Archive of SID

Journal of Safety Promotion and Injury Prevention,
Vol.5, No.2, Summer 2017

Research Article

Fatal Hazards in Road Transportation Crashes of Chemical carrier Tankers

Ghorbani R[1], Atabi F[*1], Jabbari M[2]

Abstract

Background & Objective: Release of chemicals material due to road transportation crashes is associated with adverse consequences, including death, injuries, loss of property, and environmental damage. The present study aimed to investigate the fatal hazards caused by the road transportation crashes of chemical material tankers.

Materials and Methods: In an applied study, chemical tankers in Iran's road transportation fleet were evaluated, and the most frequently transported chemicals including ammonia, chlorine, 1,3-butadiene, benzene, and toluene, were selected for modeling the release of toxic substances. To cover the other possible scenarios, the full rupture of the investigated tankers was determined as the selected scenario, and lethal concentrations of the toxic substances (LC1, LC10, LC50, and LC90) were calculated using the Probit model. Finally, modeling of the toxic substance release was performed in order to verify the associated fatal hazards using the ALOHA and PHAST software.

Results: Based on the lethal concentrations of LC1, LC10, LC50, and LC90 using the ALOHA software, fatal hazard distances of ammonia were determined to be 980, 866, 741, and 629 meters, respectively. In addition, using the PHAST software, fatal hazard distances of chlorine were calculated to be 620, 318, 204, and 157 meters, respectively. Therefore, these chemicals were confirmed as the most dangerous toxic substances in road transportation.

Conclusion: Due to the impossibility of emergency response planning based on the results of the mentioned software at all concentrations, it is recommended that in order to prevent the occurrence of probable hazards, the highest fatal hazard distance based on the LC1 be considered in the emergency response planning regardless of the type of the material and software. Furthermore, it is suggested that in the event of an crash, individuals passing through the area within a distance of 980 meters be provided with air suppliers and breathing equipment.

Keywords: Toxic Gas Releases, Road Transportation, Lethal Concentration, Hazardous Material

How to cite this article:
Ghorbani R, Atabi F, Jabbari M. **Fatal Hazards in Road Transportation Crashes of Chemical Material Career Tankers**. J Saf Promot Inj Prev. 2017; 5(2):63 -72 .

1 . Department of Environmental Engineering, School of Energy and Environment. Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Department of Industrial Safety, School of Health, Safety and Environment, Shahid Beheshti University of Medical Science, Tehran, Iran.
***Corresponding author:** far-atabi@jamejam.net

www.SID.ir

Archive of SID

مقاله پژوهشی

مجله ارتقای ایمنی و پیشگیری از مصدومیت ها
دوره۵. شماره ۲. تابستان ۱۳۹۶، صفحات۶۳ تا ۷۲

خطر مرگ در حوادث جادهای تانکرهای حامل مواد شیمیایی

رقیه قربانی[۱]، فریده عتابی[۱*]، موسی جباری[۲]

۱. گروه مهندسی محیطزیست، دانشکده محیطزیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
۲. گروه ایمنی صنعتی، دانشکده سلامت، ایمنی و محیطزیست، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

چکیده

سابقه و هدف: انتشار مواد شیمیایی در اثر بروز حوادث حملونقل جادهای، میتواند عواقب ناگواری همچون مرگ، آسیبهای جانی و مالی و خسارات زیستمحیطی به همراه داشته باشد. این مطالعه باهدف بررسی خطر مرگ در حوادث جادهای تانکرهای حامل مواد شیمیایی انجام پذیرفت.

روش بررسی: در یک مطالعه کاربردی، مخازن مواد شیمیایی موجود در ناوگان حملونقل جادهای کشور موردبررسی قرارگرفته و متداولترین آنها شامل آمونیاک، کلر، ۱-۳، بوتادین، بنزن و تولوئن جهت مدلسازی انتشار مواد سمی انتخاب شدند. سپس شکافت کامل مخازن موردبررسی به علت پوشش سایر سناریوهای احتمالی، بهعنوان سناریوی انتخابی تعیین و غلظتهای کشنده مواد سمی موردمطالعه با استفاده از معادلات پرابیت محاسبه گردید. درنهایت مدلسازی انتشار مواد سمی بهمنظور تعیین خطر مرگ در حوادث جادهای تانکرهای حامل مواد شیمیایی، با استفاده از نرمافزارهای ALOHA و PHAST انجام گردید.

یافتهها: نتایج تحقیق نشان داد که بر اساس غلظتهای کشنده $LC_{۱}$، $LC_{۱۰}$، $LC_{۵۰}$ و $LC_{۹۰}$ با استفاده از نرمافزار ALOHA، آمونیاک به ترتیب با فواصل خطر مرگ ۹۸۰، ۸۶۶، ۷۴۱، ۶۲۹ متر؛ و با استفاده از نرمافزار PHAST، کلر به ترتیب با فواصل خطر مرگ ۶۲۰، ۳۱۸، ۲۰۴ و ۱۵۷ متر خطرناکترین مواد شیمیایی سمی قابلحمل جادهای محسوب میشوند.

نتیجهگیری: ازآنجاکه برنامهریزی مقابله با شرایط اضطراری بر اساس نتایج دو نرمافزار و در کلیه غلظتها امکانپذیر نمیباشد، لذا پیشنهاد میشود بهمنظور جلوگیری از بروز خطرات احتمالی، بالاترین فاصله خطر مرگ بر اساس $LC_{۱}$ بدون توجه به نوع ماده و نوع نرمافزار مورداستفاده، در برنامهریزیهای مربوطه مدنظر قرار گیرد و در صورت بروز حادثه، افراد تا فاصله ۹۸۰ متری از محل با تجهیزات تنفسی تأمینکننده اکسیژن تردد داشته باشند. افزون بر این، برنامهریزی مقابله با شرایط اضطراری برای افراد حاضر درصحنه حادثه که سعی در فرار از خطر مرگ دارند، بر اساس غلظتهای۳-ERPG۱ (که سعی در تعیین حریم ایمنی دارند)، منطقی به نظر نمیرسد.

