

## بررسی جغرافیایی مخاطره انتشار گاز کلر در ایستگاه کلرزی شرکت آبفا با استفاده از نرم افزار Aloha (مطالعه موردی: ایستگاه لار)

افشین جعفرنیا (jafarniaafshin@gmail.com)

دانشجوی دکتری جغرافیا، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان، ایران

احمدعلی خرمبخت\*

استادیار گروه جغرافیا، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان، ایران

عبدالرسول قنبری (dr.ghanbari121@yahoo.com)

استادیار گروه جغرافیا، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان، ایران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۷/۱۲/۳ - تاریخ پذیرش ۱۳۹۷/۱۲/۲۶)

### چکیده

کلر، گازی سمی و اکسیدکننده است که در ایران برای تصفیه آب آشامیدنی از آن استفاده می‌شود. بررسی نکردن تأثیر نشت گاز یا انفجار مخزن، ممکن است آسیب‌های جبران‌ناپذیری به کارکنان و ساکنان اطراف ایستگاه وارد آورد. تا کنون پژوهشی درباره این مسئله در شهر لار صورت نگرفته است. در این تحقیق، انتشار گاز کلر از مخزن یک‌تنی ایستگاه کلرزی لار بررسی شده است. برای این کار با استفاده از نرم‌افزار Aloha به بررسی نحوه، 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 ۵ کیلومتری مؤثر باشد و تا ۱۰ 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 ۵ کیلومتری ایستگاه محتمل است. از این‌رو کارهای مؤثری همچون آگاهی رسانی به ساکنان، افزایش آگاهی کارکنان و نیروهای امدادی، نصب اسکرابر مناسب و افزایش سطح ایمنی ایستگاه ضرورت دارد.

**واژه‌های کلیدی:** بحران، برنامه واکنش در شرایط اضطراری، تصفیه‌خانه‌های آب، گاز کلر.

## مقدمه

نشت مواد شیمیایی تهدیدی جدی برای کیفیت هوا و ایمنی ساکنان نزدیک محل نشت است [۲۴]. با وجود تلاش فراوان کارخانه‌ها و صنایع برای مدیریت ایمن مواد شیمیایی، بروز حوادث ویرانگر و کشنده همواره محتمل است [۱۲]. بروز حوادث در بسیاری از موارد، پیش‌بینی‌پذیر نیست و نمی‌توان از آنها اجتناب ورزید. آمادگی برای پاسخ به این بحران‌ها در زمان و مکان بروز، مستلزم شناخت و ارزیابی مکان‌های پرخطر است. بروز حادثه در نقاط پرتراکم، دامنه تأثیرات مخرب گسترده‌تری را در جامعه به همراه دارد. نخستین تأثیر حادثه، در محل بروز و محیط اطراف آن مشاهده خواهد شد. خسارت‌های ناشی از این حوادث، به حد گسترش آنها بستگی دارد و پاسخ مناسب به این شرایط، نیازمند هماهنگی مناسب افراد و مؤسسات محلی است. این کار زمانی ممکن خواهد بود که آگاهی جامعه از احتمال خطر و نیاز به آمادگی متقابل برای مقابله با آن افزایش یابد [۳].

در کشور ما با توجه به اهمیت خطرهای مواجهه با مواد شیمیایی و تأثیرات ویرانگر آن، به‌طور کلی برنامه‌ای مدون برای واکنش در شرایط اضطراری و سطح ریسک و دامنه انتشار آنها به صورتی که در کمترین زمان ممکن بیشترین اثربخشی را داشته باشد وجود ندارد [۱۷]. یکی از مواد بسیار آسیب‌زا که امروزه کاربرد گسترده‌ای در صنعت دارد گاز کلر است. تعداد زیادی از حوادث بزرگ صنعتی در قرن گذشته مربوط به انتشار این گاز سمی در محیط بوده است [۱۴]. کلر در ساخت مواد پلاستیکی یا مواد دیگر و نیز در تصفیه آب و فاضلاب، ساخت مواد سردکننده و براق‌کننده، حشره‌کش‌ها، داروها، ضدعفونی‌کننده‌ها، سفیدکننده‌ها و دیگر محصولات مصرفی به‌کار گرفته می‌شود [۲۶]. یکی از موارد انتشار گاز کلر در ایران در شهر دزفول و در مرداد ۱۳۹۶ بود که نشت گاز از سیلندرهای شرکت آبیاری قدیم به حادثه انجامید. این حادثه ۵۰۹ مصدوم بر جای گذاشت [۴]. بنابراین در صورت امکان باید به‌جای کلرزنی، از شیوه تصفیه با ازن که روشی مدرن، بی‌خطر و مؤثرتر است استفاده کرد. ازن به‌دلیل داشتن خواص ویژه، نزدیک به یک قرن است که در کشورهای اروپایی، به‌عنوان گندزدا در آب آشامیدنی استفاده می‌شود. ازن اولین بار در سال ۱۸۹۳ در کشور هلند و برای تصفیه‌خانه‌ای که از آب رودخانه راین تغذیه می‌کرد، به‌کار گرفته شد. امروزه بیش از هزار تصفیه‌خانه آب، از ازن به‌عنوان بخشی از تصفیه شیمیایی استفاده می‌کنند که اغلب آنها در کشورهای غربی به‌ویژه فرانسه، سوئیس و کانادا قرار دارند. بزرگ‌ترین تأسیسات گندزدایی با ازن در پاریس و مونترال به‌کار گرفته شده است [۷].

