

The influence of climate change on the modeling of fire and explosion risk consequences in a City Gas Station (CGS)

Hedieh Mirzakhani¹ , Vida Zarvanshani^{2,3*} , Saeid Ahmadi⁴ 

1- MSC student of Occupational Health and Safety Engineering, Research Committee, School of Public Health, Qazvin University of Medical Sciences, Tehran, Iran

2- Assistant Professor of Department of Occupational Health, School of Public Health, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran

3- Social Determinants of Health Research Center, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin Iran

4-Assistant professor of Department of Occupational Health, School of Public Health, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran

Abstract

Background and Aims: City gas stations have an important role in safety planning and crisis management. The present study was aimed to investigate the effect of climate change on the fire and explosion hazard distance in a CGS station at Qazvin in 2018.

Materials and Methods: In this study, eight dominant climatic conditions of study province were investigated. The average of 3-year data in relation to atmospheric parameters was prepared from Qazvin Meteorological Organization. The review of risk assessment studies of the target and similar stations in previous years was followed by preparing topographic maps and process information. Then, the type and characteristics of the possible scenario were determined and the consequences of fire and explosion risk were simulated using PHAST software version 7.11. During the study, all ethical requirements were observed.

Results: Climate change was effective on the outcome of fire and explosion risk at the CGS station, so that depending on the decreased and increased ambient temperature, the minimum (278.5 m) and maximum (321.321 m) flame length were obtained in winter and summer, respectively. In winter, the distance and danger zone affected by the explosion was reduced to 686 m. Also in this season, the flame length increased and the danger distance decreased to 9.4 m during day hours.

Conclusion: Increasing ambient air temperature, atmospheric stability, solar radiation flux, natural gas flow rate and the increased natural gas pressure inside the pipeline results in increased affected distance around the station. On the other hand, the increased relative humidity would cause to reduce the affected distance around the station.

Keywords: Fire, Explosion, Modeling, Climate Change

Please Cite this article as: Mirzakhani H, Zarvanshani V, Ahmadi S. The influence of climate change on the modeling of fire and explosion risk consequences in a City Gas Station (CGS). *Journal of Health in the Field*. 2020; 8(2):44-56.

Corresponding Author: Department of Occupational Health, School of Public Health, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran.

Email: v.zarvanshani@qums.ac.ir

DOI: <https://doi.org/10.22037/jhf.v8i2.30676>

Received: 30 May 2020

Accepted: 23 August 2020

بررسی تأثیر تغییرات جوی بر مدل سازی پیامد ریسک حریق و انفجار در یک ایستگاه تقلیل فشار گاز شهری (CGS) عنوان کوتاه: تأثیر تغییرات جوی بر مدل سازی پیامد ریسک حریق و انفجار

هدیه میرزاخانی^۱، ویدا زراوشانی^{۲،۳}، سعید احمدی^۴

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، کمیته تحقیقات دانشجویی دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، ایران
- ۲- استادیار گروه بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران
- ۳- استادیار رشته بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی مؤثر بر سلامت، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران
- ۴- استادیار گروه بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران

چکیده

زمینه و اهداف: ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز شهری نقش مهمی در برنامه‌ریزی ایمنی و مدیریت بحران شهری دارد. مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر تغییرات جوی بر فاصله اثر حریق و انفجار یکی از ایستگاه‌های CGS شهر قزوین طی در سال ۱۳۹۷ انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه هشت وضعیت آب و هوایی غالب استان، بررسی گردید. میانگین داده‌های ۳ سال مربوط به پارامترهای جوی از سازمان هواشناسی استان قزوین تهیه شد. در ادامه با بررسی مطالعات ارزیابی ریسک ایستگاه مورد مطالعه و ایستگاه‌های مشابه در سال‌های قبل و تهیه نقشه‌های توپوگرافی و اطلاعات فرآیندی انجام پذیرفت. سپس نوع و مشخصات سناریو محتمل تعیین و شبیه سازی پیامد ریسک حریق و انفجار با استفاده از نرم‌افزار PHAST نسخه ۷،۱۱ صورت گرفت. در طول مدت مطالعه، کلیه موازین اخلاقی رعایت گردید.

یافته‌ها: تغییرات جوی بر پیامد ریسک حریق و انفجار در ایستگاه CGS موردنظر مؤثر بود به گونه‌ای که بر اثر کاهش و افزایش دمای هوا، در زمستان کمترین (۲۷۸/۵ m) و در تابستان بیشترین (۳۲۱/۸ m) طول شعله حریق به دست آمد. در زمستان، فاصله و ناحیه خطری که تحت تأثیر انفجار قرار می‌گیرد به ۶۸۶ m، کاهش یافت. همچنین در این فصل در ساعات روز، طول شعله افزایش و فاصله اثر به اندازه ۹/۴m کاهش یافت.

نتیجه‌گیری: افزایش دمای هوا، پایداری جو، شار تابشی خورشید، فلو گاز طبیعی داخل خط لوله و افزایش فشار گاز طبیعی داخل خط لوله موجب افزایش فاصله اثر اطراف ایستگاه و افزایش رطوبت نسبی موجب کاهش فاصله اثر اطراف ایستگاه می‌گردد.

کلید واژه‌ها: حریق، انفجار، مدل سازی، تغییرات جوی

*نویسنده مسئول: ایران، قزوین، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، دانشکده بهداشت، گروه بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کار.

Email: v.zaroushani@qums.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۱۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۰۲

مقدمه

حوادث فرایندی عمده‌ترین و بارزترین علل ایجادکننده هزینه‌های هنگفت در صنایع و پالایشگاه‌ها و مگا پروژه‌های کشور ما هستند. در این صنایع، فلسفه ایمنی از رویکرد پس از وقوع به رویکرد پیش از وقوع حادثه تغییر یافته است [۱]. همچنین تعیین سناریوهای ایجادکننده حوادث و روند وقوع این حوادث در شناسایی و کنترل مخاطرات، مؤثر هستند [۲]. مشخصات آسیب‌رسانی را می‌توان با استفاده از برنامه‌های مدل‌سازی تعیین نمود. به‌طور کلی پیش‌بینی فرآیندهای مختلف به‌وسیله دو روش اصلی مطالعات تجربی و مطالعات نظری انجام می‌شود. در این میان مطالعات نظری با استفاده از مدل‌سازی ریاضی، حداکثر استفاده را از نتایج مربوط به مدل ریاضی و دیفرانسیل برده و توانسته مدل‌سازی آثار حادثه و پیامدهای حاصل از آن را با استفاده از روش‌های تحلیلی و فرمول‌های تجربی و نظری موجود و نیز استفاده از نرم‌افزارهای تجاری میسر نماید [۳]. از روش‌های مرسوم که از جمله نرم‌افزارهای تحلیل و مدل‌سازی پیامد هستند می‌توان به دو روش زیر اشاره نمود [۴]:

و Process hazard analysis software Tools: PHAST
Areal Locations of Hazardous Atmospheres :ALOH
ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز شهری (City Gas Station: CGS)
معمولاً از خطوط انتقال منشعب می‌گردند، بنابراین فشار ورودی آن‌ها همان فشار خط انتقال می‌باشد که به لحاظ انشعاب‌گیری از خطوط انتقال آن‌ها را می‌توان در زمره ایستگاه‌های بزرگ محسوب نمود. در این ایستگاه‌ها فشار گاز از میزان ۱۰۰۰ psi به ۲۵۰ کاهش می‌یابد [۵] با فرض اینکه عوامل متعددی می‌تواند باعث بروز نشتی در ایستگاه‌های تقلیل فشار نوع CGS شود، پیامد این نشتی می‌تواند منجر به بروز شرایط اضطراری گردد. پیامدهای این شرایط اضطراری یکی از چالش‌های مهم و تهدیدکننده در شرکت گاز محسوب می‌شود. تلفات بالای انسانی، بار سنگین مالی، خسارات زیست‌محیطی و تأثیرات منفی بر اعتبار شرکت، تهدید دارایی‌های جامعه و پرداخت جرائم قانونی و غیره اهمیت موضوع را پررنگ‌تر می‌نماید [۶].

