

تحلیل جانمایی آشکارسازهای گاز در صنایع فرآیندی به کمک دینامیک سیالات محاسباتی

علیرضا فضلعلی زاده^۱، اسلام کاشی^{۲*} و شهریار جعفری نژاد^۱

۱- گروه مهندسی شیمی، دانشکده محیط زیست، کرج، ایران

۲- پژوهشکده فن آوری های شیمیایی، سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۳۱

چکیده

جانمایی آشکارسازهای گازی یکی از مسائل پر اهمیت صنایع نفت و گاز محسوب می گردد چراکه شناسایی به موقع و متعاقباً ممانعت از گسترش انتشار گازهای سمی و قابل اشتعال می تواند از بروز حوادث ناگوار و خسارات محتمل جلوگیری نماید. در این مقاله ضمن ارائه یک روش شناسی جدید انتشار گاز سمی هیدروژن سولفاید در قسمتی از تأسیسات تقویت فشار گاز جزیره سیری شرکت نفت فلات قاره با استفاده از روش های مبتنی بر دینامیک سیالات محاسباتی، سناریوهای مختلفی که متاثر از پارامترهای جهت باد، سرعت باد، قطر سوراخ معادل نشستی، جهت انتشار گاز از نشستی و هندسه محیط انتشار هستند، شبیه سازی شده و براساس نتایج به دست آمده بهترین نقاط نصب آشکارساز گاز تعیین گردید. در این راستا وزش باد در ۴ جهت، سرعت باد در ۶ مقدار، تعداد منابع نشستی و جهت آن برابر با ۱۱ و تعداد قطر سوراخ معادل نشستی برابر با ۲ در نظر گرفته شد که نتیجه حاصل از آن هادر غالب ۵۵۰ سناریو بررسی گردید. در تحلیل نتایج حاصل از این شبیه سازی ها محیط اصلی انتشار گاز، گسسته سازی شده و با جمع زدن احتمال حضور گاز سمی با غلظت بیشتر از ۱۰ ppm در ثانیه ۲۰ ام رهایش در ۲۳۹۱ نقطه، نقاطی که بیشترین احتمال حضور گاز را داشتند شناسایی شدند. در نهایت نتایج حاصل از این شبیه سازی با جانمایی موجود در آن تأسیسات مقایسه گردید. بررسی نتایج نشان داد که جانمایی فعلی دو آشکارساز صحیح ناست و نقاط بهتری برای جانمایی آنها می توان انتخاب نمود.

کلمات کلیدی: جانمایی، آشکارساز، دینامیک سیالات محاسباتی، انتشار گاز، هیدروژن سولفاید

مقدمه

گازهای خطرناک رها شده از تجهیزات فرآیندی (شامل گازهای سمی و قابل اشتعال) می توانند به کاهش ریسک های ناشی از حوادث کمک کنند [۱]. در سال های اخیر پژوهش گران تلاش نموده اند تا

آشکارسازها با پایش محیط فرآیند و شناسایی

*مسئول مکاتبات

kashi@irost.ir

آدرس الکترونیکی

شناسه دیجیتال: (DOI: 10.22078/pr.2020.3935.2795)

برای تشخیص حملات هسته‌ای، شیمیایی و بیولوژیکی در نزدیکی یک ناحیه شهری را بهینه کردند. روش آنها با استفاده از نتایج شبیه‌سازی دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)، زمان تشخیص یک شبکه آشکارساز برای حملات نزدیک به یک ناحیه شهری را کمینه می‌کند. روش ارائه شده مبتنی بر فرمولاسیون برنامه‌نویسی مختلط عددی-خطی^۲ است که پیش‌تر توسط بری و همکارانش [۷] در بهینه‌سازی سنسورهای شبکه آب استفاده شده بود. مجموعاً ۹۹ سناریو حمله (۳ مجموعه ۳۳ تایی در سه شرایط آب و هوایی مختلف) از رهایش گاز کلر شبیه‌سازی شده و اطلاعات به‌دست آمده شامل داده‌های غلظت- زمان در نقاط دارای پتانسیل نصب برای بهینه‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. از اولین مقالاتی که با رویکردی نو به مسأله جانمایی آشکارسازهای گاز در صنایع فرآیندی پرداخته‌اند می‌توان به کار دوفرند و همکارانش [۸] اشاره نمود. این محققین با ارائه روشی مبتنی بر ریسک، فاصله مناسب بین آشکارسازها را با توجه به حداکثر اندازه ابر گازی که انفجار آن برای کارخانه قابل تحمل است، تعیین کردند. در این پژوهش، یک روش پنج مرحله‌ای برای طراحی سیستم تشخیص گاز ارائه شد که در طی آن ابتدا حداکثر اندازه ابری که باید تشخیص داده شود تا کارخانه دارای ریسک قابل تحمل باشد، تعیین شد. ارزیابی ریسک در این روش به‌صورت کمی بوده و به‌وسیله ماتریس‌های ریسک صورت پذیرفت. سپس، فاصله بین آشکارسازها به گونه‌ای تعیین شد که حداکثر اندازه ابر قابل تحمل در محیط فرآیند توسط سیستم آشکارسازها قابل تشخیص باشد. در این پژوهش، مؤلفین همچنین اشاره‌ای به لزوم استفاده از CFD در بررسی نحوه انتشار گاز از محل رهایش با توجه به حضور موانع موجود در واحدهای فرآیندی داشتند گرچه در مقاله خود هیچ مطالعه موردی از روش پیشنهادی خود ارائه نکردند.

با ترکیب مفهوم ریسک و روش‌های تجربی (روش‌های مبتنی بر استاندارد و دستورالعمل) راه‌کارهایی برای طراحی سیستم‌های تشخیص گاز و به‌ویژه مسأله جانمایی آشکارسازها ارائه نمایند. رمزدن [۲] از دیدگاهی عام و از پنجره ریاضیات به موضوع جانمایی آشکارسازها به‌طور کلی پرداخته و انواع مسائل مرتبط و روش‌های بهینه‌سازی را به‌خوبی مرور کرده‌است. آشکارسازها به‌منظور آگاهی از اشیاء موجود و یا رخدادهایی که در یک ناحیه مشخص اتفاق می‌افتد به‌کارگرفته می‌شوند و یکی از مسائل اصلی در جانمایی آنها مسأله پوشش‌دهی است که با مسأله گالری هنری^۱ مرتبط است [۳] و در آن هدف استفاده از حداقل تعداد محافظین برای محافظت از یک گالری است. این‌گونه مسائل بیشتر به‌کاربردهایی می‌پردازند که در آنها، آشکارسازها دارای یک شعاع تشخیص هستند (مثل آشکارسازهای حرارتی و یا تشخیص شعله) و جانمایی با توجه به ویژگی‌های هندسی محیط پایش صورت می‌گیرد. درحالی‌که در جانمایی آشکارسازهای گاز، منابع انتشار و سایر پارامترها نیز مؤثر هستند. بنابراین می‌توان گفت این‌گونه راه‌کارها به‌صورت مستقیم در مسأله جانمایی آشکارسازهای گاز قابل استفاده نیستند؛ اگرچه در شکل فرمولاسیون مسأله می‌توانند به‌کار گرفته شوند.

