

بررسی سناریوهای انتشار ناگهانی گاز کلر

در تصفیه‌خانه آب جلالیه تهران با نرم افزار ALOHA

حسن باقری *

فرین فاطمی **

ندا بختیاری ***

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۰۲

تاریخ تأیید مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۰۴

چکیده

کلر گاز سمی و اکسیدکننده است که در ایران برای تصفیه آب آشامیدنی از آن استفاده می‌شود. بررسی نکردن نشت گاز کلر ممکن است آسیبهای جبران‌ناپذیری به کارکنان و ساکنان اطراف محل نگهداری و انبار گاز کلر وارد کند. این مطالعه از نوع کاربردی و تحلیلی، و جامعه مورد مطالعه تصفیه‌خانه آب جلالیه تهران و مکانهای اطراف آن شامل محلهای عمومی و سازمانهای مهم اطراف آن به‌عنوان الگوی ارزیابی و مدیریت خطر انتخاب شده است. در این مطالعه به الگوسازی حادثه گاز کلر با نرم‌افزار ALOHA پرداخته، و انتشار گاز کلر از مخزن یک‌تنی گاز کلر در تصفیه‌خانه آب جلالیه تهران بررسی شده است. برای این کار با استفاده از نرم‌افزار ALOHA نسخه ۵.۴.۴ به‌بررسی چگونگی، میزان سرعت انتشار و محدوده‌های مختلف خطر و جمعیت در معرض مخاطره پرداخته شد. بررسیها نشان می‌دهد انتشار گاز در صورت آسیب دیدن شیر یک اینچی خروجی مخزن ممکن است تا شعاع ۲.۴ کیلومتری کشنده و تا شعاع ۸.۳ کیلومتری مؤثر باشد و تا شعاع بیش از ده کیلومتری حس شود. هم‌چنین مشخص شد که در دقیقه اول، انتشار گاز در فصل زمستان در حدود PPM ۱۰۸۰۰۰۰ در فصل تابستان حدود PPM ۳۳۱ است. مشاهده می‌شود انتشار گاز کلر در فصل زمستان به‌دلیل پایداری هوا که ناشی از پدیده وارونگی بویژه در سالهای اخیر بیشتر از فصل تابستان است. در پایان نیز بر اساس نتایج الگوسازی، برنامه واکنش در حالت اضطرار تدوین شد.

کلیدواژه‌ها: کلر، سناریو، تصفیه‌خانه، ALOHA، مدیریت بحران

h.bagheri82@gmail.com

f.fatemi@gmail.com

n_bakhtiari1965@yahoo.com

* نویسنده مسئول: دانشیار دانشگاه علوم پزشکی بقیه‌الله، تهران، ایران

** استادیار دانشگاه علوم پزشکی سمنان، سمنان، ایران

*** دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه علوم پزشکی بقیه‌الله، تهران، ایران

مقدمه

کلر یکی از مواد ضد عفونی کننده به‌شمار می‌آید؛ اما همواره مشکلات مربوط به خود را نیز به همراه دارد (چالکش امیری، ۱۳۸۸). در این راستا شناخت، الگوسازی و برنامه‌ریزی به‌منظور نشت گاز سمی کلر در صنایع پر استفاده از جمله سامانه‌های آبرسانی به‌دلیل همجواری با مراکز جمعیتی و ارائه الگوی رعایت الزامات پدافند غیرعامل و مدیریت حادثه از اهمیت بسزایی برخوردار است. شرکتهای آب و فاضلاب طی سالهای اخیر به لحاظ رشد جمعیت در محدوده عملیاتی خود و رویارویی با محدودیت منابع آبهای سطحی، ناگزیر به حفر و بهره‌برداری از چاه‌های عمیق و ایجاد تأسیسات جانبی نظیر ایستگاه‌های کلر زنی در اقصی نقاط شهرها به‌منظور تهیه آب سالم و بهداشتی شهروندان شده‌اند. با افزایش مراکز شهرها و مخازن ذخیره آب شهری در داخل محوطه‌های شهری و تصفیه خانه‌های آب، بحرانهای مربوط به کلر بشدت افزایش یافته است که مخاطرات ناشی از ذخیره سازی گاز کلر در مخازن مربوط به آن از ایجاد بحران مستثنی نیست و جان موجودات زنده، بویژه انسانها را به شدت تهدید می‌کند. وقوع حوادث متعدد، حاکی از عدم تأثیر کامل قوانین مرتبط با ایمنی در کار بوده؛ لذا لازم است قوانین جدیدی بر پایه احتمال بروز خطر ایجاد شود تا بروز حادثه در مؤسسات، بخصوص فعالیتهای صنعتی را کاهش دهد (همان). قوانین مرتبط با ایمنی درکار و پرهیز از حوادث در تمام جوامع وجود دارد. هدف این قوانین حفاظت اولیه از کارکنان و هم‌چنین از محیط اطراف آن است. یکی از مسائلی که در ایمنی صنایع و موفقیت در مقابل بحران مطرح است، تصمیم‌گیری سریع و عملگرایی در مواقع بروز خطر است که باعث کاهش ضایعات و حوادث خواهد شد. این امرهنگامی عملی خواهد شد که دست‌اندرکاران صنایع از تجربیات مدیران و هم‌چنین گزارشهای مربوط به الگوسازی حوادث استفاده کنند و تصمیم درست را در مواقع بحران در دستور کار خود قرار دهند. با توجه به اهمیت شهر تهران از نظر میزان مصرف کلر و جمعیت زیاد آن در این پژوهش به بررسی شیوه کنترل کلر و بررسی سناریوهای انتشار ناگهانی گاز کلر در تصفیه خانه آب جلالیه تهران پرداخته خواهد شد.

تعاریف و مبانی نظری

گاز کلر

گاز کلر یکی از مواد خطرناک است که در صنایع شیمیایی مورد استفاده قرار می گیرد. به رغم تلاش به منظور کنترل گاز، اقدامات مناسبی انجام نشده، انتشار ناگهانی این گاز به صدماتی در تأسیسات منجر، و تلفات جدی بر سلامت کارکنان و جمعیت ساکن اطراف ناحیه صنعتی تأثیر داشته است (مرتضوی و همکاران، ۱۳۹۰). کاربرد کلر در تصفیه خانه های آب مخاطراتی را در گذشته به وجود آورده است و در آینده در صورت عدم مدیریت صحیح و اجرای اصول پیشگیری و آمادگی می تواند به بروز حوادث منجر شود؛ این امر لزوم آمادگی و رویارویی با حوادث ناشی از کلر را لازم و ضروری می سازد (عبدالحمید و همکاران، ۱۳۸۹). طی دهه های اخیر، حوادث بسیار جدی در مورد با انتشار ناخواسته گاز کلر به محیط زیست و در پی آن صدمات جانی رخ داده که اهمیت این ماده مهم را دو چندان کرده است (عدل و همکاران، ۱۳۸۹). از این گونه حوادث می توان به حادثه نشت گاز کلر از سیلندر ۵۰ تنی هنگام حمل و نقل در شهر آستارا در ایران اشاره کرد که باعث مرگ ۴۰ نفر و مصدوم شدن ۲۰۰ نفر شد و یا حادثه انتشار تصادفی کلر در ایستگاه تصفیه آب تهران در سال ۱۳۸۰ که دو نفر کشته و ۵۰ نفر زخمی برجا گذاشت (علی نژاد و همکاران، ۱۳۸۹). هم چنین استفاده از گاز کلر برای اولین بار در جنگ جهانی اول توسط آلمانی ها در ۲۲ آوریل ۱۹۱۵ در «یپرس» بلژیک علیه سربازان مستعمراتی فرانسه و پیاده نظام کانادایی که هیچ ماسکی برای حفاظت از خود نداشتند؛ نیز از جمله کاربردهای گاز کلر به عنوان سلاح شیمیایی است.

بروز حوادث در بسیاری از موارد قابل درک، پیش بینی و پرهیز نیست. کسب آمادگی لازم برای پاسخ به این بحرانها در زمان و مکان بروز، مستلزم شناخت و ارزیابی مکانهای پرخطر است. بروز حادثه در نقاط پرتراکم، دامنه تأثیرات زیانبار گسترده تری را در جامعه به همراه دارد. میزان خسارتهای ناشی از این حوادث وابسته به میزان گسترش اولین واکنش نسبت به حادثه در محل بروز و محیط اطراف آن است. پاسخ مناسب به این وضعیت، نیازمند هماهنگی مناسب میان افراد و مؤسسات محلی است؛ این امر زمانی اجرا

می‌شود که سطح آگاهی در جامعه نسبت به احتمال خطر و نیاز برای آمادگی متقابل برای مقابله با آن افزایش یابد (علی نژاد و همکاران، ۱۳۸۹).

الگوسازی و نیز ارزیابی پیامد حوادث شامل چهار مرحله اساسی است:

۱. انتخاب سناریو ۲. تحلیل شرایط ۳. الگوساز حادثه ۴. ارائه برنامه واکنش نسبت به وضعیت با توجه به فازهای مدیریت بحران.

