Iran Occupational Health

Iran Occupational Health. 2023 (01 Oct);20: 20

Original Article

http://ioh.iums.ac.ir

# Quantitative Assessment of Domino Effects of The Explosion at The North-west Station of Tehran District Six Using Consequence Modeling And GIS

**Behzad Abbasi Kharajou, ,** M.Sc. in Urban Planning, Department of Urban Planning, University of Guilan, Rasht, Iran.
**Masoud Rafiei ,** Department of Occupational Health, Faculty of Health, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.
**Hassan Ahmadi,** Department of Urban Planning, Faculty of Architecture and Art, University of Guilan, Rasht, Iran.
**Saber Moradi Hanifi,** (*Corresponding author), Occupational Health Research Center, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. sabermoradi22@yahoo.com

## Abstract

**Background and aims:** CNG stations are among the most important and dangerous land uses. The CNG station under study is located in the northwest of district six. One of the goals of this study is to analyze explosive domino accidents at CNG fuel stations. Modeling the consequences at fuel stations can help minimize the likelihood of a crisis and losses.

**Methods:** This study is a case study. Methane gas was selected as the fuel material. The modeling of the explosion consequences at the CNG station was carried out using the PHAST model. The scenario of Catastrophic Rupture was determined, and atmospheric parameters were considered along with the positions of adjacent land uses such as residential and commercial areas. Safety 8.2 software was used to assess individual and collective risk. Domino events analysis in physical and demographic aspects was performed in three stages: consequence modeling, risk analysis by QRA model, and overlapping of explosion wave using GIS software.

**Results:** The results showed that the explosion wave expanded to 500 meters, with the most severe damage to individuals and equipment occurring within 140 meters. Beyond 100 meters from the blast wave, there is no severe threat to life, and the safe radius is 500 meters from the blast wave. Risk assessment showed that the collective risk was unacceptable, indicating that measures should be taken to reduce risk. GIS software proved very effective in estimating the number of people and uses within the explosion range.

**Conclusion:** The results of this study showed that the occurrence of accidents caused by the explosion of the CNG fuel station can affect the uses of the station area and the risk met in this area is more than the acceptable range.

**Conflicts of interest:** None

**Funding:** None

**Keywords**

Domino Effects

Explosion

CNG Station

Quantity assessment

GIS

Received: 2023/02/5

Accepted : 2023/05/31

[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29 ]

[ DOI: 10.61186/ioh.20.1.278 ]

EXTENDED ABSTRACT

## INTRODUCTION

The most catastrophic consequences occur due to domino accidents, which include different levels. These accidents can cover wider dimensions. Industrial factories, the environment, people, and urban areas are most damaged [1]. Urban land uses are one of the critical elements in the city structure. The high importance of facilities and equipment in the country and the potential risks of gas leaks, explosions, and fires in compressed natural gas stations in cities can create threats and risks for residents [2].

The analysis of explosion domino accidents in natural gas fuel stations, which are included inside the cities and their proximity to land uses, is essential. Explosions account for 57 percent of the cause of the domino effect [1-3]. A Domino random event is an accident that expands to adjacent equipment and causes one or more secondary events [4].

The PHAST Model is one of the comprehensive models for analyzing the process. It can be used to identify many of the factors that make up and minimize them if necessary. Risk evaluation and management is the most essential and cost-effective tool for preventing accidents, which includes two quantitative and qualitative indicators that are used in various techniques [5].

QRA is a formal and regular approach to estimating the possibility and consequences of dangerous events and expressing results as a risk for people, environment, or business. Also, by identifying essential assumptions and potential elements of danger, it evaluates the strength and validity of the quantitative results [6].

The compressed natural gas station is one of the single-purpose stations in the area. The area is about 2 square meters. Its consistent land uses include a fire station and a residential area located in the east and northern part of the fuel station, which requires attention to this position regarding safety and urban management.

## METHODOLOGY

The present study is a case study. PHAST 8.2 software was used for modeling. To analyze the explosion domino accidents at the fuel station, consequence modeling was initially used. Methane gas was selected as the primary material in the explosion. The modeling was based on selecting the Catastrophic Rupture scenario and the TNO Multi-Energy model, and determining atmospheric parameters, tank specifications, location of the area, and neighboring applications. Safety 2.8 Software was used to calculate individual and social risks.

Considering the location of the study area and the existence of multiple land uses, including residential and industrial, this area was divided into four sections. Table 1 shows information about risk estimation. In the next step, by determining the radius of the explosion of natural gas fuel stations and estimating the extent of the explosion using Geographic Information System (GIS), version 10.2, the explosion radius and land use of the study area were covered.

Finally, an analysis was conducted on the vulnerability of people and construction caused by the explosion at natural gas fuel stations. The following steps were carried out to analyze the risk of explosion at a compressed natural gas station with respect to its neighboring land uses:

1. Modeling the consequence of the explosion
2. Calculating individual and social risk
3. Determining the overlap of the blast wave and its effects on neighboring land uses using (GIS)

## RESULTS

The modeling results at the fuel station indicate that the height of the cloud concentration at 150,000 ppm is 5 m, and the cloud height at a concentration of 50,000 ppm is 14 m. In contrast, the height of the gas cloud at the fuel station in the concentration of 50,000 ppm is 20 m. The cloud height, at the concentration of 150,000 ppm, is 8 m. Figure 2 illustrates the fire radiation at the study station. According to the standard values, it can be seen that up to 50 meters are 55km/m2. Turning to the explosion wave, individuals close to the explosion source were at the highest explosion wave pressure. With the consequence modeling and Figure 3, the blast wave pressure is 19 bar. The modeling results show that up to 10 meters of blasting pressure are consistent. The modeling results show that the fuel station's cloud explosion wave has

**Table 1.** Information on individual and collective risk estimation

| Source of spark (passing vehicles) | | Climate | percentage of people in the interior | Population | Land uses | Area |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Density and vehicle per hour | Speed | 3/F | 0/7 | 140 | Residential area1 | 1 |
| 30 | 13m/s | | 0/7 | 230 | Residential area2 | 2 |
| | | | 0/9 | 200 | industrial and commercial areas | 3 |
| | | | 1 | 10 | CNG station range | 4 |



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29 ]

[ DOI: 10.61186/ioh.20.1.278 ]