لی و همکاران [۴] یک روش‌شناسی هفت مرحله‌ای مبتنی بر ریسک برای حل مسأله بهینه‌سازی محل نصب آشکارسازهای مواد سمی ارائه کردند. این روش امکان بررسی کمی تأثیر افزودن آشکارسازهای اضافی بر کاهش میزان ریسک وارده بر جمعیت را نشان می‌داد. ایشان روش خود را با روش دیلون [۵] مقایسه کردند که در آن آشکارسازها صرفاً براساس ویژگی‌های مکانی، بدون درنظر گرفتن تأثیرات انسانی جای‌گذاری شده بودند. نتیجه مقایسه، کارایی بالاتر روش آنها را در کاهش ریسک نشان داد. همل و همکاران [۶] محل نصب آشکارسازها

1. Art Gallery Problem

2. Mixed Integer Linear Programming (MILP)

از LEL ۲۰٪ در فاصله ۲ m از محل رهایش را مورد بررسی قرار دادند. این مطالعه در نهایت روشی کیفی و مبتنی بر نحوه انتشار جهت بهینه‌سازی آشکارسازها ارائه داد. در این پژوهش نحوه انتشار گاز در یکی از بخش‌های تأسیسات تقویت فشار گاز سیری شرکت نفت فلات قاره به‌عنوان مورد مطالعه‌ای توسط نرم‌افزار ANSYS-CFX 18.2 [۱۲] که مبتنی بر روش‌های دینامیک سیالات محاسباتی است، مورد مطالعه قرار گرفته و نتایج حاصل از ۵۵۰ سناریوی مختلف انتشار گاز سمی هیدروژن سولفاید جمع شده و در نهایت براساس روشی نزدیک به روش‌های مبتنی بر ریسک مورد استفاده توسط وازکز رومن و همکاران [۱۱]، محل بهینه‌سازی آشکارسازها تعیین گردیده و با محل فعلی آنها مقایسه گردیده است.

روش کار

فعالیت‌های صورت گرفته در حوزه بهینه‌سازی تعداد و محل نصب آشکارسازهای گاز، به دو بخش تقسیم گردید. در بخش اول نحوه انتشار گاز که تحت تاثیر عوامل مختلف (عوامل مربوط به منبع مثل جهت و اندازه نشستی و عوامل محیطی مثل جهت، سرعت باد و موانع فیزیکی) بود، به‌وسیله نرم‌افزارهای مربوطه شبیه‌سازی شد و نتایج حاصله به‌عنوان پیامدهای انتشار گاز در محیط ثبت گردید. در بخش دوم با استفاده از نتایج به‌دست آمده از بخش اول، جانمایی بهینه آشکارسازها صورت گرفت. هر یک از عوامل مؤثر بر نحوه انتشار گاز با وزن‌های مختلف در سناریوهای انتشار مورد بررسی قرار گرفت و احتمال وقوع هر سناریو مشخص گردید. محاسبه احتمال هر سناریو با توجه به داده‌های هواشناسی و همچنین اطلاعات تکرارپذیری نشستی‌های مختلف در بانک اطلاعات نشستی‌های هیدروکربنی^۱ (HCRD) [۱۳] در صنایع نفت و گاز صورت گرفت.

براتیگ و همکاران [۹] از شرکت GexCon به‌کاربرد ابزار CFD در جانمایی بهینه آشکارسازهای گاز قابل اشتعال پرداختند و برای شبیه‌سازی انتشار از نرم‌افزار تجاری FLACS استفاده نمودند. در راهکار ارائه شده توسط آنها، برای رهایش‌های هیدروکربنی که می‌توانند منجر به انفجار شوند، معیار اصلی تشخیص، اندازه ابرگازهای خطرناک بود که بنا به تعریف اندازه‌های است که می‌تواند در صورت ایجاد جرقه پیامدهای غیرقابل قبولی به‌بار آورد. این پیامد غیرقابل قبول براساس حدود آستانه انفجار تعیین می‌شود. بنا به نظر مؤلفین یک الزام و نیازمندی آسان‌تر در ارزیابی و طراحی سیستم تشخیص گاز آن است که ابتدا تلاش گردد تمامی ابر گاز، خطرناک تشخیص داده شود و سپس از بین طرح‌های پیشنهادی موجود، گزینه‌ای انتخاب شود که بیشترین میزان پوشش آشکارساز را داراست.

بناویدس سرانو و همکاران [۱۰] در ادامه پژوهش‌های خود در زمینه جانمایی بهینه آشکارسازها و پس از معرفی مدل‌های قبلی مبتنی بر فرمولاسیون ریاضی و تصادفی، این بار به مقایسه روش‌های ارائه شده تیم خود و روش‌های موجود پرداختند. در این پژوهش روش‌های جانمایی تصادفی، حجمی، پوشش سناریو و همچنین، روش‌های مبتنی بر برنامه‌نویسی ریاضی نظیر روش ابداعی فاصله کمینه از منبع انتشار و روش پوشش بیشینه ممکن برای تعداد مشخصی آشکارساز با روش نهایی ارائه شده توسط این محققین یعنی روش SP-UV در سناریوهای مختلف مقایسه شد. و ازکز رومن و همکاران [۱۱] با استفاده از مدل‌سازی CFD اقدام به شبیه‌سازی انتشار گاز موجود در یک مخزن در سه شرایط مختلف محیطی از نظر وجود موانع (پر مانع، کم مانع و بدون مانع) و با فرض ۸ جهت مختلف و سرعت مشخص (۲ m/s) باد و زمان رهایش ثابت (۴ min) برای تمام سناریوها نموده و سپس بهینه‌سازی جانمایی آشکارسازها براساس دامنه پوشش زاویه‌ای هر آشکارساز به منظور شناسایی غلظت‌های بیشتر

1. Hydrocarbon Release Database

و گاز ترش جدا شده را فشرده نموده و با فشاری حدود ۱۰۰ bar به کشور امارات ارسال می نماید. لخته گیر با حجم تقریبی 2500 m^3 (۸ لوله ۴۸ inch موازی با طول ۴۰۰ m) به منظور جمع مایع موجود در سیال ورودی به کارخانه و پایدار نمودن آن طراحی شده است و در انتهای لخته گیر این مایع پایدار شده به سمت برج تثبیت روانه گشته و قسمت عمده هیدروژن سولفاید آن جدا می گردد (شکل ۱). در این تحقیق نشت گاز از بخش لخته گیر بررسی شده و آشکارسازهای اطراف آن مورد بررسی قرار گرفتند تا بتوان روش مورد استفاده را به خوبی ارائه کرد.

شبیه سازی رهایش گاز

عوامل متعددی بر نحوه انتشار گاز تاثیرگذار هستند که در این جا اطلاعات مربوط به آن ها بررسی و ارائه می گردد.

جهت و سرعت باد

اطلاعات ثبت شده سرعت باد در ایستگاه سینوپتیک جزیره سیری، مربوط به دوره زمانی سال ۱۳۶۲ تا سال ۱۳۹۱ در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به اینکه در نظر گرفتن هشت جهت، حجم محاسبات را تا حد زیادی افزایش می داد و به منظور صرفه جویی در زمان، وزش باد در جهت های اصلی (چهار جهت) مد نظر قرار گرفت و مقادیر احتمال مربوط به جهت های فرعی در جهت های اصلی تقسیم گردید.

