قابلیت اشتعال ترکیب گاز تولیدی در نیروگاه بخصوص گاز متان، خواص فیزیکی و شیمیایی آن، منابع جرقه در محیط و تراکم تجهیزات و... می باشد.

در صورتیکه در زمان رهایش مواد به محیط منبع جرقه آنی در محیط وجود داشته باشد و خروج مواد همراه با فشار باشد، پیامد نهایی آتش فورانی خواهد بود. در صورتیکه در محیط منبع جرقه آنی وجود نداشته باشد و گاز مدتی اجازه پیدا کند که در محیط منتشر شود در این حالت، در صورت وجود منبع جرقه تاخیری و موانع و تراکم در مسیر انتشار مواد، پیامد نهایی انفجار خواهد بود. آتش ناگهانی نیز زمانی رخ می‌دهد که انتشار مواد در یک محیط باز باشد و در اثر برخود به یک منبع جرقه تاخیری، آتش ناگهانی رخ می دهد.

آتش فورانی و ناگهانی از طریق میزان تشعشع حراراتی که در محیط ایجاد می کنند سبب آسیب و مرگ و میر افراد و تخریب تجهیزات و ساختمانها می گردد، در حالیکه انفجار به دنبال ایجاد موج انفجار در هوا از طریق موج گرفتگی مستقیم افراد یا برخود افراد به تجهیزات و برعکس و ریزش سقف ساختمانها سبب آسیب و مرگ و میر افراد و تخریب تجهیزات و ساختمانها می شود. اگر در مسیر رهایش مواد در محیط منبع جرقه آنی و تاخیری وجود نداشته باشد، پیامد نهایی، فقط رهایش مواد خواهد بود که در این موقع هدر رفتن مواد مدنظر قرار می‌گرد. در ادامه با بکارگیری یکی از قوی ترین و مناسبترین نرم افزارهای فنی و مهندسی پیامد سناریوهای بالقو نشتی و پارگی تجهیزات در نیروگاه مورد مطالعه مورد مدلسازی و تحلیل قرار گرفته است .

نتایج شناسایی و تعیین و تحلیل سناریوهای بالقوه نیروگاه مورد مطالعه نشان داد که، وقوع نشتی یا پارگی تجهیزات در اثر طیف گسترده ای از عوامل درونی و بیرونی از جمله، خوردگی خطوط، خطای انسانی، فرسودگی تجهیزات، شرایط محیطی، عملیاتهای فرآیندی و ساخت و ساز در حال انجام در اطراف و محل نیروگاه و.. بسیار محتمل می باشد. نشتی از محل اتصال لوله ها در ابتدای چاه های بیوگاز، در مسیر انتقال به نیروگاه، فلنج ها، تجهیزات ابزار دقیق و... محتمل می باشد. همچنین ممکن از به دلیل عوامل فوق الذکر یا برخورد تجهیزات عمرانی با خطوط لوله، سناریو پارگی خطوط لوله حاوی گاز نیز رخ دهد. بعد از تعیین نوع سناریو که بصورت نشتی یا پارگی تجهیزات می باشد، با بررسی میدانی و برگزاری جلسات متعدد با کارشناسان ایمنی و اپراتورهای نیروگاه محل های بالقوه وقوع این سناریوها مشخص گردید. سپس با توجه به اندازه قطر داخلی محل‌های بالقوه وقوع سناریو، اندازه نشتی ها تعین شد. لذا سناریوهای بالقوه نیروگاه مورد مطالعه نشتی های ۵ و ۲۵ میلی متر و پارگی کامل خطوط لوله (نشتی ۱۳۰ میلی متر) در محلهای تعیین شده می‌باشد. در مرحله بعد اطلاعات فرآیندی شامل دما، فشار و ترکیب مواد موجود در محلهای وقوع سناریو و داده‌های آب و هوایی منطقه از طریق نزدیکترین ایستگاه هواشناسی به محل مورد مطالعه تعیین گردد.