انتخاب سناریو

معمولاً در انتخاب سناریو، برگزیدن سناریوهای قابل اعتنا از بین تعداد بسیار زیادی گزینه، باعث کاهش زمان و حجم محاسبات به گونه‌ای چشمگیر می‌شود. مقصود از سناریوی قابل اعتنا، حادثه یا ترکیبی از حوادث است که اولاً محتمل باشد؛ یعنی حوادث نادر بررسی نمی‌شود. دوم اینکه پیامد حادثه مورد نظر باید دارای شدت و تأثیر کافی باشد. تعیین اعتبار سناریوها معمولاً کیفی و بنا بر تجربه، دانش و سابقه حوادث مشابه در گذشته صورت می‌گیرد. برخی حوادث مانند نشت کلر از دیواره مخازن محتمل است؛ اما چون احتمال وقوع حادثه در این حالت کم است، نمی‌توان آن را سناریو، قابل اعتنایی قلمداد کرد؛ پس برای این مطالعه، سناریو با توجه به مطالعات و تجربیات کارمندان شرکت آبفای شهر تهران به این صورت تعریف می‌شود که در یک روز سرد زمستانی، که دمای هوا ۶٫۶ درجه سانتیگراد، و سرعت باد نیز ۲٫۶ متر بر ثانیه و هوا کاملاً ابری بوده و تابش آفتاب وجود ندارد و میزان رطوبت هوا ۲۵ درصد است، یکی از مخازن یک تنی گاز کلر هنگام انتقال آن به اتاق کلرزنی در تصفیه خانه آب جلالیه از بالا بر می‌افتد و شیر آن ضربه می‌بیند و بر اثر این ضربه از شیر تخلیه مخزن نگهداری کلر، که قطر آن یک اینچ است، کلر داخل مخزن تخلیه، و در محیط پخش می‌شود. این سناریو با تغییر داده‌های جوی مطابق با جدول صورت گرفت.

تحلیل وضعیت

- بروز حوادث در بسیاری از موارد، قابل درک، پیش بینی و پرهیز نیست. کسب آمادگی لازم برای پاسخ به این بحرانها در زمان و مکان بروز، مستلزم شناخت و ارزیابی مکانهای پرخطر ماست. بروز حادثه در نقاط پر تراکم، دامنه تأثیرات زیانبار گسترده‌تری را

در جامعه به همراه دارد. میزان خسارتهای ناشی از این حوادث وابسته به میزان گسترش اولین واکنش نسبت به حادثه، در محل بروز و محیط اطراف آن است.

- پاسخ مناسب به این وضعیت، نیازمند هماهنگی مناسب میان افراد و مؤسسات محلی است. این امر زمانی اجرا می‌شود که سطح آگاهی در جامعه از احتمال خطر و نیاز برای آمادگی متقابل برای مقابله با آن افزایش یابد.

الگوسازی

- ابتدا در این مرحله به‌منظور آشنایی هر چه بیشتر با منطقه پژوهش و آماده‌سازی اطلاعات مورد نیاز مدلسازی اقدام به بررسی موقعیت جغرافیایی منطقه، جمع آوری داده های هواشناسی در چند سال اخیر از طریق مکاتبه با سازمان هواشناسی، بررسی بعد جمعیتی منطقه از طریق مکاتبه با سازمان شهرداری منطقه شده است. سپس در مرحله بعدی به طراحی سناریوی انتشار گاز کلر در منطقه پژوهش پرداخته شد. با استفاده از مدلسازی نرم افزاری شعاع آسیب پذیری مکانی در سه منطقه خطر زیاد (قرمز)، خطر متوسط (نارنجی) و خطر کم یا هشدار (زرد) تعیین گشت که در ادامه کار پس از جمع آوری اطلاعات موردنیاز (فنی، جغرافیایی) اقدام به طراحی سناریوهای مختلف انتشار تصادفی گاز کلر گردید. سپس از میان سناریوهای طراحی شده یک سناریوی محتمل انتخاب و با بسته نرم افزاری CAMEO مدلسازی شد. این بسته نرم افزاری خود شامل چهار نرم افزار ALOHA, MARPLOT, CAMEO Chemicals, Tier25 می باشد.

- سناریوی محتمل انتخاب‌شده در منطقه مورد مطالعه به‌منظور تعیین مناطق پراکندگی انتشار گاز و بخارات سمی کلر با نرم افزار ALOHA شبیه سازی شد. نسخه ALOHA مورد استفاده این مطالعه نسخه ۵,۴,۴ بود که امکان شبیه‌سازی پراکندگی مکانی بخارات ۹۰۰ ماده شیمیایی را دارد. زمان اجرای سناریو شب انتخاب شد؛ زیرا شب نسبت به روز ناپایداری جوی بیشتری وجود دارد و احتمالاً مناطق بیشتری از انتشار ماده شیمیایی گازی تأثیر می‌پذیرند. منظور از شب هنگام در این مطالعه، فاصله زمانی یک ساعت قبل از غروب خورشید تا یک ساعت بعد از طلوع آن است.

- برای شبیه‌سازی حادثه انتشار گاز کلر از نرم‌افزار ALOHA استفاده شد؛ زیرا

داده‌های زیاد، پیچیده و گسترده‌ای برای شبیه‌سازی با این نرم‌افزار مورد نیاز نیست و ازسوی دیگر صحت پیش‌بینی مکانهای مورد تهدید ازسوی سازمانهای مختلف نظیر سازمان حفاظت از محیط زیست امریکا (EPA)، مورد تأیید است. هم‌چنین نرم‌افزار ALOHA برای به‌کارگیری سریع در زمان محدود توسط پاسخگویان نسبت به وضعیت اضطراری مناسب است (استون و جوزف، ۲۰۰۸). هم‌چنین استفاده از نرم‌افزار ALAHO نیز به عنوان مناسبترین نرم‌افزار برای الگو سازی حوادث است.

برنامه مدیریت واکنش در حالت اضطرار

شامل سه مرحله اساسی است:

- مرحله ۱. عملیات مقدماتی یا اقدامات قبل از وقوع (طرح پیشگیری)
 - مرحله ۲. اقدامات هنگام وقوع (طرح مقابله)
 - مرحله ۳. عملیات پس از وقوع (طرح بازیابی)
- لازم به ذکر است الگوسازی نشأت گاز کلر و برنامه مدیریت وضعیت اضطرار در ادامه به‌صورت تفصیلی شرح داده شده است.

معیارهای مورد نیاز شبیه‌سازی حادثه شیمیایی

۱. معیارهای سنجش سمیت مواد
- معیارهای سنجش سمیت مواد به منظور ارزیابی آثار استنشاق مواد سمی توسط انسان مورد استفاده قرار می‌گیرد. به منظور ارزیابی پیامدهای ناشی از رهائش مواد معیارهای مختلفی وجود دارد (۱۶).

۲. معیار ERPG^۱

- این معیار توسط AIHA^۲ پایه‌گذاری شده و شامل سه سطح است (۳۸):
- ERPG-1: بیشترین مقدار غلظت ماده شیمیایی در هواست که همه افراد می‌توانند یک ساعت در معرض آن قرار گیرند بدون اینکه مزاحمتی برای آنها ایجاد کند یا بوی ناخوشایندی داشته باشد.

- ERPG-2: بیشترین مقدار غلظت ماده شیمیایی در هواست که همه افراد می‌توانند یک

1. Emergency Response Planning Guidelines
2. American Industrial hygiene association

ساعت در معرض آن قرار گیرند بدون اینکه آسیب جدی یا غیر قابل جبران ببینند یا نتوانند اقدامات ایمنی را انجام دهند.

ERPG-3: بیشترین مقدار غلظت ماده شیمیایی در هواست که همه افراد می‌توانند یک ساعت در معرض آن قرار گیرند بدون اینکه زندگی آنها تهدید شود.

۳. معیار 'DLH' (۳۸)

این معیار توسط NIOSH^۲ پایه گذاری شده بیشترین مقدار غلظت ماده شیمیایی در هوا است که همه افراد می‌توانند نیم ساعت در معرض آن قرار گیرند بدون اینکه زندگی آنها تهدید شود.

یافته‌ها

۱. مکانهای در معرض خطر

با توجه به واقع شدن تصفیه خانه آب جلالیه در مجاورت وزارت کشور، وزارت جهاد کشاورزی و سازمان بازنشستگی کل کشور، احتمال بروز حوادثی که ممکن است امنیت جامعه را مختل سازد، لزوم آمادگی پدافند غیرعامل را در مواقع بحران برای این محلها تشدید می‌کند. علاوه بر آن، قرارگیری مکان‌های عمومی مانند چندین بیمارستان خصوصی و از همه مهم بیمارستان بزرگ امام خمینی، هتل بزرگ و بین‌المللی لاله، دانشگاه تهران، پارک لاله، چندین بانک خصوصی و دولتی، مکانهای مسکونی متعدد با تراکم زیاد و محل‌های رفت و آمد عمومی حاکی از گستردگی دامنه خطر است.