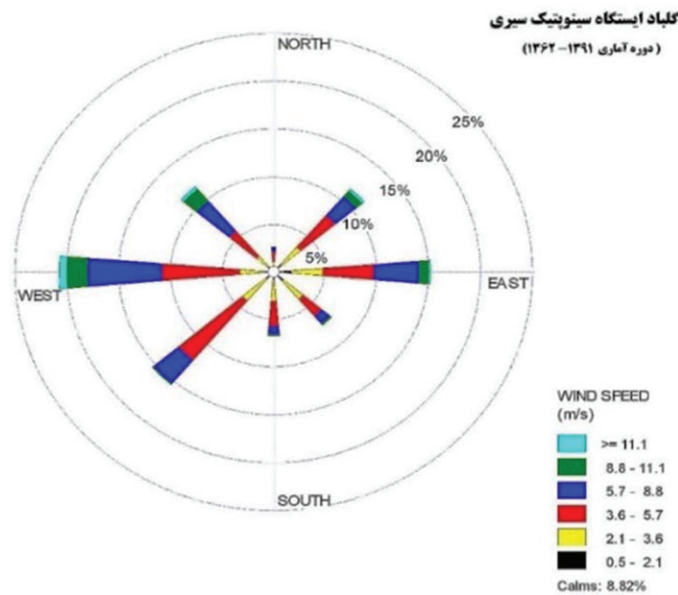
پس از شبیه سازی انتشار گاز در تمامی سناریوها و مشخص نمودن احتمال وقوع هر یک از آنها، محیط اصلی انتشار گاز گسسته شد و ۲۳۹۱ نقطه با فواصل مشخص از یکدیگر در محیط ایجاد گردید و میزان غلظت گاز در هر یک از این نقاط در تمامی سناریوها مورد بررسی قرار گرفت. در هر سناریو نقاطی که غلظت هیدروژن سولفاید در آن ها بیش از ۱۰ ppm گزارش شده بود، مشخص گردید و پس از جمع نتایج تمامی سناریوها که احتمال رخ دادن آنها نیز متفاوت است، نقاط بهینه جانمایی آشکارسازها مشخص شد. محیط شبیه سازی انتشار گاز در محیط های صنعتی قبلاً به تفصیل توسط نویسندگان این مقاله بررسی شده است و معتبرسازی مدل مورد استفاده به کمک داده های آزمایشات میدانی Kit Fox و Thorney Island صورت گرفته است [۱۴-۱۹]. بنابراین در این مقاله از بحث در مورد معادلات مورد استفاده در حل مسأله انتشار گاز به کمک دینامیک سیالات محاسباتی و روش حل آن ها و همچنین ارزیابی نرم افزار خودداری می گردد.

نمونه مورد مطالعه

تأسیسات تقویت فشار و صادرات گاز سیری متعلق به شرکت نفت فلات قاره به عنوان یکی از قسمت های اصلی انتقال گاز سکوی گازی سلمان به کشور امارات متحده عربی و پس از انعقاد قرارداد کرسنت ساخته شده است. این تأسیسات سیال دوفازی دریافتی از سکوی سلمان را جداسازی نموده



شکل ۱ نمایی از انتهای لخته گیر در تأسیسات تقویت فشار و صادرات گاز سیری



شکل ۲ گلباد ایستگاه سینوپتیک سیری (دوره آماری ۱۳۶۲-۱۳۹۱)

احتمال وقوع نشستی از اتصالات، متناسب با نوع سیال کاری موجود در آن‌ها متفاوت است. لذا با توجه به اینکه سیال کاری در این پژوهش می‌تواند گاز و یا میعانات گازی باشد، احتمال نرمال شده وقوع نشستی متناسب با نوع سیال کاری موجود در جدول ۳ محاسبه گردید.

شرایط سیال رهاشده

جهت بررسی نحوه انتشار گاز سمی هیدروژن سولفاید و در راستای کاهش حجم محاسبات، سیال رها شده از هر سه محل نشستی (دو منبع حاوی مایع تحت فشار و یک منبع حاوی گاز تحت فشار)، در فاز گاز و فقط با حضور گازهای متان و هیدروژن سولفاید بررسی گردید. با توجه به تحت فشار بودن مایع فرآیندی و انتشار گازهای متان و هیدروژن سولفاید در فاز گاز (پس از مواجهه با فشار اتمسفریک) فرضیه مذکور منطقی خواهد بود. براساس فرض صورت گرفته، برای جریان مایع موجود، درصدهای جرمی به صورت زیر تعیین گردید (جدول ۴):

دبی خروجی سیال از منبع

با توجه به اینکه رهایش سیال از منبع با قطر نشستی معادل ۲ و ۵ mm فرض شده است.

در جدول ۱ احتمال هر یک از سرعت‌های وزش باد در جهت‌های مختلف ارائه شده است.

منبع رهایش

با توجه به اینکه در ناحیه مورد مطالعه از تأسیسات، شیر، پمپ و یا دیگر منابع مستعد نشستی وجود نداشت لذا تنها سه منبع رهایش که همگی از نوع اتصال فلنجی بودند و قطر یکسانی نیز داشتند، قابل بررسی بود. همچنین با توجه به بانک اطلاعات نشستی‌های هیدروکربنی، نشستی با قطر سوراخ‌های معادل ۲ و ۵ mm که تقریباً متداول‌ترین نشستی‌ها محسوب می‌گردند، انتخاب گردید [۱۳]. به منظور بررسی کمی احتمال وقوع هر سناریو، از اطلاعات جدول ۲ استفاده گردید. همچنین با توجه به تاثیر جهت نشستی در نحوه انتشار گاز، از هر یک از فلنج‌های موجود در نمونه مورد مطالعه، نشستی با فواصل زاویه‌ای ۹۰° مورد بررسی قرار گرفت. به عبارت دیگر برای هر سوراخ، چهار جهت نشستی و احتمال وقوع نشستی در هر کدام از این جهات، یکسان در نظر گرفته شد. یعنی برای هر یک از جهت‌ها احتمال وقوع معادل ۰/۲۵ بود. لازم به ذکر است که طبق اطلاعات ثبت شده در HCRD [۱۳]،

جدول ۱ احتمال وزش باد در جهت‌ها و سرعت‌های مختلف براساس گلباد جزیره سیری (۴ جهت)

جهت	احتمال جهت وزش باد (%)	سرعت (m/s)	سرعت وزش باد در هر جهت (%)
شمال به جنوب	۱۸	۰/۵	۱
		۲/۱	۵/۲۵
		۳/۶	۷/۷۵
		۵/۷	۳
		۸/۸	۱
		۱۱/۱	۰
جنوب به شمال	۱۵	۰/۵	۰/۲۵
		۲/۱	۳
		۳/۶	۵/۷۵
		۵/۷	۴/۲۵
		۸/۸	۱/۲۵
		۱۱/۱	۰/۵
غرب به شرق	۲۴/۵	۰/۵	۲
		۲/۱	۵/۵
		۳/۶	۸/۵
		۵/۷	۶
		۸/۸	۱/۷۵
		۱۱/۱	۰/۷۵
شرق به غرب	۳۴/۵	۰/۵	۰/۷۵
		۲/۱	۵
		۳/۶	۱۴
		۵/۷	۱۰/۵
		۸/۸	۳
		۱۱/۱	۱/۲۵
راکد	۸	۰	۸
درصد کل			۱۰۰

جدول ۲ احتمال نرمال شده نشت سیال متناسب با قطر سوراخ معادل نشتی [۱۴]

قطر سوراخ معادل نشتی (mm)	احتمال در HCRD	احتمال نرمال شده
۲	۰/۵۱	۰/۶۹۹
۵	۰/۲۲	۰/۳۰۱

جدول ۳ احتمال نرمال شده ناشی برای هر یک از سیالات کاری

نوع سیال	تعداد (از ۲۰۷۱ رخداد)	احتمال در HCRD	احتمال نرمال شده
گاز	۱۱۵۰	۰/۵۵	۰/۸۸
میعانات گازی	۱۵۱	۰/۰۷۳	۰/۱۲