فیلترهای جداکننده تجهیزات جدایی‌ناپذیر ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز هستند که برای جداسازی ذرات مایع و جامد در ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز استفاده می‌شوند که می‌توانند یکی از کانون‌های ایجاد شرایط اضطراری در این ایستگاه‌ها شوند [۷].

از طرفی تغییرات شرایط آب و هوایی از جمله دما و رطوبت هوا و همچنین جهت وزش باد می‌تواند بر شدت و میزان گستردگی حریق و انفجار اثرگذار بوده و همچنین پارامترهایی مانند دمای گاز داخل خطوط انتقال و ایستگاه‌های تقلیل فشار می‌تواند متأثر از دمای هوای بیرون بوده که این امر خود می‌تواند نتایج پیامدهای حریق و انفجار را تحت تأثیر قرار دهد. از این رو با توجه به اولویت‌های پژوهشی شرکت گاز استان قزوین و عدم انجام مطالعه مشابه در این خصوص، این مطالعه با هدف بررسی تأثیر تغییرات جوی بر پیامد ریسک حریق و انفجار در یک ایستگاه تقلیل فشار گاز شهری (CGS) طی قرار داد پژوهشی شماره ۱۹۰۰۸ در استان قزوین انجام شد.

مواد و روش‌ها

معرفی مطالعه

در این مطالعه اثر تغییرات آب و هوایی بر نتایج مدل‌سازی ریسک حریق و انفجار در قسمت فیلتر جداکننده در ایستگاه تقلیل فشار گاز برون‌شهری اقبالیه استان قزوین در سال ۱۳۹۷ مورد بررسی قرار گرفت. این ایستگاه در محدوده کیلومتر ۱۰ جاده قزوین- زنجان در شهرستان قزوین واقع شده است که به دلیل دوری از مناطق مسکونی، در صورت بروز حوادث فرایندی جمعیت شهری را تحت تأثیر قرار نداده؛ ولی به دلیل هم‌جواری با یکی از جاده‌های مواصلاتی استان از اهمیت خاصی برخوردار است. از طرفی با توجه به توسعه روزافزون مناطق مسکونی و نیاز به احداث جاده‌های دسترسی به این مناطق و ایجاد و احداث تأسیسات شهری و نیاز به جاگذاری مناسب، آگاهی از شعاع‌های حریق و انفجار و خسارت وارده آن در ایستگاه‌های گاز برون‌شهری (CGS) که یکی از

منجر به رویدادهای فرآیندی آتش‌سوزی، انفجار و یا رهاش مواد سمی شوند و در سناریوها واقعه اولیه، محدوده گسترش، پیامدها و نیز اقدامات لازم برای مقابله با شرایط اضطراری تعیین می‌شود؛ از این رو برای تعیین سناریوی مربوط به مطالعه حاضر، از روش شناسایی تجربیات مربوط به حوادث گذشته (Hazard and Operability study: HAZOP) که در شرکت ملی گاز ایران موجود بوده همچنین از مطالعات مشابه در سایر شرکت‌های ملی گاز، بررسی گزارش حوادث، شبه حوادث در ایستگاه‌های شش‌گانه استان قزوین و نیز تجربیات کارشناسان مرتبط با موضوع، استفاده گردید. پس از بررسی موارد فوق‌الذکر، از میان انحرافات شناسایی شده، بیشترین ریسک در ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز متوجه المنت فیلترهای جداکننده مخصوصاً در زمان تعویض این المنتها بود. بنابراین سناریوی نشتی با قطر نشتی برابر با قطر درب فیلتر که ۶۸ سانتی‌متر است به‌عنوان سناریوی محتمل در این مطالعه فرض گردید. لازم به ذکر است با توجه به هدف مطالعه، تاثیر تغییرات شرایط آب و هوایی بر مدل‌سازی پیامدهای حریق و انفجار بررسی گردید.

موقعیت مکانی

مطالعه حاضر در ایستگاه CGS یکی از شهرستان‌های استان قزوین (یکی از شهرستان‌های شش‌گانه این استان) و با مختصات جغرافیایی "۱۵°۰۴'۳۶" شمالی و "۵۷°۳۶'۴۹" جنوبی انجام شد.

تهیه نقشه هوایی

با استفاده از Google Map نقشه هوایی ایستگاه موردنظر تهیه و سپس موقعیت هر یک از تجهیزات روی نقشه نشان داده شد.

زیرساخت‌های مهم شهری هستند، نقش مهمی در برنامه‌ریزی ایمنی و مدیریت بحران دارد. در این مطالعه هشت وضعیت آب‌وهوایی (در تمامی فصل‌ها و دو حالت شبانه‌روز) بررسی گردید. میانگین داده‌های مربوط به پارامترهای آب و هوایی شامل دما، رطوبت، سرعت و پایداری جوی (جدول شماره ۱) مربوط به سال‌های (۱۳۹۴، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶) از اداره کل هواشناسی استان قزوین تهیه و به همراه داده‌های مربوط به شرایط نگهداری ایستگاه CGS، به‌عنوان داده‌های ورودی نرم‌افزار PHAST(7.11) استفاده گردید. در انتها پس از مدل‌سازی پیامد حادثه، نتایج مربوطه در قالب نمودارها و نقشه‌های الکترونیکی تهیه گردید. شایان ذکر است در طول مدت مطالعه، کلیه موازین اخلاقی رعایت گردید.

اطلاعات مربوط به مشخصات شرایط عملیاتی فیلتر سپاریتور شامل دمای گاز و فشار گاز ایستگاه CGS شماره ۱ اقبالیه قزوین که با استفاده از نتایج اندازه‌گیری شده و ثبت شده برای ایستگاه مورد مطالعه در شرکت گاز استان قزوین، از این شرکت دریافت گردید، با میانگین‌گیری اطلاعات ثبتی که به‌صورت روزانه در تمام سال ثبت شده بودند، نتایج به شرح جدول شماره ۲ می‌باشد.

تعریف نوع و مشخصات سناریو محتمل

سناریو، حادثه یا ترکیبی از حوادث است که وقوع آن منجر به تولید مخاطرات فرآیندی چون آتش، انفجار یا رهای مواد سمی می‌شود. کلیدی‌ترین مرحله در ارزیابی پیامد همین انتخاب سناریو است. چراکه برگزیدن سناریوهای قابل‌اعتنا از بین تعداد بسیار زیادی گزینه، باعث کاهش زمان و حجم محاسبات می‌گردد. مقصود از سناریو قابل‌اعتنا، حادثه یا ترکیبی از حوادث است که اولاً محتمل باشند، یعنی حوادث نادر بررسی نمی‌شوند، دوم اینکه عواقب حادثه موردنظر باید دارای شدت و تأثیر کافی باشد [۸،۹]. پس از تعیین مشخصات ترکیب گاز طبیعی موجود در ایستگاه مورد بررسی، نوع سناریوی محتمل تعیین گردید. با توجه به اینکه سناریوها وقایع فرضی هستند که می‌تواند

شرایط آب و هوایی

در این مرحله اطلاعات هواشناسی مورد نیاز منطقه مورد مطالعه شامل متوسط دما ($^{\circ}\text{C}$)، متوسط رطوبت نسبی (%)، میانگین سرعت باد (m/s) و جهت باد غالب از اداره کل هواشناسی استان قزوین دریافت شد (جدول شماره ۱). همچنین با توجه به اطلاعات دریافت شده و با استناد به معیار پایداری پاسکوئیل مندرج در جدول شماره ۲، معیار پایداری جو برای ایستگاه مورد نظر در فصول مختلف مطابق جدول شماره ۳ تعیین گردید.