انتشار کلر در محیط می‌تواند به دلیل دو عامل غیرعمدی (نقص فنی در فرایند، سوراخ شدن مخازن تحت فشار یا اختلاط مواد شیمیایی دیگر با کلر به دلیل اطلاع نداشتن از خواص آن) یا عمدی (عملیات تروریستی و خرابکارانه) صورت گیرد. از این‌رو برای کاهش این مخاطرات باید راه‌چاره‌ای جست [۲۲]. یکی از راهکارها، مدل‌سازی به‌وسیله نرم‌افزار است که روشی سریع و دقیق برای پیش‌بینی حد گسترش دامنه رهاش مواد و شبیه‌سازی پیامدهای آن است. از آنجا که مدل‌های ریاضی موجود برای مدل‌سازی پیامد، دارای محاسباتی پیچیده و بسیار زمان‌برند، به‌کارگیری نرم‌افزارهای شبیه‌سازی در این مرحله اهمیت خاصی پیدا می‌کند و به دلیل اینکه ارزیابی پیامد خطرهای همچون رها شدن مواد شیمیایی پرخطر در محیط، از ضروری‌ترین و اصلی‌ترین مراحل افزایش ایمنی در واحدهای موجود یا در حال طراحی است، اهمیت استفاده از نرم‌افزاری با قابلیت‌های بیشتر، دوچندان می‌شود. هدف از ارزیابی پیامد، تعیین شدت خطرها و تلفات احتمالی ناشی از حوادث آتش‌سوزی، انفجار و پخش مواد سمی است [۱۰].

پس از مدل‌سازی حوادث احتمالی در یک فرایند، نوبت به ارزیابی آثار و پیامدهای آن حوادث می‌رسد. این حوادث را می‌توان به دو دسته پیامدهای ناشی از سمی بودن مواد رها شده در محیط و پیامدهای ناشی از انفجار این مواد تقسیم کرد. یکی از اطلاعات لازم در ارزیابی پیامد حوادث فرایندی، معیارهای آسیب‌پذیری است که با استفاده از آنها، پس از مرحله مدل‌سازی سناریو، برای تحلیل شدت آسیب‌های محتمل، باید هریک از پیامدها را با استانداردهای بیانگر شدت آسیب مقایسه کرد [۱].

با توجه به قرارگیری مخزن گاز کلر در نزدیکی شهر لار و موقعیت آن که در جهت بادهای غالب منطقه و همچنین در ارتفاع بیشتری از شهر است، بررسی امکان نشت این گاز به شدت سمی و خطرناک ضرورت دارد. به همین منظور هدف از این تحقیق، بررسی سناریوهای ممکن رهاش گاز کلر در ایستگاه کلرزی آبفا است. یکی از حوادث بسیار محتمل، امکان شکستن و نشت گاز از لوله‌های با قطر یک اینچ خروجی مخزن است. در این تحقیق، به بررسی وقوع این اتفاق در فصل تابستان پرداخته شده است.

### پیشینه تحقیق

در طی سال‌های اخیر بررسی‌هایی در زمینه انتشار کلر صورت گرفته است. به‌عنوان مثال رامابراهمن و سوامیناتان (۲۰۰۰) بر روی یک واحد ذخیره‌سازی کلر تحقیقی انجام دادند. پس از مطالعه ریسک‌های فرایندی، الگویی کلی برای برنامه واکنش در شرایط اضطراری ارائه شد.

الگوی ارائه شده مفید، اما کلی بود و سطوح اضطرار برای سناریوهای مختلف رهایش در آن مشخص نشد [۲۰].

هورنگ و همکاران (۲۰۰۵) در مقاله‌ای از تحلیل پیامد در زمینه برخی خطرهای عملیات کلر و اثرهای احتمالی آنها بر محله‌ها در مرکز تایوان استفاده کردند. یافته‌ها نشان داد که سیستم‌های کاهش چندلایه و محدودیت‌های عملیاتی، باید به منظور اعمال اقدامات و حفاظت دقیق‌تر اجرا شوند. با این حال، هیچ تنظیم خاصی برای کارخانه‌های کلرین در مکان‌های مختلف مانند پارک‌های صنعتی یا مناطق مسکونی وجود نداشت [۱۶].

آوندریو و همکاران (۲۰۰۶) انتشار کلر را در مقیاس کوچک و به‌طور تجربی آزمایش کردند و سپس به مدل‌سازی نتایج به‌دست‌آمده با سه نوع مدل انتشار اعم از دو مدل باکس و یک مدل گوسی پرداختند [۱۳].

ماهونی و همکاران (۲۰۰۸) الگویی را برای مشخص کردن مناطق انجام گرفتن واکنش در شرایط اضطراری، با عنوان مناطق داغ<sup>۱</sup>، گرم<sup>۲</sup> و سرد<sup>۳</sup> با نرم‌افزار Arial Location Of Hazardous (ALOHA) در اطراف محدوده انتشار گازهای سمی ارائه کردند که بر پایه راهنماهای سطوح مواجهه<sup>۴</sup> بود [۱۹].