همانطوریکه در بخش‌های قبلی ذکر شد سناریوها بالقوه واحد مورد مطالعه وقوع نشتی و پارگی تجهیزات و مخاطرات آنها بسته به وجود منابع جرقه و شرایط محیطی ممکن است آتش فورانی، آتش ناگهانی و انفجار یا فقط رهایش مواد و هدر رفتن آنها باشد. برای تعیین شدت این پیامدها از آخرین نسخه نرم افزار بسیار خبره و مهندسی PHAST 7.11 استفاد گردید. برای این منطور ابتدا نوع سناریو در این نرم افزار تعریف گردید، سپس داده های مربوط به هر کدام از سه سناریو بالقوه تعیین شده که شامل: داده های فرآیندی (دما، فشار، مقدار ماده، ترکیب و درصد مواد، ارتفاع و زاویه رهایش مواد، و داده‌های شرایط آب و هوایی (میانگین سالیانه دمای محیط، سرعت باد، رطوبت نسبی و کلاس پایداری جوی منطقه وارد شد و عملیات مدلسازی پیامد انجام گرفت.

نتایج مدلسازی پیامد سناریو نشتی ۵ میلی متر نشان داد که شدت تشعشع آتش فورانی ناشی از رهایش مواد ناچیز بوده (حداکثر ۰/۰۳ کیلووات بر مترمربع) و حداکثر تا فاصله تقریباً ۲ متر ادامه خواهد داشت. میزان تشعشع این حریق در سناریو نشتی ۲۵ میلی متر، نزدیک ۲ کیلوات بر مترمربع است و تشعشات آن تا فاصله ۹ متری از محل حادثه ادامه خواهد داشت. در حالیکه سناریو پارگی خطوط لوله (نشتی ۱۳۰ میلی متر) منجر به آتش فورانی قابل ملاحظه می‌گردد. تشعشع این حریق در این سناریو نزدیک

به ۲۶ کیلوات بر مترمربع است و تشعشات آن تا فاصله ۳۰ متری از محل حادثه ادامه خواهد داشت. این میزان تشعشع برای ایجاد آسیب جدی و غیر قابل جبران افرادی که در این ناحیه قرار دارند کافی می باشد. توجه داشته باشید که تشعشع ۴ کیلووات بر مترمربع ، آستانه درد، تشعشع ۱۲/۵ کیلووات بر مترمربع سبب سوختگی درجه ۲ و تخریب سازهای چوبی و پلاستیکی و تشعشع ۳۷/۵ کیلووات بر مترمربع سبب مرگ آنی افراد و تخریب کامل تجهیزات و ساختمانها در مدت زمان ۲۰ ثانیه در معرض قرار گرفتن در برابر این مقادیر تشعشع می شود.

در صورتیکه بعد از رهایش مواد قابل اشتعال در محیط جرقه تاخیری وجود داشته باشد و در مسیر مواد رهایش یافته موانع و تجهیزات وجود نداشته باشد و توزیع گاز در محیط بصورت یکنواخت یا نزدیک به یکنواخت باشد، وقوع آتش ناگهانی بسیار محتمل می‌باشد. در ارزیابی پیامد آتش ناگهانی، دو منطقه تحت تاثیر یعنی ناحیه تحت تاثیر LFL و ناحیه تحت تاثیر نصف LFL مبنای ارزیابی پیامد آتش ناگهانی می‌باشد. ناحیه تحت تاثیر LFL ناحیه است که تحث تاثیر شعله مستقیم آتش قرار گرفته است و افرادی که در این ناحیه قرار دارند در تماس مستقیم با شعله می باشد، به همین خاطر این افراد بخاطر دریافت تشعشع بسیار بالا و مواجهه با گازهای ناشی از احتراق به احتمال خیلی زیاد دچار مرگ آنی خواهند شد. افرادی که در بیرون از این ناحیه یعنی ناحیه تحت تاثیر نصف غلظت LFL ماده قرار دارند، در بیرون از شعله های حریق می‌باشند و این افراد ممکن است دچار مشکلات تنفسی و سوختگی ناشی از تشعشع شوند ولی احتمال مرگ و میر آنها بسیار ناچیز است.