کلیدواژه: انتشار گاز سمی، حملونقل جادهای، غلظت کشنده، مواد خطرناک

مقدمه

حوادث جادهای تانکرهای حامل مواد شیمیایی یکی از حوادث مهمی است که همهروزه در سراسر دنیا به وقوع پیوسته و باعث بروز تلفات و خسارات جانی و مالی گستردهای میشود. تانکرهای حامل مواد شیمیایی بخش عمدهای از جابجایی کالاهای خطرناک را در حملونقل جادهای به خود اختصاص میدهند. کالایهای خطرناک در حملونقل جادهای، به موادی اطلاق میشوند که با توجه به ماهیت خاصشان هنگام نگهداری، جابجایی و تخلیه نیازمند تدابیر ویژه هستند، زیرابه دلیل خطرات احتمالی ممکن است موجب ایجاد پیامدهای ناگواری همچون حریق، انفجار، نشتی، مسمومیت، جراحات و سوختگی، بیماری و حتی مرگ انسان و حیوان شده و یا آسیب جدی به محیطزیست وارد نمایند و باعث بروز مشکلات مختلف اقتصادی و اجتماعی شوند. بررسی مطالعات انجامشده نشان میدهد که مطالعات متعددی در خصوص حوادث حملونقل مواد

آدرس مسئول مکاتبات: far-atabi@jamejam.net

www.SID.ir

Archive of SID

شیمیایی صورت گرفته است. اغلب مطالعات در حوزه‌های حریق و انفجار یا اثرات زیست‌محیطی مواد شیمیایی ارائه‌شده است. به‌عنوان نمونه، اینانلو و تنسل در مطالعه‌ای به بررسی اثرات انفجار در حین حمل بارهای خطرناک پرداخته‌اند. هدف آن‌ها در این تحقیق، بررسی انتشار تصادفی آمونیاک و به دنبال آن یافتن روشی جهت پیش‌بینی پیامدهای بعدی حوادث حمل‌ونقل مواد خطرناک بود. در این مطالعه، برای تعیین مناطق قابل اشتعال و تحت تأثیر فشار بیش‌ازحد، برای سناریوهای مختلف، از نرم‌افزار ALOHA[1] همراه با GIS[2] استفاده شد. محققین پیشنهاد کردند که این مطالعه می‌تواند به‌عنوان راهنمایی، برای تصمیم‌گیرندگان در حوزه حمل‌ونقل مواد خطرناک برای تغییر مسیر احتمالی، تغییر زمان و یا محدود کردن مقدار محموله خطرناک برای کاهش تأثیرات احتمالی پس از حادثه حمل مواد خطرناک در طول حمل‌ونقل استفاده شود (۱). ساکاموتو و همکاران در پژوهش خود به بررسی اثر حریق استخری بنزین روی مخزن ذخیره‌سازی هیدروژن مایع در ایستگاه سوخت‌گیری هیدروژن بنزین هیبریدی پرداختند. آن‌ها در این تحقیق به این نتیجه رسیدند که میزان انتشار ماده خروجی مخزن و فاصله ایمن مخازن ذخیره‌سازی مایع هیدروژن و پخش‌کننده بنزین باید به ترتیب کمتر از ۰/۲ و بیشتر از ۸/۵ متر باشد تا از مخزن ذخیره‌سازی محافظت شود. برای کاهش فاصله ایمنی لازم است اقداماتی مانند نصب سپرهای حرارتی اضافی از قبیل سیستم‌های رنگ‌آمیزی محافظ، سیستم‌های اسپرینکلر آبی و شیب افزاینده برای هدایت بنزین به یک محفظه امن از مخزن ذخیره‌سازی صورت گیرد (۲). بونویسینی و همکاران به ارزیابی کمی ریسک زیست‌محیطی به دلیل نشت تصادفی از خطوط لوله درون ساحلی پرداختند و عنوان کردند که با توجه به اینکه خط لوله به‌عنوان امن‌ترین حالت حمل‌ونقل زمینی مواد خطرناک محسوب می‌شود ولی سوابق حوادث به وقوع پیوسته، عواقب شدید خطرات احتمالی را تائید می‌کند (۳).

بررسی خطر مرگ در اثر انتشار مواد سمی نیز در برخی از مقالات موردبررسی قرارگرفته است که در این خصوص می‌توان به مطالعه بروزوزوسکا اشاره نمود. بروزوزوسکا در پژوهشی، اثرات تصادف تانکرهای کلر را با استفاده از کامپیوتر شبیه‌سازی نموده و یک برنامه مدل‌سازی انتشار آلودگی در محیط شهری ارائه نموده است. بروزوزوسکا در تحقیق خود نشان داد که در صورت بروز حادثه و نشت ۱۰ تن کلر، منطقه‌ای با مساحت بیش از ۲ کیلومترمربع، تحت تأثیر ابرآلودگی با غلظت‌های بالاتر از سطوح آستانه قرارگرفته و حدود ۵۰۰۰ نفر در معرض مرگ‌ومیر قرار می‌گیرند (۴). هانا و همکاران در مطالعه‌ای، به بررسی حوادث تانکرهای ریلی حاوی گاز کلر با استفاده از نرم‌افزارهای مختلف پرداختند. آن‌ها در این تحقیق ضمن بررسی فواصل خطر ارائه‌شده با استفاده از این نرم‌افزارها، به این نتیجه رسیدند که احتمالاً مقادیر مشاهده‌شده در خصوص فواصل خطر، کمتر از مقادیر محاسبه‌شده در این تحقیق باشد. در ضمن بررسی نتایج ارائه‌شده در تحقیق هانا نشان می‌دهد که فواصل خطر ارائه‌شده در این تحقیق برای گاز کلر با استفاده از نرم‌افزارهای مختلف، اختلاف زیادی با یکدیگر دارند (۵). بررسی اپیدمیولوژیکی حوادث نیز از مطالعات دیگری است که در برخی از مقالات به آن‌ها پرداخته‌شده است. به‌عنوان نمونه، مرادی و همکاران در مطالعه خود، یکی از دلایل عمده مرگ در ایران را سوانح ترافیکی ذکر کرده و عوامل انسانی را به‌عنوان بیشترین عامل در وقوع حوادث و مرگ بیان نموده‌اند (۶). منصف و همکاران به بررسی اپیدمیولوژی مرگ‌ومیر ناشی از تصادفات رانندگی در استان گیلان در سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۹۰ پرداختند. بررسی‌های این تحقیق نشان داد بیشترین تصادفات در جاده‌های برون‌شهری با ۱۱۴۷ مورد (۷۰/۸ درصد) اتفاق افتاده بود (۷). احدی و همکاران در بررسی اپیدمیولوژیک تلفات ناشی از تصادفات جاده‌ای، به شناسایی اطلاعات متوفیان ناشی از تصادفات جاده‌ای پرداختند. طی بررسی‌ها و آنالیزهای به‌عمل‌آمده در این تحقیق مشخص شد که ۶۱/۶۱ درصد تلفات ناشی از تصادفات در جاده‌های برون‌شهری اتفاق افتاده است. بیش از ۶۶ درصد رانندگان در تصادفات مناطق برون‌شهری جان خود را ازدست‌داده‌اند. جمع‌آوری و دسته‌بندی آمار مرگ‌ومیر جاده‌ای در دسته‌های مختلف یافته اصلی تحقیق مذکور بود (۸). بررسی‌های انجام‌شده نشان میدهد که مطالعات بسیاری در خصوص حوادث حمل‌ونقل جاده‌ای انجام‌شده است ولی اغلب آن‌ها بر روی یک ماده شیمیایی انجام گردیده و اکثراً مربوط به صنایع فرایندی و خطوط لوله می‌باشند، درحالی‌که تحقیق حاضر بر روی خطر مرگ در اثر حوادث تانکرهای حمل‌ونقل ۵ ماده شیمیایی انجام گردیده است. از طرف دیگر، در اکثر تحقیقات مذکور، تعیین حریم ایمن موردبررسی قرارگرفته است. ازآنجاکه حریم ایمن تعیین‌شده دارای فواصل بسیار زیادی می‌باشد، لذا معمولاً امکان برنامه‌ریزی مقابله با شرایط اضطراری بر اساس آن‌ها تقریباً غیرممکن است. علی‌هذا، در تحقیق حاضر که یک تحقیق کاربردی می‌باشد، در نظر است خطر مرگ بر اساس غلظت‌های کشنده که عملاً برای برنامه‌ریزی مقابله با شرایط اضطراری منطقی‌تر می‌باشند موردبررسی قرار گیرند. ازآنجاکه با کمک مدل‌سازی توسط نرم‌افزارهای معتبر، می‌توان محدوده متأثر از نشت مواد سمی و خطرناک را مشخص نمود، لذا در این تحقیق، مدل‌سازی پیامد با استفاده از نرم افزارهای ALOHA و PHAST[3] به‌منظور تعیین حریم خطر مرگ انجام شد.