تسنگ و همکاران (۲۰۰۸) در تحقیقی، مراحل مختلف برنامه واکنش در شرایط اضطراری و مواجهه با گاز کلر در کارخانه‌های فرایندی در تایوان را بررسی کردند، اما از هیچ روش ارزیابی ریسک فرایندی استفاده نکردند، سناریوهای رهایش را مشخص نکردند و شعاع آسیب‌رسانی کلر در هنگام رهایش در محیط، تعیین نشده بود [۲۳].

مرتضوی و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی با عنوان بررسی انتشار گاز کلر از مخازن ذخیره به‌منظور تدوین برنامه واکنش در شرایط اضطراری در یک صنعت پتروشیمی، به ارزیابی رهایش ناگهانی گاز کلر در یکی از مجتمع‌های پتروشیمی در منطقه ماهشهر پرداختند و دریافتند که تجزیه و تحلیل خطرهای فرایندی به‌صورت سیستماتیک با استفاده از روش شناسایی خطرها مانند HAZOP و آنالیز پیامد، می‌تواند در شناسایی حوادث احتمالی بزرگ تأثیر اساسی داشته باشد؛ همچنین با دسته‌بندی سناریوهای رهایش در یکی از سطوح اضطرار CCPS می‌توان الگویی بهینه برای مدیریت شرایط اضطراری انتخاب کرد [۱۱].

- 
1. Hot zone
  2. Warm zone
  3. Cold zone
  4. Acute Exposure Guideline

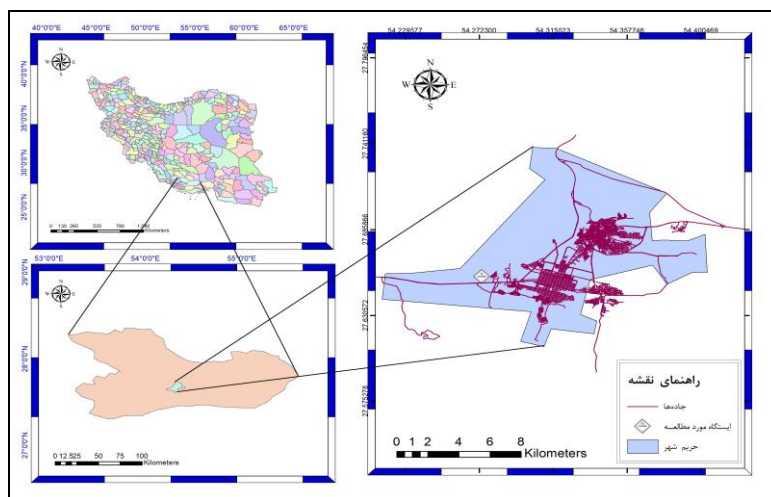
جواد عدل و همکاران (۱۳۸۶) به ارزیابی خطر نشت گاز کلر در ایستگاه‌های کلرزی سیستم آب آشامیدنی شهر تهران با روش تجزیه و تحلیل درخت خطا پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که با اصلاح ایرادهای اساسی ایستگاه‌ها یا طراحی این ایستگاه‌ها بر مبنای استاندارد، احتمال وقوع حادثه کاهش چشمگیری می‌یابد [۹].

صالحی آریمانی و همکاران (۱۳۹۰) در مقاله‌ای به مدل‌سازی و ارزیابی ریسک انتشار گاز کلر در تصفیه‌خانه‌های آب پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که بهترین راهکار کاهش خطر انتشار، مکان‌یابی مناسب و تغییر شیوه تصفیه آب از روش کلرزی به روش تصفیه با ازن است [۳].

بررسی تحقیقات پیشین مشخص کرد که پژوهشی در خصوص مخاطرات انتشار گاز کلر در شهر لار انجام نگرفته است؛ از این رو در این پژوهش تلاش شد با استفاده از نرم‌افزار Aloha و گردآوری داده‌های مربوط، مخاطرات انتشار گاز کلر از ایستگاه کلرزی آب شهر لار بررسی شود.

### محدوده تحقیق

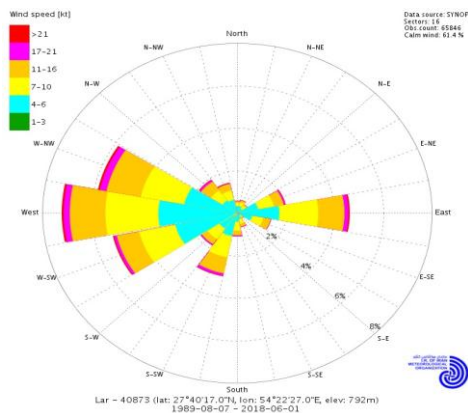
این پژوهش در شهر لار (شکل ۱) انجام پذیرفت که حدود جغرافیایی آن از ۲۷ درجه و ۴۱ دقیقه و ۳۷ ثانیه تا ۲۷ درجه و ۴۸ دقیقه و ۱۸ ثانیه شمالی و ۵۴ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۲۷ دقیقه و ۶ ثانیه طول شرقی است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهر لار (منبع: نگارندگان)