جدول ۴ درصدهای جرمی گازهای متان و هیدروژن سولفاید در سیال فرضی

فاز جریان	اجزای جریان	جزء مولی	وزن مولکولی	جرم	جزء جرمی	جزء جرمی در ترکیب جدید
مایع	متان	۰/۲۳۴۸	۱۶/۰۴	۳/۷۶۶۲	۰/۰۵۰۱۵۳۲	۰/۸۱۱
	هیدروژن سولفاید	۰/۰۲۵۸	۳۴/۱	۰/۸۷۹۷۸	۰/۰۱۱۷۱۵۸	۰/۱۸۹
	سایر اجزا	۰/۷۳۹۴	-	۷۰/۴۴۷۷	۰/۹۳۸۱۳۱	-
گاز	متان	۰/۸۳۶۸	۱۶/۰۴	۱۳/۴۲۲۲	۰/۶۸۶۵۳۲۴	۰/۹۶۲
	هیدروژن سولفاید	۰/۰۱۵۵	۳۴/۱	۰/۵۲۸۵۵	۰/۰۲۷۰۳۴۷	۰/۰۳۸
	سایر اجزا	۰/۱۴۷۷	-	۵/۵۹۹۹۹	۰/۲۸۶۴۳۲۹	-

تقویت فشار گاز با استفاده از نرم افزار ICEM CFD [۲۱] و با در نظر گرفتن عوامل فیزیکی تاثیرگذار ترسیم شد و در تمامی سناریوها، انتشار سیال در این محیط مورد بررسی قرار گرفت.

هندسه محیط شامل یک مکعب مستطیل با ابعاد $48 \times 10 \times 5$ m بود که درون آن قسمت انتهایی لخته گیر تأسیسات تقویت فشار گاز ترسیم شد. این قسمت در واقع یک مجموعه ۸ تایی از لوله های ۴۸ in است که توسط یک لوله اصلی ۴۸ in و مجموعه ای از زانویی ها به هم متصل شده اند. همچنین، این مجموعه توسط سازه های حمایتی بتنی در هر ۱۲ m از طول لخته گیر به نحو مقتضی مهار گردیده است. شکل ۳ هندسه ترسیم شده در محیط نرم افزار ICEM CFD را نشان می دهد. با توجه به اینکه رهایش سیال فرضی تنها در انتهای لخته گیر مد نظر بود، تنها هندسه این قسمت از محیط ترسیم شد، چراکه ترسیم قسمت های ابتدایی آن غیر ضروری بوده و باعث افزایش زمان و حجم محاسبات می گردید. در این هندسه جهت Z+ بیانگر سمت شمال جغرافیایی و جهت X+ بیانگر سمت غرب است.

همچنین، با داشتن اطلاعات فرآیندی نظیر دما و فشار سیال و نیز اطلاعات دقیق اجزای جریان های مایع و گاز داخل لوله، مقادیر دبی برای هر دو جریان و در هر دو قطر ناشی قابل محاسبه بود که این مهم توسط نرم افزار DNV PHAST V7.2 [۲۰] صورت پذیرفت و در جدول ۵ ارائه شده است. با توجه به حجم بالای سیال مورد نظر (حجم لوله ها)، دبی خروجی از هر دو قطر ثابت فرض شد. مقادیر ارائه شده در این جدول برای کل اجزای تشکیل دهنده جریان های داخل لوله بوده و با توجه به فرض صورت گرفته در زمینه سیال خروجی که تنها دارای اجزای متان و هیدروژن سولفاید است، دبی خروجی از این منابع انتشار، مطابق جدول ۶ محاسبه گردید.

هندسه محیط

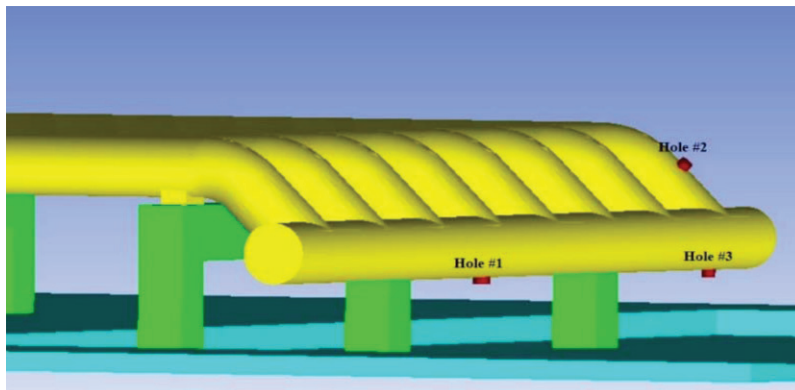
هندسه محیط در واقع بیان گر چیدمان تجهیزات در محیط انتشار سیال است. این چیدمان در نحوه انتشار بسیار تاثیرگذار است و می تواند پدیده هایی نظیر جدایش و تلاطم را ایجاد نماید که ممکن است نتایج رهایش گاز را کاملاً تحت تاثیر قرار دهند. در این پژوهش، محوطه انتهایی لخته گیر تأسیسات

جدول ۵ دبی جرمی خروجی سیال اصلی از منابع انتشار (نتایج شبیه‌سازی با نرم‌افزار DNV PHAST)

دبی خروجی (kg/s)	قطر معادل نشتی (mm)	دما (°C)	فشار (bar)	جریان داخل لوله
۰/۱۵۹۸۳۹	۲	۲۶	۶۶/۵	مایع
۰/۹۹۸۹۹	۵			
۰/۰۳۷۹۳۲۹	۲	۲۶	۶۶/۵	گاز
۰/۲۳۷۰۸۱	۵			

جدول ۶ دبی جرمی خروجی سیال فرضی از منابع انتشار

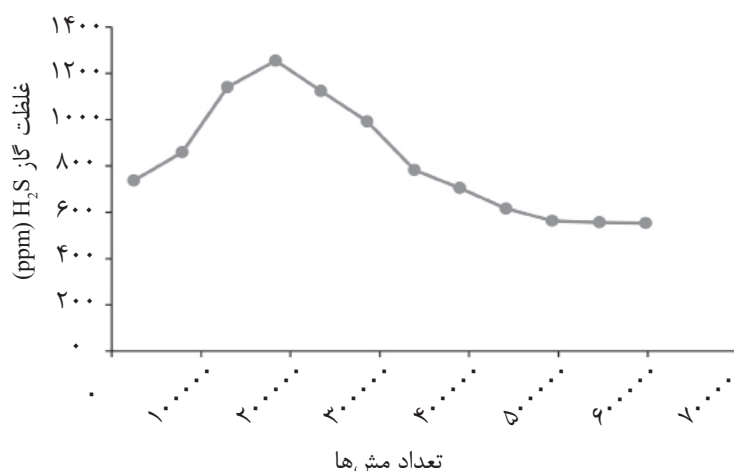
دبی خروجی سیال فرضی (kg/s)	دبی خروجی سیال اصلی (kg/s)	قطر معادل نشتی (mm)	درصد جرمی (CH ₄ + H ₂ S)	جریان داخل لوله
۰/۰۰۹۸۸۹۹	۰/۱۵۹۸۳	۲	۰/۰۶۱۸۷	مایع
۰/۰۶۱۸۰۶۵	۰/۹۹۸۹۹	۵		
۰/۰۲۷۰۶۷۷	۰/۰۳۷۹۳	۲	۰/۷۱۳۵۷	گاز
۰/۱۶۹۱۷۳۲	۰/۲۳۷۰۸	۵		



شکل ۳ هندسه ترسیم شده در محیط نرم‌افزار ICFM CFD و محل‌های انتشار سیال مفروض به محیط

مختلف در شکل ۴ ارائه شده‌است. با توجه به این شکل، تعداد شبکه بهینه برای هندسه مورد نظر در حدود ۵ میلیون شبکه تخمین زده شد چراکه با بیشتر نمودن شبکه‌ها از این مقدار، جواب نهایی تغییر محسوسی نکرده و به عبارت دیگر نتایج همگرایی تقریباً مستقل از تعداد شبکه‌ها گردید. لذا در شبیه‌سازی صورت گرفته، هندسه محیط انتشار گاز به ۴۸۹۶۷۰۰ المان تقسیم گردید. همچنین در این شبکه‌بندی، در مجاورت دیواره‌ها به دلیل تشکیل لایه‌های مرزی و همچنین در نواحی پشتی موانع به دلیل احتمال وقوع جریان گردابه‌ای، اندازه مش‌ها کوچک‌تر در نظر گرفته شد.