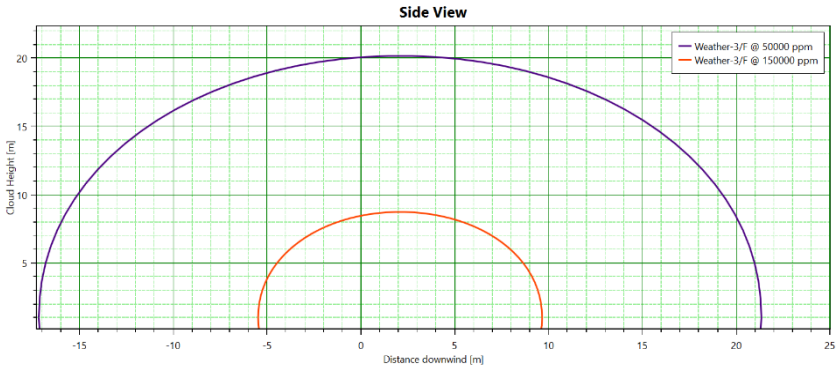



**Fig. 1.** Modeling the cross-section of the cloud steam at the natural gas station

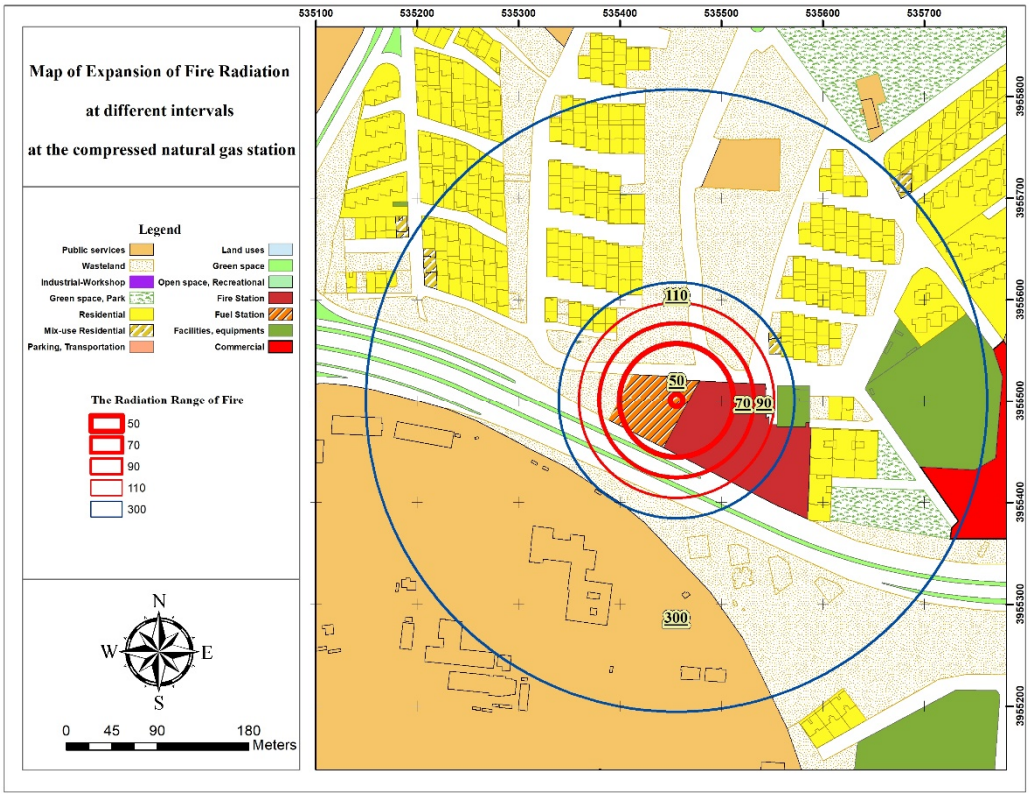



**Fig. 2.** of the rate of fire radiation at different intervals at fuel station

expanded up to 470 meters so that the blast wave pressure is 0.02 bar.

Figure 3 shows that within 59 meters of the blast wave are 0.76 bar. The results of the explosion wave radius show that the fire station is overshadowed in the first seconds. The residential town, located in the northwestern part of the compressed natural gas station, will also be affected by the explosion wave.

The results of individual risk modeling showed that individual risk for individuals close to the spark source was 0.002459. In this study, estimating the risk of the main event was first calculated to calculate the primary event frequency of the fuzzy error tree. The results of the fuzzy error tree showed that the frequency of the main tank explosion event was 0.0548319. Figure 6 shows individual risk containers in the area of study.

Figure 5 shows that collective risk rate is unacceptable and its value is 0.00246051.

## DISCUSSION

The likelihood of vulnerability decreases with distance from the spark source. According to the fire's expansion up to 300 meters, Figure 2 shows a 100% likelihood of fatality at 50 meters, a 70% risk of death at 70 meters, and a fire radiation amount of 40kW/m2. Within 90 meters, the radiation rate is 30 kW/m2, and based on standard values [7], the fatality rate at this



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29 ]

[ DOI: 10.61186/ioh.20.1.278 ]

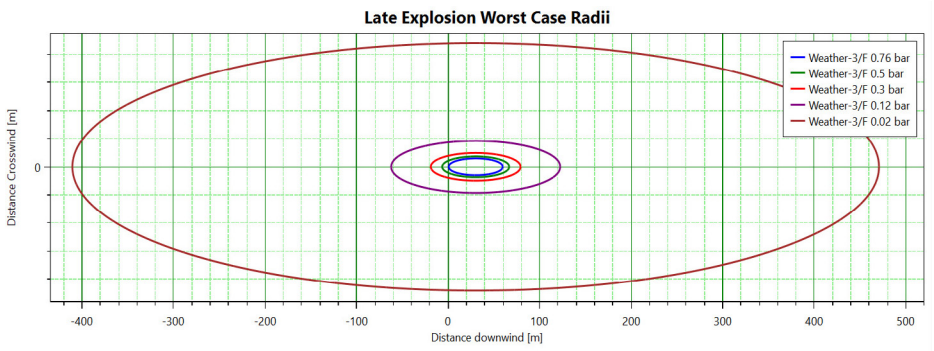



**Fig. 3.** Modeling the Wave Radial Chart The worst explosion to the buildings around the fuel station




**Fig. 4.** individual risk contour

distance is 50%. At 100 meters, the radiation rate is 26 kW/m2, and the probability of death is 20%.

Referring to Figure 2, within 50 meters of the event, the fire station and fuel station are overshadowed, leading to fatalities. Ten staff members of the fuel station and twenty firefighters were affected by the fire's effects. Within 70 meters, the majority of the highway falls within the study range. At 90 meters, in addition to the aforementioned land uses, it expands and covers part of residential areas. The household dimension in this area is three. It can be estimated that at least twelve residents in a four-story building are affected. As a result, an estimated seventy-two people are at risk of burns. At 110 meters, the fire's radiation extends and ultimately covers part of the highway and residential areas, with an estimated one hundred twenty-two people potentially affected.

According to Figure 3, the explosion wave pressure is less than 0.75 bar within sixty meters. Given that the population around the compressed natural gas station is dense, it can be estimated that the probability of damaging the population of constant land uses of the natural gas station is much less, and most damage is related to cars on highways. Within sixty to seventy meters, the explosion wave pressure is 0.45 bar, which threatens area residents. At eighty-five meters, individuals within a blast pressure of 0.25 bar have relative damage; and within one hundred thirty-six meters, injury risk is less.

The modeling results show that the cloud explosion wave at the fuel station has expanded up to four hundred seventy meters so that the explosion wave pressure is 0.02 bar according to standard values [7]. This pressure can cause vulnerability and break windows around the fuel station.

Figure 3 shows that at a distance of fifty-nine meters, the blast wave is 0.76 bar. At this distance, all buildings including the fire station and CNG station are affected. The residential area located northwest of the fuel station will also be affected by a blast explosion at 0.02 bars which can cause vulnerability and break windows in buildings. There are important service land uses in southern part of station which should be taken into account by urban managers and planners due to domino effects during crisis.

According to vulnerability table, at sixty-six meters blast wave is 0.5 bar causing all doors and windows in buildings including CNG station, fire station and sizable portion of highway to be damaged. Within seventy-eight meters blast wave is 0.3 bar causing most doors and windows to be damaged at this distance; and at one hundred twenty meters blast pressure equals 0.12 bar causing little damage to doors and windows due to standard values [7].

[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29 ]

[ DOI: 10.61186/ioh.20.1.278 ]

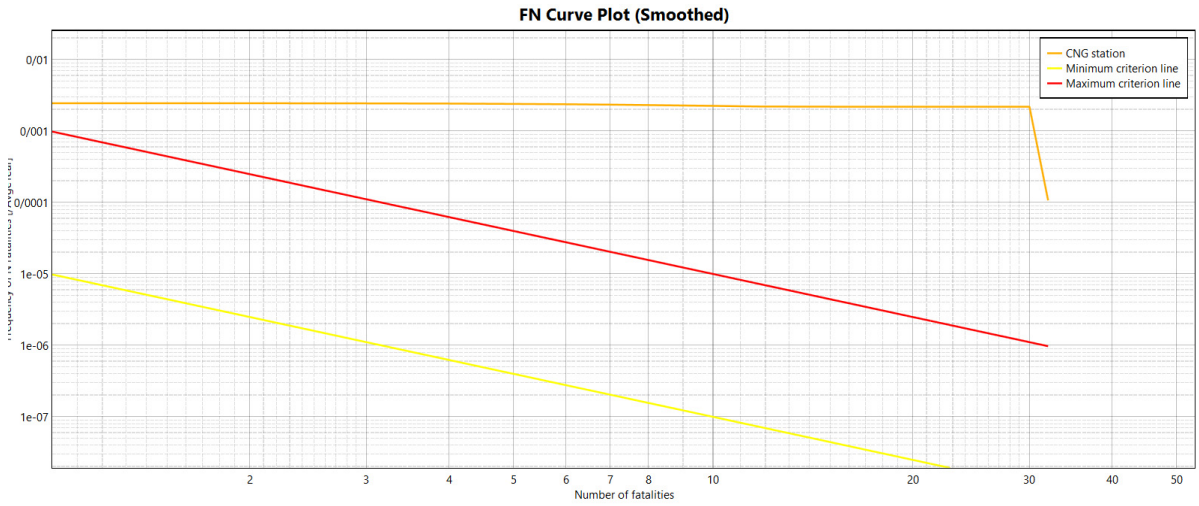



**Fig. 5.** F-N Chart Fuel Station

In order to compare estimated risk numbers with standard values criterion provided by HSE British Association was used [8]. The results showed that estimated risk rate was more than $10^{-3}$ which falls in unacceptable area according to Figure 6. The risk rate at eighty-five meters reaches 8.452 then decreases sharply indicating need for proper measures at shorter intervals.

