Journal of Military Medicine
2018, Volume 19, Issue 6
Pages: 551-561

Evaluation the Extent of Explosion, Ignition and Gas Leakage Consequences in Cylinders Containing 26.2-Liters of Liquid Gas, with Passive Defense Approach

Mohammad Hossein Beheshti [1], Zeynab Mosavianasl[2], Ali Tajpoor[3], Roohalah Hajizadeh[4]*

[1] Department of Occupational Health, School of Public Health, Gonabad University of Medical Sciences, Khorasan Razavi, Iran.
[2] Occupational Health and Safety Group, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran.
[3] Occupational Health and Safety Group, Tarbiat University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
[4] PhD Candidate of Occupational Health Engineering, Occupational Health Research Center, Qom University of medical Sciences, Qom, Iran.

Received: 2 November 2016 **Accepted**: 16 January 2018

Abstract

Background and Aim: Knowing the maximum radius of fire, explosion and emission of toxic gases, can play a very important role in the operationalization of urban passive defense requirements in order to reduce vulnerability in accidents. The main objective of this study is modeling the extent of explosion, ignition and gas leakage Consequences in cylinders containing 26.2-liters of liquid gas, with passive defense approach.

Methods: In this study, the effective factors on discharge and release of gases are described and ALOHA software has been used as one of the most suitable software for modeling the gas emissions of LPG (Liquefied Petroleum Gas) cylinders. Based on the modeling results, the emergency response program during gas leakage is presented.

Results: When the gas leaks from LPG cylinder with 1-inch vent valve, the cylinder will be empty in one minute and the gas concentration will be 12600 ppm (60% LEL) and 2100 ppm (10% LEL) up to 11 meters and 35 meters from cylinder, respectively. In the case of vapor cloud explosion, the explosive wave pressure will be about 3.5 psi, up to 13 meters from the reservoir which may cause serious damage, and it will be equal to 1 psi, up to 25 meters from the cylinder which has strength of breaking the glass. In case of furious fire, fire flame with eight meters' length is created, with thermal radiation of about 10 Kw/m^2 and 5 Kw/m^2 up to 10 meters and 12 meters from the cylinder, respectively which can cause second-degree burns. In the event of BELIEVE, a fireball will occur with a diameter of 14 meters within 2 seconds, with thermal radiation of about 10 Kw/m^2 up to 53 meters from the cylinder.

Conclusion: The consequences of flaring and explosion of LPG gas, up to 35 meters from cylinder, are the most serious threat for human health, if gas leaks from a cylinder. Optimal positioning of gas cylinders will have an important role in limiting the harmful effects of hazardous emissions in military barracks.

Keywords: Gas leakage, explosion, LPG, ignition

*Corresponding author: **Roohalah Hajizadeh**, Email: roohalahhajizade@gmail.com

مجله طب نظامی
دوره ۱۹، شماره ۶، بهمن و اسفند ۱۳۹۶
صفحات: ۵۶۱-۵۵۱

بررسی محدوده پیامدهای انفجار، اشتعال و نشت گاز در کپسول های ۲۶/۲ لیتری گاز مایع با رویکرد پدافند غیرعامل

محمد حسین بهشتی[۱]، زینب موسویان اصل[۲]، علی تاج پور[۳]، روح اله حاجی زاده[۴]*

[۱] دانشجوی دکتری بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گناباد، گناباد، ایران
[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، ایران
[۳] دانشجوی کارشناسی ارشد بهداشت حرفه ای، گروه بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
[۴] دانشجوی دکتری مهندسی بهداشت حرفه ای، مرکز تحقیقات سلامت کار، دانشگاه علوم پزشکی قم، قم، ایران

چکیده

زمینه و هدف: آگاهی از حداکثر شعاع های حریق، انفجار و نشر مواد سمی می تواند نقش بسیار با اهمیتی در عملیاتی نمودن الزامات پدافند غیرعامل شهری به منظور کاهش آسیب‌پذیری در حوادث داشته باشد. هدف از این مطالعه مدلسازی محدوده پیامدهای انفجار، اشتعال و نشت گاز در کپسول های ۲۶/۲ لیتری گاز مایع با رویکرد پدافند غیر عامل است.

روش‌ها: در این مطالعه ضمن تشریح عوامل موثر بر تخلیه و انتشار مواد، نرم افزار ALOHA بعنوان یکی از مناسبترین نرم افزارها جهت مدلسازی انتشار گاز LPG در کپسول های ۲۶/۲ لیتری مورد استفاده قرار گرفته و بر اساس نتایج مدلسازی، برنامه واکنش در شرایط اضطراری در زمان نشت گاز تهیه و ارائه گردیده است.

یافته‌ها: در صورت نشت گاز LPG از شیر خروجی با منفذ ۱ اینچ، در مدت ۱ دقیقه کل کپسول تخلیه شده و تا فاصله ۱۱ متری مخزن غلظت گاز حدود ۱۲۶۰۰ PPM (۶۰ ٪ LEL) و تا محدوده ۳۵ متری مخزن غلظت گاز ۲۱۰۰ PPM (۱۰٪ LEL) می باشد. در صورت انفجار ابر بخار تشکیل شده، فشار موج انفجار تا فاصله ۱۳ متر از مخزن حدود ۳/۵ Psi است که ممکن است باعث صدمات جدی شود و تا فاصله ۲۵ متری کپسول برابر با ۱ PSI با قدرت شکستن شیشه ها می باشد. در صورت وقوع حریق فورانی،حریقی به طول ۸ متر ایجاد می شود که میزان تشعشع حرارتی آن تا فاصله ۱۰ متری از کپسول گاز حدود ۱۰ و تا فاصله ۱۲ متری مخزن حدود ۵ کیلووات بر متر مربع است که منجر به سوختگی درجه ۲ می گردد. در صورت وقوع BELEVE تحت گلوله آتشین به قطر ۱۴ متر و در عرض ۲ ثانیه رخ خواهد داد که میزان تشعشع حرارتی تا فاصله ۳۹ متری از کپسول حدود ۱۰ کیلووات بر متر مربع است.

نتیجه‌گیری: عواقب ناشی از اشتعال و انفجار گاز LPG تا فاصله ۳۵ متری کپسول گاز جدی ترین خطری است در صورت نشت گاز پرسنل و افراد را تهدید می کند. مکان یابی بهینه محل استقرار کپسول های گاز در پادگان ها نقش موثری در محدود نمودن اثرات زیانبار انتشار گازهای خطرناک خواهد داشت.

کلیدواژه‌ها: نشت گاز، انفجار، LPG، اشتعال

*نویسنده مسئول: **روح اله حاجی زاده**. پست الکترونیک: roohalahhajizade@gmail.com
دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۱۲ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۲۶

مقدمه

در حوزه حوادث غیرطبیعی ضرورت دفاع برای هر کشوری بسیار جدی و مهم است دفاع شامل دو بخش عمده دفاع عامل و دفاع غیرعامل می شود. در دفاع عامل تمام طرح ریزی ها و اقدامات دفاعی مستلزم به کارگیری سلاح و تجهیزات جنگی است و در دفاع غیرعامل مجموعه اقدامات غیرمسلحانه ای است که موجب کاهش آسیب پذیری نیروهای انسانی، ساختمانها و تأسیسات و تجهیزات و شریان های شهری در مقابل عملیات خصمانه و مخرب دشمن میگردد. بنابراین برنامه ریزی مناسب می تواند نقشی اساسی در مدیریت ریسک و کاهش میزان آسیب پذیری شهر در برابر سوانح به طور اعم و سوانح انسان ساخت به طور داشته باشد. در نظر گرفتن پدافند غیرعامل در ساخت و مقاوم سازی سازه های نظامی و مسکونی راهکاری مناسب برای کاهش خسارات در اثر وقوع انفجار در سازه‌ها است (۲و۱).