با توجه به هدف این پژوهش، باد می‌تواند از هر طرفی وارد دامنه حل شود و سیال مفروض نیز می‌تواند از هر یک از نقاط در نظر گرفته شده (که مربوط به محل اتصال فلنج‌ها می‌باشند) به دامنه حل انتشار یابد. محل این نقاط در شکل ۳ نشان داده شده‌اند. پس از نام‌گذاری صفحات و تعریف حجم بین آنها در دامنه حل، ویژگی‌های مش‌بندی مورد نظر برای نرم‌افزار تعریف گردید و اندازه مناسب هریک از مش‌ها با ایجاد مش‌بندی‌های مختلف با ابعاد متفاوت و مقایسه نتایج حاصل از رهاپش گاز در هر یک از آنها صورت پذیرفت. برای مثال شبیه‌سازی یکی از سناریوها در تعداد مش‌های



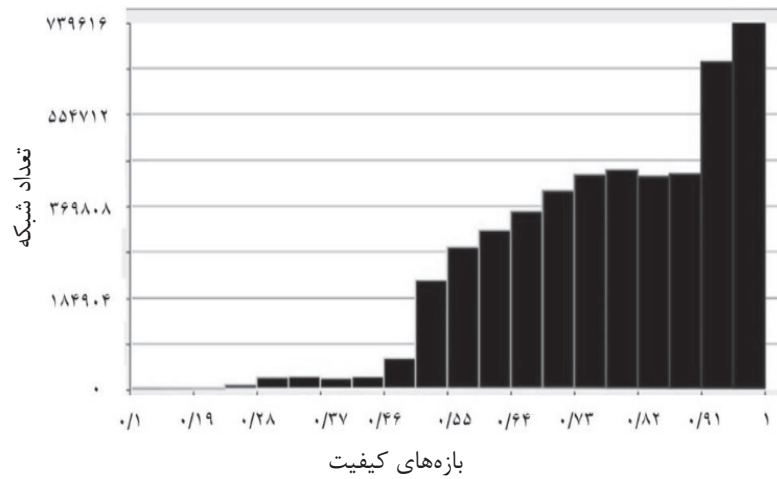
شکل ۴ محاسبه غلظت گاز H₂S در یک نقطه ثابت در تعداد مختلف مش از یک هندسه

سناریو برای این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت. ارزیابی بیشترین احتمال حضور گاز در نقاط مختلف بخشی از دامنه حل که نزدیک به منابع رهايش بود، مطابق شکل ۸ گسسته‌سازی شد و تبدیل به مجموعه‌ای از نقاط مجزا گردید که با فواصل مشخصی از هم قرار داشتند. در این پژوهش نقاط پرخطر دامنه سه‌بعدی، در روی ۳ صفحه موازی $y=0$ ، $y=0.5$ و $y=1$ که با فاصله 0.5 m از هم قرار داشتند، گسسته شد. هر یک از این صفحات به ۸۰۰ نقطه مجزا تقسیم شد که شامل ۲۰ نقطه در جهت X و ۴۰ نقطه در جهت Z بود. همچنین در هر صفحه ۳ نقطه که داخل ستون‌های سازه حمایتی موجود در دامنه حل قرار می‌گرفتند، حذف شده و در مجموع هر صفحه به ۷۹۷ نقطه و کل دامنه پرخطر حل به ۲۳۹۱ نقطه تقسیم گردید. پس از گسسته‌سازی دامنه مذکور، غلظت گاز ترش در ثانیه ۱۲۰ام برای هر یک از این نقاط محاسبه گردید. به نواحی که دارای غلظت بیش‌تر از مقدار ۱۰ ppm بودند، عدد ۱ و به نواحی که دارای غلظت کم‌تر از ۱۰ ppm بودند، عدد ۰ نسبت داده شد. احتمال وقوع هر سناریو با توجه به شرایط مرزی مربوط به آن متفاوت است، لذا احتمال عددی هر سناریو در نقاط ۰ و ۱ ایجاد شده در دامنه حل، ضرب گردید.

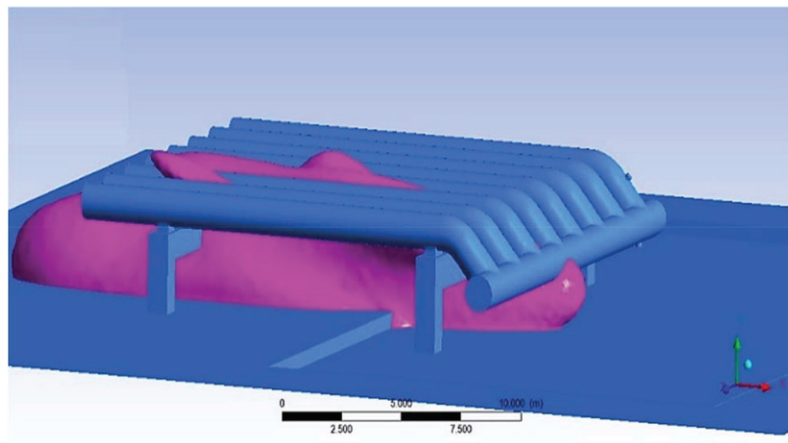
در نرم‌افزار ICEM CDF معیار کیفیت برای شبکه‌های بدون سازمان، نسبت اضلاع است که در مورد المان‌های چهاروجهی، تعیین‌کننده خوابیدگی المان‌ها نیز است. بر این اساس، برای هندسه‌هایی که لایه مرزی در آنها لحاظ شده است و بسته به پیچیدگی هندسه، مقادیر بالاتر از ۰/۱ برای حداقل کیفیت کاملاً قابل قبول است. شکل ۵ بیانگر پیشینه نما^۱ کیفیت شبکه‌های ایجاد شده در هندسه مورد مطالعه است.