## CONCLUSION

Tanks of compressed natural gas stations, at a pressure of 250 bar and temperatures of 15 °C, can be considered a hazard in urban areas, especially when these stations are located near other land uses such as residential and commercial areas. The severity of urban areas in the face of multiple accidents increases. The location of these compressed natural gas stations among other urban land uses necessitates attention to the risks and consequences of these stations' explosions for planners and city managers. According to the results, the safety radius of the fuel station is 140 meters, and the safe radius for buildings is 500 meters.

[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29 ]

[ DOI: 10.61186/ioh.20.1.278 ]

**How to cite this article:**
Behzad Abbasi Kharajou, Masoud Rafiei , Hassan Ahmadi, Saber Moradi Hanifi. Quantitative Assessment of Domino Effects of The Explosion at The Northwest Station of Tehran District Six Using Consequence Modeling And GIS. Iran Occupational Health. 2023 (01 Oct);20:20.

***This work is published under CC BY-NC 4.0 licence**

سلامت کار ایران
دوره ۲۰ - ۲۰/۱۴۰۱

مقاله پژوهشی
http://ioh.iums.ac.ir

# ارزیابی کمی اثرات دومینویی انفجار در ایستگاه CNG شمالی غربی منطقه شش تهران با استفاده از مدل سازی پیامد و GIS

**بهزاد عباسی خراجو:** دانشجوی ارشد برنامه ریزی شهری، دانشکده معماری وهنر، دانشگاه گیلان،تهران، ایران.
**مسعود رفیعی :** استادیار، هیئت علمی گروه بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران.
**حسن احمدی:** دانشیار، هیئت علمی گروه مهندسی شهرسازی، دانشکده معماری و هنر، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.
**صابر مرادی حنیفی:** (* نویسنده مسئول) استادیار، مرکز تحقیقات بهداشت کار، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.
sabermoradi22@yahoo.com

## چکیده

**زمینه و هدف:** ایستگاه‌های CNG مهم‌ترین و خطرپذیرترین کاربری‌های شهری هستند. جایگاه سوخت مورد مطالعه در شمال غربی منطقه شش و در ناحیه یک قرار دارد. تحلیل حوادث دومینویی انفجار در ایستگاه‌های سوخت CNG از اهداف مطالعه حاضر است. تحلیل مدل‌سازی پیامد در ایستگاه‌های سوخت می‌تواند احتمال وقوع بحران و خسارات ناشی از آن را به حداقل کاهش دهد.

**روش بررسی:** پژوهش حاضر یک مطالعه موردی است. در این مطالعه گاز متان به‌عنوان ماده سوختنی انتخاب شد و مدل‌سازی پیامدهای انفجار در جایگاه سوخت CNG با استفاده از مدل PHAST انجام شد. با تعیین سناریو Cata-strophic rupture و تعیین پارامترهای جوی و موقعیت کاربری‌های مجاور (مسکونی و تجاری) مدل‌سازی انجام شد. به‌منظور ارزیابی ریسک فردی و جمعی از نرم‌افزار Safety نسخه ۸,۲ استفاده گردید. تحلیل حوادث دومینویی در دو جنبه کالبدی و جمعیتی، در سه مرحله صورت گرفت که شامل مدل سازی پیامد، تحلیل ریسک به وسیله مدل QRA و هم پوشانی موج انفجار با استفاده از نرم افزار GIS است.

**یافته ها:** نتایج نشان داد موج انفجار تا فاصله ۵۰۰ متری گسترش می‌یابد و بیشترین آسیب به افراد و تجهیزات در فاصله ۱۴۰ متری است. در فاصله بیش از ۱۰۰ متری از موج انفجار خطر جدی جان افراد را تهدید نمی‌کند و شعاع ایمن در فاصله ۵۰۰ متری از موج انفجار است. ارزیابی ریسک نشان داد میزان ریسک جمعی در محدوده غیرقابل‌قبول قرارگرفته است و باید تمهیداتی به‌منظور کاهش ریسک در نظر گرفت. به‌کارگیری نرم‌افزار GIS در برآورد میزان افراد و تعداد کاربری‌های واقع در محدوده انفجار بسیار مؤثر بود.

**نتیجه گیری:** نتایج این مطالعه نشان داد که وقوع حوادث ناشی از انفجار جایگاه سوخت CNG می تواند کاربری های محدوده جایگاه را تحت تاثیر قرار دهد و ریسک برآورده شده در این ناحیه بیش از محدوده قابل قبول می باشد.

***تعارض منافع:*** *گزارش نشده است.*

***منبع حمایت کننده:*** *ندارد.*

**کلیدواژه‌ها**
اثرات دومینویی
انفجار
ایستگاه CNG
ارزیابی کمی
GIS

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۱۰

**شیوه استناد به این مقاله:**
Behzad Abbasi Kharajou, Masoud Rafiei , Hassan Ahmadi, Saber Moradi Hanifi. Quantitative Assessment of Domino Effects of The Explosion at The Northwest Station of Tehran District Six Using Consequence Modeling And GIS. Iran Occupational Health. 2023 (01 Oct);20:20.

*انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با CC BY-NC 4.0 صورت گرفته است



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29 ]

[ DOI: 10.61186/ioh.20.1.278 ]

## مقدمه

شهرها به‌عنوان سکونتگاه‌های انسانی در طول سالیان گذشته بسیار موردتوجه بودند کاربری‌های شهری یکی از عناصر اصلی در ساختار شهر به شمار می‌روند. اهمیت بالای تأسیسات و تجهیزات در کشور و وجود خطرات احتمالی از نشت گاز و ایجاد انفجار و آتش‌سوزی در جایگاه‌های سوخت گاز طبیعی فشرده در شهرها و ضرورت پیش‌بینی حوادث آتی در کنار کاربری‌های مجاور آن می‌تواند دامنه خطرات احتمالی از وقوع حوادث در این جایگاه‌ها را کاهش داده و تهدیدات و خطرات برای ساکنین را به حداقل به رساند[۹]. تحلیل اثرات دومینویی[1] حوادث در مناطق شهری می‌تواند در ایمنی و افزایش مقاومت شهرها در برابر بحران‌های مصنوعی و طبیعی بسیار مؤثر باشند[۱۰]. یک واقعه‌ی تصادفی دومینویی به‌عنوان حادثه‌ای تعریف می‌شود که حادثه‌ی نخست به تجهیزات مجاور گسترش می‌یابد و یک یا چند واقعه‌ی ثانویه را موجب می‌شود[۴]. فاجعه‌بارترین پیامدها در اثر حوادث دومینویی رخ می‌دهند که سطوح مختلفی را شامل می‌شوند این حوادث می‌توانند ابعاد وسیع‌تری را در برگیرند. کارخانه‌های صنعتی، محیط‌زیست، مردم و مناطق شهری که در معرض بیشترین آسیب قرار دارند [۱۱]. بر اساس مطالعه آماری مشاهده گردیده است که انفجارها با ۵۷ درصد بیشترین علت بروز اثرات دومینویی هستند[۳-۱]. موج انفجار و ویرانی‌های ناشی از آن می‌تواند اثرات پی‌درپی به همراه داشته باشد به‌گونه‌ای که عوامل متعدد در کنار یکدیگر می‌تواند موج تخریب ناشی از انفجار را افزایش داده و حوادث و هزینه‌های بسیاری ایجاد نماید[۱۲]. منابع پتانسیل اثرات دومینویی متفاوت هستند و با رویدادهای مختلف آغاز می‌شوند. به‌طورکلی، آن‌ها با ماهیت خطرات متمایز می‌شوند؛ که شامل: خطرات طبیعی و انسان‌ساخت و در طبقه دوم خطرات تکنولوژیکی و سازمانی هستند. اثرات دومینویی ترکیبی از این دو خطرات را شامل می‌شود. تحلیل اثرات دومینویی حوادث در مناطق شهری می‌تواند در ایمنی و افزایش مقاومت شهرها در برابر بحران‌های مصنوعی و طبیعی بسیار مؤثر باشند[۱۳]. به‌منظور مطالعه روند انتشار حوادث دومینویی، شناسایی و یافتن مسیر انتشار زنجیره حوادث از قبل موردبحث قرار می‌گیرد، زیرا آن ها می توانند به حوادث اولیه تبدیل شوند[۱۲].