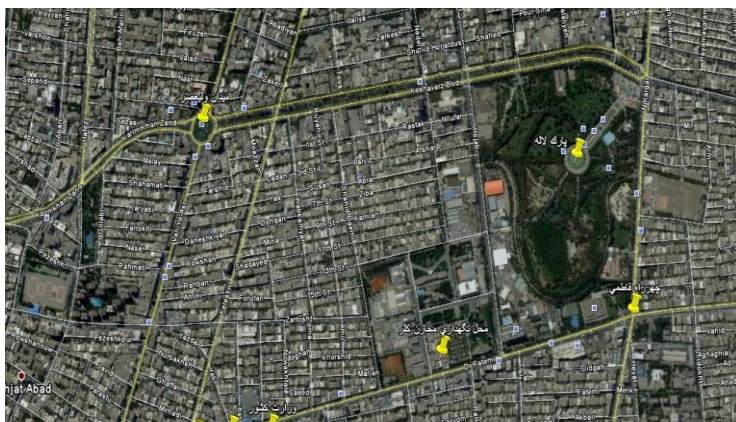
۲. اطلاعات محلی (۳۹)

مکان: تهران، تصفیه خانه آب جلالیه، خیابان دکتر فاطمی (شکل ۱)

ارتفاع از سطح دریا: ۱۲۶۰ - ۱۲۴۵ متر

میزان تبادل هوا بر ساعت: ۰/۵ دقیقه بر پوند

1. Immediate Danger for Life and Health
2. National Institute of Occupational Safety & Health



شکل ۱. نمای کلی از کاربریهای حساس و پرتراکم در اطراف تصفیه خانه آب جلالیه

موقعیت محل نگهداری مخازن کلر در تصفیه‌خانه جلالیه در آن مشخص می‌باشد. (۴۰)

۳. اطلاعات شیمیایی کلر

- نام شیمیایی: کلر
- وزن مولکولی: کیلوگرم مول/ کیلوگرم ۷۰/۹۱
- TLV-TWA: ۰/۵ ppm^۱
- IDHL: ۱۰ ppm^۳
- FLC: ۱۰ ppm^۴
- دمای جوش: ۳۴/۰۳°C -
- فشار بخار در دمای محیط: بیش از 1 atm^۵
- غلظت اشباع در شرایط محیط: ۱۰۰۰۰۰۰ ppm یا ۱۰۰٪

۱. کمترین میزان غلظت قابل تشخیص آلاینده - متوسط وزنی بر حسب زمان برای آلاینده:

Threshold limit value-time weighted average

۲. بخش بر میلیون (واحد غلظت، معادل mg/m³)

Immediately Dangerous for Life and Health

۳. میزان حداقل غلظت خطرناک برای سلامتی

۴. میزان غلظتی از آلاینده است که تا‌ءثیر زیانبار و خطرناک در این غلظت نمایان می‌شود

Footprint Level of Concern

۵. واحد فشار

۴. داده‌های جوی

عوامل مترولوژیکی شبیه‌سازی این سناریو از سازمان هواشناسی جمهوری اسلامی ایران دریافت شد. داده‌های مورد نیاز ثبت‌شده در سازمان هواشناسی ایران شامل درجه حرارت، رطوبت نسبی و سرعت باد از سال ۱۳۸۸ هجری شمسی در اندازه‌های میانگین ماهانه از دو ایستگاه هواشناسی قلعهک و مهرآباد قابل دسترس بود. در مرحله بعد اندازه‌های میانگین فصلی این کمیتها نیز محاسبه و داده‌ها دستی وارد نرم‌افزار ALOHA شد. بعد از کامل کردن اطلاعات درخواستی در نرم‌افزار ALOHA، شبیه‌سازی حادثه شیمیایی انتشار تصادفی گاز کلر در فصول مختلف سال تکرار شد (رضازاده و همکاران، ۱۳۹۳).

جدول ۳. داده‌های جوی

جهت باد	میانگین	سرعت باد (KNOTS)	میانگین	رطوبت نسبی (%)	میانگین	درجه حرارت (oC)	ماه	فصل
۲۶۵،۴	۳،۷	۳،۵	۲۵	۳۳،۶	۱۷،۹	۲۶،۳	March	بهار
		۳،۸		۱۷،۱		۱۹،۴	April	
		۴،۲		۱،۳		۱۱	May	
۲۲۹،۳	۳،۲	۳،۲	۵	۵،۵	۳۰،۴	۲۹،۳	June	تابستان
		۲،۸		۵		۳۱،۹	July	
		۳،۶		۴،۸		۳۰،۲	August	
۲۶۴،۶	۲،۵	۲،۸	۱۷،۳	۳۰،۸	۱۸،۹	۱۲،۵	September	پاییز
		۳،۷		۳۱،۶		۱۷،۴	October	
		۳،۳		۱۲		۲۳،۹	November	
۲۶۷،۳	۲،۶	۲،۲	۲۶	۲۵،۹	۶،۶	۶،۸	December	زمستان
		۲،۴		۲۶،۵		۵،۸	January	
		۳،۱		۲۶،۶		۷،۳	February	

۵. جمعیت

به‌منظور محاسبه سطح اجتماعی ناشی از انتشار آلاینده، لازم است تراکم و توزیع جمعیت در محل وجود خطر ارزیابی شود. توزیع جمعیت، تابع دو عامل زمان و مکان، و در طول روز یا شب و هم‌چنین مکانهای عمومی و ساختمانها متفاوت است. با توجه به‌اینکه دسترسی به آمار دقیق جمعیت در معرض خطر براساس متغیر زمان و مکان

امکانپذیر نیست. در این طرح، جمعیت در معرض خطر تخمینی محاسبه شده است. برای این منظور ابتدا مساحت مناطق درگیر در سطوح رویارویی حاد را بر اساس خروجی نرم‌افزار محاسبه می‌کنیم و سپس با استفاده از دانسیته جمعیت شهر تهران، که طبق سایت آمار شهرداری تهران در سال ۱۳۹۷ برابر ۱۴۰۰۰ نفر در کیلومتر مربع است، جمعیت در معرض خطر را به دست می‌آوریم (جعفر نیا و همکاران ۱۳۹۷).

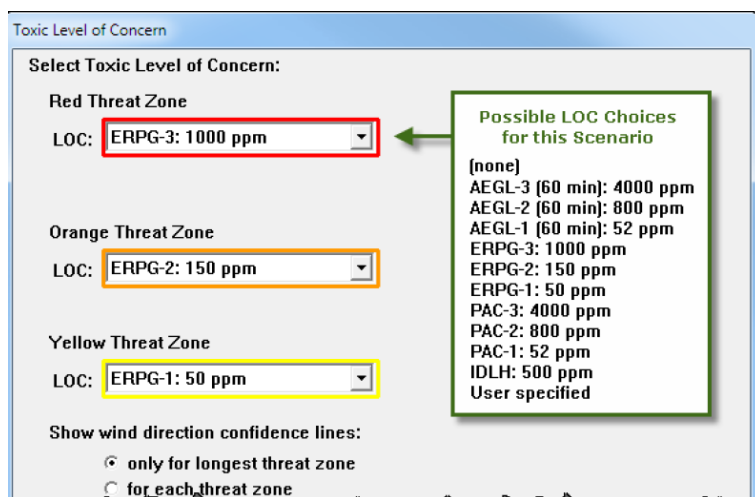
۶. داده‌های منبع آلودگی

- ابعاد مخازن: طول ۲۰۳ سانتیمتر، عرض (قطر) ۸۰ سانتیمتر، شعاع ۴۰ سانتیمتر
 - جرم مخزن خالی: ۵۵۰ کیلوگرم
 - ضخامت دیواره: ۱ سانتیمتر
 - دمای کلر ذخیره: کمتر از (۸-) درجه سانتیگراد
 - وضعیت کلرذخیره شده: به صورت مایع و گاز
 - سطح مایع مخزن: ۹۰ درصد
 - فشار هر مخزن: ۷ بار
 - ارتفاع محل اتصال لوله به مخزن: ۱ متر از پایین مخزن
 - قطر لوله متصل به مخزن: ۱ اینچ
- داده‌های جوی و مشخصات منبع آلاینده به‌منظور شبیه‌سازی حادثه، دستی وارد نرم‌افزار شد. بعد از ورود تمام داده‌های شبیه‌سازی حادثه نشت گاز کلر به نرم‌افزار ALOHA، تمام اطلاعات وارد شده به نرم‌افزار را می‌توان در یک صفحه مشاهده، و بعد از آن با انتخاب گزینه‌های مرتبط می‌توان منطقه مکانی تأثیر پذیرفته از حادثه را در قالب نمودارهای خروجی ALOHA مشاهده کرد.

بعد از گرفتن خروجیهای فیزیکی، مناطق مورد تهدید در فصول چهارگانه سال، خروجیهای مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار MARPLOT روی نقشه‌های واقعی منطقه اجرا شد.

بنابراین منطقه مورد تهدید شبیه‌سازی شده در هر نقشه به سه منطقه تقسیم شد که از آنها به‌عنوان سطوح رویارویی حاد (AEGLs) یاد می‌شود. در این تحقیق از سطوح

رویارویی حاد پیشفرض تعریف شده برای گاز کلر در نرم‌افزار ALOHA به‌منظور شبیه‌سازی نقشه‌ها و تعیین سطوح رویارویی حاد به تفکیک استفاده شد.