بررسی یک سناریوی منتخب

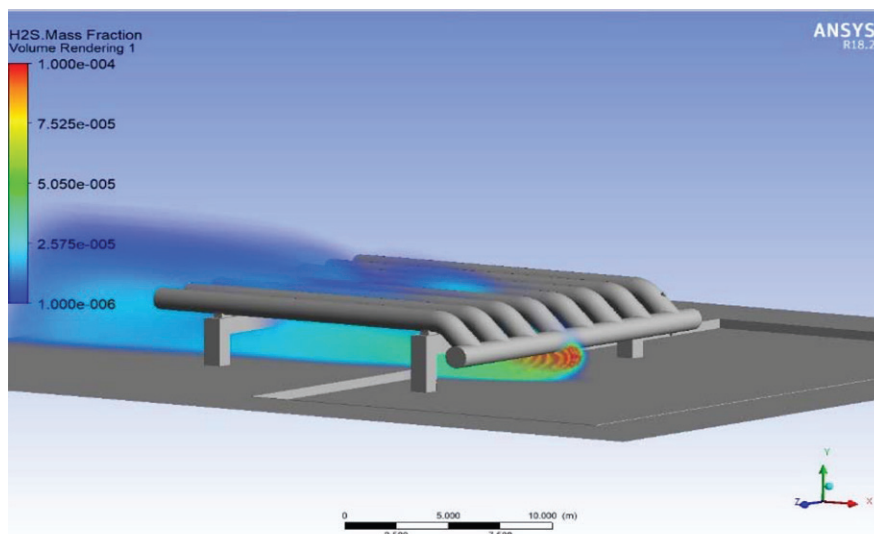
در این قسمت، رهايش سیال فرضی از منبع شماره یک و با فرض قطر معادل نشتی برابر با ۲ mm و در جهت X+ به‌عنوان یک سناریوی منتخب بررسی می‌گردد. دبی جرمی سیال فرضی خروجی که مربوط به جریان فاز مایع و با قطر معادل نشتی ۲ mm است، 0.09889 kg/s تخمین زده شد. همچنین درصد جرمی نرمال‌شده‌ی متان ۰/۸۱۱ و درصد جرمی هیدروژن سولفاید ۰/۱۸۹ تعیین گردید. تصویر ابر گاز رها شده در دو شکل ۶ و ۷ ارائه شده است. مراحل طی شده در این سناریو که به‌عنوان یک سناریوی نمونه انتخاب شده بود، برای تمام سناریوها انجام پذیرفت. هر سناریو شرایط مرزی خاص خود را دارا بود که برخی از ویژگی‌های این سناریوها در جدول ۷ ارائه شده‌اند. در مجموع ۵۵۰



شکل ۵ هیستوگرام کیفیت شبکه‌ها



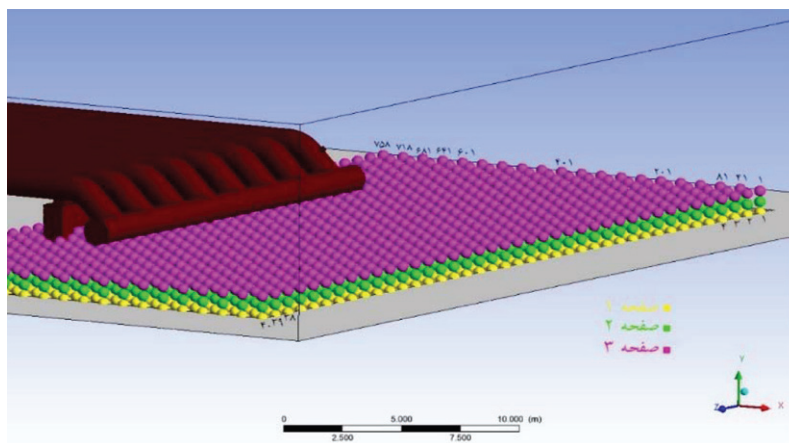
شکل ۶ ابر گاز با غلظت بیش از ۱۰ ppm در ثانیه ۱۲ ام رهایش



شکل ۷ غلظت گاز ترش در کل دامنه حل در ثانیه ۲۰ ام از رهایش

جدول ۷ محاسبه تعداد سناریوها با توجه به تعداد عوامل تاثیرگذار در انتشار گاز

تعداد جهت‌های وزش باد	تعداد سرعت‌های باد	تعداد منابع نشتی و جهت‌نشتی*	تعداد قطر سوراخ معادل نشتی	تعداد سناریوهای بادی	بدون وزش باد**	مجموع سناریوها
۴	۶	۱۱	۲	۴×۶×۱۱×۲	۲۲	۵۵۰



شکل ۸ نحوه شماره‌گذاری نقاط گسسته شده در نرم‌افزار

نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۹ می‌توان گفت بیشتر نقاط پرخطر بر روی صفحه $y=0$ واقع شده‌اند که در فاصله نیم‌متری از سطح زمین قرار دارد و این بدان معنی است که آشکارسازهای گاز هیدروژن سولفاید باید در ارتفاع پایین نصب گردند.

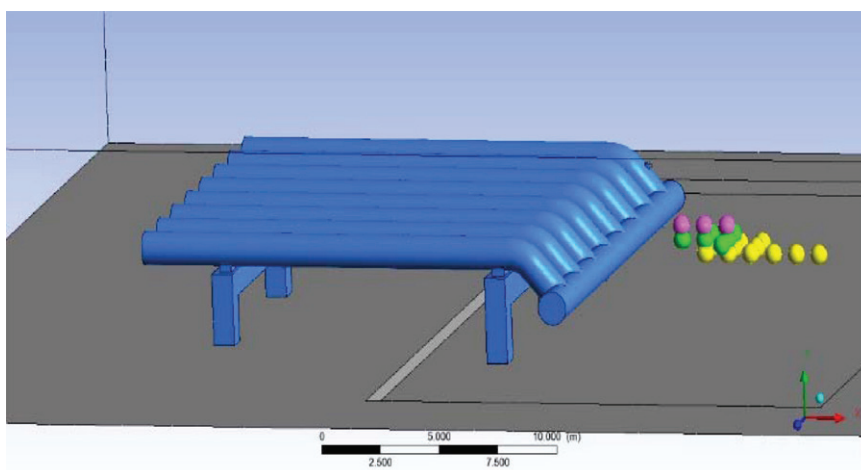
مقایسه نتایج

پس از تعیین نقاط پرخطر دامنه حل و به منظور جانمایی بهینه آشکارسازهای گاز سمی، محل فعلی آشکارسازها در این قسمت از تأسیسات که توسط یکی از شرکت‌های معتبر خارجی طراحی گردیده‌است، مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به جانمایی موجود، برای پوشش کلی دامنه پرخطر گسسته‌سازی شده، دو آشکارساز نقطه‌ای گاز سمی و یک آشکارساز مسیر باز در نظر گرفته شده است که محل دقیق آنها در شکل ۱۰ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که آشکارسازهای نقطه‌ای در ارتفاعی حدود نیم‌متر از سطح زمین و آشکارساز مسیر باز در ارتفاع $1/5$ m جانمایی گردیده‌اند.

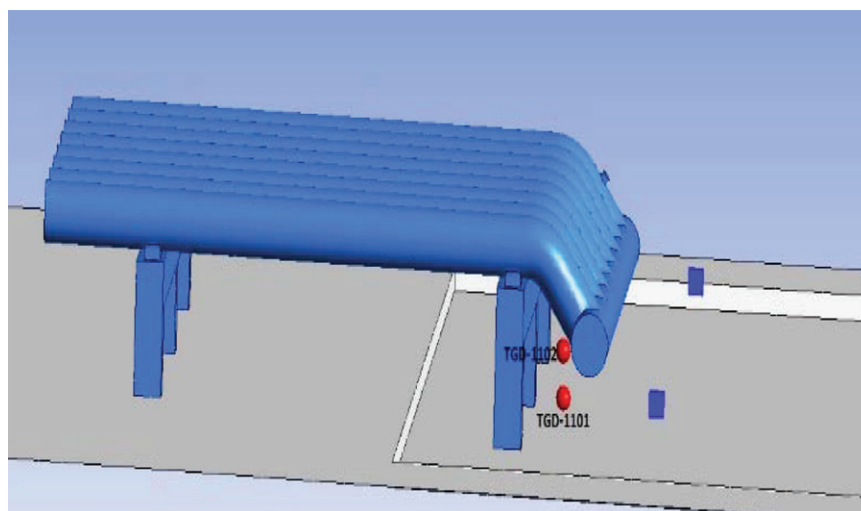
احتمال عددی هر سناریو از حاصل ضرب احتمال وقوع هر یک از عوامل مؤثر در نحوه انتشار گاز (محل منبع انتشار، جهت رهايش، جهت و سرعت باد، نوع منبع و قطر حفره معادل نشتی) که در جدول‌های ۱ الی ۳ توضیح داده شدند، به‌دست آمد. نحوه محاسبه احتمال عددی سه سناریوی دلخواه، در جدول ۸ ارائه شده‌است. پس از محاسبه احتمال وقوع هر یک از سناریوها و ضرب مقدار آن در اعداد ۰ و ۱ مربوط به هر یک از نقاط گسسته‌سازی شده، برای هر نقطه، ۵۵۰ عدد جداگانه به‌دست آمد. با جمع نمودن این اعداد، احتمال حضور گاز با غلظت بیش‌تر از ۱۰ ppm پس از سپری شدن ۲۰ s از زمان رهايش در هر یک از نقاط گسسته تعریف شده، حاصل و نقاطی که دارای مقدار بیشتری بودند به‌عنوان نقاط پر اهمیت به منظور جانمایی آشکارساز معرفی گشتند. برای این منظور در هر یک از صفحات هم‌ارتفاع، ۲۰ نقطه که بیشترین احتمال حضور گاز با غلظت حداقل ۱۰ ppm را داشتند شناسایی شده و معرفی گشتند. شکل ۹ محل دقیق این نقاط در هر سه صفحه را