امروزه یکی از اصول ضروری ایمن‌سازی فضاهای شهری و نظامی، توجه به عملیاتی نمودن الزامات پدافند غیرعامل شهری به منظور کاهش آسیب‌پذیری و ایمن‌سازی آنهاست. پدافند غیرعامل مجموعه ای از برنامه ریزی ها، طراحی ها و اقدامات است که باعث کاهش آسیب پذیری در مقابل تهدیدات دشمن می شود، از این مفهوم تحت عنوان بازدارندگی نیز یاد می شود (۳).

در نظر گرفتن پدافند غیر عامل در ساخت و مقاوم سازی سازه های نظامی، صنعتی، تجاری و مسکونی می تواند راهکار مناسب برای کاهش خسارت جانی و مالی در اثر وقوع انفجار در داخل یا خارج از این سازه ها باشد (۱).

سیاست های اصلی پدافند غیرعامل مبتنی بر بقا و حفظ امنیت بوده و هدف کلی پدافند غیرعامل، ایمن سا زی و کاهش آسیب پذیری. زیرساختهای مورد نیاز مردم است، تا به تدریج شرایطی را برای امنیت ایجاد نماید و در واقع پدافند غیرعامل مربوط به دوران صلح است که خود باعث کاهش هزینه ها، جلوگیری از اتلاف وقت، انرژی و بالا بردن ضریب امنیت در جامعه است. یکی از اقدامات اساسی و عمده در بحث پدافند غیرعامل انتخاب محل مناسب برای تجهیزات خطرناک و حادثه پذیر از جمله مخازن سوخت و کپسول های گاز می باشد. در واقع مکان یابی فرآیندی است که از طریق آن میتوان بر اساس شرایط تعیین شده برای یک کاربری مشخص و با توجه به منابع و امکانات موجود، بهترین محل مناسب را تعیین نمود.

اقدامات بهداشتی در شرایط بحرانی یکی از اموری می باشد که می تواند با اجرای مناسب، خسارات ناشی از حوادث و سوانح را بکاهد و بحران بهداشتی ایجاد شده را کنترل کند. آتش سـوزی و انفجـار در صنایع و اماکن نظامی ممکن است پیامدهای بسیار ناگواری در پی داشته باشد. کنترل حوادث و کاهش پیامدهای آن نیازمند آمادگی مبادی ذیربط از لحاظ آگاهی و دانش مسولان بهداشت، ستاد های بحران، نظامیان و سایر گروه ها در زمینه اقدامات بهداشتی در شرایط بحران می باشد.

کپسول های حاوی گاز LPG یکی از شایع ترین منابع بروز حریق و انفجار می باشند. اکثر مردم به LPG گاز مایع می‌گویند که در سیلندرهای قابل حمل ۵۰ کیلویی، ۱۱ کیلویی و ۲ کیلویی (پیکنیکی) در ایران به فروش می‌رسد. قبل از این که شهرها لوله کشی گاز طبیعی شوند عمده مصرف خانه‌ها برای اجاق‌ها و در زمان بی برقی برای روشنایی، گاز مایع سیلندری بود که بعد از لوله کشی شبکه گاز طبیعی برای هر خانه، دیگر کمتر در خانه‌ها استفاده می‌شود. با این وجود در حال حاضر استفاده از کپسول های (سیلندرها) حاوی گاز مایع در بخش های مختلف مثل آشپزخانه، صنایع و .... و همچنین در روستاها و شهرهایی که گازکشی نشده اند استفاده فراوانی دارد. با توجه به اینکه پادگان ها و مراکز نظامی معمولا در نقاط دور دست و خارج از شهر هستند معولا در این مراکز جهت ایجاد شعله برای فعالیت های مختلف از کپسول گاز استفاده می شود. از جمله خصوصیات گاز مایع که موجب خطرناک بودن آن شده، این است که معمولا این گاز تحت فشار بوده و در دمای بالای نقطه جوش نگه داری و جابجا می شود. پس هر نشتی موجب تبدیل آن به بخار و گاز می گردد. این عمل موجب می شود که گاز مایع قبل از اینکه به منبع جرقه برسد صدها متر در محیط پخش می شود (۵) بخار گاز مایع در غلظت های بین ۲ درصد LEL (حد پایین قابل اشتعال) و ۱۰درصد UEL (حداکثر قابلیت اشتعال) ترکیب قابل انفجاری ایجاد می کند و به علت تبخیر سریع و در نتیجه پایین آمدن سریع دما (به خصوص پروپان مایع) می تواند موجب سوختگی های شدید پوست گردد (۶).

نگاهی به حوادث اتفاق افتاده در نقاط مختلف دنیا نشان می دهد که کوچکترین قصوری در طراحی، ساخت، نصب و استفاده و نگهداری از مخازن حاوی گاز LPG منجر به وقوع حوادث و فاجعه ای بزرگ شده است. نتایج بررسی متون و مطالعات انجام شده در زمینه انواع سناریوها و حوادث ناشی از گاز LPG بصورت زیر می باشد:

۱- بخار LPG در غلظت های بین ۲ درصد LEL (حد پایین قابلیت اشتعال) و ۱۰ درصد UEL (حداکثر قابلیت اشتعال) ترکیب قابل انفجاری ایجاد می کند (۸).
۲- در صورت نشت گاز LPG به علت تبخیر سریع و در نتیجه پایین آمدن سریع دما (به خصوص پروپان مایع) می تواند موجب سوختگی های شدید پوست گردد (۹).
۳- نشت گاز LPG می تواند باعث وقوع حریق گسترده شود (۹).
۴- حریق ناشی از گاز باعث ایجاد تشعشات حرارتی گسترده در محیط می شود (۱۰).
۵- انفجار مخزن حاوی گاز پروپان مایع (LPG) با عث ایجاد موج فشار بسیار قوی می شود (۱۱).

از آنجایی که اولین هدف مورد نظر دشمن در حمله و تهاجم نظامی به کشور، مراکز و استقرارگاه های نظامی آن کشور است انفجار و اشتعال این گاز در مراکز نظامی ممکن است باعث انفجار های بسیار بزرگتر و شدیدتر گردد.

ارزیابی پیامد خطراتی همچون رها شدن مواد شیمیایی پر خطر در محیط، یکی از ضروریترین و اصلیترین مراحل برای افزایش سطح ایمنی در واحدهای موجود یا در حال طراحی است (۴). پیش بینی رفتار سیال بعد از رهایش و انتشار به منظور تخمین پیامدها و صدمات احتمالی و همچنین آگاهی از حداکثر شعاع های ایمن حریق، انفجار و نشر مواد سمی بسیار مهم بوده و نقش بسیار با اهمیتی در مقابله با حوادث در شرایط اضطراری را میتواند بازی کند. آگاهی مناسب نسبت به اقدامات بهداشتی در شرایط بحرانی یک امر مهم تلقی می گردد. به علت اینکه برخی از کارکنان آگاهی خوبی در این زمینه نداشتند بنابراین لازم است برای آنها دوره های آموزشی کافی گنجانده شود.