لازم به ذکر است که شار حرارتی خورشید برای حالت روز $1/2$ و برای حالت شب صفر در نظر گرفته شد و با توجه به اهمیت جهت وزش باد در جهت رهائش مواد، گلاباد وزش باد از اداره کل هواشناسی استان دریافت و مدل سازی مورد نظر در دو جهت غالب وزش باد که اکثراً شامل جنوب شرقی و غرب می باشد، انجام گردید.



شکل ۱- نقشه هوایی ایستگاه CGS مورد نظر برگرفته از

Google Map
Figure 1- Aerial map of CGS station from Google Map

جدول ۱- خلاصه اطلاعات هواشناسی ایستگاه CGS شهر قزوین

Table 1- Summary of weather information for Qazvin city CGS station

فصل	متوسط دما ($^{\circ}\text{C}$)		متوسط رطوبت (%)	میانگین سرعت اولین باد (m/s)	جهت دومین وزش باد غالب	جهت وزش باد غالب
	شب	روز				
بهار	۹/۸	۲۶	۴۹/۳	۲/۲	جنوب شرقی	غرب
تابستان	۱۷/۱	۳۵/۳	۳۶/۷	۲	غرب	شمال غربی
پاییز	۴/۸	۱۸/۳	۵۴/۷	۱/۹	شمالی	جنوب شرقی
زمستان	-۰/۱	۱۱/۴	۶۴/۸	۲	جنوب شرقی	شمال

جدول ۲- معیار پایداری پاسکوئیل [۹]

Table 2 - Pasquill stability class [9]

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

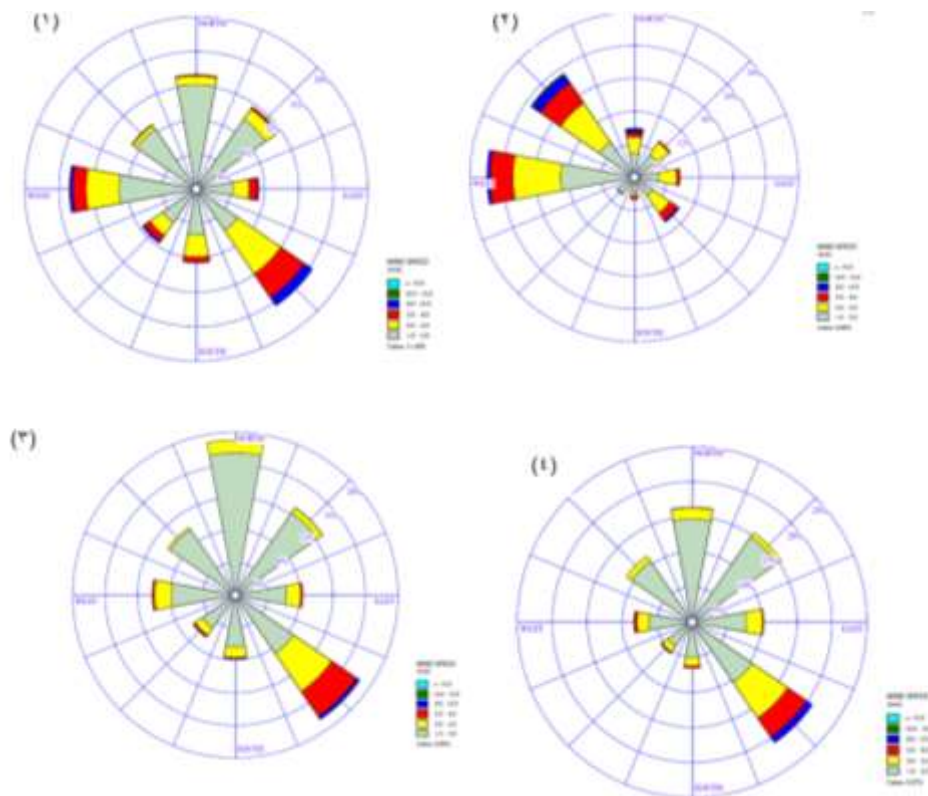
جدول ۳- معیار پایداری جو برای ایستگاه موردنظر در فصول مختلف

Table 3- pasquill stability class for the desired station in different seasons

ماه	روز	شب
بهار	B	D
تابستان	A-B	B
پاییز	A-B	B
زمستان	B	D

از اداره کل هواشناسی استان قزوین برای ایستگاه موردنظر تهیه گردید.

همچنین گلباد شهرستان قزوین در فصول مختلف (شکل شماره ۲) نیز جهت بررسی وضعیت جهت وزش باد غالب



شکل ۲- گلبادهای شهرستان قزوین در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب شماره‌های ۱ تا ۴

Figure 2. Wind roses of Qazvin city in spring, summer, autumn and winter seasons, Number 1 to 4, respectively

۹۴/۹۵، ۳/۴۷، ۰/۹۴، ۰/۴۱ و ۰/۲۳ درصد از میانگین تشکیل درصد گاز طبیعی را شامل می‌شد.

شرایط عملیاتی

دسته دیگری از اطلاعات موردنیاز برای مدل‌سازی، شرایط عملیاتی ایستگاه CGS موردنظر است که در جدول شماره ۴ ارائه شده است. همچنین با استناد به اطلاعات دریافتی از شرکت گاز استان قزوین ترکیب درصد گاز طبیعی در ایستگاه مورد مطالعه شامل متان (CH_4)، اتان (C_2H_6)، پروپان (C_3H_8)، ایزوپروپان ($I-C_4$) و نرمال بوتان ($N-C_4$) بود که به ترتیب

نشان داد تغییرات جوی می‌تواند بر پیامد ریسک حریق و انفجار در ایستگاه CGS موردنظر مؤثر باشد. برای مثال طول شعله در گرم‌ترین شرایط آب و هوایی (تابستان / روز) برابر با ۳۲۱/۷۹ متر و طول شعله در سردترین شرایط آب و هوایی (زمستان / شب) برابر با ۲۶۹/۱۹ متر بود که اختلاف طول شعله در این دو حالت برابر با ۵۲/۶m است.

جدول ۵ - پیامدهای موج فشار بر ساختمان‌ها و تجهیزات [۱۱]

Table 5: Implications of the pressure wave on buildings and equipment

میزان افزایش فشار (psi) پیامد	
۰/۳ شکسته شدن ده درصد شیشه‌ها	
۰/۷ آسیب جزئی با ساختمان‌ها	
۲ خراب شدن بخشی از دیوار ساختمان‌ها	
۲/۳ حد پایینی برای ایجاد خسارت جدی به ساختمان‌ها	
۳-۴ آسیب به مخازن مواد شیمیایی	

تأثیر تغییرات اوقات شبانه‌روز بر طول شعله

داده‌های موجود در شکل شماره ۳ نشان داد، تغییرات اوقات شبانه‌روز موجب تغییر در طول شعله حاصل از انفجار فورانی در تمامی فصول سال گردد. نتایج این مدل‌سازی نشان داد، طول شعله در روز بیشتر از شب خواهد بود و این پدیده در تمامی فصول قابل‌انتظار می‌باشد. تفاوت افزایش طول شعله‌ی روز نسبت به شب در فصول بهار تا زمستان به ترتیب ۱۴/۰۲، ۱۳/۰۲، ۱۰/۱۱ و ۹/۲۸ متر می‌باشد. الگوی تغییرات طول شعله در شب نشان می‌دهد بیشترین طول شعله شب مربوط به فصل تابستان (۳۰۸/۷ متر) و کمترین آن در زمستان (۲۶۹/۱۹ متر) مورد انتظار خواهد بود. در فصول پاییز و زمستان که با کاهش دما همراه است، طول شعله نیز از کاهش بیشتری برخوردار می‌باشد (جدول شماره ۶ و شکل شماره ۳). الگوی تغییرات طول شعله در روز نیز مانند شب به دست آمد به‌گونه‌ای که در تابستان بیشترین طول شعله (۳۲۱/۷۹ متر) و در زمستان (۲۷۸/۴۷ متر) کمترین طول شعله مورد انتظار می‌باشد.