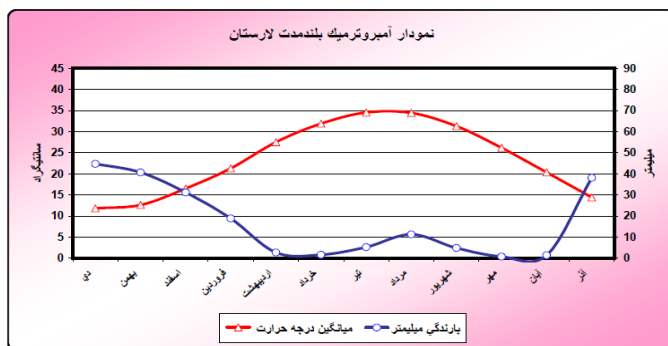
شهر لار از شمال به شهر دهکویه، از شرق به شهر لطیفی و روستای براک و از جنوب به شهر خور و ارتفاعات طافدیس گچ محدود می‌شود. این شهر در یک دشت ناودیسی باریک و طویل در جنوب استان فارس استقرار یافته است [۲].

لار با جمعیت ۶۲۰۴۵ نفر به‌عنوان بزرگ‌ترین مرکز سکونتی لارستان (در جنوب استان فارس) با ارتفاع متوسط ۹۱۵ متر از سطح دریا در سیستم زاگرس چین‌خورده و در دشت لار قرار دارد. شهر قدیم یا شهر تاریخی و باستانی لار در شمال غرب دشت قرار داشت و شهر جدید لار پس از رخداد زلزله سال ۱۳۳۹ و ویرانی شهر قدیم بر روی مخروط‌افکنه تنگ اسد در جنوب دشت لار به وجود آمد. تا سال ۱۳۳۵ حتی یک خانه مسکونی در روی این مخروط‌افکنه ساخته نشده بود. در حال حاضر نه فقط مخروط‌افکنه تنگ اسد به‌طور کامل با تأسیسات شهری اشغال شده است، بلکه آپارتمان‌سازی در داخل دره تنگ اسد با وجود عرض بسیار محدود دره و خطر سیل، به‌طرف کوه صورت گرفته و ادامه پیدا کرده است. از طرف دیگر این دو شهر در جهت شمالی و جنوبی به‌سمت یکدیگر توسعه می‌یابند و در آینده به‌طور کامل به یکدیگر متصل خواهند شد [۵]. نظر به اینکه انتشار گاز کلر، تابعی مستقیم از جهت باد است [۱۵]، به‌منظور بررسی نحوه و مقدار انتشار گاز کلر، به اطلاعات هواشناسی نیاز است. بدین منظور نمودار گلباد شهر لار ارائه شد که گویای جهت و سرعت بادهای غالب منطقه است (شکل ۲). همچنین سیمای کلی شاخص‌های اقلیمی حرارت و رطوبت این شهر به‌صورت نمودار آمبروترمیک استخراج و ارائه شده است (شکل ۳).



شکل ۲. گلباد لار

(منبع: سایت سازمان هواشناسی کشور)



شکل ۳. نمودار آمیروترمیک لار (منبع: سایت سازمان هواشناسی کشور)

### مواد و روش

به منظور بررسی خطرهای انتشار گاز کلر و محاسبات نحوه انتشار، میزان پراکندگی و شعاع آسیب رسانی، به جمع آوری داده‌هایی شامل خواص فیزیکی و شیمیایی گاز کلر، وضعیت آب‌وهوایی منطقه، اطلاعات محل ذخیره‌سازی و استفاده از گاز، نوع مخزن ذخیره‌سازی، شکل، اندازه و ظرفیت مخزن نیاز است. ابتدا اطلاعات آب‌وهوایی منطقه از طریق سالنامه آماری سازمان هواشناسی استخراج شد؛ سپس با مراجعه به محل ایستگاه، اطلاعات مربوط به محل مخزن و نوع آن جمع‌آوری شد.

از آنجا که مدل‌های ریاضی موجود برای مدل‌سازی پیامد دارای محاسبات پیچیده و بسیار زمان‌برند، به کارگیری نرم‌افزارهای شبیه‌سازی در این مرحله اهمیت خاصی پیدا می‌کند. ALOHA یکی از نرم‌افزارهای رایگان در زمینه بررسی انتشار آلاینده‌ها در محیط است. این نرم‌افزار را سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا برای مدل‌سازی حوادث ناشی از رهائش مواد سمی و منفجره یا آتش‌سوزی و انفجار و پیامد آنها عرضه کرده است. نرم‌افزار دارای بانک اطلاعاتی بسیار غنی (اطلاعات بیش از هزار ماده شیمیایی) و محیطی ساده برای جلوگیری از اشتباهات کاربر است [۱۸]. از قابلیت‌های دیگر آن می‌توان به امکان ارتباط با دیگر نرم‌افزارها همچون GIS، Google Earth و دسترسی سریع به اطلاعات شیمیایی مواد و ارائه دستورالعمل‌های استاندارد نحوه مواجهه با شرایط بحرانی ناشی از انتشار مواد مختلف اشاره کرد.

در ادامه به منظور مدل‌سازی نحوه انتشار، سرعت انتشار، میزان پراکندگی و شعاع اثرگذاری، از این نرم‌افزار مفید و کاربردی بهره‌برداری شد که یک روش سریع و دقیق برای پیش‌بینی میزان گسترش دامنه رهائش مواد و شبیه‌سازی پیامدهای آن است.