یکی از روشهای موثر در انجام اقدامات پیشگیرانه، مطالعه پیامد حوادث با استفاده از روشهای ارزیابی ریسک و مدلهای پخش اتمسفری (۷) و تهیه برنامه واکنش در شرایط اضطراری است. تعیین شعاع آسیب رسانی در حین بروز یک حادثه مربوط به انتشار گازهای سمی و خطرناک از اهمیت به سزایی برخوردار است. نتایج این مدلسازی می تواند نقش عمده ای در پدافند غیرعامل داشته باشد. بطور کلی پدافند غیرعامل به دفاعی گفته می شود که متکی به تجهیزات و تسلیحات نظامی نیست.

با انجام مدلسازی پخش مواد با استفاده از نرم افزارهای معتبر، علاوه بر مشخص نمودن محدوده متاثر از نشت مواد سمی و خطرناک می توان برنامه واکنش در شرایط اضطراری را با استفاده از نتایج مدلسازی طرح ریزی نمود.

هدف این مطالعه بررسی سناریوهای ممکن رهایش گاز مایع در سیلندرهای ذخیره سازی آن و ارائه الگوی بهینه برنامه واکنش در شرایط اضطراری برای هر دسته از این رهایش ها با توجه به سطوح اضطرار تعریف شده توسط موسسه CCPS می باشد.

روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ در دانشگاه علوم پزشکی گناباد انجام شد و از نرم افزار ALOHA برای مدلسازی و تعیین محدوده پیامدهای ناشی از نشت گاز در کپسول ۲۶/۲ لیتری حاوی گاز LPG استفاده شد. ALOHA یکی از نرم افزارهای ارائه شده برای مدلسازی پیامدهای ناشی از رها شدن مواد در محیط است (۱۲و۱۳) که از قویترین و مشهورترین نرم افزارها در این زمینه است. ALOHA برنامه کامپیوتری ویژه ای است که با مدلسازی و پیش بینی روند نشت به عکس العمل بهتر در برابر حوادث ناشی از رهایش اتفاقی یک ماده شیمیایی کمک می کند این نرم افزار قادر است تمامی پیامدهای رها شدن مواد در محیط اعم از حریق، انفجار و آثار سمیت مواد را پیش بینی کند. این نرم افزار توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) برای مدل سازی حوادث ناشی از رهایی مواد سمی، منفجره و یا حریق و انفجار در پیامد آنها عرضه شده است (۱۴).

روش کار این پژوهش براساس روش مرسومی است توسط انستیتوی مهندسی شیمی آمریکا و موسسه DNV پیشنهاد گردیده است (۱۵ و ۱۶).

در این مطالعه، گاز LPG بصورت مایع در سیلندرهای بوتان با حجم ۲۶/۲ لیتری نگهداری می شود. مشخصات کپسول گاز مورد مطالعه در شکل-۱ نشان داده شده است.

در این مطالعه، گاز LPG بصورت مایع در یک مخزن با طول ۵۷۰ و قطر ۳۰۱ میلی متر در شرایط دمای ۲۳ درجه سانتی گراد نگهداری می شود شیر خروجی با قطر ۱ اینچ و در فاصله ۰/۵۷ متری از کف مخزن قرار دارد. با فرض نشت ناگهانی مخزن گاز LPG سریعا تغییر فاز داده و بصورت گاز پخش میشود لازم به ذکر است که از محدودیت های مدلسازی نشت گازها با کمک نرم افزارها این است که باید شرایط محل نشت به نرم افزار وارد شود. به همین دلیل مدلسازی نشت در مواردی غیر از شیر تخلیه کاری بسیار سخت و دارای خطای زیادی می باشد.

سیلندر ۲۶/۲ لیتری خانگی
LPG HOME CYLINDER (26/2L)

FILLING GAS	LIQUEFIED PETROLEUM GAS
Volume (L)	26.2
Test Pressure (kg/cm2)	35
Design Pressure (kg/cm2)	17.5
Diameter *Height (mm)	301*570
Weight (kg)	14.4 - 14.8
Material	Jis3116/SG255 equal ASTM A285S-C (Hot rolled steel)

شکل-۱. مشخصات کپسول گاز خانگی حاوی گاز مایع

پارامترهای ورودی مورد نیاز در نرم افزار ALOHA جهت مدلسازی نشت گاز از مخازن ذخیره آن شامل پارامترهای مربوط به منبع انتشار (محل منبع و زمان انتشار)، پارامترهای اتمسفریک (دمای محیط، رطوبت، جهت و سرعت باد، نوع زمین و سایر پارامترهای اتمسفریک) و پارامترهای مربوط به ماده شیمیایی می باشد.

در نرم افزار ALOHA جهت تعیین محدوده تشکیل ابر بخار سمی از AEGLs (Acute Exposure Guideline Levels) استفاده می گردد. تعیین محدوده ها بصورت زیر است:

AEGL-1: در این غلظت پیش بینی می شود که جمعیت عمومی شامل افراد مستعد، تحریک ، آزردگی و برخی از اثرات غیرحسی و بدون علامت را تجربه کنندو به هر حال اثرات ناتوان کننده نیست و زود گذر و بر گشت پذیر است.

AEGL-2: در این حالت افراد جامعه شامل افراد مستعد، می¬توانند اثرات نامطلوب و شدید و یا برگشت ناپذیر را تجربه کنند. در این حالت ممکن است افراد توان فرار را به نوعی از دست بدهند.

AEGL-3: در این حالت افراد ممکن است دچار مرگ شده و یا مواجهه در این سطح تهدید کننده حیات افراد باشد. در AEGLها تراکم هوابرد است و بر حسب قسمت در میلیون یا میلی گرم بر متر مکعب بیان می شود.

به عنوان روش مناسب برای ارزیابی پیامدهای ناشی از حوادث محتمل در یک مخزن حاوی گاز الگوی ۴ مرحله ۲ مورد استفاده قرار گرفت:

مرحله نخست: انتخاب سناریو

در مرحله اول سناریوها یا حوادثی که عواقب آنها مورد توجه است، انتخاب شدندو سناریو، حادثه یا ترکیبی از حوادث است که وقوع آن منجر به تولید مخاطرات فرایندی چون آتش، انفجار یا رهایی مواد سمی می شود.

بطور کلی این مطالعه تحت شرایط ۳ سناریوی مختلف انجام شد که بصورت زیر بیان شده است.

سناریوی ۱: گاز مایع از شیر خروجی نشت کرده و در محیط پخش می شود: در این سناریو فرض بر این است که گاز از شیر خروجی مخزن خارج و در محدوده اطراف مخزن ایجاد ابر بخار سمی می نماید.

بخش ۱-۱: مدلسازی تشکیل ابر بخار سمی

بخش۱-۲: مدلسازی محیط قابل اشتعال ابر بخار گاز LPG

بخش ۳: مدلسازی محیط انفجار ابر بخار سمی

سناریوی ۲: گاز مایع از شیر خروجی نشت کرده و در محیط بصورت حریق فراوانی (JET FIRE) می سوزد: در این سناریو فرض بر این است که گاز از شیر خروجی مخزن بصورت حریق فراوانی خارج میشود.

سناریوی ۳: کپسول منفجر شده و گاز مایع بصورت یک توپ آتشین می سوزد (Boiling liquid expanding vapor explosion) در این سناریو فرض بر این است که گاز از شیر خروجی مخزن بصورت یک توپ آتشین خارج میشود.