ارزیابی ریسک فرایند کلی است که به‌منظور شناسایی و تحلیل خطر و ارزیابی سطوح مختلف ایمنی است به‌طوری‌که با در نظر داشتن معیارهای مختلف صورت می‌گیرد. یک‌راه کار اصلی جهت تصمیم‌گیری در مورد راه‌های کنترلی در بحران است[۱۵]. QRA یک رویکرد رسمی و منظم برای برآورد احتمال و پیامدهای وقایع خطرناک و بیان نتایج به‌عنوان خطر برای افراد یا محیط است. هم‌چنین با شناسایی فرضیات مهم و عناصر مختلف خطر، استحکام و اعتبار نتایج کمی را ارزیابی می‌کند[۱۶-۶]. ارزیابی و مدیریت ریسک مهم‌ترین و مقرون‌به‌صرفه‌ترین ابزار جهت پیشگیری از حوادث است که شامل دو شاخص کمی و کیفی است که تکنیک‌های مختلفی را شامل می‌شود[۵]. استفاده از شاخص‌های کیفی نیازمند حداقل آموزش بوده و در کمترین زمان قابل‌اجرا هستند. در مقابل شاخص‌های کمی ارزیابی ریسک نیازمند تخصیص منابع آموزشی و زمان بیشتر می‌باشند. به‌طورکلی استفاده از شاخص‌های کمی ارزیابی ریسک به علت فراهم آوردن خروجی‌های عمیق‌تر بیشترین کاربرد را شامل می‌شود [۱۷-۱۸].

مطالعات متعددی در خصوص ارزیابی اثرات دومینویی در انتشار گاز طبیعی فشرده انجام‌شده است ازجمله کان وانگ و همکاران در سال ۲۰۱۶ در پکن چین در مطالعه‌ای تحت عنوان بررسی تطبیقی موج انفجار انتشار گاز طبیعی، انفجار بخار ابر گازی (VCE[2]) را با استفاده از مدل‌سازی پیامد انجام دادند نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که نزدیک به صد درصد مرگ‌ومیر در شعاع ۱۶۰ متری اتفاق می‌افتد. هم‌چنین در شعاع ۱۵۶ متری اثرات شدید تخریب در ساختمان‌ها وجود دارد و شعاع ایمن بدون هیچ تخریبی در فاصله ۱۷۵۵ متری است[۹]. پروینی و کرد رستمی در سال ۲۰۱۴ در مطالعه‌ای دیگر پیامدهای انفجار در ایستگاه سوخت‌گیری گاز طبیعی فشرده در آزادشهر را مدل‌سازی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد در فاصله کمتر از ۳/۵ متر به دلیل موج انفجار تخریب کامل وجود دارد و در شعاع کمتر از ۳/۷ متر به دلیل وجود غلظت گاز در محدوده اشتعال‌پذیری و وجود محدودیت در محیط، احتمال انفجار وجود دارد و هم‌چنین احتمال ایجاد توپی از آتش است. در فاصله نزدیک‌تر از ۱۰ متر احتمال کشته شدن افراد به‌وسیله تشعشعات وجود دارد[۱۹]. پویا کیان و همکاران یک رویکرد با استفاده از شبکه بیزین فازی (FBN) برای تحلیل اثرات دومینوی حریق استخری ارائه دادند نتایج مطالعه این مطالعه نشان داد که روش ارائه شده برای تحلیل اثرات دومینویی در تلفلیق با L-NOR روش مناسبی برای تخمین قابلیت

1 Domino effect

2 Vapor Cloud Explosion



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29 ]

[ DOI: 10.61186/ioh.20.1.278 ]

اطمینان مخازن است[۲۰].

پیش‌بینی حوادث دومینویی انفجار در جایگاه‌های سوخت گاز طبیعی فشرده در داخل شهرها با در نظر گرفتن کاربری‌های هم‌جوار آن بسیار ضروری بوده و با مدل‌سازی حوادث توسط مدل فرآیندی تجزیه‌وتحلیل خطرات (PHAST)[1] به‌عنوان یکی از مدل‌های جامع در تحلیل حوادث فرآیندی، می‌توان سناریوهای ایجاد بحران را قبل از وقوع حوادث در شهرها پیش‌بینی کرد و عوامل تشکیل‌دهنده حوادث را شناسایی و در صورت لزوم آن‌ها را به حداقل کاهش داد.

برای تحلیل انفجار در ایستگاه گاز طبیعی فشرده در گام نخست نقشه‌های منطقه موردمطالعه. سپس نقشه‌های اولیه و اجرایی در نرم ArcGIS نسخه ۱۰,۲ تهیه گردید. [۲۱] و توسط مدل PHAST نسخه ۸,۲ مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. و با استفاده از فاکتورهای مهمی ازجمله پارامترهای جوی، مشخصات مخازن، موقعیت ساختمان‌های منطقه و کاربری‌های هم‌جوار به مدل‌سازی انفجار ایستگاه‌های CNG پرداخته شد. درگام بعدی با تعیین شعاع موج انفجار جایگاه‌های سوخت گاز طبیعی فشرده و برآورد میزان پیامدهای انفجار این جایگاه‌ها اطلاعات به‌دست‌آمده با استفاده از جداول استاندارد سطح آسیب‌پذیری در دو بعد جمعیتی و کالبدی برآورد گردید و سپس توسط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)[2]، به هم‌پوشانی حریم شعاع موج انفجار موردمطالعه پرداخته شد؛ و درنهایت میزان آسیب‌پذیری افراد و ساختمان‌ها ناشی از انفجار جایگاه‌های سوخت گاز طبیعی فشرده برآورد و مورد تحلیل قرار گرفت.

جایگاه سوخت موردمطالعه در شمال غربی منطقه شش و در ناحیه یک قرارگرفته است این جایگاه جز جایگاه‌های تک منظوره در منطقه است مساحت این جایگاه حدود ۲۰۰۰ مترمربع است. در سمت شرق جایگاه، ایستگاه آتش‌نشانی و در قسمت شمالی آن‌یک شهرک مسکونی واقع‌شده است. در این تحقیق با توجه محدودیت‌های قانونی و سازمانی بیشترین توجه در پیش‌بینی حوادث مربوط به کاربری‌های مسکونی و کاربری‌های تجاری است. هدف مطالعه حاضر بررسی پیامدهای انفجار ایستگاه سوخت CNG و محاسبه ریسک فردی و جمعی با استفاده از مدل QRA به‌منظور تحلیل حوادث دومینویی در زمان وقوع بحران است.

## روش کار

مطالعه حاضر یک مطالعه موردی است. برای مدل‌سازی از نرم‌افزار PHAST نسخه ۸,۲ استفاده شد. در این پژوهش گاز متان به عنوان ماده اصلی در انفجار در نظر گرفته شد. مدل انتخابی با توجه به تراکم ساختمانی منطقه موردمطالعه، مدل چند انرژی است. سناریو ها وقایع فرضی هستند که می‌توانند منجر به رخداد رویدادهای فرآیندی مانند آتش‌سوزی، انفجار و رهایش مواد سمی می‌شوند. طراحی و توجه به ایمنی مخازن می‌تواند احتمال وقوع یک حادثه را کاهش دهد[۲۳-۲۲] در این مطالعه بر اساس موقعیت ایستگاه سوخت ازنظر کاربری‌های هم‌جوار سناریو پارگی کامل[3]موردبررسی قرار گرفت. به‌منظور مدل‌سازی مخازن تحت‌فشار از مخازن pressure vessel استفاده گردید. در مرحله بعد با در نظر گرفتن تعداد مخازن و حجم هر مخزن کل ظرفیت ذخیره گاز ایستگاه محاسبه شد. ایستگاه موردمطالعه دارای سه تجهیز و به‌طورکلی دارای سه سری مخازن است. ایستگاه سوخت ۱ و ایستگاه سوخت۲ دارای دو کمپرسور با ظرفیت ۱۰۸۰ لیتر است؛ و ایستگاه سوخت۳ دارای ظرفیت کمپرسور ۱۲۰۰ لیتر است. با توجه به اینکه تعداد مخازن ایستگاه سوخت ۱ و ۲ برابر با ۲۷ و حجم هر مخزن برابر ۱۲۵ لیتر است ظرفیت کل هرکدام از ایستگاه‌ها ۳/۳۷۵ لیتر است. ظرفیت کل مخازن ایستگاه سوخت ۳ با ۵۰ مخزن و ظرفیت ۸۰ لیتر برابر با ۴۰۰۰ لیتر است.به‌طورکلی تعداد مخازن کل ایستگاه ۱۰۴ عدد و ظرفیت مجموع کل مخازن ۱۰/۷۵ است، دمای مخازن ۱۵ درجه سانتی‌گراد و فشار مخازن ۲۵۰ بار است. به‌منظور محاسبه تحلیل خطر انفجار در جایگاه CNG نسبت به کاربری‌های هم‌جوار آن مراحل زیر انجام شد.