شکل ۳. نمایشی از مقادیر سطوح حاد مواجهه گاز کلر در نرم افزار ALOHA

هم‌چنین در انتهای این مرحله از مطالعه درصد صدمات یا مرگ ناشی از انتشار گاز کلر در مناطق مورد تهدید با معادلات احتمالی ارائه شده توسط آیزن برگ و همکاران به‌شرح زیر استفاده شد. حداکثر و حداقل غلظت گاز کلر برحسب p.p.m در مناطق سطوح حاد رویارویی (سه منطقه قرمز، نارنجی و زرد) به‌منظور جایگذاری در فرمول از روی نمودارهای خروجی ALOHA تخمین زده شد.

$$Y = k_1 + k_2 \ln V$$

Y: درصد صدمات جدی یا مرگ جمعیت

V: شدت عوامل علیتی

k_1 و k_2 : ضرایب ثابت مطالعه

$$V = \int C^n dt$$

C: غلظت گاز برحسب p.p.m

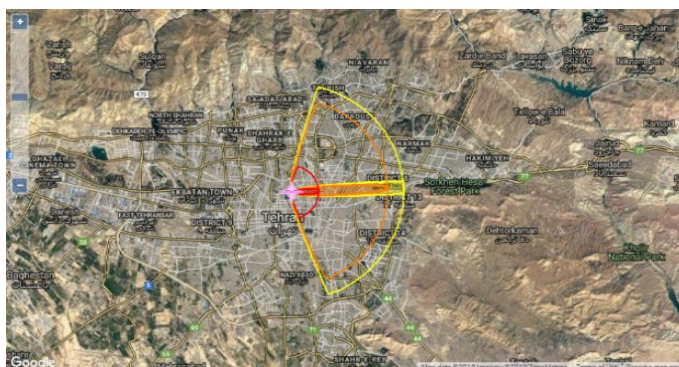
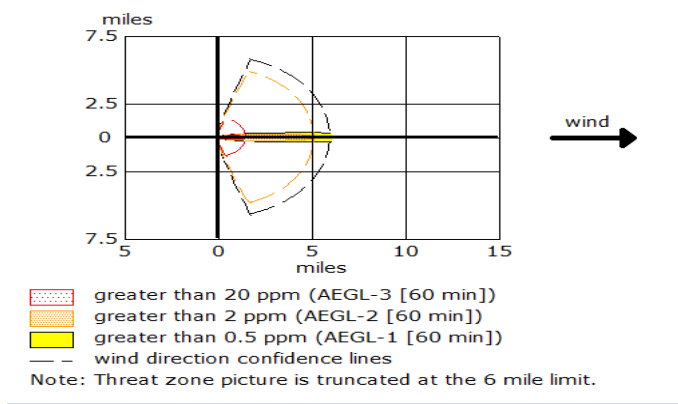
t: زمان رویارویی برحسب min

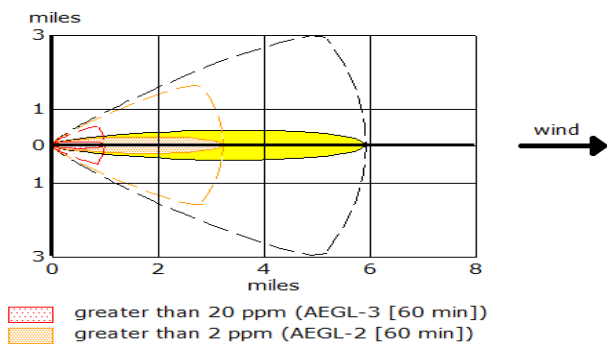
n: ایندکس ناتوانی (مک فارلن و اوینگ، ۱۹۹۰)

k_1 و k_2 و n اندازه‌های گاز کلر که به ترتیب برابر ۱۷،۱-، ۱،۶۹ و ۲،۷۵ است.

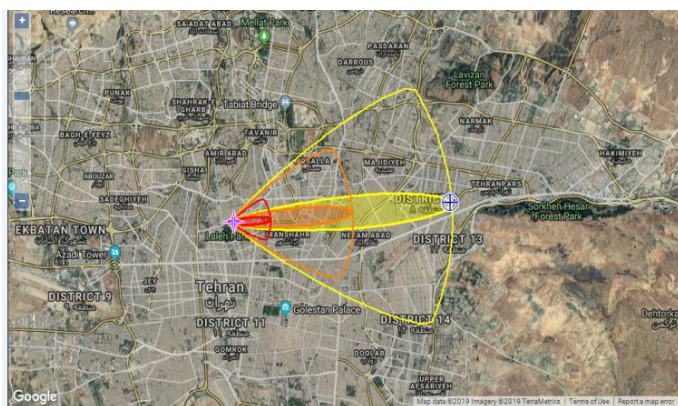
نمودارهای خروجی نرم افزار بر اساس چهار فصل سال

پس از وارد کردن اطلاعات از جمله داده‌های جوی و مشخصات منبع نمودارهای زیر بر حسب مسافت و غلظت انتشار گاز کلر در سطوح رویارویی برای فصول مختلف سال به دست می‌آید:

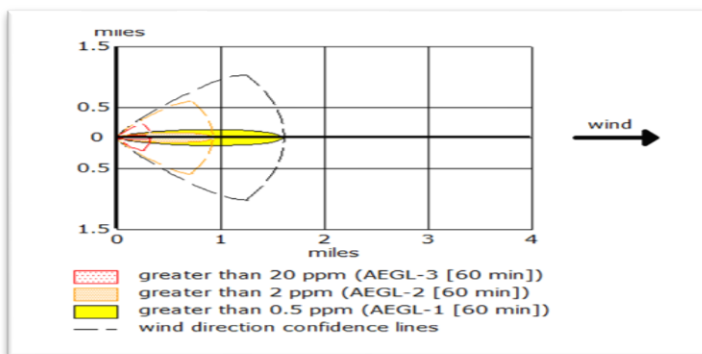


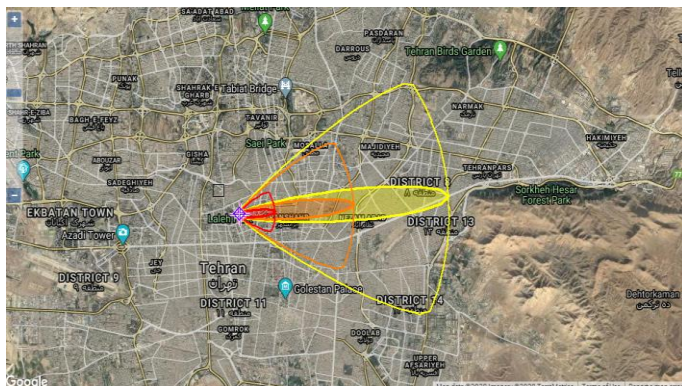


نمودار ۱. خروجی نمودار در فصل زمستان

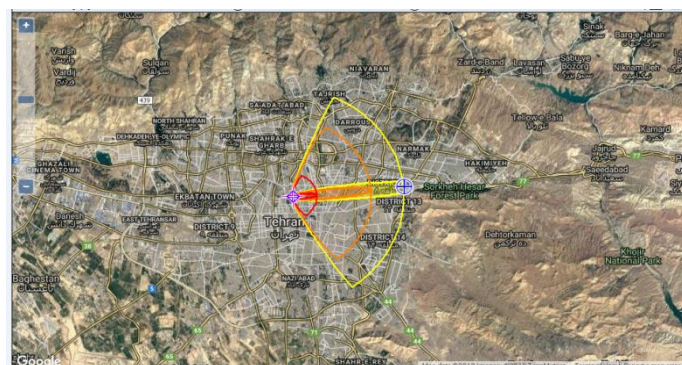
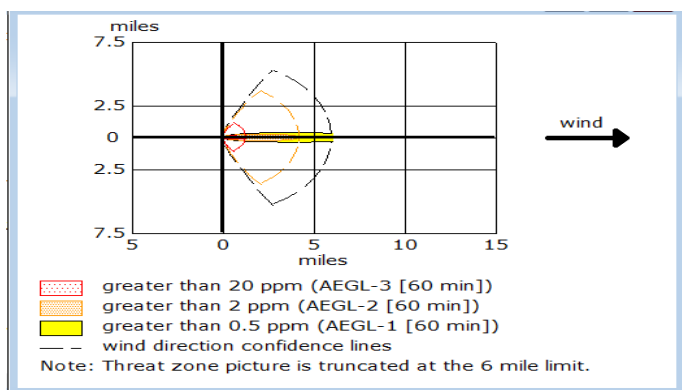


نمودار ۲. خروجی نمودار در فصل بهار





نمودار ۳. خروجی نمودار در فصل تابستان



نمودار ۴. خروجی نمودار در فصل پاییز

جدول ۴. نتایج خروجی نرم‌افزار بر حسب مسافت

فصل	سطوح حاد رویارویی	مسافت (km)	غلظت (ppm)	درصد صدمات و مرگ
بهار	AGEL3 (IDLH)	۱,۶	۱۳۲۰۰۰	۵۲
	AGEL2	۵,۳	۱۰۶۰۰۰	۵۱
	AGEL1	۹,۶	۷۲۴۰۰۰	۴۹
تابستان	AGEL3 (IDLH)	0.5	۳۷۸۰۰۰	۴۴
	AGEL2	1.5	۳۵۹۰۰۰	۴۴
	AGEL1	2.6	۳۳۶۰۰۰	۴۳
پاییز	AGEL3 (IDLH)	۲,۱	۹۹۵۰۰۰	۵۱
	AGEL2	۶,۸	۷۹۸۰۰۰	۵۰
	AGEL1	بیشتر از ۱۰	۶۲۳۰۰۰	۴۹
زمستان	AGEL3 (IDLH)	۲,۴	۱۰۶۰۰۰	۵۵
	AGEL2	۸,۳	۸۲۵۰۰۰	۵۱
	AGEL1	بیشتر از ۱۰	۷۵۵۰۰۰	۵۰

با توجه به متغیرهای دما، رطوبت، سرعت جریان هوا و پایداری هوا در فصل زمستان بیشترین مسافت و درصد مرگ و میر به این فصل مربوط است؛ بنابراین تفسیر نمودارها بر اساس خروجیهای فصل زمستان انجام می‌شود که خطرناک ترین سناریوی محتمل است.