۱ . Area Location Of Hazardous Atmospheres
۲ . Geographic Information System
۳ . Process Hazard Analysis Software Tool

www.SID.ir

Archive of SID

مواد و روش‌ها

این مطالعه، یک مطالعه کاربردی است که در ناوگان حمل‌ونقل جاده‌ای مواد شیمیایی انجام پذیرفت. برای انجام این تحقیق، مخازن حمل‌ونقل جاده‌ای مواد شیمیایی خطرناک شامل آمونیاک، کلر، ۳،۱- بوتادین، بنزن و تولوئن انتخاب‌شده و در قالب یک سناریو، موردبررسی قرار گرفتند و غلظت‌های کشنده (LC)[۴] مواد شیمیایی موردمطالعه با کمک رابطه پرابیت، محاسبه شد. سپس، مدل‌سازی پیامد با استفاده از نرم‌افزارهای ALOHA و PHAST انجام گردید و درنهایت حریم خطر مرگ تعیین شد. ازآنجاکه در تحقیق حاضر، خطر مرگ ناشی از سمیت مواد، در حوادث حمل‌ونقل جاده‌ای مطرح می‌باشد نه حریق و یا انفجار آن‌ها، لذا از میان مواد شیمیایی مختلف در حمل‌ونقل جاده‌ای، آن دسته از مواد که دارای درجه سمیت بالاتری هستند در نظر گرفته شدند و غلظت‌های کشنده برای آن‌ها تعیین گردید.

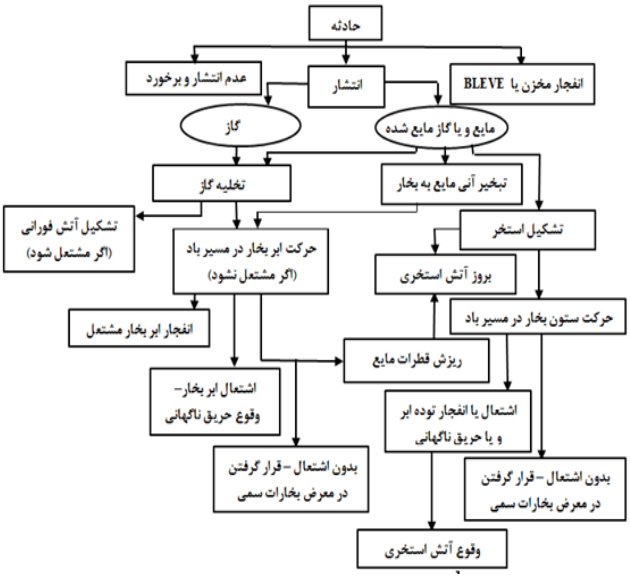
۱- سناریوهای موردبررسی در حوادث حمل‌ونقل جاده‌ای

سناریوهای مختلفی در حوادث حمل‌ونقل جاده‌ای مواد خطرناک مطرح می‌باشند که ازجمله آن‌ها می‌توان به موارد ذکرشده در شکل ۱ اشاره نمود (۹). از میان سناریوهای موجود، با توجه به موضوع تحقیق، وضعیت "بدون اشتعال- قرار گرفتن در معرض بخارات سمی" به‌منظور تعیین حریم کشنده جهت بررسی خطر مرگ در حوادث جاده‌ای تانکرهای حامل مواد شیمیایی در نظر گرفته شد.

۲- غلظت‌های کشنده(LC)

یکی از خطراتی که انتشار مواد شیمیایی در محیط می‌تواند ایجاد کند، خطر ناشی از سمی بودن آن‌ها است که اغلب پیامدهای آن، ناشی از مواجهه بیش‌ازاندازه افراد با آن‌ها می‌باشد. در بررسی پیامدهای ناشی از سمیت مواد، غلظت ماده سمی و مدت‌زمان مواجهه با آن‌ها دو عامل تأثیرگذار در این خصوص می‌باشند.

غلظت‌های کشنده که معمولاً به‌صورت درصد بیان می‌گردند، غلظت‌هایی از مواد سمی هستند که باعث کشته شدن درصدی از افراد در معرض خطر می‌شوند. در تحقیق حاضر غلظت‌های کشنده مواد شیمیایی موردمطالعه محاسبه شد تا مشخص گردد در چه فاصله‌ای از محل بروز حادثه، احتمال مرگ وجود دارد تا بدین‌وسیله فاصله خطر مرگ‌ومیر ناشی از گازهای سمی تعیین گردیده و برنامه‌ریزی مقابله با شرایط اضطراری با توجه به غلظت‌های کشنده منطقی‌تر و کاربردی‌تر باشد.



شکل ۱. انواع سناریوها و پیامدهای ناشی از حوادث

مقادیر غلظت‌های کشنده برای بعضی از مواد شیمیایی با استفاده از معادلات پرابیت قابل‌دستیابی است. روش پرابیت متداول‌ترین روش برای تعیین احتمال یا درصد مرگ‌ومیر ناشی از مواجهه با مواد سمی می‌باشد. رابطه تبدیل پرابیت به درصد مرگ‌ومیر در جدول ۱ ارائه‌شده است.

مقدار پرابیت عددی بین صفرتا هشت است و هرچقدر این عدد بزرگ‌تر باشد نشانگر احتمال مرگ‌ومیر بیشتر می‌باشد.

پس از تعیین مقدار پرابیت با استفاده از جدول ۱، غلظت کشنده بر اساس رابطه پرابیت به‌صورت زیر محاسبه می‌شود (۹):

$$Y = K_1 + K_2 \cdot \ln (C^n \cdot t) \qquad (۱)$$

که در آن Y مقدار پرابیت، C غلظت ماده سمی (پی‌پی‌ام)، t مدت‌زمان مواجهه با ماده سمی (دقیقه) و K_1، K_2 و n مقادیر ثابتی بوده و تابع نوع ماده می‌باشند (جدول ۲) (۹).