جدول ۴ - خلاصه مشخصات شرایط عملیاتی در

ایستگاه CGS شهر قزوین

Table 4- Summary of operating conditions at CGS station in Qazvin city

بهار	۶۱۴/۶۶	
تابستان	۶۴۸/۵۵	فشار عملیاتی گاز طبیعی قبل از کاهش فشار (PSI)
پاییز	۵۹۵/۵۵	
زمستان	۵۰۲/۶۱	
بهار	۶۰/۹۹	دمای عملیاتی گاز طبیعی قبل از کاهش فشار (PSI)
تابستان	۷۳/۵۲	
پاییز	۶۶/۱۴	
زمستان	۵۹/۳۲	
۸		قطر ورودی و خروجی فیلتر سپاریتور (in)
۲۶/۷۷		قطر درب فیلتر سپاریتور (in)

نرم‌افزار موردنظر برای مدل‌سازی

به‌منظور شبیه‌سازی سناریو حادثه و شناسایی عواقب حادثه، از نرم‌افزار PHAST نسخه ۷،۱۱ محصول شرکت DNV استفاده گردید. نرم‌افزار PHAST جامع‌ترین سیستم نرم‌افزاری برای تحلیل خطر فرآیندی است که به‌منظور مدیریت ایمنی فرایند در کلبه مراحل طراحی و بهره‌برداری استفاده می‌گردد.

پیامدهای ناشی از حریق و انفجار

در جدول ۵ احتمال مرگ برای سطوح مختلف افزایش فشار ناشی از انفجار ارائه شده است. همانگونه که در این جدول مشاهده می‌گردد، تنها اختلاف فشارهای بسیار بالا می‌تواند به‌صورت مستقیم باعث مرگ انسان شود؛ ولی اگر احتمال پرت شدن انسان و برخورد با موانع همچون تجهیزات و ساختمان‌ها نیز در نظر گرفته شود، اختلاف فشارهای کمتر نیز می‌تواند سبب مرگ انسان شود [۱۰].

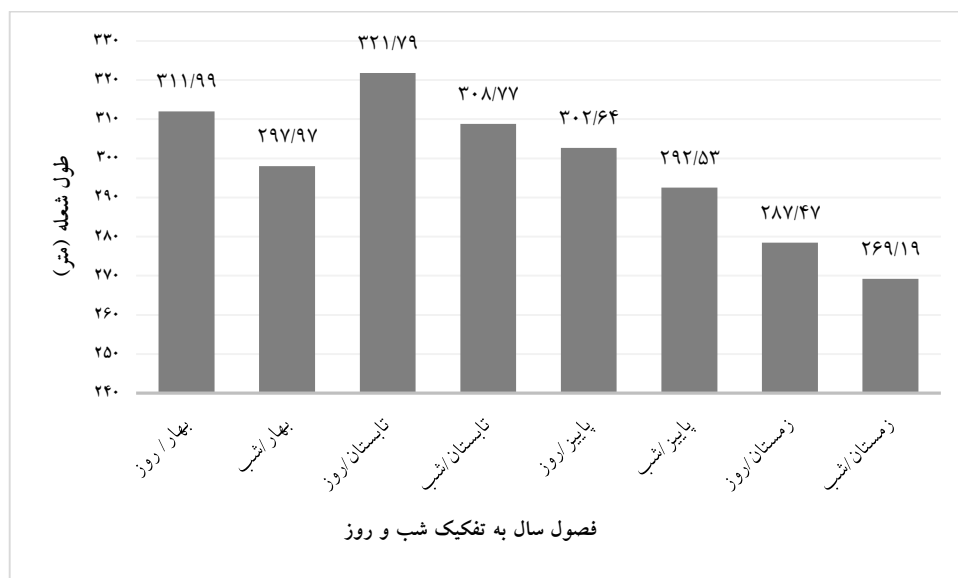
یافته‌ها

نتایج مربوط به مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار PHAST به تفکیک فصول و حالت‌های زمانی شب و روز در جدول ۶ و شکل‌های شماره ۳ تا ۵ نشان داده شده است. نتایج این مطالعه

جدول ۶ - نتایج حاصل از مدل‌سازی در خصوص طول شعله و تراز مرگ‌ومیر به تفکیک فصول سال و اوقات شبانه‌روز

Table 6 - Results of modeling regarding flame length and mortality level by seasons and day and night

زمستان		پاییز		تابستان		بهار		شرایط آب‌وهوایی اطلاعات خروجی
شب	روز	شب	روز	شب	روز	شب	روز	
۲۰۳۴/۶۵	۲۱۰۵/۴۲	۲۴۱۵/۵۷	۲۴۸۱/۷۱	۲۶۱۱/۳۶	۲۶۸۴/۳۳	۲۴۶۹/۶۱	۲۵۸۲/۹۸	نرخ دبی جرمی ($\frac{Kg}{s}$)
۲۴۹۸/۱۷	۲۴۹۴/۷۶	۲۴۶۱/۵۸	۲۴۵۹/۷۵	۲۴۷۸/۴۳	۲۴۷۹/۱۵	۲۴۸۷/۹۹	۲۴۹۰/۶۹	مدت زمان انتشار (s)
۲۶۹/۱۹	۲۷۸/۴۷	۲۹۲/۵۳	۳۰۲/۶۴	۳۰۸/۷۷	۳۲۱/۷۹	۲۹۷/۹۷	۳۱۱/۹۹	طول شعله (m)
		Incident radiation level: $4 \frac{KW}{M^2}$						
		Lethality level: 0%		view factor: 0.01 m				
۶۹۶/۶۹	۶۸۷/۲۹	۷۴۸/۹۰	۷۳۲/۳۶	۷۶۶/۵	۷۴۰/۱۱	۷۵۲/۰۲	۷۳۵/۷۲	فاصله اثر (m)
۷۶۸۳۵۰	۷۳۰۳۷۱	۸۸۶۴۱۴	۸۲۳۷۷۸	۹۱۵۵۲۸	۸۲۱۲۶۷	۸۸۴۰۹۱	۸۱۶۸۷۷	منطقه متأثر (m^2)
		Incident radiation level: $12.50 \frac{KW}{M^2}$						
		Lethality level: 6.53%		view factor: 0.04 m				
۴۷۴/۹۹	۴۷۱/۳۸	۵۱۲/۴۷	۵۰۵/۵۶	۵۲۴/۹۶	۵۱۳/۵۹	۵۱۴/۴۸	۵۰۸/۲۷	فاصله اثر (m)
۲۴۵۵۹۶	۲۳۴۱۳۱	۳۸۳۹۷۵	۲۶۵۱۹۷	۲۹۳۲۶۱	۲۶۴۹۷۵	۲۸۳۶۱۸	۲۶۳۴۹۴	منطقه اثر (m^2)
		Incident radiation level: $37.50 \frac{KW}{M^2}$						
		Lethality level: 98.74%		view factor: 0.11 m				
۳۵۸/۶۵	۳۵۷/۵۸	۳۸۶/۳۳	۳۸۲/۲۳	۳۹۶/۷۷	۳۸۹/۵۹	۳۸۹/۵۳	۳۸۷/۰۱	فاصله اثر (m)
۷۶۰۷۶	۷۲۴۲۱	۸۷۳۳۸	۸۱۲۳۲	۹۰۲۲۸	۸۰۸۸۷	۸۸۰۹۶	۸۱۶۲۸	منطقه اثر (m^2)