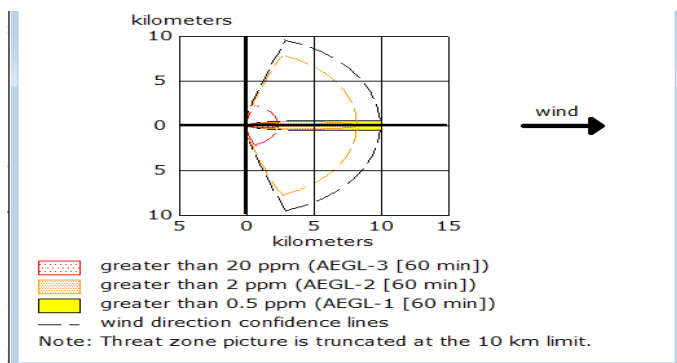
خروجی فصل زمستان بر اساس مناطق تهدید

پس از مشاهده نتایج خروجی مشخص می‌شود که بیشترین سطح خطر و آسیب رسانی حادثه در زمینه گازهای سنگین به شرایط آب و هوایی پایدار مربوط است که در این طرح فصل زمستان است. بنابراین تفسیر نتایج و محاسبات مرتبط با جمعیت درگیر و اجرای چرخه واکنش در حالت اضطرار از این به بعد در این نوشته با بدترین سناریو یعنی فصل زمستان مرتبط است.

اطلاعات حاصل از شبیه‌سازی

– الگوی مورد استفاده: گاز سنگین

- سطح نگرانی (LOC)^۱ مشخص شده توسط کاربر: برابر با $IDIH = 10 \text{ ppm}$
- مدت زمان انتشار: ۱۸ دقیقه
- بیشینه میزان میانگین انتشار ماده: دقیقه/کیلوگرم ۲۱۹
- کل ماده منتشر شده: ۳,۴۵۳ کیلوگرم



نمودار ۵. خروجی نرم افزار در فصل زمستان بر حسب سطوح رویارویی

منطقه تهدید AEGL^۲

- براساس نمودار ۴: منطقه تهدید شامل موارد زیر می شود:
- خطوط قرمز: ۲,۴ کیلومتر ($20 \text{ ppm} = \text{AEGL-3}(60 \text{ min})$)
- خطوط نارنجی: ۸,۳ کیلومتر ($2 \text{ ppm} = \text{AEGL-2}(60 \text{ min})$)
- خطوط زرد: بیش از ۱۰ کیلومتر ($0.5 \text{ ppm} = \text{AEGL-1}(60 \text{ min})$)
- اطلاعات مربوط به مسافت از نمودار ۴ خروجی نرم افزار بر اساس سطوح رویارویی در فصل زمستان به دست آمده است.

-
1. Level of concern
 2. Immediately Dangerous to Life or Health
 3. Acute Exposure Guideline Levels



شکل ۶. خروجی نرم افزار در فصل زمستان بر حسب مناطق درگیر در نقشه

اطلاعات جمعیت در معرض خطر بر اساس سطوح رویارویی

منطقه قرمز: ۱۰۸۶۴۰ نفر ($20 \text{ ppm} = \text{AEGL-3}(60 \text{ min})$)

منطقه نارنجی: ۱۱۵۲۵۶۰ نفر ($2 \text{ ppm} = \text{AEGL-2}(60 \text{ min})$)

منطقه زرد: ۳۷۰۱۶۰ نفر ۱ ($0.5 \text{ ppm} = \text{AEGL-1}(60 \text{ min})$)

میزان غلظت در نقاط مورد تهدید

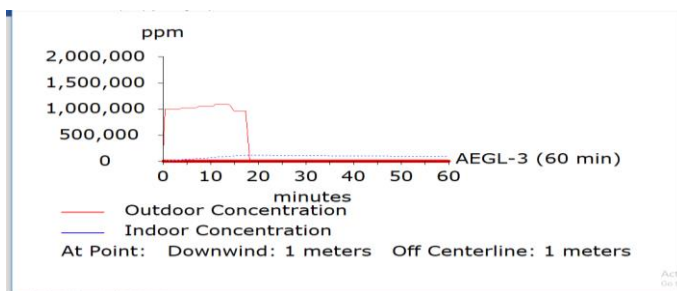
میزان غلظت حد مجاز برای سطح نگرانی یا میزان غلظت بحرانی (که توسط کاربر به نرم افزار داده می‌شود (برای کلر $10 \text{ ppm} = \text{IDHL}$) است (۳۱) شامل میزان بیشینه غلظت در فضای باز از نقطه انتشار 108000 ppm و میزان بیشینه غلظت در فضای بسته 114000 ppm را در دسترس قرار می‌دهد.

در نمودارهای ۵، ۶، ۷ و ۸ میزان غلظت ابر کلر بر حسب زمان در مسافتهای مختلف از نقطه انتشار در محیط باز و محیط بسته، نشان داده شده است. هم‌چنین میزان بیشینه غلظت بر حسب زمان از دامنه مناطق مورد تهدید نیز هنگام انتشار گاز کلر و هم‌چنین غلظت آلاینده در فضاهای باز و بسته در نمودارهای زیر بر حسب مسافتهای مختلف از

۱. AEGL: میزان غلظت یک ماده در هوا که پیش‌بینی می‌شود در آن غلظت یا بالاتر از آن، مردم عادی شامل افراد مستعد بیماری، دچار ناراحتی یا تأثیرهای بیرونی بیمار شوند. به هر حال، این تأثیرات، شخص را دچار ناتوانی نمی‌کند و در طی زمان در معرض قرار گرفتن، گذرا است.

محل انتشار آلاینده نیز نشان داده شده است:

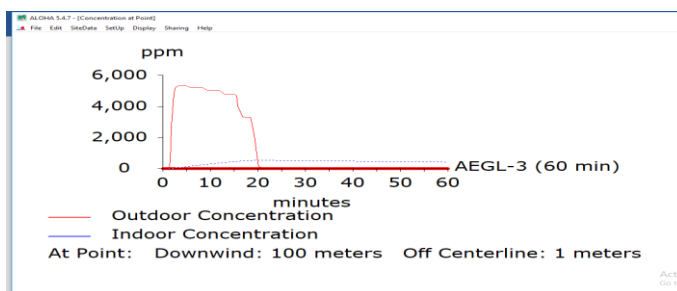
نمودارهای غلظت انتشار گاز کلر در مسافتهای مختلف از مرکز انتشار



نمودار ۶. میزان غلظت گاز کلر بر حسب زمان از دامنه مناطق مورد تهدید

براساس نمودار ۵ بیشینه غلظت در فضای باز از نقطه انتشار ۱۰۸۰۰۰۰ ppm و میزان

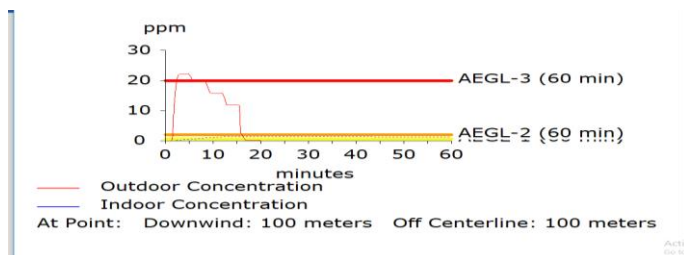
بیشینه غلظت در فضای بسته ۱۱۴۰۰۰ ppm را در ناحیه یک متری پایین دست جریان، یک متر خارج از خط میانی نشان می‌دهد.



نمودار ۷. میزان غلظت بر حسب زمان از دامنه مناطق مورد تهدید

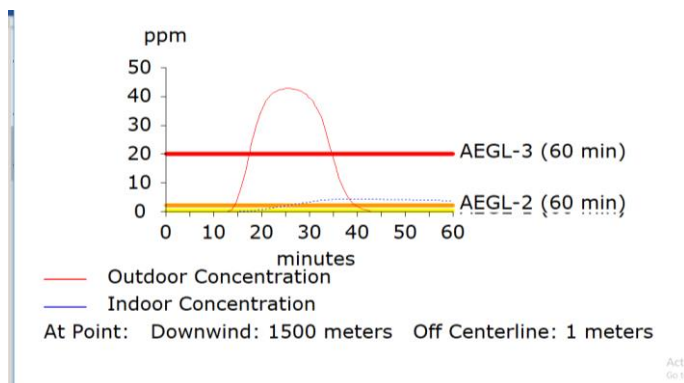
نمودار ۶ بیشینه غلظت در فضای باز از نقطه انتشار ۵۲۸۰ ppm و میزان بیشینه غلظت

در فضای بسته ۵۱۹ ppm را در ناحیه ۱۰۰ متری پایین دست جریان، یک متر خارج از خط میانی نشان می‌دهد.