مرحله دوم: تحلیل شرایط

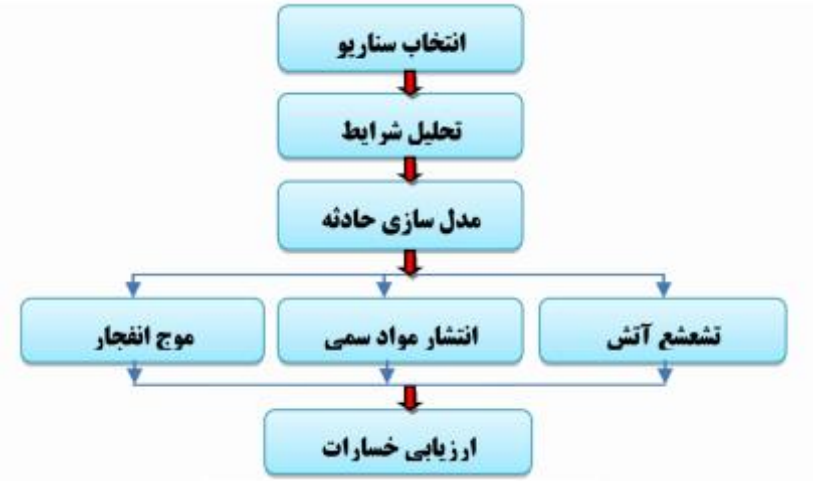
در این مرحله تمام شرایط فیزیکی موثر برحادثه شناسایی شد و برای هر یک از سناریوها بطور جداگانه، عواملی که بر چگونگی شکل گیری و پیشرفت آن موثر بودند مشخص شد.

مرحله سوم: مدلسازی حادثه

در مرحله سوم و پس از در نظر گرفتن تمامی عوامل موثر بر حادثه اقدام به شبیه سازی حادثه با استفاده از نرم افزار ALOHA شد.

مرحله چهارم: ارزیابی خسارت

در این مرحله بر اساس نتایج خروجی از مدل و سنجیدن آنها با معیارهای موجود، شدت آسیب رسانی حادثه مورد بررسی مشخص شد.



شکل-۲. الگوی ۴ مرحله ای ارزیابی پیامد

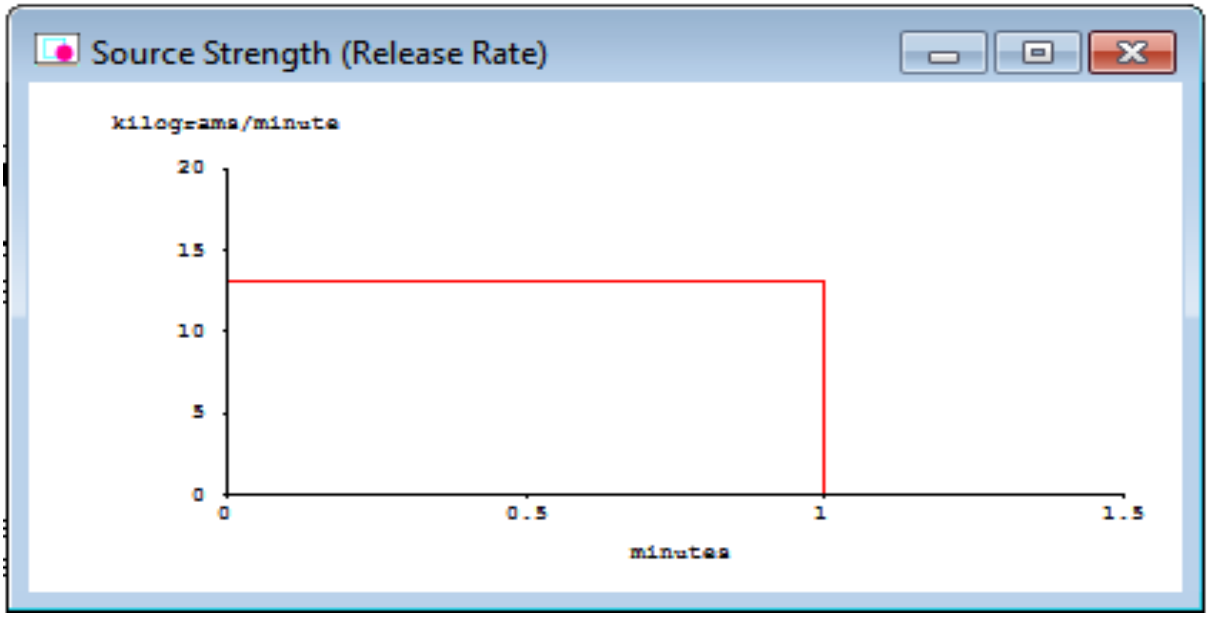
نتایج

سناریوی ۱: گاز مایع از شیر خروجی نشت کرده و در محیط پخش می شود:

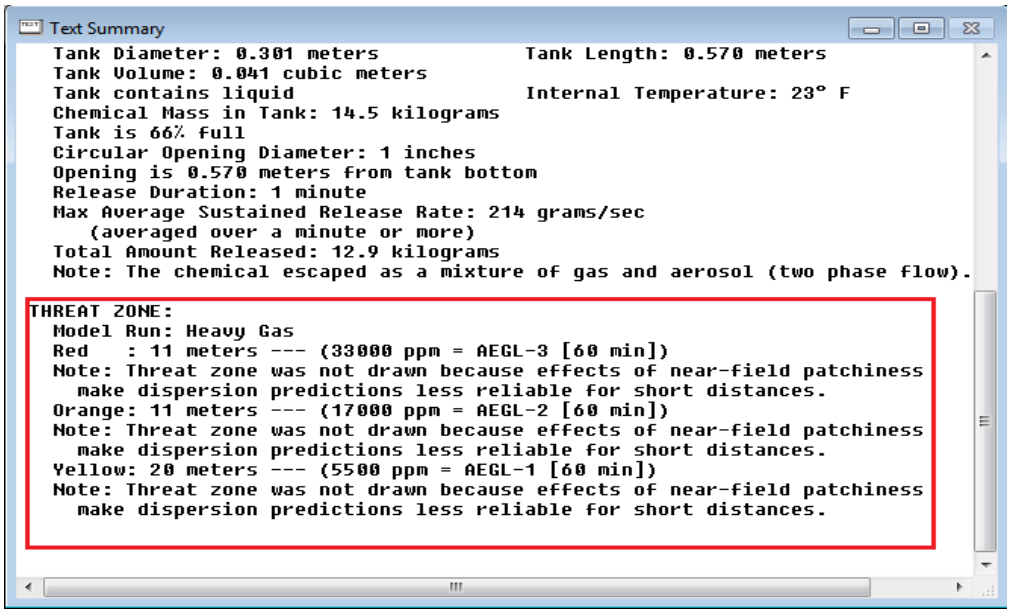
بخش ۱-۱: مدلسازی تشکیل ابر بخار سمی

نتایج مدلسازی نشان داد که در صورت وقوع سناریوی مذکور زمان خروج کل گاز LPG از مخزن ۱ دقیقه می باشد که حداکثر دبی مایع خارج شده ۱۳ کیلوگرم در دقیقه است. نتایج مدلسازی گرافیکی سناریوی ۱ و تشکیل ابر بخار سمی در محدوده مخزن بصورت نمودار در شکل-۳ و شکل-۴ نشان داده شده است.