## اطلاعات شیمیایی گاز کلر

نام شیمیایی: کلر

وزن مولکولی: کیلوگرم مول / کیلوگرم ۷۰/۹۱

کمترین غلظت قابل تشخیص آلاینده TLV-TWA: ۰,۵ ppm

حداقل غلظت خطرناک برای سلامت IDHL: ۱۰ ppm

غلظت مضر FLC: ۱۰ ppm

دمای جوش: ۳۴,۰۳- درجه سانتی‌گراد

فشار بخار در دمای محیط: بیش از یک اتمسفر [۲۵].

## اطلاعات محل ایستگاه ذخیره‌سازی و استفاده از گاز

ایستگاه در اتاقی کوچک و در محیطی قرار دارد که اطراف آن هیچ ساختمان یا درختی نیست. قطر کپسول ۰,۸ متر و طول آن ۱,۸ متر است که به شکل یک استوانه خوابیده است. این کپسول حاوی هزار لیتر کلر است که در حالت مایع قرار دارد و در دمای محیط نگهداری می‌شود. قطر لوله خروجی مخزن یک اینچ است که در ارتفاع چهل سانتی‌متری از کف مخزن قرار دارد.

## معیارهای سنجش شدت خطر تماس با مواد خطرناک

تماس با گاز کلر در غلظت ۱۴-۱۲ ppm به مدت نیم ساعت تا یک ساعت برای انسان خطرناک است و غلظت ۱۰۰ ppm را بیش از یک دقیقه نمی‌توان تحمل کرد [۶]. در وضعیت عادی اگر ۱۰ تن کلر در هوا منتشر شود، در محدوده ۲ کیلومتری منبع، غلظت ۱۴۰ ppm و در محدوده ۵ کیلومتری منبع، غلظت ۱۵ ppm ایجاد خواهد شد که با توجه به استفاده از کلر در مناطق شهری و تراکم جمعیت در شهرهای بزرگ، عمق فاجعه به وضوح روشن است [۲۱]. به منظور تعیین معیاری دقیق برای مواجهه با خطر ناشی از مواد مختلف معیارهای مختلفی از جمله AEGL و ERPG تعریف شده که در این پژوهش شدت خطر با معیار AEGL سنجیده شده است.

معیار AEGL: این معیار دستورالعملی برای مواجهه با سطوح بحرانی است که توسط برنامه‌ریزان و پاسخ‌دهندگان در سراسر جهان به عنوان راهنمای برخورد با مواد شیمیایی با قابلیت انتشار استفاده می‌شود که ممکن است تأثیرات بهداشتی بر افراد داشته باشد و به سه سطح مختلف تقسیم می‌شود. این معیار را سازمان EPA در سه سطح و با توجه به زمان مواجهه تعریف کرده است [۱۸].

سطح اول AEGL: غلظت هوا بر از هر ماده شیمیایی که پیش‌بینی می‌شود افراد عادی و حساس جامعه در مواجهه با بیشتر از آن غلظت، ناراحتی، تحریک و اثرهای غیرحسی بدون



علائم خاص را تجربه کنند. این اثرها ناتوان کننده نیستند و گذرا هستند و با قطع مواجهه برطرف می‌شوند. این معیار برای گاز کلر ppm ۰/۵ در ۶۰ دقیقه است [۱۸].

سطح دوم AEGL: غلظت هوابرد از هر ماده که پیش‌بینی می‌شود افراد عادی و حساس جامعه در مواجهه با بیشتر از آن غلظت، دچار عوارض جدی و درازمدت شوند و توانایی فرار نداشته باشند. این معیار برای گاز کلر ppm ۲ در ۶۰ دقیقه است [۱۸].

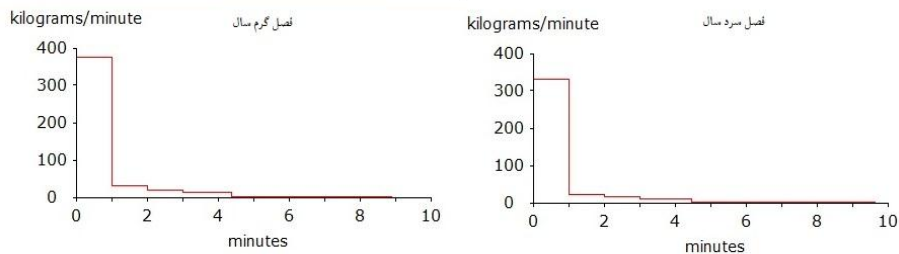
سطح سوم AEGL: غلظت هوابرد از هر ماده که پیش‌بینی می‌شود افراد عادی و حساس جامعه در مواجهه با بیشتر از آن غلظت دچار عوارض بسیار جدی و آسیب‌رسان شوند. این معیار برای گاز کلر ppm ۲۰ در ۶۰ دقیقه است [۱۸].