نمودار ۸. میزان غلظت بر حسب زمان از دامنه مناطق مورد تهدید

در نمودار ۷ بیشینه غلظت در فضای باز از نقطه انتشار ۲۲ppm و میزان بیشینه غلظت در فضای بسته ۱,۵ppm را در ناحیه ۱۰۰متری پایین دست جریان، ۱۰۰متر خارج از خط میانی نشان می‌دهد.



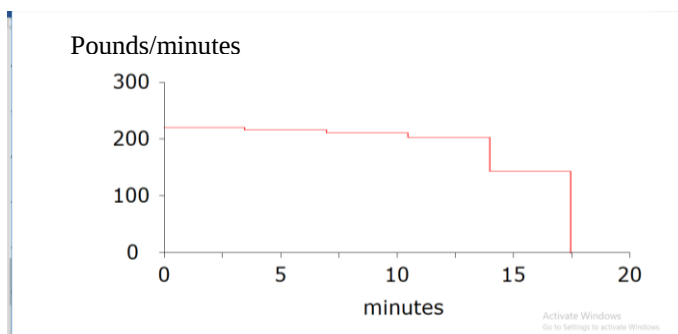
نمودار ۹. میزان غلظت بر حسب زمان از دامنه مناطق مورد تهدید و مقایسه سطح‌بندیهای موقعیت خطرناک در محل ۱۵۰۰متری پایین دست جریان، یک متری خارج از خط میانی

مقایسه محدوده غلظت‌های خطرناک در موقعیت‌های مختلفی از غلظت است. نمودار مورد نظر برای ۱۵۰۰متری پایین‌دست جریان که با نرم‌افزار ALOHA رسم شده، نشان‌دهنده این است که گاز انتشار یافته در دقیقه ۱۳ به این مکان خواهد رسید. در دقیقه ۱۳ میزان غلظت گاز در این مکان به میزان سطح خطر AEGL-1 می‌رسد و در دقیقه ۱۴ میزان غلظت گاز کلر در این مکان به میزان سطح خطر AEGL-2 می‌رسد و غلظت گاز کلر در دقیقه ۱۷ به میزان غلظت سطح بسیار خطرناک AEGL-3 می‌رسد و به اندازه ۱۸

دقیقه در این غلظت بسیار خطرناک پایدار می ماند که اوج این غلظت در دقیقه ۲۵ اتفاق می افتد که به ۴۲ppm نزدیک است. بعد از دقیقه ۲۵ میزان غلظت افت می کند به طوری که در دقیقه ۴۲ این میزان به صفر گرایش پیدا می کند. البته تا اینجا بحث در مورد غلظت در محوطه باز بود؛ اما برای محیط‌های بسته این میزان کاملاً متفاوت خواهد بود. همان طوری که در شکل ۳ - ۱۰ مشاهده می شود گاز کلر انتشار یافته بعد از دقیقه ۲۵ به محیط‌های بسته واقع در ۱۵۰۰ متری پایین دست جریان می رسد و به محیط بسته نفوذ خواهد کرد که حداکثر غلظت در محیط بسته ۴,۳ ppm است و نشان می دهد که غلظت گاز کلر در این محوطه به هیچ وجه به میزان غلظت در محیط باز نخواهد رسید (البته این حالت برای محیط‌هایی با تهویه کم است)؛ اما میزان پایداری گاز در چنین محیطی به دفعات بیشتر از پایداری گاز در محیط باز است.

میانگین انتشار آلاینده

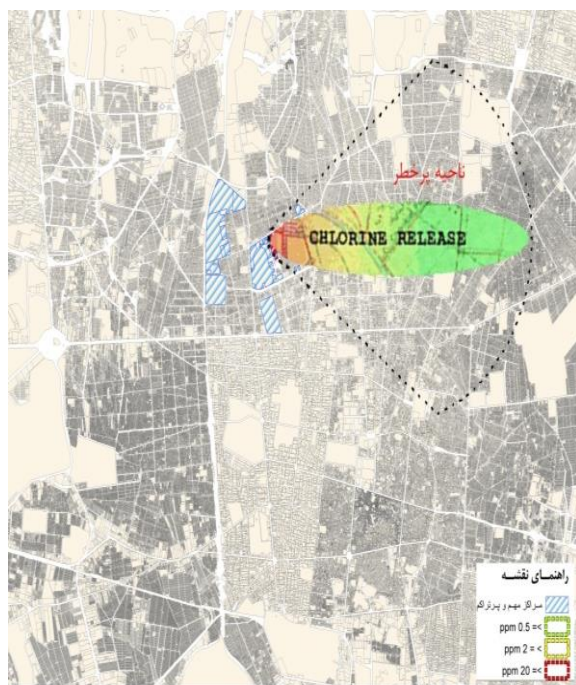
همان طور که در شکل شماره ۱۰ نشان داده شده است، میانگین میزان انتشار آلاینده در طول زمان انتشار ترسیم شده است. از زمانی که گاز کلر از درون مخازن تحت فشار آزاد می شود در ابتدای این فرایند میزان آزاد شده آلاینده زیاد است و با گذشت زمان افت می کند. بیشینه میزان انتشار آلاینده برابر با ۲۱۹ دقیقه / پوند است.



نمودار ۱۰. میانگین میزان انتشار آلاینده در طول زمان انتشار

بررسی دامنه انتشار گاز کلر

انتشار گاز کلر، تابعی مستقیم از جهت باد است (جعفرنیا، افشین و همکاران ۱۳۹۷). چگونگی انتشار گاز کلر با در نظر گرفتن جهت باد غالب در نقشه‌ها به‌طور کامل آورده شده است به‌طوری‌که شکل ۷ موقعیت تصفیه‌خانه جالاییه را، که کلر برای مصرف تصفیه آب در آن مکان نگهداری می‌شود با رنگ نارنجی مشخص کرده است. مناطق حساس و آسیب‌پذیری که در ناحیه پرخطر قرار گرفته است و خسارتهای وارده شده به این مناطق می‌تواند غیر قابل جبران باشد؛ شامل وزارت کشور و سازمان بازنشستگی کشور است.



شکل ۷. میزان غلظت کلر در فواصل مختلف در جهت باد غالب

پیشینه تحقیق

در مطالعه جعفرنیا و همکاران با استفاده از نرم‌افزار ALOHA به بررسی چگونگی میزان، سرعت انتشار و محدوده‌های مختلف خطر و جمعیت در معرض مخاطره پرداخته

شد. بررسیها نشان می‌دهد که انتشار گاز در صورت آسیب دیدن شیر یک‌اینچی خروجی مخزن، ممکن است تا شعاع ۱/۵ کیلومتری کشنده و تا شعاع پنج کیلومتری مؤثر باشد و تا ده کیلومتری حس شود. هم‌چنین مشخص شد که در دقیقه اول در فصل گرم حدود ۴۰۰ کیلوگرم و در فصل سرد ۳۳۰ کیلوگرم از گاز می‌تواند از سوراخی به قطر یک اینچ خارج شود. با توجه به امکان وقوع حادثه و محل قرارگیری ایستگاه در جهت باد غالب، آسیب رسیدن به تعداد زیادی از شهروندان ساکن در شعاع پنج کیلومتری ایستگاه محتمل است؛ از این‌رو کارهای مؤثری همچون آگاهی‌رساندن به ساکنان، افزایش آگاهی کارکنان و نیروهای امدادی، نصب اسکرابر مناسب و افزایش سطح ایمنی ایستگاه ضرورت دارد. در این مطالعه در فصل زمستان به دلیل پدیده وارونگی هوا در چند سال اخیر بویژه در شهر تهران فواصل خطر و غلظت انتشار گاز بیشتر از فصل تابستان است؛ چون همان‌طور که می‌دانیم در جو پایدارتر میزان گسترش گازهای سنگین از جو ناپایدار بسیار بیشتر است؛ زیرا حرکت جریان هوا در محور عمود بر سطح زمین کم است و توده آلودگی در محور افقی افزایش می‌یابد (فدرال ریجستر، ۲۰۰۸).