همانطور که خروجی متنی مدلسازی با استفاده از نرم افزار ALOHA نشان داد مدت زمان خروج کل گاز از کپسول یک دقیقه می باشد که این مطلب در خروجی گرافیکی ۳ نیز نشان داده شده است. شکل-۴ محدوده غلظت ابر بخار گاز LPG تشکیل شده اطراف کپسول را نشان می دهد. بر اساس نتایج این مطالعه تا حدود ۱۱ متر اطراف مخزن (محدوده قرمز) غلظت گاز LPG ۳۳۰۰۰ پی پی ام می باشد که در محدوده AGEL-3 قرار داشته و که خطر مرگ و تهدید زندگی افرادی که در این منطقه قرار دارند وجود دارد. تا حدود ۲۰ متر اطراف کپسول غلظت گاز LPG۵۵۰۰ پی پی ام می باشد که در محدوده AGEL-1 قرار داشته در این غلظت پیش بینی می شود که جمعیت عمومی شامل افراد مستعد، تحریک ، آزردگی و برخی از اثرات غیر حسی و بدون علامت را تجربه کنندو به هر حال اثرات ناتوان کننده نیست و زود گذر و بر گشت پذیر است.



شکل-۳. مدلسازی راندمان خروج گاز LPG از کپسول ۲۶/۲ لیتری خانگی حاوی گاز LPG



شکل-۴. مدلسازی متنی تشکیل ابر بخاری سمی در فواصل مختلف کپسول ۲۶ لیتری خانگی حاوی گاز LPG

مدلسازی محیط قابل اشتعال ابر بخار گاز LPG

نتایج مدلسازی متنی و گرافیکی تشکیل بخار گاز در محدوده مخزن بر اساس غلظت قابل اشتعال در شکل ۵ نشان داده شده است.

نتایج شکل-۵ نشان می دهد که که در صورت نشت کامل گاز از مخزن تا محدوده ۱۱ متری مخزن (محدوده زرد رنگ) غلظ گاز حدود۱۲۶۰۰ پی پی ام می باشد که برابر ۶۰٪ حداقل غلظت قابل اشتعال (LEL) گاز مایع است. تا محدوده ۳۵ متری مخزن (محدوده زرد رنگ) غلظ گاز ۲۱۰۰ پی پی ام می باشد که برابر ۱۰٪ حداقل غلظت قابل اشتعال (LEL) گاز مایع است.

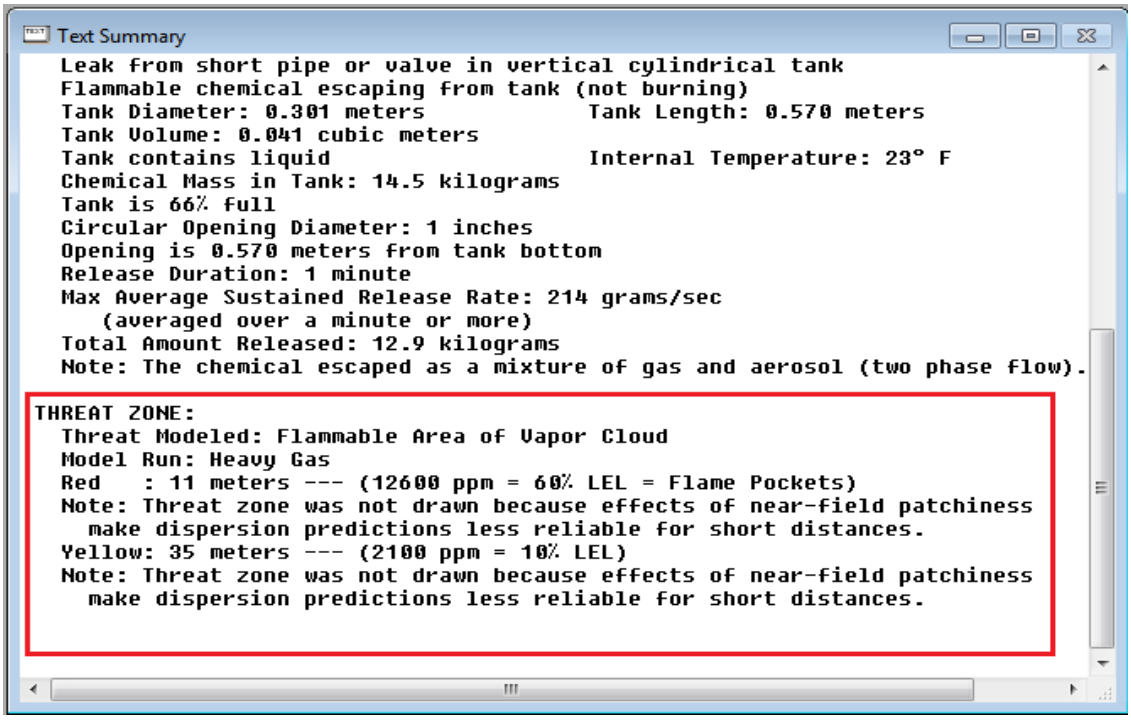
مدلسازی محیط انفجار ابر بخار سمی

نتایج مدلسازی گرافیکی و متنی موج فشار ناشی از انفجار بخار گاز LPG که تحت سناریوی ۱ تشکیل شده است بصورت شکل-۶ نشان داده شده است.

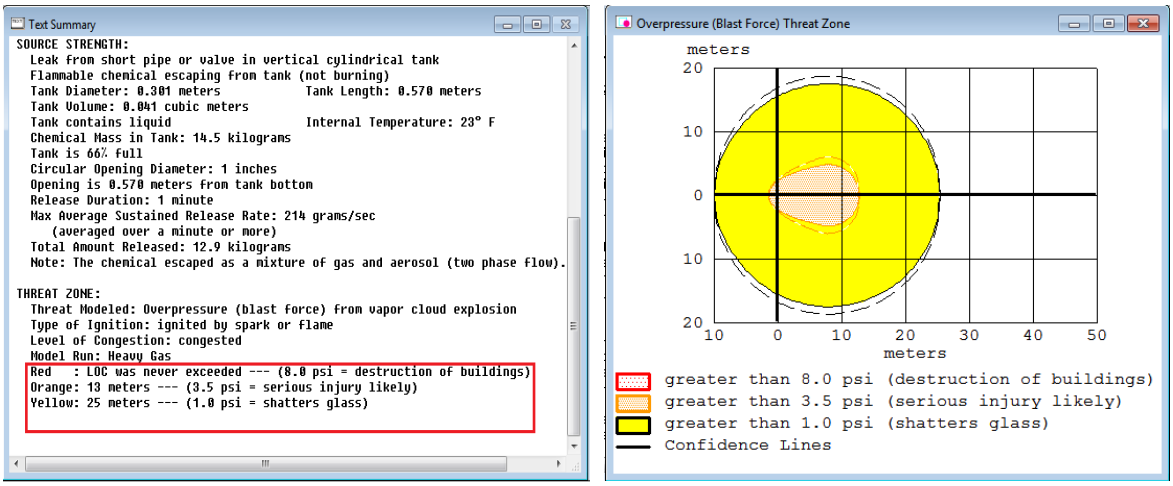
بر اساس شکل-۶ در صورت انفجار ابر بخار تشکیل شده تحت سناریوی ۱ فشار موج انفجار تا فاصله ۱۳ متر از مخزن (محدوده نارنجی رنگ) حدود Psi ۳/۵ که ممکن است باعث صدمات جدی شود. در محدوده زرد رنگ (تا فاصله ۲۵ متری مخزن) فشار ناشی از موج انفجار برابر psi۱ قدرت شکستن شیشه ها را داد.