۱- مدل‌سازی پیامد انفجار
۲- محاسبه ریسک فردی و جمعی
۳- تعیین هم‌پوشانی موج انفجار و تأثیرات آن در کاربری‌های هم‌جوار با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)

عوامل اقلیمی یکی از مهم‌ترین پارامترهای مهم در مدل‌سازی انفجار می‌باشند. به‌گونه‌ای که سرعت جریان باد، دمای محیط، پایداری جو و رطوبت محیط می‌تواند در مدل‌سازی انفجار نقش بسیار مهمی ایفا کنند. برای محاسبه پارامترهای اقلیمی محدوده موردمطالعه در

1 Process hazard analysis software tool
2 Geographic information system
3 Catastrophic rupture



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29 ]
[ DOI: 10.61186/ioh.20.1.278 ]

پژوهش حاضر میانگین دما و سرعت باد در ۱۱ سال گذشته (۲۰۱۷-۲۰۰۷) محاسبه شد. رطوبت نسبی ۰/۵ درصد در نظر گرفته شد و میانگین دمای ماهانه ۱۱ سال گذشته و میانگین سرعت باد به ترتیب $^{\circ}C$ ۱۸/۴۴ و $m/s$ ۳/۰۱ محاسبه شد.

در مطالعه حاضر به‌منظور محاسبه کانتورهای ریسک فردی و ریسک جمعی نرم‌افزار Safety نسخه ۸,۲ استفاده گردید به طوری که محدوده مورد مطالعه به چهار ناحیه تقسیم شد و با در نظر گرفتن جمعیت هر ناحیه و درصد افراد حاضر در محدوده و تعیین منبع جرقه مدل‌سازی انجام شد(جدول ۱).

ریسک فردی به معنای احتمال صدمه دیدن یک شخص در نزدیکی محل حادثه است و تابع عوامل مختلفی نظیر نوع صدمه ایجادشده، احتمال اتفاق افتادن حادثه و شدت حادثه موردنظر است. برای محاسبه ریسک فردی در اطراف محل حادثه، فرض براین است که سهم همه پیامدهای نهایی، بر روی ریسک فردی آن حادثه یا حوادث خاصیت جمع‌پذیری داشته باشد و از رابطه (۱) محاسبه می‌شود[۲۴].

$$IR_{x,y} = \sum_{i=1}^{n} IR_{x,y,i} \qquad (۱)$$

در این رابطه $IR_{x,y}$ ریسک فردی نهایی در نقطه‌ای به موقعیت جغرافیایی $(x, y)$(احتمال کشته شدن یک نفر در سال)، $IR_{x,y,i}$ ریسک فردی در نقطه‌ای به موقعیت جغرافیایی $(x, y)$ و ناشی از پیامد نهایی i(احتمال کشته شدن یک نفر در سال).

ریسک جمعی، معیاری از ریسک جمعیتی است که در نزدیکی محل خطر قرارگرفته‌اند. برای ارائه ریسک جمعی در اکثر موارد از منحنی‌های F-N استفاده می‌شود. در این منحنی‌ها مجموع تکرارپذیری پیامدهای ناشی از حادثه برحسب تعداد تلفات ناشی از حادثه به‌صورت لگاریتمی رسم می‌شود[۲۵]. اطلاعات مربوط به تحلیل و تخمین ریسک در جدول زیر آورده شده است.

## نتایج

نتایج حاصل از مدل‌سازی در ایستگاه سوخت نشان داد که در زمان رهایش اولیه مقدار غلظت ابر گازی حدود ppm ۹۷۸۰۰۰ است با گذر زمان و پخش ابر گازی در محیط مقدار غلظت آن کاهش می‌یابد. به‌طوری‌که مقدار آن به ppm ۱۴۰۰۰ می‌رسد. با توجه به نمودار مشاهده می‌گردد که زمان پخش ابر گازی در محیط بیش از ۷ ثانیه بوده است. شکل ۱ نمای جانبی حرکت ابر گازی در محیط است. به‌طوری‌که محور عمودی نشان‌دهنده ارتفاع ابر گازی در غلظت‌های ۵۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰۰ پی پی‌ام است؛ و محور افقی نشان‌دهنده فاصله ابر گازی در جهت باد از منبع انتشار است. بر طبق نمودار می‌توان مشاهده کرد ارتفاع غلظت ابر گازی در غلظت ۱۵۰۰۰۰ پی پی‌ام ۵ متر است و ارتفاع ابر گازی در غلظت ppm ۵۰۰۰۰ برابر با ۱۴ متر است. در مقابل ارتفاع ابر گازی در ایستگاه سوخت در غلظت ppm ۵۰۰۰۰ برابر با ۲۰ متر است و ارتفاع ابر گازی در غلظت ۱۵۰۰۰۰ پی پی‌ام ۸ متر است.

منطقه موردمطالعه با جمعیتی بالغ بر ۲۵۱۳۸۴ نفر و وسعت ۲۱۳۷/۹ هکتاری است با توجه به اینکه ۹۸ درصد اراضی منطقه ساخته‌شده است اغلب ساختمان‌های ساخته‌شده در آن دارای چندطبقه است به‌طوری‌که ۳ درصد جمعیت شهر را در خود جای داده است. به این منظور هر یک از بلوک‌های منطقه دارای جمعیت بسیاری هستند و بیش از ۳۰ درصد ساختمان های حکومتی و دولتی در این منطقه قرار دارند [۲۷-۲۶]. شکل ۲ تشعشع آتش در ایستگاه موردمطالعه را نشان می‌دهد و مطابق با مقادیر استاندارد می‌توان مشاهده کرد که تا فواصل ۵۰ متری میزان تشعشع آتش ۵۵ کیلووات بر مترمربع است.

نتایج مدل‌سازی موج انفجار نشان داد افراد نزدیک به منبع انفجار در بیشترین فشار موج قرارگرفته‌اند و موج فشار آستانه برابر با ۰/۷۵ بار است. به‌طوری‌که مطابق با مدل‌سازی پیامد و شکل ۳ فشار موج انفجار برابر با ۱۹ بار است. طبق نتایج حاصل از مدل‌سازی تا فاصله تقریباً ۱۰ متری فشار موج انفجار ثابت است و بافاصله گرفتن از منبع

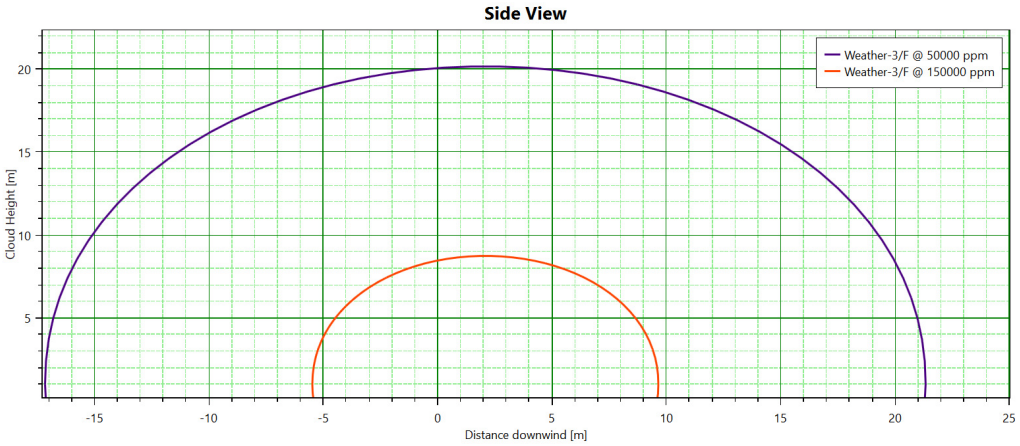
**جدول ۱.** اطلاعات تقسیم بندی مناطق و ارزیابی ریسک فردی و جمعی

| منطقه | کاربری‌ها | جمعیت | درصد افراد حاضر در فضای داخلی | آب‌وهوا | منبع جرقه (وسایل نقلیه عبوری) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | مناطق مسکونی ۱ | ۱۴۰ | ۰/۷ | 3/F | سرعت | تراکم وسایل نقلیه در ساعت |
| ۲ | مناطق مسکونی ۲ | ۲۳۰ | ۰/۷ | | ۱۳m/s | ۳۰ |
| ۳ | مناطق صنعتی و تجاری | ۲۰۰ | ۰/۹ | | | |
| ۴ | محدوده ایستگاه CNG | ۱۰ | ۱ | | | |



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29 ]