در تحقیق حاضر غلظت‌های کشنده برای چهار حالت شامل، غلظت کشنده ۱ درصد (LC_1)، غلظت کشنده ۱۰ درصد (LC_{10})، غلظت کشنده ۵۰ درصد (LC_{50}) و غلظت کشنده ۹۰ درصد (LC_{90}) تعیین شد و درنهایت مدل‌سازی انتشار گازهای سمی در غلظت‌های مربوطه با استفاده از نرم‌افزارهای ALOHA و PHAST جهت تعیین حریم کشنده و بررسی خطر مرگ در حوادث جاده‌ای تانکرهای حامل مواد شیمیایی انجام گردید.

۴. Lethal Concentration

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. رابطه تبدیل پرابیت به درصد مرگ‌ومیر

٪	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
۰	-	۲/۶۷	۲/۹۵	۳/۱۲	۳/۲۵	۳/۳۶	۳/۴۵	۳/۵۲	۳/۵۹	۳/۶۶
۱۰	۳/۷۲	۳/۷۷	۳/۸۲	۳/۸۷	۳/۹۲	۳/۹۶	۴/۰۱	۴/۰۵	۴/۰۸	۴/۱۲
۲۰	۴/۱۶	۴/۱۹	۴/۲۳	۴/۲۶	۴/۲۹	۴/۳۳	۴/۳۶	۴/۳۹	۴/۴۲	۴/۴۵
۳۰	۴/۴۸	۴/۵۰	۴/۵۳	۴/۵۶	۴/۵۹	۴/۶۱	۴/۶۴	۴/۶۷	۴/۶۹	۴/۷۲
۴۰	۴/۷۵	۴/۷۷	۴/۸۰	۴/۸۲	۴/۸۵	۴/۸۷	۴/۹۰	۴/۹۲	۴/۹۵	۴/۹۷
۵۰	۵/۰۰	۵/۰۳	۵/۰۵	۵/۰۸	۵/۱۰	۵/۱۳	۵/۱۵	۵/۱۸	۵/۲۰	۵/۲۳
۶۰	۵/۲۵	۵/۲۸	۵/۳۱	۵/۳۳	۵/۳۶	۵/۳۹	۵/۴۱	۵/۴۴	۵/۴۷	۵/۵۰
۷۰	۵/۵۲	۵/۵۵	۵/۵۸	۵/۶۱	۵/۶۴	۵/۶۷	۵/۷۱	۵/۷۴	۵/۷۷	۵/۸۱
۸۰	۵/۸۴	۵/۸۸	۵/۹۲	۵/۹۵	۵/۹۹	۶/۰۴	۶/۰۸	۶/۱۳	۶/۱۸	۶/۲۳
۹۰	۶/۲۸	۶/۳۴	۶/۴۱	۶/۴۸	۶/۵۵	۶/۶۴	۶/۷۵	۶/۸۸	۷/۰۵	۷/۳۳
٪	۰/۰	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۵	۰/۶	۰/۷	۰/۸	۰/۹
۹۹	۷/۳۳	۷/۳۷	۷/۴۱	۷/۴۶	۷/۵۱	۷/۵۸	۷/۶۵	۷/۷۵	۷/۸۸	۸/۰۹

با توجه به این‌که تاکنون ضرایب پرابیت برای ۳،۱- بوتادین تعیین نشده است، لذا امکان محاسبه غلظت‌های کشنده برای این ماده در تحقیق حاضر مقدور نبود.

جدول ۲. مقادیر ثابت معادله پرابیت برای مواد شیمیایی موردمطالعه در تحقیق حاضر

ماده شیمیایی	K_1	K_2	n
آمونیاک	-۳۵/۹	۱/۸۵	۲
کلر	-۸/۲۹	۰/۹۲	۲
بنزن	-۱۰۹/۷۸	۵/۳	۲
تولوئن	-۶/۷۹۴	۰/۴۰۸	۲/۵
۱-۳، بوتادین	-	-	-

۳- مدل‌سازی نحوه انتشار مواد سمی با استفاده از نرم‌افزارهای ALOHA و PHAST

در تحقیق حاضر، بررسی خطر مرگ در حوادث جاده‌ای از طریق مدل‌سازی انتشار مواد سمی و با استفاده از نرم‌افزارهای ALOHA و PHAST، انجام شد. اطلاعات موردنیاز جهت مدل‌سازی با در نظر گرفتن داده‌های هواشناسی شهر کرج از سال ۲۰۱۵- ۱۹۸۵ میلادی، مواد شیمیایی موردمطالعه (آمونیاک، کلر، بنزن، ۱-۳، بوتادین و تولوئن)، نوع سناریو "شکافت کامل مخزن"، نحوه انتشار "ناگهانی" و غلظت‌های کشنده (LC_1, LC_{10}, LC_{50}, LC_{90}) تکمیل گردید. پس از مدل‌سازی انتشار مواد سمی، فاصله خطر کشنده تعیین گردید و نتایج حاصله جهت تعیین حریم خطر مرگ از محل حادثه مورداستفاده قرار گرفت.

یافته‌ها

در این بخش، نتایج بررسی حوادث احتمالی حمل‌ونقل جاده‌ای مواد خطرناک و مدل‌سازی نحوه انتشار سمیت و فاصله کشنده این مواد با استفاده از نرم‌افزارهای ALOHA و PHAST ارائه خواهد شد.

۱- تعیین غلظت‌های کشنده

برای تعیین غلظت‌های کشنده، از معادله پرابیت استفاده شد. نتایج حاصله در جدول ۳ ارائه‌شده است:

جدول -۳ مقادیر غلظت‌های کشنده مواد شیمیایی موردمطالعه

مواد شیمیایی	غلظت‌های کشنده (پی پی ام)[1]			
	LC_1	LC_{10}	LC_{50}	LC_{90}
آمونیاک	۱۰۶۴۷	۱۴۱۵۹	۲۰۰۱۱	۲۸۲۸۳
کلر	۱۲۲	۲۱۶	۴۳۲	۸۶۹
بنزن	۱۲۸۱۷	۱۴۱۵۱	۱۵۹۶۷	۱۸۰۱۷
تولوئن	۴۲۶۲	۱۱۹۶۸	۴۱۸۸۸	۱۴۶۹۲۱