سناریوی ۲: گاز مایع از شیر خروجی نشت کرده و در محیط بصورت حریق فراوانی (jet fire) می سوزد

نتایج گرافیکی نرم افزار ALOHA جهت مدلسازی این سناریو در شکل-۷ نشان داده شده است. بر اساس نتایج متنی نرم افزار طول جت در حال اشتعال برابر ۸ متر می باشد.



شکل ۵. مدلسازی متنی تشکیل محدوده قابل اشتعال ابر بخار گاز LPG در فواصل مختلف کپسول ۲۶ لیتری



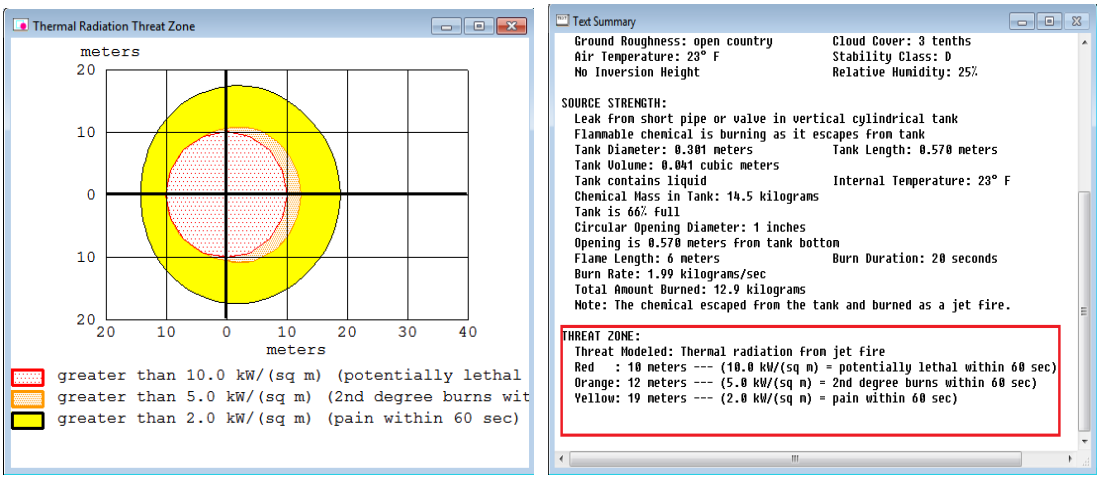
شکل-۶. مدلسازی متنی و گرافیکی فشار ناشی از انفجار ابر بخار گاز LPG در فواصل مختلف کپسول ۲۶ لیتری

نتـایج گرافیکـی و متنـی مدلسـازی نشـت گـاز از مخـزن سـوخت تحـت سـناریوی ۲ حـاکی از ایـن اسـت کـه میـزان تشعشع حرارتی تـا فاصـله ۱۰ متـری از مخـزن (محـدوده قرمـز رنـگ) حـدود KW/sqm ۱۰ اسـت کـه ممکـن اسـت در عرض ۶۰ ثانیه باعـث مـرگ افـراد در محـل شـود و تـا فاصـله ۱۲ متـری منبـع نیـز تشعشـع حرارتـی برابـر KW/sqm ۵ است که ممکن اسـت منجـر بـه سـوختگی درجـه ۲ گـردد. تـا فاصـله ۱۹ متـری منبـع نیـز تشعشـع حرارتـی برابـر KW/sqm ۲ اسـت کـه ممکـن اسـت در طـول ۶۰ ثانیـه منجـر بـه درد موضعی گردد.

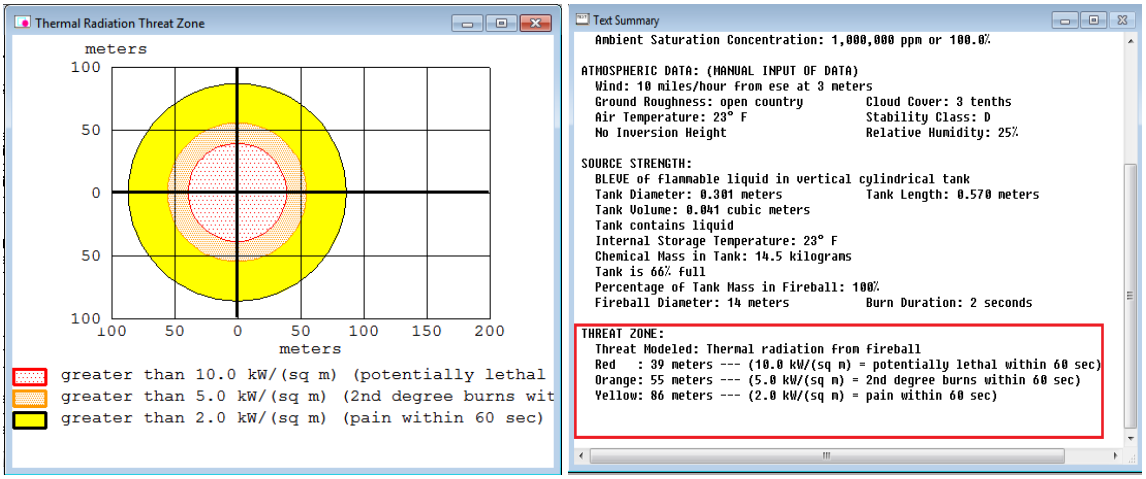
سناریوی ۳: کپسول منفجر شده و گاز مایع بصورت یک توپ آتشین می سوزد. (BLEVE)

نتایج خروج گرافیکی نرم افزار ALOHA نشان داد که در صورت وقوع سناریوی ۳ گلوله آتشین به قطر ۱۴ متر و در عرض ۲ ثانیه رخ خواهد داد.

نتایج گرافیکی و متنی مدلسـازی انفجار بخارات منبسط شده مایع در حال جوش (BELEVE) تحت سـناریوی ۳ نشان داد که میزان تشعشع حرارتی تا فاصله ۳۹ متری از مخزن (محدوده قرمز رنگ) حدود KW/sqm 10 اسـت که ممکن اسـت در عرض ۶۰ ثانیه باعث مرگ افراد در محل شـود. تا فاصـله ۵۵ متری مخزن (محدوده نارنجی رنگ) مزان تشـعشع حرارتی برابر KW/sqm 5 اسـت که ممکن اسـت منجر به سوختگی درجه ۲ گردد. تا فاصله ۸۶ متری منبع نیز تشـعشـع حرارتی برابر KW/sqm 2 است که ممکن است در طول ۶۰ ثانیه منجر به درد موضعی گردد.