در مطالعه فاطمی و همکاران در سال ۱۳۹۴ به طراحی یک سناریوی حادثه شیمیایی در شورآباد شهر ری در استان تهران پرداخته شد. ناحیه مورد مطالعه تراکم زیادی کارخانه و انبارهای مواد شیمیایی دارد. در این تحقیق به طور خاص شبیه‌سازی انتشار گاز کلر در یک انبار کلر در شورآباد به علت وجود سابقه حوادث قبلی ناشی از انتشار این گاز در دیگر نقاط ایران و نیز استفاده گسترده از گاز کلر در روشهای صنعتی مختلف انتخاب شد. کل جمعیت تحت تأثیر ۳۰۰۰۰ نفر برآورد شد که به علت بی‌ثباتی و ناپایداری آب و هوا در زمستان و پاییز میزان جمعیت تحت تأثیر بیشتر برآورد گردید. تعداد افراد تحت تأثیر در انتشار گاز کلر در بهار، تابستان، پاییز و زمستان در فواصل ۴، ۶، ۸، ۶، ۶ و ۶، ۴ کیلومتری به ترتیب ۲۲۵۰۰، ۲۵۰۰۰، ۲۸۱۰۰ و ۲۷۵۰۰ تخمین زده شد. نتیجه‌گیری نشان داد که عوامل تأثیرگذار در آسیب‌پذیری انسانی باید مورد بررسی قرار گیرد تا پیامدهای زیانبار حوادث شیمیایی را کاهش دهد و طراحی یک برنامه پاسخ اضطراری چند سطحی نیز در منطقه مورد مطالعه ضرورت دارد (۳۵). در این مطالعه تعداد افراد تحت تأثیر در

انتشار گاز کلر در بهار، تابستان، پاییز و زمستان در فواصل ۹/۶، ۹/۸، ۲/۶ و بیشتر از ده کیلومتری به ترتیب ۷۹۴۰۰۰، ۷۷۰۰۰، ۱۵۱۲۰۰۰ و ۱۷۳۶۰۰۰ تخمین زده شد که نشان‌دهنده بافت شهری با تراکم جمعیت بیشتر و سازمانهای اداری و تجاری اطراف میدان فاطمی نسبت به بافت صنعتی شورآباد شهری است.

در مطالعه شهابی و همکاران در سال ۱۳۸۹ به الگوسازی انتشار ناگهانی گاز کلر در تصفیه خانه آب شماره ۱ تهران پرداخته شد. در این تحقیق شبیه سازی با نرم افزار ALOHA در فصل زمستان انجام شد. نتایج نرم افزار نشان داد که به شعاع یک کیلومتر از مرکز انتشار کلر، غلظت ابر کلر بیش از ۲۰ ppm، به شعاع ۳/۵ کیلومتر از مرکز انتشار کلر غلظت ابر کلر بیش از ۲ ppm و به شعاع ۴/۵ کیلومتر از مرکز انتشار کلر، غلظت ابر کلر بیش از ۰/۵ ppm است و در آخر پیشنهاد شد که تصفیه خانه آب جلالیه در آینده با استفاده از ظرفیتهای موجود، راهکارهایی به منظور جایگزینی شیوه های نوین تصفیه مانند استفاده از علم نانو، استفاده از اوزون به جای استفاده از کلر و یا انتقال تصفیه خانه به منطقه کم جمعیت را در دستور کار خود قرار دهد (۳۶)؛ اما در این مطالعه الگوسازی در چهار فصل سال انجام شد و در فصل زمستان نیز نشان داد که به شعاع ۲،۴ کیلومتر از مرکز انتشار کلر، غلظت ابر کلر بیش از ۲۰ ppm، به شعاع ۸،۳ کیلومتر از مرکز انتشار کلر غلظت ابر کلر بیشتر از ۲ ppm و به شعاع بیش از ده کیلومتر از مرکز انتشار کلر، غلظت ابر کلر از ۰/۵ ppm بیشتر است؛ این درحالی است که مکان جغرافیایی در هردو مطالعه یکسان بوده؛ اما زمان و شرایط آب و هوایی در این دو مطالعه متفاوت بوده است به طوری که نشان می دهد در ده سال اخیر به دلیل تغییرات اقلیم و افزایش پایداری هوا به دلیل پدیده وارونگی دز شهرهای صنعتی بویژه تهران در فصل زمستان عمق فاجعه از نظر غلظت و مسافت انتشار بیشتر است. با این تفاسیر به این نتیجه می‌رسیم که با توجه به متغیرهای دما و رطوبت، تغییرات اقلیم، پایداری هوا، جمعیت و نتایج متفاوت باید این الگوسازیها در دوره های پنجساله پیوسته انجام شود.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه پس از جمع‌آوری اطلاعات لازم به طراحی سناریوهای مختلف انتشار تصادفی گاز کلر اقدام شد. سپس از میان سناریوهای یک سناریوی محتمل انتخاب، و با بسته نرم افزاری CAMEO الگوسازی انتشار ناگهانی گاز کلر در تصفیه خانه آب جلالیه تهران در چهار فصل سال انجام شد. با توجه به اینکه در جو پایدارتر میزان گسترش گازهای سنگین از جو ناپایدار بسیار بیشتر است (زیرا حرکت جریان هوا در محور عمود بر سطح زمین کم است و توده آلودگی در محور افقی افزایش می‌یابد). در این مطالعه با توجه به پدیده وارونگی هوا در چند سال اخیر در شهر تهران پایداری هوا در فصل زمستان طبق داده‌های سازمان هواشناسی بیشتر از دیگر فصول بود در خروجی نرم افزار نیز بیشترین فواصل خطر، غلظت انتشار گاز، مساحت منطقه خطر و جمعیت در معرض خطر مربوط به فصل زمستان است و در ادامه طرح برنامه آمادگی و واکنش در حالت اضطرار در حادثه انتشار ناگهانی گاز کلر در تصفیه خانه آب جلالیه ارائه، و بر اساس نتایج الگوسازی، برنامه واکنش در حالت اضطرار تدوین شد.

باتوجه به این مطالب خطر نشت گاز کلر به عنوان یک ماده پر کاربرد در تصفیه خانه آب جلالیه، اجتناب ناپذیر است. اگر مناطق مورد تهدید هنگام نشت کلر در تصفیه خانه جلالیه را در یک نگاه کلی طبقه بندی کنیم، خواهیم دید که به شعاع ۲٫۴ کیلومتر از مرکز انتشار کلر، غلظت ابر کلر بیش از ۲۰ ppm به شعاع ۸٫۳ کیلومتر از مرکز انتشار کلر غلظت ابر کلر بیشتر از ۲ ppm و به شعاع بیش از ده کیلومتر از مرکز انتشار کلر، غلظت ابر کلر از ۰/۵ ppm بیشتر است. پیشنهاد می‌شود تصفیه خانه جلالیه در آینده با استفاده از ظرفیتهای موجود، راهکارهایی به منظور جایگزینی شیوه‌های نوین تصفیه مانند استفاده از علم نانو، استفاده از اوزون به جای استفاده از کلر و یا انتقال تصفیه خانه به منطقه کم جمعیت را در دستور کار خود قرار دهد. همچنین به کمیته کلر واقع در شرکت آب و فاضلاب شهر تهران توصیه می‌شود با استفاده از زنگ خطر یا هر شیوه مناسب دیگر اطلاع رسانی، تمامی مناطق در معرض خطر را از بروز انتشار کلر در هنگام نشت آن آگاه کند. از جمله مراکز با تراکم جمعیت که باید هنگام نشت کلر اطلاع‌رسانی شود عبارت

است از: ساختمانهای وزارت کشور، وزارت جهاد کشاورزی، شرکت آب و فاضلاب استان تهران، سازمان بازنشستگی کشور، هتل لاله، ساختمانهای مسکونی اطراف تصفیه خانه، بیمارستانهای خصوصی ساسان و پارس، ساختمانهای پزشکان و بانکهای واقع در بلوار کشاورز بین میدان ولیعصر تا انتهای بلوار کشاورز، پارک لاله، دانشگاه تهران، دانشگاه تربیت مدرس، بیمارستان امام خمینی، بیمارستان قلب، دانشکده علوم پزشکی (ارتش جمهوری اسلامی ایران) واقع در اتوبان چمران، نزدیک میدان توحید و مجتمع مسکونی سامان واقع در تقاطع بلوار کشاورز و خیابان حجاب. در ضمن با در نظر گرفتن جهت باد غالب، ساختمان وزارت کشور و همچنین سازمان بازنشستگی کشور از جمله مناطقی است که هنگام انتشار کلر (خواسته یا نا خواسته) در تصفیه خانه جلالیه در معرض میزان غلظت کلر از ۲۰ ppm الی ۱۰۰۰۰۰۰ ppm قرار می‌گیرد که این میزان از غلظت کلر بسیار خطرناک و کشنده است. به منظور آمادگی برای مقابله با خطر ناشی از نشت کلر در تصفیه خانه جلالیه، سازمانها، ارگانها، نهادها و ساختمانهای مسکونی که در معرض خطر نشت کلر قرار دارند، باید پدافند غیر عامل خود را فعال، و همچنین از طریق بروشورها و یا در صورت امکان، طی برگزاری مانورهای کارمندان و اهالی ساختمان ها را با خطر گاز کلر آشنا کنند و نیز راه های مقابله با آن را به آنها آموزش دهند. شرکت آب و فاضلاب شهر تهران می‌تواند با همکاری سازمان آتش‌نشانی برنامه ای از قبل تعیین شده برای حفاظت از کارکنان تصفیه خانه جلالیه و همچنین عموم مردم داشته باشند که به‌صورت عابر یا ساکن در منطقه پر خطر، هنگام نشت کلر (مناطق تهدید مشخص شده در این فصل) حضور دارند. داشتن واکنش مناسب هنگام رویارویی با این نوع حوادث، مستلزم نیروهای آموزش دیده و همچنین آماده کردن تجهیزات مناسب برای مقابله با انتشار کلر در محدوده انتشار در زمان بروز این حادثه است. رعایت نکات مرتبط با ایمنی انبار سازی کلر می‌تواند در کاهش احتمال ایجاد حوادث مرتبط تأثیر بسیار زیادی داشته باشد.