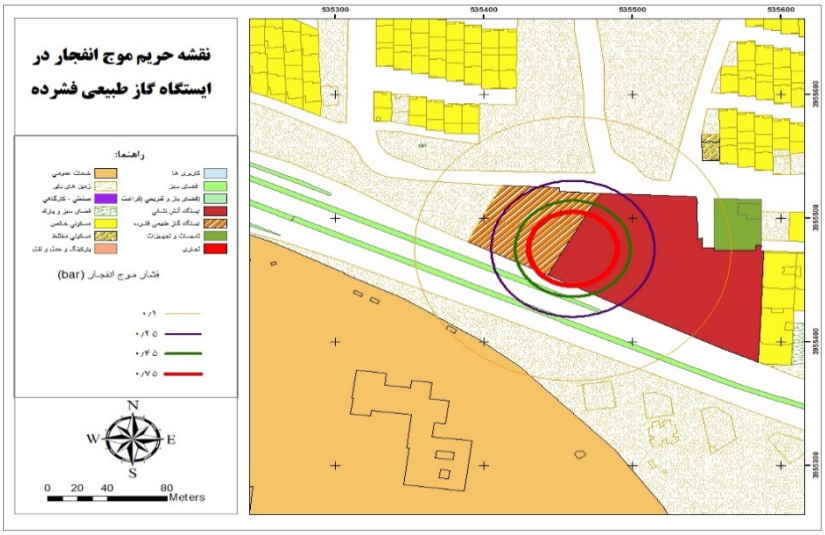
[ DOI: 10.61186/ioh.20.1.278 ]




**شکل ۱.** مدل‌سازی مقطع عرضی حرکت بخار ابر گازی در ایستگاه گاز طبیعی فشرده



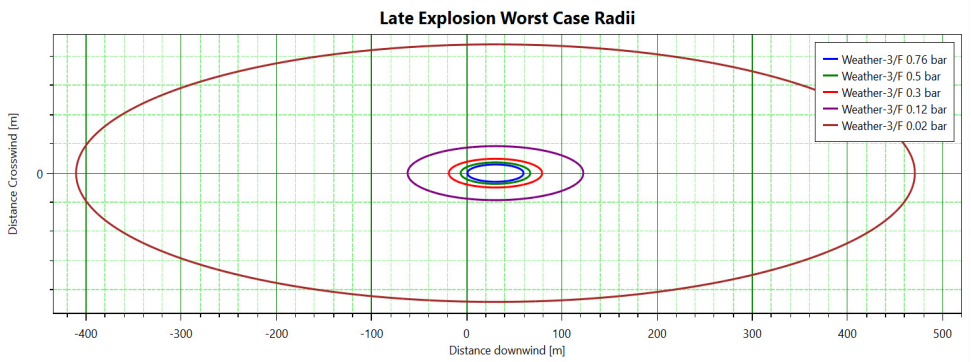

**شکل ۲.** میزان تشعشع آتش در فواصل مختلف در ایستگاه گاز طبیعی فشرده




**شکل ۳.** نقشه حریم موج انفجار در ایستگاه سوخت



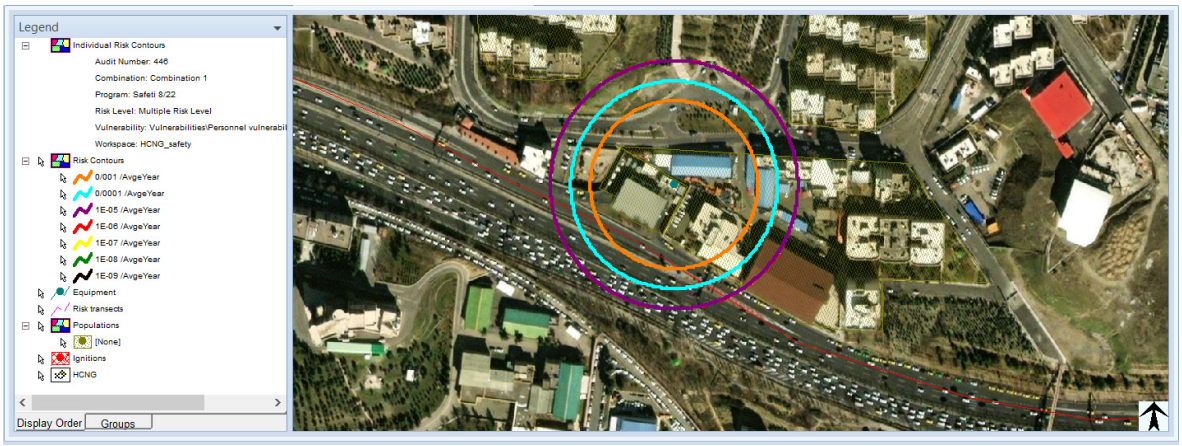
[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29 ]
[ DOI: 10.61186/ioh.20.1.278 ]




**شکل ۴.** نمودار شعاع موج بدترین حالت انفجار نسبت به ساختمان‌های اطراف ایستگاه سوخت




**شکل ۵.** تقسیم‌بندی نواحی مسکونی ازلحاظ جمعیت هدف




**شکل ۶.** کانتور های ریسک فردی

انفجار فشار موج انفجار کاهش می‌یابد.

نتایج حاصل از مدل‌سازی نشان می‌دهد موج انفجار ابر گازی در ایستگاه سوخت تا فاصله ۴۷۰ متری گسترش‌یافته است. به‌طوری‌که فشار موج انفجار برابر با ۰/۰۲ بار است با توجه به شکل ۴ در فاصله ۵۹ متری موج انفجار برابر با ۰/۷۶ باراست نتایج حاصل از شعاع موج انفجار نشان می‌دهد در ثانیه‌های اول شروع انفجار ایستگاه آتش‌نشانی را تحت تأثیر خود قرارمی دهد. در قسمت شمال غربی، ایستگاه گاز طبیعی فشرده شهرک مسکونی والفجر قرارگرفته‌اند که این نواحی نیز تحت تأثیر



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29 ]
[ DOI: 10.61186/ioh.20.1.278 ]




**شکل ۷.** نمودار F-N جایگاه سوخت موردمطالعه

موج انفجار قرار خواهند گرفت.

با توجه به موقعیت منطقه موردمطالعه و وجود کاربری‌های متعدد اعم از مسکونی و صنعتی ناحیه موردمطالعه ازنظر تراکم جمعیتی به چهار بخش تقسیم‌شده است. شکل ۵ تقسیم‌بندی نواحی مورد مطالعه ازلحاظ تعداد جمعیت ساکن را نشان می دهد به طوریکه اطلاعات آن در جدول ۱ آورده شده است.

نتایج مدل‌سازی ریسک فردی نشان داد میزان ریسک فردی برای افراد نزدیک به منبع جرقه ۰/۰۰۲۴۵۹ است. در این مطالعه به‌منظور تخمین ریسک ابتدا فرکانس رویداد اصلی محاسبه گردید برای محاسبه فرکانس رویداد اصلی از درخت خطای فازی شده استفاده گردید نتایج درخت خطای فازی شده نشان داد میزان فرکانس رویداد اصلی انفجار مخزن برابر ۰/۰۵۴۸۳۱۹ است. شکل ۶ کانتورهای ریسک فردی در منطقه موردمطالعه را نشان می‌دهد.

نتایج ارزیابی کمی ریسک در شکل ۷ نشان می‌دهد که میزان ریسک جمعی در محدوده غیرقابل‌قبول قرارگرفته است و مقدار آن برابر با ۰/۰۰۲۴۶۰۵۱ است.

## بحث

روش تحلیل کمّی ریسک یک روش قوی برای تخمین ریسک است، این روش جزء معدود روش‌های است که ریسک را به‌صورت ریسک فردی و ریسک جمعی بیان می‌کند[۲۷]. ساخت اراضی مسکونی در مجاورت واحدهای فرایندی و مواد خطرناک می‌تواند در شرایط اضطراری منجر به آسیب به این مکان‌ها شود. در این خصوص استاندارد هایی توسط انجمن HSE انگلستان ارائه شده است. بر اساس معیار ارائه‌شده توسط انجمن، اراضی ازلحاظ کاربری به چهار ناحیه تقسیم می‌شوند که عبارت‌اند از مناطق صنعتی، مناطق مسکونی، مراکز خرید و سرگرمی و سازمان‌ها و مراکز حساس. علاوه بر این موضوع، انجمن HSE انگلستان ریسک فردی را در سه محدوده تقسیم کرده است. منطقه داخلی، منطقه میانی و منطقه بیرونی که به ترتیب میزان ریسک فردی این نواحی برابر است با برابر $10^{-5}$ تا $10^{-6}$ و $10^{-6}$ تا $10^{-7}$. بنابراین ساخت تأسیسات و اماکن در این نواحی بایستی با توجه به معایر ریسک ارائه‌شده و ضوابط استاندارد ها صورت گیرد[۲۸]. با توجه به نتایج شکل ۲ و مقادیر استاندارد[۲۹] احتمال مرگ افراد حاضر در فاصله ۵۰ متری برابر با ۱۰۰ درصد است. در فاصله ۷۰ متری میزان تشعشع آتش برابر با ۴۰ $kw/m^2$ است احتمال مرگ افراد در این فاصله ۷۰ درصد است. در فاصله ۹۰ متری میزان تشعشع ۳۰ $kw/m^2$ است و احتمال مرگ افراد در این فاصله ۵۰ درصد است و در فاصله ۱۰۰ متری میزان تشعشع ۲۶ $kw/m^2$ است و احتمال مرگ افراد در این فاصله ۲۰ درصد است بافاصله گرفتن افراد از منبع جرقه و توسعه آتش تا فاصله ۳۰۰ متری و در جهت باد احتمال آسیب‌پذیری افراد کاهش می‌یابد.