www.SID.ir

Archive of SID

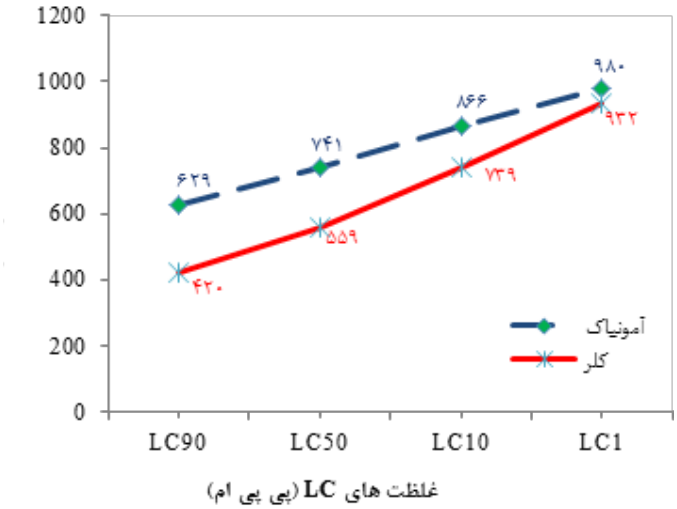
همان‌طور که مشاهده می‌شود، غلظت‌های کشنده در چهار حالت ($LC_{۱}$، $LC_{۱۰}$، $LC_{۵۰}$ و $LC_{۹۰}$) و برای ۴ ماده (آمونیاک، کلر، بنزن و تولوئن) محاسبه‌شده است. پس از تعیین غلظت‌های کشنده، فواصل خطر تعیین‌شده توسط نرم‌افزارهای ALOHA و PHAST، به‌عنوان حداکثر فاصله خطر کشنده در اطراف محل حادثه به‌منظور تعیین محدوده خطر مرگ، جهت برنامه‌ریزی مقابله با شرایط اضطراری پیشنهاد گردید.

۲- نتایج حاصل از مدل‌سازی نحوه انتشار سمیت مواد موردمطالعه با استفاده از نرم‌افزار ALOHA

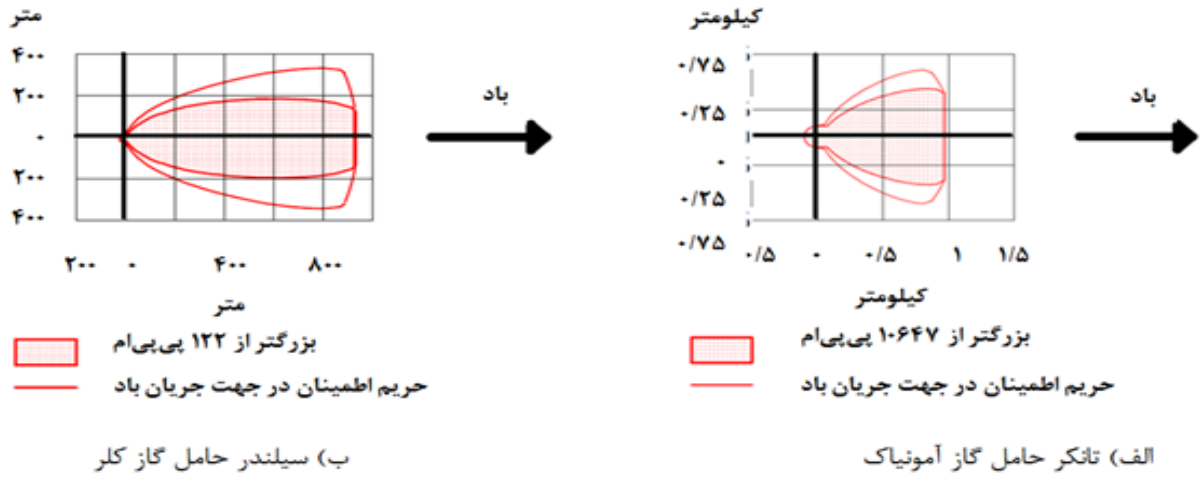
نتایج حاصل از تعیین فاصله خطر از محل حادثه با توجه به غلظت کشنده برای مواد شیمیایی موردمطالعه با استفاده از نرم‌افزار ALOHA، در نمودار ۱ ارائه‌شده است. لازم به ذکر است که ALOHA برای بنزن و تولوئن به دلیل کم بودن فاصله خطر سمیت آن‌ها، مقداری را تعیین نکرد. همان‌طور که مشاهده می‌شود گاز آمونیاک تا فاصله ۶۲۹ متری و گاز کلر تا فاصله ۴۲۰ متری می‌تواند منجر به کشته شدن حدود ۹۰ درصد افراد در معرض خطر شود. ازنظر غلظت کشنده $LC_{۱}$ نیز، گاز آمونیاک تا فاصله ۹۸۰ متری و گاز کلر تا فاصله ۹۳۲ متری می‌تواند منجر به کشته شدن حدود ۱ درصد افراد در معرض خطر شود؛ بنابراین در فواصل دورتر از آن خطر مرگ برای افراد وجود ندارد.

نتایج مدل‌سازی انتشار سمیت گاز آمونیاک و گاز کلر برای غلظت کشنده $LC_{۱}$ با استفاده از نرم‌افزار ALOHA در شکل ۲ ارائه‌شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بر اساس غلظت کشنده $LC_{۱}$، آمونیاک بافاصله خطر کشنده ۹۸۰ متر دارای بیشترین فاصله خطر سمیت کشنده بوده و لازم است فاصله مذکور جهت جلوگیری از خطر مرگ در حوادث جاده‌ای مواد خطرناک، مدنظر قرار گیرد.

شکل ۲. فاصله خطر سمیت تانکر حامل گاز آمونیاک و سیلندر گاز کلر



نمودار ۱. فاصله خطر گاز آمونیاک و کلر در حوادث جاده‌ای مواد خطرناک بر اساس غلظت‌های LC توسط نرم‌افزار ALOHA



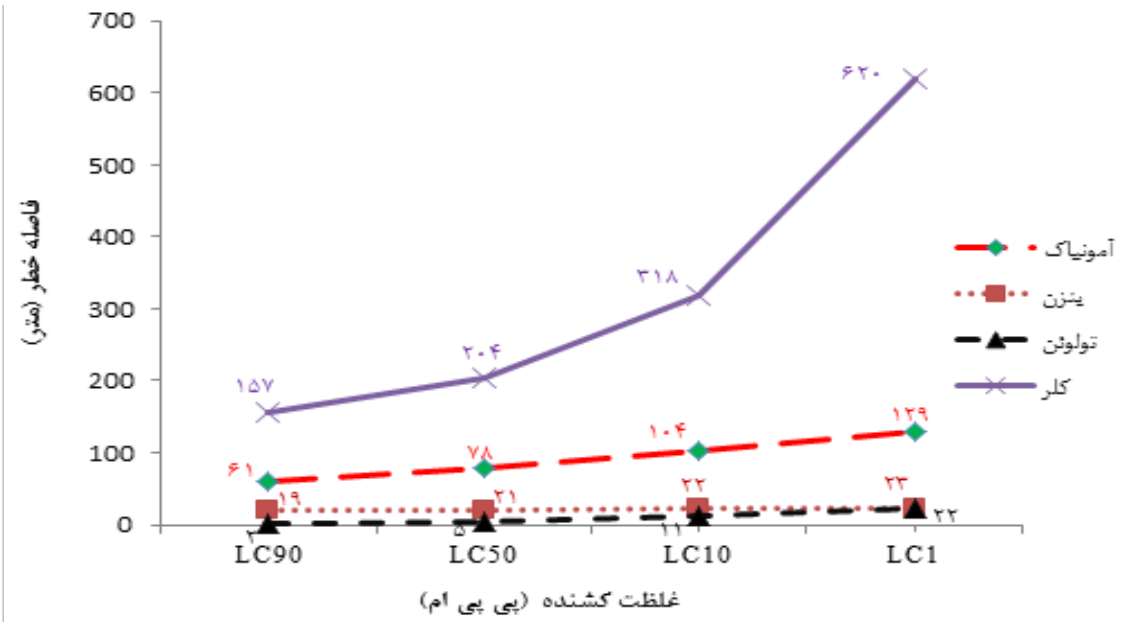
در غلظت کشنده $LC_{۱}$ توسط نرم‌افزار ALOHA

www.SID.ir

Archive of SID

۳- نتایج حاصل از مدل‌سازی نحوه انتشار سمیت مواد موردمطالعه با استفاده از نرم‌افزار PHAST