نتایج مدلسازی آتش ناگهانی ناشی از سناریو نشتی ۵ میلی متر نشان داد که محدود اثر گذاری این حریق (فواصل تحت تاثیر معیار LFL) بسیار ناچیز و کمتر از ۱ متر می باشد و سناریو ۲۵ میلی متر نیز منجر به آتش ناگهانی با محدود تحت تاثیر کمتر از ۲ متر (LFL) و ۳ متر (نصف LFL) می‌شود. در حالیکه سناریو پارگی کامل خطوط لوله منجر به آتش ناگهانی با محدود تحت تاثیر ۸ و ۲۰ متر از محل حادثه خواهد بود که نسبت به دو سناریو قبلی بسیار قابل توجه‌تر می‌باشد. لازم به ذکر است محدود تحت تاثیر غلظت LFL در آتش ناگهانی تحت شدت بسیار تشعشع (حداقل ۱۰۰ کیلوات بر مترمربع) قرار می گیرد که این مقدار برای مرگ آنی افراد در مدت زمان ۲۰ ثانیه کافی می‌باشد.

انفجار ایجاد شده در اثر رهایش مواد قابل اشتعال، منجر به ایجاد موج انفجار در هوای اطراف خود می‌گردد. در این مطالعه برای ارزیابی پیامد انفجار از معیارهای ۰/۰۲، ۰/۱۳ و ۰/۲۰ بار که در اغلب مطالعات مدلسازی پیامد استفاده می شود، استفاد شد. نتایج مدلسازی موج انفجار نشان داد که اندازه نشتی های ۵ و ۲۵ میلی متر منجر به وقوع موج انفجار نمی‌شوند. دلیل عمده این موضوع این است که مقادیر گاز رهایش یافته در این سناریوها کمتر از حداقل غلظت قابل انفجار (LEL) است و منجر به وقوع انفجار نخواهد شد. در سناریو ۱۳۰ میلی متر به دلیل غلظت بالای گاز رهایش یافته در محیط انفجار رخ می‌دهد.

نتایج مدلسازی انفجار ناشی از این سناریو نشان داد که بیشترین قدرت موج انفجار ایجاد شده برابر ۲۰ بار می‌باشد است که در فاصله حدود ۱۰ متری از وقوع حادثه ایجاد می شود. انفجار ایجاد شده در اثر رهایش مواد قابل اشتعال، منجر به ایجاد موج انفجار در هوای اطراف خود می‌گردد. از آنجائیکه موج انفجار ۰/۸۳ بار برای تخریب کامل تجهیزات، ساختمانها و مرگ آنی افراد کافی می‌باشد، مقدار موج انفجار ایجاد شده ۲۰ بار مقدار بسیار زیادی نسبت به این مقدار می باشد که میتواند سبب تخریب کامل تجهیزات، ساختمان و مرگ آنی افراد تا فاصله حدود ۱۰ متری از محل حادثه شود. ۱۲، ۱۴ و نواحی تحت تاثیر مقادیر مختلف موج انفجار ۰/۰۲، ۰/۱۳ و ۰/۲۰ بار به ترتیب برابر۱۲، ۱۴ و ۳۳ متر از محل وقوع حادثه می باشد. به عبارتی دیگر مقدار موج انفجار ۰/۰۲ بار، سبب ایجاد آسیب جزئی تا فاصله ۳۳ متری از محل وقوع نشتی، موج انفجار ۰/۱۳ بار سبب تخریب دیوارهای بتنی یا بلوکه های سیمانی و تقویت نشده تا فاصله ۱۴ متری و موج انفجار ۰/۲۰ بار برای تخریب ساختمانهای با اسکلت فولادی و کنده شدن فوندانسیون آنها کافی است که در صورت وقوع سناریو حادثه تا فاصله ۱۲ متری از محل نشتی ممکن است رخ دهد.

با توجه به موج انفجار ایجاد شده و قدرت تخریب بالای آنها، بنظر می‌رسد اجرای اقدامات کاهنده در برابر زیان‌آوری موج انفجار مانند استفاده از پوشش‌های ضد انفجار و ضد حریق و پیشگیری از وقوع نشتی امری ضروری در تاسیسات نیروگاه بیوگاز مورد مطالعه باشد.

در این مطالعه حریم ایمن نیروگاه و شبکه انتقال گاز از چاه به نیروگاه با استفاده از مدلسازی بدترین سناریو و بدترین پیامد در بین سناریو و پیامدهای محتمل تعیین شد. نتایج نشان داد که انفجار ناشی از سناریو پارگی کامل خطوط لوله و تجهیزات واحد مطالعه منجر به ایجاد موج انفجار ۰/۰۲ با تا فاصله ۳۳ متری از محل حادثه می شود که این فاصله را میتوان بعنوان حریم ایمن پیامدهای ناشی از رهایش مواد، حریق و انفجار بالقوه ناشی از فعالیت های واحد مورد مطالعه تعیین کرد.