شکل ۳- مقایسه تغییرات طول شعله در اوقات شبانه‌روز به تفکیک فصول سال

Figure 3 - Comparison of flame length changes at day and night by seasons

تأثیر تغییرات فصول بر طول شعله

نتایج نشان می‌دهد با تغییر فصل، طول مؤثر شعله نیز تغییر می‌یابد به گونه‌ای که بیشترین و کمترین طول شعله زمانی مورد انتظار خواهد بود که انفجار فورانی به ترتیب در تابستان و زمستان رخ دهد که در این حالت طول شعله به ترتیب به حدود $321/8$ و $278/5$ متر خواهد رسید و تفاوت گرما و سرمای فصول موجب تفاوت $43/32$ متری در طول شعله می‌گردد. همچنین این نتایج نشان داد در صورت وقوع انفجار فورانی در فصل‌های بهار و پاییز طول شعله تفاوت محسوسی با یکدیگر نخواهد داشت به گونه‌ای که این اختلاف کمتر از $9/5$ متر خواهد بود (شکل شماره ۳).

تأثیر تغییرات فصول بر تراز مرگومیر

یافته‌ها در خصوص مقایسه تراز مرگومیر در فصول مختلف نشان داد مقادیر تمامی ترازهای مورد مطالعه با تغییر فصل تغییر خواهند نمود. بررسی فاصله اثر از انفجار (Effect distance) در فصول مختلف و در موقعیت زمانی روز نشان داد در تمامی ترازهای تخمین مرگومیر، در صورت وقوع انفجار فورانی، در تابستان نسبت به سایر فصول بیشترین محدوده تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. این امر در مورد زمستان به کمترین میزان خود می‌رسد. بررسی الگوها نشان داد در فصل بهار و پاییز اختلاف محسوسی در فاصله اثر از انفجار مورد انتظار نیست (شکل شماره ۴).

بر اساس داده‌های مندرج در شکل شماره ۴، در تراز مرگومیر $98/74\%$ که برابر با میزان تشعشع $37/5$ کیلووات بر مترمربع است حرارت به حدی است که برای آسیب به تجهیزات کافی است و در صورت رسیدن این تشعشع به انسان، موجب مرگ آنی می‌شود (جدول شماره ۶) [۱۲]. فاصله اثر برای این تراز، در زمستان به کمترین و در تابستان به بیشترین حد خود می‌رسد. به گونه‌ای که افرادی که در زمستان تا فاصله $357/6$ متری و در تابستان تا فاصله $389/6$ متری از کانون انفجار قرار داشته باشند در امان نبوده و به احتمال 100 دچار مرگ آنی خواهند شد. این نتایج نشان می‌دهد افزایش دما در فصل تابستان می‌تواند فاصله

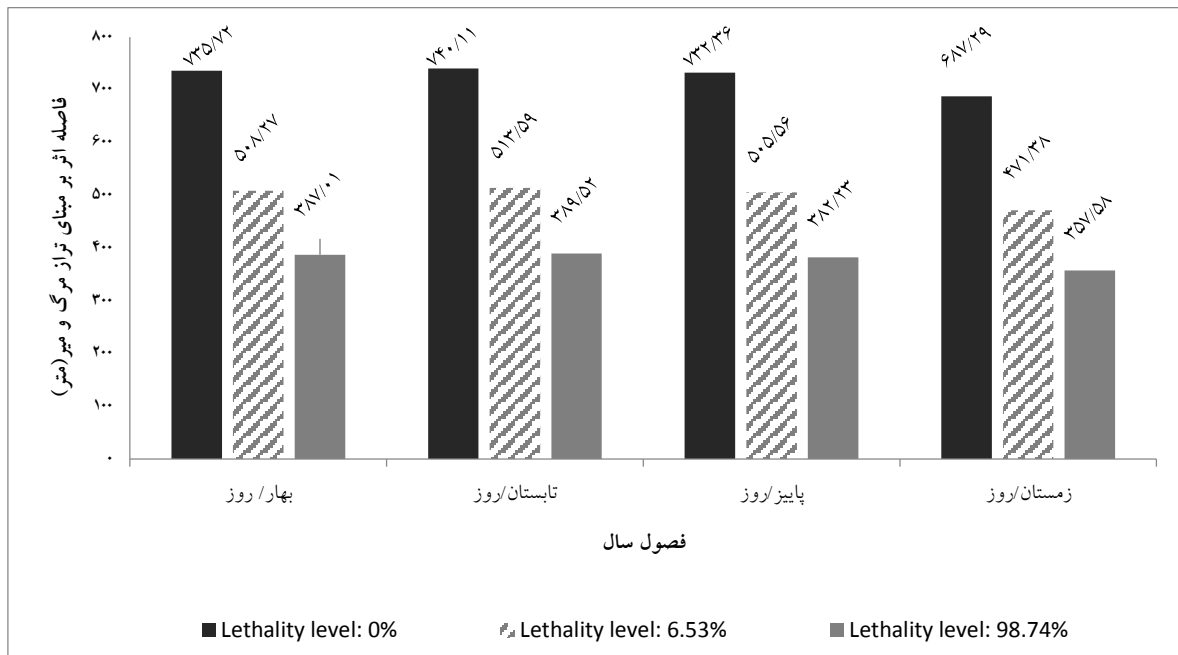
اثر منجر به مرگ آنی (تراز مرگومیر $98/74\%$) را نسبت به زمستان، بیش از 30 متر افزایش دهد (شکل ۴).

علاوه بر این از یافته‌های شکل شماره ۴ می‌توان در تعیین حداقل فاصله ایمنی ایستگاه موردنظر استفاده نمود. به گونه‌ای که فاصله 740 متر از حد مرزی ایستگاه موردنظر را می‌توان به عنوان حداقل فاصله ایمنی برای استقرار افراد و تجهیزات در نظر گرفت چراکه فواصل کمتر از این مقدار، در تراز کشندگی قرار خواهند گرفت.

تأثیر تغییرات جهت وزش باد بر مختصات و گستردگی حریم آتش

نتایج الگوها نشان می‌دهد در هر دو جهت وزش باد غالب با تغییر فصل، مختصات و گستردگی حریم آتش تغییر خواهد کرد. مختصات منطقه متأثر در فصل بهار و تابستان تغییر محسوسی ندارد؛ اما گستردگی ناحیه تحت تأثیر در هر سه پهنه که با رنگ آبی، سبز و قرمز در شکل شماره ۵ نشان داده شده است در تابستان افزایش می‌یابد. در پاییز و زمستان گستردگی این نواحی کمتر شده و در زمستان به محدودترین حد خود می‌رسد. همچنین در این دو فصل سرد سال مختصات ناحیه تحت تأثیر تغییر می‌کند.