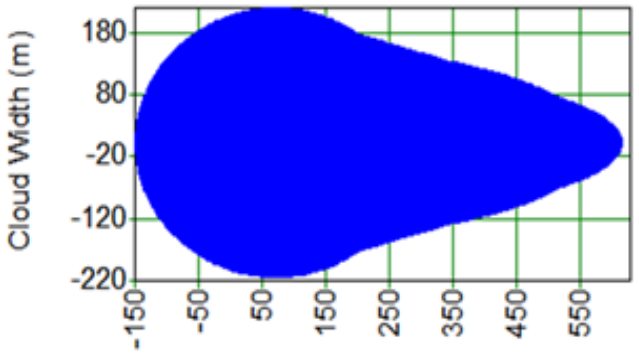
نتایج حاصل از تعیین فاصله خطر از محل حادثه با توجه به غلظت‌های کشنده $LC_{۱۰}$ برای مواد شیمیایی موردمطالعه با استفاده از نرم‌افزار PHAST، در نمودار ۲ ارائه‌شده است.



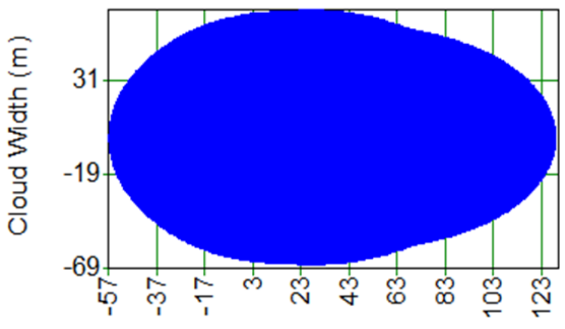
نمودار ۲. فاصله خطر حادثه شکافت کامل تانکرهای حامل مواد سمی بر اساس غلظت‌های LC توسط نرم‌افزار PHAST

همان‌طور که در نمودار ۲ مشاهده می‌شود، با استفاده از نرم‌افزار PHAST، کلر، آمونیاک، بنزن و تولوئن به ترتیب تا فواصل خطر کشنده ۱۵۷، ۶۱، ۱۹ و ۲ متر قادرند باعث مرگ حدود ۹۰ درصد افراد در معرض خطر شوند. ازنظر غلظت کشنده $LC_{۱}$ نیز، فواصل خطر کشنده برای ۱ درصد افراد در معرض خطر، برای کلر، آمونیاک، بنزن و تولوئن به ترتیب برابر ۶۲۰، ۱۲۹، ۲۳ و ۲۲ متر می‌باشد.

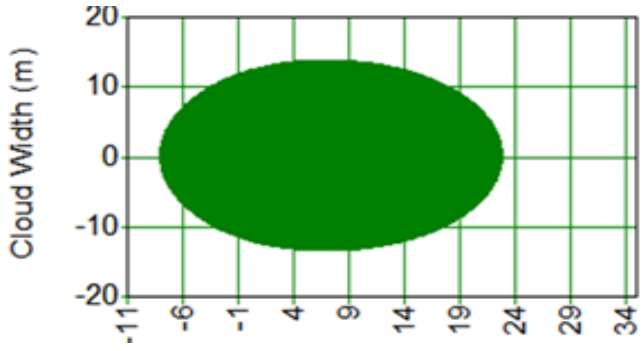
نتایج حاصل از تعیین فاصله خطر از محل حادثه با توجه به غلظت کشنده $LC_{۱}$ برای مواد شیمیایی موردمطالعه توسط نرم‌افزار PHAST، در شکل ۳ ارائه‌شده است.



فاصله پایین‌دست (متر)
ب) سیلندر گاز کلر



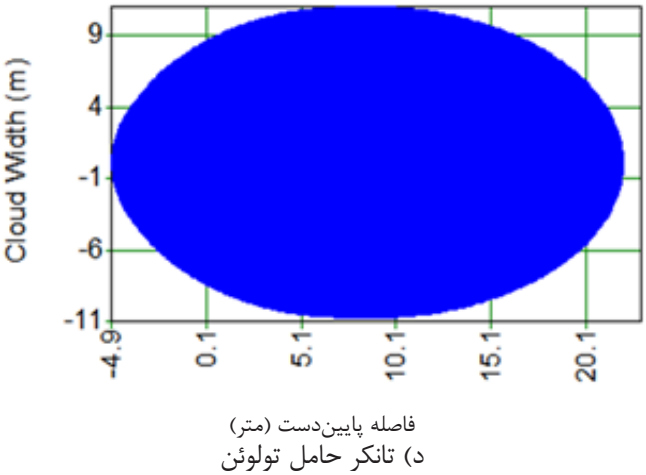
فاصله پایین‌دست (متر)
الف) تانکر حامل گاز آمونیاک



فاصله پایین‌دست (متر)
ج) تانکر حامل بنزن

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. فاصله خطر سمیت تانکر حامل گاز آمونیاک، سیلندر گاز کلر تانکر حامل بنزن و تانکر حامل تولوئن در غلظت‌های کشنده LC_1 توسط نرم‌افزار PHAST

با توجه به اشکال فوق، کلر دارای بیشترین فاصله خطر سمیت کشنده بوده و لازم است فاصله مذکور جهت جلوگیری از خطر مرگ در حوادث جاده‌ای مواد خطرناک، مدنظر قرار گیرد.

۴. بررسی مقایسه‌ای فواصل خطر مرگ با استفاده از نرم‌افزارهای ALOHA و PHAST

بررسی مقایسه‌ای فواصل خطر محاسبه‌شده توسط نرم‌افزارهای ALOHA و PHAST، بر اساس غلظت کشنده LC_1، برای مواد شیمیایی موردمطالعه، در نمودار ۳ ارائه‌شده است.