جدول ۸ نحوه محاسبه احتمال هر سناریوی رهائش برای سه مورد به عنوان نمونه

احتمال وقوع	جهت وزش باد	سرعت باد (m/s)	نوع منبع رهائش	قطر حفره معادل نشتی	جهت رهائش	نشستی از هر منبع	نام سناریو
۰/۰۰۰۲۰۹۴	شرق به غرب	۸/۸	منبع ۱ (مایع)	۲ mm	+X	منبع ۱	2mm-EW-H1B-8.8
		۰/۰۳	۰/۱۲	۰/۶۹۹	۰/۲۵	۰/۳۳۳	
۰/۰۰۰۱۲۷۸	شمال به جنوب	۵/۷	۳ (مایع)	۵ mm	-Z	منبع ۳	5mm-SN-H3D-5.7
		۰/۰۴۲۵	۰/۱۲	۰/۳۰۱	۰/۲۵	۰/۳۳۳	
۰/۰۰۱۷۶۴۱	راکد	۰	۲ (گاز)	۵ mm	+X	منبع ۲	5mm-Neu-H2A
		۰/۰۸	۰/۸۸	۰/۳۰۱	۰/۲۵	۰/۳۳۳	



شکل ۹ محل دقیق نقاطی از دامنه حل که بیشترین احتمال حضور گاز با غلظت بیش از ۱۰ ppm را دارند



شکل ۱۰ محل قرارگیری آشکارسازهای نقطه‌ای و مسیرباز در تأسیسات

TGD-1101 بیشترین احتمال حضور برابر ۰/۰۵۰۸۹٪ است که با توجه به احتمال تمامی نقاط بررسی شده، ۱۶۴ نقطه با احتمالی بیشتر از این مقدار در دامنه حل وجود دارد و این یعنی محل فعلی آشکارساز چندان مناسب نیست. با بررسی سایر نقاط مجاور محل فعلی آشکارسازهای نقطه‌ای گاز ترش نیز می‌توان نتیجه گرفت که این جانمایی به درستی صورت نگرفته‌است.

در مورد آشکارساز مسیریاز نیز با توجه به شکل ۱۰ می‌توان گفت که این آشکارساز در محل نسبتاً مناسبی تعبیه شده است ولی ارتفاع نصب آن مناسب نیست زیرا با توجه به موارد عنوان شده احتمال حضور گاز ترش در نقاط نزدیک‌تر به سطح زمین بیشتر است.

با توجه به نتایج حاصل از شبیه‌سازی می‌توان احتمال حضور گاز در محل فعلی آشکارسازهای نقطه‌ای گاز سمی را مشاهده نمود. از آنجا که محل قرارگیری آشکارسازهای نقطه‌ای دقیقاً بر روی نقاط گسسته‌سازی شده منطبق نیستند، احتمال حضور گاز در نقاط گسسته‌شده نزدیک به آنها بررسی شد. جدول ۹ احتمال حضور گاز با غلظت بیش‌تر از ۱۰ ppm در ثانیه ۲۰م رهايش در نقاط گسسته‌شده نزدیک به محل قرارگیری آشکارسازهای نقطه‌ای را نشان می‌دهد.

در جدول فوق احتمال حضور گاز ترش با غلظت عنوان شده و در زمان مذکور برای نقاط مجاور آشکارسازهای نقطه‌ای و همچنین رتبه این نقاط در کل ۲۳۹۱ نقطه با توجه به احتمال حضور گاز در آنها مشخص شده‌است. مثلاً برای آشکارساز

جدول ۹ رتبه‌بندی نقاط مجاور آشکارساز با توجه به احتمال حضور گاز با شرایط عنوان شده

ردیف	کد آشکارساز نقطه‌ای	نقاط مجاور	احتمال حضور گاز	رتبه نقطه از نظر احتمال
۱	TGD-1101	۱-۶۱۷	۰/۰۴۶۳۱	۳۳۲
		۱-۶۱۸	۰/۰۵۰۸۹	۱۶۵
		۱-۶۵۷	۰/۰۴۷۳۱	۲۹۳
		۱-۶۵۸	۰/۰۴۷۱۳	۲۸۵
۲	TGD-1102	۱-۵۸۶	۰/۰۳۷۴۴	۷۲۷
		۱-۵۸۷	۰/۰۳۳۵۳	۹۳۵
		۱-۶۲۶	۰/۰۳۶۲۷	۷۹۲
		۱-۶۲۷	۰/۰۳۱۶۹	۱۰۲۲

نتیجه‌گیری

سولفاید در ۵۵۰ سناریو توسط دینامیک سیالات محاسباتی شبیه‌سازی گردید و سپس به‌کمک روش گسسته‌سازی، مناطق اطراف منابع انتشار گاز به ۲۳۹۱ نقطه تقسیم شده و محتمل‌ترین نقاط حاوی گاز بالاتر از غلظت ۱۰ ppm مشخص شد. در نهایت بهترین محل‌های نصب آشکارسازهای گاز تعیین گردید. جانمایی فعلی آشکارسازهای موجود بررسی گردید و مشخص شد که با توجه به فرضیات این پژوهش، جانمایی آن‌ها صحیح نبوده و در بین نقاط بررسی شده، از لحاظ احتمال حضور گاز در شرایط مفروض، در رتبه‌های خیلی پایینی قرار دارند.

استفاده از روش‌های مبتنی بر احتمال و ریسک به‌کمک دینامیک سیالات محاسباتی در جانمایی آشکارسازها، با وجود هزینه بیشتر منجر به جانمایی بهینه‌تری می‌گردند. یکی از مهم‌ترین مزیت‌های دینامیک سیالات محاسباتی در مطالعه انتشار گاز امکان بررسی اثر جهت رهايش (به‌خصوص زمانی که باد در جهت مخالف می‌وزد) و همچنین تاثیر حضور موانع روی نحوه پخش شدن است. در این تحقیق روش‌شناسی جدیدی به منظور محاسبه احتمال حضور گاز در نقاط مختلف ارائه گردید. مطابق با این روش کار، رهايش گاز هیدروژن