۱۲- نتیجه گیری

امروزه در سراسر جهان گام‌های مهمی برای حرکت از اقتصاد و فناوری های مبتنی بر فسیل به سمت اقتصاد و صنایع پایدارتر مبتنی بر زیست توده برداشته شده است. از جمله یکی از این گام های مهم، تولید انرژی از زیست توده می‌باشد. زیست توده یکی از منابع عمده در میان انواع منابع انرژی است. منابع زیست توده شامل ترکیبات آلی با زنجیره بلند می‌باشند که در فرایند هضم بی هوازی به مولکول های ساده‌تر تبدیل می‌گردد. حاصل این فرایند گازی قابل اشتعال به نام بیوگاز می‌باشد. نیروگاه‌های تولید برق بیوگاز سوز به دلیل ماهیت عملیات و داشتن مواد قابل اشتعال پتانسل وقوع حوادث فاجعه آمیز را دارند. یکی از اقدامات مهم جهت ایمن سازی این واحدها، انجام مطالعات مدلسازی و ارزیابی پیامد حریق و انفجار به منظور تخمین دقیق پتانسیل و حریم ایمن این حوادث می‌باشد. مطالعه حاضر با هدف بکارگیری روشی نوین و دقیق جهت مدلسازی و ارزیابی سناریوهای محتمل حریق و انفجار در نیروگاه تولید برق بیوگاز شهر مشهد طراحی شده است. در این مطالعه ابتدا سناریوهای بالقوه نشتی و پارگی تجهیزات با استفاده از روش HAZID شناسایی و مدلسازی پیامدهای ممکن با در نظر گرفتن کلیه پارامترهای تاثیر گذار با استفاده از نرم افزارPHAST انجام شد. نتایج مطالعه نشان داد که مخاطرات اصلی نیروگاه بیوگاز مورد مطالعه، آتش فورانی، آتش ناگهانی و انفجار می¬باشد که دارای قدرت تخریب بالا بوده و موجب صدمه به افراد و تاسیسات می‌گردد. بنابراین لازم است پیاده سازی استاندارد ها و رعایت اصول ایمنی در تاسیسات بیوگاز در اولویت باشد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از کارکنان و مسئولین محترم نیروگاه بیوگاز مشهد و دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر تقدیر و تشکر می کنند.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می کنند که در مورد انتشار این مقاله تعارض منافع وجود ندارد.

تاییدیه اخلاقی

نویسندگان متعهد می شوند که مطالب این مقاله را در هیچ مجله دیگری به چاپ نرسانده اند.

مشارکت های نویسندگان

مجتبی کمایستانی: روش شناسی، نرم افزار، تحقیق، تحلیل، پیش نویس، نگارش، اعتبار سنجی، منابع

محراب فلاحی سامبران: مفهوم سازی، روش شناسی، نرم افزار، تحقیق، تحلیل، بازبینی و ویرایش، اعتبار سنجی، منابع، راهنمایی

منابع مالی

این پژوهش هیچگونه حمایت مالی از سوی سازمانها یا نهادهای دولتی، خصوصی یا غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مراجع

[1] M. Poeschl, S. Ward, and P. Owende. "Prospects for expanded utilization of biogas in Germany." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, no. 7 (2010): 1782-1797.

[2] G. Gadirli, A.A. Pilarska, J. Dach, K. Pilarski, A. Kolasa-Więcek, and K. Borowiak. "Fundamentals, Operation and Global Prospects for the Development of Biogas Plants—A Review." *Energies* 17, no. 3 (2024): 568.

[3] P. Garkoti, J.Q. Ni, and S.K. Thengane. "Energy management for maintaining anaerobic digestion temperature in biogas plants." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 199 (2024): 114430.

[4] Y. Sun, H.L. Dai, H. Moayedi, B. Nguyen Le, and R.M. Adnan. "Predicting steady-state biogas production from waste using advanced machine learning-metaheuristic approaches." *Fuel* 355 (2024): 129493.