نمودار ۳. مقایسه فواصل خطر بر اساس غلظت کشنده LC_1 برای مواد شیمیایی موردمطالعه توسط نرم‌افزارهای ALOHA و PHAST

همان‌طور که مشاهده می‌شود، در بین مواد شیمیایی موردمطالعه، بر اساس LC_1، خطرناک‌ترین ماده شیمیایی توسط نرم‌افزار ALOHA، آمونیاک بافاصله خطر ۹۸۰ متر و بر اساس نرم‌افزار PHAST، کلر بافاصله خطر ۶۲۰ متر می‌باشد.

بحث

در این تحقیق، خطر مرگ در حوادث جاده‌ای تانکرهای حامل مواد شیمیایی با استفاده از نرم‌افزارهای ALOHA و PHAST موردبررسی قرار گرفت و حریم خطر مرگ بر اساس غلظت‌های کشنده به دست آمد.

نتایج ارائه‌شده در این تحقیق، با نتایج تحقیقات هانا، استیون نشان می‌دهد که فواصل خطر ارائه‌شده توسط نرم‌افزارهای مختلف، در بعضی مواقع اختلاف زیادی با یکدیگر دارند. هانا در تحقیق خود، حوادث تانکرهای ریلی حاوی کلر را توسط نرم‌افزارهای مختلف مورد مقایسه قرار داده است. نتایج مقایسه‌ای‌شان برای نرم‌افزارهای ALOHA و PHAST در جدول ۴ ارائه‌شده است (۵).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴. مقایسه غلظت‌های محاسبه‌شده در فواصل مختلف از محل حادثه تانکرهای ریلی گاز کلر

فاصله پایین‌دست (متر)	PHAST (پی‌پی‌ام)	ALOHA (پی‌پی‌ام)	نسبت غلظت‌ها $\frac{\text{ALOHA}}{\text{PHAST}}$	محدوده غلظت‌های محاسبه‌شده توسط نرم‌افزارهای مختلف حداکثر - حداقل
۱۰۰	۶۹۰۰۰	۱۳۸۰۰۰	۲	۸۱۰۰-۱۳۸۰۰۰
۲۰۰	۳۳۰۰۰	۵۸۰۰۰	۱/۷۶	۴۶۰۰-۵۸۰۰۰
۵۰۰	۱۳۱۰۰	۱۵۰۰۰	۱/۱۵	۲۶۰۰-۲۸۱۷۰
۱۰۰۰	۳۴۶۰	۳۵۵۰	۱/۰۳	۱۳۰۰-۶۹۰۰

همان‌طور که مشاهده می‌شود غلظت‌های محاسبه‌شده توسط نرم‌افزار ALOHA در فواصل ۱۰۰ متری و ۲۰۰ متری تقریباً دو برابر غلظت‌های محاسبه‌شده توسط نرم‌افزار PHAST می‌باشند.

مقایسه فواصل خطر ارائه‌شده برای گاز کلر در غلظت ppm ۴۰۰ (LC_{50}) در مطالعات هانا و مطالعات انجام‌شده در این تحقیق به شرح زیر می‌باشد (جدول ۵).

جدول ۵. مقایسه فواصل خطر انتشار گاز کلر در تحقیقات هانا و تحقیق حاضر

محقق	حوادث موردبررسی	حمل‌ونقل	فواصل خطر در غلظت ۴۰۰ پی پی‌ام (متر) PHAST	ALOHA	اختلاف	نسبت $\frac{\text{PHAST}}{\text{ALOHA}}$
هانا	فستوس	ریلی	۱۶۸	۲۵۰	۸۲	۰/۷
	مک دونا	ریلی	۲۳۰۰	۳۰۰۰	۷۰۰	۰/۷۷
	گرانیتویل	ریلی	۲۷۵۰	۴۰۰۰	۱۲۵۰	۰/۶۹
تحقیق حاضر		جاده‌ای	۲۰۴	۵۵۹	۳۵۵	۰/۳۶

فواصل خطر به‌دست‌آمده در مطالعات هانا بسیار زیادتر از فواصل خطر تعیین‌شده در تحقیق حاضر می‌باشد زیرا هانا حوادث تانکرهای ریلی گاز کلر را بررسی نموده درحالی‌که در تحقیق حاضر، سیلندرهای حامل گاز کلر در حوادث حمل‌ونقل جاده‌ای که ظرفیت بسیار کمتری نسبت به تانکرهای ریلی دارند، در نظر گرفته‌شده است. در مطالعات هانا در غلظت ppm۴۰۰ (LC_{50})، اختلاف بین فواصل خطر به‌دست‌آمده توسط نرم‌افزارهای ALOHA و PHAST بین ۸۲ تا ۱۲۵۰ متر و نسبت نتایج حاصل از اجرای PHAST به ALOHA، ۰/۶۹ تا ۰/۷۷ می‌باشد. درحالی‌که در مطالعه حاضر، اختلاف فاصله خطر به‌دست‌آمده توسط نرم‌افزارهای ALOHA و PHAST برابر ۳۵۵ متر و نسبت نتایج حاصل از اجرای PHAST به ALOHA برابر ۰/۳۶ تعیین شد.

نسبت فواصل خطر محاسبه‌شده با استفاده از نرم‌افزارهای PHAST و ALOHA توسط هانا (در سه حادثه موردبررسی) کاملاً با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. به‌عبارت‌دیگر، در غلظت‌های بالا، نتایج ارائه‌شده توسط ALOHA بیشتر از PHAST می‌باشد.

بررسی مطالعات دیگر نشان می‌دهد که به علت متفاوت بودن شرایط و نحوه انتشار مواد شیمیایی و سناریوهای انتخابی، امکان مقایسه نتایج با یکدیگر کمی مشکل می‌باشد. به‌عنوان نمونه، مقایسه روش کار و نتایج مطالعه چاکرابارتی و پاریخ با روش کار و نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که چاکرابارتی در تحقیقاتش برای آنالیز پیامد سناریوی شکافت کامل مخازن کلر و آمونیاک، به ترتیب زمان‌های مواجهه برابر ۱ ساعت و نیم ساعت در نظر گرفته است درحالی‌که در تحقیق حاضر مدت‌زمان مواجهه برای هر دو ماده کلر و آمونیاک برابر ۱۰ دقیقه در نظر گرفته‌شده است. با توجه به اینکه افراد حاضر در محل وقوع حادثه سعی در فرار از محل حادثه دارند، لذا زمان ۱۰ دقیقه‌ای، منطقی‌تر به نظر می‌رسد البته لازم به ذکر است که تعیین زمان زیاد برای انتشار مواد شیمیایی، برای نقاط اطراف محل حادثه از قبیل منازل مسکونی، صحیح می‌باشد. معمولاً افراد درگیر در حوادث، یا افرادی که در محل حادثه حضور دارند به‌راحتی