### بحث و یافته‌ها

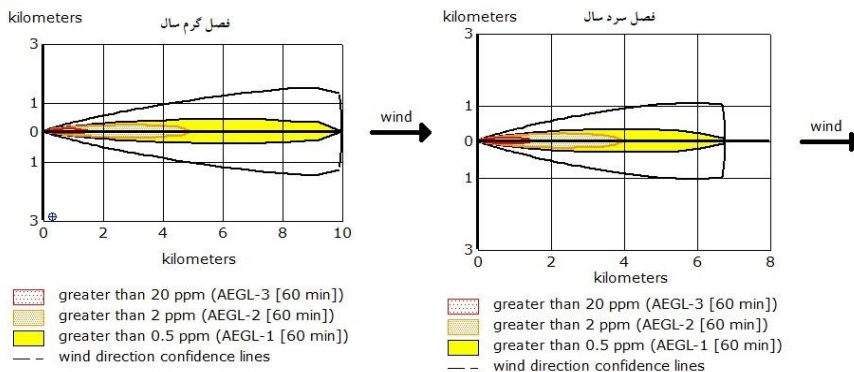
همان‌طور که پیشتر اشاره شد، مهم‌ترین معیار مؤثر در میزان انتشار و پراکندگی گاز، سرعت باد و دمای هواست؛ بنابراین با توجه به شرایط اقلیمی منطقه، به محاسبات در دو فصل سال (گرم و سرد) پرداخته شد. با توجه به جدول میانگین‌های اقلیمی، برای فصل گرم، متوسط دما ۳۴٫۴ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۳۵ درصد، سرعت باد ۱۶ متر بر ثانیه و جهت وزش باد غربی، و در فصل سرد، متوسط دما ۱۱٫۸ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۶۰ درصد، سرعت باد ۹ متر بر ثانیه و جهت وزش باد غربی در نظر گرفته شد. همچنین پوشش ابر ۵ درصد و شکستگی در شیر خروجی مخزنی که دارای قطر یک اینچ است، منظور شد. با توجه به محاسبات صورت‌گرفته در نرم‌افزار، مشخص شد که بیشتر موجودی مخزن یک‌تنی، به‌طور تقریبی در هر دو فصل سرد و گرم در کمتر از ۵ دقیقه تخلیه می‌شود. میانگین سرعت تخلیه ۳۹۰ کیلوگرم در دقیقه است، اما در دقیقه نخست در فصل گرم حدود ۴۰۰ کیلوگرم و در فصل سرد حدود ۳۳۰ کیلوگرم از موجودی مخزن تخلیه می‌شود (شکل ۴).

همچنین خروجی دیگر نرم‌افزار، شعاع انتشار گاز و غلظت آن در زمان ۶۰ دقیقه است و نشان می‌دهد که غلظت در فصل گرم سال در محدوده ۱٫۵ کیلومتری به ppm ۲۰، در محدوده ۵ کیلومتری به ppm ۲ و در محدوده ۱۰ کیلومتری به ppm ۰٫۵ می‌رسد. در فصل سرد سال غلظت در محدوده ۱٫۴ کیلومتری به ppm ۲۰، در محدوده ۴ کیلومتری به ppm ۲ و در محدوده ۶٫۸ کیلومتری به ppm ۰٫۵ می‌رسد (شکل ۵).

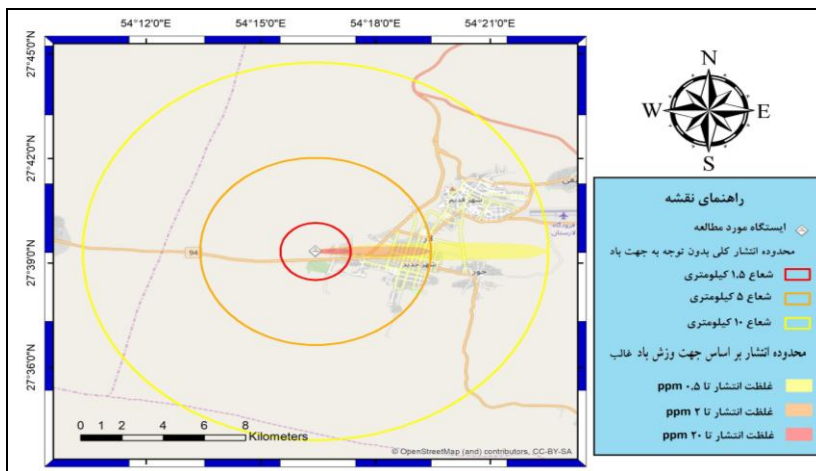
با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده می‌توان داده‌ها را بر روی نقشه شهر براساس جهت وزش باد غالب و همچنین به‌صورت کلی و بدون توجه به جهت وزش باد پیاده کرد تا محدوده‌ای که امکان دارد در اثر این اتفاق تحت تأثیر قرار گیرد مشخص شود (شکل‌های ۶ و ۷).