مراجع

- [1]. CCPS. (2009) Continuous monitoring for hazardous material releases, 1st ed., Wiley-AIChE.
- [2]. Ramsden D (2009) Optimization approaches to sensor placement problems, Doctoral dissertation, Ph. D. Thesis, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY, USA.
- [3]. DeBerg M, vanKreveld M, Overmars M, Schwarzkopf O (2010) Computational geometry: Algorithms and applications, New York,
- [4]. Lee W, Kulesz J (2008) A risk-based sensor placement methodology, Journal of hazardous materials, 158, 2-3: 417-429.
- [5]. Dhillon S, Chakrabarty K, Iyengar S (2002) Sensor placement for grid coverage under imprecise detections. In Proceedings of the Fifth International Conference on Information Fusion, FUSION 2: 1581-1587.
- [6]. Hamel D, Chwaśtek L (2006) A computational fluid dynamics approach for optimization of a sensor network, Measurement Systems for Homeland Security, Contraband Detection and Personal Safety, IEEE.
- [7]. Berry J, Hart W, Phillips C, UberJ, Watson J (2006) Sensor placement in municipal water networks with temporal integer programming models, Journal of Water Resources Planning and Management 132, 4: 218-224.
- [8]. De Friend S, Dejmeck M, Porter L, Deshotels B (2008) A risk-based approach to flammable gas detector spacing, Journal of hazardous materials 159: 142-151.
- [9]. Davis S, Hansen R, Gavelli F, Bratteteig A (2015) Using CFD to analyze gas detector placement in process facilities 2015.
- [10]. Benavides-Serrano J, Mannan S, Laird D (2015) A quantitative assessment on the placement practices of gas detectors in the process industries". Journal of Loss Prevention in the Process Industries 35: 339-351.
- [11]. Vázquez-Román R, Díaz-Ovalle C, Quiroz-Pérez E, Mannan S (2016) A CFD-based approach for gas detectors allocation, Journal of Loss Prevention in the Process Industries 44: 633-641.
- [12]. ANSYS CFX-Solver Theory Guide, ANSYS, Inc, 2017.
- [13]. Hydrocarbon Release Database (HCRD), available at: <http://www.hse.gov.uk/offshore/hydrocarbon.htm>.
- [14]. Mirzaei F, Mirzaei F, Kashi E (2019) Turbulence model selection for heavy gases dispersion modeling in topographically complex area, Journal of Applied Fluid Mechanics 12, 6: 1745-1755.
- [15]. Hosseini H, Rad P, Kashi E (2015) Investigation of dissipation flow in the urban canyon, Advances in Environmental Technology 3: 113-120.

[16]. Kashi E, Mirzaei F, Mirzaei F (2015) Analysis of chlorine gas incident simulation and dispersion within a complex and populated urban Area Via computation fluid dynamics, *Advances in Environmental Technology* 1: 49-58.

[17]. Kashi E, Mirzaei F, Mirzaei F (2015) Analysis of gas dispersion and ventilation within a comprehensive CAD model of an offshore platform via computational fluid dynamics, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 36: 125-133.

[18]. Kashi E, Shahraki F, Rashtchian D, Behzadmehr A (2009) Effects of vertical temperature gradient on heavy gas dispersion in buildup area, *Iranian Journal of Chemical Engineering*, 6, 3 (Summer).

[۱۹]. کاشی ا.، شهرکی ف.، رشتچیان د. و محبی نیاس.، "بررسی پخش ناگهانی گاز و انفجار آن در محیط‌های

مانع دار به کمک آنالیز CFD"، امیر کبیر، شماره ۶۸، ۱۳۸۷.

[20]. DNV PHAST, available at: <https://www.dnvgl.com/services>.

[21]. ANSYS, ICEM CFD, Tutorial Manual, ANSYS, Inc. (2017).

for placement of detectors have been determined and results of these simulations have been compared with the existing placement.

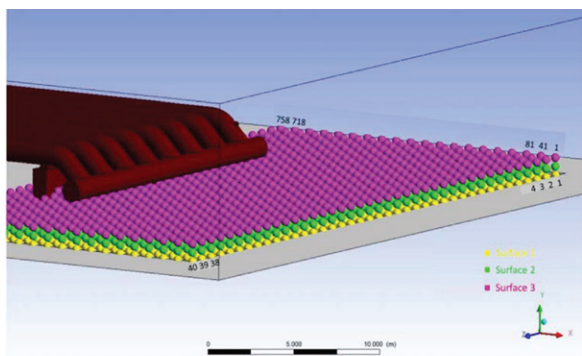


Fig. 2 Discretization of the domain to 2391 different points.

Results and Discussion

The probability of occurrence for each dispersion scenario has been computed by multiplying the

probability of occurrence of its affected parameters which are shown in Table 1 for three different scenarios as examples.

After simulating all 550 scenarios of dispersion, the dispersion clouds of toxic gas release have been found out and according to these results, the probability of presence of more than 10 ppm of toxic gas for a 20-second release in all discretized points of the domain (2391 point) has been computed. The points with high probability of presence of toxic gas have been addressed as the best points for placement of the toxic gas detectors (Figures 3 and 4).

Conclusions

The results of mentioned methodology (finding out the points with highest probability of presence of a dangerous concentration of toxic gas after an assuming duration of time) have been studied, and the coordination of the best points for detector placement has been compared with the coordination of existing detectors.

Table 1 The computation of frequency of occurrence for each dispersion scenario.

Scenario	Hole Selection	Leakage Direction	Hole Equivalent Size	Operating Fluid Type	Wind Speed	Wind Direction	Total Probability of occurrence
2mm-EW-H1B-8.8	No.1	X+	mm 2	Liquid	m/s 8.8	E-W	0.0002094
	0.333	0.25	0.699	0.12	0.03		
5mm-SN-H3D-5.7	No.3	Z-	mm 5	Liquid	5.7	N-S	0.0001278
	0.333	0.25	0.301	0.12	0.0425		
5mm-Neu-H2A	No.2	X+	mm 5	Gas	0	Neutral	0.0017641
	0.333	0.25	0.301	0.88	0.08		

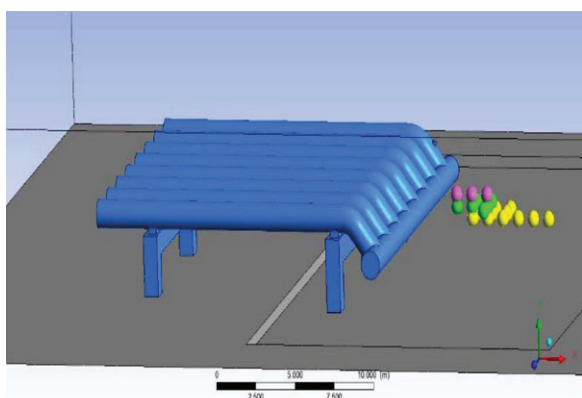


Fig. 3 The coordination of points with highest probability of presence of toxic gas.

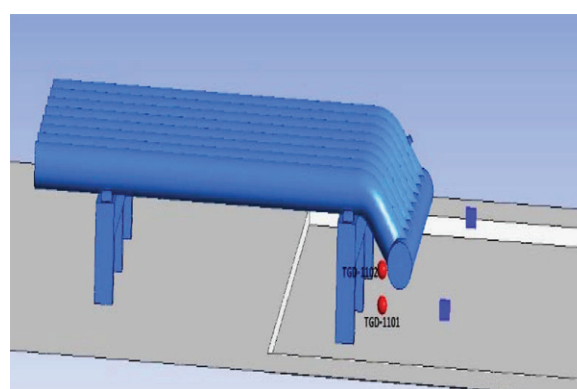


Fig. 4 The Coordination of existing toxic detectors in case study domain. (Red Balls).

References

- De Friend S, Dejmek M, Porter L, DeshotelsB (2008) A risk-based approach to flammable gas detector spacing", Journal of hazardous materials, 159, 42-151.
- Vázquez-Román R, Díaz-Ovalle C, Quiroz-Pérez E,

Mannan S (2016) A CFD-based approach for gas detectors allocation, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 44, 633-641.