در فاصله ۵۰ متری از محل وقوع آتش ایستگاه سوخت و ایستگاه آتش‌نشانی قرار دارد که میزان شار گرمایی این نواحی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و می‌تواند منجر به مرگ افراد شود لذا افرادی که در این ناحیه قرار دارند شامل ۱۰ نفر از کارکنان ایستگاه آتش‌نشانی و ۲۰ نفر کارکنان واحد آتش‌نشانی تحت تأثیر اثرات شار گرمایی قرار خواهند گرفت. در فاصله ۷۰ متری مشاهده می‌شود که



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29 ]
[ DOI: 10.61186/ioh.20.1.278 ]

تشعشع آتش گسترده شده و می‌تواند بخش عمده‌ای از بزرگراه محدوده موردمطالعه را در برگیرد.. در فاصله ۹۰ متری تشعشع آتش علاوه بر کاربری‌های ذکرشده قسمتی از مناطق مسکونی را در بر می گیرد با توجه به اینکه بعد خانوار در منطقه شش برابر ۳ است می‌توان برآورد کرد در یک ساختمان ۴ طبقه حداقل ۱۲ نفر ساکن هستند. درنتیجه افرادی که تحت شعاع خطر سوختگی قرار می‌گیرند ۷۲ نفر است. در فاصله ۱۱۰ متر مشاهده می‌گردد تشعشع آتش بسیار وسیع‌تر می‌شود و به‌طور کامل بخش عمده‌ای از بزرگراه محدوده موردمطالعه و مناطق مسکونی را شامل می‌شود جمعیت برآورد شده که در معرض آسیب قرار می‌گیرند ۱۲۲ نفر می‌باشند.

نتایج شکل ۴ نشان داد که فشار موج انفجار در فاصله کمتر از ۶۰ متر برابر با ۰/۷۵ بار است و با توجه به مقادیر استاندارد سطح آسیب‌پذیری افراد مشاهده می‌شود افراد ساکن در این ناحیه آسیب‌دیده و کاربری‌های مختلف تحت تأثیر قرار می‌گیرند. با توجه اینکه جمعیت در اطراف ایستگاه گاز طبیعی فشرده متراکم‌تر است می‌توان برآورد نمود احتمال آسیب جمعیت ساکن در کاربری‌های اطراف ایستگاه گاز طبیعی فشرده بسیار کمتر است و بیشترین آسیب مربوط به خودروهای عبوری از بزرگراه می‌باشند. در فاصله ۶۰-۷۰ متری فشار موج انفجار برابر با ۰/۴۵ بار است که در این فاصله خطر جدی ساکنان منطقه را تهدید می‌کند. در فاصله ۸۵ متری، افراد واقع در فشار موج انفجار ۰/۲۵ بار دارای آسیب نسبی هستند؛ و در فاصله ۱۳۶ متری احتمال سطح آسیب افراد کمتر می‌شود. نتایج حاصل از مدل‌سازی نشان می‌دهد موج انفجار ابر گازی در ایستگاه سوخت تا فاصله ۴۷۰ متری گسترش‌یافته است. به‌طوری‌که فشار موج انفجار برابر با ۰/۰۲ بار است با توجه به مقادیر استاندارد[۲۹] این مقدار فشار موج می‌تواند منجر به تخریب پنجره های ساختمان ها در اطراف ایستگاه سوخت می شود[۹].

با توجه نتایج شکل ۴ در فاصله ۵۹ متری موج انفجار برابر با ۰/۷۶ باراست در این فاصله تمامی ساختمان‌ها ازجمله ایستگاه آتش‌نشانی و ایستگاه CNG تخریب می شوند. نتایج حاصل از شعاع موج انفجار نشان می‌دهد در ثانیه‌های اول شروع انفجار ایستگاه آتش‌نشانی را تحت تأثیر خود قرارمی دهد. در قسمت شمال غربی ایستگاه سوخت، شهرک مسکونی والفجر قرارگرفته است. مو ج انفجار در فشار ۰/۰۲ بار می‌تواند باعث آسیب‌پذیری و شکستن شیشه‌های پنجره ساختمان‌ها گردد. در قسمت جنوبی ایستگاه کاربری‌های خدماتی و مهم قرارگرفته است. با توجه به انتشار اثرات دومینویی در زمان وقوع بحران توجه به‌قرارگیری کاربری‌ها ازلحاظ سازگاری ضروری است و باید موردتوجه مدیران و برنامه ریزان شهری و سازمان های مربوط قرار گیرد. در فاصله ۶۶ متری موج انفجار ۰/۵ باراست با توجه به جدول سطح آسیب‌پذیری، همه درها و پنجره‌های ساختمان‌ها ازجمله ایستگاه CNG و ایستگاه آتش‌نشانی و بخش عمده‌ای بزرگراه آسیب می‌بینند. در فاصله ۷۸ متری موج انفجار ۰/۳ باراست در این فاصله بیشتر درها و پنجره‌ها آسیب خواهند دید و در فاصله ۱۲۰ متری فشار موج انفجار ۰/۱۲ باراست. با توجه به مقادیر استاندارد [۹] آسیب کمی از درها و پنجره‌ها ساختمان‌ها مشاهده می‌شود. به‌منظور مقایسه اعداد ریسک برآورد شده با مقادیر استاندارد از معیار ارائه‌شده توسط انجمن HSE انگلستان استفاده شد[۸]. نتایج این مقایسه نشان داد میزان ریسک برآورد شده بیش از $10^{-3}$ است و در ناحیه غیرقابل‌قبول قرار دارد. مطابق با شکل ۶ میزان ریسک تا فاصله ۸۵ متری از منبع جرقه به میزان ۸/۴۵۲ می‌رسد و سپس به‌شدت کاهش می‌یابد. اما در فواصل کمتر نیاز به ارائه اقدامات کنترلی مناسب و تدوین برنامه واکنش در شرایط اضطراری مناسب برای افراد ساکن در این ناحیه است. یکی از محدودیت‌های مهم این مطالعه عدم دسترسی به نقشه کاربری‌های اطراف جایگاه بود که با بررسی میدانی منطقه تا حدودی این محدودیت در نقشه‌های GIS برطرف شد.

## نتیجه‌گیری

مخازن ایستگاه‌های گاز طبیعی فشرده با فشار ۲۵۰ بار و دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد می‌توانند به‌عنوان یک خطر جدی در مناطق شهری تلقی شوند به‌گونه‌ای که با قرارگیری این ایستگاه‌ها در کنار کاربری‌های دیگر هم چون کاربری‌های مسکونی و تجاری و... شدت آسیب مناطق شهری در مواجه با حوادث متعدد افزایش می‌یابد. قرارگیری ایستگاه‌های سوخت گاز طبیعی فشرده در میان کاربری‌های دیگر شهری لزوم توجه به خطرات و پیامدهای حاصل از انفجار مخازن این ایستگاه‌ها را برای برنامه ریزان و مدیران شهری ملزوم می‌نماید. با توجه به نتایج مشاهده می‌شود شعاع ایمنی جانی ایستگاه سوخت برابر ۱۴۰ متر است؛ و شعاع ایمن ساختمان‌ها برابر با ۵۰۰ متر است.

## تشکر و قدرانی

این مقاله از پایان‌نامه کارشناسی ارشد در دانشگاه



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29 ]

[ DOI: 10.61186/ioh.20.1.278 ]

گیلان. استخراج‌شده است. نویسندگان بدین‌وسیله از مجموعه جایگاه‌های سوخت CNG و تمام کسانی که در راستای اجرای این پژوهش همکاری نمودند کمال تشکر و قدردانی را به عمل می‌آورند.