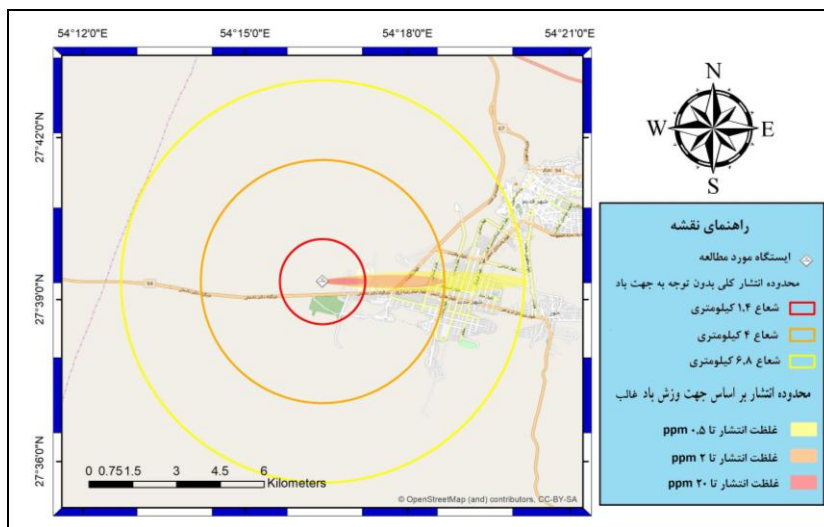
شکل ۴. نمودار سرعت تخلیه مخزن (منبع: خروجی نرم افزار Aloha)



شکل ۵. شعاع انتشار و غلظت گاز کلر (منبع: خروجی نرم افزار Aloha)



شکل ۶. محدوده انتشار گاز کلر در فصل گرم (منبع: نگارندگان)



شکل ۷. محدوده انتشار گاز کلر در فصل سرد (منبع: نگارندگان)

### نتایج و پیشنهادات

از یافته‌های پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که انتشار گاز کلر در صورت آسیب دیدن شیر خروجی آن در فصل گرم سال نسبت به فصل سرد به‌طور کلی دارای گستردگی بیشتری خواهد بود؛ اما شایان ذکر است که در هر دو فصل سال کاربری‌های مهم همچون تنها بیمارستان شهر، دانشگاه آزاد، محدوده مسکن مهر، بزرگ‌ترین ورزشگاه شهر و تعداد زیادی از ادارات مهم شهر در محدوده انتشار خطرناک قرار می‌گیرند. همچنین این محدوده، مهم‌ترین محورهای مواصلاتی بین دو شهرستان لارستان و گراش (بزرگراه دکتر دادمان) را شامل می‌شود که همواره ترافیک زیادی دارد. با توجه به محل قرارگیری ایستگاه در جهت باد غالب منطقه و محدوده انتشار تا میزان 2 ppm، مشخص شد که کل محدوده شهر جدید لار در معرض خطر انتشار گاز است و امکان آسیب‌دیدگی تعداد زیادی از شهروندان ساکن در شعاع 5 کیلومتری ایستگاه وجود دارد؛ از این رو اقداماتی مؤثر همچون آگاهی‌رساندن به ساکنان، افزایش آگاهی کارکنان و نیروهای امدادی، نصب اسکرابر مناسب و افزایش ایمنی ایستگاه ضروری است. با توجه به محاسبات، نمودارها و نقشه‌ها مشخص می‌شود که در شعاع 1.5 کیلومتری انتشار، وضعیت بسیار خطرناک و کشنده خواهد بود و تا شعاع 5 کیلومتری امکان بروز عوارض جدی و بلندمدت برای افراد وجود دارد و توانایی فرار را از آنان سلب می‌کند. با

توجه به احتمال بسیار زیاد وقوع چنین بحرانی، باید ابتدا در ایستگاه‌های کلرزی اسکراب‌های مناسب نصب شود و کارکنان ایستگاه، برای مواجهه با این وضعیت، آموزش ببینند. شایان ذکر است که با توجه به سرعت تخلیهٔ موادی مانند گاز کلر، امکان رسیدن به‌موقع دیگر نیروهای امدادی به محل وجود ندارد؛ از این‌رو، باید تجهیزات لازم برای کارکنان و نگهبانان در محل فراهم شود تا در صورت وقوع، اعلام هشدار و پاسخ سریع و مناسب توسط آنان ممکن باشد. به نظر می‌رسد لازم است سامانه‌های هشدار برای محدوده‌های در خطر نصب شود و چگونگی مواجههٔ افراد با چنین وضعیتی به آنان آموزش داده شود.

### منابع

- [۱]. احمدپور، امین (۱۳۹۰). «ارزیابی پیامد انتشار گاز اتان با استفاده از نرم‌افزار ALOHA»، هفتمین همایش سراسری بهداشت حرفه‌ای دانشگاه علوم پزشکی قزوین.
- [۲]. انصاری لاری، احمد؛ و صدری‌زاده، مهین‌تاج (۱۳۸۹). «نقش کاربری بهینهٔ زمین در توسعهٔ شهر لار»، *آمایش محیط*، ش ۹، ص ۷۹-۹۶.
- [۳]. آرتیمانی، جواد؛ شامی‌زاده، هادی؛ علی‌نژاد شهابی، رامین؛ و ارجمند، مهدی (۱۳۹۰). «مدل‌سازی و ارزیابی ریسک انتشار گاز کلر در تصفیه‌خانه‌های آب»، *کاربرد شیمی در محیط زیست*، دوره ۳، ش ۹، ص ۳۹-۵۰.
- [۴]. باشگاه خبرنگاران جوان (۱۳۹۶). تشریح جزئیات حادثه انتشار گاز کلر در دزفول از زبان شهردار
- [۵]. ثروتی، محمدرضا (۱۳۸۳). «تنگناهای طبیعی توسعهٔ شهر لار (جنوب استان فارس)»، *فصلنامهٔ جغرافیایی سرزمین*، ش ۴، ص ۲۲-۳.
- [۶]. ثنایی، غلامحسین (۱۳۷۶). *سم‌شناسی صنعتی*، ج دوم، انتشارات دانشگاه تهران.
- [۷]. جهازی، عاطفه؛ لطفی ملأ، فاطمه؛ طهماسبی، پریسا؛ و نظرپور، صادق (۱۳۹۱). «بررسی کاربرد ازن در تصفیهٔ آب آشامیدنی» همایش ملی بهره‌برداری بهینه از منابع آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول.
- [۸]. طلائی خوزانی، امیررضا (۱۳۹۵). «آموزش نرم‌افزار Aloha به‌همراه مثال کاربردی»، اصفهان، مؤسسهٔ آموزش عالی جامی.
- [۹]. عدل، جواد؛ محمدفام، ایرج؛ و نظام‌الدینی، زینب‌السادات (۱۳۸۶). «ارزیابی نشت گاز کلر در ایستگاه‌های آب آشامیدنی شهر تهران با روش تجزیه و تحلیل درخت خطا»، *مجلهٔ علمی پزشکی جندی‌شاپور*، دوره ۶، ش ۴، ص ۴۶۸-۴۶۱.