www.SID.ir

Archive of SID

می‌توانند از محل حادثه گریخته و زمان تماس کمتری داشته باشند ولی ساکنین منازل اطراف محل حادثه، پس از اطلاع از نشتی گازها و مواد شیمیایی سمی، ممکن است حتی تا ۱ ساعت نیر فرصت نیاز داشته باشند که از حریم خطر مرگ رهایی پیدا کنند؛ بنابراین مقادیر ارائه‌شده در تحقیقات چاکرابارتی برای ساکنین اطراف محل حادثه، مناسب به نظر می‌رسد (۱۰). بررسی تحقیق یوسفی و رشتچیان که بر روی مخازن آمونیاک مجتمع پتروشیمی کرمانشاه انجام‌شده است، نشان می‌دهد که آن‌ها نیز مشابه تحقیق حاضر، مدت‌زمان انتشار سناریوی نشتی را ۱۰ دقیقه در نظر گرفتند که از این لحاظ با تحقیق حاضر مطابقت دارد ولی ازنظر قطر سوراخ نشتی و دبی‌جرمی خروجی با تحقیق حاضر متفاوت است. سوراخ نشتی موردبررسی در تحقیق یوسفی، ۱۲۵ میلی‌متر می‌باشد، درحالی‌که در تحقیق حاضر، شکافت کامل مخزن مدنظر قرار گرفته‌شده که بدترین وضعیت احتمالی حادثه می‌باشد. لازم به ذکر است که سناریوی شکافت کامل مخزن به علت داشتن بیشترین فاصله خطر، قادر به پوشش کلیه سناریوهای احتمالی است (۱۱).

با توجه به نتایج حاصله، پیشنهاد می‌شود بالاترین فاصله خطر بر اساس LC_1 (که در فواصل دورتر از آن هیچ‌گونه تلفاتی وجود نخواهد داشت) بدون توجه به نوع ماده و نوع نرم‌افزار مورداستفاده، در برنامه‌ریزی مقابله با شرایط اضطراری مدنظر قرار گیرد؛ بنابراین فاصله خطر ۹۸۰ متر که توسط نرم‌افزار ALOHA برای ماده شیمیایی آمونیاک و در غلظت کشنده ۱ درصد حاصل‌شده است بالاترین فاصله خطر بوده لذا ضروری است کلیه افراد در صورت بروز حوادث احتمالی حمل‌ونقل جاده‌ای مواد خطرناک تا فاصله یک کیلومتری از محل با تجهیزات تنفسی تأمین‌کننده اکسیژن تردد داشته باشند. فواصل بیش از یک کیلومتر اثر کشنده نداشته، لیکن می‌تواند اثرات تهدیدکننده‌ای روی افراد داشته باشد.

از نقاط قوت پژوهش حاضر، کاربردی بودن آن می‌باشد. در این تحقیق، ۵ ماده شیمیایی سمی متداول در حمل‌ونقل جاده‌ای با دو نرم‌افزار بررسی و مقایسه شده و فاصله خطر کشنده آن‌ها با کمک مدل‌سازی و با استفاده از نرم‌افزارها تعیین‌شده است. ازآنجاکه در مطالعات انجام‌شده مشابه، حریم ایمن به‌دست‌آمده با استفاده از غلظت‌های برنامه‌ریزی مقابله با شرایط اضطراری تعیین‌شده و این حریم دارای فواصل بسیار زیادی است، لذا معمولاً امکان برنامه‌ریزی مقابله با شرایط اضطراری بر اساس آن‌ها تقریباً غیرممکن می‌باشد. در تحقیق حاضر، غلظت‌های کشنده که در عمل برای برنامه‌ریزی مقابله با شرایط اضطراری منطقی‌تر هستند، بررسی‌شده‌اند.

از محدودیت‌های این پژوهش، عدم امکان مقایسه نتایج به‌دست‌آمده با مقادیر واقعی بود؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود پژوهشگران آینده به مقایسه نتایج حاصله با سایر نرم‌افزارهای موجود و مقایسه آن‌ها با غلظت‌های واقعی پرداخته و این پژوهش برای بررسی خطر مرگ ناشی از انفجار و یا حریق مواد شیمیایی قابل‌حمل جاده‌ای، ریلی و یا دریایی نیز انجام گیرد.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد با عنوان مدل‌سازی انتشار مواد سمی با استفاده از نرم‌افزارهای PHAST و ALOHA و تعیین شاخص CEI در حوادث حمل‌ونقل جاده‌ای می‌باشد. بدین‌وسیله نویسندگان این مقاله، از همکاری و حمایت کارکنان محترم شرکت مهندسی حمل‌ونقل پتروشیمی در تهیه اطلاعات موردنیاز جهت به انجام رساندن این تحقیق، تقدیر و تشکر می‌گردد.

References

1. Inanloo B, Tansel B. Explosion impacts during transport of hazardous cargo: GIS-based characterization of overpressure impacts and delineation of flammable zones for ammonia. Journal of Environmental Management. 2015; 156:1-9. [Pub Med]

2. Sakamoto J, Nakayama J, Nakarai T, Kasai N, Shibutani T, Miyake A. Effect of gasoline pool fire on liquid hydrogen storage tank in hybrid hydrogen – gasoline fueling station. International Journal of Hydrogen Energy. 2016; 41(3): 2096–104.

3. Bonvicini S, Antonioni G, Morra P, Cozzani V. Quantitative assessment of environmental risk due to accidental spills from onshore pipelines. Process Safety and Environmental Protection. 2015; 93: 31-49.

4. Brzozowska L. Computer simulation of impacts of a chlorine tanker truck accident. Transportation Research Part D: Transport and Environment. 2016; 43: 107–22.

5. anna S, Dharmavaram S, Zhang J, Sykes I, Witlox H, Khajehnajafi S, et al. Comparison of six widely-used dense gas dispersion models for three recent chlorine railcar

www.SID.ir

Archive of SID

accidents. Process Safety Progress. 2008; 27(3):248-59.

6. Moradi A, Gilasi HR, Hasani J. Evaluation of Knowledge, Attitude and Practice of Motorcyclist drivers regarding driving laws in Kashan. Journal of Safety Promotion and Injury Prevention. 2015; 3(3): 175-84.

7. Monsef V, Asadi P, Maleki ziabari SM. Mortality due to road traffic injuries in Guilan province in 2011-2012. Journal of Safety Promotion and Injury Prevention. 2015; 3(2): 97-102.

8. Ahadi MR, Pejmanzad P, Bazdar Ardebili P. The Epidemiology of Accident Fatalities in Iran (8-Year Review). Journal of Safety Promotion and Injury Prevention. 2015; 2(4): 329-38.

9. Kumar A. Guidelines for evaluating the characteristics of vapor cloud explosions, flash fires, and bleves. Center for Chemical Process Safety (CCPS) of the AIChE, the American Institute of Chemical Engineers, New York, N.Y. (1994)

10. Chakrabarti UK, Parikh JK. Route risk evaluation on class-2 hazmat ransportation. Process Safety and Environmental Protection. 2011; 89(4): 248-60.

11. Yousefi M, Rashtchian D. Investigation of ammonia storage consequence modeling in Kermanshah petrochemical complex. Iranian Chemical Engineering Journal. 2011; 10(55): 48-54.

www.SID.ir