## REFERENCE

[1] C. Chen, G. Reniers, and N. Khakzad, "A thorough classification and discussion of approaches for modeling and managing domino effects in the process industries," Saf. Sci., vol. 125, p. 104618, 2020.

[2] F. Celano and M. Dolšek, "Fatality risk estimation for industrialized urban areas considering multi-hazard domino effects triggered by earthquakes," Reliab. Eng. Syst. Saf., vol. 206, p. 107287, 2021, doi: 10.1016/j.ress.2020.107287.

[3] R. M. Darbra, A. Palacios, and J. Casal, "Domino effect in chemical accidents: Main features and accident sequences," J. Hazard. Mater., vol. 183, no. 1–3, pp. 565–573, 2010, doi: 10.1016/j.jhazmat.2010.07.061.

[4] F. Kadri, E. Chatelet, and P. Lallement, "The Assessment of Risk Caused by Fire and Explosion in Chemical Process Industry: A Domino Effect-Based Study," J. Risk Anal. Cris. Response, vol. 3, no. 2, p. 66, 2013, doi: 10.2991/jrarc.2013.3.2.1.

[5] Z. Jahanbani, F. Sereshki, M. Ataei, and K. Ghanbari, "Risk Assessment of Fire by using Fuzzy Fault Tree Analysis Case study: Eastern Alborz Coal Mines," Iran Occup. Heal., vol. 14, no. 3, pp. 46–57, 2017.

[6] DNV GL, "Process hazard analysis / consequence analysis - Phast - Software - DNV GL," 2017. https://www.dnvgl.com/services/process-hazard-analysis-phast-1675 (accessed May 07, 2018).

[7] A. B. de Haag PU, Guideline for Quantitative Risk Assessment (The Purplebook), Loss Preve. Elsevier, 2001. Accessed: Feb. 02, 2023. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/283632721_Guideline_for_quantitative_risk_assessment_in_the_Netherlands

[8] S. Lewis, "Risk Criteria - When is low enough good enough?," Risktec Solut. Limited, http//www. risktec. co. uk/media/43520/risk criteria when low enough good enough, no. June, p. 8, 2007, [Online]. Available: http://www.risktec.co.uk/media/43520/risk criteria - when is low enough good enough - saudi.pdf

[9] K. Wang, Z. Liu, X. Qian, M. Li, and P. Huang, "Comparative Study on Blast Wave Propagation of Natural Gas Vapor Cloud Explosions in Open Space Based on a Full-Scale Experiment and PHAST," Energy and Fuels, vol. 30, no. 7, pp. 6143–6152, Jul. 2016, doi: 10.1021/acs.energyfuels.6b01293.

[10] B. Abdolhamidzadeh, T. Abbasi, D. Rashtchian, and S. A. Abbasi, "Corrigendum to A new method for assessing domino effect in chemical process industry [J. Hazard. Mater. 182, (2010), 416-426]," J. Hazard. Mater., vol. 184, no. 1–3, p. 877, 2010, doi: 10.1016/j.jhazmat.2010.08.063.

[11] G. Antonioni, G. Spadoni, V. Cozzani, C. Dondi, and D. Egidi, "Quantitative assessment of domino effect in an extended industrial area," Safety, Reliab. Risk Anal. Theory, Methods Appl. - Proc. Jt. ESREL SRA-Europe Conf., vol. 3, no. 5, pp. 2397–2404, 2009, doi: 10.1201/9781482266481-344.

[12] D. Jiang, X. H. Pan, M. Hua, A. Mébarki, and J. C. Jiang, "Assessment of tanks vulnerability and domino effect analysis in chemical storage plants," J. Loss Prev. Process Ind., vol. 60, pp. 174–182, 2019, doi: 10.1016/j.jlp.2019.04.016.

[13] D. Y. Gonzva M, Barroca B, Gautier P-É, "Modeling disruptions causing domino effects in urban guided transport systems faced by flood hazards," Nat. hazards, vol. 86, no. 1, pp. 183–201, 2017.

[14] S. Cincotta, N. Khakzad, V. Cozzani, and G. Reniers, "Resilience-based optimal firefighting to prevent domino effects in process plants," J. Loss Prev. Process Ind., vol. 58, pp. 82–89, 2019, doi: 10.1016/j.jlp.2019.02.004.

[15] R. Bahmani, M. Pouyakyan, S. Khodakarim, H. Bidel, and A. Salehi, "Risk Assessment and Consequence Analysis of Fire and Explosion in a Vinyl Chloride Monomer Tank by PHAST," J. Saf. Promot. Inj. Prev., vol. 8, no. 4, 2021.

[16] M. M. Aliabadi, H. Ramezani, and O. Kalatpour, "Quantitative Risk Assessment of Condensate Storage Tank, Considering Domino Effects," J. Heal. Saf. Work, vol. 12, no. 1, pp. 204–221, 2022.

[17] F. I. Khan and S. A. Abbasi, "Techniques and methodologies for risk analysis in chemical process industries," J. loss Prev. Process Ind., vol. 11, no. 4, pp. 261–277, 1998.

[18] F. Khan, S. Rathnayaka, and S. Ahmed, "Methods and models in process safety and risk management: Past, present and future," Process Saf. Environ. Prot., vol. 98, pp. 116–147, 2015, doi: 10.1016/j.psep.2015.07.005.

[19] M. Parvini and A. Kordrostami, "Consequence modeling of explosion at Azad-Shahr CNG refueling station," J. Loss Prev. Process Ind., vol. 30, no. 1, pp. 47–54, 2014, doi: 10.1016/j.jlp.2014.04.007.

[20] M. Pouyakian, F. Laal, M. J. Jafari, F. Nourai, and S. Kabir, "Fuzzy Bayesian estimation and consequence modeling of the domino effects of methanol storage tanks," Int. J. Occup. Saf. Ergon., vol. 28, no. 4, pp. 2509–2519, 2022, doi: 10.1080/10803548.2021.20[10 656.

[21] ESRI, "ArcGIS 10.2 Transforms GIS," 2013. http://www.esri.com/esri-news/arcuser/fall-2013/arcgis-102-trans-



[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29 ]

[ DOI: 10.61186/ioh.20.1.278 ]

wards dynamic risk analysis: A review of the risk assessment approach and its limitations in the chemical process industry," Saf. Sci., vol. 89, pp. 77–93, Nov. 2016, doi: 10.1016/j.ssci.2016.06.002.

[27] J. E. Vinnem et al., "Risk modelling of maintenance work on major process equipment on offshore petroleum installations," J. Loss Prev. Process Ind., vol. 25, no. 2, pp. 274–292, 2012.

[28] E. Majidi, H. Zarei Mahmoud Abadi, H. Fattahi Bafghi, S. Ahmadi, M. Sharifi, and B. Moradi, "Identifying and assessment the health hazards of the petrochemical industry using the localized JHA method," Occup. Hyg. Heal. Promot., vol. 5, no. 4, pp. 359–370, 2022, doi: 10.18502/ohhp.v5i4.8462.

[29] P. A. M. U. de Haag, B. J. M. Ale, and J. G. Post, "The 'Purple Book': guideline for quantitative risk assessment in the Netherlands," in Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries, Elsevier, 2001, pp. 1429–1438.

forms-gis (accessed Jan. 15, 2023).

[22] B. Harati, A. Karimi, A. Askari, F. Dehghani, and A. Nasrollahi, "Modeling and evaluation of safety consequences of propylene oxide leakage, a petrochemical company," J. Heal. Saf. Work, vol. 8, no. 2, pp. 199–209, 2018.

[23] G. Reniers and V. Cozzani, "Features of Escalation Scenarios," in Domino Effects in the Process Industries: Modelling, Prevention and Managing, Elsevier, 2013, pp. 30–42. doi: 10.1016/B978-0-444-54323-3.00003-8.

[24] S. Mannan, Lees' Loss Prevention in the Process Industries: Hazard Identification, Assessment And Control: Fourth Edition, vol. 1–2. Butterworth-Heinemann, 2012. doi: 10.1016/C2009-0-24104-3.

[25] T. Aven and J. E. Vinnem, "On the use of risk acceptance criteria in the offshore oil and gas industry," Reliab. Eng. Syst. Saf., vol. 90, no. 1, pp. 15–24, 2005, doi: 10.1016/j.ress.2004.10.009.

[26] V. Villa, N. Paltrinieri, F. Khan, and V. Cozzani, "To-

[ Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-11-29 ]

[ DOI: 10.61186/ioh.20.1.278 ]