این الگوها تفاوت‌های قابل توجهی را در منطقه‌های متأثر از آتش فورانی در فصول سرد سال نشان می‌دهند. در جهت اول منطقه متأثر از آتش فورانی در پاییز به جاده نزدیک و در زمستان از این ناحیه دور می‌شود. بر اساس این الگوها انتظار می‌رود کم‌خطرترین پیامد انفجار در فصل زمستان باشد. این در حالی است که در جهت باد غالب دوم دقیقاً عکس این پدیده قابل انتظار است؛ یعنی کم‌خطرترین پیامد انفجار در فصل پاییز انتظار می‌رود و مختصات انفجار در زمستان به جاده نزدیک می‌شود. داده‌های آب و هوایی موجود در جدول شماره ۱ نشان می‌دهد، اولین و دومین جهت غالب وزش باد در پاییز به ترتیب شمالی و جنوب شرقی می‌باشد و این جهت‌ها در فصل زمستان برعکس خواهد بود که این امر موجب تغییرات فوق‌الذکر در الگوهای ناحیه‌های متأثر شده است. لازم به ذکر است بررسی الگوها نشان داد تفاوت محسوسی در شب و روز انتظار نمی‌رود؛ از این رو در این مقاله فقط یافته‌های مربوط به حالت روز ارائه گردید (شکل شماره ۴).



شکل ۴- مقایسه تراز مرگ و میر به تفکیک فصل‌های پاییز و زمستان (پیش‌بینی رخداد در روز)

Figure 4 - Comparison of mortality rates by autumn and winter seasons (event prediction per day)

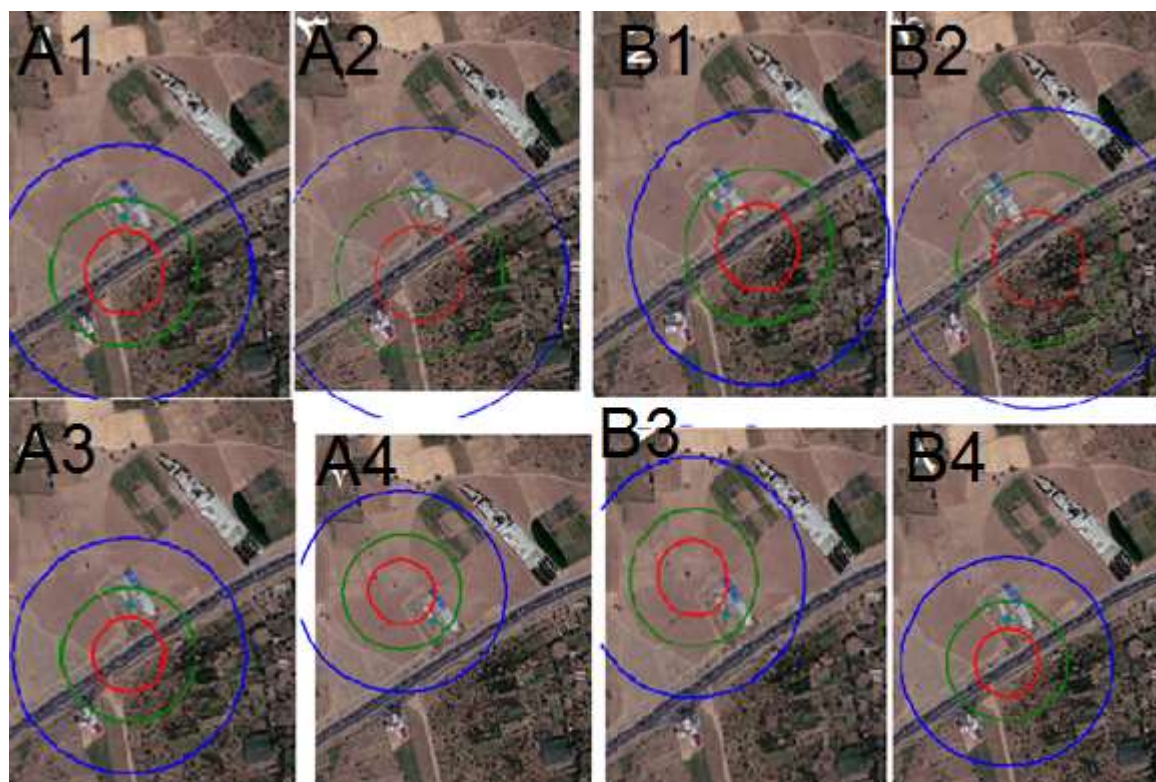
جدول ۷- میزان موج حرارتی و پیامدهای ناشی از هر سطح تشعشع

Table 7- The amount of heat wave and the consequences of radiation levels

پیامدها	میزان تشعشع (KW/M ²)
این حد حرارت حد آستانه درد می‌باشد که البته شخص توانایی فرار را دارد (حد ایمن).	۴
این حد حرارت، حد آستانه آسیب به تأسیسات ثابت است.	۸
این حد حرارت، حد آستانه آسیب به تجهیزات فرایندی است.	۱۲/۵
این حد حرارت، حد آستانه است که در صورت رسیدن به انسان سبب آسیب شدید می‌شود و اگر تیم نجات نرسد، موجب مرگ می‌شود.	۲۰
این حد حرارت برای آسیب به تجهیزات کافی است، در صورت رسیدن این تشعشع به انسان، موجب مرگ آنی می‌شود.	۳۷/۵

آتش فورانی را به ترتیب فصل‌های فوق و در جهت غالب دوم نشان می‌دهد (نمودار آبی (بیرونی)، سبز (میانی) و قرمز (داخلی)) به ترتیب شدت تشعشع ۴، ۱۲/۵ و ۳۷/۵ کیلووات بر مترمربع را نشان می‌دهد).

در شکل شماره ۵، شکل‌های شماره A1 تا A4 شدت تشعشع آتش فورانی ناشی از انفجار فیلتر سپاریتور در ایستگاه CGS مورد مطالعه را به ترتیب در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان و در جهت غالب اول و شکل‌های B1 تا B4 تشعشع



شکل ۵- شدت تشعشع آتش فورانی ناشی از انفجار فیلتر سپاریتور در ایستگاه CGS

Figure 5- Intensity of jet fire radiation caused by explosion of separator filter at CGS station

بحث

هدف از تحقیق حاضر ارائه تصویری از ریسک حریق و انفجار و سطح تحت پوشش آن از طریق مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار PHAST می‌باشد. پیامدهای اصلی انفجار فیلتر سپاریتور ایستگاه موردنظر در استان قزوین آتش فورانی و انفجار به دست آمد. در بسیاری از مطالعات از جمله مطالعه چراغی [۱۳] از عنوان‌هایی به نام های شرایط آب‌وهوایی ۱ (بهار و تابستان) و شرایط آب‌وهوایی ۲ (پاییز و زمستان) استفاده شده است. نتایج مدل‌سازی برای شرایط اول و دوم نشان داد که در اثر پیامدهای ناشی از سناریو احتمالی در شرایط آب‌وهوایی تعریف شده به ترتیب تا شعاع ۲۰۴ و ۲۵۶ متری امکان ایجاد خسارات شدید وجود دارد، در این مطالعه اختلاف فاصله تحت تأثیر از حادثه در دو حالت برابر با ۵۲ متر می‌باشد. اما در مطالعه حاضر نتایج نشان دهنده این امر است که در شرایط با تراز مرگ‌ومیر ۰٪ اختلاف فاصله اثر در حالت روز، بین فصل‌های بهار و تابستان برابر با ۵ متر و در پاییز و زمستان ۴۵ متر می‌باشد. در شرایط با

تراز مرگ‌ومیر ۶/۵۳٪ اختلاف فاصله اثر در زمان روز بین فصل‌های بهار و تابستان برابر با ۵ متر و در پاییز و زمستان ۳۴ متر می‌باشد. در شرایط با تراز مرگ‌ومیر ۹۸/۷۴٪ اختلاف فاصله اثر در زمان روز بین فصل‌های بهار و تابستان برابر با ۲ متر و در پاییز و زمستان برابر ۲۵ متر می‌باشد. بررسی این نتایج نشان می‌دهد هرچه تراز مرگ و میر کمتر باشد، فاصله اثر بیشتر خواهد بود. به عبارت دیگر با افزایش تراز مرگ و میر، فاصله اثر متمرکز تر خواهد شد به گونه ای که در بالاترین تراز مرگ میر، فاصله اثر به ۲۵ متر کاهش می‌یابد.