[5] S. Cheng, S.P. Lohani, U.S. Rajbhandari, P. Shrestha, S. Shrees, R. Bhandari, and M. Jeuland. "Sustainability of large-scale commercial biogas plants in Nepal." *Journal of Cleaner Production* 434 (2024): 139777.

[6] M. Adl, and G.A. Omrani. "Background of biogas technology and its recent developments in Iran." *International Journal of Global Energy Issues* 29, no. 3 (2008): 273-283.

[7] M. Adl, K. Sheng, and A. Gharibi. "Technical assessment of bioenergy recovery from cotton stalks through anaerobic digestion process and the effects of inexpensive pre-treatments." *Applied Energy* 93 (2012): 251-260.

[8] S.M.Y. Foroushani. "Bright prospects of biogas in 2011-2021 in Isfahan, Iran." *Indian J. Fundam. Appl. Life Sci* 5: 12015.

[9] G. Taleghani, and A. Shabani Kia. "Technical–economical analysis of the Saveh biogas power plant." *Renewable Energy* 30, no. 3 (2005): 441-446.

[10] H.E. Mashad, and R. Zhang. "Biogas energy from organic wastes." *Introduction to Biosystems Engineering* (2020): 1-23.

[11] I. Díaz, A.C. Lopes, S.I. Pérez, and M. Fdz-Polanco. "Performance evaluation of oxygen, air and nitrate for the microaerobic removal of hydrogen sulphide in biogas from sludge digestion." *Bioresource Technology* 101, no. 20 (2010): 7724-7730.

[12] A. Soltanzadeh, M. Mahdinia, H. Golmohammadpour, R. Pourbabaki, M. Mohammad-Ghasemi, and M. Sadeghi-Yarandi. "Evaluating the potential severity of biogas toxic release, fire and explosion: consequence modeling of biogas dispersion in a large urban treatment plant." *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics* 29, no. 1 (2023): 335-346.

[13] K. Stolecka, and A. Rusin. "Potential hazards posed by biogas plants." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 135 (2021): 110225.

[14] V. Schröder, B. Schalau, and M. Molnarne. "Explosion protection in biogas and hybrid power plants." *Procedia Engineering* 84 (2014): 259-272.

[15] R. Pietrangeli, P. Bragatto Lauri, and P.A. Bragatto. "Safe operation of biogas plants in Italy." *Chemical Engineering Transactions* 32 (2013).

[16] A.C. Rohr, S.L. Campleman, C.M. Long, M.K. Peterson, S. Weatherstone, W. Quick, and A. Lewis. "Potential occupational exposures and health risks associated with biomass-based power generation." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12, no. 7 (2015): 8542-8605.

[17] G.M. Naja, R. Alary, P. Bajeat, G. Bellenfant, J.J. Godon, J.P. Jaeg, G. Keck et al. "Assessment of biogas potential hazards." Renewable energy 36, no. 12 (2011): 3445-3451.

[18] R. Ambarwati, R. Dijaya, and I. Anshory. "A multi-method study of risk assessment and human risk control for power plant business continuity in Indonesia." *Results in Engineering* 21 (2024): 101863.

[19] P.R. Williams, and D.J. Paustenbach. "Risk characterization." *Human and Ecological Risk Assessment: Theory and Practice* 1 (2024): 263-331.

[20] P.K. Sharma, V. Verma, and J. Chattopadhyay. "CFD based Fire, Explosion and Toxicity Safety Evaluation for Nisargruna Biogas Plant." *BARC Newsletter* (2023).

[21] J.Q. Ni. "A review of household and industrial anaerobic digestion in Asia: Biogas development and safety incidents." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 197 (2024): 114371.

[22] S.S Grossel. "Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis: ; By Center for Chemical Process Safety; American Institute of Chemical Engineers, New York, NY, 2000, pp. 750." *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 14, no. 5 (2001): 438-439.

[23] H.W. Witlox, M. Fernández, M. Harper, A. Oke, J. Stene, and Y. Xu. "Verification and validation of Phast consequence models for accidental releases of toxic or flammable chemicals to the atmosphere." *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 55 (2018): 457-470.

[24] M. Momeni, and M. Mehregan. "Quantitative risk assessment of urban gas pipelines and identify sensitive areas by providing comprehensive and integrated model." (2019): 140-166.