شکل-۷. مدلسازی گرافیکی و متنی فشار ناشی از انفجار ابر بخار گاز LPG در فواصل مختلف کپسول ۲۶ لیتری



شکل-۸. مدلسازی انفجار بخارات منبسط شده مایع در حال جوش (BELEVE) تحت سناریوی ۳

بحث

بر اساس نتایج این مطالعه در صورتی که گاز LPG از شیر خروجی کپسول ۲۶ کیلویی با منفذ ۱ اینچ نشت کرده و در محیط پخش شود در مدت ۱ دقیقه کل کپسول تخلیه و گاز در محیط پخش می شود که غلظت گاز تا فاصله ۱۱ متری کپسول برابر ۶۰٪ حداقل غلظت قابل اشتعال (LEL) گاز مایع است و تا محدوده ۳۵ متری مخزن برابر ۱۰٪ حداقل غلظت قابل اشتعال (LEL) گاز مایع است. بخار LPG در غلظت های بین ۲٪ LEL و ۱۰٪LEL ترکیب قابل انفجار ایجاد می کند (۱۵) در نتیجه در صورت نشت کامل گاز LPG تا فاصله ۳۵ متری کپسول در صورت وجود هرگونه منبع جرقه و اشتعال انفجار شدیدی رخ خواهد داد و در صورت وجود هر گونه مواد قابل اشتعال و انفجار از قبیل انبار مهمات در

این فاصله حوادث بسیار فجیعی رخ خواهد داد از این رو رویکرد آمایشی به ساماندهی سازمان دفاعی یک کشور باعث میشود که تجهیزات و ابزارهای خطرناک نیروهای مسلح به گونه ای در فضا استقرار پیدا کند که حداکثر امنیت و حداقل آسیبپ ذیری را فراهم کند. بر همین اساس مکان گزینی مخازن سوخت از جمله کپسول های حاوی گاز مایع نیازمند مطالعات علمی سازمان یافته ای است. از آنجا که فرایند مکانیابی نیازمند مطالعه ای دقیق و همه جانبه است، روش های دستی و سنتی نمی توانند پاسخگوی این نیاز باشند، از اینرو تصمیم گیری بر مبنای آنالیزهای چند معیاری و یا با استفاده از نرم افزار های معتبر بین المللی جهت فایق آمدن بر مشکلاتی که نیاز به تصمیمگیری در برابر حجم زیادی از اطلاعات پیچیده وجود دارد، مورد استفاده قرار میگیرد.

نگاهی به حوادث اتفاق افتاده در نقاط مختلف دنیا نشان می دهد که کوچکترین قصوری در طراحی، ساخت، نصب، استفاده و نگهداری لز مخازن LPG منجر به وقوع حوادث و فاجعه ای بزرگ شده است (۱۸). بر اساس نتایج این مطالعه تا حدود ۱۱ متر اطراف مخزن غلظت گاز LPG ۳۳۰۰۰ پی پی ام می باشد. که در این غلظت می تواند سبب سوختگی های شدید پوست گردد (۱۷). بر اساس نتایج این مطالعه در صورت انفجار ابر بخار تشکیل شده در اثر نشت گاز LPG، فشار موج انفجار تا فاصله ۱۳ متر از مخزن حدود Psi ۳/۵ که ممکن است باعث صدمات جدی شود و تا فاصله ۲۵ متری مخزن فشار ناشی از موج انفجار برابر ۱ psi می باشد که قدرت شکستن شیشه ها را داد. در انفجار ابر گازی به دلیل همراه شدن پدیده انتشار شعله و میدان جر یان آشفته، که بر اثر وجود موانعی در مسیر انتشار شعله ایجاد شود، چین و چروک هایی با ابعاد مختلف در جبهه شعله ایجاد می شود. به دلیل بر هم کنش شعله– گردابه، نرخ گسترش شعله و افزایش فشار تهدید می شود (۱۹) لازم به ذکر است موج انفجار ناشی از نشت گاز LPG در کپسول مورد بررسی در هیچ فاصله ای بیش از ۸ PSI (که میزان فشار لازم برای تخریب ساختمان ها می باشد) نمی باشد. با توجه به اینکه ظرفیت واثعی مخازن گاز LPG با طول و قطر بیان شده بیش از ۱۴/۵ کیلو گرم می باشد و با این مقدار گاز LPG فقط ۶۵٪ حجم مخزن پر می شود در صورتی که در شرایط واثعی کپسول بیش از مقدار بیان شده (۱۴/۵ کیلوگرم) پر شود نتایج مدلسازی با نتایج مطالعه حاضر متفاوت خواهد بود.

در صورت وقوع حریق فورانی تحت سناریوی ۲ حریقی به طول ۸ متر ایجاد می شود که میزان تشعشع حرارتی آن تا فاصله ۱۰ متری از کپسول گاز حدود ۱۰ کیلووات بر متر مربع است که ممکن است باعث مرگ افراد و تا فاصله ۱۲ متری مخزن حدود ۵ کیلووات بر متر مربع است که منجر به سوختگی درجه ۲ می گردد.

در صورت وقوع BELEVE تحت سناریوی ۳ گلوله آتشین به قطر ۱۴ متر و در عرض ۲ ثانیه رخ خواهد داد که میزان تشعشع حرارتی تا فاصله ۳۹ متری از کپسول حدود ۱۰ کیلووات بر متر مربع است.

آگاهی مناسب نسبت به اقدامات ایمنی و بهداشتی در شرایط بحرانی یک امر مهم تلقی می گردد. به علت اینکه برخی از بسیاری از افرادی که در پادگان ها و اماکن نظامی حظور دارند سربازانی هستند که دوران خدمت خود را طی می کنند و آگاهی خوبی در این زمینه ندارند بنابراین پیشنهاد میشود برای آنها دوره های آموزشی کافی در این زمینه تدوین گردد.

در حال حاضر برخی از مراکز نظامی از قبیل پادگان ها که در زمان احداث در خارج از محدوده شهری قرار داشته اند طی چند دهه گذشته با توسعه افقی شهرها در حریم شهرها واقع شده اند که این امر به خودی خود تهدیدی جدی در ایفای صحیح مأموریت های محوله محسوب خواهد شد، لذا ضرورت انتقال سریع تر آنها با توجه به اصول آمایش سرزمین به مناطق دیگر احساس می شود. در انتخاب مکان مناسب جهت انتقال یا ساخت این گونه مراکز، ملاحظات پدافند غیرعامل امری بسیار ضروری و حیاتی است از این رو مکان یابی بهینه به عنوان یکی از الزامات پدافند غیرعامل در جهت انتخاب نقطه ای با ضریب امنیت مکانی بالا به منظور حفظ تاسیسات و بالا بردن توان عملیاتی و تاکتیکی (قدرت مانور) در زمان و مکان، عمل می نماید.

استقرار کپسول های گاز بر اساس نتایج مدلسازی این مطالعه در پادگان ها علاوه بر اینکه میتواند مشکلات یاد شده را حل نماید، عامل مهمی در کاهش خسارت به هنگام بروز برخی وقایع احتمالی از جمله جنگ و بحران باشد.