علاوه بر این نتایج مطالعه حاضر نشان داد، تغییرات اوقات شبانه‌روز می‌تواند موجب تغییر در طول شعله حاصل از آتش فورانی در تمامی فصول سال گردد. طول شعله در روز بیشتر از شب خواهد بود و این امر می‌تواند متأثر از عواملی چون کاهش دمای هوا، نبود شار حرارتی خورشید جهت تشدید شار تابشی حریق و حتی تغییر در حجم مصرفی گاز طبیعی و تغییراتی در فلو و فشار گاز درون ایستگاه (فشار گاز درون ایستگاه در روز

یافته‌های مطالعه یانگ ریلی در سال ۲۰۱۹ جهت مدل‌سازی نشت از مخازن تحت فشار حاوی ماده پروپان آکریلونیتریل با استفاده از نرم‌افزار PHAST، نیز مبین این امر بود که هرچه سرعت باد بیشتر باشد، جو پایدارتر بوده و موجب افزایش نشت و انتشار مواد و گسترش منطقه خطرناک خواهد شد [۱۶].

همچنین نتایج الگوها نشان می‌دهد در هر دو جهت غالب وزش باد با تغییر فصل مختصات و گستردگی حریم آتش تغییر خواهد کرد. گستردگی ناحیه در تابستان افزایش می‌یابد. در زمستان به محدودترین حد خود می‌رسد. اما این الگوها تفاوت‌های قابل توجهی را در ناحیه‌های متأثر از آتش فورانی در فصول سرد پاییز به جاده نزدیک و در زمستان از این ناحیه دور می‌شود. بر اساس این الگوها انتظار می‌رود، کم‌خطرترین پیامد انفجار در فصل زمستان باشد. این در حالی است که در جهت باد غالب دوم، عکس این پدیده قابل انتظار است. در یکی از پژوهش‌های گذشته نیز به تأثیر مستقیم باد در شعاع متأثر از آتش فورانی اشاره شد و اعلام شد جهت وزش باد بیشترین تأثیر را در تغییر ناحیه تحت تأثیر آتش فورانی داشته است [۱۷].

با توجه به الگوهای به دست آمده (شکل شماره ۵) آتش یا انفجار احتمالی ناشی از نشت گاز در این ایستگاه منطقه مسکونی را تحت الشعاع قرار نمی‌دهد و نزدیکی این ایستگاه به جاده و معابر ماشین‌رو، دسترسی تیم امداد را به ایستگاه را تسهیل می‌کند. لازم به ذکر است در مجاورت ایستگاه CGS مورد مطالعه، ایستگاه CGS دیگری نیز قرار دارد که در صورت کندی واکنش و عدم قطع به موقع جریان گاز، ممکن است این ایستگاه نیز تحت الشعاع قرار گرفته و حوادث دومینویی حریق و انفجار ایجاد گردد.

یافته‌ها در خصوص مقایسه فواصل متأثر از انفجار فورانی که ترازوی از مرگ‌ومیر را دنبال داشته باشد، نشان داد که مقادیر تمامی ترازهای مورد مطالعه با تغییر فصل تغییر خواهند نمود. در اینجا نیز در فصول گرم سال، محدوده متأثر از حادثه که موجب مرگ آنی افراد شود در تابستان بیشتر از زمستان خواهد شد. به گونه‌ای که افرادی که در زمستان تا فاصله ۳۵۷/۶ متری و در تابستان تا فاصله ۳۸۹/۶ متری از کانون انفجار قرار داشته باشند

بیشتر از شب بوده) باشد. این امر موجب می‌گردد تا در هر فصل، محدوده خطر در روز بیشتر از مقدار آن در شب باشد و در صورت رخداد انفجار فورانی، منجر به افزایش تعداد تلفات گردد. با توجه به اینکه در روز ممکن است به دلیل تردد افراد و ترافیک جاده‌ای، تردد و حرکت سرویس‌های امداد و نجات با محدودیت مواجهه گردد؛ بنابراین باید در تدوین برنامه‌های پاسخ به شرایط اضطراری به این نکته مهم توجه گردد.

این یافته‌ها با نتایج پیشین همسویی دارد. در مطالعه زارعی و همکاران نیز گزارش داده شد که فاصله تحت تأثیر انفجار در تمامی سناریوها در روز نسبت به شب بیشتر بوده و مساحت تحت تأثیر حادثه انفجار در روز (شش ماه اول سال) نیز بیشتر از شب (شش ماه دوم سال) می‌باشد. لازم به ذکر است در آن مطالعه شش ماه اول سال به‌عنوان روز و شش ماه دوم سال به‌عنوان شب در نظر گرفته شده بود [۴]. کاهش دمای محیط، افزایش رطوبت نسبی و نوع پایداری جو در شب را می‌توان از عوامل کمکی برای وقوع این نتیجه دانست [۴]. پایداری جو در تابستان می‌تواند علت افزایش فواصل خطر در این فصل نسبت به زمستان باشد. در فصل تابستان، لایه‌های سطحی جو که در مجاورت سطح زمین قرار دارند، تقریباً دمایی برابر با لایه‌های فوقانی جو داشته و جوی پایدارتر نسبت به زمستان را ایجاد می‌نماید. در فصل زمستان دمای لایه‌های نزدیک به زمین با دمای لایه‌های فوقانی جو تفاوت بیشتری داشته و بنابراین جوی ناپایدارتر نسبت به تابستان حاکم است و در جو پایدارتر میزان گسترش گازهای سنگین بسیار بیشتر از جو ناپایدار است، زیرا حرکت جریان هوا در محور عمود بر سطح زمین کم بوده و توده آلودگی در محور افقی گسترش بیشتری پیدا می‌کند [۱۵]. کلاس پایداری نشان دهنده تلاطم اتمسفری است و با شاخص A (ناپایدارترین حالت) تا G پایدارترین حالت نشان داده می‌شود. هر چه پایداری بیشتر شود، گسترش ماده خطرناک ابعاد بیشتری پیدا می‌کند [۱۴]. بر اساس داده‌های به دست آمده در جدول شماره ۳، معیار پایداری جو برای ایستگاه موردنظر در فصول مختلف عمدتاً در کلاس A و B قرار دارد که نشان دهنده جو ناپایدار در ایستگاه می‌باشد.

شرکت گاز استان قزوین بود از نقاط قوت این پژوهش می‌باشد. توصیه می‌شود در مطالعات بعدی از نتایج این مطالعه در طراحی دیوار آتش جهت حفاظت در برابر حریق ایستگاه مذکور و تدوین برنامه پاسخ به شرایط اضطراری استفاده گردد.

نتیجه‌گیری

پیامدهای اصلی واحد مورد بررسی آتش فورانی، آتش ناگهانی و انفجار به دست آمد. نتایج این مطالعه نشان داد افزایش پارامترهایی مانند دمای هوا، پایداری جو، شار تابشی خورشید، فلو گاز طبیعی داخل خط لوله و فشار گاز طبیعی داخل خط لوله موجب افزایش فاصله اثر اطراف ایستگاه خواهد شد، در این مورد با حذف موقتی گرمکن از پروسه تقلیل فشار گاز می‌توان از شدت پیامدهای حریق و انفجار کاست. از طرفی دیگر افزایش رطوبت نسبی نقش کمک کننده در ایمنی منطقه داشته به طوری که موجب کاهش فاصله اثر اطراف ایستگاه می‌گردد.