- [۱۰]. لنگری، مبین؛ شاه‌محمدی، ابراهیم؛ و رشتچیان، داود (۱۳۸۹). «آنالیز نرم‌افزارهای مدل‌سازی پیامد ALOHA و PHAST» همایش بین‌المللی بازرسی و ایمنی در صنایع نفت و انرژی هم‌اندیشان انرژی کیمیا.
- [۱۱]. مرتضوی، سید باقر؛ پارسا راد، مجید؛ اصیلیان مهابادی، حسن؛ و خوانین، علی (۲۰۱۱). «بررسی انتشار گاز کلر از مخازن ذخیره به‌منظور تدوین برنامه واکنش در شرایط اضطراری در یک صنعت پتروشیمی»، *مجله سلامت کار ایران*، ۸، ص ۶۸-۷۷.
- [12]. Center for Chemical Process Safety(1995). *Guidelines for Technical Planning for On-Site Emergencies*, New York.
- [13]. Dandrieux, A., Dimbour, J. P., & Dusserre, G. (2006). "Are dispersion models suitable for simulating small gaseous chlorine releases?", *Journal of loss prevention in the process industries*, 19(6), pp: 683-689.
- [14]. Gangopadhyay, R. K., Das, S. K., & Mukherjee, M. (2005). "Chlorine leakage from bonnet of a valve in a bullet—a case study", *Journal of loss prevention in the process industries*, 18 (4-6),pp: 526-530.
- [15]. Hanna, S., & Chang, J. (2008). "Gaps in toxic industrial chemical (TIC) model systems", *Hrvatski meteorološki časopis*, 43(43/1),pp: 13-18.
- [16]. Horng, J. J., Lin, Y. S., Shu, C. M., & Tsai, E. (2005). "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*, 18(4-6),pp: 474-480.
- [17]. Khan, F. I., Rani, J. D., & Abbasi, S. A. (1998). "Accident simulation as a tool for assessing and controlling environmental risks in chemical process industries: a case study", *Korean Journal of Chemical Engineering*, 15 (2), 124-135.
- [18]. National Research Council. (2004). *Research priorities for airborne particulate matter: IV. Continuing research progress* (Vol. 4), National Academies Press.
- [19]. O'Mahony, M. T., Doolan, D., O'Sullivan, A., & Hession, M. (2008). "Emergency planning and the Control of Major Accident Hazards (COMAH/Seveso II) Directive: An approach to determine the public safety zone for toxic cloud releases", *Journal of hazardous materials*, 154 (1-3),pp: 355-365.
- [20]. Ramabrahmam, B. V., & Swaminathan, G. (2000). "Disaster management plan for chemical process industries. Case study: investigation of release of chlorine to atmosphere", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 13 (1),pp: 57-62.
- [21]. Redmill, F. (2002). "Risk analysis-a subjective process", *Engineering Management Journal*, 12(2),pp: 91-96.
- [22]. Tanaka, P. L., Allen, D. T., McDonald-Buller, E. C., Chang, S., Kimura, Y., Mullins, C. B., ... & Neece, J. D. (2003). "Development of a chlorine mechanism for use in the carbon bond IV chemistry model", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108.

- 
- [23]. Tseng, J. M., Liu, M. Y., Chang, R. H., Su, J. L., & Shu, C. M. (2008). "Emergency response plan of chlorine gas for process plants in Taiwan", *Journal of loss prevention in the process industries*, 21 (4),pp: 393-399.
- [24]. Tseng, J. M., Su, T. S., & Kuo, C. Y. (2012). "Consequence evaluation of toxic chemical releases by ALOHA", *Procedia Engineering*, 45,pp: 384-389.
- [25]. Verschueren, K (1983). *Handbook of environmental data on organic chemicals*, New York, NY, Van Nostrand Reinhold Company
- [26]. Wakefield, J. C. (2010). *A toxicological review of the products of combustion*, Health Protection Agency, Centre for Radiation, Chemical and Environmental Hazards, Chemical Hazards and Poisons Division.