منابع

۱. احمدی، سیاوش؛ پورجوادی، علی (۱۳۸۲)، فرهنگ فشرده شیمی و مهندسی شیمی، تهران: مرکز نشر دانشگاهی.
۲. اسناد و مدارک از CD بانک اطلاعات، اداره پایگاه داده، کنترل کیفیت و مدیریت اطلاعات، تهران: سازمان هواشناسی کل کشور.
۳. ایستگاه قلهک، مرکز پایش آلودگی هوای استان تهران، اداره کل حفاظت محیط زیست تهران
۴. بروشور تصفیه‌خانه جلالیه (شماره یک) (۱۳۹۴)، معاونت بهره برداری، مدیریت نگهداری و بهره‌برداری تصفیه خانه‌ها، امور تصفیه‌خانه جلالیه.
۵. تصفیه‌خانه شماره ۱ جلالیه قابل دسترس در: <http://www.tpww.ir/fa/p44/p64>، تاریخ دسترسی ۶ فروردین ۱۳۹۹.
۶. جعفرنیا، افشین؛ خرم‌بخت، احمدعلی؛ قنبری، عبدالرسول (۱۳۹۷)، بررسی جغرافیایی مخاطره انتشار گاز کار در ایستگاه کلر زنی شرکت آبفا با استفاده از نرم افزار Aloha.
۷. چالکش امیری، محمد (۱۳۸۸)، اصول تصفیه آب، چ هفتم، تهران: انتشارات ارکان دانش.
۸. رشتچیان، داود؛ عبدالحمیدزاده، بهمن؛ بدری، ناصر، بررسی پیامد حوادث انتشار گازهای آمونیاک و کلر از مخازن نگهداری در پتروشیمی شیراز، مرکز طراحی فرایند، ایمنی و کاهش ضایعات، دانشگاه صنعتی شریف.
۹. رضازاده، حو؛ وفایی، و.؛ رمزآبادی، ش.؛ کرمی، ش.؛ فریدی، ش. (۱۳۹۳)، نحوه تدوین طرح واکنش در شرایط اضطراری.
۱۰. عباسپور م، منصوری ن (۱۳۸۲)، برنامه جامع کنترل خطرات زیست‌محیطی ناشی از حوادث شیمیایی علوم و تکنولوژی محیط زیست.
۱۱. عبدالمجید، بهمن؛ بدری، ناصر (۱۳۸۹)، ارزیابی کمی و کیفی ریسک در صنایع فرایندی و شرح روشهای شناسایی مخاطرات صنعتی با تمرکز بر روش، تهران: انتشارات اندیشه سرا.
۱۲. عدل، جواد؛ محمدفام، ایرج؛ نظام‌الدینی، زینب (۱۳۸۶)، ارزیابی خطر نشت گاز کلر در ایستگاه‌های کلر زنی سیستم آب آشامیدنی شهر تهران با روش تجزیه تحلیل درخت خطا، مجله علمی پزشکی، ۶(۴): ۴۷۸ - ۴۸۱.
۱۳. علی نژاد شهابی، رامین (۱۳۸۹)، سمینار بررسی انتشار گاز کلر در حوادث، دانشکده تحصیلات تکمیلی دانشگاه آزاد تهران جنوب، ۲۳ - ۴۷

۱۴. فاطمی ر، شهابی ب (۱۳۹۱)، ویژگی‌های شبیه‌سازی، تهران: انتشارات دانش.
۱۵. مرتضوی، سیدمحمد باقر و همکاران (۱۳۹۰)، بررسی انتشار گاز کلر از مخازن ذخیره به‌منظور تدوین برنامه واکنش در شرایط اضطراری در یک صنعت پتروشیمی، دانشگاه تربیت مدرس.
۱۶. مشیری، منوچهر (۱۳۷۷)، مرکز مدیریت بحران آب تهران، ترجمه و تنظیم دستورالعمل بسته‌بندی و حمل و نقل کلر، تهران: شرکت آبفای استان تهران.
۱۷. یوسفی، م؛ رشتچیان، د. (۱۳۹۰)، بررسی تحلیلی پیامد مخزن آمونیاک مجتمع پتروشیمی کرمانشاه. مهندسی شیمی ایران، ۱۰(۵۵).
۱۸. یونسلو، صادق (۱۳۸۸)، اصلاح الگوی مصرف آب چرا؟ و چگونه!، پژوهش فرهنگ.
19. Anne Wenck, Mary, Rapid Assessment of Exposure to Chlorine Released from a Train Derailment and Resulting Health Impact, Public Health Reports, Volume 122, 2007
20. Boppana V Ramabrahmam, G. Swaminathan. Disaster management plan for chemical process industries. Case study: investigation of release of chlorine to atmosphere. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2000; (13): 57-62
21. CSB, Investigation digest, DPC Enterprises Chlorine Release, u.s. chemical safety and hazard Investigation Board Festus, Missouri, August, 2002.
22. Duan W, Chen G, Ye Q, Chen Q. The situation of hazardous chemical accidents in China between 2000 and 2006. Journal of Hazardous Materials. 2011;186(2-3):1489-94.
23. Emergency planning, available at: <https://www.ccohs.ca/oshanswers/hsprograms/planning.html>, accessed march 2nd 2020
24. Emergency Response Plan, available at: <https://www.ready.gov/business/implementation/emergency>, accessed march 3rd 2020.
25. Federal Register, 49CFR Parts 171, 173, 174, and 179, Part V, Hazardous Materials: Improving the Safety of Railroad Tank Car Transportation of Hazardous Materials; Proposed Rule, April 1, 2008
26. Government of Saskatchewan, "Guidelines for Chlorine Gas Use in Water and Wastewater Treatment", EPB 265, 2004 Revision
27. Hanna S.R, Hansen O.R, Ichard M, Strimaitis D. CFD model simulation of dispersion from chlorine railcar releases in industrial and urban areas. Atmospheric Environment. 2009;43(2). 2. 62-70
28. 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.

29. Implementation, Disaster Management Act (57 of 2002), available at: <https://www.ready.gov/business/implementation>, accessed March 2nd 2020
30. John Wiley & Sons, Inc. White's Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants, 5th edition, by Black & Veatch Corporation Copyright © 2010, pages 22-37
31. Lowry G G, Lowry C R Lowrys' Handbook of Right-to-Know and Emergency Planning, 1988, 12-32
32. Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering Treatment and Reuse, Mc Graw Hill ,2004.
33. Mind, L. History of the manufacture of chlorine. Journal of the Society of Chemical Industry (London) 1896; 713
34. Monarch F, Clay M. Major Chemical Accidents in Industrializing Countries: The Socio-Political Amplification of Risk. Risk Analysis. 1996;16(1):19-29. Risk Analysis. 1996;16(1):19-29
35. O'Mahony Mary T, Doolan Donal, O'Sullivan Alice, Hession Michael. Emergency planning and the Control of Major Accident Hazards (COMAH/Seveso II) Directive. Journal of Hazardous Materials. 2008; (154):355-356.
36. Palaszewska A. Releases of dangerous chemicals in poland in 2005 in the context of the Hazardous Substances Emergency Events Surveillance (HSEES) system developed in the US. International Journal of Occupational Medicine & Environmental Health. 2008;21(4):277-88
37. PHuman Resource Management for SA Grobler, 2003
38. Pocchiari F, Silano V. Contingency planning for and response to emergencies and accidents involving toxic chemicals. Chemosphere. 1983;12(4-5):745-8
39. Safety Bulletin U.S. Chemical Safety And Hazard Investigation Board, "Emergency Shutdown Systems For Chlorine Transfer", No. 2005-06-I-LA| June 2007, Wwww.Cal-Osha.Com/Download.Asp?Id=80162&Langtype=1033
40. Sengul H, Santella N, Steinberg L.J, Chermak C. Accidental hazardous material releases with human impacts in the United States: exploration of geographical distribution and temporal trends. Journal of Occupational & Environmental Medicine. [Research Support, U.S. Gov't ,Non-P.H.S.]. 2010,52(9):920-5
41. Steven Hanna1 And Joseph Chang, "Gaps In Toxic Industrial Chemical (Tic) ModelSystems", 2008 available at: http://www.harmo.org/Conferences/Proceedings/_Cavtat/Pdf, accessed at march 2nd 2020.
42. Tehran maps, available at: <https://www.google.com/maps>, accessed at 7th march 2020.
43. Tsenga J M, Liub M Y, Chang R H, Sud J L, Shu C M. Emergency response plan of chlorine gas for process plants in Taiwan. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2008; (21): 393-399
44. www.weatsher.ir/Farsiwww.irimet.net/irimo/publications/metrayaneh.pdf

45. Zhang H.D, Zheng X.P. Characteristics of hazardous chemical accidents in China: A statistical investigation. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2012;25(4):686-93