از نقاط قوت این مطالعه، میتوان به جدید بودن آن و استفاده از روش نرم افزاری ساده و معتبر در مراحل مختلف تحلیل مخاطرات و از محدودیتهای آن میتوان عدم قابلیت استفاده از داده های این مطالعه در تمام فصول سال اشاره کرد با توجه به اینکه این مطالعه در فصل بهار انجام شد فواصل خطر در فصل زمستان و تابستان ممکن است متغیر باشد. نتایج مطالعه مرتضوی و همکارن در بررسی انتشار گاز کلر از مخازن ذخیره به منظور تدوین برنامه واکنش در شرایط اضطراری در یک صنعت پتروشیمی این مطلب را تایید می کند (۲۰). علت افزایش فواصل خطر در فصل تابستان نسبت به زمستان این است که در فصل تابستان لایه های سطحی جو که در مجاورت سطح زمین قرار دارند تقریباً دمایی برابر با لایه های فوقانی جو داشته و بنابراین جوی پایدارتر نسبت به زمستان حاکم است (۲۱). از جمله محدودیت های دیگر این مطالعه است که مانند هر نرم افزاری، نرم افزار ALOHA نمی تواند دقیق تر از اطلاعاتی باشد که کاربر در هنگام کار به آن می دهد. اما وقتی که دقیق ترین داده ها و اطلاعات ممکن به آن داده شود ALOHA می تواند بهترین نتایج را ارائه دهد. علاوه بر این، این نرم افزار قابلیت مدلسازی برخی از انتشارهای خاص را ندشته و یا در برخی موارد مثل: انتشار در سرعت های خیلی پایین، انتشار در جو خیلی

پایدار، تغییر در سرعت و جهت وزش باد، ناپایداری و تغییرات پیاپی غلظت دارای دقت خیلی بالایی نمی باشد همچنین این نرم افزار ترکش های حاصل از انفجار و آثار مربوطه را در نظر نمی گیرد. در این مطالعه سه سناریوی مهم برسی شد لازم است سایر سناریوها شناسایی و سطح اضطرار برای هر یک مشخص شود. در مرحله مدلسازی، هر چه قدر اطلاعات مورد نیاز دقیق تر باشد نتایج حاصل از مدلسازی، نیز قابل اعتمادتر می باشد. یکی از اطلاعات مهم و مورد نیاز برای مدلسازی، اطلاعات هواشناسی است. با ایجاد ایستگاههای هواشناسی در محل واحد می توان شرایط جوی دقیق تری را برای مدلسازی در نظر گرفت و دقت مدلسازی و محاسبه های مربوطه را تا حد زیادی افزایش داد.

نتیجه‌گیری

آنچه مسلّم است، ملاحظات دفاع غیرعامل در برنامه ریزی و شهرسازی تأثیر بسزایی در مدیریت ریسک کاهش آسیب پذیری شهر و عناصر شهری به همراه دارد و باعث افزایش مقاومت شهروندان در شرایط حاد و جلوگیری از دست یافتن دشمن به اهداف خود که همانا واردکردن فشار سیاسی و در نهایت تصرف شهرها است، باز میدارد. نتایج این مطالعه نشان می دهد که وجود برنامه شرایط اضطراری نه به صورت کلی بلکه به شکلی که با صرف بهینه وقت و هزینه، بالاترین اثربخشی لازم را داشته باشد امری الزامی است.

بر اساس نتایج مطالعه حاظر در هنگام بروز هر یک از سناریوهای مورد بررسی، تا فواصل مشخص شده در نمودارها و جداول خطر وقوع حوادث و شرایط تهدید کننده زندگی انسان وجود دارد که لازم است مدیران مربوطه در برنامه ریزی هایشان این مسئله را مدنظر داشته باشند. بطور کلی لازم است در جانمایی تجهیزاتی از جمله کپسول های گاز که در اثر بروز حوادث ممکن است نتایج فاجعه باری به دنبال داشته باشند شعاع گسترش حریق، محدوده پخش گاز و همچنین میزان موج انفجار در فواصل مختلف در نظر گرفته شود و جانمایی تجهیزات در شرایط و مکانی صورت گیرد که در صورت بروز حادثه اثرات و هزینه های حادثه تا حد ممکن کاهش یابد.

تشکر و قدردانی: این مطالعه به عنوان طرح پژوهشی در معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی گناباد به ثبت رسیده است که نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی گناباد ابراز می دارد.

تضاد منافع: بدینوسیله نویسندگان تصریح می نمایند که هیچ گونه تضاد منافعی در خصوص پژوهش حاضر وجود ندارد.

منابع

1. Modiri M, Ahadinejad Roshti M, Hosseini A. "Risk management in Human made crises with passive defense approach (Case study: Tehran)." Research and Urban Planning (2017): 163-182.
2. Hashemian SM, Farzanegan B, Fathi M, Ardehali SH. Stress among Iranian nurses in critical wards. Iranian Red Crescent Medical Journal. 2015;17(6).
3. Mahdavi Adeli M, Azadi M. Prioritizing components of water supply systems according to conditions of passive defense approach to achieve sustainable development. Scientific Journal of Review. 2014;3(7):609-18.
4. Badri N, Rashtchian D. Quantitative Risk Assessment to Site CNG Refueling Stations. [Thesis, M.Sc]. Tehran: Sharif University of Technology, 2008.
5. National Fire Prevention Association. Standard for the storage and handling of liquefied petroleum gases. Quincy, MA, USA: NFPA; 1999, PP. 3-2014
6. American Institute of Chemical Engineers. Guidelines for storage and handling of high toxic hazard materials center for chemical process safety. New York: AIChE; 1998
7. Khan F, Abbasi S. Modelling and control of the dispersion of hazardous heavy gases. Journal of loss prevention in the process industries, 1999. 12(3): 235-244.
8. American Institute of Chemical Engineers. Guidelines for storage and handling of high toxic hazard materials center for chemical process safety. New York: AIChE; 1998
9. Zarei E, Dormohammadi A. Semi-quantitative and quantitative risk assessment in the process industries Focusing on methods on QRA, LOPA, DOW Index. Tehran: Fanavaran Co 2012. [Persian].
10. CCPS. Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires, and BLEVEs, AIChE, New York, ISBN 0-8169-0474-X, 387. pp., 1994
11. Jafari M, Zarei E, Badri N. The quantitative risk assessment of a hydrogen generation unit. International Journal of Hydrogen Energy. International Journal of Hydrogen Energy 2012; 37(24):19241-9.
12. Evans M. Modeling hydrochloric acid evaporation in ALOHA. 1993: US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, Office of Ocean Resources Conservation and Assessment, Hazardous Materials Response and Assessment Division.
13. Manual A.U. Available for download at: http://www. epa. gov/ceppo/cameo/pubs/aloha. pdf. Additional information: http://response. restoration. noaa. gov/cameo/aloha. html, 1999.
14. EPA N. Area Locations of Hazardous Atmospheres (ALOHA). User's Manual, US Environmental Protection Agency (USEPA) and the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Washington, DC, 1999.
15. Center for Chemical Process Safety (CCPS), Guidelines for chemical process quantitative risk

analysis: American Institute of Chemical Engineers; New York, 2000.
16. Det Norske Veritas. ARF-activity responsible function. DNV Proprietary Documentation; 1998
17. American Institute of Chemical Engineers. Guidelines for storage and handling of high toxic hazard materials center for chemical process safety. New York: AIChE; 1998
18. National Fire Prevention Association. Standard for the storage and handling of liquefied petroleum gases.Quincy, MA, USA: NFPA; 1999, PP. 3-2014
19. Timaji M, Mazaheri K. Large scale flame acceleration modeling by a new combined combustion model. 2012.
20. Mortazavi S.B, Parsarad M, Asilian Mahabadi H, Khavanin A. Evaluation of chlorine dispersion from storage unit in a petrochemical complex to providing an emergency response program Iran Occupational Health. 2011:8(3)
21. Horng J, Lin Y, Chi M. Using consequence analysis on some chlorine operation hazards and their possible effects on neighborhoods in central Taiwan. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2005;18:474-480.