تشکر و قدردانی

این پژوهش توسط شرکت گاز استان قزوین طی قرار داد پژوهشی شماره ۱۹۰۰۸ و دانشگاه علوم پزشکی قزوین با کد اخلاق IR.QUMS.REC.1397.088 پشتیبانی شد. بدین وسیله نویسندگان مقاله از شرکت گاز استان قزوین به دلیل حمایت مالی و معنوی و نیز گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای دانشگاه علوم پزشکی قزوین تشکر و قدردانی به عمل می‌آورند.

در امان نبوده و دچار مرگ آبی خواهند شد. علاوه بر این از یافته‌های شکل شماره ۴ می‌توان در تعیین فاصله اثر ایستگاه موردنظر استفاده نمود. این داده‌ها نشان داد فاصله اثر حدود شعاع ۷۴۰ متر از حد مرزی ایستگاه موردنظر می‌باشد. به عبارت دیگر تا شعاع ۷۴۰ متری از مرکز ایستگاه، ناحیه خطر بوده و پس از این شعاع را می‌توان به عنوان منطقه ایمن برای افراد و تجهیزات در نظر گرفت. مطالعات پناهی و همکاران در سال ۱۳۹۸ که در خصوص مدلسازی پیامد و تحلیل خطرات انفجار و آتشسوزی ناشی از انتشار گاز متان در یک پالایشگاه گاز نیز نشان داد فواصل اثر که در آنجا با عنوان فواصل خطر یاد شده در زمستان و تابستان متفاوت است و در فصل گرم (تابستان) بیشتر از فصل سرد سال (زمستان) است [۱۸].

در پایان پیشنهاد می‌شود اقدامات لازم در خصوص ساخت و تجهیز ایستگاه مدیریت بحران و مرکز امداد و نجات [۹] در فاصله اثر و نزدیک به ایستگاه موردنظر و نیز ساخت دیوار آتش جهت حفاظت در برابر حریق در حاشیه بخشی از اتوبان که مجاور ایستگاه مورد مطالعه قرار دارد، صورت گیرد. یافته‌های این پژوهش همسو با تحقیقات گذشته بر مدلسازی حریق و انفجار مخصوصاً برای فرایندهای خطرناک تاکید می‌نماید. یافته‌های حاصل از نرم‌افزارهای تخصصی ارزیابی و مدلسازی حریق و انفجار برای ارزیابی ریسک و تدوین استراتژی‌های پیشگیرانه و برنامه پاسخ به شرایط اضطراری صنایع مفید است و می‌تواند نقش مؤثری در محدود نمودن اثرات مورد نظر داشته باشد [۲۰-۱۸]. انجام این مطالعه که یکی از اولویت‌های پژوهشی

References

1. Golmohammadi R, Khaefi N, Aliabadi M. Occupational Noise and Control Plan Presentation in Town Board Stations Assessment. Journal of Sabzevar University of Medical Sciences 2019; 26(3):319-27 (In Persian).
2. Mohammadfam I, Bastani S, Es-haghi M, Golmohammadi R, Saei A. Assessment of working interactions of emergency team members using social network analysis. Journal of Health and Safety at Work 2014; 4(3):37-48 (In Persian).
3. Yousefzadegan MS, Masoudi AM, Ashtiani YK, Kambarani M, Pishbin SI. Consequence Analysis
4. Zarei E, Jafari MJ, Dormohammadi A, Sarsangi V. The Role of modeling and consequence evaluation in improving safety level of industrial hazardous installations: A case study: hydrogen production unit. Iran Occupational Health Journal 2013; 10(6):54-69 (In Persian).
5. Khosravirad F, Zarei E, Mohammadfam I, Shoja E. Analysis of root causes of major process accident in town border stations (TBS) using Functional Hazard

- Analysis (FuHA) and Bow tie Methods. *Journal of Occupational Hygiene Engineering* 2014; 1(3):19-28 (In Persian).
6. Kamaei M, Alizadeh SSA, Keshvari A, Kheyrikhah Z, Moshashaei P. Risk assessment and consequence modeling of BLEVE explosion wave phenomenon of LPG spherical tank in a refinery. *Journal of Health and Safety at Work* 2016; 6(2):10-24 (In Persian).
 7. Jahangiri M, Parsarad A. Determination of hazard distance of chemical release in a petrochemical industry by chemical exposure index (CEI). *Iran Occupational Health Journal* 2010; 7(3):55-62 (In Persian).
 8. Khorram R. Modeling the Consequences Release of Cyanogen agents in Bushehr Nuclear Power Plant Neighborhood Using PHAST, ALOHA and WISER Software. *Iran Occupational Health* 2020; 17(1):1-13 (In Persian).
 9. Golbabaie F, Avar N, Mohammadfam I. Dispersion modeling of propane leakage from an industry. *Humans and Environment* 2012; 10(20):1-13 (In Persian).
 10. Abdul Hamidzadeh B, Badri N. Quantitative and qualitative risk assessment in process industries and description of industrial hazard identification methods focusing on HAZOP method. *Tehran: Andishesara* 2014; P:12-56 (In Persian).
 11. Mays G, Smith PD. *Blast Effects on Buildings: Design of Buildings to Optimize Resistance to Blast Loading*. London: Thomas Telford Publication 1995; P:24-45.
 12. Jafari MJ, Mahabadi ZB, Atabi F, Omidi L, Asl NKJJoHitF. Indoor and outdoor concentrations of volatile organic compounds at two administrative buildings in the center of Tehran. *Journal of Health in the Field* 2016; 3(4):9-16 (In Persian).
 13. Cheraghi H, Soltanzadeh A, Ghiyasi S. Consequence modeling of the ethylene oxide storage tanks explosion using the PHAST software (a case study in a petrochemical industry). *Iranian Journal of Health and Environment* 2018; 11(2):261-70 (In Persian).
 14. Harati B, Karimi A, Askari A, Deghani F, Nasrollahi A. Modeling and evaluation of safety consequences of propylene oxide leakage, a petrochemical company. *Journal of Health and Safety at Work* 2018; 8(2):199-209 (In Persian).
 15. Beheshti MH, Hajizadeh R, Mehri A, Borhani Jebeli MJIOH. Modeling the result of hexane leakage from storage tanks and planning a emergency response programm in a petrochemical complex. *Iran Occupational Health* 2016; 13(1):69-79 (In Persian).
 16. Yang R, Gai K, Yang F, Zhang G, Sun N. Simulation of pressure tank leakage based on PHAST. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Volume 592, Proceedings of the International Conference on Manufacturing Technology, Materials and Chemical Engineering 2019 Jun 14-16; Wuhan, China.
 17. Shahedi ali abadi S, Assari MJ, Kalatpour O, Zarei E, Mohammadfam I. Consequence modeling of fire on Methane storage tanks in a gas refinery. *Journal of Occupational Hygiene Engineering* 2016; 3(1):51-59 (In Persian)
 18. Panahi S, Karimi A, Pourbabaki R. Consequence modeling and analysis of explosion and fire hazards caused by methane emissions in a refinery in cold and hot seasons. *Journal of Health in the Field* 2020; 7(4):34-46 (In Persian)
 19. Khakkar S, Ranjbarian M, Pouyakian M. Study of CFSES software compliance with Iranian national standards for fire safety assessment of commercial complexes. *Journal of Health in the Field* 2019; 7(1):26-35 (In Persian)
 20. Pourbabaki R, Karimi A, Yazdanirad S. Modelling the consequences and analysing the dangers of carbon disulfide emissions using ALOHA software in an oil refinery. *Journal of Health in the Field* 2018; 6(3):1-9 (In Persian).